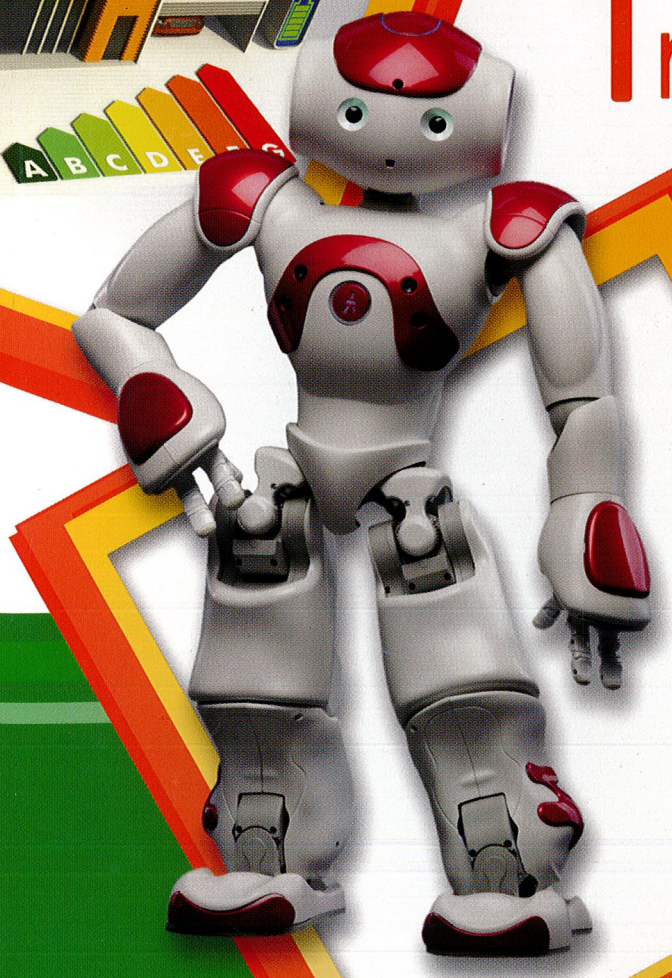


PREMIÈRE
ET TERMINALE

STI2D

Enseignements Technologiques Transversaux





Benoit MARTI
Alain RICHET
Bernard DUFEU

BERTRAND-LACOSTE

PREMIÈRE ET TERMINALE

STI2D

ETT

Enseignements Technologiques Transversaux

Bernard Dufeu
Benoit Marti
Alain Richet

Éditions BERTRAND-LACOSTE
36, rue Saint-Germain-l'Auxerrois – 75001 PARIS

PRÉSENTATION

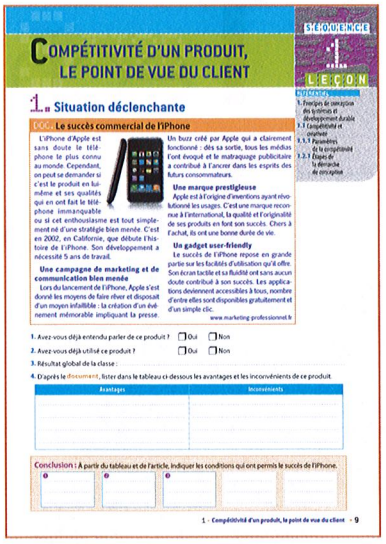
Conforme au référentiel, cet ouvrage, *utilisable ou non en détachable*, est destiné aux élèves de première et terminale STI2D « **Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable** ». Il aborde les enseignements technologiques transversaux communs à tous les élèves de cette filière.

Il est constitué de **quatre** PARTIES

1. **Principes de conception des systèmes et développement durable**
2. **Description, analyse et solutions technologiques dans l'habitat**
3. **Description, analyse et solutions technologiques dans les systèmes mécatroniques**
4. **Description, analyse et solutions technologiques dans les structures complexes**

Chaque partie est constituée de plusieurs séquences qui comportent :

- Une LEÇON illustrée permettant de découvrir les différentes notions en s'appuyant sur de nombreuses applications.


SÉQUENCE 1
LEÇON
COMPÉTITIVITÉ D'UN PRODUIT, LE POINT DE VUE DU CLIENT
1. Situation déclenchante
DOC. Le succès commercial de l'iPhone
L'iPhone d'Apple est sans doute le téléphone le plus connu au monde. Cependant, on peut se demander si c'est le produit en lui-même et ses qualités qui en ont fait le téléphone immanquable ou si cet enthousiasme est tout simplement né d'une stratégie bien menée. C'est en 2002, en Californie, que débute l'histoire de l'iPhone. Son développement a nécessité 5 ans de travail.
Une campagne de marketing et de communication bien menée
Lors du lancement de l'iPhone, Apple s'est donné les moyens de faire rêver et disposait d'un moyen infaillible : la création d'un événement mémorable impliquant la presse.
Un buzz créé par Apple qui a clairement fonctionné : dès sa sortie, tous les médias l'ont évoqué et le matraquage publicitaire a contribué à l'ancrer dans les esprits des futurs consommateurs.
Une marque prestigieuse
Apple est à l'origine d'inventions ayant révolutionné les usages. C'est une marque reconnue à l'international, la qualité et l'originalité de ses produits en font son succès. Chers à l'achat, ils ont une bonne durée de vie.
Un gadget user-friendly
Le succès de l'iPhone repose en grande partie sur les facilités d'utilisation qu'il offre. Son écran tactile et sa fluidité ont sans aucun doute contribué à son succès. Les applications deviennent accessibles à tous, nombre d'entre elles sont disponibles gratuitement et d'un simple clic.
www.marketing-professionnel.fr
1. Avez-vous déjà entendu parler de ce produit ? ☐ Oui ☐ Non
2. Avez-vous déjà utilisé ce produit ? ☐ Oui ☐ Non
3. Résultat global de la classe :
4. D'après le document, lister dans le tableau ci-dessous les avantages et les inconvénients de ce produit.
Avantages | Inconvénients
Conclusion : À partir du tableau et de l'article, indiquer les conditions qui ont permis le succès de l'iPhone.
1 - Compétitivité d'un produit, le point de vue du client - 9

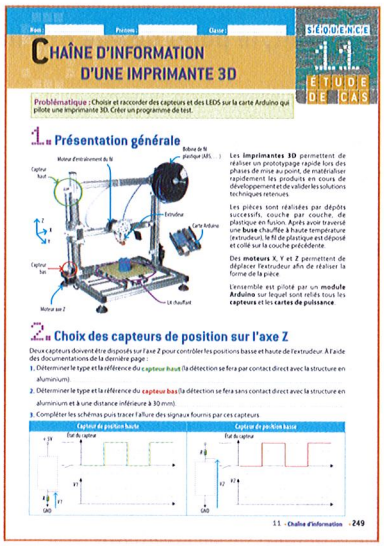

2. Critères de choix d'un produit
Pour les concepteurs d'un produit, il est important de bien comprendre les critères qui motivent son achat. En effet, plus de 70 % des produits nouveaux sont retirés de la vente en moins de 2 ans car ils n'ont pas séduit le public.
Principales motivations d'un client pour l'achat d'un produit
Besoin
Satisfaction client
Design et ergonomie
Stratégie commerciale
Respect de l'environnement
Principales motivations d'un client
3. Besoin
Un besoin est un sentiment de manque, de privation, d'insatisfaction qu'un individu ou une collectivité cherchent à combler par la consommation d'un bien ou d'un service. Il existe deux grandes catégories de besoins :
Besoin réel : besoin ressenti par l'absence d'un produit
Besoin induit : besoin qui découle de l'utilisation du produit
Exemple : imprimante multifonctions
Exemple : cartouches, papier, ...
Remarque : Les besoins sont par nature illimités : une fois l'un d'eux satisfait, il en apparaît de nouveaux.
APPLICATION 1 Besoin réel ou besoin induit ?
• Exprimer le besoin ressenti par cette utilisatrice de poussette pour enfant.
Situation de besoin
Réponse au besoin
Il s'agit d'un besoin : ☐ réel ☐ induit
10 - Enseignements technologiques transversaux 1re et Terminale STI2D

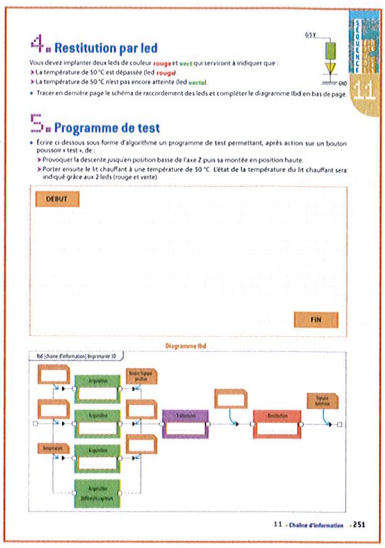
- Des TRAVAUX DIRIGÉS pour illustrer le cours.


SÉQUENCE 4
TD
ANALYSE DU CYCLE DE VIE
Activité 1. Cycle de vie d'une bouteille en plastique
• Identifier par des chiffres les différentes étapes du cycle de vie d'une bouteille plastique depuis l'extraction des matières qui la constitue jusqu'à son élimination/recyclage : ... Mise en balles ; ... Commercialisation ; ... Extraction du pétrole brut ; ... Broyage et déchiquetage ; ... Transformation en plastique PET ; ... Consommation des ménages ; ... Tri des plastiques par catégories, ... Fabrication des bouteilles ; ... Tri sélectif ; ... Transformation du pétrole brut en naphta.
Activité 2. Transport de pommes
Un grossiste en fruits bios veut choisir la matière ayant le plus faible impact environnemental pour ses cagettes de pommes. À chaque livraison, il doit fournir 70 kilos de pommes à son distributeur.
Matière | Bois | Plastique | Carton
Nbre d'utilisations possibles | 5 | 150 | 1
Contenance (kg) | 10 | 7 | 5
1. Déterminer une unité fonctionnelle permettant de comparer ces cagettes en prenant en compte la quantité transportée et le nombre d'utilisations.
2. Calculer les flux de référence pour cette unité fonctionnelle.
Bois | Plastique | Carton
4 - Cycle de vie d'un produit et choix environnementaux - 73

DE L'OUVRAGE

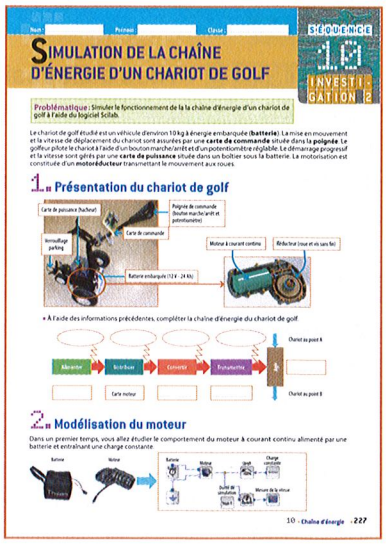
- Une **ÉTUDE DE CAS**, basée sur un cas réel pour approfondir.





- Des **INVESTIGATIONS** s'appuyant sur des études pratiques.





- Une **SYNTHÈSE** permettant une structuration des nouvelles connaissances acquises.



SOMMAIRE

PARTIE 1 – Principes de conception des systèmes et développement durable

SÉQUENCE 1 – Compétitivité d'un produit, le point de vue du client 9
LEÇON 9
TRAVAUX DIRIGÉS 15
ÉTUDE DE CAS – Choix d'un produit à l'aide d'un tableau multicritères 17
INVESTIGATION 1 – Les raisons d'un échec 19
INVESTIGATION 2 – Notion de design 20
INVESTIGATION 3 – Outils de représentation du besoin 21
INVESTIGATION 4 – Ergonomie 23
SYNTHÈSE 25

SÉQUENCE 2 – Compétitivité d'un produit, le point de vue du concepteur 27
LEÇON 27
TRAVAUX DIRIGÉS 35
ÉTUDE DE CAS – Chariot manipulable 37
INVESTIGATION 1 – Recherche d'un brevet 39
INVESTIGATION 2 – Lampe de poche – démarche de créativité 41
INVESTIGATION 3 – Diagramme des exigences 43
SYNTHÈSE 45

SÉQUENCE 3 – Mise à disposition des ressources 47
LEÇON 47
TRAVAUX DIRIGÉS 55
ÉTUDE DE CAS – Étude de la consommation énergétique en France 57
INVESTIGATION 1 – Le mix électrique 59
INVESTIGATION 2 – Les énergies d'avenir 61
SYNTHÈSE 63

SÉQUENCE 4 – Cycle de vie d'un produit et choix environnementaux 65
LEÇON 65
TRAVAUX DIRIGÉS 73
ÉTUDE DE CAS – Démarche d'analyse du cycle de vie de baskets 77
INVESTIGATION 1 – Optimisation d'une canette 81
INVESTIGATION 2 – Cycle de vie d'un tee-shirt – impact environnemental du transport 83
SYNTHÈSE 85

PARTIE 2 – Description, analyse et solutions technologiques dans l'habitat

SÉQUENCE 5 – Architecture et matériaux dans l'habitat (M) 89
LEÇON 89
TRAVAUX DIRIGÉS 97
ÉTUDE DE CAS – Adaptation au handicap d'un appartement 99
INVESTIGATION 1 – Modifications des plans d'une maison 101
INVESTIGATION 2 – Représentation en 3D d'une maison 103
INVESTIGATION 3 – Construction d'un abri 105
SYNTHÈSE 107

SÉQUENCE 6 – Les énergies traditionnelles dans l'habitat (E) 109
LEÇON 109
TRAVAUX DIRIGÉS 119
ÉTUDE DE CAS – Dimensionnement d'une installation de chauffage 121
INVESTIGATION 1 – Schéma fluidique 123

INVESTIGATION 2 – Schéma électrique 125
INVESTIGATION 3 – Étude comparative de différentes sources d'éclairage 127
INVESTIGATION 4 – Étude comparative des énergies de chauffage 129
SYNTHÈSE 131

SÉQUENCE 7 – Le réseau d'information multimédia dans l'habitat (I) 133
LEÇON 133
TRAVAUX DIRIGÉS 143
ÉTUDE DE CAS – Information dans l'habitat 145
INVESTIGATION 1 – Propriétés de connexion d'un PC 147
INVESTIGATION 2 – Simulation du fonctionnement d'un réseau domestique 149
SYNTHÈSE 153

SÉQUENCE 8 – Efficacité énergétique dans l'habitat (M) (E) (I) 155
LEÇON 155
TRAVAUX DIRIGÉS 167
ÉTUDE DE CAS – Bilan thermique d'une maison 169
INVESTIGATION 1 – Diagnostic de performance énergétique 173
INVESTIGATION 2 – Étude des performances thermiques des matériaux 177
SYNTHÈSE 181

PARTIE 3 – Description, analyse et solutions technologiques dans les systèmes mécatroniques

SÉQUENCE 9 – Comportement mécanique des systèmes mécatroniques (M) 185
LEÇON 185
TRAVAUX DIRIGÉS 195
ÉTUDE DE CAS – Étude cinématique 197
INVESTIGATION 1 – Schéma cinématique 199
INVESTIGATION 2 – Typologie des liaisons 203
SYNTHÈSE 205

SÉQUENCE 10 – Chaîne d'énergie (E) 207
LEÇON 207
TRAVAUX DIRIGÉS 217
ÉTUDE DE CAS – Chaîne d'énergie d'un tapis de course 219
INVESTIGATION 1 – Chaîne d'énergie AR-Drone 223
INVESTIGATION 2 – Simulation de la chaîne d'énergie d'un chariot de golf 227
SYNTHÈSE 231

SÉQUENCE 11 – Chaîne d'information (I) 233
LEÇON 233
TRAVAUX DIRIGÉS 247
ÉTUDE DE CAS – Chaîne d'information d'une imprimante 3D 249
INVESTIGATION 1 – Chaîne d'information d'un smartphone 253
INVESTIGATION 2 – Chaîne d'information d'une station météo 257
SYNTHÈSE 263

SÉQUENCE 12 – Efficacité énergétique dans les systèmes mécatroniques (M) (E) (I) 265
LEÇON 265
TRAVAUX DIRIGÉS 281
ÉTUDE DE CAS – Vélo pliant à assistance électrique 285
INVESTIGATION 1 – Étude d'un lampadaire autonome 289
INVESTIGATION 2 – Voiture radiocommandée à hydrogène 293
SYNTHÈSE 299

SOMMAIRE

PARTIE 4 – Description, analyse et solutions technologiques dans les structures complexes

SÉQUENCE 13 – Résistance des matériaux et vibrations (M) 303
LEÇON 303
TRAVAUX DIRIGÉS 317
ÉTUDE DE CAS – Suspension automobile 319
INVESTIGATION 1 – Étude sur les matériaux 323
INVESTIGATION 2 – Effets des vibrations sur une structure 324
SYNTHÈSE 327

SÉQUENCE 14 – Production et stockage de l'énergie pour la transition énergétique (E) 329
LEÇON 329
TRAVAUX DIRIGÉS 341
ÉTUDE DE CAS – Autonomie énergétique d'une île 343
SYNTHÈSE 349

SÉQUENCE 15 – Réseau informatique (I) 351
LEÇON 351
TRAVAUX DIRIGÉS 363
ÉTUDE DE CAS – L'énergie des data centers 365
SYNTHÈSE 367

(M) = Matériaux ; (E) = Énergie ; (I) = Information

CRÉDIT PHOTOGRAPHIQUE

Couverture : Parrot/Ketchum, Thinkstock, Desailly/Aldebaran.

Thinkstock : p. 26, p. 32, p. 50, p. 51, p. 54, p. 55, p. 63, p. 64, p. 66, p. 67, p. 73, p. 80, p. 83, p. 92, p. 133, p.142, p. 148, p. 207, p. 209, p. 214, p. 215, p. 217, p. 353.

Maquette et mise en page : CB DEFRETIN

ISBN : 978-2-7352-**2437-1**

Toute représentation, traduction, adaptation ou reproduction, même partielle, par tous procédés, en tout pays, faite sans autorisation préalable, est illicite et exposerait le contrevenant à des poursuites judiciaires (réf. loi du 11 mars 1957).

© Les Éditions Bertrand-Lacoste, Paris, 2016.

PARTIE 1

Principes de Conception des Systèmes et Développement Durable



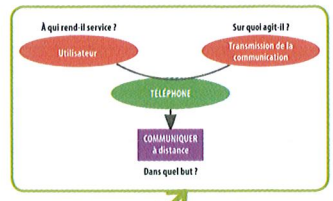
PARTIE 1

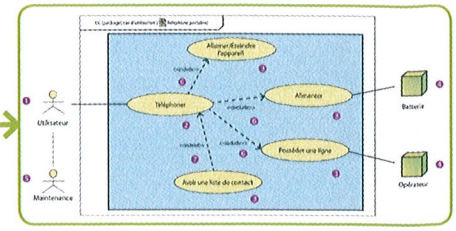
PRINCIPE DE CONCEPTION DES SYSTÈMES ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

1. Compétitivité d'un produit, le point de vue du client

Notions de besoin, de stratégie client, de design, d'ergonomie, de stratégie commerciale et d'environnement

Page 9

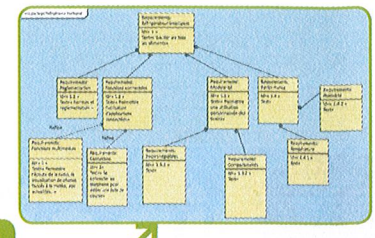


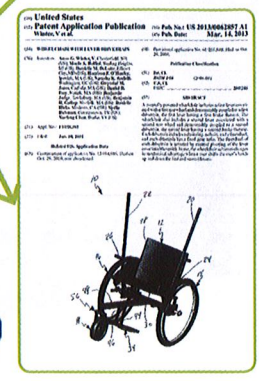


2. Compétitivité d'un produit, le point de vue du concepteur

Démarche de conception, cahier des charges, innovation, créativité et brevets

Page 27





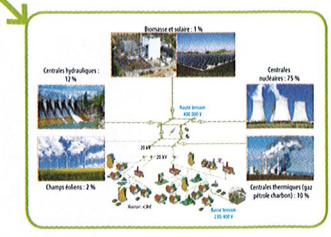


3. Mise à disposition des ressources

Notions d'énergies primaires, secondaires, finales et utiles
Chiffres des réserves énergétiques
Transition énergétique

Page 47

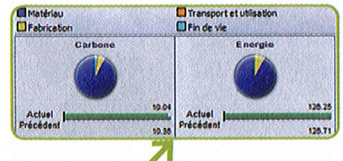




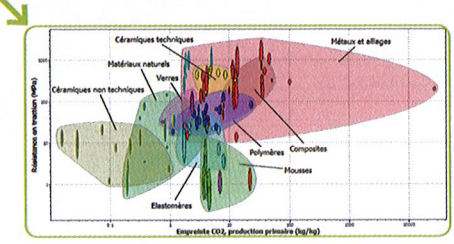
4. Cycle de vie d'un produit et choix environnementaux

Analyse du cycle de vie d'un produit

Page 65







SÉQUENCE 1 LEÇON

COMPÉTITIVITÉ D'UN PRODUIT, LE POINT DE VUE DU CLIENT

RÉFÉRENTIEL

1. Principes de conception des systèmes et développement durable
1.1 Compétitivité et créativité
1.1.1 Paramètres de la compétitivité
1.2.1 Étapes de la démarche de conception

1. Situation déclenchante

DOC. Le succès commercial de l'iPhone



L'iPhone d'Apple est sans doute le téléphone le plus connu au monde. Cependant, on peut se demander si c'est le produit en lui-même et ses qualités qui en ont fait le téléphone immanquable ou si cet enthousiasme est tout simplement né d'une stratégie bien menée. C'est en 2002, en Californie, que débute l'histoire de l'iPhone. Son développement a nécessité 5 ans de travail.

Une campagne de marketing et de communication bien menée

Lors du lancement de l'iPhone, Apple s'est donné les moyens de faire rêver et disposait d'un moyen infaillible : la création d'un événement mémorable impliquant la presse. Un buzz créé par Apple qui a clairement fonctionné : dès sa sortie, tous les médias l'ont évoqué et le matraquage publicitaire a contribué à l'ancrer dans les esprits des futurs consommateurs.

Une marque prestigieuse

Apple est à l'origine d'inventions ayant révolutionné les usages. C'est une marque reconnue à l'international, la qualité et l'originalité de ses produits en font son succès. Chers à l'achat, ils ont une bonne durée de vie.

Un gadget user-friendly

Le succès de l'iPhone repose en grande partie sur les facilités d'utilisation qu'il offre. Son écran tactile et sa fluidité ont sans aucun doute contribué à son succès. Les applications deviennent accessibles à tous, nombre d'entre elles sont disponibles gratuitement et d'un simple clic.

www.marketing-professionnel.fr

1. Avez-vous déjà entendu parler de ce produit ? ☐ Oui ☐ Non

2. Avez-vous déjà utilisé ce produit ? ☐ Oui ☐ Non

3. Résultat global de la classe : .....

4. D'après le **document**, lister dans le tableau ci-dessous les avantages et les inconvénients de ce produit.

Avantages	Inconvénients
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....

Conclusion : À partir du tableau et de l'article, indiquer les conditions qui ont permis le succès de l'iPhone.

❶ ....

❷ ....

❸ ....

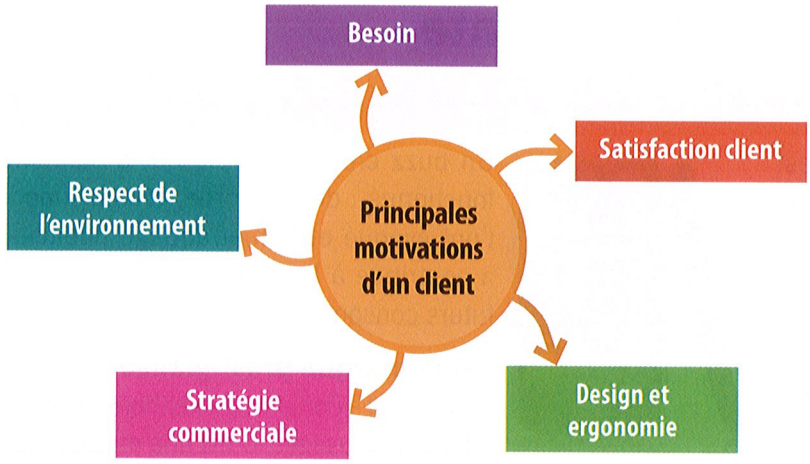
....

....

2. Critères de choix d'un produit

Pour les concepteurs d'un produit, il est important de bien comprendre les critères qui motivent son achat. En effet, plus de 70 % des produits nouveaux sont retirés de la vente en moins de 2 ans car ils n'ont pas séduit le public.

Principales motivations d'un client pour l'achat d'un produit



3. Besoin

Un **besoin** est un sentiment de manque, de privation, d'insatisfaction qu'un individu ou une collectivité cherchent à combler par la consommation d'un bien ou d'un service. Il existe deux grandes catégories de besoins :

Besoin réel : besoin ressenti par l'absence d'un produit



Exemple : Imprimante multifonctions

Besoin induit : besoin qui découle de l'utilisation du produit



Exemple : cartouches, papier, ...

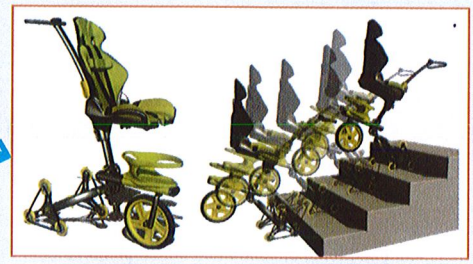
Remarque : Les besoins sont par nature illimités : une fois l'un d'eux satisfait, il en apparaît de nouveaux.

APPLICATION 1 Besoin réel ou besoin induit ?

- Exprimer le besoin ressenti par cette utilisatrice de poussette pour enfant.



Situation de besoin



Réponse au besoin

.....

.....

.....

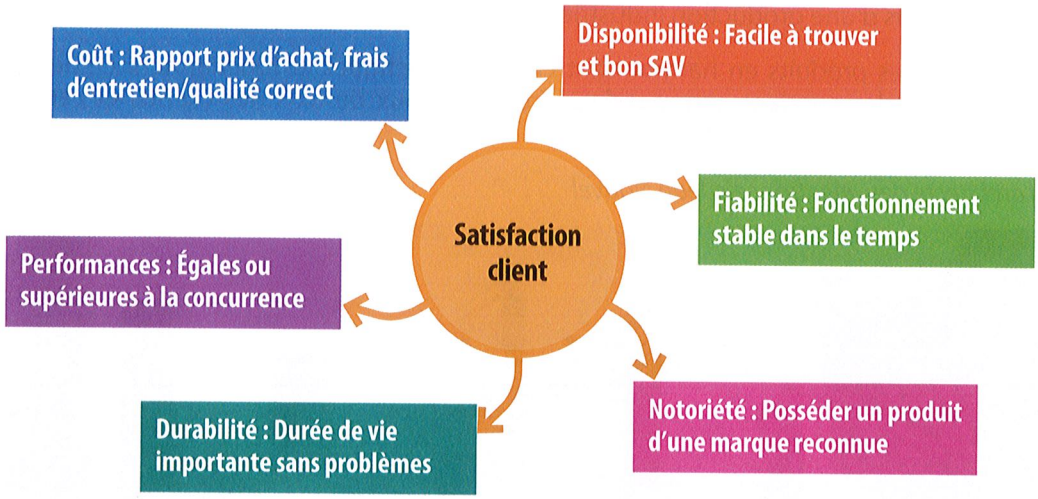
Il s'agit d'un besoin :

☐ réel ☐ induit

4. Satisfaction client

Un acheteur est satisfait s'il estime que la qualité du produit, le service offert et le prix d'achat égalent ou surpassent ses attentes.

Principaux éléments de la satisfaction client



Remarques : 17 % des clients insatisfaits restent fidèles ; 45 % des clients satisfaits restent fidèles ; 73 % des clients très satisfaits restent fidèles ; un client insatisfait en parle à une dizaine de personnes ; un client satisfait en parle à 4 à 5 personnes.

Outils de mesure de la satisfaction client : Une enquête de satisfaction, bien pensée et correctement réalisée, y compris dans son dépouillement et son interprétation, peut fournir des informations intéressantes et aider à anticiper les besoins et les attentes du client.

APPLICATION 2 Analyse d'une enquête

1. Entourer les critères pris en compte.
2. Classer les critères par ordre d'importance (de 1 à 5).
3. Que proposeriez-vous d'après cette enquête pour améliorer :

a) La liseuse AMAZON Kindle 3 ?

.....

.....

.....

.....

.....

b) La liseuse BQ Cervantès ?

.....

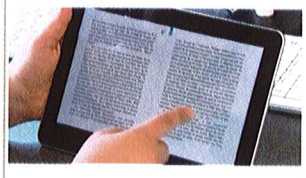
.....

.....

.....

.....

.....

LISEUSES	SATISFACTION MOYENNE (SUR100)					
						
Marque et modèle	Lisibilité des textes	Fonctionnement	Compatibilité avec différents fichiers d'ebooks	Luminosité de l'écran	Solidité	SATISFACTION GLOBALE
AMAZON Kindle 3	97	96	62	96	83	88
AMAZON Kindle 2	94	94	65	93	83	88
AMAZON Kindle	91	91	66	90	81	86
SONY Reader Touch Edition	86	86	80	88	77	84
POCKETBOOK 603	83	82	80	85	82	83
AMAZON Kindle DX	93	91	60	92	76	82
SONY Reader Pocket Edition	87	84	76	84	79	81
SONY Reader	82	75	74	82	76	80
BQ Cervantes	86	79	81	83	62	79
BOOKEEN CyBook Opus	81	77	65	85	79	79
POSITIVO Alfa	76	79	63	83	79	78
FACTHOR-GRAMMATA Papyre	81	75	78	81	72	77
ASUS eReader	74	76	66	78	61	73
IPAPYRUS 6	75	72	64	73	61	73

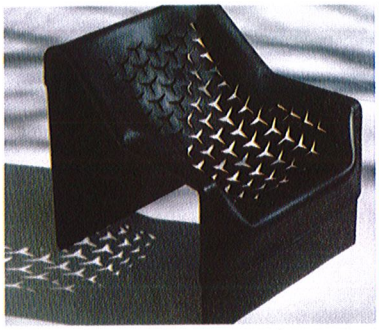
Mieux que la moyenne — Moins bien que la moyenne

5. Design et ergonomie

Le **design** est un art appliqué visant à la création d'objets, d'environnements ou d'œuvres graphiques, esthétiques (tant au niveau des matériaux qui les composent que de la forme, de la taille et des couleurs), fonctionnels et conformes aux impératifs d'une production industrielle.

Un **designer** conçoit des produits en harmonisant critères esthétiques et fonctionnels. Le designer prend en compte les contraintes des **services commerciaux** (répondre aux besoins des clients) et celles des **services fabrication** pour créer un nouveau produit.

Créations de l'architecte designer français Jean Nouvel



Fauteuil Skin en cuir ajouré



Projet de tours Duo Paris 13e



Plateau et service en acier Alessi

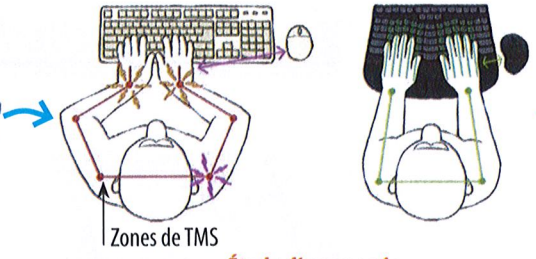
« L'**ergonomie** est l'ensemble des connaissances scientifiques relatives à l'homme, et nécessaires pour concevoir des outils, des machines et des dispositifs qui puissent être utilisés avec le maximum de confort, de sécurité et d'efficacité. »

A. WISNER (1923 – 2004)

Exemple : Les claviers d'ordinateur font l'objet de recherches d'ergonomie permettant d'améliorer le confort des utilisateurs de matériel informatique et d'éviter les TMS (Troubles Musculo-Squelettiques).



Ancien type de clavier



Étude d'ergonomie



Clavier ergonomique

APPLICATION 3 Joystick pour simulateur d'avion



Années 1980



Aujourd'hui

1. Pour jouer intensément, quel joystick vous paraît le plus adapté ?

.....

2. Pour le jeu et l'accès aux commandes, lequel vous paraît le plus pratique ?

.....

3. Lequel se rapproche le plus d'une commande d'avion ?

.....

4. Quelles sont les principales évolutions ?

.....

.....

6. Stratégie commerciale

La stratégie commerciale est basée sur les principaux axes suivants.

a) Le **marketing** établit pour la partie conception et production de l'entreprise :
- ce que le client recherche dans un produit donné,
- le prix qu'il est prêt à payer,
- l'endroit et le lieu où le produit doit être disponible.

Le marketing regroupe les gestes nécessaires au **renforcement de la satisfaction client**.

b) La **publicité** est une technique de communication qui permet de modifier l'attitude et/ou le comportement des consommateurs à l'égard d'un produit. Elle contribue à attirer le consommateur vers le produit.





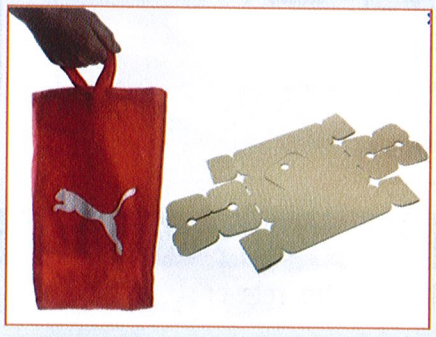
c) Le **packaging** désigne l'emballage extérieur ou le conditionnement visible du produit. Il a pour objectif de :
- Attirer l'attention de l'acheteur dans les rayons.
- Communiquer un message (nature, avantages, forces du produit, ...).
- Déclencher l'achat.
- Séduire après l'achat.
- Faciliter l'usage.
- Faciliter la logistique en aval.



d) Le **logo** est la représentation graphique d'une marque ou d'une entreprise. Il est présent sur tous ses produits et sur tous ses supports de communication. Le logo permet d'identifier rapidement un produit en fonction de sa marque. Il doit être parfaitement lisible et doit évoluer en même temps que l'entreprise et sa stratégie.

APPLICATION 4 Stratégie commerciale





Pour le produit ci-dessus, commenter les différents éléments de la stratégie commerciale mise en place par l'entreprise.

1. Le message véhiculé sur l'emballage : .....

.....

2. Le packaging : .....

.....

3. Le logo : .....

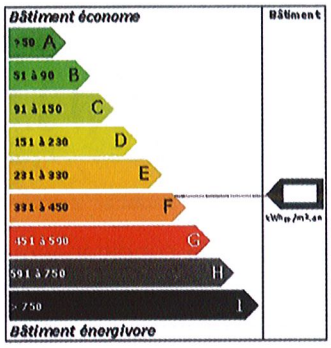
.....

7 Respect de l'environnement

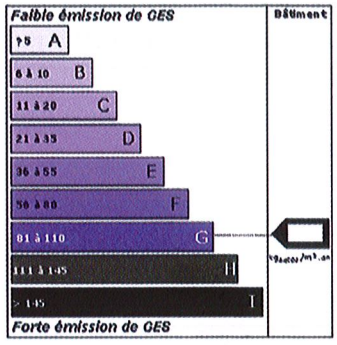
De plus en plus de consommateurs sont conscients des problèmes environnementaux. Les réglementations en matière d'étiquetage imposent de mettre à leur disposition des données quantitatives sur les impacts environnementaux du produit.

7.1. Étiquetage des bâtiments

L'**étiquette énergie** permet de connaître la consommation en énergie primaire du bâtiment.

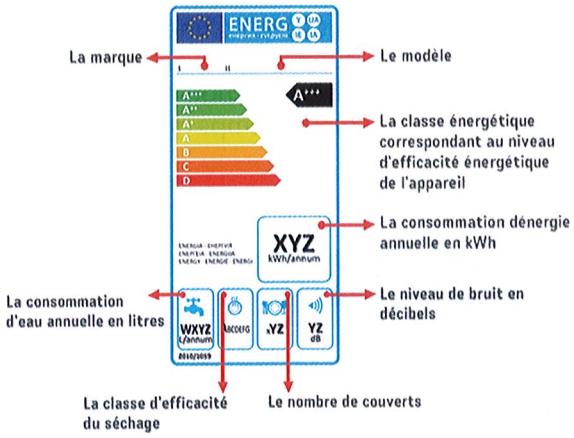


L'**étiquette climat** permet de connaître la quantité de gaz à effet de serre (GES) émise.

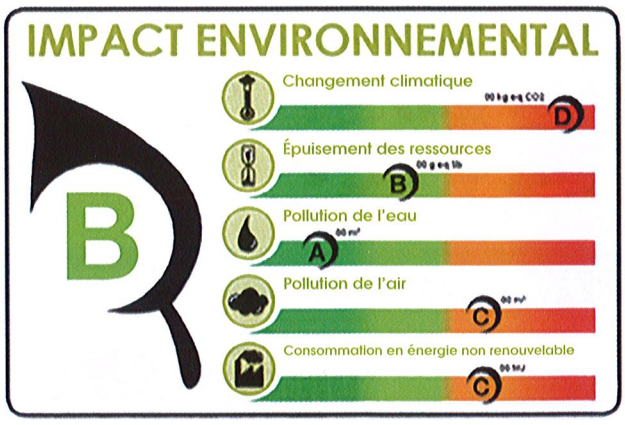


7.2. Étiquetage des produits

Afin d'informer les consommateurs, certains produits comportent un étiquetage spécifique.



Étiquette énergie



Étiquette impact environnemental

APPLICATION 5 Étiquette énergie d'un lave-linge

Sur l'étiquette énergie ci-contre, relever :

1. La marque du lave-linge : .....
2. La classe énergétique : .....
3. La consommation d'énergie annuelle : .....
4. La consommation d'eau annuelle : .....
5. Que vous inspire cette étiquette ?

.....

.....



Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 1 TD

COMPÉTITIVITÉ D'UN PRODUIT, LE POINT DE VUE DU CLIENT

Activité 1. Besoin

1. Pour les produits suivants :
   a) Trouver à quel besoin réel répond le produit (une phrase avec un verbe à l'infinitif).
   b) S'il répond à plusieurs besoins, les lister, du plus important au moins important.
   c) Noter les besoins induits par leur utilisation.

Produit	Besoins réels	Besoins induits
Imprimante 3D 		
Appareil photo numérique 		
Montre 		
Scooter 		

2. Donner des produits répondant aux besoins suivants.

Besoins	Produits
Protéger l'utilisateur dans la pratique de sports de combat	
Se déplacer d'un point A à un point B, individuellement, sans être propriétaire du véhicule	
Réserver un billet d'avion à distance, après avoir comparé les prix et les horaires	

Activité 2 . Satisfaction client

1. Pour votre paire de basket préférée, répondre aux questions suivantes.

Critères	Questions	Réponses détaillées
Disponibilité	Le produit a-t-il été facile à trouver ?	
Fiabilité	Vos chaussures sont-elles fiables ? (accroche au sol, maintien du pied)	
Notoriété	La marque est-elle connue ?	
Durabilité	S'usent-elles vite ?	
Performance	La concurrence produit-elle des chaussures plus performantes ?	
Coût	Le rapport qualité/prix est-il correct ?	

2. Quels sont les deux critères les plus importants pour vous ?

.....

3. D'après les résultats précédents, quelle sera votre prochaine paire de basket ?

.....

.....

Activité 3 . Stratégie commerciale

1. Quelle est la dernière publicité vous ayant marqué ? .....

.....

2. Citer le slogan .....

.....

3. Redessiner de mémoire le logo dans le cadre ci contre.

Activité 4 . Design et ergonomie : poignées de porte

- Pour les poignées suivantes, remplir le tableau en donnant votre avis sur chacun des points mentionnés.

Produit			
Design			
Confort			
Sécurité			
Efficacité			

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 1 ÉTUDE DE CAS

CHOIX D'UN PRODUIT À L'AIDE D'UN TABLEAU MULTICRITÈRES

Problèmatique : Vous désirez acheter une nouvelle voiture : un crossover. Il va falloir faire un choix pertinent qui corresponde à vos besoins.

1. Donner la définition d'un crossover. .....

.....

Le choix doit s'effectuer entre les véhicules suivants dont voici quelques caractéristiques. Ce choix peut s'effectuer selon plusieurs critères.

Nom	Photo	Prix en €	Consommation mixte en litre/100 km	CO_2 en g/km	Volume du coffre en m^3	Puissance en ch
Nissan Qashqai 1.2 DIG-T 115ch		25 790	5,6	129	430	115
Dacia Duster TCe 125 4x2		15 650	6,2	143	475	125
Renault Captur TCe 90 Eco2		21 300	5,4	125	377	90
Peugeot 2008 1.6l e-HDi 92 BMV5		20 620	4	103	410	92
Audi Q3		33 695	5,7	149	463	140

2. Détermination d'un indice global

Cette méthode permet de prendre en compte plusieurs critères pour constituer un indice global.

a) Les critères sont exprimés en % et calculés à partir des données réelles du produit. Deux cas peuvent se présenter.

Le meilleur produit a la valeur maximale	Le meilleur produit a la valeur minimale
• Le critère max vaut 100 %	• Le critère min vaut 100 %
• Autres critères en % = $\frac{\text{Valeur critère}}{\text{Valeur max}} \times 100$	• Autres critères en % = $\frac{\text{Valeur min}}{\text{Valeur critère}} \times 100$

b) L'indice global est calculé de la manière suivante.

Indice global = Σ (valeur en % du critère × poids)

Le poids caractérise l'importance accordée au critère.

3. Choix suivant un **critère technique**

Exprimer le critère en % et classer les véhicules du plus performant au moins performant.

Critère : Puissance	+ performant				- performant
Nom du véhicule					
Critère en %					

4. Choix suivant un **critère économique**

Exprimer le critère en % et classer les véhicules du plus performant au moins performant.

Critère : Prix	+ performant				- performant
Nom du véhicule					
Critère en %					

5. Choix suivant un **critère écologique**

Exprimer le critère en % et classer les véhicules du plus performant au moins performant.

Critère : CO_2	+ performant				- performant
Nom du véhicule					
Critère en %					

6. Pour finaliser votre choix, remplir le tableau de choix multicritères ci-dessous :

a) Par critère, recopier pour chaque véhicule les valeurs en % calculées précédemment.

b) Attribuer un poids de 1 à 4 à chacun des critères, selon l'importance qu'il a pour vous (4 très important, 1 pas important).

c) Multiplier chacun des % de critères par son poids puis faire la somme des résultats.

Critère \ Nom du véhicule / Poids	Nissan Qashqai	Dacia Duster	Renault Captur	Peugeot 2008	Audi Q3
Technique					
Économique					
Ecologique					
Indice global = Σ (critère en % × poids)					

7. Quel véhicule propose le tableau ? Reflète-t-il votre besoin ? .....

.....

8. Quels critères aurait-on pu ajouter ?.....

.....

.....

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 1 INVESTIGATION 1

LES RAISONS D'UN ÉCHEC

Constatation : Créer un nouveau produit n'est pas toujours signe de réussite commerciale : 70 % des nouveaux produits industriels et 90 % des produits alimentaires meurent en moins de 2 ans. Lorsque l'on innove, la probabilité d'obtenir un succès est très faible.

Une personne qui n'a jamais commis d'erreur n'a jamais innové.
(Albert Einstein)

Pour les produits suivants, vous allez devoir examiner les causes de leur échec et déterminer parmi les 5 critères de choix d'un client (besoin, satisfaction client, design et ergonomie, stratégie commerciale, respect de l'environnement) celui ou ceux qui n'ont pas été atteints.

Travail à effectuer

Réaliser un diaporama qui présente :

1. Pour chacun des cas du tableau :
   - Le produit et ses caractéristiques.
   - Les raisons de son échec (un ou plusieurs des 5 critères de choix).
2. Un produit d'une grande marque connue (à déterminer) ayant échoué. Donner les raisons de cet échec.

Carte de paiement Monéo 	**Chien de compagnie Aïbo** 
Pontiac Aztek 	**Ketchup mauve** 
Cigarette sans fumée : Reynolds 	**Renault 14 (R14)** 

SÉQUENCE 1

INVESTIGATION 2

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

NOTION DE DESIGN

Problèmatique : Redessiner la forme d'une souris d'ordinateur en utilisant une démarche design et votre créativité.

Un projet de design se réalise en suivant une **démarche design** en trois phases.

- Phase 1 : Analyse et étude des besoins.
- Phase 2 : Création et esquisses.
- Phase 3 : Mise au point de la solution retenue.



Phase 1. Analyse et étude des besoins

Pour faire évoluer le produit, il faut déterminer les critères sur lesquels agir.

Méthode :

- Dans un tableau, noter de 1 à 4 (1 très mauvais, 2 assez mauvais, 3 bon, 4 très bon) les différents critères de l'objet à redesigner. **Compléter la colonne correspondante.**
- Donner à chacun des critères un pourcentage d'importance pour vous (0 % pas d'importance, 25 % peu d'importance, 50 % important, 75 % assez important, 100 % très important). **Compléter la colonne correspondante.**
- Classer les critères en fonction de leur ordre d'importance (note x % importance). **Compléter la colonne correspondante.**

Critères	Notes	Importance (%)	Classement
Ergonomie			
Couleur			
Forme			
Marque			
Esthétique			
Encombrement			
Connectique			

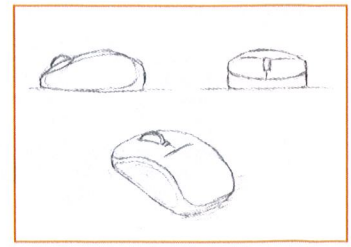
- D'après le classement, déterminer les deux points principaux à retravailler.

.....

.....

Phase 2. Création et esquisses

- Sur une feuille séparée, dessiner des esquisses en 2D et/ou en 3D de votre nouveau produit en y intégrant les transformations nécessaires, notamment pour les deux points déterminés en phase 1.



Exemple d'esquisse de souris

Phase 3. Mise au point de la solution retenue

- À l'aide d'un modeleur volumique avec rendu réaliste, réaliser un dessin afin de préciser les dimensions et l'esthétique du nouveau produit.

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

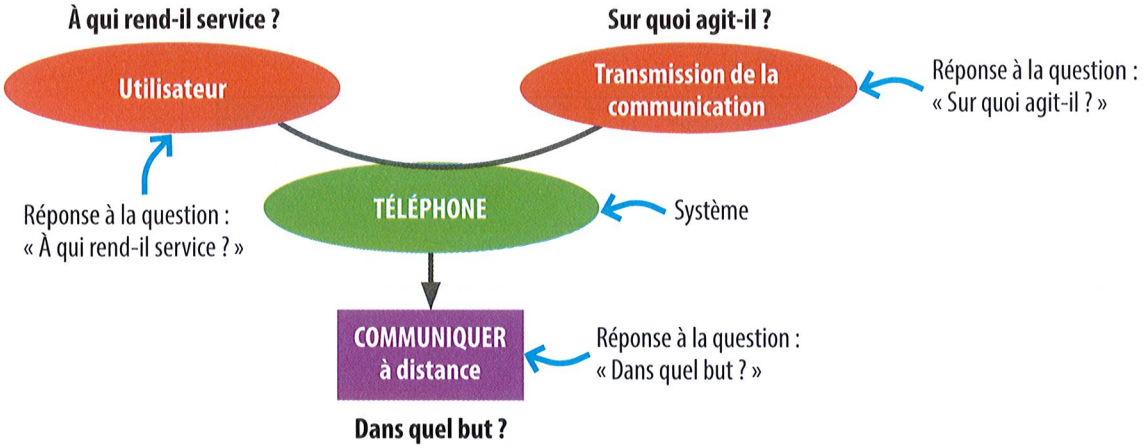
SÉQUENCE 1 INVESTIGATION 3

OUTILS DE REPRÉSENTATION DU BESOIN

1. Graphe des prestations

Le besoin peut être représenté graphiquement par le graphe des prestations de la méthode **APTE** (**AP**plication aux **T**echniques d'**E**ntreprise) également appelé « **bête à cornes** ».

Exemple : le téléphone portable



- Pour chaque produit du tableau suivant, tracer le graphe des prestations.

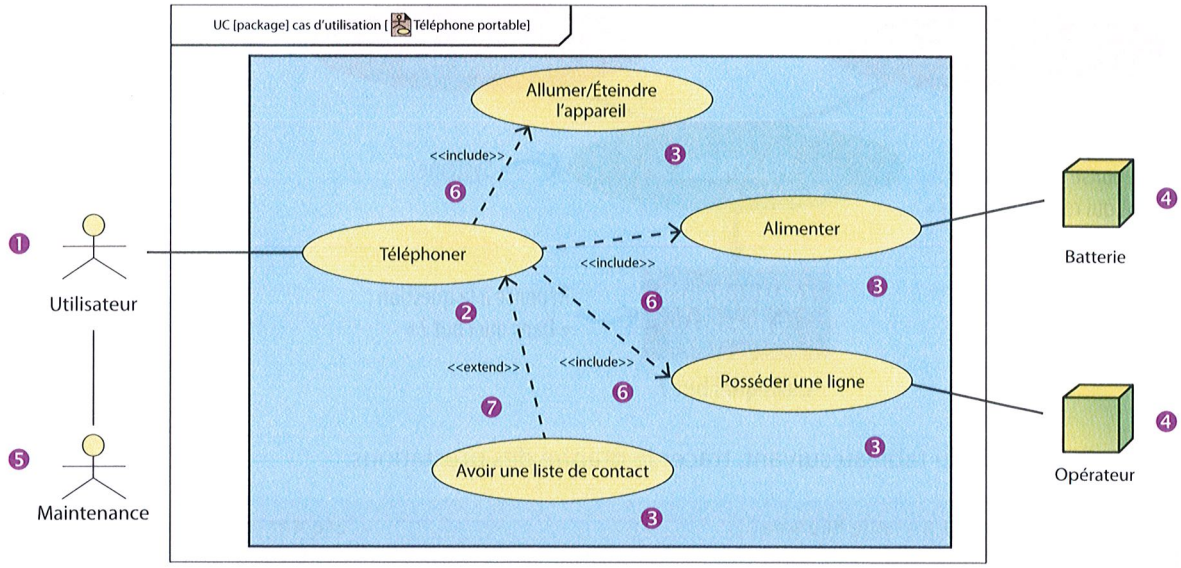
Aspirateur autonome Roomba	Scooter sous-marin
	
À qui rend-il service ? Sur quoi agit-il ? Dans quel but ?	

2. Diagramme des cas d'utilisation

Le **langage SysML** comporte 9 diagrammes décrivant graphiquement les systèmes.
Le **diagramme des cas d'utilisation** permet à l'utilisateur ❶ d'exprimer ses besoins et de spécifier les fonctions du système qui y répondent.

Exemple : Le téléphone portable – diagramme du cas d'utilisation principal

- Le premier besoin à exprimer (**cas d'utilisation principal**) est : téléphoner. On le représente à l'intérieur du système à l'aide d'un ovale ❷.
- Pour répondre à ce besoin, quelques fonctions sont nécessaires : mettre en marche ou arrêter le téléphone, avoir de l'énergie, posséder un abonnement et avoir une liste de contacts. Ces **fonctions du système** sont représentées dans des ovales ❸.
- Des **acteurs non humains** vont être mis en jeu par ces fonctions : une batterie pour l'énergie et un opérateur pour le numéro ❹.
- Un centre de maintenance peut être utile en cas de problème. On le représentera comme un **acteur secondaire** ❺.
- Pour lier les fonctions au besoin, deux cas sont possibles :
  – La fonction est obligatoire : on parle d'une liaison d'**inclusion** « include » ❻.
  – La fonction n'est pas obligatoire : on parle d'une liaison d'**extension** « extend » ❼.



1. Pour compléter la description des fonctions remplies par un téléphone, déterminer deux utilisations supplémentaires qui n'ont pas encore été prises en compte.

1 : ..... ; 2 : .....

2. En prenant en compte le cas d'utilisation principal, compléter les tableaux ci-dessous pour les deux nouveaux cas d'utilisation. Indiquer les fonctions nécessaires pour les réaliser et le type des liaisons entre elles.

Cas d'utilisation principal : Téléphoner		
Fonctions	**Inclusion**	**Exclusion**
Allumer/Éteindre l'appareil	x	
Alimenter	x	
Posséder une ligne	x	
Avoir une liste de contacts		x

Cas d'utilisation 1 :		
Fonctions	**Inclusion**	**Exclusion**

Cas d'utilisation 2 :		
Fonctions	**Inclusion**	**Exclusion**

3. Sur une feuille, recopier le diagramme précédent et ajouter les deux cas supplémentaires pour obtenir le diagramme des cas d'utilisation plus complet.

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 1 INVESTIGATION 4

NOTION D'ERGONOMIE

Découverte du produit : Votre enseignant met à votre disposition des bocaux fermés. Essayez de les ouvrir.

1. Est-ce pratique ? Est-ce facile ?

.....

.....



2. Si vous deviez répéter l'opération à de multiples reprises, ressentiriez-vous des douleurs, une gêne ? Si oui, lesquelles ?

.....

.....

1. Ergonomie

Le but de l'ergonomie est de mettre en œuvre des connaissances scientifiques relatives à l'homme pour concevoir des produits, des outils, des machines et des dispositifs pouvant être utilisés par le plus grand nombre avec le maximum de confort, de sécurité et d'efficacité.

1. Le système d'ouverture que vous venez d'étudier vous paraît-il pratique à utiliser ? Est-il possible de l'utiliser en toute sécurité ? Vous paraît-il efficace ? (Justifier vos réponses)

.....

.....

2. Posez-vous les mêmes questions pour une personne âgée ou un enfant utilisant le produit.

.....

.....

3. **Conclusion :** Le produit est-il ergonomique ?

☐ Oui ☐ Non

2. Mise en évidence des problèmes et recherche de solutions

Pour confirmer vos réponses, **filmer** un de vos camarades utilisant plusieurs fois le produit. **Importer** la vidéo sur un ordinateur et à l'aide d'un logiciel, **visionner** les séquences au ralenti.

1. D'autres problèmes sont-ils visibles ?

.....

.....

2. Quels sont les mouvements qui posent problème ?

.....

.....

3. Faudrait-il plus de force, plus de préhension, des formes plus adaptées à l'utilisateur, une taille du produit différente pour résoudre ce problème ? (Justifier votre réponse)

.....

.....

4. Proposer par le dessin des solutions permettant d'augmenter le degré d'ergonomie de ce produit.

3. Normes



Pour éviter les TMS, une solution existe : l'**ouvre bocal automatique**. Il doit être ergonomique et répondre à des normes.

1. Allez sur le site Internet www. iso.org. Cliquez sur **Visiter l'ISO Store** puis successivement sur **Catalogue de normes → Explorer par ICS → 97 Équipement ménager et commercial. Loisirs. Sports.** Chercher la catégorie qui correspond à votre produit et donner le numéro ICS :

..... – ..... – .....

2. Si le lien est disponible, cliquer dessus, sinon faire une recherche sur Internet des normes que devrait respecter le produit.

.....

.....

3. D'après leur titre, certains chapitres concernent l'ergonomie ou l'utilisation du produit.

a) Lesquels concernent le confort ?

.....

.....

b) Lesquels concernent la sécurité ?

.....

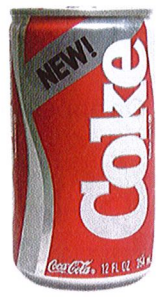
.....

Dans le cadre d'une entreprise, pour gérer un poste de travail et prévenir des problèmes de santé (comme les TMS), des normes aident à régler les problèmes d'ergonomie.

Par exemple : ISO/TC 159 ; NF X35-002, NF X35-003.

CE QU'IL FAUT RETENIR DE LA SÉQUENCE

Tous les nouveaux produits mis sur le marché ne deviennent pas des succès commerciaux.



Exemple : pour répondre à la progression de son rival Pepsi-Cola, la société Coca-Cola a décidé en 1985 de lancer le **New Coke**, une nouvelle recette du Coca-Cola. Malgré des investissements colossaux, ce produit fut un échec et la société pour satisfaire ses clients a dû réutiliser la recette originale du produit et arrêter la production du New Coke.

Avant de concevoir un produit, il faut bien connaître les attentes des clients.

1. Critères de choix d'un client pour l'achat d'un produit

- Ce produit répond ou devance les besoins.
- Ce produit a un taux de satisfaction client élevé.
- Le design et l'ergonomie sont réussis.
- La stratégie commerciale de la marque est efficace.
- Ce produit répond aux critères environnementaux.

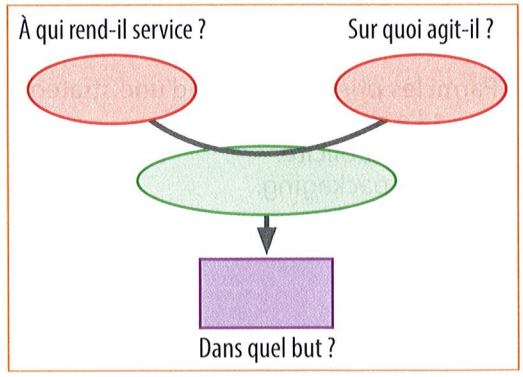
2. Le besoin

Tout produit n'a de sens que s'il satisfait un besoin exprimé ou non des utilisateurs.

Le graphe des prestations de la méthode APTE dit « **bête à cornes** » permet de définir les services à rendre à l'utilisateur (besoins).

La **fonction d'usage** d'un produit définit les services qu'il peut rendre à l'utilisateur. Elle répond à la question « à quoi sert le produit ? ».

Structure de la « Bête à cornes »



Le **diagramme SysML des cas d'utilisation** permet à l'utilisateur de formuler le besoin sous forme de fonctions simples que le produit devra remplir.

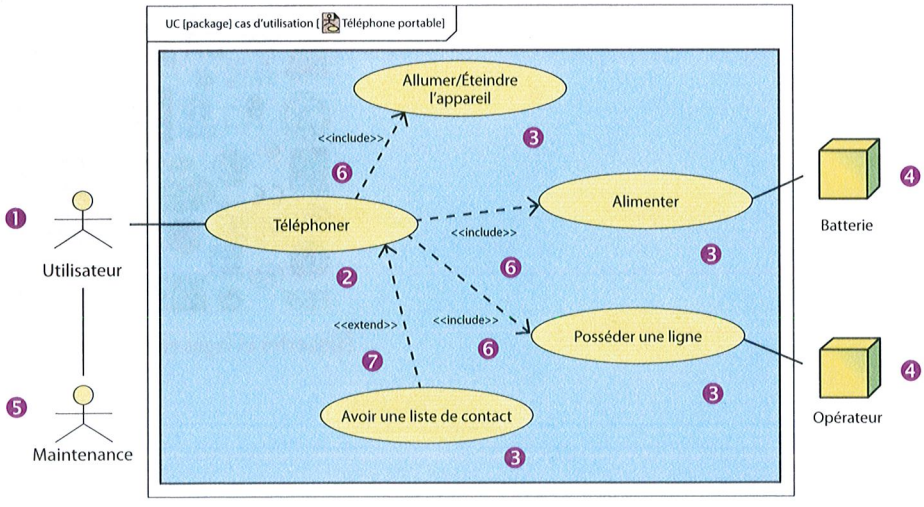


Diagramme des cas d'utilisation d'un téléphone portable

1 : utilisateur
2 : Cas d'utilisation
3 : Fonctions du système
4 : Acteurs non humains
5 : Acteur secondaire
6 : Liaison d'inclusion
7 : Liaison d'extension

3. La satisfaction client



La satisfaction du client dépend :

- de la disponibilité du produit,
- de sa fiabilité,
- de sa notoriété,
- de sa durabilité,
- de ses performances,
- de son coût.

On appelle **fonction d'estime** le degré de satisfaction d'un client à posséder le produit.

4. Design et ergonomie

Pour plaire aux clients, un produit doit allier le côté esthétique ainsi que le côté pratique et fonctionnel sans négliger la sécurité. Le **design et l'ergonomie** permettent de concevoir des objets alliant ces différents aspects.

Les normes françaises et internationales précisent les règles que doivent respecter les produits. Dans les entreprises, elles permettent d'améliorer les postes de travail et de lutter contre les TMS (Troubles Musculo-Squelettiques).

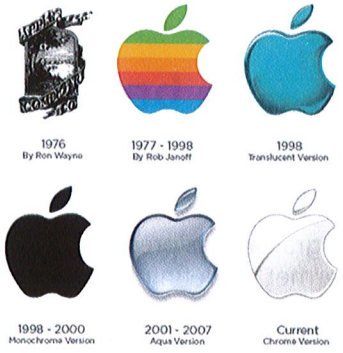


Étude de l'ergonomie d'un poste de travail

5. Stratégie commerciale

Parmi les principaux axes d'une stratégie commerciale, on peut citer :

- Le marketing.
- La publicité.
- Le packaging.
- Le logo.



Évolution du logo Apple dans le temps

6. Respect de l'environnement

Les étiquettes et logos environnementaux permettent aux clients de connaître l'impact environnemental des produits.



Étiquettes et logos environnementaux

SÉQUENCE 2

LEÇON

COMPÉTITIVITÉ D'UN PRODUIT, LE POINT DE VUE DU CONCEPTEUR

RÉFÉRENTIEL

1. Principes de conception des systèmes et développement durable
1.1 Compétitivité et créativité
1.1.1 Paramètres de la compétitivité
1.2.1 Étapes de la démarche de conception

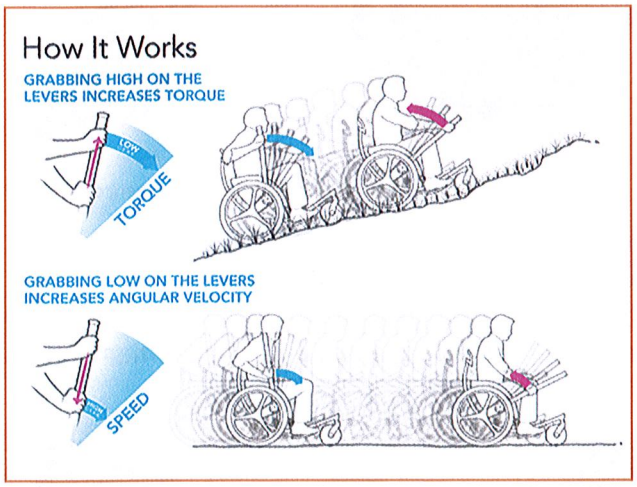
1. Situation déclenchante

DOC. Fauteuil roulant

Selon la Wheelchair Foundation, il est estimé que le nombre de personnes qui auront besoin d'un fauteuil roulant augmentera de 22 % au cours des 10 prochaines années, en majorité dans les pays en développement.

Amos Winter, récent diplômé de doctorat du département de génie mécanique du MIT*, est allé en Tanzanie dans le cadre de son travail en 2005. Il voulait comprendre comment les gens qui ont besoin de fauteuils roulants s'en sortent et comment la technologie actuelle de fauteuils roulants répondait aux besoins de mobilité des populations. Il s'est aperçu de la difficulté de circuler en fauteuil roulant sur terrain difficile et décida de trouver une solution.

Dans l'esprit de Winter, le fauteuil qu'il allait créer offrirait aux personnes : indépendance, autonomie, coût réduit. Il imagina alors un système de levier permettant d'avoir plus de puissance lors de l'avance du fauteuil.





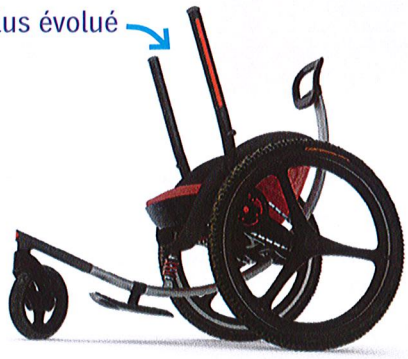
Une phase d'essais et de prototypes lui a permis d'affiner son projet.

Aujourd'hui, il propose deux modèles aboutis de fauteuils :

- Un modèle de base (peu cher, facile à dépanner)



- Un modèle plus évolué



* MIT : Massachusetts Institute of Technology

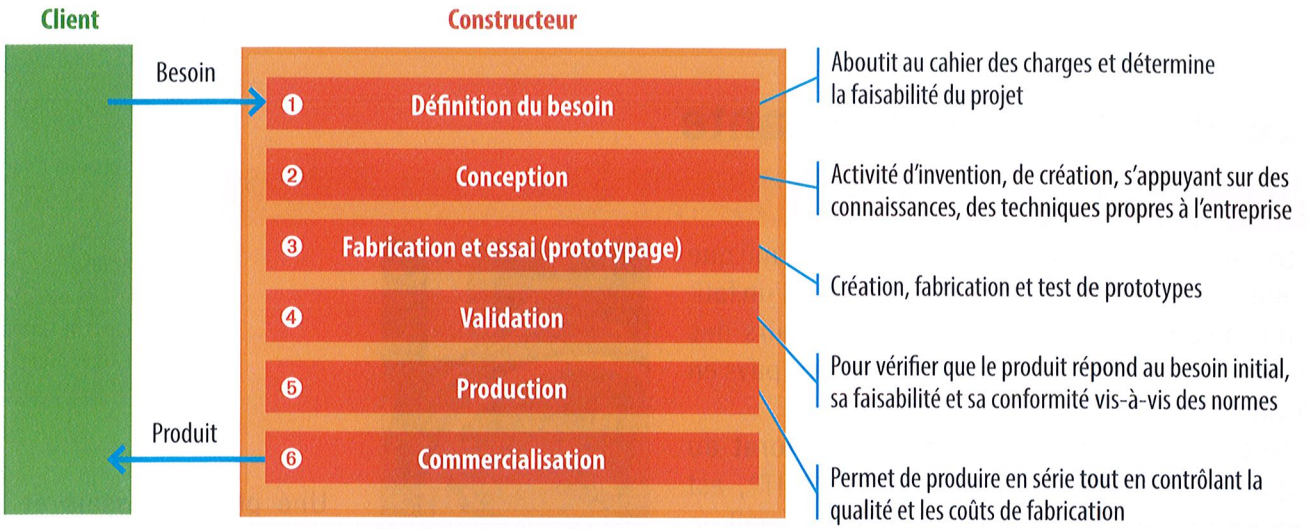
1. À quel besoin répond le produit ? .....

2. D'après le texte, numéroter dans l'ordre les étapes de conception qu'a dû suivre Amos Winter.

- ☐ Production finale
- ☐ Prototype
- ☐ Prise de conscience du problème
- ☐ Idée de solution
- ☐ Tests
- ☐ Définition du problème

2. Étapes de la démarche de conception

Concevoir un **produit**, c'est répondre à un **besoin** exprimé par des utilisateurs. La création d'un produit comporte plusieurs étapes.

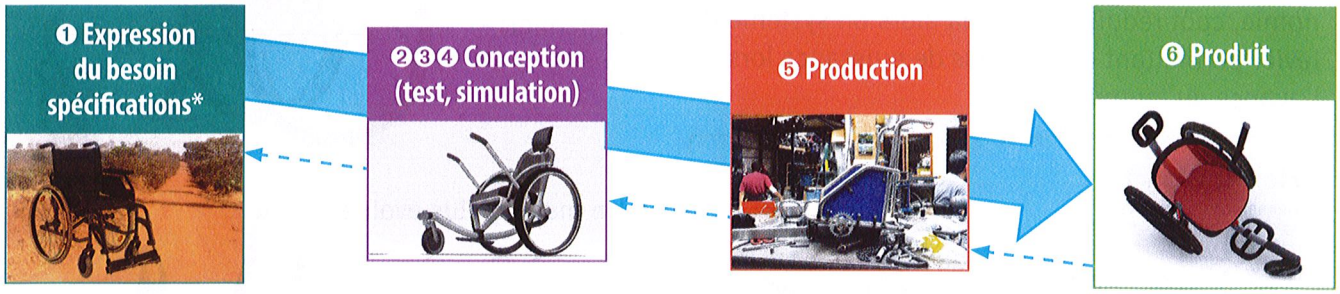


Ces étapes peuvent être articulées de différentes manières. Il existe donc différents cycle de conception : le cycle en cascade, le cycle en V, le cycle spiral, itératif, les méthodes « agiles », …

2.1. Cycle en cascade

Les étapes sont passées les unes après les autres. Si l'une ne convient pas, on revient à la précédente. C'est une **approche descendante**. C'est la plus simple et la plus naturelle mais l'inconvénient est son manque de réactivité (si quelque chose ne va pas, il faut remonter aux étapes précédentes).

Cycle en cascade simplifié



*Spécifications : ensemble explicite d'exigences à satisfaire

APPLICATION 1 Montre connectée

- La montre suivante est une montre connectée utilisant un cadran à aiguille sur lequel est placé un écran OLED transparent qui s'active au besoin. À quel numéro de phase du cycle en cascade appartiennent les photos suivantes ?

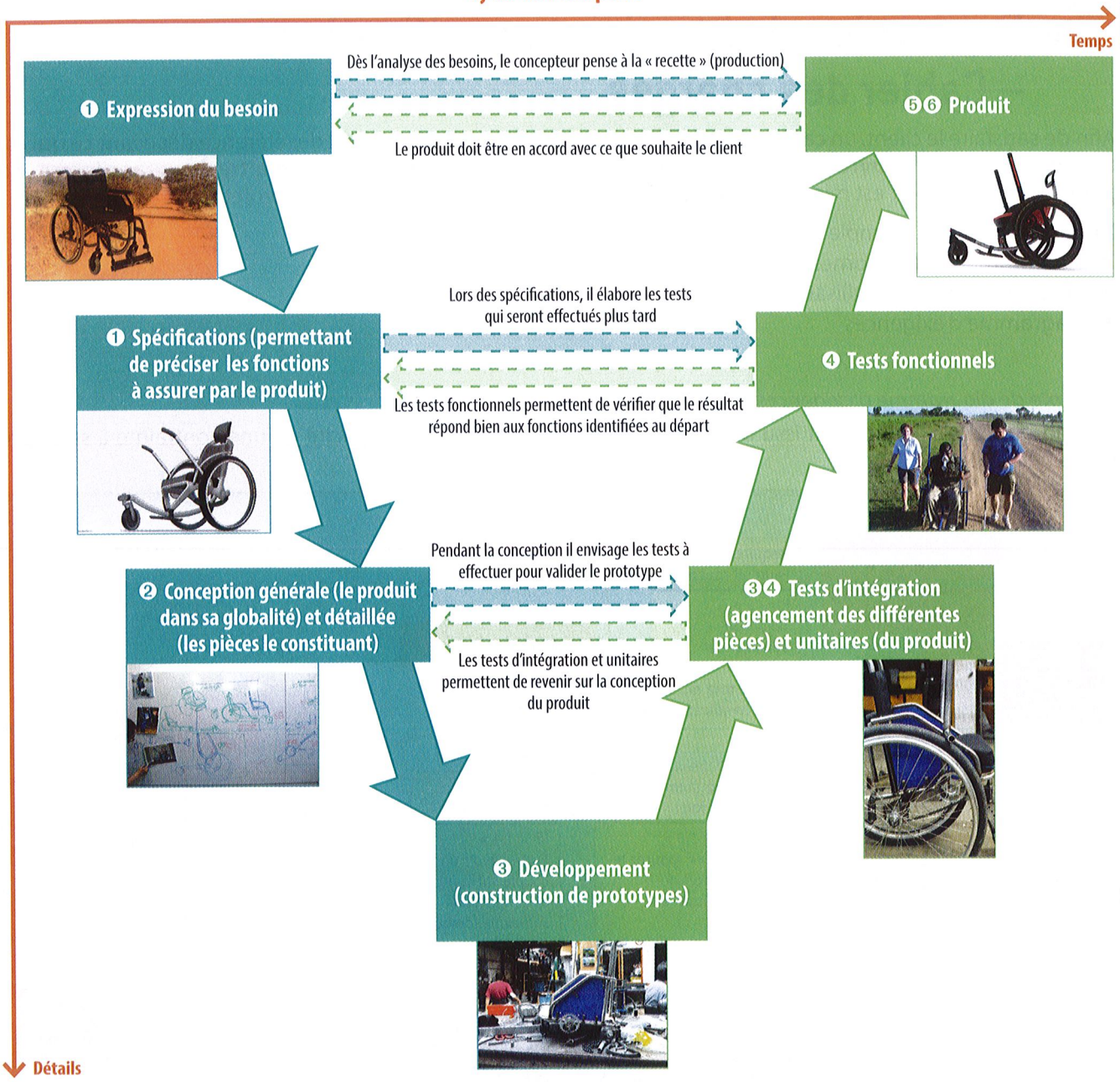


....

2.2 Cycle en V

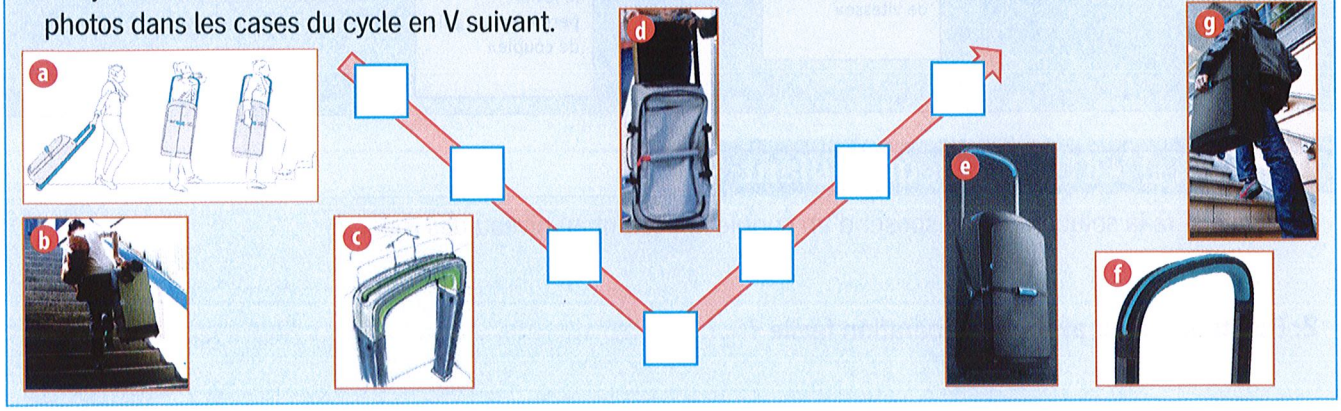
Le cycle en V consiste à mettre en vis-à-vis plusieurs phases de la conception afin de régler les éventuels problèmes le plus rapidement possible. Il découle du domaine informatique et est aujourd'hui appliqué à l'ingénierie des systèmes.

Cycle en V simplifié



APPLICATION 2 Valise

- L'objet suivant est une valise dont le design a été repensé pour plus de confort. Placer les lettres des différentes photos dans les cases du cycle en V suivant.



2.3 Cycles spirales, itératifs, ...

Ces cycles permettent un développement incrémental et utilisent souvent le prototypage et les tests. Ils visent la rapidité et la réactivité pour satisfaire le client.

3. Expression du besoin et spécifications – Cahier des charges

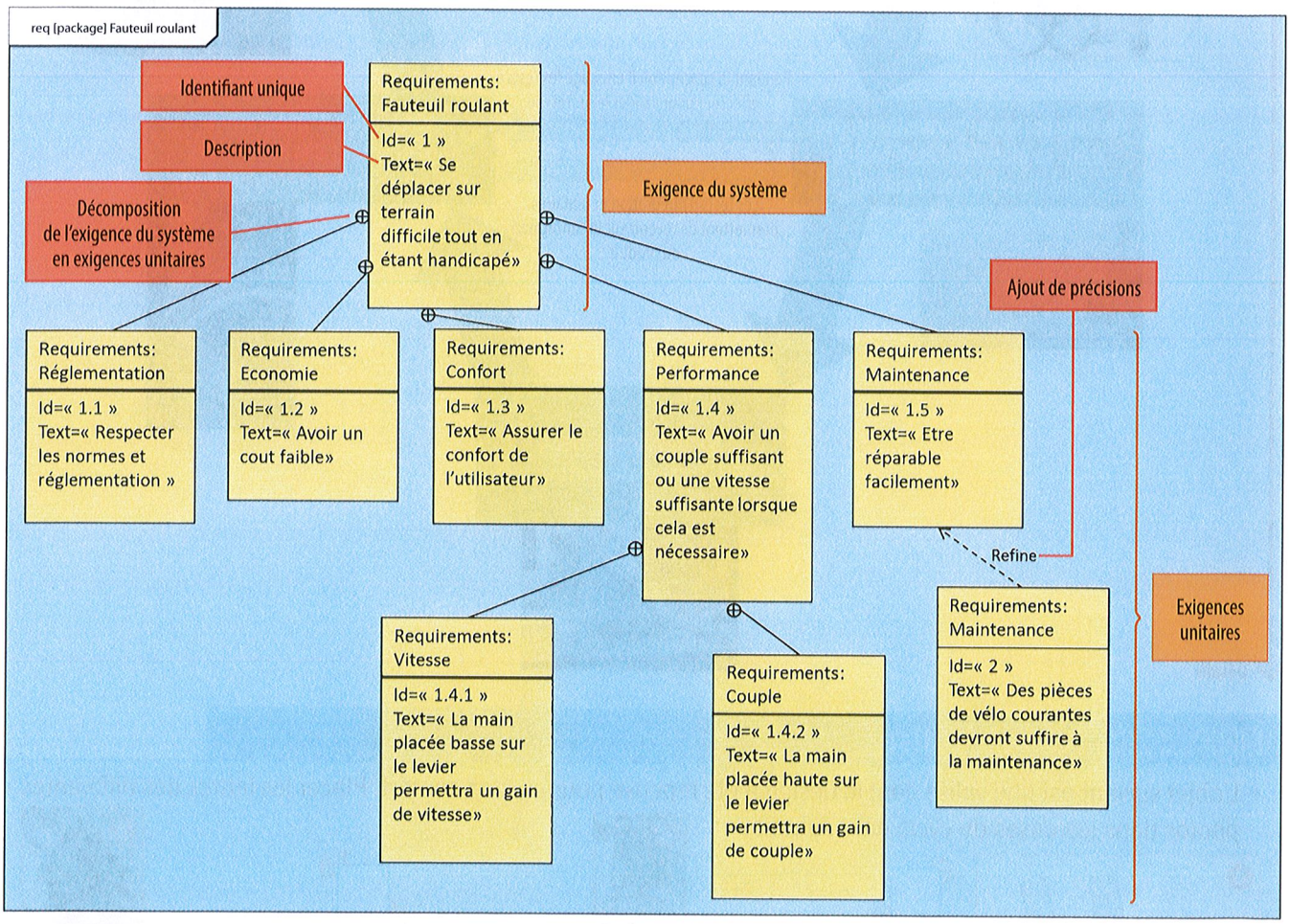
Afin de satisfaire le client, un **cahier des charges** est rédigé. C'est un document de référence décrivant ce qui est attendu du **maître d'œuvre** (personne qui a en charge la réalisation du projet) par le **maître d'ouvrage** (personne pour laquelle le projet est mis en œuvre). Il permet de lever toute ambiguïté sur le projet.

Il peut contenir par exemple certains diagrammes :

- Diagramme « bête à cornes » (vu dans la séquence 1)
- Diagramme de cas d'utilisation SysML (vu dans la séquence 1)
- Diagramme d'exigences
- ...

Exemple de diagramme d'exigences : fauteuil roulant

Le diagramme d'exigences est issu du cahier des charges. Il décrit une capacité ou une contrainte à satisfaire par le système.



APPLICATION 3 Fauteuil roulant

1. Quelle sera la solution pour disposer d'un couple important au niveau des roues ?

.....

2. Que faut-il pour avoir une réparation facile ?.....

.....

4 Innovation et créativité

Lors de la phase de conception, il faut faire preuve d'innovation et de créativité afin de trouver des solutions viables.

4.1 Innovation

L'innovation permet de prendre un avantage sur la concurrence en mettant sur le marché un produit répondant ou devançant les attentes des consommateurs. Il en existe quatre types :

- Innovation **technologique** qui concerne le fonctionnement du produit.
- Innovation **d'usage** qui concerne la façon d'utiliser le produit.
- Innovation **de procédé** qui concerne la façon de fabriquer le produit.
- Innovation **de commercialisation** qui concerne la façon de vendre le produit.

APPLICATION 4 Les types d'innovation

- Pour chacun des produits suivants, cocher et expliquer le ou les types d'innovation utilisés en suivant l'exemple de la 1re ligne.

Produit	Innovation technologique	Innovation d'usage	Innovation de procédé	Innovation de commercialisation
 Autolib		☒ Nouvelle façon d'utiliser l'automobile		☒ Nouvelle façon de commercialiser l'automobile
 Aspirateur autonome	☐	☐	☐	☐ .....
 Cadenas connecté (s'ouvre grâce au téléphone)	☐	☐	☐	☐ .....

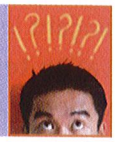
4.2 Créativité

La créativité permet à un groupe de personnes d'imaginer de nouveaux produits ou concepts, de nouvelles solutions ou façons de faire, … Il existe plusieurs méthodes qui aident à faire émerger des idées.

Démarche de créativité

Pour réaliser une démarche de créativité, il faut passer par plusieurs étapes :

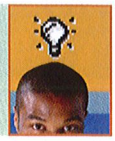
1 - Définition du sujet
Définir complétement le sujet afin de trouver la solution la plus adaptée possible



2 - Analyse du sujet
Faire un état des lieux de ce qui existe déjà afin de faire mieux



3 - Recherche d'idées
Chercher le plus d'idées possibles sans aucune censure



4 - Évaluation et tri
Évaluer et trier méthodiquement les idées les plus pertinentes



5 - Approfondissement
Étude technique et économique des idées retenues et choix de l'idée la plus pertinente



Démarche de brainstorming

Règles de bases :

- Ne jamais critiquer les idées des autres, laisser son imagination libre, chercher le plus grand nombre d'idées possible.

Déroulement



- Il faut un animateur qui doit poser le problème, faire respecter les règles de bases, animer la séance de recherche en posant des questions (lui seul peut en poser), noter les idées sur des post-it collés au tableau.
- L'animateur rappelle les règles et énonce le problème à résoudre.
- Chacun propose ses idées.
- L'animateur veille à ce que chacun ait la parole à tour de rôle et note les idées sur des post-it, toutes sans exception.
- Il peut poser des questions afin de clarifier ce qui a été dit.
- Le groupe peut rebondir sur les idées proposées.
- L'animateur peut relancer la recherche si les résultats ne sont pas satisfaisants.
- Une fois le nombre d'idées suffisant, il arrête le brainstorming.
- Enfin, l'animateur et le groupe classent les idées en bougeant et regroupant les post-it.

APPLICATION 5 Brainstorming

- Faire un brainstorming dans la classe afin de trouver un nouveau sport.

5. Prototypage

Une fois les idées sélectionnées et approfondies, il faut les concrétiser afin de les tester.

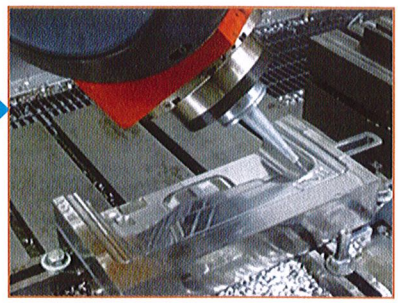
5.1 Les différents prototypes

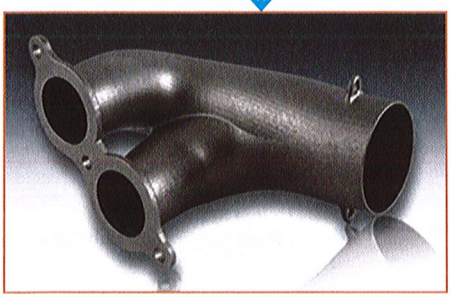
Aujourd'hui, le **prototypage rapide** permet d'avoir une maquette réaliste et fonctionnelle rapidement.

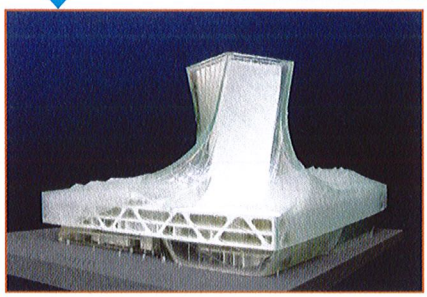
Il existe le prototype de **forme** (pour explorer le design, l'aspect), le prototype **fonctionnel** (pour valider les fonctions du produit) et le prototype d'**industrialisation** (pour valider la fabrication avec les bonnes formes, aspects, matières).

Plusieurs techniques existent :

- L'usinage très grande vitesse.
- L'impression 3D (fil de plastique, sable, stéréolithographie, …).
- La fusion de poudre métallique par laser.
- …

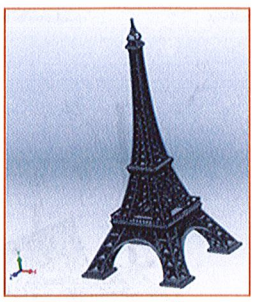




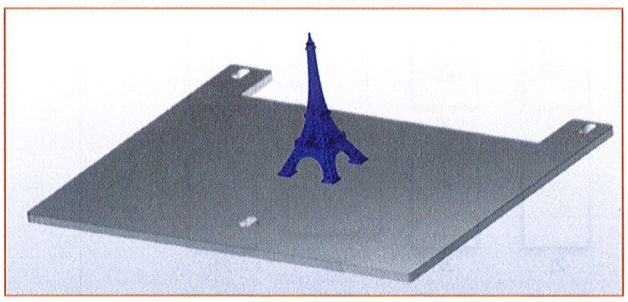


5.2 CAO

La plupart de ces procédés fonctionnent à partir de fichiers informatiques. Pour cela, il faut créer le modèle sur un logiciel de CAO (**Conception Assistée par Ordinateur**), enregistrer le fichier en format pour machine de prototypage (souvent STL), le transférer vers la machine, lancer la fabrication et affiner le modèle à la main (ébavurage, limage, …).



Conception sur ordinateur



Préparation pour la machine de prototypage

Aujourd'hui ce matériel est abordable pour beaucoup d'entreprises et le devient pour les particuliers qui peuvent ainsi réaliser toutes leurs idées.

5.3 Fab labs

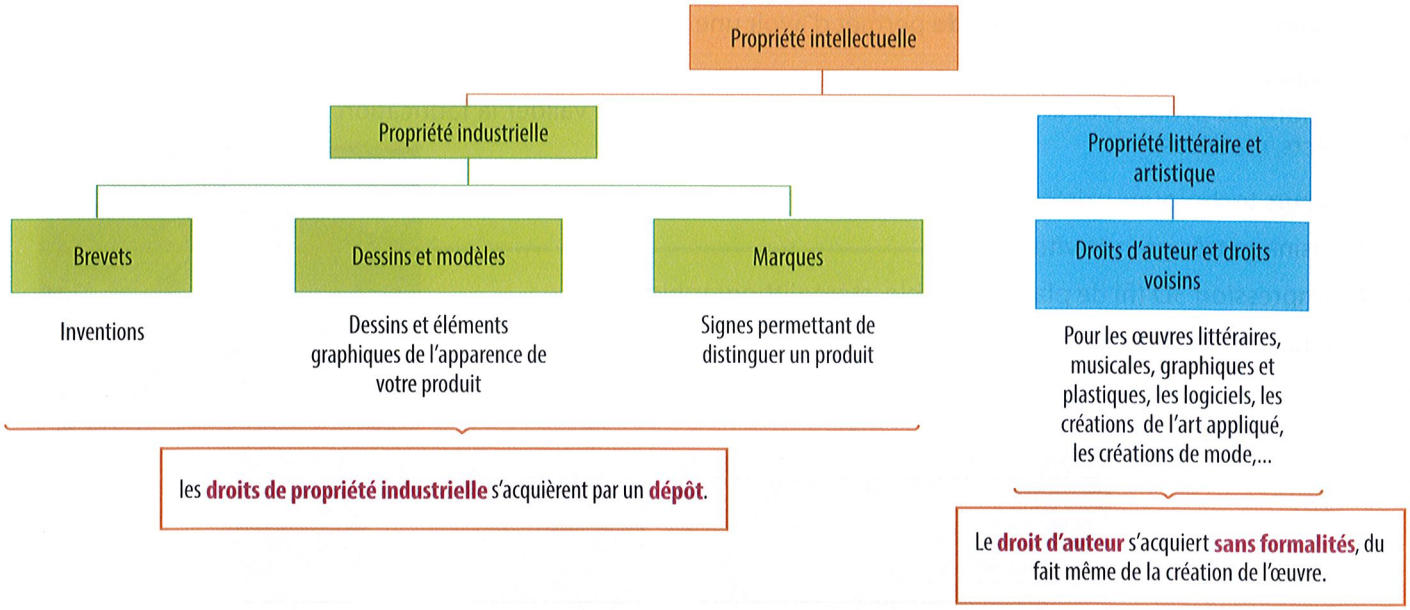
Il existe pour les gens ne voulant pas investir dans ce matériel des lieux ouverts au public nommés « **Fab labs** ». Ils permettent aux novices en conception de se familiariser rapidement avec ces outils et de bénéficier de nombreux conseils de la part des animateurs.

Le lien suivant permet de trouver les fab labs officiels : http://www.fabfoundation.org/

FABFOUNDATION

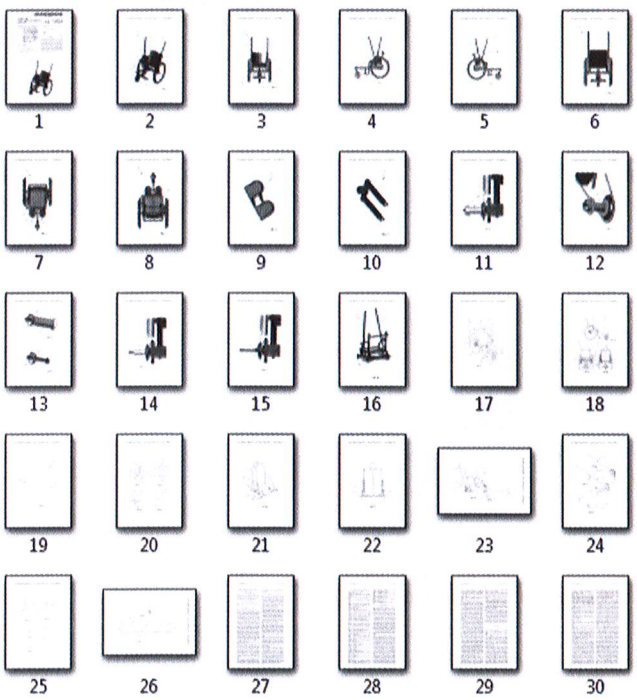
6. Propriété industrielle

Lorsque vous avez des idées, il peut être bon de les breveter. Le **dépôt d'un brevet** permet de protéger une création et de s'assurer un avantage compétitif. En France, l'Institut National de la Propriété Industrielle (INPI) permet de protéger ses créations, inventions, innovations. Suivant le type de production à protéger, les processus sont différents.

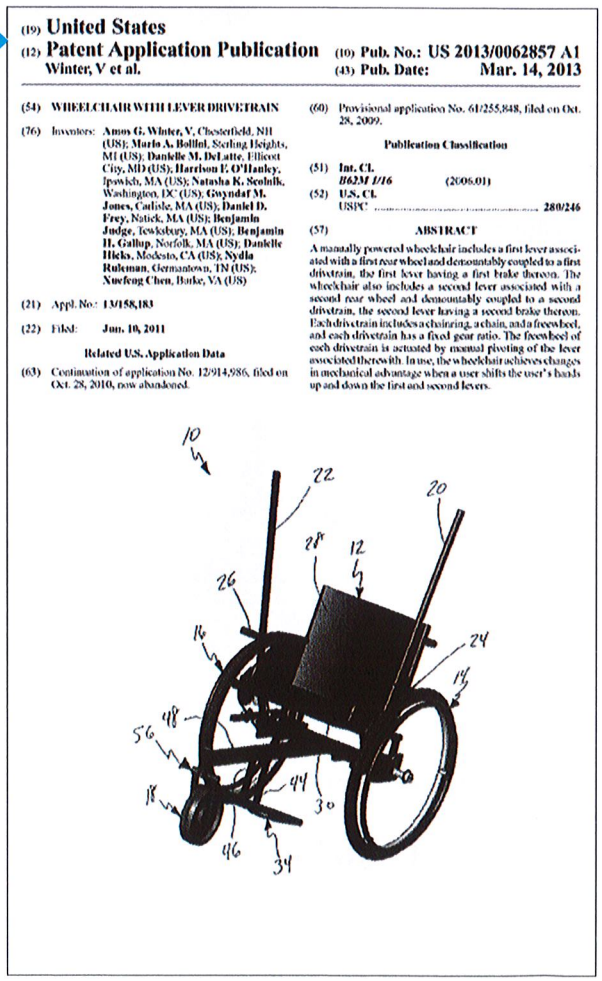


Exemple : brevet du fauteuil roulant

Structure du brevet



1re page du brevet



(19) **United States**
(12) **Patent Application Publication**
Winter, V et al.

(10) **Pub. No.: US 2013/0062857 A1**
(43) **Pub. Date: Mar. 14, 2013**

(54) **WHEELCHAIR WITH LEVER DRIVETRAIN**

(76) Inventors: **Amos G. Winter, V**, Chesterfield, NH (US); **Mario A. Bollini**, Sterling Heights, MI (US); **Danielle M. DeLatte**, Ellicott City, MD (US); **Harrison F. O'Hanley**, Ipswich, MA (US); **Natasha K. Scolnik**, Washington, DC (US); **Gwyndaf M. Jones**, Carlisle, MA (US); **Daniel D. Frey**, Natick, MA (US); **Benjamin Judge**, Tewksbury, MA (US); **Benjamin H. Gallup**, Norfolk, MA (US); **Danielle Hicks**, Modesto, CA (US); **Nydia Ruleman**, Germantown, TN (US); **Xuefeng Chen**, Burke, VA (US)

(21) Appl. No.: **13/158,183**

(22) Filed: **Jun. 10, 2011**

Related U.S. Application Data

(63) Continuation of application No. 12/914,986, filed on Oct. 28, 2010, now abandoned.

(60) Provisional application No. 61/255,848, filed on Oct. 28, 2009.

Publication Classification

(51) **Int. Cl.**
B62M 1/16 (2006.01)

(52) **U.S. Cl.**
USPC **280/246**

(57) **ABSTRACT**

A manually powered wheelchair includes a first lever associated with a first rear wheel and demountably coupled to a first drivetrain, the first lever having a first brake thereon. The wheelchair also includes a second lever associated with a second rear wheel and demountably coupled to a second drivetrain, the second lever having a second brake thereon. Each drivetrain includes a chainring, a chain, and a freewheel, and each drivetrain has a fixed gear ratio. The freewheel of each drivetrain is actuated by manual pivoting of the lever associated therewith. In use, the wheelchair achieves changes in mechanical advantage when a user shifts the user's hands up and down the first and second levers.

APPLICATION 6 Brevet

1. Dans quel pays a été déposé ce brevet ?

.....

2. Quelle est sa date de publication ?

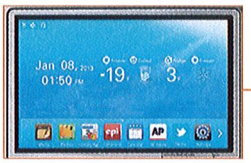
.....

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 2 TD

COMPÉTITIVITÉ D'UN PRODUIT, LE POINT DE VUE DU CONCEPTEUR

Activité 1. Diagramme d'exigences





Le réfrigérateur ci-contre est doté d'un écran tactile permettant l'accès à des applications (météo, calendrier, photos, ...), et aux réglages de température de différentes sections de l'appareil.

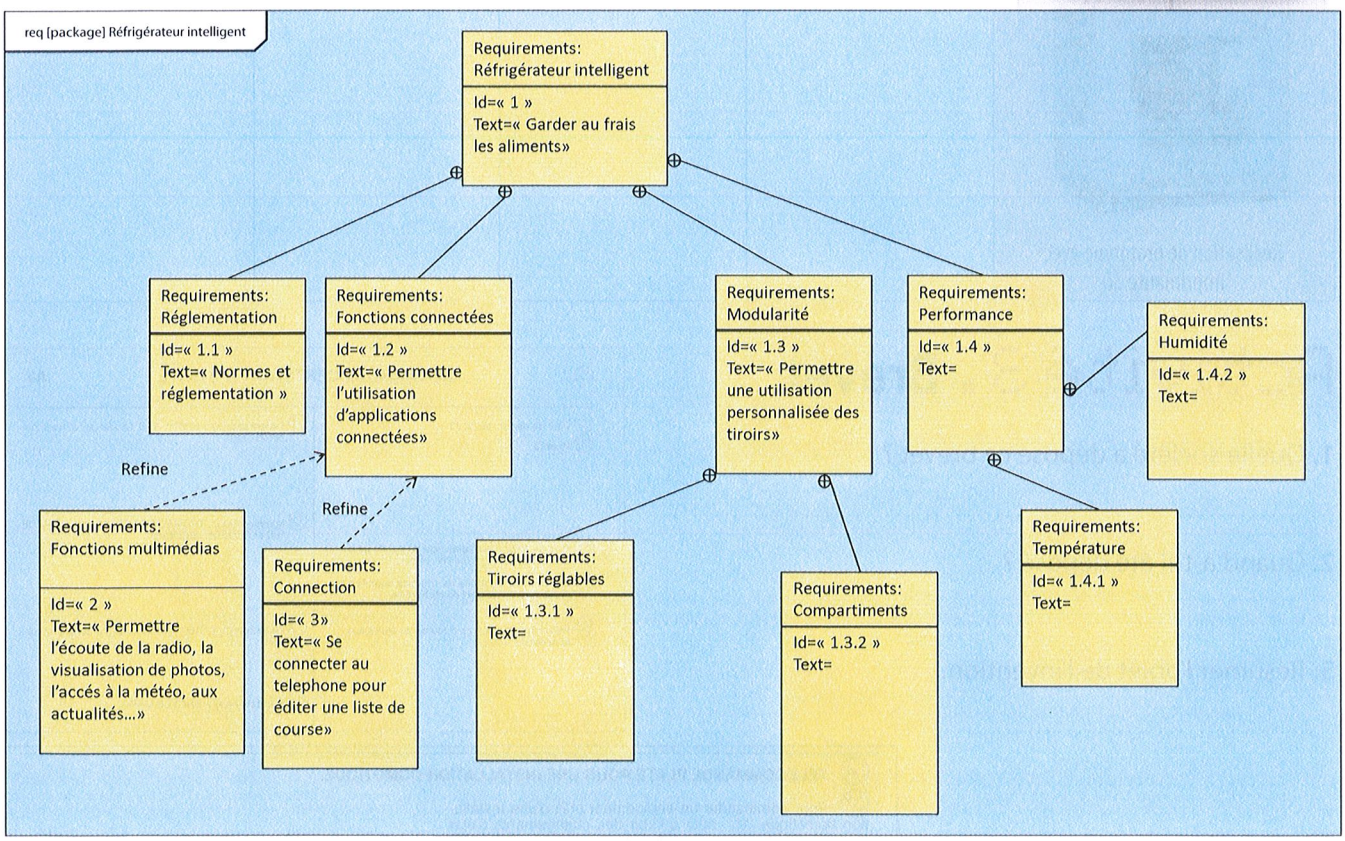
1. Quelles sont les fonctions connectées apportées par le produit ?

.....

.....

2. Reclasser les phrases suivantes dans les cadres correspondants du diagramme.

① « Permettre la personnalisation de la taille de tiroirs », ② « Permettre l'utilisation des compartiments pour la congélation ou la réfrigération », ③ « Maintenir à la bonne température », ④ « Maintenir la bonne teneur en humidité », ⑤ « Conserver au mieux les aliments ».



3. Un élément est entouré en **rouge** sur la photo. Quelle est son utilité ?

.....

4. Ajouter une exigence unitaire id = « 1.5 » lui correspondant sur le diagramme précédent.

5. Décomposer cette exigence et compléter le diagramme.

Activité 2 - Innovation

- Pour chacun des produits suivants, cocher et expliquer le ou les types d'innovation utilisés en suivant l'exemple du cours.

Produit	Innovation technologique	Innovation d'usage	Innovation de procédé	Innovation de commercialisation
 Lecteur MP3 étanche				
 Paiement sans contact par smartphone				
 Réalisation de prototype avec imprimante 3D				

Activité 3 . Brevet

1. Quelle société a déposé ce brevet ?

.....

2. Quand a-t-il été déposé ?

.....

3. Résumer l'objet de l'invention.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

(12) **DEMANDE DE CERTIFICAT D'UTILITE** **A3**

(22) **Date de dépôt** : 05.02.13.
(30) **Priorité** :

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 08.08.14 Bulletin 14/32.

(56) **Les certificats d'utilité ne sont pas soumis à la procédure de rapport de recherche.**

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :

(71) **Demandeur(s)** : *SOMFY SAS Société par actions simplifiée* — FR.

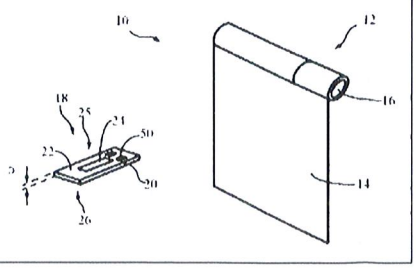
(72) **Inventeur(s)** : THOMAS DIETER. REMOND FREDERIC et COSSON JACQUES.

(73) **Titulaire(s)** : SOMFY SAS Société par actions simplifiée.

(74) **Mandataire(s)** : BROYDE MARC.

(54) **TELECOMMANDE PLATE POUR UNE INSTALLATION DOMOTIQUE.**

(57) Pour commander un équipement (12) d'une installation domotique (10), apte à subir des changements d'état d'amplitude variable, on utilise une télécommande (18) comportant un boîtier (20) présentant une face supérieure (22) pourvue d'une interface tactile (25) permettant de détecter les amplitudes de déplacement d'un doigt (44) d'un utilisateur ou les amplitudes d'une force exercée par un doigt (44) d'un utilisateur et une face inférieure (26) située à l'opposé de la face supérieure, caractérisée en ce que la plus grande distance D entre la face supérieure (22) et la face inférieure (26) est inférieure à 10 mm.



Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 2 ÉTUDE DE CAS

CHARIOT MANIPULABLE

DOC. Chariot manipulable

Hong Yen LOFTIN, designeuse industrielle, a eu l'idée d'un nouveau chariot.

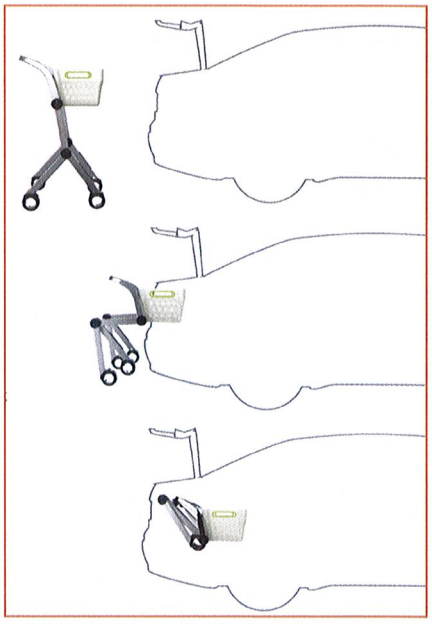
« J'ai commencé mon travail par la recherche sur le vieillissement de la population, y compris les tâches les plus courantes effectuées. Cela m'a permis de faire des recoupements et d'identifier rapidement les tâches qui étaient les plus importantes, les plus difficiles, et pourquoi. [...] La partie la plus difficile quand l'on fait ses courses a lieu après avoir quitté le magasin. Les utilisateurs n'ont plus l'aide du panier d'épicerie et doivent charger, décharger, et faire plusieurs voyages avec ces lourdes charges. [...] J'ai identifié que de nombreux chariots existaient sur le marché, mais aucun qui aiderait dans la tâche de chargement et de déchargement. Le but était de combler les lacunes manquantes : la conception d'un panier d'utilité personnelle qui permettrait d'améliorer les courses en minimisant l'effort de chargement/déchargement et de levage lourd.

J'ai exploré par croquis de nombreuses méthodes permettant de charger le panier dans le véhicule : utiliser des rampes, atteler le panier sur la voiture, ... J'ai été vraiment inspiré par une civière médicale qui se repliait automatiquement afin d'être rangée à l'arrière d'une ambulance sans levage.



[...] J'ai réalisé ensuite plus de trente modèles à la main fabriqués à partir de carton. Puis j'ai fait trois prototypes grandeur nature des meilleures idées. Après quelques améliorations et de nombreux essais, j'ai été en mesure d'identifier le meilleur mécanisme.

J'ai affiné ma conception plus loin avec de la CAO. Il était important que l'esthétique ne donne pas une sensation médicale. La faisabilité devaient aussi être étudiée avec soin : cadre en aluminium pour son esthétique, léger et élégant, silicone aux couleurs vives pour le confort.»



D'après www.jamesdysonaward.org

1. Cahier des charges

1. Reformuler en deux phrases maximum l'idée de Hong Yen LOFTIN.

.....

.....

2. Quelles différentes étapes de conception a-t-elle suivies ?

.....

.....

3. D'après le diagramme ci-contre, quel est l'avantage de ce chariot par rapport à un chariot classique ?

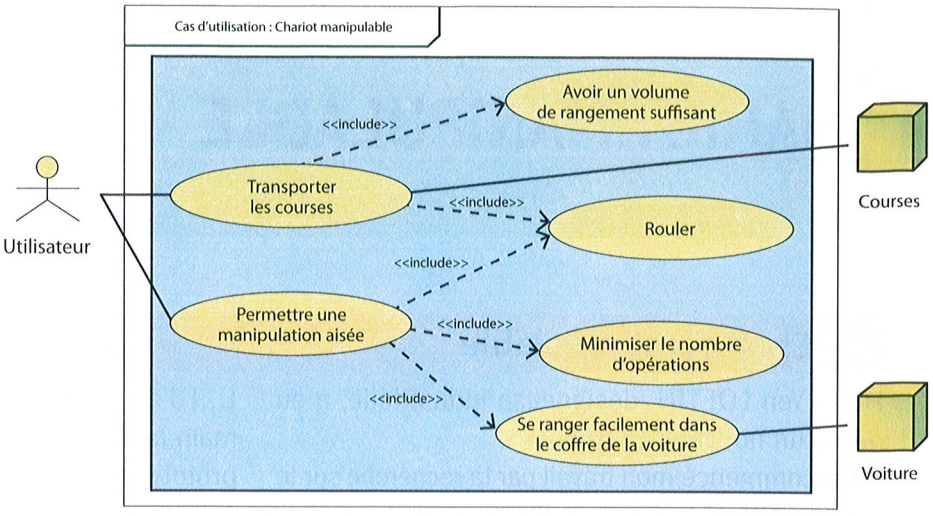
.....

.....

.....

.....

.....

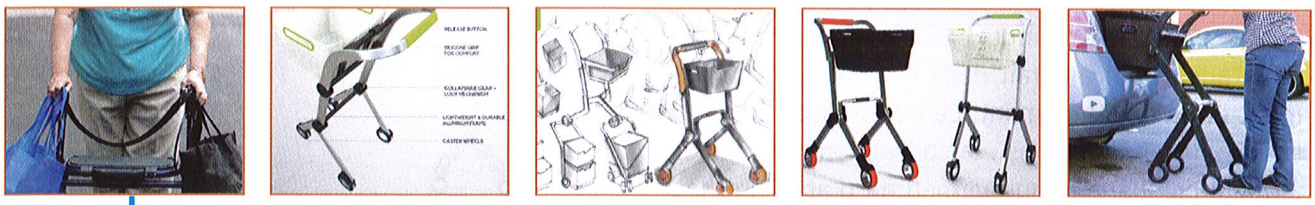


2. Cycle de conception

1. D'après le document, de quel type de cycle s'agit-il ?

.....

2. Numéroter dans l'ordre les différentes étapes de la conception du produit. Relier les images à l'étape correspondante (voir exemple pour la 1re étape).



Étape .... : Conception CAO et choix parmi différentes solutions	Étape .... : Essai sur prototype	Étape 1 : Définition du problème	Étape .... : Produit fini	Étape .... : Recherche de solutions par le croquis

3. Type d'innovation

- Trouver le type d'innovation qu'apporte ce produit (expliquer votre choix).

Produit	Innovation technologique	Innovation d'usage	Innovation de procédé	Innovation de commercialisation
 Chariot pliable				

4. Brevets

- Afin d'étudier la concurrence, trouver d'autres chariots brevetés pouvant faciliter le shopping sur le site //fr.espacenet.com/

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

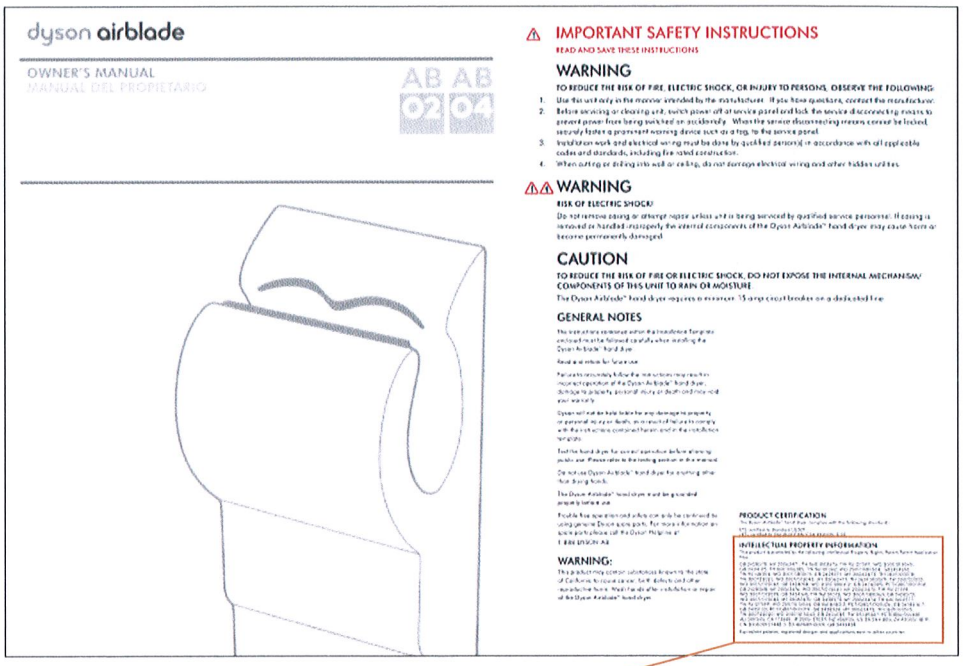
SÉQUENCE 2

INVESTIGATION 1

RECHERCHE D'UN BREVET

Sur le mode d'emploi du sèche-mains Dyson, il est écrit le texte ci-dessous.





dyson airblade

OWNER'S MANUAL

MANUAL DEL PROPIETARIO

IMPORTANT SAFETY INSTRUCTIONS

READ AND SAVE THESE INSTRUCTIONS

WARNING

TO REDUCE THE RISK OF FIRE, ELECTRIC SHOCK, OR INJURY TO PERSONS, OBSERVE THE FOLLOWING:

1. Use this unit only in the manner intended by the manufacturer. If you have questions, contact the manufacturer.
2. Before servicing or cleaning unit, switch power off at service panel and lock the service disconnecting means to prevent power from being switched on accidentally. When the service disconnecting means cannot be locked, securely fasten a prominent warning device such as a tag, to the service panel.
3. Installation work and electrical wiring must be done by qualified person(s) in accordance with all applicable codes and standards, including fire-rated construction.
4. When cutting or drilling into wall or ceiling, do not damage electrical wiring and other hidden utilities.

WARNING

RISK OF ELECTRIC SHOCK!

Do not remove casing or attempt repair unless unit is being serviced by qualified service personnel. If casing is removed or handled improperly, the internal components of the Dyson Airblade™ hand dryer may cause harm or become permanently damaged.

CAUTION

TO REDUCE THE RISK OF FIRE OR ELECTRIC SHOCK, DO NOT EXPOSE THE INTERNAL MECHANISM/ COMPONENTS OF THIS UNIT TO RAIN OR MOISTURE

The Dyson Airblade™ hand dryer requires a minimum 15 amp circuit breaker on a dedicated line.

GENERAL NOTES

PRODUCT CERTIFICATION

INTELLECTUAL PROPERTY INFORMATION

WARNING:

INTELLECTUAL PROPERTY INFORMATION

This product is protected by the following intellectual Property Rights Patent/Patent Application Nos.:

GB 2428570; MY 20063471; TH 0601003575; TW 95127597; WO 2007/015040; GB 2434195; TH 0601006285; TW 96101042; WO 2007/080364; GB2434266; TW 95148304; WO 2007/083075; GB 2428571; MY 20063473; TH 0601003578; TW 200722021; WO 2007/015045; MY 20063477; TH 0601003579; TW 200722022; WO 2007/015046; GB 2434094; WO 2007/080412; GB 2434095; PCT/GB07/000106; GB 2428568; MY 20063476; WO 2007/015041; MY 20063475; TW 95127598; WO 2007/015039; GB 2434160; TW 96101015; WO 2007/080363; GB 2428573; WO 2007/015042; MY 20063470; GB 2428572; MY 20063474; TH 0601003577; TW 95127599; WO 2007/015044; GB 0618483.2; PCT/GB07/000426; GB 0618616.7; GB 2435133; PCT/GB07/000379; GB 2428569; MY 20063472; TH 0601003576; TW 200722020; WO 2007/015043; GB 2434745; TW 95149367; PCTGB06/004681; AU 309345; CA 113889; JP 2005-37027; NZ 406935; US 29/244,805; ZA A2005/1819; CN 200630131448.3; ED 469689-0001; GB 2433428

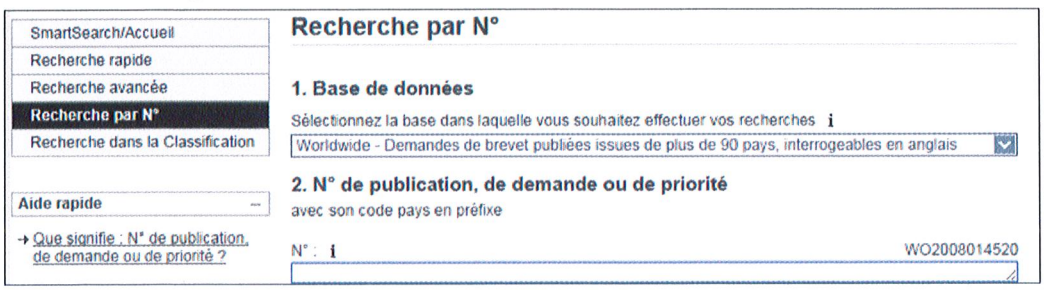
1. D'après vous, à quoi correspondent les numéros ci-dessus ?

.....

2. Aller sur le site http://fr.espacenet.com/. Dans le document, plusieurs références sont citées. Que veulent dire les lettres GB, MY, TH, TW, WO, JP, NZ, ZA, AU ? (Penser à utiliser la rubrique aide du site espacenet).

.....

3. Sur le site, faire une recherche par numéro. Sélectionner la base de données mondiale (Worldwide). Taper la première référence du document ci-dessus : **GB2428570**. Effectuer la recherche. Cliquer sur le résultat. Ouvrir le « **document original** ».



4. Trouver les informations suivantes :

- date de dépôt de ce brevet (***Date of filling***) : .....
- date de publication (***Date of publication***) : .....
- le demandeur (***Applicants)*** : .....
- l'inventeur (***Inventors***) : .....
- ce que protège ce brevet (traduire la partie ***Abstract title***) : .....

.....

.....

5. Replacer dans l'ordre où ils apparaissent les éléments suivants du brevet : description, drawings, search report, claims, abstract bibliography. .....

.....

6. Expliquer ce que chacune de ces parties contient.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7. Le brevet pour être viable doit être publié au maximum 18 mois après la demande. Combien de temps s'est-t-il écoulé entre le dépôt du brevet et sa publication ? A-t-il été publié dans les temps ?

.....

.....

8. Ce brevet fait appel à d'autres brevets antérieurs (dernière page, partie : ***Documents considered to be relevant***). Trouver les 3 premiers brevets de cette dernière page sur le site espacenet et expliquer l'intérêt de chacune de ces inventions antérieures.

.....

.....

.....

.....

9. Rechercher d'autres brevets ayant pour but une technologie permettant de sécher les mains (recherche rapide ou avancée sur le site). Expliquer ce qu'ils protègent.

.....

.....

.....

.....

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 2 INVESTIGATION 2

LAMPE DE POCHE : DÉMARCHE DE CRÉATIVITÉ

Par groupes, vous allez suivre les différentes étapes permettant de trouver une solution au problème posé.

Attention : pour ne pas nuire à votre créativité, vous n'avez pas le droit d'utiliser Internet pendant cette activité.

Problème : on vous demande de concevoir une lampe de poche innovante. Elle devra être ergonomique, avoir un design attrayant, utiliser une énergie « propre » et éventuellement proposer des fonctions que d'autres lampes n'ont pas.



Étape 1. Définition du sujet



- Reformuler le problème avec vos propres mots. .....

.....

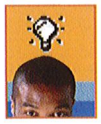
Étape 2. Analyse du sujet



- D'après vos connaissances, des lampes de ce type existent-elles déjà ? Si oui, les décrire. .....

.....

Étape 3. Recherche d'idées



- Faire un brainstorming et noter le plus d'idées possibles. .....

.....

Afin d'être encore plus créatif, plusieurs méthodes sont proposées. Noter le plus d'idées possibles sans aucun tri, ni censure. Vous pouvez faire des dessins pour mieux vous faire comprendre.

3.1 Méthode 1 : l'inversion

Il s'agit d'inverser le problème.

Problème inversé : Comment faire une lampe peu attrayante, peu ergonomique, … ?

1. Noter vos réponses à cette nouvelle question. .....

.....

2. Vous devez enfin rapprocher les solutions que vous venez de trouver à votre problème de départ afin de faire émerger de nouvelles idées. Qu'obtenez-vous ? .....

.....

3.2 Méthode 2 : la bissociation

Il s'agit d'associer deux objets complétement différents entre eux pour en trouver un nouveau.

- Associer la lampe de poche à un objet qui n'a rien à voir. *Exemple :* une lampe de poche et une cuillère. Faire l'essai avec le plus d'objets possible. Noter les idées que cela a permis de faire apparaître.

.....

3.3 Méthode 3 : les mots-ressorts



Il s'agit d'associer un mot à la lampe de poche. Choisir un mot au hasard dans le dictionnaire ou prendre un mot de la liste suivante (liste de Kent et Rosanoff - mots avec un grand pouvoir d'évocation).

table, sombre, musique, mal au cœur, homme, profond, mou, affamé, montagne, maison, noir, mouton, confort, main, court, fruit, papillon, moelleux, commandement, chaise, sifflement, femme, froid, lent, souhait, rivière, blanc, beau, fenêtre, rugueux, citoyen, pied, araignée, aiguille, rouge, sommeil, colère, tapis, fille, haut, travailleur, aigre, estomac, tige, lampe, rêve, jaune, pain, justice, garçon, lumière, santé, bible, souvenir, troupeau, bain, chaumière, rapide, bleu, affamé, prêtre, océan, tête, poète, long, religion, whisky, enfant, amer, marteau, assoiffé, cible, square, beurre, docteur, fort, voleur, lion, joie, lit, lourd, tabac, bébé, lune, ciseaux, calme, vert, sel, roi, fromage, fleur, effrayé.

- Associer ce mot à la lampe de poche. Créer un nouvel objet. Noter les idées que cela a permis de faire apparaître.

.....

Étape 4. Évaluation et tri



- Classer vos idées dans un tableau de ce type. Vous mettre d'accord et choisir les trois idées vous paraissant les plus pertinentes.

Classement	Idée
1	
2	
3	
...	

Étape 5. Approfondissement



1. Dessiner le plus en détail possible ces idées sur une feuille à part.

2. Donner les avantages et inconvénients de vos trois idées. .....

.....

.....

.....

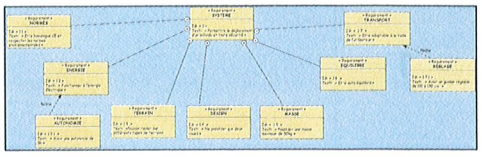
Exposé de vos résultats : Choisir une idée parmi les précédentes et l'exposer à la classe, y compris la démarche pour y arriver.

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

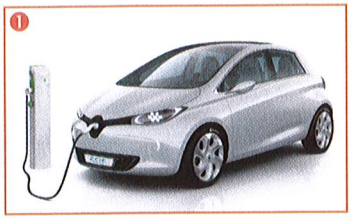
SÉQUENCE 2 INVESTIGATION 3

DIAGRAMME DES EXIGENCES

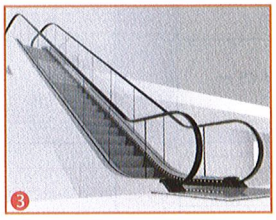
Le cahier des charges a été défini avec un client. Le diagramme des exigences ci-contre a été établi.



Un des produits représentés correspond à ce diagramme. Il va falloir trouver le bon.

















1. Éliminer les systèmes ne convenant pas, au fur et à mesure des exigences du tableau suivant.

Exigences	N° du (des) systèmes éliminés	Justification
« Requirement » SYSTEME Id= « . . . . . » Text= « Permettre le déplacement d'un individu en toute sécurité »		
« Requirement » NORMES Id= « . . . . . » Text= « Etre homologué CE et respecter les normes environnementales »		
« Requirement » ENERGIE Id= « . . . . . » Text= « Fonctionner à l'énergie électrique »		
« Requirement » TERRAIN Id= « . . . . . » Text= «Pouvoir rouler sur différents types de terrain»		
« Requirement » DESIGN Id= « . . . . . » Text= « Ne posséder que deux roues »		
« Requirement » MASSE Id= « . . . . . » Text= « Posséder une masse maximum de 50kg »		
« Requirement » EQUILIBRE Id= « . . . . . » Text= « Etre auto équilibré »		

2. Quel système répond à toutes ces exigences ? .....

3. Le tableau suivant regroupe les exigences précédentes plus quelques autres. Préciser pour chacune :

- L'exigence à laquelle elle se rattache ;
- le type de liaison (A : ⊕——— B : ◄– – – – *Refine*) ; l'identifiant.

Numéros exigences	Exigences	Rattachement	Type de liaison
1		« Requirement » SYSTEME Id= «. . . . . » Text= « Permettre le déplacement d'un individu en toute sécurité »	
2	« Requirement » NORMES Id= «. . . . . » Text= « Etre homologué CE et respecter les normes environnementales »		
3	« Requirement » ENERGIE Id= «. . . . . » Text= « Fonctionner à l'énergie électrique »		
4	« Requirement » TERRAIN Id= «. . . . . » Text= «Pouvoir rouler sur différents types de terrain»		
5	« Requirement » DESIGN Id= «. . . . . » Text= « Ne posséder que deux roues »		
6	« Requirement MASSE Id= «. . . . . » Text= « Posséder une masse maximum de 50kg »		
7	« Requirement » EQUILIBRE Id= «. . . . . » Text= « Etre auto équilibré »		
8	« Requirement » AUTONOMIE Id= «. . . . . » Text= « Avoir une autonomie de 3h »		
9	« Requirement » TRANSPORT Id= «. . . . . » Text= « Etre adaptable à la taille de l'utilisateur »		
10	« Requirement » HAUTEUR Id= «. . . . . » Text= « Avoir une guidon réglable de 110 à 130 cm »		

4. Sur une feuille ou à l'aide d'un ordinateur, tracer le diagramme des exigences du système.

SÉQUENCE 2 SYNTHÈSE

CE QU'IL FAUT RETENIR DE LA SÉQUENCE

Pour la création d'un produit, il faut prendre en compte plusieurs aspects.

1. Définition du besoin

Le besoin doit être défini correctement à l'aide du **cahier des charges**. Suivant le domaine d'application, le cahier des charges peut prendre plusieurs formes et pourra comprendre par exemple :

- des **diagrammes de cas d'utilisation** afin de préciser les comportements et fonctions attendues par le produit,
- des **diagrammes d'exigences** pour représenter et organiser les spécifications du produit,
- ...

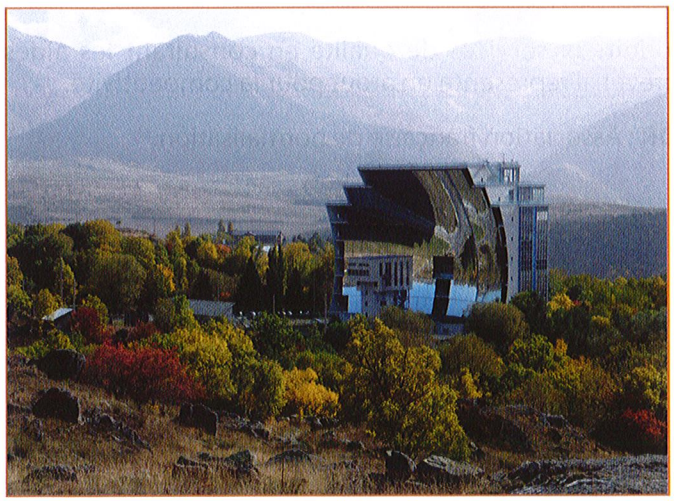
Souvent le nouveau produit est une évolution d'un produit précédent qu'il faut réadapter au public, aux nouvelles normes ou améliorer.

2. Démarche de conception

Le produit entre en phase de conception. Plusieurs **prototypes** sont testés. Une fois validé, le produit final est réalisé en série et commercialisé.

Lors de la **démarche de conception**, il est primordial de prendre en compte les aspects suivants :

- le coût,
- les fonctions d'estime (goûts et ressentis de l'utilisateur, design, ...),
- les contraintes environnementales (types d'énergies, de matériaux, cycle de vie du produit, normes, ...),
- le confort, l'efficacité, la sécurité (ergonomie),
- si c'est un ouvrage : le respect des sites naturels ou urbains concernés (ne pas dénaturer un paysage, conserver un panorama, ...).



Four solaire d'Odeillo – Font Romeu (66)



Viaduc de Millau (12)

3. Aspect économique

L'**aspect économique** est important lors de la démarche de conception. Pour que le produit soit rentable, il faut prendre en compte :

- le coût de l'étude pour le cahier des charges et la conception,
- le prix des prototypes et des tests associés,
- le prix de l'industrialisation : matières, pièces utilisées et leurs procédés de fabrication (nécessité de compromis entre la technique et son coût),
- le coût de la commercialisation (packaging, marketing, publicité, ...),
- le coût des dépôts de brevets, de marques, de dessins.



4. Propriété industrielle

Il peut être utile de consulter les bases de données de brevets afin de ne pas recréer un produit existant ou pour trouver des solutions techniques intéressantes pour le projet.

Le dépôt de **brevet** permet de protéger les aspects techniques du produit vis-à-vis de la concurrence et de montrer aux autres marques et au public son caractère innovant.

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

Le dépôt de **dessins** et **modèles** permet aussi de protéger l'aspect graphique d'une création (le logo, le design, ...).

Enfin, le dépôt de **marque** permet de protéger le nom du produit.

5. Normes

Une norme est un document qui définit des règles, exigences, spécifications, caractéristiques que doivent respecter l'entreprise ou le produit pour ses matériaux, produits, processus et services.

Ceci permet d'aider les entreprises à obtenir des produits et services de qualité en consultant les aides méthodologiques de ces normes. Comme le dépôt de brevet, il représente un atout pour la compétitivité.

L'organisme officiel français de normalisation est l'**AFNOR** : Association française de normalisation.

Si le libellé comporte :

- le sigle NF, il s'agit d'une norme française,
- le sigle ISO, il s'agit d'une norme internationale.

PAR AFNOR CERTIFICATION NF

ISO

SÉQUENCE 3

LEÇON

MISE À DISPOSITION DES RESSOURCES

RÉFÉRENTIEL

1. Principes de conception des systèmes et développement durable
1.2 Éco-conception
1.2.2 Mise à disposition des ressources

1. Situation déclenchante

DOC. Film Home

Le film HOME est un documentaire réalisé en 2009 par Yann ARTHUS-BERTRAND (diffusé gratuitement sur Internet).

Filmé vu du ciel, il montre l'état de la terre, l'impact de l'activité humaine sur l'environnement et ses conséquences sur le réchauffement climatique.



Après avoir visionné les deux extraits suivants, compléter les textes ci-dessous.

Extrait n°1 : (22' 50 à 26')

Il a fallu plusieurs ..... aux végétaux pour capter et stocker les énergies fossiles : .....

L'utilisation du pétrole a permis à une partie de l'humanité d'augmenter son confort de vie mais a provoqué une modification de la terre en .....

Durant les ..... dernières années, la population de la terre a presque ..... .

Des villes comme New-York, Shanghai, Shenzhen sont peuplées de ..... d'habitants et construisent des milliers de .....

Sur près de ..... milliards d'humains, la ..... vivent dans les villes.

Extrait n°2 : (1 h 24' 30 à 1 h 27' 25)

L'agriculture peut nourrir la terre entière si on ne consacre pas une partie à ..... .

Des nouveaux quartiers appelés ..... permettent de ne pas consommer d'énergie.

De nombreux gouvernements encouragent le développement des .....

..... % de l'énergie consommée actuellement vient des .....

En Chine ..... centrales à charbon se construisent par ..... mais dans beaucoup d'endroits de nouvelles méthodes de production sont mises au point ..... .

En ..... heures le soleil fournit à la terre toute l'énergie consommée par l'humanité en ..... .

Conclusion :

1. Quels sont les problèmes et enjeux environnementaux ? .....

.....

2. Quelles sont les solutions envisageables ? .....

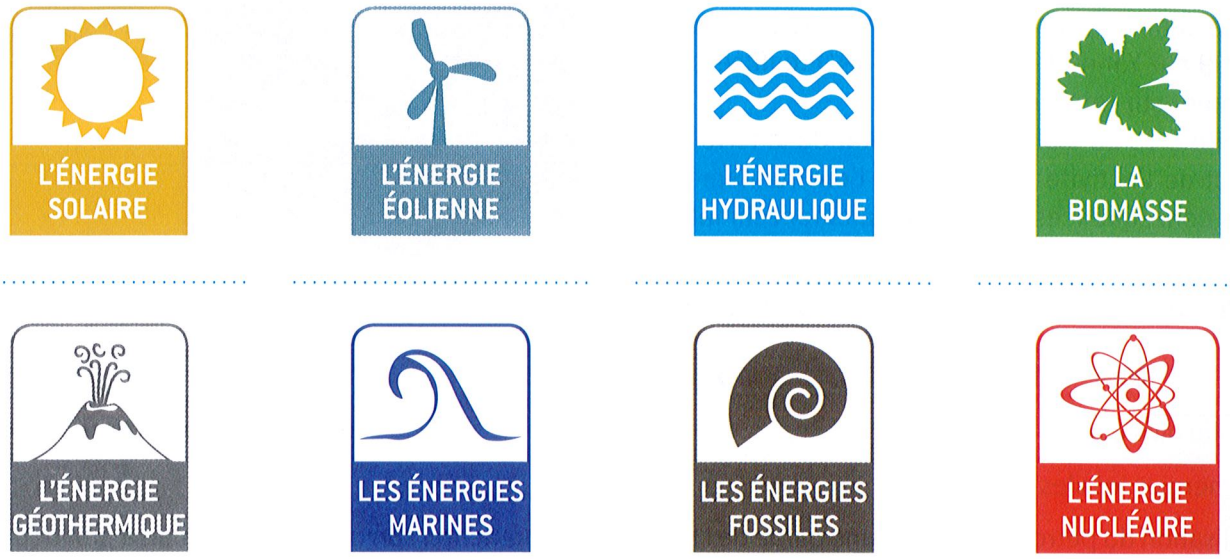
.....

2. Les énergies disponibles

L'énergie est disponible sur Terre sous la forme :

- **d'énergies non renouvelables** fossiles ou fissiles, présentes en quantités limitées. Elles nécessitent une transformation pour être utilisables.
- **d'énergies renouvelables** (énergies naturelles dont la vitesse de renouvellement est assez rapide pour qu'elles paraissent inépuisables) issues de phénomènes renouvelables ou naturels non épuisables. Elles sont exploitables directement.

2.1 Principales énergies disponibles



APPLICATION 1 Renouvelable - non renouvelable

1. Sur le schéma ci-dessus, entourer en **vert** les énergies renouvelables et en **rouge** les énergies non renouvelables.
2. Placer sous chaque énergie l'élément qui lui correspond parmi les suivants :
   uranium ; pompe à chaleur (air, eau, sol) ; vent ; bois – compost ; barrage ; panneau photovoltaïque ; hydrolienne ; centrale thermique.

2.2 Unités d'énergie

L'unité internationale pour l'énergie est le **Joule (J)**. Cependant on préfère exprimer l'énergie en : **Wattheure (Wh)** pour l'électricité, en **tonne équivalent pétrole (TEP)*** ou en **baril** pour le pétrole, en **British Thermal Unit (BTU)** ou en **m³** pour le gaz, en **tonne équivalent charbon (TEC)** pour le charbon et en **stère** pour le bois.

Le pétrole étant l'énergie la plus utilisée, on exprime toutes les énergies en TEP afin de pouvoir plus facilement les comparer.

1 joule = 1 Wattseconde
3 600 joules = 1 Wattheure
1 TEP = 41,868 Giga joules = 41 868 000 000 Joules
1 TEP = 39,68 MBTU
1 TEP = 11 630 kWh
1 TEP = 1,43 tonne équivalent charbon

Rappel :

- 1 kilo (k) = 1 000 = 10^3
- 1 Méga (M) = 1 000 000 = 10^6
- 1 Giga (G) = 1 000 000 000 = 10^9
- 1 Tera (T) = 10^{12}

* 1 TEP : Énergie fournie par la combustion d'une tonne de pétrole

APPLICATION 2 Comparaison de consommations

En 2012, le Japon a consommé au total 461,5 MTEP en énergies.

- Pour chaque type d'énergie, calculer la consommation en TEP et en % puis les classer par ordre croissant de consommation.

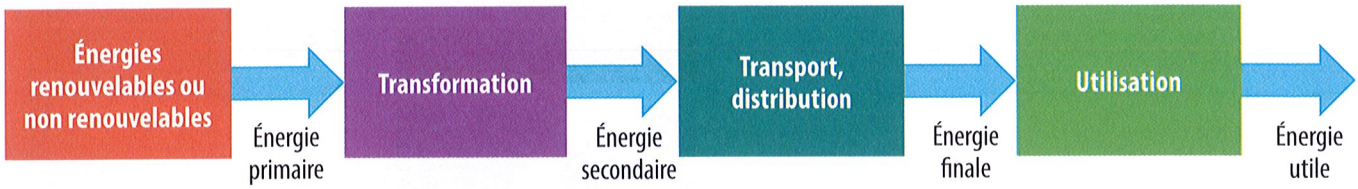
Consommation du Japon par type d'énergie

Énergie	En TEP	En BTU	En MWh	En kTEC	% de la consommation totale	Classement
Pétrole	215,5	✘	✘	✘		
Charbon		✘	✘	4 285		
Gaz		154,4	✘	✘		
Électricité		✘	285	✘		

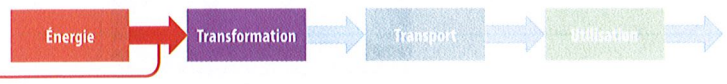
2.3 Les différentes transformations de l'énergie

L'énergie disponible sous forme naturelle doit être adaptée pour être utilisée.

Cycle d'adaptation de l'énergie



a) Énergie primaire



L'énergie primaire est disponible directement dans la nature sous forme de :

- **ressources primaires non renouvelables fossiles :** le pétrole, le charbon, le gaz, …
- **ressources primaires non renouvelables fissiles :** l'uranium
- **ressources primaires renouvelables :** le vent, le soleil, les courants marins, la géothermie, …

La biomasse et le bois sont classés parmi les ressources renouvelables tant que les quantités utilisées restent inférieures aux quantités produites

APPLICATION 3 Consommation d'énergie primaire dans le monde

1. Calculer en MTEP et en % la consommation mondiale en :

énergies non renouvelables : .....

.....

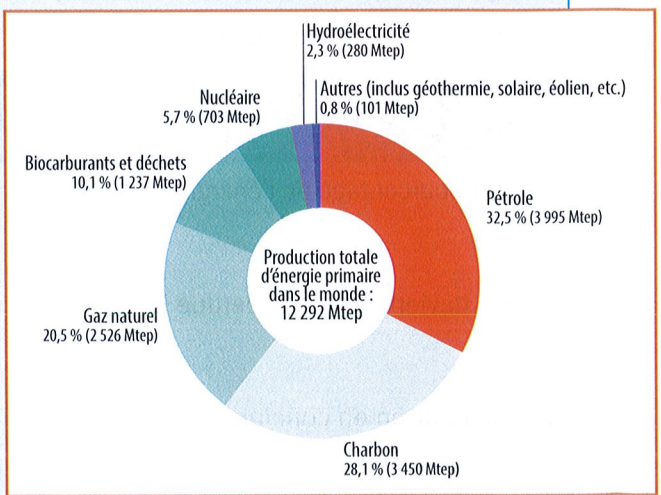
énergies renouvelables : .....

.....

2. Conclusion :

.....

.....



b) Énergie secondaire



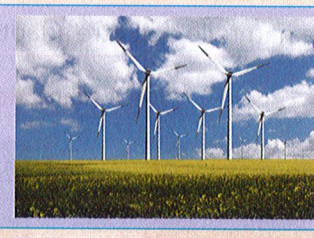
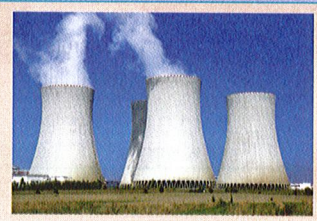
L'énergie secondaire est issue de la transformation d'une énergie primaire. Elle peut être stockée et transportée.

Exemple : le carburant automobile, l'électricité, …

Pour transformer l'énergie primaire en énergie secondaire, il faut un **transformateur d'énergie**.

APPLICATION 4 Transformateurs d'énergie

- Compléter le tableau suivant.

Source d'énergie primaire	Transformateur d'énergie	Énergie secondaire
.....	**Raffinerie** 	.....
.....	..... 	**Énergie électrique**
Uranium	..... 	.....

c) Énergie finale



L'énergie finale est l'énergie livrée au consommateur après transport et distribution. Elle est prête à être utilisée par le consommateur.

Exemple : carburant à la pompe, électricité domestique disponible sur les prises de courant, gaz en bouteille, …

d) Énergie utile



L'énergie utile est celle réellement utilisée par le consommateur après conversion par des appareils.

Exemple : lumière, chaleur, mouvement, …

APPLICATION 5 De l'énergie primaire à l'énergie utile en France

1. Quel pourcentage de l'énergie primaire devient vraiment utile ?

.....

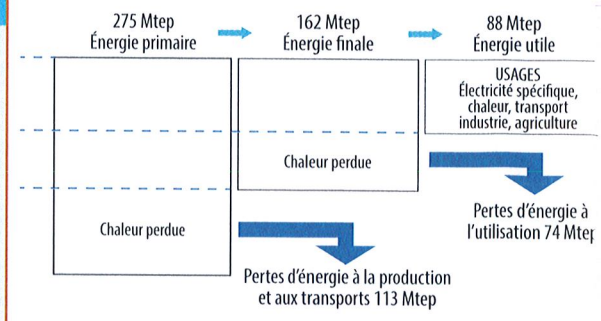
2. Que devient l'énergie perdue ?

.....

3. Que peut-on en conclure ?

.....

Un immense gaspillage en France !
d'après Observatoire de l'Énergie (énergie primaire et finale) et MIES, étude Pierre Radanne (énergie utile)



Total des pertes = 187 Mtep
68 % de l'énergie primaire sont perdus sous forme de chaleur inutilisée

L'énergie doit être extraite, transformée, transportée et distribuée pour être mise à disposition des utilisateurs. Ces actions influent fortement sur le prix payé au final par le consommateur.

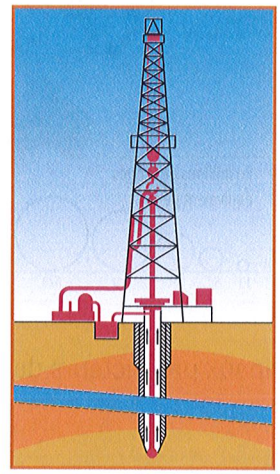
APPLICATION 6 L'exemple du pétrole

1. Placer les mots suivants dans le diagramme ci-dessous : oléoduc, arrivée du pétrole brut, puit d'extraction, superpétrolier/supertanker, derrick, plate-forme pétrolière, chaudière.

EXTRACTION DU PÉTROLE BRUT



.....



.....

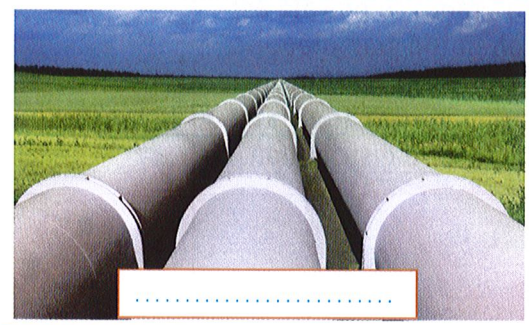


.....

TRANSPORT



.....



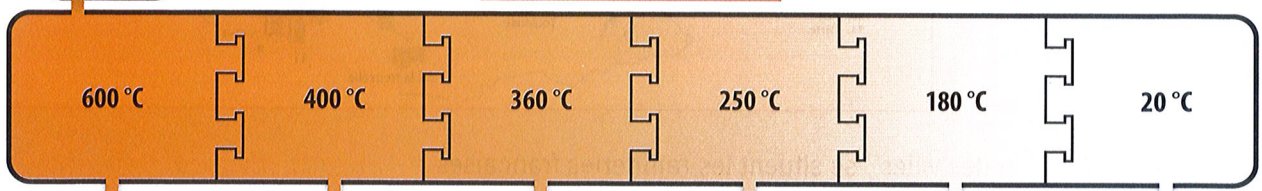
.....

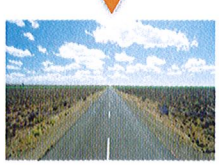
TRANSFORMATION - DISTRIBUTION : RAFFINERIE



.....

.....





Revêtement des routes



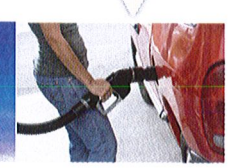
Huiles de base



Gazole, fuel



Kérosène



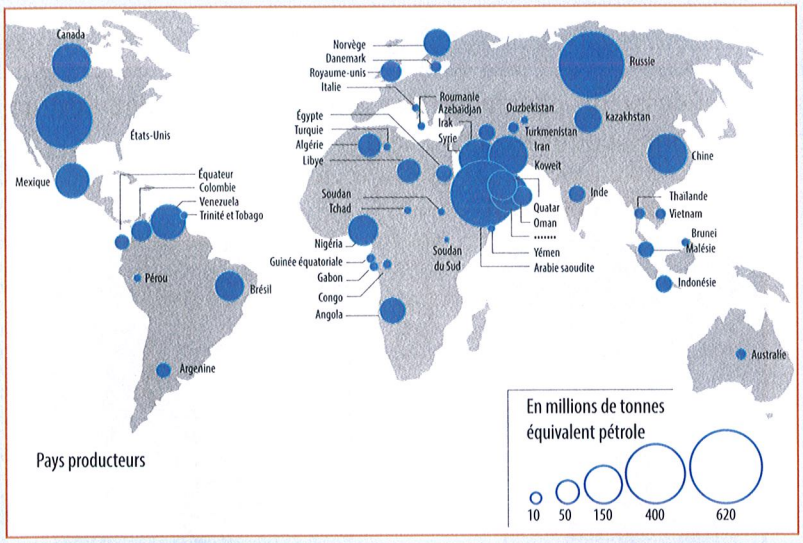
Essence



Butane, propane, GPL

Utilisations multiples après raffinage

Le pétrole doit être acheminé depuis les pays producteurs vers les pays consommateurs.





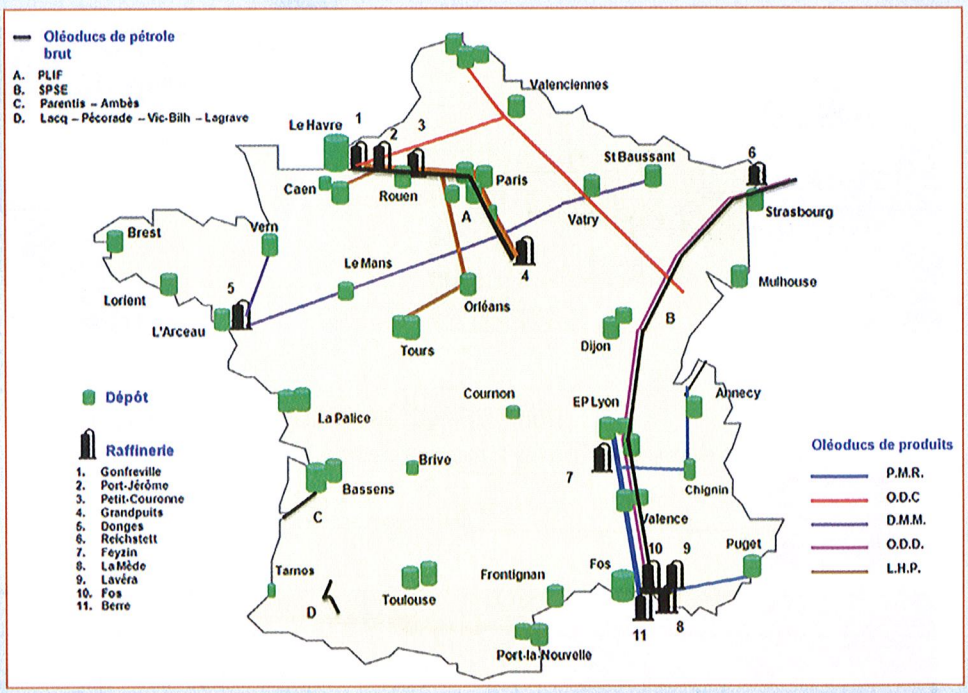
2. Citer par ordre d'importance, les principaux producteurs de pétrole dans le monde. .....

.....

3. Quels sont les pays* qui fournissent du pétrole à la France ? .....

.....

En France le pétrole est acheminé par oléoduc depuis les raffineries jusqu'aux principaux centres de distribution.



4. Près de quelles grandes villes** se situent les raffineries françaises ? .....

.....

.....

* Liste de pays : Algérie, Islande, Qatar, Inde, États-Unis, Venezuela, Chine, Gabon, Mexique, Arabie Saoudite, Chili, Koweït, Égypte, Australie, Norvège, Afrique du sud.

** Liste de villes : Lille, Brest, Nantes, Toulouse, Marseille, Bordeaux, Le Havre, Lyon, Valenciennes, Strasbourg, Rouen, Limoges, Brive, Melun.

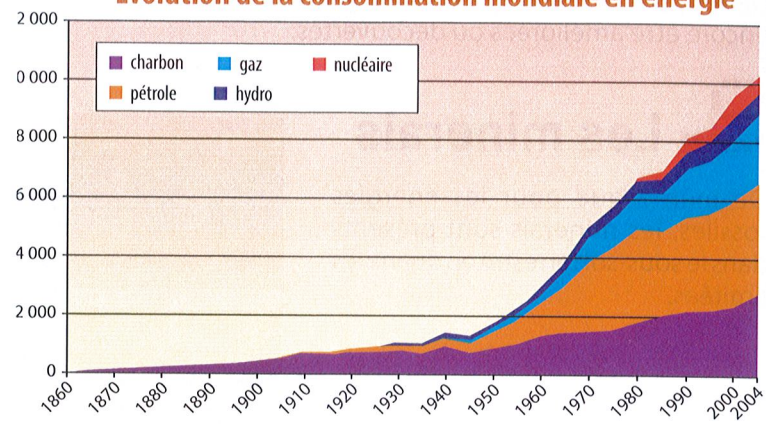
2.4 La transition énergétique

La transition énergétique désigne le passage d'un mode de consommation utilisant des énergies fossiles non renouvelables à un mode de consommation faisant appel à un **bouquet de sources énergétiques renouvelables.**

Si la consommation mondiale d'énergie continue au rythme actuel, les énergies primaires seront rapidement épuisées. Il faut trouver et imaginer des solutions :

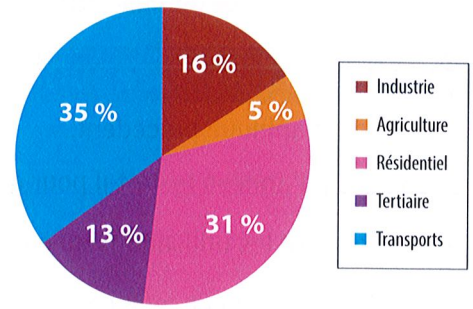
- Limiter au maximum la consommation énergétique.
- Arrêter ou remplacer progressivement les énergies fossiles.
- Utiliser des énergies renouvelables.

Évolution de la consommation mondiale en énergie



2.5 Limiter la consommation d'énergie

Les principaux secteurs consommateurs d'énergie sont les transports et le résidentiel. Différents moyens peuvent être employés pour limiter la consommation d'énergie dans ces deux secteurs.

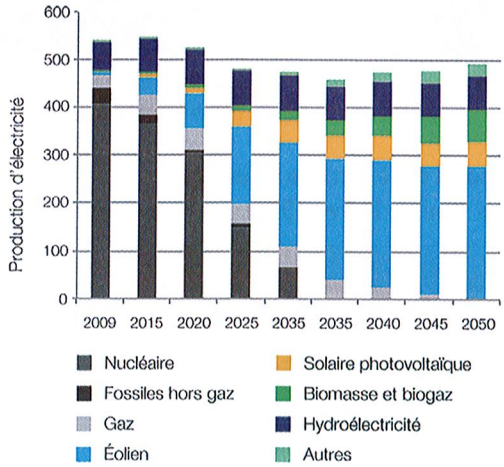


- **dans les transports**
  Véhicules à très faible consommation, véhicules électriques hybrides, biogaz …
  Développement des transports collectifs.
- **dans le résidentiel**
  Diminuer la consommation des biens de consommation courants.
  Pour les nouveaux bâtiments, construire des logements à faible consommation d'énergie. Pour les bâtiments existants, renforcer l'isolation et mieux gérer la consommation d'énergie.

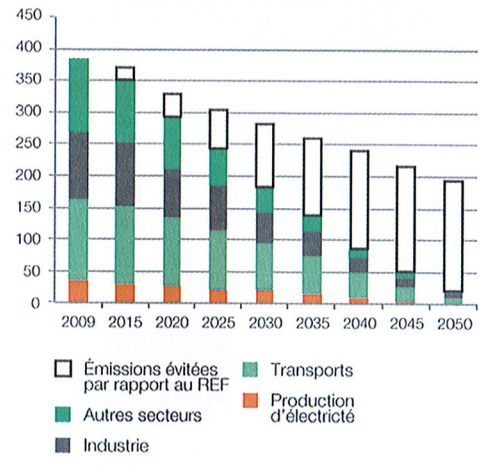
2.6 Remplacer les énergies fossiles

Scénario possible d'évolution dans l'utilisation des énergies (d'après Greenpeace) :

Production d'électricité



Émissions de gaz à effet de serre dans le cadre de ce scénario



APPLICATION 7 Scénario Greenpeace

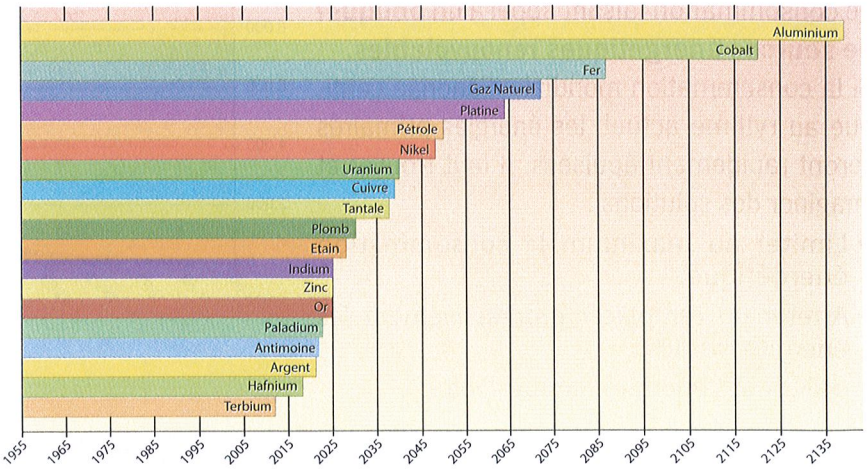
1. Que prévoit ce scénario (pour la production et pour les émissions de gaz à effet de serre) ? .....
.....
2. Quelle sera la situation en 2050 si ce scénario se réalise ? .....
.....

2.7 Utiliser des énergies renouvelables

Développer les centrales solaires, géothermiques, les champs éoliens … De nombreuses technologies peuvent encore être améliorées ou découvertes.

3. Les minerais

De même que pour les énergies fossiles, les minerais sont présents dans le sous-sol terrestre en quantités limitées.



Date d'épuisement des richesses exploitables de notre planète au rythme actuel de consommation

APPLICATION 8 L'épuisement du cuivre

D'après le graphique précédent,

1. Combien d'années reste-t-il pour que la quantité de cuivre présente sur terre soit épuisée? .....
2. Quelles sont les utilisations du cuivre ? .....
3. Quelle(s) conséquence(s) cela aura-t-il ? .....

Les solutions à adopter peuvent être les suivantes :

- Recycler les produits et récupérer les matériaux



DEEE : déchets d'équipements électriques et électroniques



Collecte



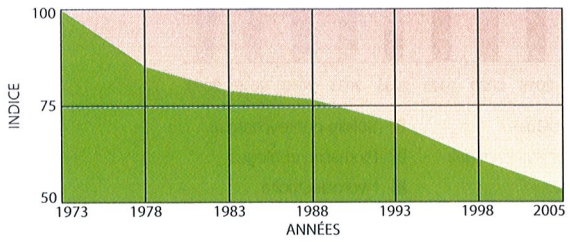
Dépollution et séparation des différents matériaux

- Diminuer la quantité de matière utilisée

Exemple :

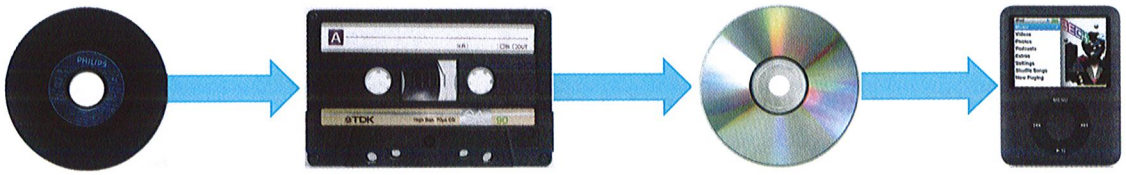


Évolution du poids de la canette en acier en Europe (Indice 100 en 1973)



- Augmenter la durée de vie des produits
- Dématérialiser les produits

Exemple : stockage de la musique



Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 3

TD

MISE À DISPOSITION DES RESSOURCES

Activité 1 . Équivalences énergétiques

• Déterminer les équivalences énergétiques suivantes.

Énergie	Énergie GJoule	Énergie TEP
2,1 Mt de GPL (consommation de la France par an)		
1 975 000 barils de pétrole (consommation journalière de la France)		
14,9 millions de MWh d'électricité d'origine éolienne en France par an		
50,5 GWh de gaz (production française de biogaz par an)		

Tableau de conversion

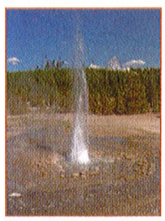
Source d'énergie	Unité	PCI* (GJoule)
Pétrole brut	1 t	41,868
Essence	1 t	42,7
Gazole	1 t	42,6
GPL	1 t	45,8
Houille (issue du charbon)	1 t	30,00
Gaz	1 MWh	3,24
Bois	1 stère	6,17

* PCI : le Pouvoir Calorifique Inférieur caractérise la quantité de chaleur émise lors de la combustion d'une unité de combustible (hors chaleur de condensation de la vapeur d'eau).

Pour l'électricité, 1 TEP = 11 630 kWh et 1 tonne de pétrole équivaut en moyenne à 7,33 barils.

Activité 2 . Identification des énergies

• Relier par un trait chaque photo avec l'énergie qui lui correspond et légender la photo.



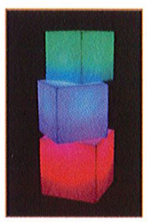
Géothermie



.....



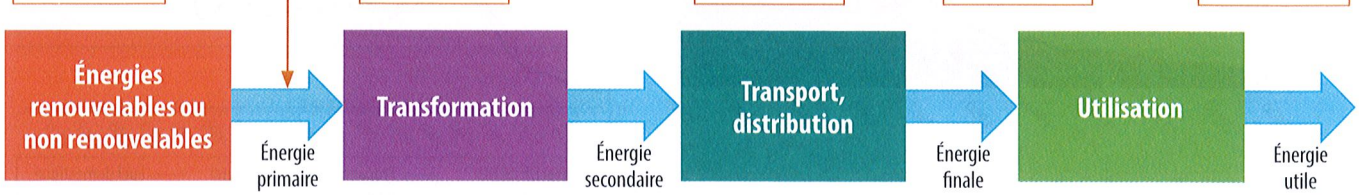
.....

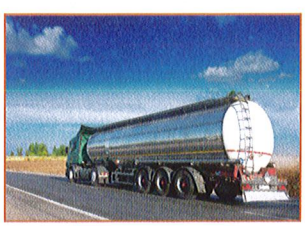


.....

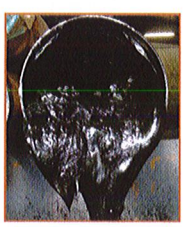


.....





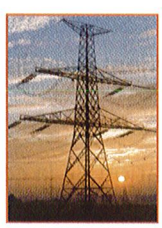
.....



.....



.....



.....



.....

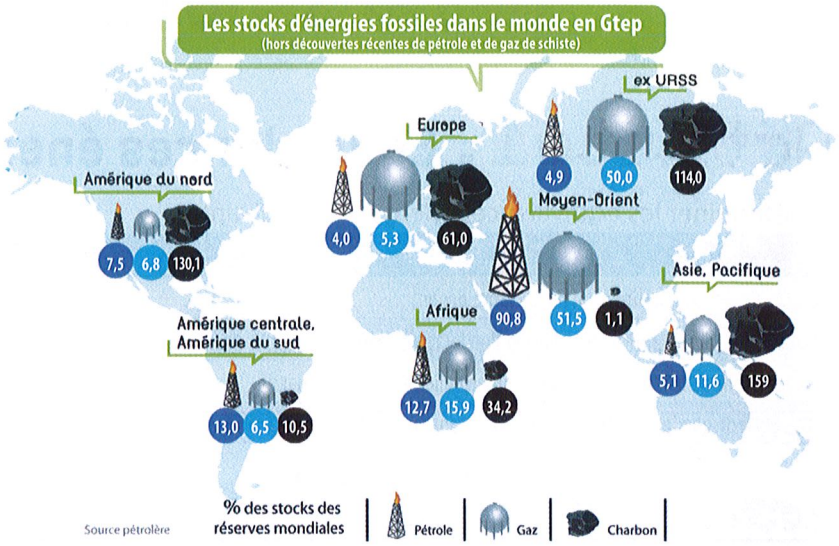
Activité 3 . Les ressources mondiales en énergies fossiles

1. Pour chacune des énergies fossiles, indiquer dans le tableau ci-dessous les 3 plus gros stocks.
2. Calculer et compléter ensuite la ligne *Réserves mondiales.*
3. Sachant que pour l'année 2012, les consommations mondiales en énergies fossiles étaient : pétrole 4,1 Gtep ; charbon 3,9 Gtep ; gaz 3 Gtep, calculer le nombre d'années restant avant l'épuisement de ces énergies au rythme actuel de consommation.

Pétrole : ..... ans

Gaz : ..... ans

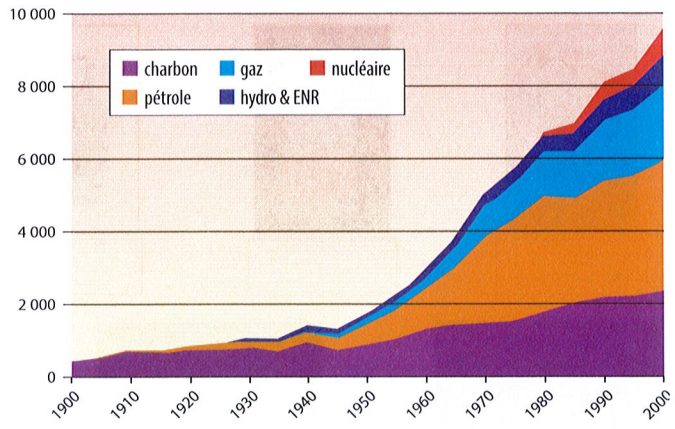
Charbon : ..... ans



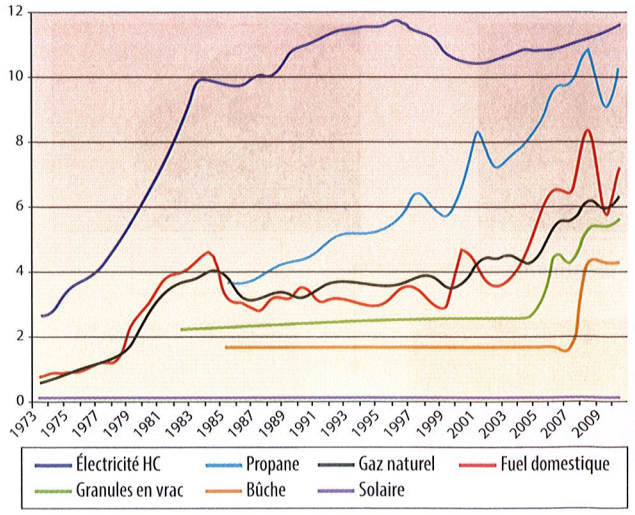
Énergies fossiles	Pétrole	Gaz	Charbon
Stock 1			
Stock 2			
Stock 3			
Réserves mondiales			

Activité 4 . Consommation énergétique mondiale

Évolution de la consommation mondiale en énergie



Évolution du prix des énergies



1. Après quel grand évènement mondial, la consommation d'énergie a-t-elle commencé à croître fortement ?

.....

2. Estimer en %, l'augmentation de la consommation mondiale entre 1950 et 2000. .....
3. Quel est l'impact sur le coût des énergies ? .....

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

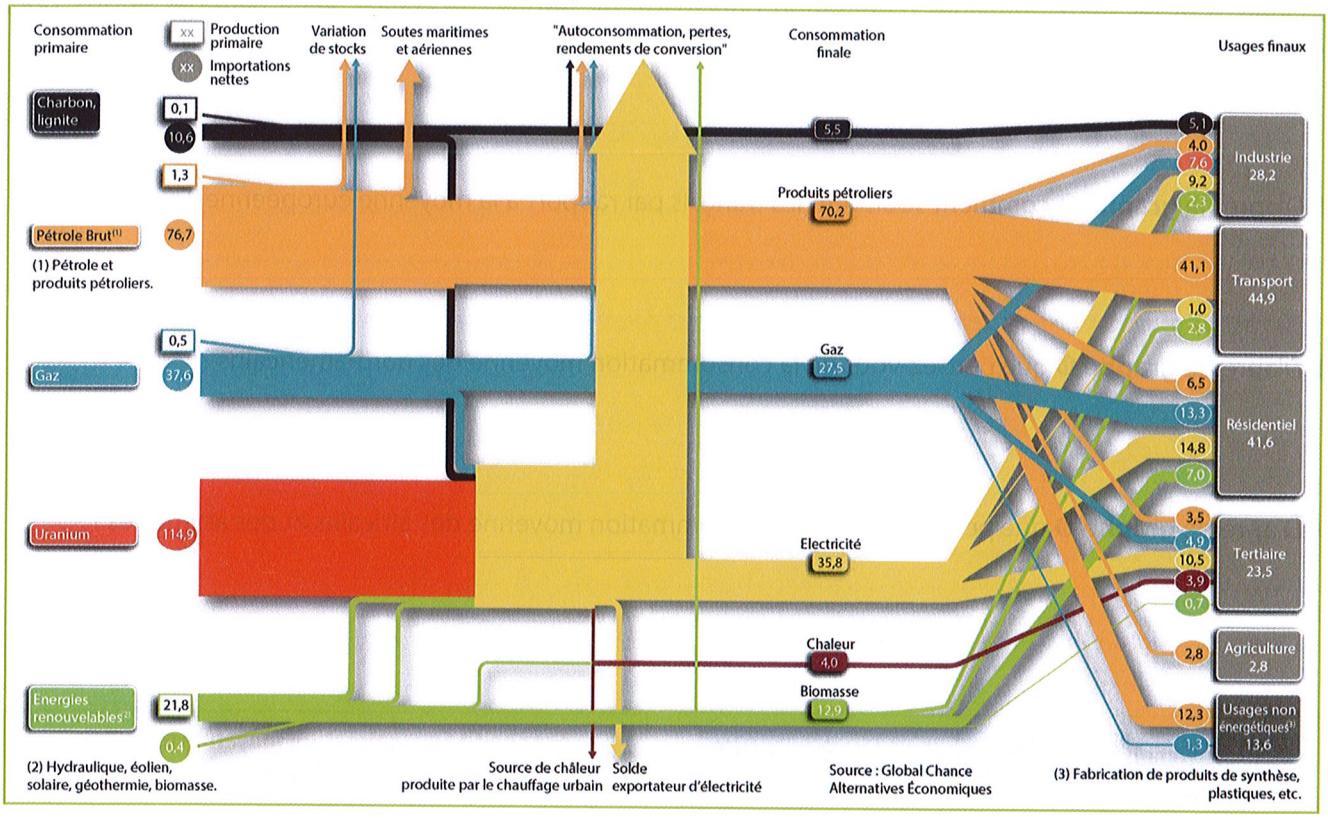
SÉQUENCE 3 ÉTUDE DE CAS

ÉTUDE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE EN FRANCE

Problèmatique : Étudier la consommation en énergies primaires en France et comparer la consommation moyenne d'un français avec celles d'autres pays.

1. Sur le **graphe ❶**, identifier les énergies primaires en les entourant en **vert**, les énergies finales en les entourant en **rouge** et les domaines d'utilisation en les entourant en **bleu**.

Graphe ❶ Bilan énergétique de la France en 2011, en millions de TEP



2. Compléter les **tableaux ❷** et **❸** des énergies primaires et finales, calculer la part de chaque énergie en % du total puis compléter le **camembert** situé sous chaque tableau.

Tableau ❷ Énergies primaires

Type d'énergie	En MTEP	En %

Tableau ❸ Énergies finales

Type d'énergie	En MTEP	En %

3. Justifier et expliquer les principales pertes entre les énergies primaires et les énergies finales.

.....

.....

.....

4. Sachant que la France comportait 65,8 millions d'habitants en 2011, calculer la consommation moyenne par habitant en énergies primaires.

.....

.....

.....

5. Compléter le **tableau ❹** des domaines d'utilisation, calculer la part de chaque domaine en % du total puis compléter le **camembert** situé sous le tableau.

6. Quels sont les deux domaines d'utilisation principaux sur lesquels la France devra faire des efforts pour économiser l'énergie ?

.....

.....

7. D'après le **graphe ❺** comment se situent les français par rapport à la moyenne européenne ?

.....

.....

8. D'après le **graphe ❺** que pensez-vous de la consommation moyenne des nord-américains ?

.....

.....

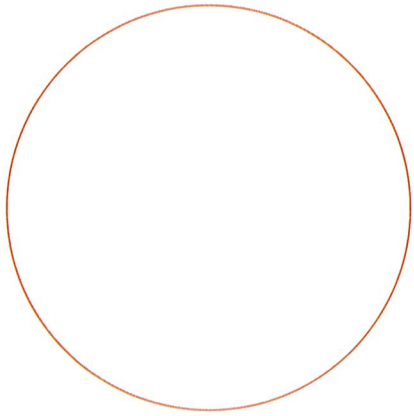
9. D'après le **graphe ❺** que peut-on dire de la consommation moyenne des africains et des asiatiques ?

.....

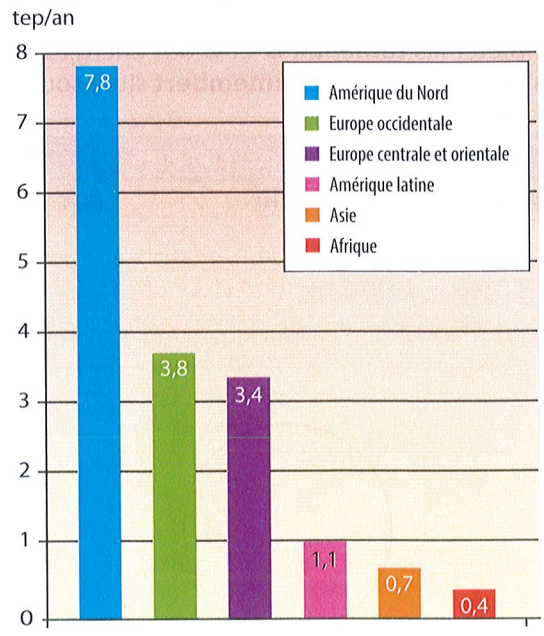
.....

Tableau ❹ Domaines d'utilisation

Type d'énergie	En MTEP	En %



Graphe ❺ Consommation moyenne d'énergie par habitant



Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 3

INVESTIGATION 1

LE MIX ÉLECTRIQUE

1. Donner une définition du mix électrique. .....

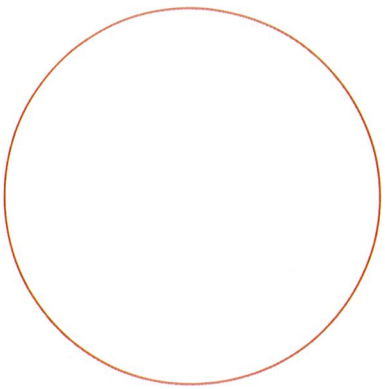
.....

2. Citer les principales sources de production d'énergie électrique en France.

.....

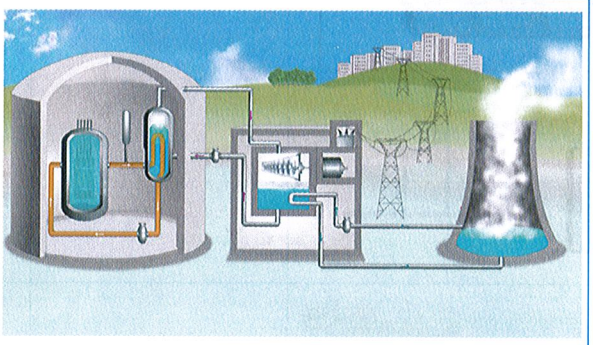
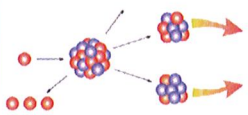
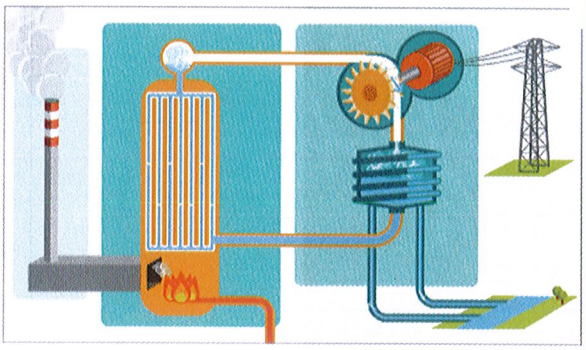
.....

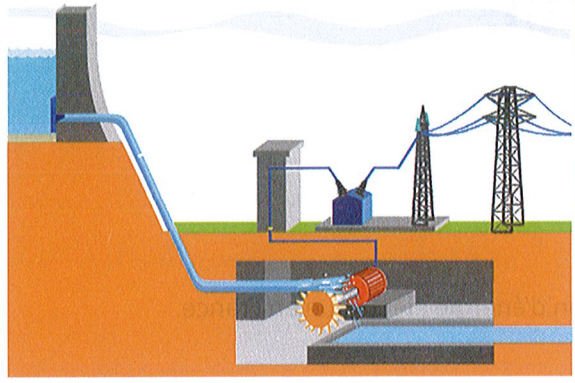
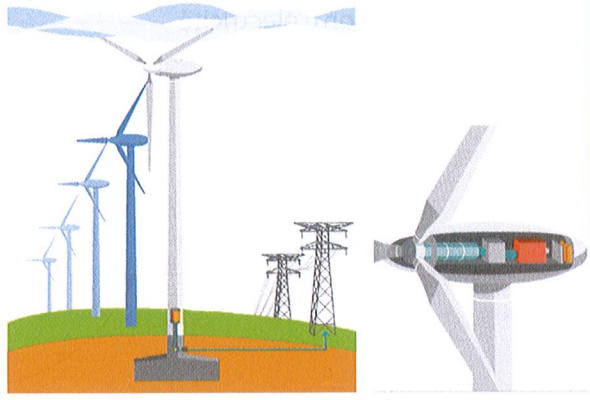
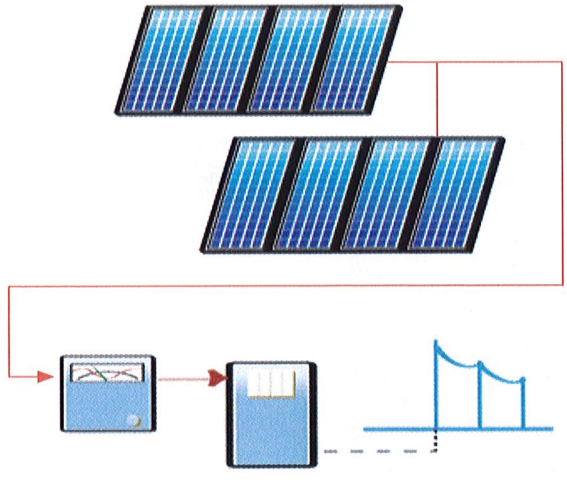
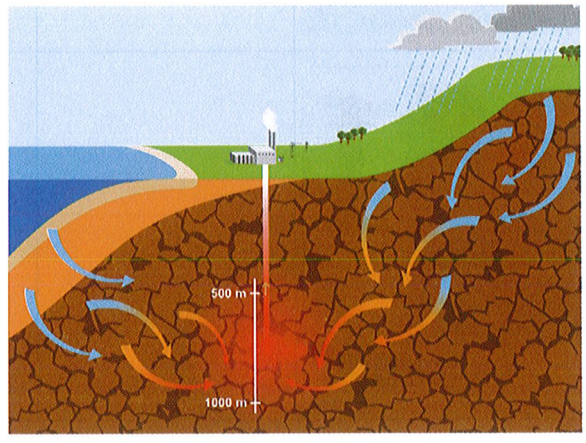
3. Représenter sous la forme d'un camembert, les % de production d'électricité en France par type d'énergie primaire.



4. Pour chaque schéma de mode de production :
   - Numéroter dans la colonne « Illustration » les principaux constituants de la centrale et donner leurs noms dans la colonne « Nom des constistuants ».
   - Donner le principe de fonctionnement de la centrale.

Utiliser de préférence les sites : **http://jeunes.edf.com** et **http://energie.edf.com**

Type de centrale	Illustration	Nom des constituants	Principe de fonctionnement
Centrale			
Centrale			

Type de centrale	Illustration	Nom des constituants	Principe de fonctionnement
Centrale			
Centrale			
Centrale			
Centrale			

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

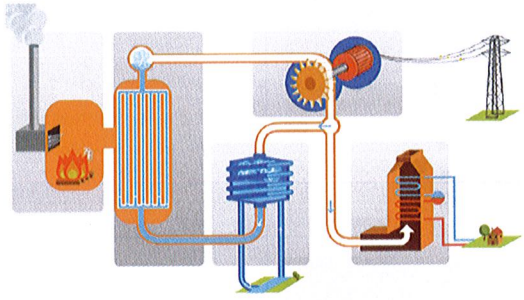
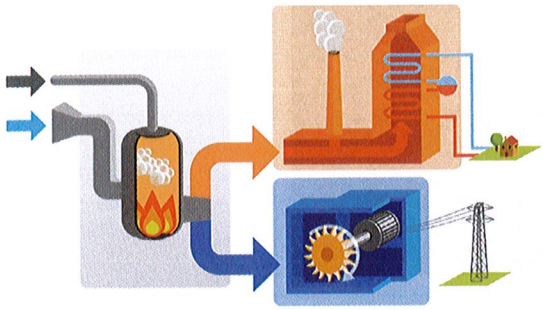
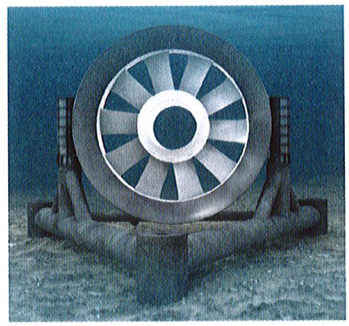
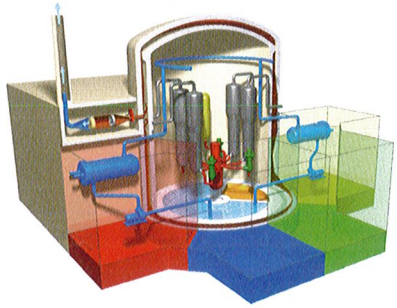
SÉQUENCE 3

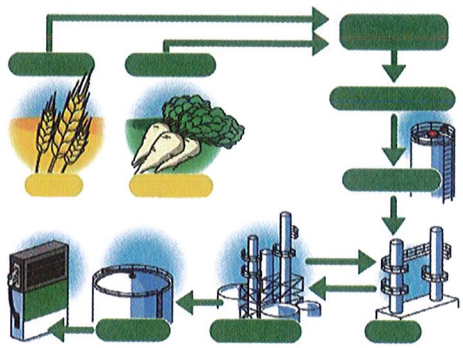
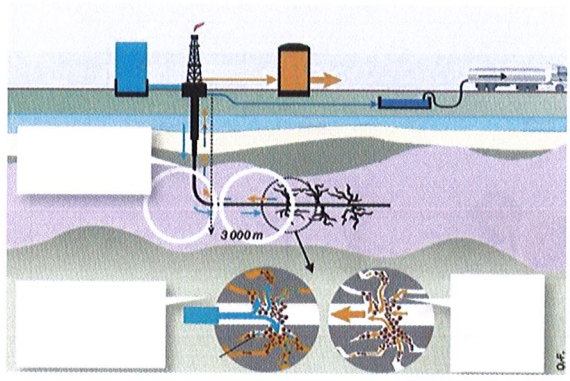
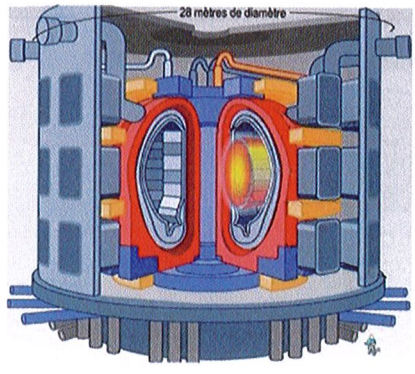
INVESTIGATION 2

LES ÉNERGIES D'AVENIR

1. Pour chacune des énergies suivantes, consulter le site **http://jeunes.edf.com** et :
   - Flécher, numéroter sur le dessin puis indiquer le nom des principaux constituants de la centrale.
   - Donner le principe de fonctionnement de la centrale.

2. Diaporama : pour une de ces énergies (qui vous sera indiquée par votre professeur), réaliser un diaporama le plus complet et le plus précis possible. Vous aurez à le présenter devant toute la classe lors de la séance de synthèse.

Type d'énergie ou de centrale	Schéma ou illustration	Nom des constituants	Principe de fonctionnement
Centrale biomasse			
Centrale à cogénération			
Hydrolienne			
Centrale EPR			

Type d'énergie ou de centrale	Schéma ou illustration	Nom des constituants	Principe de fonctionnement
Biocarburants			
Gaz de schiste			
Centrale solaire à tour			
Fusion nucléaire			
Autre :			

SÉQUENCE 3 SYNTHÈSE

CE QU'IL FAUT RETENIR DE LA SÉQUENCE

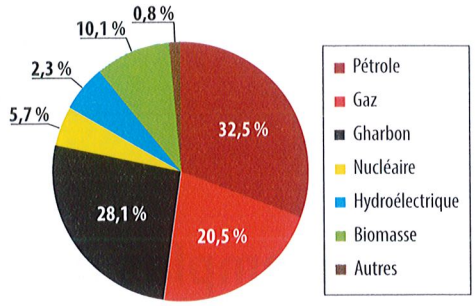
1. État des ressources

À l'échelon mondial, les énergies fossiles (charbon, pétrole et gaz) et les énergies fissiles (uranium) représentent la majeure partie (environ 85 %) des énergies primaires consommées.

Dans l'état des réserves connues et avec le rythme actuel de consommation, les énergies fossiles et fissiles vont bientôt être épuisées.

- Fin du pétrole en 2061
- Fin du gaz en 2078
- Fin de l'uranium en 2099
- Fin du charbon en 2170

Bilan énergétique mondial total : 12,5 GTep primaires



2. Mise à disposition des énergies fossiles et fissiles

a) Le **pétrole** (voir leçon).

b) Le **gaz naturel** : Le gaz naturel est transporté par gazoduc. Un quart du gaz naturel est transporté sous forme liquide (volume réduit d'au moins 600 x).

Cycle du Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL)

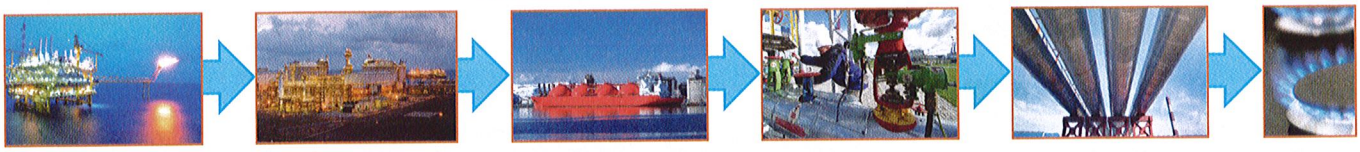
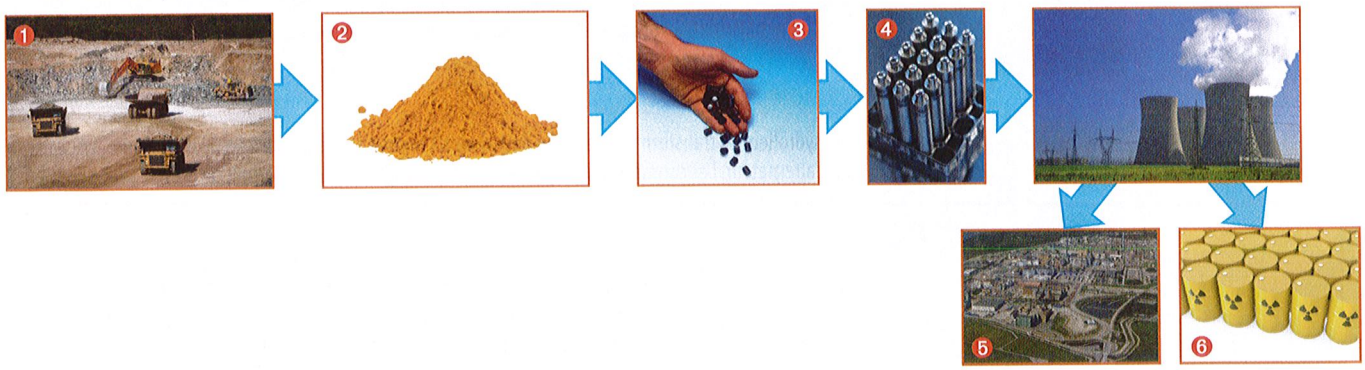


Plate-forme gazière — Usine de liquéfaction — Méthanier — Regazéification — Gazoduc — Utilisation

c) Le **charbon** : Extrait dans des mines (à ciel ouvert ou souterraines), le charbon brut est transformé en coke après broyage, séparation puis chauffage à haute température. Il représente plus d'un quart de l'énergie primaire consommée dans le monde et permet la production d'environ 40 % de l'électricité mondiale.

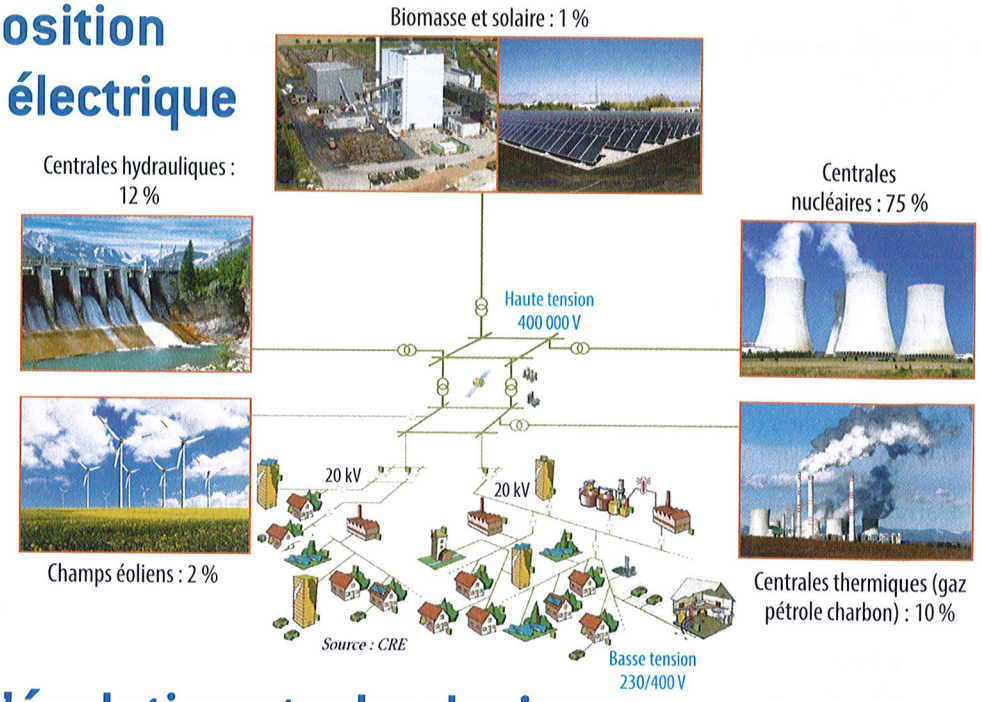
d) L'**uranium** : L'uranium est extrait sous forme de minerai ❶ puis concentré en poudre jaune : le « yellow coke ». ❷ Il est ensuite enrichi (augmentation du taux d'uranium 235) et conditionné sous forme de pastilles ❸. Les pastilles sont assemblées dans des crayons ❹ pour constituer le combustible nucléaire qui sera recyclé après utilisation ❺ ou stocké par enfouissement sous forme de déchets ❻.



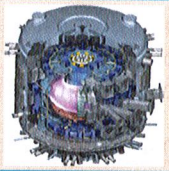
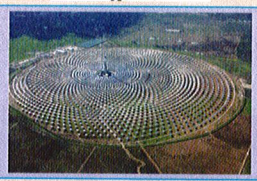
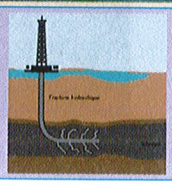
3. Mise à disposition de l'énergie électrique

En dehors des carburants et combustibles, l'énergie électrique est l'énergie utile la plus utilisée.

En France, le **mix électrique** permet, à partir de différentes sources d'énergie, de fournir une alimentation électrique qui répond aux besoins et aux variations.



4. Exemples d'évolutions technologiques pour la production de l'énergie

Type de production	Réalisation	Fonctionnement
Énergie houlomotrice		Un serpent articulé permet de récupérer l'énergie des vagues. L'oscillation due aux vagues actionne des pistons hydrauliques (huile) qui provoquent la mise en rotation d'un moteur hydraulique entraînant un alternateur.
Biocarburants		Les biocarburants sont des carburants d'origine végétale, animale ou provenant de déchets non fossiles.
Fusion nucléaire		Lorsque deux atomes (le deutérium et le tritium) fusionnent, il y a dégagement d'une quantité importante de chaleur (plusieurs millions de degrés). C'est ce qui se passe naturellement dans le soleil. Le projet international ITER tente de maîtriser la technologie (tokamak) qui permettra de canaliser le plasma à l'aide de champs magnétiques.
Tour solaire		L'énergie solaire est canalisée à l'aide de miroirs (héliostats) vers une chaudière située au sommet de la tour. La vapeur d'eau produite est utilisée pour faire tourner des turbo-alternateurs. Ces centrales fonctionnent la nuit grâce à la chaleur stockée dans des cuves de sels fondus.
Hydrolienne		Les hydroliennes transforment l'énergie des courants marins en électricité à l'aide de turbines associées à un alternateur. Les courants marins sont constants et réguliers ce qui permet de prévoir avec précision la production d'électricité.
Gaz de schiste		Le gaz de schiste est un gaz naturel emprisonné à grande profondeur dans des couches rocheuses. Il peut être extrait après forage et fracturation de la roche par injection d'eau sous pression, de sable et de produits chimiques. Il représente une réserve d'énergie très importante, cependant les risques environnementaux (pollution des nappes, émission de gaz à effet de serre) liés à son exploitation ont conduit certains pays, dont la France, à imposer un moratoire.

SÉQUENCE 4

LEÇON

CYCLE DE VIE D'UN PRODUIT ET CHOIX ENVIRONNEMENTAUX

LIAISON RÉFÉRENTIEL

- **1.1.2** Cycle de vie d'un produit et choix techniques - Les étapes du cycle de vie d'un système - Prise en compte globale des cycles de vie économiques et environnementaux
- **1.2.2** Mise à disposition des ressources - Coûts relatifs, disponibilité, impacts environnementaux des matériaux
- **1.2.3** Utilisation raisonnée des ressources - Impacts environnementaux associés au cycle de vie du produit

1. Situation déclenchante

DOC. Îles de déchets : un océan de plastiques

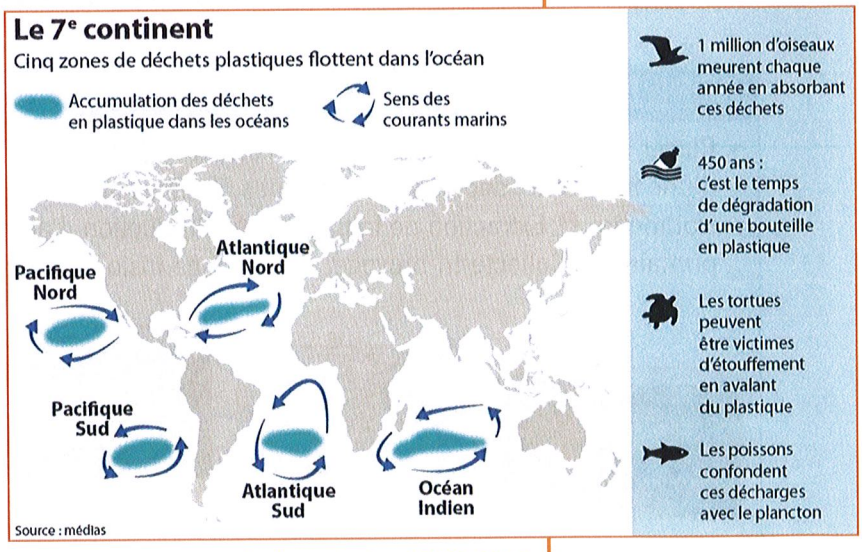


Les courants océaniques emportent les déchets, qui finissent par former des amas de plastiques au milieu des océans. Appelées continent-poubelle, îles des déchets ou septième continent, ces zones très polluées sont saturées par des « micro-déchets». [...] En réalité, ce « continent » est divisé en cinq zones : Pacifique Nord et Sud, Atlantique Nord et Sud, océan Indien.

La combinaison des courants forme d'immenses vortex appelés gyres océaniques. Les détritus sont attirés par ces courants et finissent par être aspirés lentement dans ces tourbillons d'où ils ne sortent plus jamais.

Ce septième continent reste toutefois très flou. Les plastiques se désagrègent avec le temps en petits morceaux et deviennent invisibles depuis l'espace. Ces zones occupent une surface estimée entre 1,5 million et 3,5 millions de km². On estime la densité de ces zones à environ 5 kg de plastique par km², sur une profondeur moyenne de 10 mètres, avec des débris allant jusqu'à 30 mètres.

Jusqu'à maintenant, les débris flottants étaient détruits par les micro-organismes. Mais cela n'est plus le cas depuis l'arrivée des plastiques qui constituent 90 % des déchets maritimes. La récupération de ces déchets s'avère complexe à cause de leur taille réduite.



Ladepeche.fr - 10/08/2014

1. Quelle est l'origine des déchets ? .....
2. Combien de blocs constituent le 7e continent ? .....
3. Quelle est la quantité de plastique contenue dans ces zones en tonne (donner une valeur minimale et une valeur maximale) ? .....
4. Ces zones peuvent-elles disparaître naturellement ? .....

.....

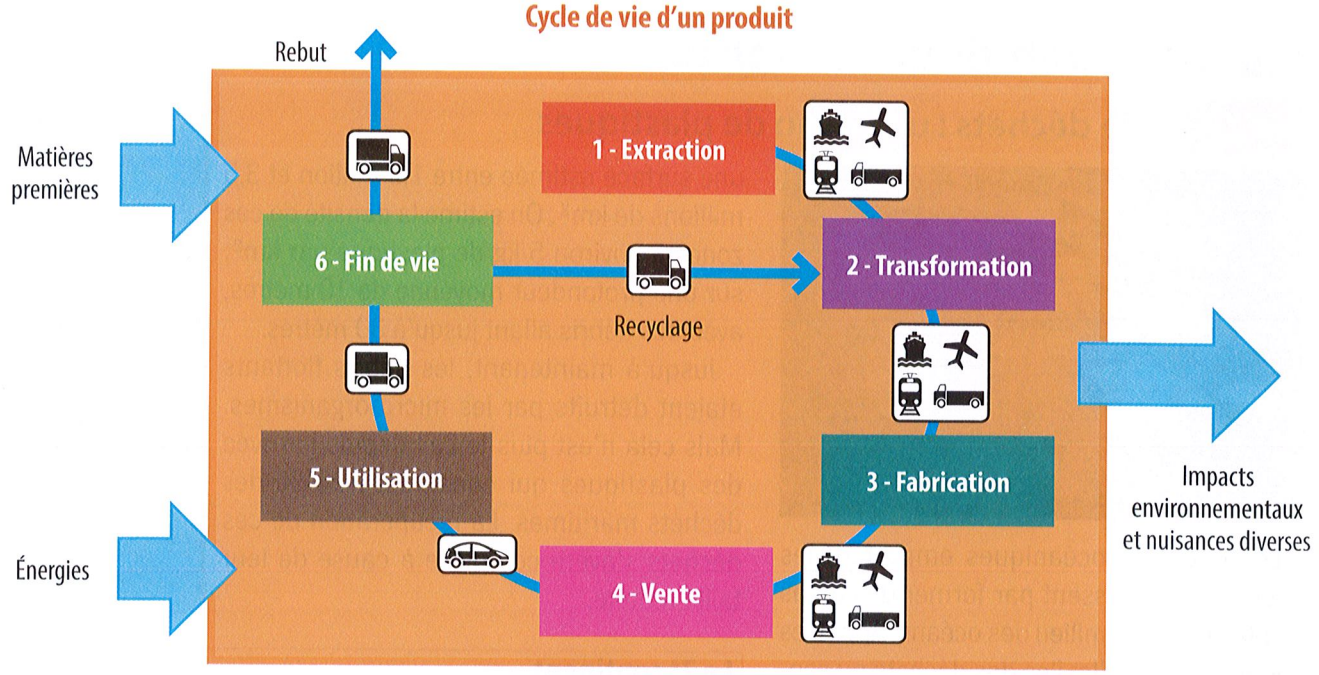
Conclusion : Proposer des solutions permettant d'éviter ce problème. .....

.....

.....

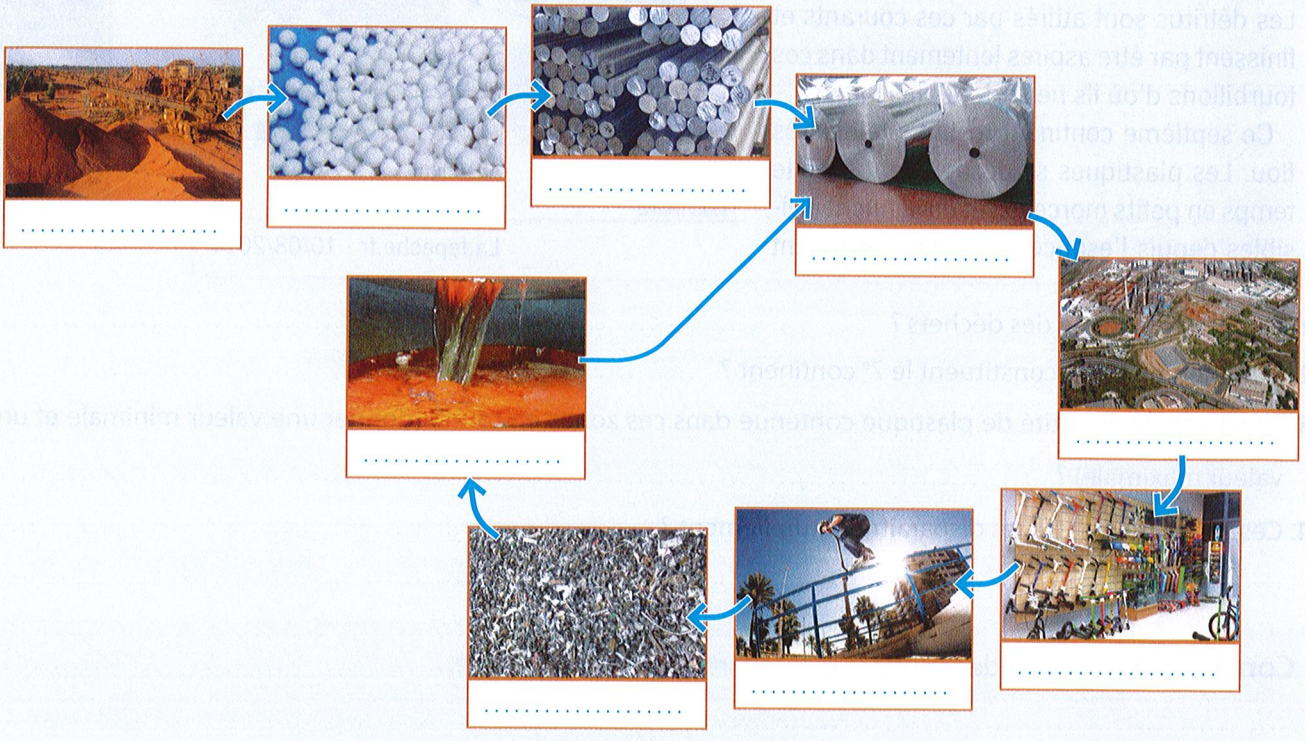
2. Cycle de vie environnemental d'un produit

Les matériaux qui constituent un **produit** proviennent soit de l'extraction de **matières premières** puisées dans la terre, soit de matières issues du recyclage. Tout au long de sa vie, le produit suivra différentes phases qui nécessiteront de l'**énergie** et auront un **impact** sur l'environnement.



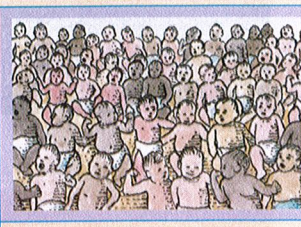
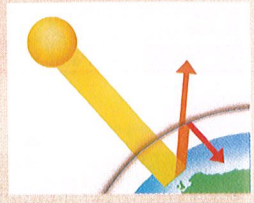
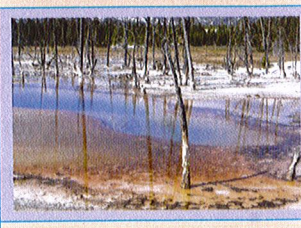
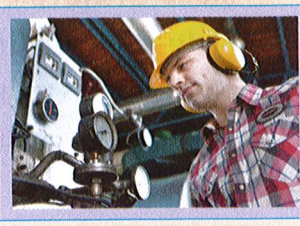
APPLICATION 1 Cycle de vie

- Placer sous les images les numéros correspondant aux différentes étapes de la vie des parties aluminium d'une trottinette, depuis l'extraction des matières la constituant jusqu'à son recyclage : ❶ Fabrication de la trottinette, ❷ Extraction de la bauxite, ❸ Production d'alumine, ❹ Utilisation, ❺ Production d'aluminium primaire, ❻ Collecte-tri-broyage, ❼ Raffinage-fusion, ❽ Production de semi-produit, ❾ Vente.



3. Impacts environnementaux

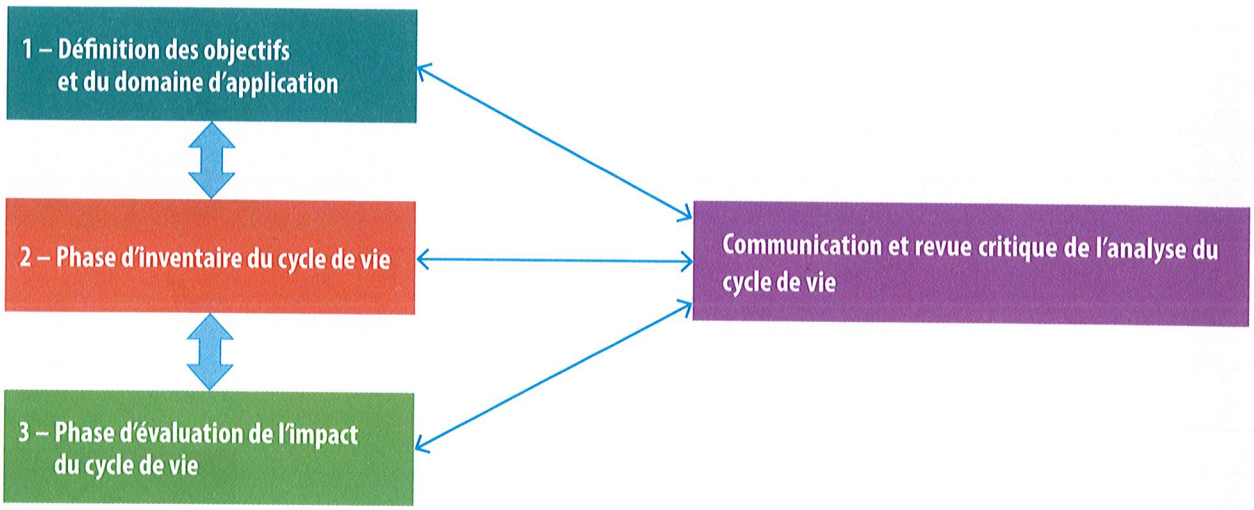
Chaque étape du cycle de vie a un impact sur l'environnement. En voici quelques exemples.

Impacts environnementaux	Conséquences	Illustrations
Épuisement des ressources non renouvelables	Pénurie en énergies fossiles et matières premières	
Occupation des sols	Manque d'espace pour l'agriculture, l'industrie, la population	
Réchauffement climatique (gaz à effet de serre)	Les gaz à effet de serre retiennent une partie de la chaleur solaire à la surface de la terre	
Toxicité pour l'homme et écotoxicité	Impacts toxicologiques sur l'homme et les organismes vivants	
Destruction de la couche d'ozone	La couche d'ozone protège la terre des rayonnements UV. Plus la couche d'ozone est fine, moins les UV sont filtrés.	
Acidification	Les pluies deviennent acides et perturbent les écosystèmes	
Eutrophisation	Concentration excessive d'azote et de phosphore dans les milieux aquatiques provocant une croissance exagérée des végétaux qui étouffent le reste de l'écosystème	
Nuisances diverses	Sonores, visuelles, olfactives, ...	
...	Autres impacts dont les effets ne sont pas encore observés ou observables	

4 Analyse du cycle de vie – ACV

L'**analyse du cycle de vie (ACV)** est un **outil** d'aide à la décision qui étudie le cycle de vie d'un produit, d'un service, … Cette étude recense, quantifie, évalue les flux physiques de **matières** et d'**énergies** nécessaires et leurs **impacts** potentiels tout au long du cycle. L'interprétation des résultats obtenus permet de tirer des conclusions en fonction des objectifs initiaux.

Cette étude pouvant être très complexe, la norme **NF EN ISO 14040** a été créée afin de servir de guide et permettre d'obtenir des résultats de qualité pour l'analyse. Elle impose la méthodologie de travail sans en décrire les détails techniques.



La norme **NF EN ISO 14044**, quant à elle, précise les exigences de chacune des phases afin de mettre en application la méthodologie.

4.1 Définition des objectifs

Pour analyser correctement un cycle de vie, il est utile de préciser :

- Les raisons de l'étude, ses applications.
- Les personnes auxquelles vont être exposés les résultats.

} Bilan sur l'étude menée

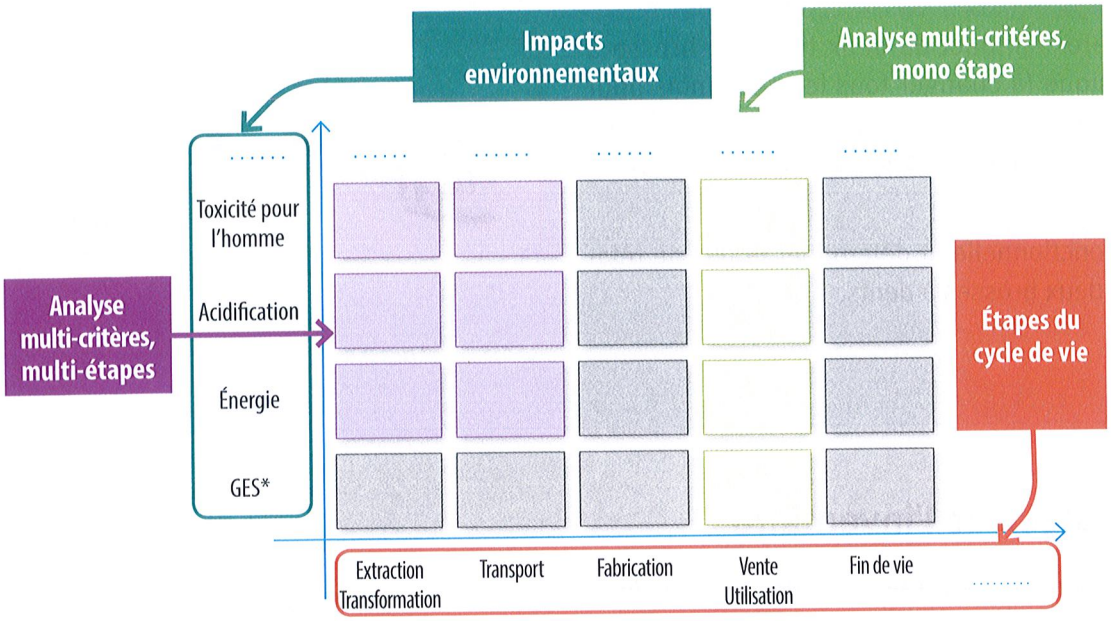
- Quelle est la fonction principale du produit ?
- Quelles sont ses limites ?
- Quelles sont les données nécessaires ?
- Quelles sont les hypothèses ?
- …

} Bilan sur le produit étudié

Il faut se fixer ensuite des **objectifs**. L'analyse du cycle de vie peut se faire de différentes façons :

- **Mono-étape :** prise en compte d'une seule étape du cycle de vie du produit.
- **Mono-critère :** prise en compte d'un seul impact environnemental généré.
- **Multi-étapes :** prise en compte de toutes les étapes du cycle de vie du produit.
- **Multi-critères :** prise en compte de l'ensemble des impacts environnementaux générés.
- Mélange de plusieurs d'entre elles.

Les différentes possibilités d'analyse de cycle de vie peuvent être présentées sous forme de tableau.



* GES = gaz à effet de serre

APPLICATION 2 Tableau des analyses

1. Comme pour l'exemple ci-dessus, colorier dans le tableau les analyses suivantes :
   - ❶ émission des gaz à effet de serre pour tout le cycle de vie du produit en **bleu**.
   - ❷ l'énergie consommée pour le transport du produit en **rouge**.
   - ❸ la toxicité pour l'homme et l'acidification pour l'extraction et le transport en **vert**.

2. Préciser pour chaque cas le type d'analyse.

❶ .....

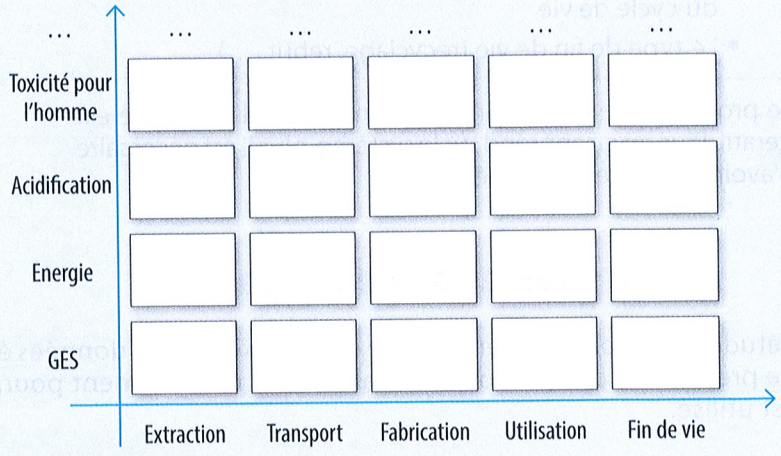
.....

❷ .....

.....

❸ .....

.....



Pour obtenir des résultats pouvant être comparés entre eux (pour déterminer un produit qui émet moins de gaz à effet de serre qu'un autre par exemple), il faut définir l'**unité fonctionnelle** et les **flux de référence**.

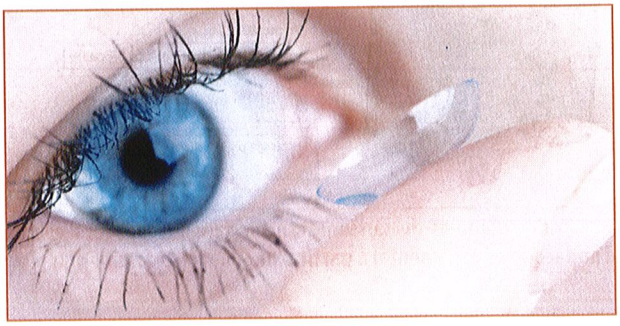
Unité fonctionnelle (UF) : unité de base de l'étude permettant de comparer différents scénarios. En général, elle contient la fonction à assurer, un critère de performance et la durée.

Flux de référence : quantité de produit nécessaire pour remplir cette fonction.

Exemple : lentilles de vue

L'unité fonctionnelle pourrait être « corriger les défauts visuels durant la journée pendant 1 an ».

Flux de référence :
- lentilles rigides (durée de vie 1 an) : 1 paire,
- lentilles mensuelles (durée de vie 1 mois) : 12 paires,
- lentilles bimensuelles (durée de vie 15 jours) : 24 paires.



APPLICATION 3 Unité fonctionnelle et flux de référence

On désire comparer l'impact de deux types de brosse à dents : une classique (à changer tous les deux mois pour 2 brossages par jour), une électrique (durée de vie 5 ans et « brossette » à changer tous les 3 mois pour 2 brossages par jour).





- Définir l'unité fonctionnelle et déterminer le flux de référence pour ces deux brosses à dents.

classique : .....

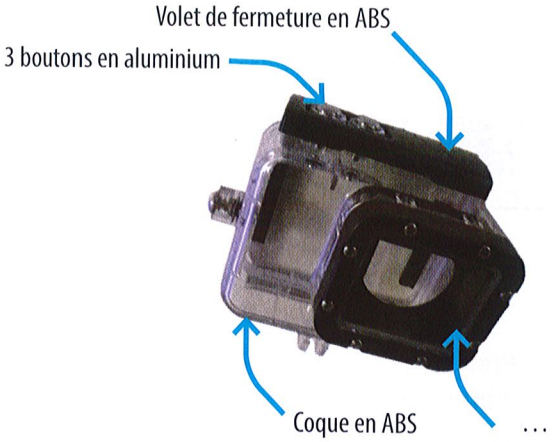
électrique : .....

4.2 Analyse de l'inventaire

L'analyse de l'inventaire est nécessaire afin **de collecter le maximum de données** sur le produit et ses entrées et sorties. Il faut connaitre :

- Le produit : nombre de pièces, formes, matériaux (type, provenance, ...)
- Sa fabrication : procédés, énergies, lieu, ...
- Sa commercialisation et son utilisation : type d'emballage pour le transport et pour la vente, énergies utilisées, lieu, ...
- Le type de transport pour chacune des étapes du cycle de vie
- Le type de fin de vie (recyclage, rebut, ...)

Le processus de réalisation d'une analyse de l'inventaire est itératif. Plus on en apprend sur le système, plus il est nécessaire d'avoir de nouvelles données.

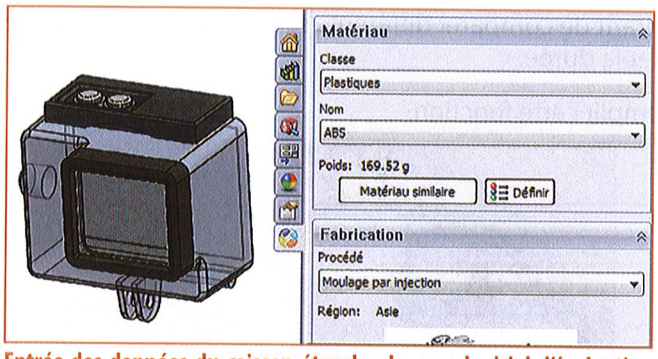


Inventaire des pièces d'un caisson étanche de caméra

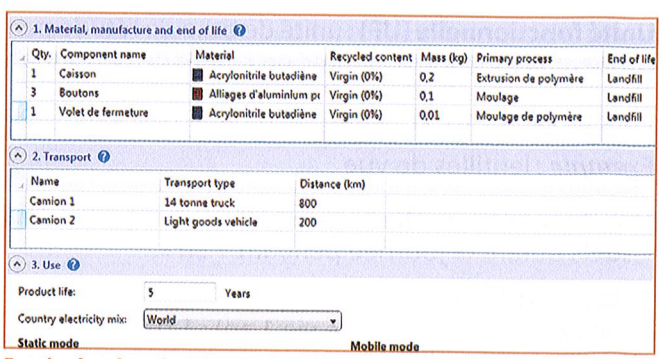
4.3 Évaluation de l'impact

L'étude étant correctement définie et un maximum de données étant collectées, il faut réaliser l'analyse. Afin de prendre en compte tous ces paramètres correctement pour les différents calculs, **l'outil informatique** est utilisé.

Il existe de nombreux logiciels. **Mis à jour** régulièrement et prenant en compte les dernières connaissances scientifiques sur le cycle de vie d'un produit, ils permettent de **comparer** facilement deux produits ou deux études. Il est également possible de faire quelques modifications et d'en observer les conséquences.



Entrée des données du caisson étanche dans un logiciel d'évaluation d'impact environnemental à partir d'une maquette numérique



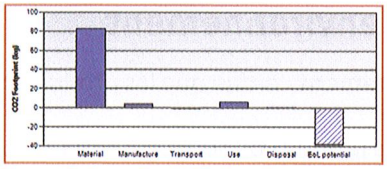
Entrée des données du caisson étanche dans un logiciel d'évaluation d'impact environnemental sous forme de tableau

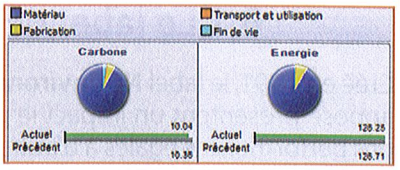
4.4 Analyse et interprétation des résultats

Les logiciels donnent les **résultats** sous différents formats : données chiffrées, diagrammes en barres, camemberts...

L'auteur de l'étude peut ensuite en tirer des **conclusions**, faire des **recommandations**, **expliquer** les **limites** de son étude. Il pourra indiquer les impacts environnementaux potentiels et préconiser des choix pour les diminuer.

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 (kg)	CO2 (%)
Material	1.52e+03	75.6	83.1	88.4
Manufacture	53.7	2.7	4.02	4.3
Transport	1.7	0.1	0.121	0.1
Use	427	21.3	6.36	6.8
Disposal	6	0.3	0.42	0.4
Total (for first life)	2e+03	100	94	100
End of life potential	-913		-37.8	

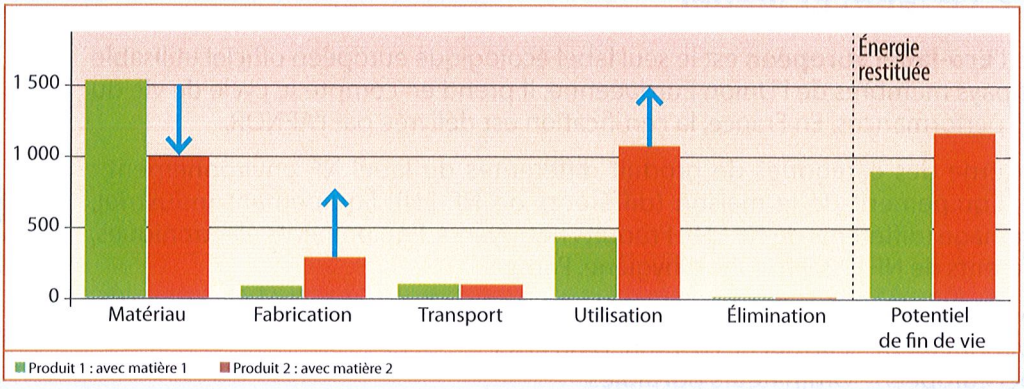




Résultats pour le caisson étanche sous forme de données chiffrées, diagramme en barres, camemberts

APPLICATION 4 Analyse comparative

Le diagramme ci-dessous présente l'analyse de cycle de vie de l'énergie consommée pour deux produits identiques fabriqués avec des matières différentes.



1. Quel produit demande le plus d'énergie pour l'extraction ?

.....

2. Quel produit redonne le plus d'énergie lors de sa fin de vie ?

.....

3. Réaliser un bilan global et déterminer le meilleur produit.

.....

Attention, certaines modifications pour diminuer les impacts environnementaux d'une étape (↓) peuvent entraîner une augmentation des impacts d'une ou plusieurs autres étapes (↑) et provoquer une hausse globale du bilan (comme pour le produit 2 ci-dessous).

5. Normes

La norme NF EN ISO 14040-43 concerne **le cycle de vie** d'un produit mais, afin de concevoir des produits durables, il faut prendre en compte les caractères **sociaux** et **économiques**. Pour cela d'autres normes existent dont voici quelques exemples.

ISO 14001 : Management environnemental. Amélioration continue de la performance environnementale par la maîtrise des impacts liés à l'activité de l'entreprise.

ISO 26000 : Responsabilité sociétale et environnementale. Définit la responsabilité d'une organisation vis-à-vis des impacts de ses décisions et activités sur la société et sur l'environnement.

ISO 14020 : Étiquetage environnemental. Fournit aux entreprises un ensemble de critères pour établir leur étiquetage environnemental.

6. Étiquetage

Deux labels seulement sont officiels et certifiés par un organisme indépendant (sur volontariat de l'entreprise qui commercialise le produit ou service).

6.1 Le label NF environnement

Créé en 1991, le label **NF Environnement** certifie que les produits ou services sur lesquels il est apposé présentent un impact le plus faible possible sur l'environnement tout en garantissant des performances égales à d'autres produits ou services présents sur le marché. La certification est délivrée par l'AFNOR.

Il s'applique aux produits et services destinés aux consommateurs ou aux utilisateurs professionnels et concerne seulement certaines catégories de produits : Équipement de la maison, Bricolage/jardinage, Bureau/papeterie, Produits industriels, Services.

6.2 Le label Écolabel

Créé en 1992, l'**Eco-label européen** est le seul label écologique européen officiel utilisable dans tous les pays membres de l'Union Européenne. Il prend en compte le cycle de vie du produit et ses performances. En France, la certification est délivrée par l'AFNOR.

Ce label concerne des catégories de produit différentes du label NF environnement : Habillement, Équipement de la maison (différents de NF EN), Équipement industriel, Bricolage/jardinage (différents de NF EN), Produits nettoyants, Équipements électroniques, Services (différents de NF EN), Produits d'hygiène, Papiers.

Exemples pour la bureautique :

- NF Environnement - Cartouches d'impression laser
- Ecolabel européen - Ordinateurs portables

Pour la France, d'autres labels sont **auto-proclamés** et sont à caractère informatif ou publicitaire.

Matériau valorisable par recyclage ou incinération

Le produit provient de ressources responsables et participe à la gestion durable des forêts

Point vert : montre que l'entreprise contribue financièrement au traitement des emballages

Enfin, un étiquetage peut être présent sur certains produits pour informer le client : notation A, B, C, D, E, F, G sur différents impacts.

APPLICATION 5 Lave-vaisselle

1. L'étiquette Energy se trouve sur les lave-vaisselles. Quels types d'impacts environnementaux ou de nuisances cette étiquette présente-t-elle au consommateur ?

.....

.....

2. Le nombre de lavages moyen par an pris en compte pour réaliser cette étiquette est de 280 cycles. Quel est l'énergie moyenne consommée pour un lavage ?

.....

3. Quelle est la quantité d'eau moyenne consommée pour un lavage ?

.....

4. Comment est classé ce lave-vaisselle ?

.....





Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

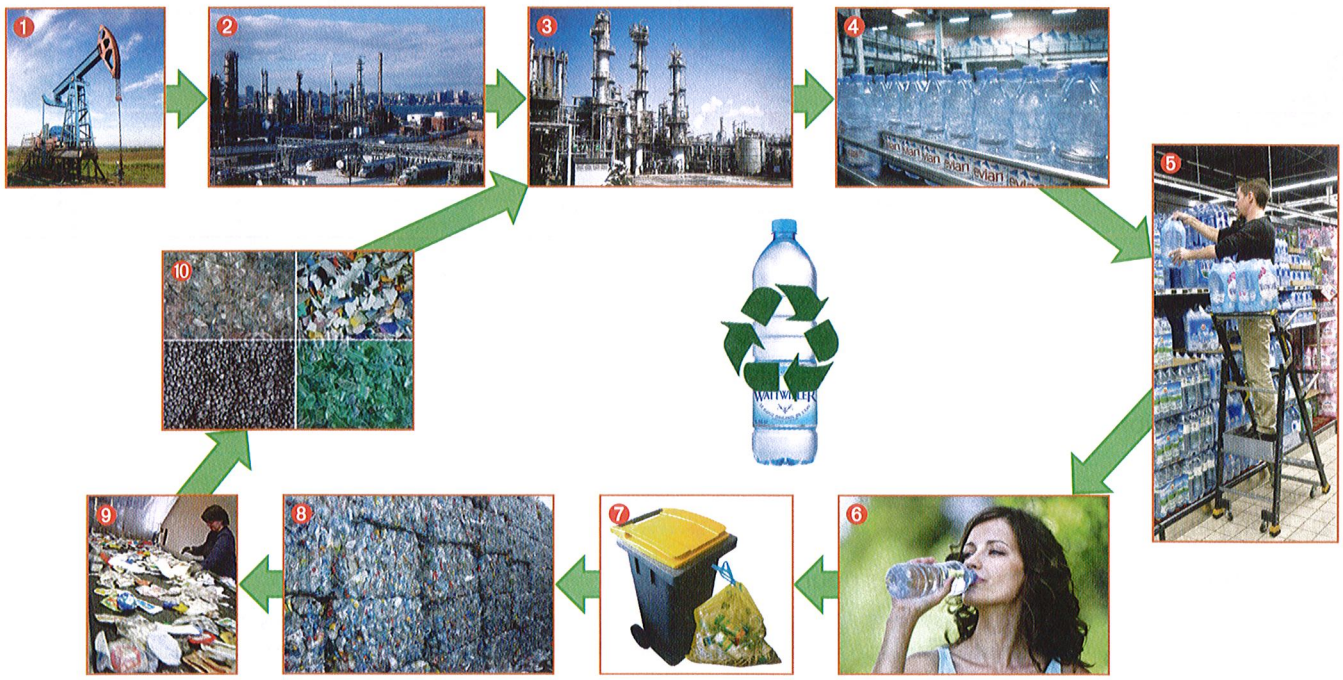
SÉQUENCE 4

T D

ANALYSE DU CYCLE DE VIE

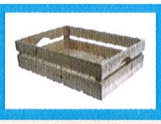
Activité 1. Cycle de vie d'une bouteille en plastique

- Identifier par des chiffres les différentes étapes du cycle de vie d'une bouteille plastique depuis l'extraction des matières qui la constitue jusqu'à son élimination/recyclage : ..... : Mise en balles ; ..... : Commercialisation ; ..... : Extraction du pétrole brut ; ..... : Broyage et déchiquetage ; ..... : Transformation en plastique PET ; ..... : Consommation des ménages ; ..... : Tri des plastiques par catégories, ... : Fabrication des bouteilles ; ..... : Tri sélectif ; ..... : Transformation du pétrole brut en naphta.



Activité 2. Transport de pommes

Un grossiste en fruits bios veut choisir la matière ayant le plus faible impact environnemental pour ses cagettes de pommes. À chaque livraison, il doit fournir 70 kilos de pommes à son distributeur.

Matière	Bois 	Plastique 	Carton 
Nbre d'utilisations possibles	5	150	1
Contenance (kg)	10	7	5

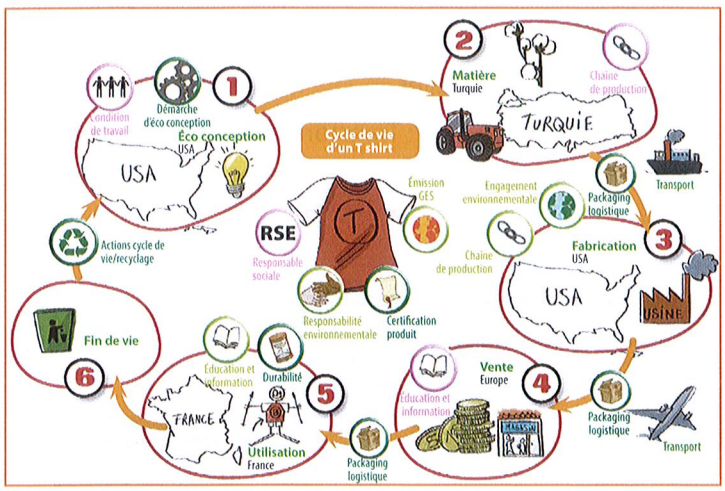
1. Déterminer une unité fonctionnelle permettant de comparer ces cagettes en prenant en compte la quantité transportée et le nombre d'utilisations. .....

2. Calculer les flux de référence pour cette unité fonctionnelle.

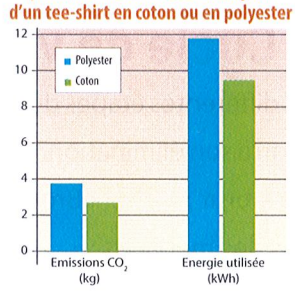
Bois	Plastique	Carton

Activité 3. Tee-shirt pour sport de glisse

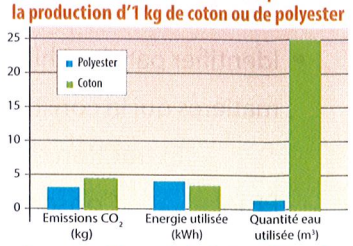
Une grande marque de vêtements de sport souhaite choisir pour son nouveau tee-shirt une matière ayant un impact environnemental le plus faible possible. Elle a fait procéder à une analyse du cycle de vie entre le coton et le polyester.



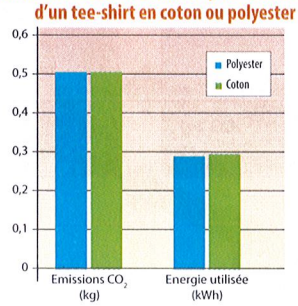
Consommations et émission pour la confection et le transport d'un tee-shirt en coton ou en polyester



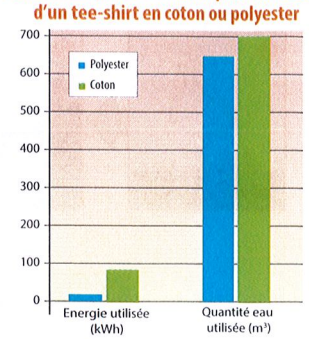
Consommations et émission pour la production d'1 kg de coton ou de polyester



Consommations et émission pour l'emballage d'un tee-shirt en coton ou polyester



Consommations et émission pour l'entretien d'un tee-shirt en coton ou polyester



1. Indiquer le lieu où se déroulent les étapes suivantes.

Éco-conception : ..... ; Matières premières : .....

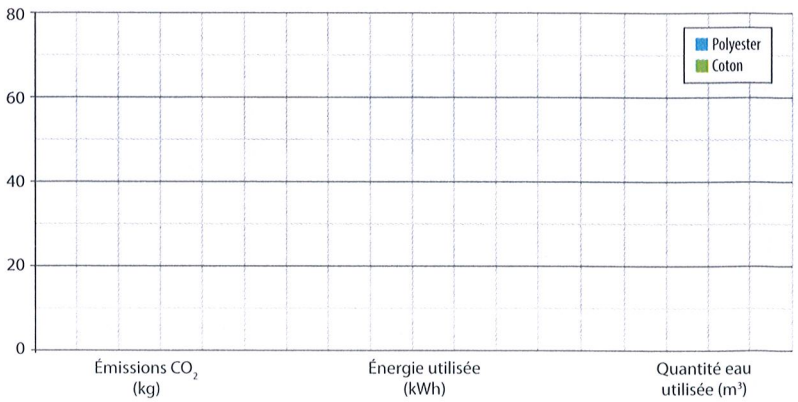
Fabrication : ..... ; Vente-utilisation : .....

2. Qu'en pensez-vous ? .....

3. Faire le bilan global des trois critères pour chaque matière.

Matière	Émissions CO_2 (kg CO_2)	Énergie utilisée (kWh)	Quantité d'eau utilisée (m^3)
Polyester			
Coton			

4. Tracer ci-contre l'histogramme global des impacts étudiés.



5. Quelle matière a la meilleure ACV ? .....

6. Quel impact pourrait être amélioré et de quelle manière ? .....

.....

Activité 4. Choix d'un véhicule urbain

Monsieur et Madame Dufour souhaitent acheter un véhicule qui devra répondre aux critères suivants : possibilité de transporter 3 ou 4 personnes, parcourir environ 80 km par jour, durée de vie de 150 000 km. Ils hésitent entre des versions essence, diesel, GPL, hybride ou électrique mais souhaitent choisir celle ayant le minimum d'impact environnemental sur l'ensemble de sa durée de vie.

1. Exprimer une unité fonctionnelle permettant de comparer les différents types de véhicules.

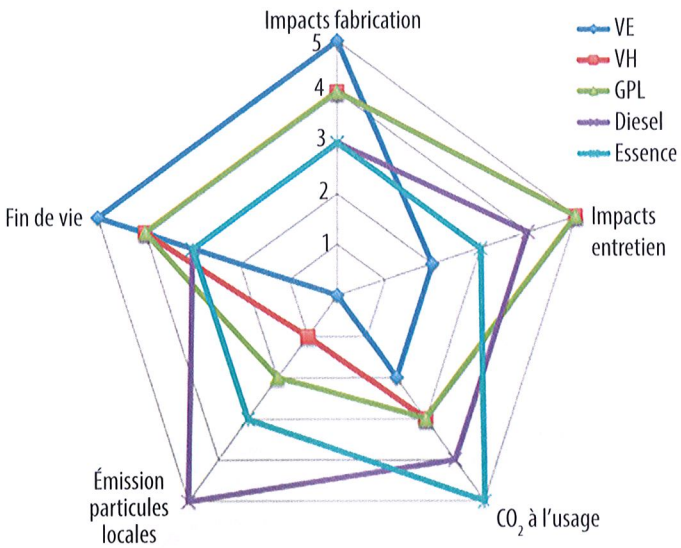
.....

2. Tous les véhicules ont une durée de vie supérieure à 150 000 km. Pour le véhicule électrique, les batteries seront changées tous les 50 000 km. Exprimer les flux de référence pour la motorisation électrique et pour les autres motorisations.

Véhicule électrique : .....

Autres véhicules : .....

3. D'après l'analyse du cycle de vie ci-dessous, compléter le tableau en indiquant le nombre de points obtenus par chaque véhicule (chaque impact a la même importance). Classer les motorisations en fonction de leur impact sur l'environnement (de la moins à la plus impactante) et indiquer l'impact environnemental le plus important et le moins important. Le véhicule étudié est fabriqué en France et les données correspondent à une utilisation de 150 000 km.



Motorisation	Nbre de points obtenus	Classement	Impact le + important	Impact le – important
Électrique				
Hybride				
GPL				
Diesel				
Essence				

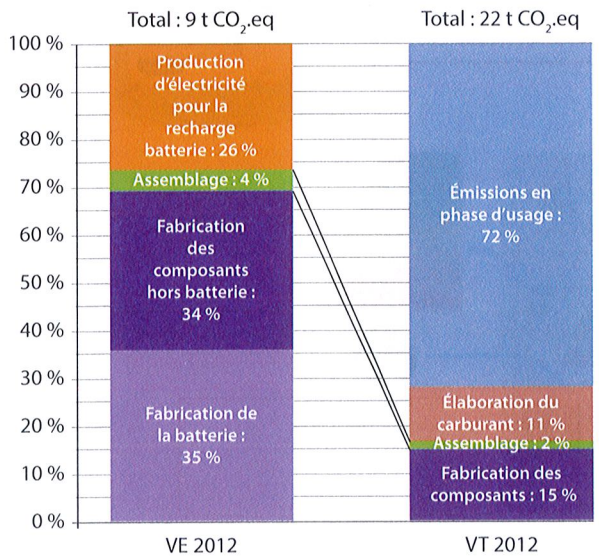


Figure 1 : Émissions de CO_2 dues aux étapes du cycle de vie des véhicules électriques (VE) et des véhicules thermiques (VT), fabriqués et utilisés en France, pour l'unité fonctionnelle définie (Ademe)

4. a) D'après la **figure 1** ci-contre, quel élément du véhicule électrique contribue le plus à une élévation de son bilan CO_2 ? .....

b) Lors de quelle(s) étape(s) de son cycle de vie ?

.....

c) Estimer en %, pour la France, les économies en CO_2 d'une motorisation électrique par rapport à une motorisation thermique.

.....

d) Que pensez-vous du slogan publicitaire présent sur les véhicules électriques « ZERO g CO_2/km » ?

.....

.....

5. a) D'après la **figure 2** ci-dessous, pourquoi l'impact environnemental dû à l'utilisation du véhicule électrique dépend-il du mix électrique du pays ? .....

.....

b) Calculer pour la France, les États-Unis et la Chine les émissions de CO_2 dues à la recharge de la batterie sur toute la durée d'utilisation. .....

.....

6. a) Le véhicule électrique permet de diminuer les émissions de CO_2 si sa recharge batterie se fait à partir d'énergie électrique issue : ☐ des centrales à charbon ; ☐ des énergies renouvelables ; ☐ des centrales au fioul ou au gaz ; ☐ des centrales nucléaires.

b) Pour les énergies sélectionnées, y en a-t-il une pour laquelle il faudrait prendre en compte d'autres impacts ?

.....

.....

.....

Pays	Inde ou Chine	États-Unis	Europe	France
Bilan CO_2	175	110	90	15

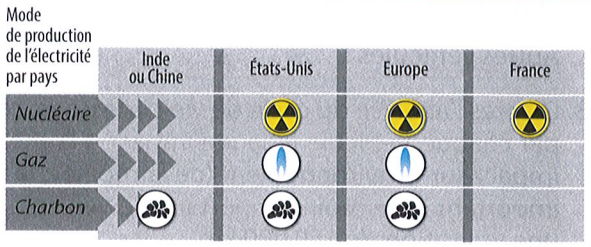


Figure 2 : Bilan CO_2 en g/km de la phase d'utilisation d'un véhicule électrique en fonction du mix électrique du pays (Le Figaro)

Activité 5. Étiquetage

- Pour chacun des produits suivants, indiquer la signification des logos et étiquettes.



Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 4 — ÉTUDE DE CAS

DÉMARCHE D'ANALYSE DU CYCLE DE VIE DE BASKETS

Problèmatique : Comparer l'impact environnemental de deux paires de chaussures Converse (d'après une étude de l'Université de Bretagne Sud et d'EcoConception Polymères & Composites de Lorient).

	Type de chaussure	Durée de vie	Usage	Nombre de lacets	Durée d'utilisation moyenne
	en toile	1 an	Urbain/sport	1 paire tous les 6 mois	5 hr/jour
	en cuir	2 ans	Urbain/sport	1 paire tous les 6 mois	5 hr/jour

Le champ de l'étude se limite aux étapes d'extraction des matières premières et de fabrication. Le transport et l'utilisation ont un impact négligeable et la fin de vie n'est pas réellement définie pour les chaussures (pas de recyclage).

La démarche suivie dans cette étude est celle définie par les normes ISO 14040 et ISO 14044.

1. Définition des objectifs

1. Définir une unité fonctionnelle permettant de comparer ces deux paires de baskets.

.....

2. Déterminer les flux de référence pour chacune de ces paires de baskets.

Toile coton : ..... Cuir : .....

3. Sur le graphe ci-contre, entourer en **vert** les impacts environnementaux pris en compte dans cette étude.

4. Surligner sur le graphe les cases qui correspondent à cette étude.

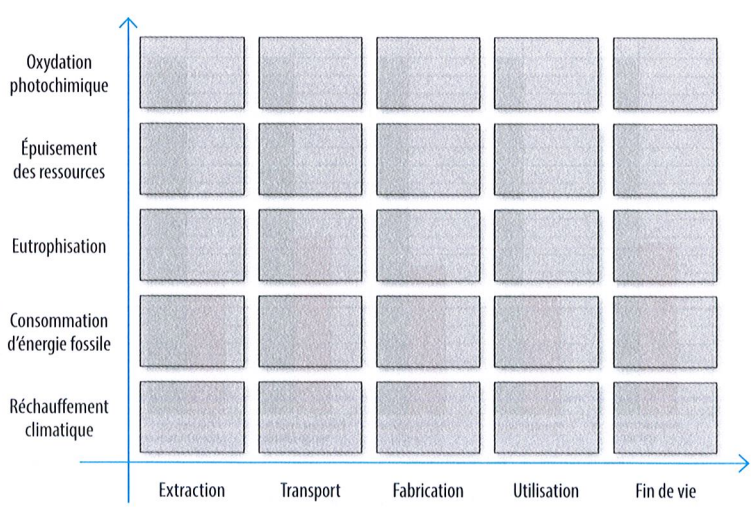
5. Comment s'appelle le type d'analyse qui est réalisée dans cette étude ?

.....

.....

.....

.....

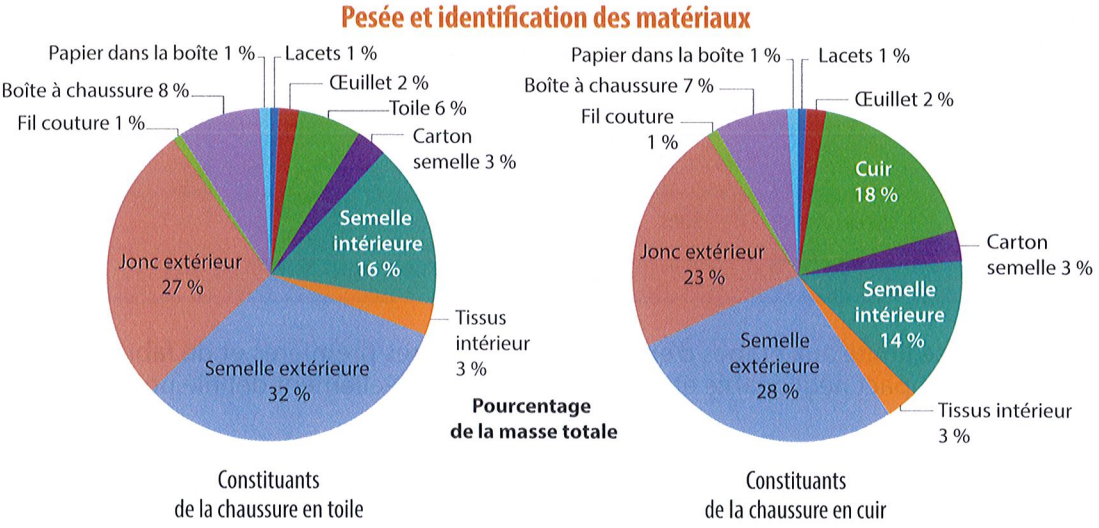


2. Analyse de l'inventaire

- Identifier pour une paire de baskets en toile et son emballage, 5 constituants principaux et leur matière.

Constituant	Matière

Remarque : pour réaliser un inventaire complet, il faudrait déterminer la quantité de matière consacrée à chaque partie des baskets, leur nature exacte, les procédés de fabrication, les énergies mises en jeu.



3. Évaluation des impacts
Analyse et interprétation des résultats

3.1 Étude des solutions existantes

Les données complètes sont entrées dans un logiciel dont les résultats sont fournis par les figures 1 à 4.

31 g de coton ; 200 g de caoutchouc ; 31 g de cuir synthétique ; 31 g de PU

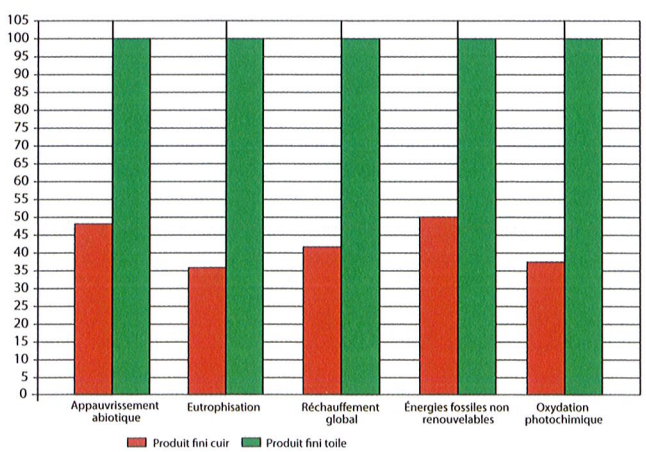


Figure 1 : Bilan environnemental des deux type de baskets

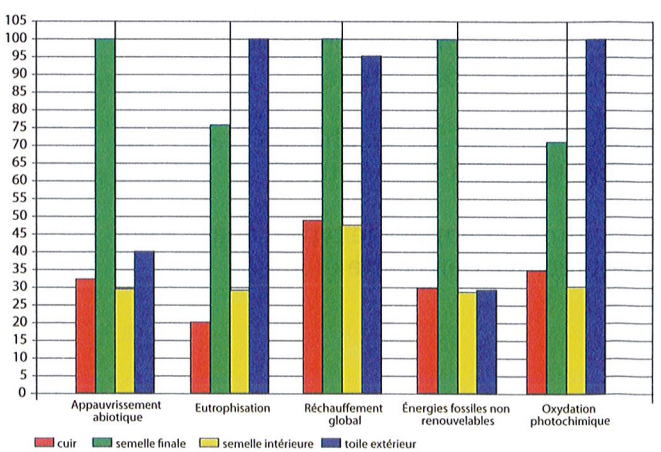


Figure 2 : Impact des quatre principaux constituants d'une basket en toile

1. D'après la **figure 1** :

a) Pour quel impact l'écart entre les deux paires de baskets est-il le plus important ? Calculer cet écart en %.

.....

.....

.....

b) Pour quel impact l'écart entre les deux paires de baskets est-il le moins important ? Calculer cet écart en %.

.....

.....

.....

c) Que pouvez-vous conclure sur les impacts environnementaux dus aux deux paires de baskets ?

.....

.....

.....

d) Pourquoi pouvait-on prévoir que la chaussure en toile de coton aurait un mauvais impact environnemental ?

.....

.....

.....

2. D'après la **figure 2**, quelle(s) partie(s) de la chaussure en toile faut-il modifier pour améliorer son bilan environnemental ?

.....

.....

.....

3.2 Recherche d'amélioration du bilan de la chaussure en toile

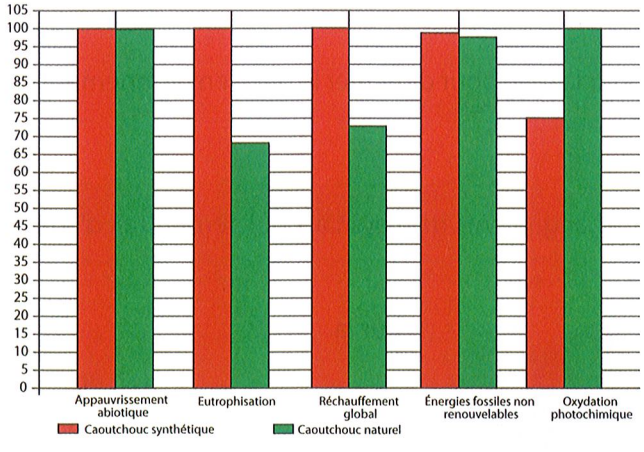


Figure 3 : Impacts environnementaux dus au caoutchouc synthétique et au caoutchouc naturel

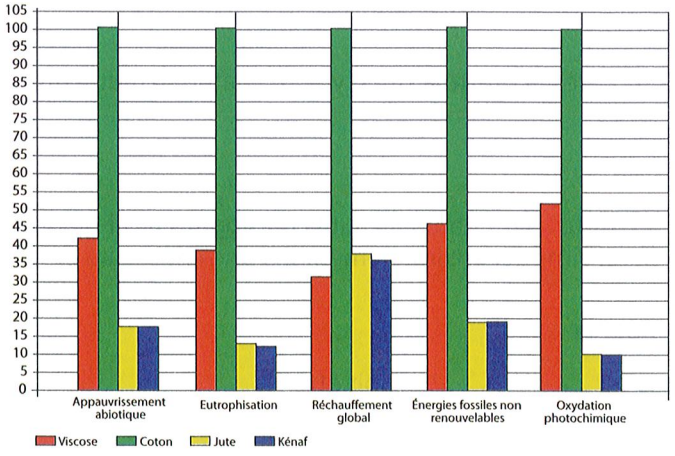
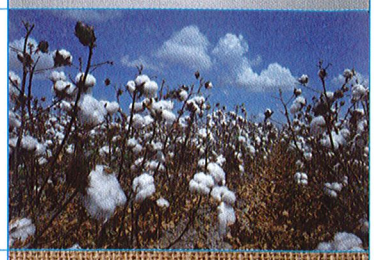
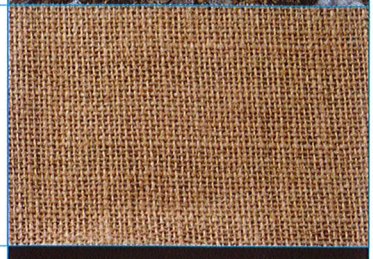


Figure 4 : Impacts environnementaux dus à différents types de toiles

Pour améliorer le bilan de la chaussure en toile, il a été décidé de remplacer la semelle en caoutchouc synthétique par du caoutchouc naturel et de remplacer la toile de coton par une toile en fibre végétal.

Les différents types de matériaux envisagés

Viscose	La viscose est une fibre artificielle fabriquée à partir de la cellulose des végétaux (bois).	
Coton	Le coton est une fibre naturelle formée de cellulose présente autour des graines des fruits du cotonnier.	
Jute	La toile de jute est une toile naturelle fabriquée à partir de végétaux (jute = chanvre du Bengale).	
Kénaf	La toile de kénaf est une toile naturelle fabriquée à partir de végétaux (kénaf = chanvre du Deccan).	

1. D'après **la figure 3**, peut-on envisager une amélioration des impacts environnementaux grâce au changement de matériau pour la semelle ?

.....

.....

2. D'après la **figure 4**, quel type de matériau faut-il utiliser pour la toile pour diminuer le bilan environnemental ?

.....

Conclusion : Indiquer sur la photographie ci-dessous, les changements de matériaux qui permettrait d'améliorer l'impact environnemental d'une chaussure en toile.

Pour la ....., le ..... doit être remplacé par .....



Pour la ....., le ..... doit être remplacé par .....

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 4

INVESTIGATION 1

OPTIMISATION D'UNE CANETTE

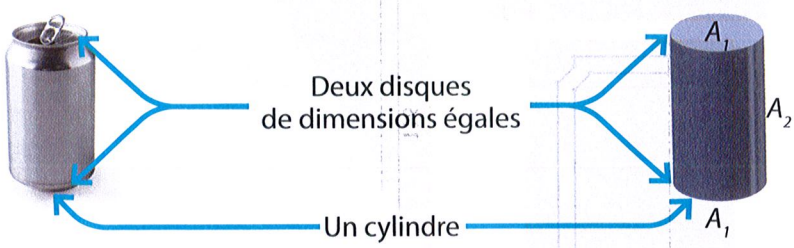
Problèmatique : Pour minimiser l'impact environnemental d'une canette, optimiser sa **taille** afin d'utiliser le moins de métal possible et choisir le **matériau** qui vous semble le moins impactant sur l'environnement.

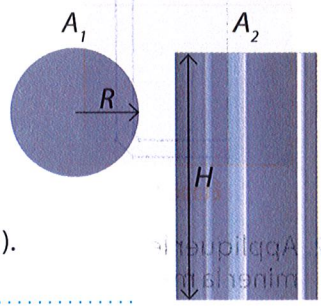
1. Taille de la canette

La canette étudiée contient 33 cL de boisson. C'est le volume choisi par le distributeur de boisson car il permet un conditionnement aisé et correspond au besoin du client.

La quantité de métal utilisée dépend de la surface de la canette.

De manière simplifiée, une canette est composée de trois surfaces.





1. Exprimer l'aire A_1 en fonction du rayon R. .....

2. Exprimer l'aire A_2 en fonction de la hauteur H et du rayon R.

.....

3. Exprimer l'aire totale extérieure A de la canette en fonction de R et H (équation ①).

.....

4. Exprimer le volume V du cylindre en fonction de R et H (équation ②).

.....

5. Sachant que le volume de la cannette est de 380 000 mm³, exprimer H en fonction de R dans l'équation ②.

.....

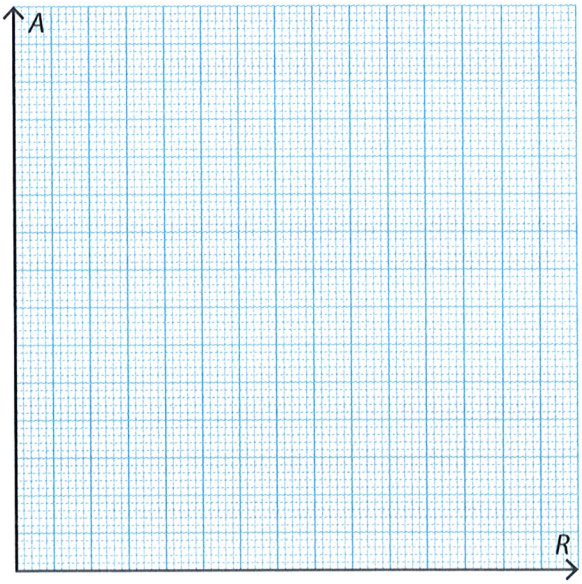
6. Remplacer H par son expression dans l'équation ①. Vous obtenez l'expression de l'aire A de la canette en fonction seulement du rayon R de la canette.

.....

7. À l'aide d'une calculatrice, tracer le graphe de l'aire A en fonction du rayon R (pour 10 mm < R < 70 mm). Indiquer l'aire la plus petite, le rayon et la hauteur correspondants.

A = ... ;

R = ... ; H = ...



8. Comparer le rayon et la hauteur obtenus avec celui d'une vraie canette. Conclure quant à la taille des canettes utilisées dans le commerce. .....

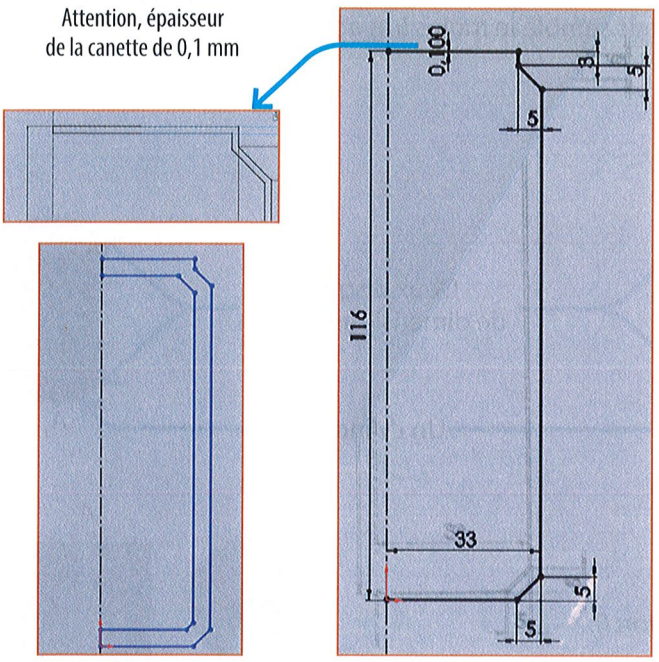
.....

.....

2. Impacts environnementaux de la canette

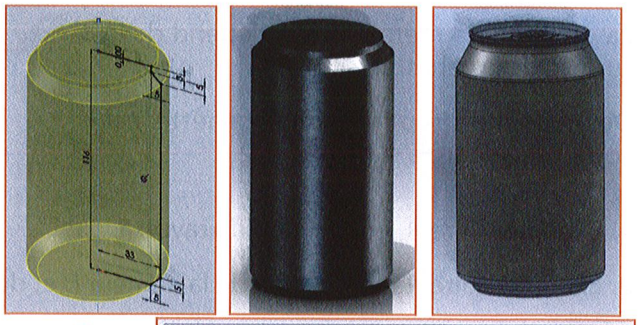
Afin de quantifier les impacts environnementaux de la canette, vous pouvez utiliser un logiciel de CAO et un complément dédié au développement durable. Sur cet exemple la canette est représentée de manière simplifiée. Pour avoir de meilleurs résultats, vous pouvez prendre les formes et les mesures réelles sur une canette et la dessiner entièrement. Si vous possédez un scanner 3D il est possible de l'utiliser pour avoir la forme extérieure de l'objet.

1. Dessiner la canette sur le logiciel.



Étape 1 Étape 2

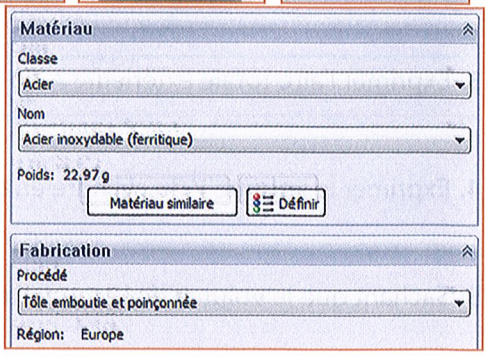
- Étape 1 : dessiner l'esquisse sur un plan
- Étape 2 : donner les dimensions
- Étape 3 : appliquer une révolution à cette esquisse



Étape 3

2. Appliquer le matériau acier inoxydable à votre canette, puis déterminer la masse de la canette. Comparer cette masse à la masse réelle d'une canette (environ 22 g). .....

.....



3. Lancer le complément d'analyse de cycle de vie. Remplir les différentes données sachant que : la canette est en acier inoxydable, elle est fabriquée par emboutissage en France et sera utilisée en France. Consulter les résultats.

4. Faire la même étude avec de l'aluminium.

5. Conclure en fonction des résultats obtenus quant au matériau ayant le plus faible impact.

.....

.....

6. Aujourd'hui, certaines canettes sont construites à partir des deux matériaux. À l'aide d'une recherche sur Internet, trouver quelles sont les parties en acier et les parties en aluminium.

.....

Conclusion : Pour fabriquer une canette d'une contenance de 33 cL ayant les impacts environnementaux les plus faibles, il faut qu'elle ait les dimensions suivantes : .....

et qu'elle utilise les matériaux suivants : .....

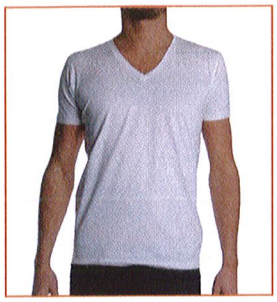
Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 4

INVESTIGATION 2

CYCLE DE VIE D'UN TEE-SHIRT : IMPACT ENVIRONNEMENTAL DÛ AU TRANSPORT

Problèmatique : Évaluer les gaz à effet de serre émis pendant les phases de transport du cycle de vie d'un tee-shirt.



Le **transport** intervient en tout point du **cycle de vie d'un tee-shirt** : transport de matières premières, transport pour la transformation de la matière première, transport lors de la fabrication du tee-shirt, transport sur le lieu de distribution, transport sur le lieu de vente, ...

Pour cette analyse, utiliser un logiciel de cartographie (**Google Earth**, **Via Michelin**, **Mappy**, ...) pour les trajets routiers et Internet pour les trajets maritimes (**http://www.searates.com/reference/portdistance/map** ou autre).

DOC. 1 D'après une étude de Pietra Rivoli – professeur à l'université Georgetown de Washington

« C'est là, à **Lubbock,Texas**, « ville la plus cotonneuse de la planète », qu'habite Nelson Reinsch, 81 ans, « un gentleman dans le vrai sens du terme » dont les 400 hectares peuvent produire 250 tonnes de coton brut, soit suffisamment pour fabriquer 1,3 million de tee-shirts.

Ce coton va voyager par camion. Les balles de coton destinées à l'industrie chinoise du textile empruntent les routes américaines jusqu'au **port de Long Beach**, au sud de Los Angeles, en Californie. Chargées sur des bateaux, elles termineront leur périple dans le **port de Shanghai**.

À Shanghai, après transport par camion, c'est dans une usine à l'extrémité opposée de l'interminable banlieue de Shanghai (adresse : **Lian Tang Guo Yuan**) que le coton se transforme en fils puis en tee-shirt. Après être ramenés par camion, les conteneurs remplis de tee-shirts sont chargés au **port de Shanghai**, puis traversent l'océan Pacifique, longent la côte ouest du Mexique, empruntent le **canal de Panama** et accostent à **Miami**.

Les tee-shirt sont enfin transportés par camion à l'adresse suivante : **Sherry MFG Company, 3287 N.W. 65th Street - Miami, FL 33147**, entreprise qui imprime les tee-shirt et les vend. »

Résumer vos résultats dans un document présentant les réponses aux questions suivantes, le bilan sur les trajets effectués, le type de transport et l'impact environnemental.

1. Objectifs et type d'analyse

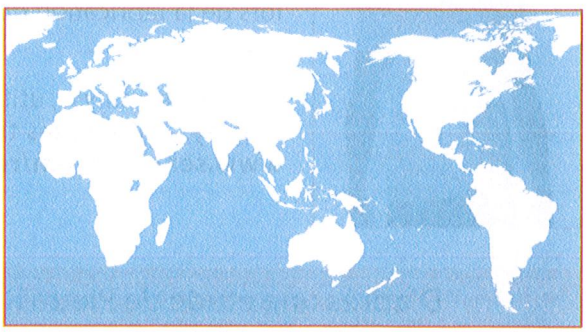
1. Préciser le type d'analyse à mener.
2. Quel est l'impact environnemental à évaluer ?
3. Quels autres impacts aurait-on pu évaluer ?
4. Quelle est la matière première, son lieu de récolte ?
5. Quel est le produit fini, où est-il vendu ?
6. Quels autres transports de la vie du produit ne prend-on pas en compte dans l'analyse demandée ?

2. Trajet du tee-shirt

1. Évaluer les distances parcourues et résumer les résultats dans un tableau du type suivant.

Trajet		Distance pour le type de transport utilisé (en km)	
Lieu de départ	Lieu d'arrivée	Camion	Bateau
trouvés sur logiciel de cartographie		*trouvé avec l'outil itinéraire du logiciel de cartographie*	*trouvé sur Internet*
Récolte de coton	Port de		
Port de	Port de		
...	...		
Port de	Sherry MFG Company		
	Total		

2. Tracer le trajet total sur une carte avec le trajet en **camion** en **bleu** et celui en **bateau** en **rouge**.



3. Impacts pour un tee-shirt produit à l'étranger

1. Les tee-shirts sont acheminés par lots de 20 000. Chaque tee-shirt pèse 150 grammes. Combien de tonnes ont été transportées ?

   Il existe différents gaz responsables de l'effet de serre. Afin de pouvoir effectuer des comparaisons, il a fallu déterminer les équivalences entre les effets de chaque gaz et enfin choisir une unité. En général, on compte en équivalent dioxyde de carbone (éq CO_2). En moyenne, un transport par camion émet 0,108 kg éq CO_2 par tonne et par km et un transport par bateau émet 0,024 kg éq CO_2 par tonne et par km.

2. Calculer l'impact en kg éq CO_2 pour la partie transport en camion, pour la partie transport en bateau et pour le total.

3. Calculer cet impact pour un seul tee-shirt en kg éq CO_2.

4. Impacts pour un tee-shirt produit localement

1. Si le tee-shirt avait simplement été fabriqué sur place (à Lubbock) puis transporté à Miami en camion, quel aurait été son impact CO_2 ?

2. Comparer avec les résultats du tee-shirt précédent. Qu'en pensez-vous ?

3. Quelle économie aurait été réalisée ?

4. À partir du document suivant, chiffrer cette économie en km de petite voiture, kWh produits en France, km en train en France, m^3 de gaz.

DOC. 2 Taux de CO_2 équivalents pour des services courants

1 800 kg éq CO_2, c'est la quantité d'équivalent CO_2 d'émission possible par personne par an sans dommage pour l'équilibre global de la planète. 1 800 kg éq CO_2, c'est aussi :

- 8 000 km sur route avec une petite voiture
- 1 000 à 2 000 km en zone urbaine avec un monospace ou un 4 × 4
- 250 000 km en train en France
- 5 000 km en moyen-courrier (1 aller simple Paris New-York)
- 5 000 kWh en France (électricité nucléaire et hydroélectrique)
- 666 kWh en Grande-Bretagne (30 % d'électricité d'origine nucléaire)
- 1 000 m^3 de gaz
- 1 600 litres de lait
- 17 000 œufs

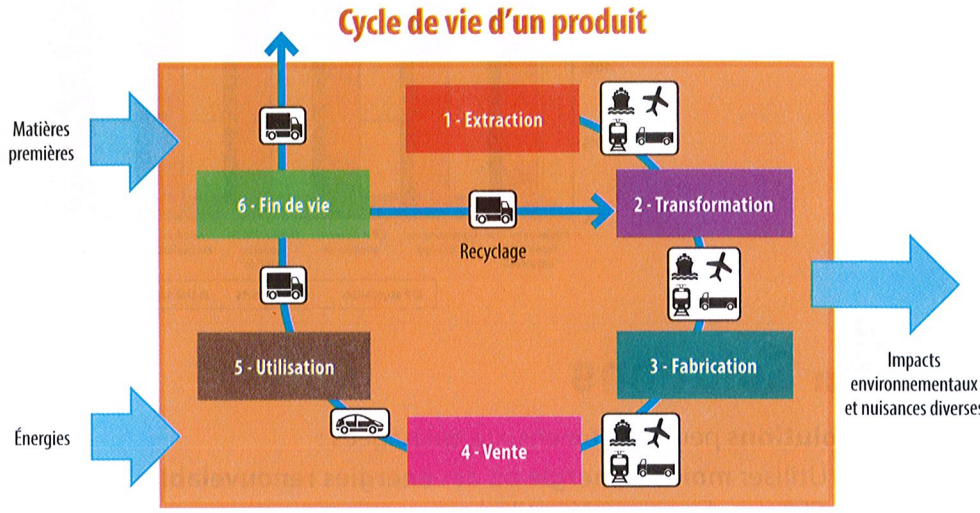
SÉQUENCE 4 SYNTHÈSE

CE QU'IL FAUT RETENIR DE LA SÉQUENCE

1. Cycle de vie

Tout produit obéit à un **cycle de vie environnemental** dans lequel il passe par diverses phases. Il nécessite des matières premières, de l'énergie et occasionne des effets sur son environnement.

L'**analyse du cycle de vie (ACV)** permet d'anticiper ces effets et d'optimiser le produit.



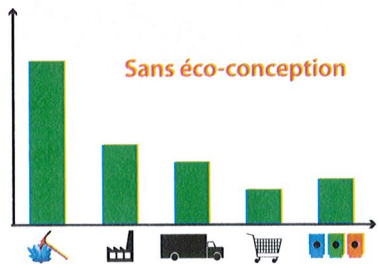
2. Analyse

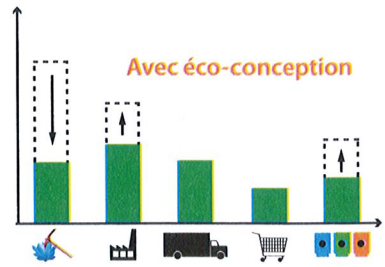
D'après la norme **NF EN ISO 14040**, pour faire une analyse de cycle de vie, il faut :

- Définir les objectifs de l'étude.
- Faire l'inventaire des différentes parties du système étudié.
- Évaluer l'impact environnemental.
- Interpréter les résultats.

Aujourd'hui, l'informatique permet de faire ce type d'étude et d'évaluer l'impact environnemental. **L'énergie grise** représente alors la somme des quantités d'énergie nécessaires tout au long du cycle de vie d'un produit.

À l'issue de cette analyse, pour améliorer le produit, on peut agir sur les **matériaux** et leurs **procédés**, sur les **énergies** utilisées ou sur les **transports**. Cependant, lors de cette optimisation, il faut éviter les **transferts d'impact** environnementaux (en changeant de matériaux par exemple, il peut y avoir une économie d'énergie mais une production de gaz à effet de serre plus importante).





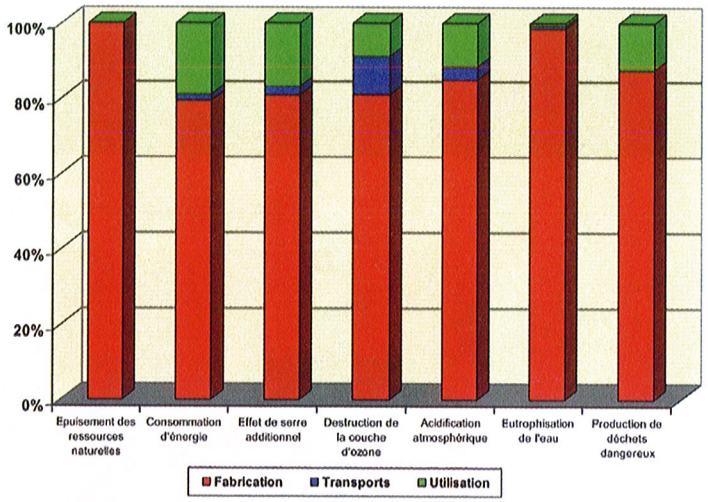
3. Résultats

Les résultats obtenus doivent être pris avec précaution. Ils reflètent l'état des connaissances à un **instant donné** pour un **objectif donné**. La même étude réalisée plus tard pourrait donner des résultats différents (notamment avec la mise à jour des données logicielles ou l'avancée des connaissances scientifiques).

Les impacts environnementaux peuvent être quantifiés par la production de **substances de référence** dans diverses unités.

Substances de référence	Unités
Gaz à effet de serre	kg éq CO_2
Consommation d'eau	m^3
Consommation d'energie	MJ – megajoule
Acidification de l'air	kg éq SO_2
Déplétion de la couche d'ozone	kg éq CFC-11
Eutrophisation	kg éq PO_4
Déchets solides	kg

Lors de **comparaisons** de résultats pour différents scénarios, les unités peuvent être normées et données en pourcentage.





Analyse réalisée par l'ADEME pour le cycle de vie d'un smartphone

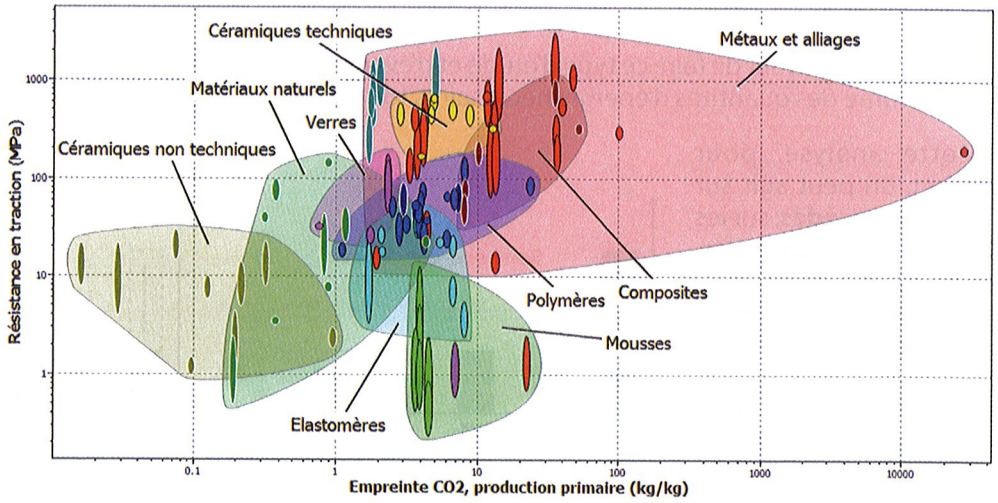
4. Solutions

Des **solutions** peuvent être ensuite envisagées :

- Utiliser **moins d'énergie** ou des **énergies renouvelables**.
- Changer les **procédés** utilisés.
- Optimiser les **transports** (relocalisation de la fabrication par exemple).
- Utiliser des **matériaux** moins polluants, moins toxiques.
- ...

Cependant, le service ou produit obtenu devra être de **qualité équivalente** à celui de départ.

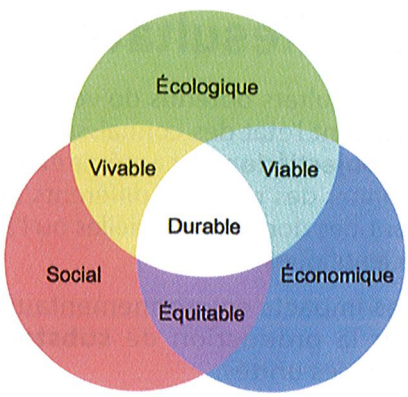
Graphique permettant un choix de matériaux à l'empreinte CO_2 faible tout en gardant une bonne résistance en traction.



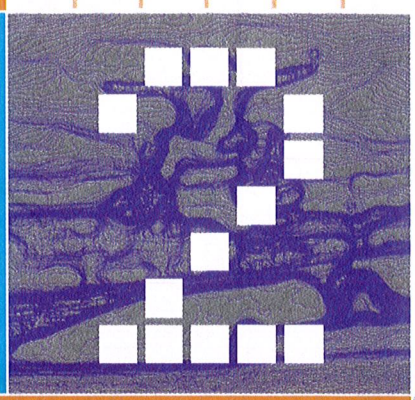
5. Les trois piliers du développement durable

Aujourd'hui, d'autres critères sont à prendre en compte lors de la conception d'un produit. Il faut qu'il soit **écologique**, **viable économiquement** et **socialement équitable**. Ce sont les 3 piliers du développement durable.

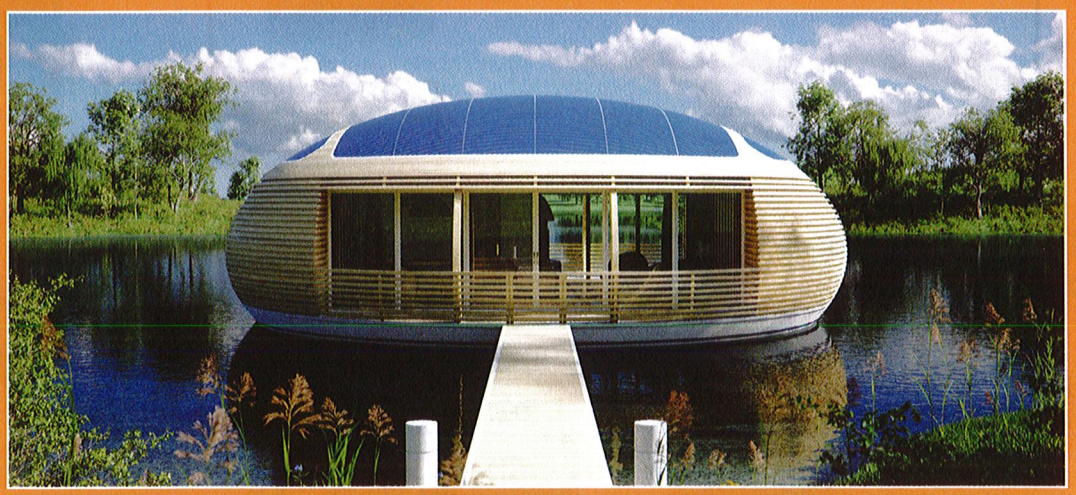
La norme **ISO 26000** permet de prendre en compte la **responsabilité sociétale** des entreprises.



PARTIE



Description, Analyse et Solutions Technologiques dans l'Habitat



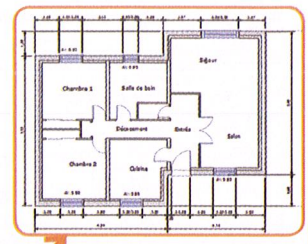
PARTIE 2

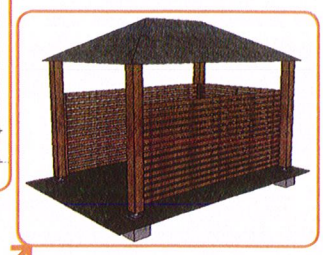
DESCRIPTION, ANALYSE ET SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES DANS L'HABITAT

5. Architecture et matériaux dans l'habitat (M)

Représentation en architecture
Notion de descentes de charges

Page 89

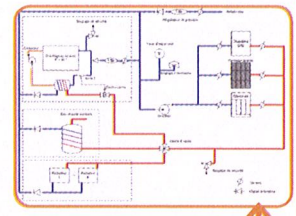


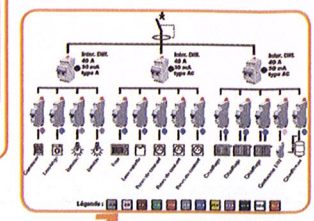


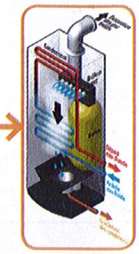
6. Les énergies traditionnelles dans l'habitat (E)

Utilisation des énergies finales dans l'habitat
Outils de représentations symboliques

Page 109









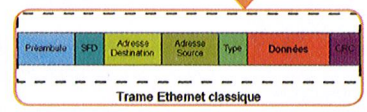
7. Le réseau d'information multimédia dans l'habitat (I)

Transmission de l'information, les réseaux et Internet

Page 133



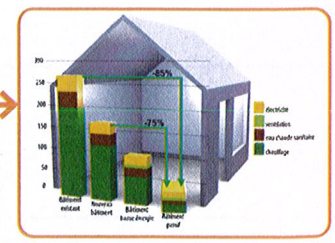


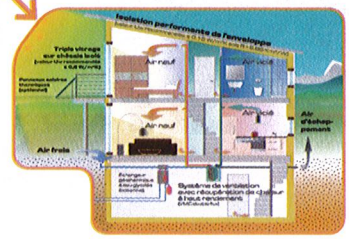


8. Efficacité énergétique dans l'habitat (M) (E) (I)

Les différentes solutions techniques disponibles pour augmenter l'efficacité énergétique dans l'habitat

Page 155





(M) = Matériaux ; (E) = Énergie ; (I) = Information

SÉQUENCE 5 LEÇON

ARCHITECTURE ET MATÉRIAUX DANS L'HABITAT

LIAISON RÉFÉRENTIEL

2 Outils et méthodes d'analyse et de description des systèmes
2.2 Outils de représentation
2.2.1 Représentation du réel
2.3 Approche comportementale
2.3.4 Structures porteuses – Transfert de charges

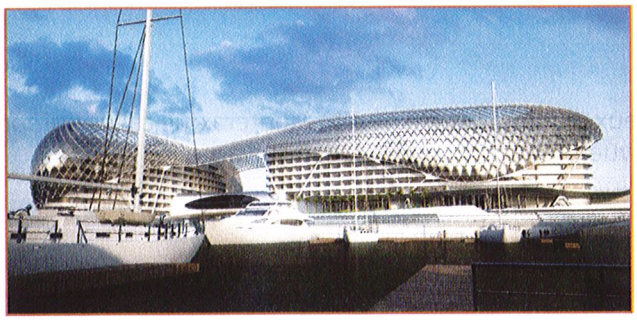
1. Situation déclenchante

DOC. Hôtel YAS

De tout temps, les dessins et les plans ont été utilisés dans divers domaines. Il s'agit d'un langage graphique qui réalise le lien entre tous les acteurs d'un projet.

En architecture, comme ailleurs, une très grande précision doit être apportée à leur réalisation et dans leur lecture.

La rigueur permet des réalisations somptueuses comme l'hôtel YAS d'Abu Dhabi (Émirats Arabes Unis), œuvre des architectes Hani Rashid et Lise Anne Couture, dont la construction s'est achevée en 2009. Il est composé de deux tours de 12 étages enveloppées d'un voile de 217 mètres d'étendue.



Le voile recouvre les deux tours et forme un pont entre elles en passant au-dessus d'un circuit automobile.

La couverture est réalisée suivant un principe appelé gridshell. Elle est composée d'un maillage d'acier supportant 5 800 panneaux de verre pivotants en forme de diamant. Chaque panneau est de dimensions différentes.

Pour réaliser cet assemblage monumental, la réalisation et la lecture méticuleuses des plans étaient plus que nécessaire.



1. Quelle est la partie la plus délicate à réaliser de ce projet ? .....

2. De quoi est composé le gridshell ? .....

3. Quels sont les assemblages à réaliser ? .....

4. Pourquoi fallait-il réaliser des plans précis ? .....





5. Le manque de rigueur peut entraîner le genre de réalisations ci-contre. Commenter ces photos.

.....

.....

.....

.....

Conclusion : .....

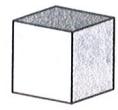
.....

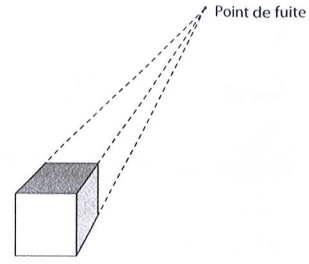
2. Éléments de lecture des plans

Dans tous les domaines techniques, les objets peuvent être représentés soit en **perspective,** soit en **vues dans le plan**.

2.1 Les perspectives

Trois perspectives sont très utilisées en dessin technique.

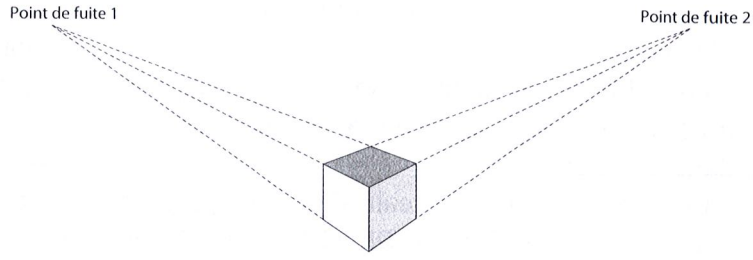




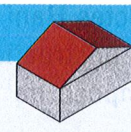
- La **perspective cavalière** (il n'existe aucun point de fuite) : toutes les parallèles de l'objet restent parallèles sur la représentation.

- La **perspective frontale** (il existe un point de fuite) : les verticales et les horizontales restent parallèles. Seules les lignes de côté convergent vers un point de fuite.

- La **perspective oblique** (il existe deux points de fuites) : seules les verticales restent parallèles. Les deux points de fuites sont placés sur la même ligne. C'est la perspective la plus utilisée dans les dessins d'architecture.



APPLICATION 1 Perspective

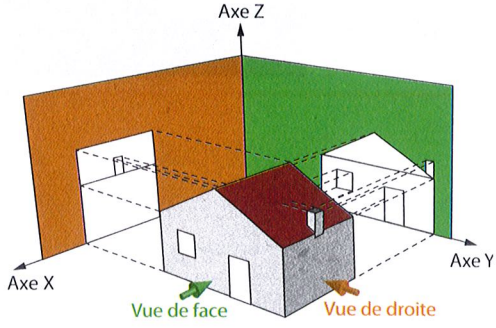


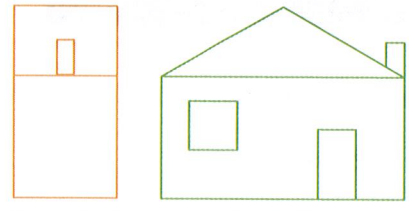
- Dessiner, sur une feuille, la maison ci-contre en perspective oblique.

2.2 Les vues en plan

Tous les objets peuvent être représentés par six vues en deux dimensions. On ne représentera que celles qui sont nécessaires (2 ou 3). La construction et le placement des vues s'effectuent de la façon suivante.

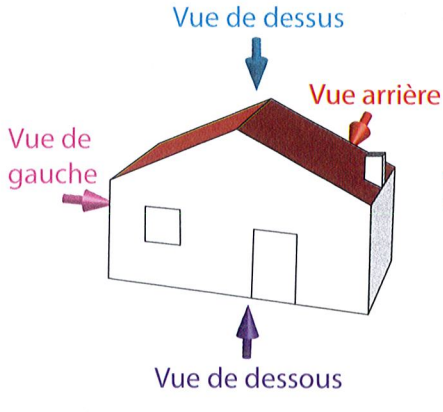
- **Vues de face et de droite**

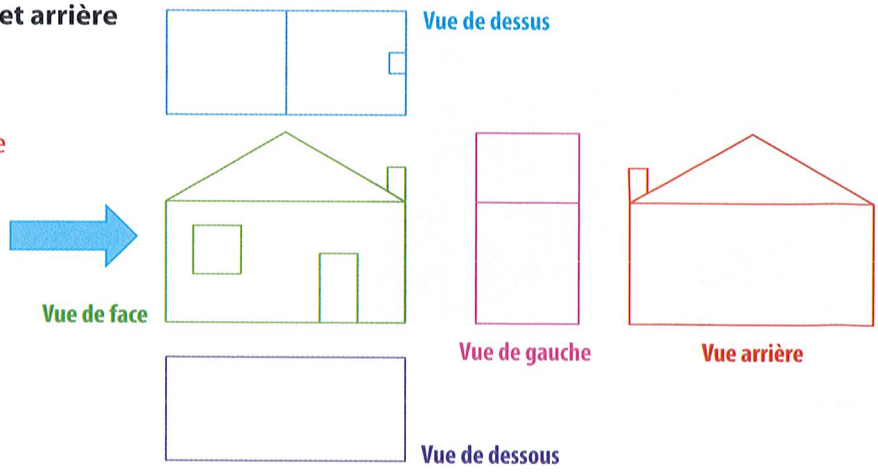




Remarque : la vue de droite se dessine à gauche de la vue de face

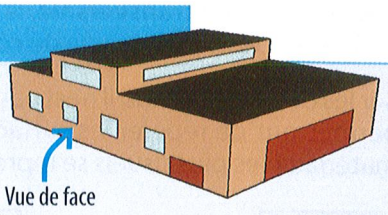
- **Vues de dessus, dessous, gauche et arrière**





APPLICATION 2 Vues

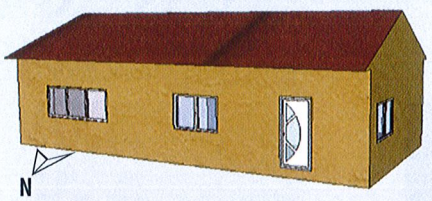
• Dessiner, sur une feuille annexe, les vue de face, de dessus et de droite du bâtiment ci-contre sans prendre en compte les dimensions.

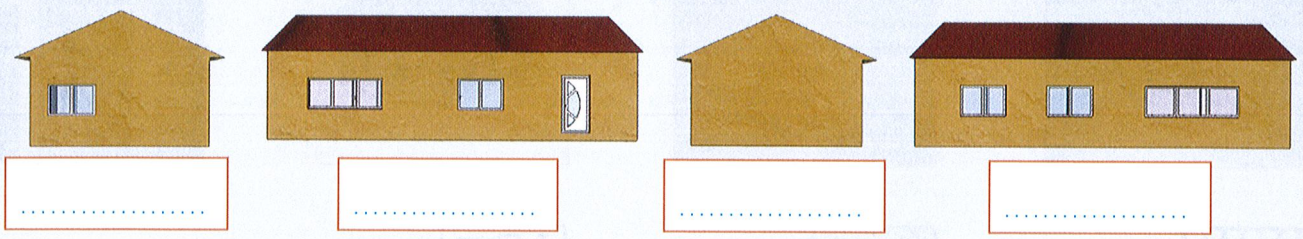


Remarque : En architecture, les vues sont notées par rapport à leur exposition (nord, sud, est, ouest). La façade nord, par exemple, est la façade qui fait face au nord.

APPLICATION 3 Nom des vues

• En utilisant la vue ci-contre, donner le nom des différentes façades ci-dessous.





....

2.3 Les traits

Les principaux traits utilisés dans les dessins sont les suivants :

- Traits continus : lignes de contour de forme
- Traits pointillés : lignes ou arrêtes cachées
- Traits mixtes : lignes d'axe
- Lignes de cotation
- Lignes d'attache des cotations

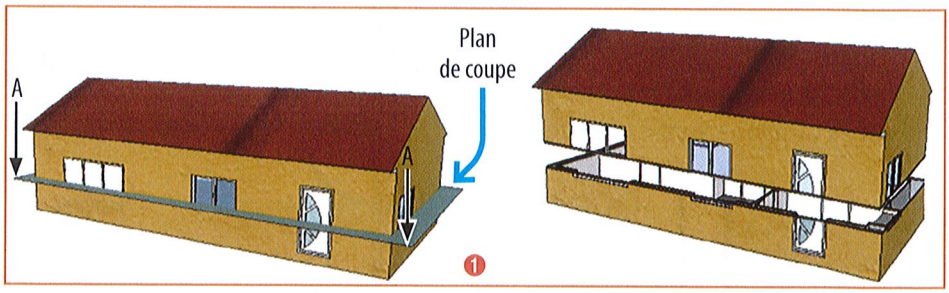
2.4 Les coupes

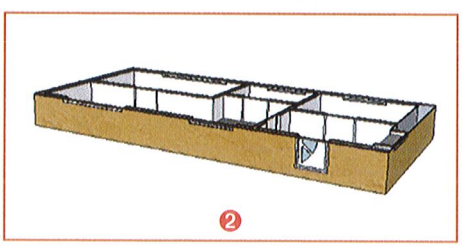
Une coupe ou vue en coupe est une représentation permettant une meilleure définition et une compréhension plus aisée des formes intérieures d'un ou plusieurs composants. Pour réaliser une **coupe longitudinale** il faut :

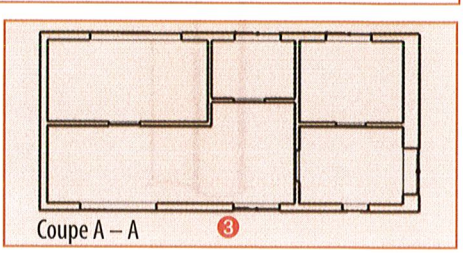
- Découper la maison suivant un **plan de coupe** ❶.
- Éliminer la partie inutile ❷.
- Dessiner une vue en plan de la partie restante ❸.
- Nommer la vue ❸.

Sur une vue en plan, le plan de coupe est indiqué par un trait mixte et la vue concernée par des flèches.









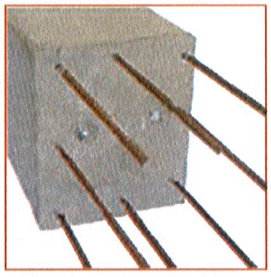
Pour une **coupe transversale**, la procédure est identique, mais il faut suprimer la partie droite ou gauche de la maison et dessiner une vue de côté de la partie restante.

Sur les dessins obtenus, il n'est pas possible de distinguer les surfaces qui ont été coupées des autres. Les **hachures** permettent de repérer les surfaces non vides et de connaître les matériaux utilisés pour leur réalisation. Les matériaux les plus usuels se représentent ainsi.

Béton non armé



Béton armé



Béton préfabriqué



Terrain



Maçonnerie



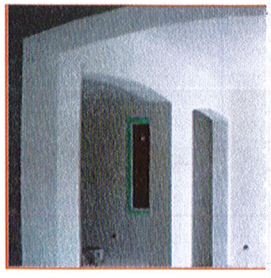
Enduit, mortier



Bois



Plâtre



Isolation



Gravier

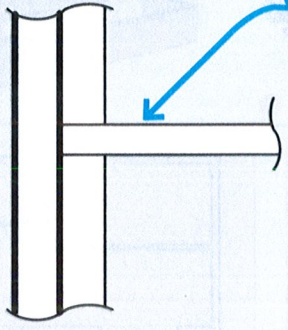


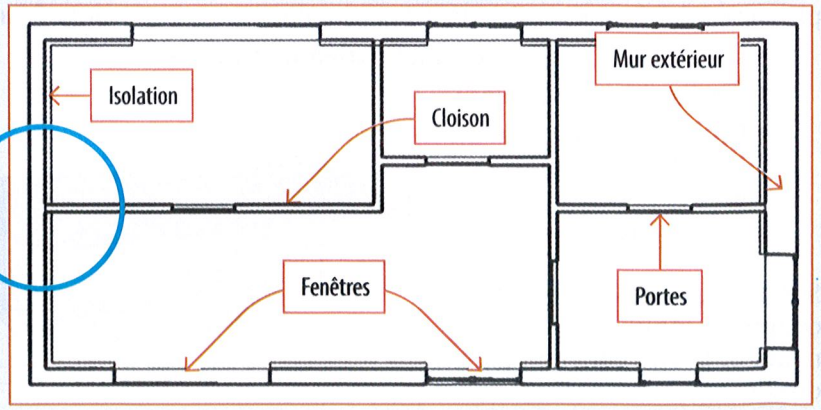
Acier, métal



APPLICATION 4 Hachures

- Tracer les hachures sur la partie zoomée de la vue en coupe, sachant que :
  - Les murs extérieurs sont en parpaings.
  - Chaque mur extérieur est isolé.
  - Les cloisons sont en plâtre.





2.5 Les échelles, les cotations et les symboles

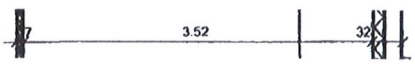
Pour que tous ces plans soient utilisables, il faut une échelle et une cotation.

L'**échelle** représente la proportion entre la dimension réelle et la dimension tracée.
Différentes notations :

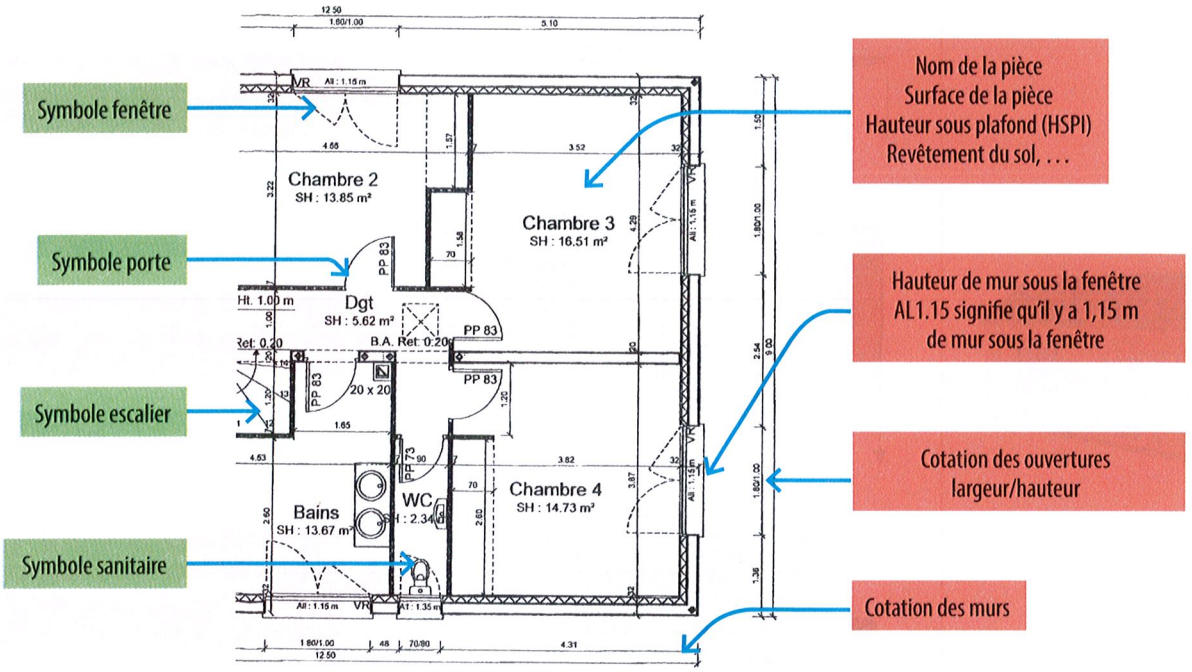
- Grandeur réelle 1 : 1 ou 1/1
- Agrandissement X : 1 ou X/1 avec X coefficient d'agrandissement
- Réduction 1 : X ou 1/X avec X coefficient de réduction

Exemple : Avec une échelle 1 : 50, un trait de 1 cm sur le plan représente une longueur de 50 cm en taille réelle.

La **cotation** permet de donner les dimensions des différents éléments du plan. L'unité recommandée par la norme est le **millimètre** ou le **mètre**.

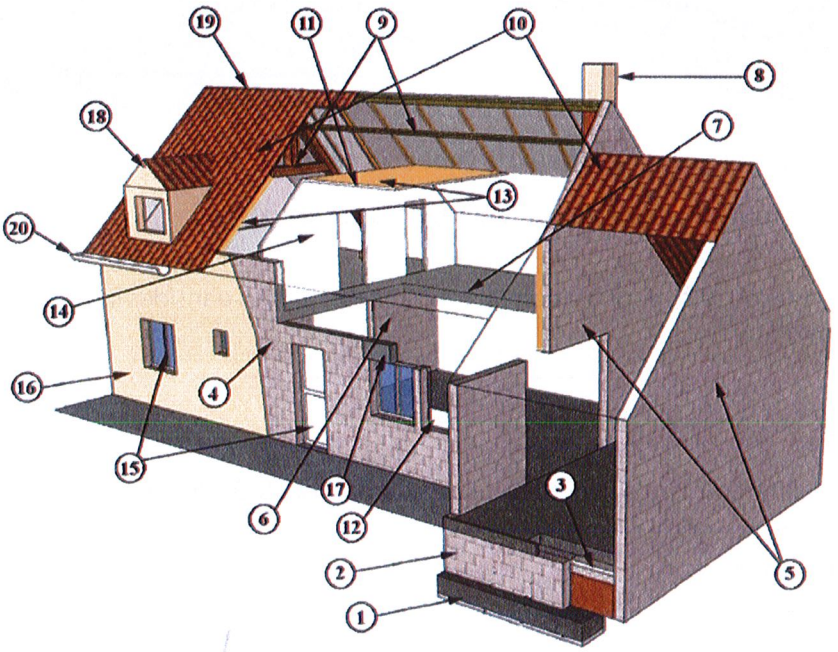


Les **symboles** permettent de représenter les différents constituants de la construction ou de l'aménagement.



3. Les termes techniques

Les principaux termes utilisés dans la construction d'une maison sont donnés sur le schéma ci-dessous.

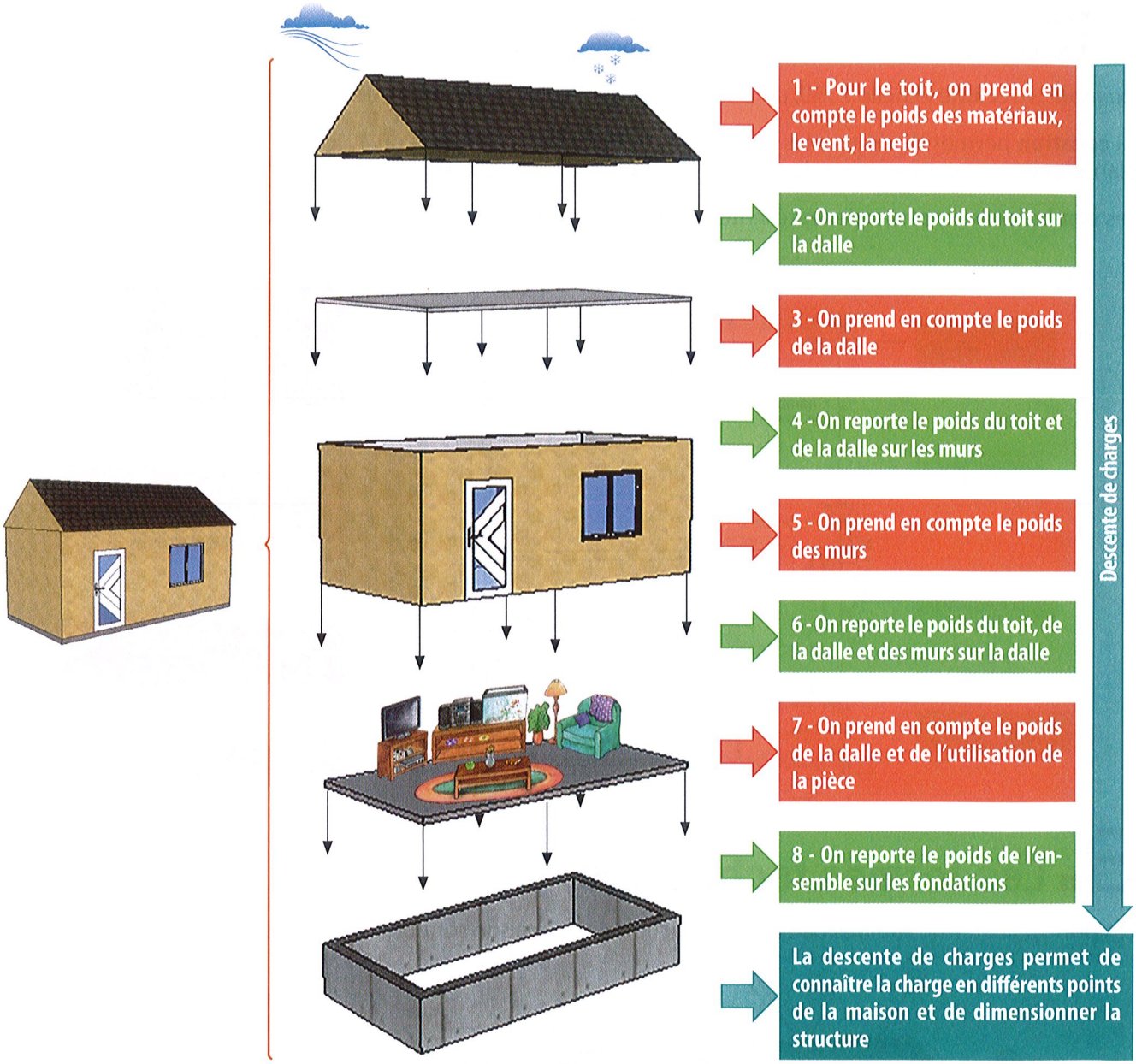


1 : Fondations
2 : Soubassement
3 : Dallage
4 : Mur de façade
5 : Mur pignon
6 : Mur de refend
7 : Plancher
8 : Conduit de fumée et souche
9 : Charpente
10 : Couverture
11 : Plafond
12 : Doublage des murs extérieurs
13 : Isolation thermique des combles
14 : Cloisons de distribution
15 : Menuiserie de baie
16 : Enduit
17 : Linteau
18 : Lucarne
19 : Faîtage
20 : Gouttière

4. Descente de charges

La **descente de charges** caractérise, pour un niveau donné de la construction, la charge (poids, vent, neige, ...) due aux éléments situés au-dessus de lui.

Si l'on prend une maison, la décomposition du calcul est la suivante.



Les **charges permanentes** représentent le poids des matériaux, le vent et la neige.

Les **charges d'exploitation** représentent tout ce qui concerne l'utilisation des locaux.

Remarque : On se limitera, dans cette leçon, à la modélisation du transfert de charges dans des structures de types portique, charpente ou poutre-poteaux.

4.1 Les charges permanentes

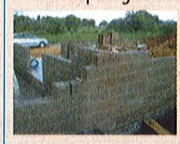
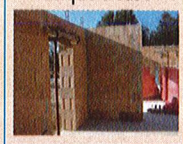
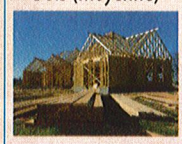
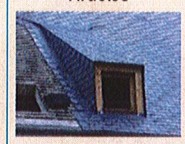
La répartition de ces charges s'effectue différemment suivant les parties du batiment. On prendra en compte :

- Planchers et toitures : charges surfaciques $\boldsymbol{Q}$ (en $N.m^{-2}$)
- Poutres : charges linéiques $\boldsymbol{q}$ (en $N.m^{-1}$)
- Poteaux : charges ponctuelles en N

4.2 Le poids des matériaux

Pour déterminer le poids des matériaux, on utilise la masse volumique.

Masse volumique des matériaux de construction les plus courants

Matériau	Béton	Parpaing	Brique creuse	Bois (moyenne)	Ardoise	Tuile terre cuite
						
Masse volumique (ρ) en kg/m^3	2 200	1 100	1 800 à 2 100	300 à 800	2 400	1 570

Les formules utilisées pour les calculs sont les suivantes :

- Masse des matériaux : $m = \rho \times V$ avec m en kg, ρ en kg.m^{-3}, V volume du matériau en m^3
- Poids des matériaux : $P = m \times g$ avec P en N, m en kg, g en m.s^{-2}
- Charge surfacique : $Q = \rho \times e$ avec Q en N.m^{-2}, e épaisseur du matériau en m
- Charge linéique : $q = \rho \times S$ avec q en N.m^{-1}, S surface du matériau en m^2

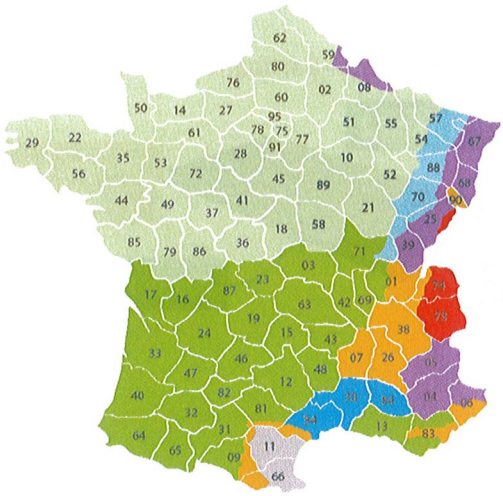
APPLICATION 5 Poids des matériaux

- Sachant qu'une dalle en béton a une épaisseur de 20 cm, calculer sa charge surfacique (prendre g = 10 m.s^{-2}).

.....

4.3 Influence de la neige

Les charges dues à la neige sont régies par des normes appelées **Eurocode**. Elles permettent, suivant les départements, de connaître le poids de neige à prendre en compte dans les calculs.



Charge ramenée au sol en daN/m²

	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D	E
Valeur caractéristique Sk de la charge de neige sur le sol à une altitude inférieure à 200m:	45	45	55	55	65	65	90	140
Loi de la variation de la charge caractéristique pour une altitude supérieure à 200:	Δs_1							Δs_2

Altitude A	Δs_1	Δs_2
200 m ≤ A ≤ 500 m	(A/10) - 20	1,5 (A/10) - 30
500 m < A < 1000 m	1,5 (A/10) - 45	3,5 (A/10) - 130
1000 m ≤ A ≤ 2000 m	3,5 (A/10) - 245	7 (A/10) - 480

Pour les altitudes supérieures à 200 m, la charge est égale à la valeur caractéristique + la variation.

APPLICATION 6 Charge due à la neige

- La maison se situe en Isère (38) à une altitude de 1 220 m. Calculer la charge, ramenée au sol, due à la neige. .....

4.4 Influence du vent

Les charges dues au vent sont régies également par des **normes Eurocode**. Elles permettent, suivant les départements, de connaître les vitesses et les pressions des vents à prendre en compte.



Régions	France métropolitaine			
	1	2	3	4
Vitesse de référence (m/s)	22	24	26	28

Régions	Départements d'Outre-Mer			
	Guadeloupe	Guyane	Martinique	Réunion
Vitesse de référence (m/s)	36	17	32	34

Pressions dynamiques du vent pour une altitude inférieure à 1 000 m

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Pression dynamique de base normale (daN/m²)	50	60	75	90
Pression dynamique de base extrême (daN/m²)	87,5	105,0	131,0	157,5

4.5 Les charges d'exploitation

Elles dépendent de l'utilisation des locaux et sont données sous forme de tableaux.

Bâtiments à usage d'habitation :

Logements - combles aménageables - terrasses accessibles privées	150 daN/m²
Escaliers - hall d'entrée - étages de caves - greniers	250 daN/m²
Combles non aménageables - terrasses non accessibles - terrasses jardins	100 daN/m²
Balcons	350 daN/m²

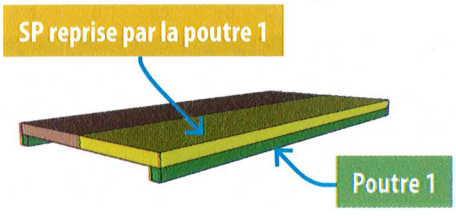
Parcs de stationnement :

Voitures particulières	250 daN/m²

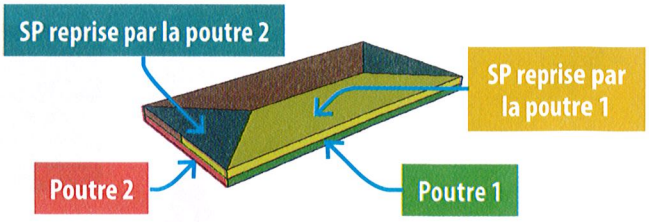
4.6 Report des charges

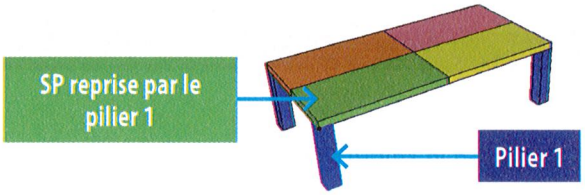
On appelle **surface d'influence SP**, la surface de charge qui sera reprise par l'élément inférieur. Ces surfaces SP dépendent des configurations.

Charge portée par deux poutres



Charge portée par quatre poutres



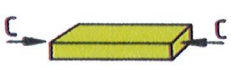


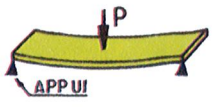
Charge portée par quatre piliers

4.7 Sollicitations

Les calculs permettent de déterminer les sollicitations auquelles sont soumis les éléments inférieurs sous la charge des éléments supérieurs. Ces sollicitations sont les suivantes.

La traction : 

La compression : 

La flexion : 

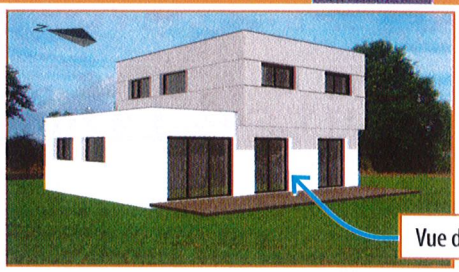
Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 5 TD

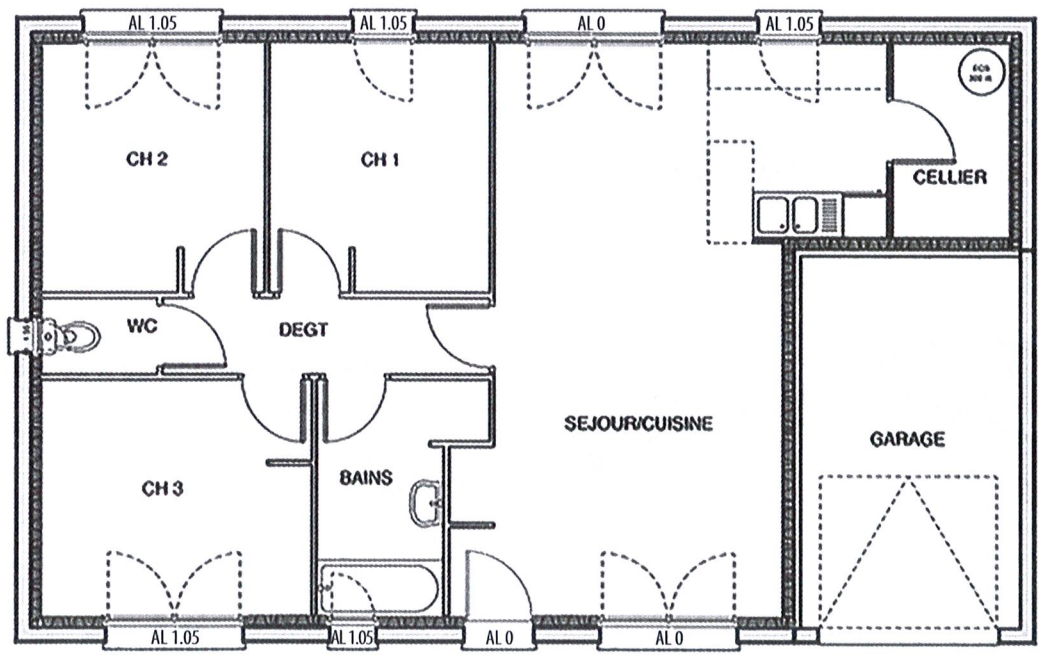
ARCHITECTURE ET MATÉRIAUX DANS L'HABITAT

Activité 1. Les vues en plan

- À l'aide de la représentation ci-contre, dessiner, sans tenir compte d'une échelle, les vues de face et de gauche de cette maison. Pour chaque vue, préciser l'orientation.



Activité 2. Les coupes



1. Sur la figure ci-dessus, surligner les cloisons de distribution, entourer en **rouge** les portes fenêtres, en **bleu** la porte d'entrée, en **vert** les fenêtres double vantaux et en **noir** les fenêtres simple vantail.

2. Quel est le mur qui n'est pas isolé ?

.....

3. Combien y-a-t-il de portes intérieures ? .....

Activité 3. Les échelles

1. D'après la figure de la page précédente, déterminer la valeur de l'échelle utilisée.

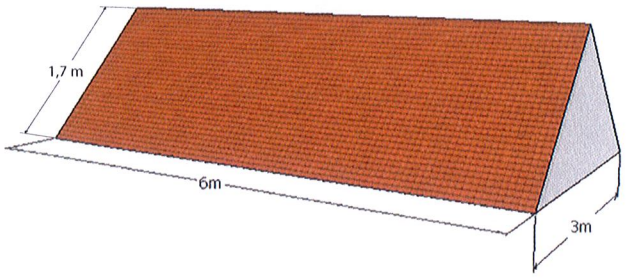
.....

2. Calculer la surface de la chambre 3 en m^2.

.....

Activité 4. La toiture

Le propriétaire d'une maison veut connaître le nombre de tuiles qu'il doit acheter pour couvrir sa maison.



Tuile Planum

Son design et ses dimensions facilitent la pose tout en permettant une diminution de son coût d'installation. La tuile PLANUM est une solution qui combine technique, esthétique et fonctionnalité pour créer des toitures avec des lignes élégantes, versatiles et économiques.



DONNÉES TECHNIQUES

Dimensions	a 440 mm b 280 mm c 32 mm
Unités par m^2	11
Poids par unité	3,5 Kg
Pureau longitudinal	369 (+A7mm)
Pureau transversal	237 (+2; -1mm)

1. Calculer le nombre de tuiles nécessaire à cette couverture.

.....

.....

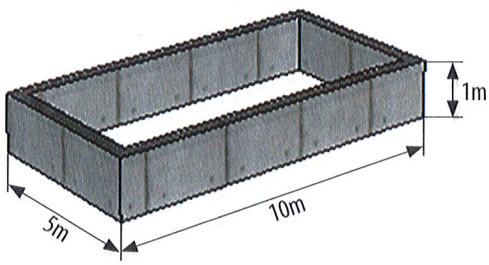
2. Calculer le poids de cette couverture.

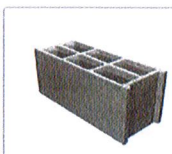
.....

.....

Activité 5. Les fondations

Le même propriétaire voudrait connaître le nombre de parpaings nécessaire à la réalisation des fondations de son garage.





Parpaing creux béton B40 20 x 20 x 50cm

Spécialement adapté à la réalisation de murs de façades, murs de sous sols enterrés, murs de refends, murs clôtures, garage.
Montage traditionnel au mortier ciment.
Dimensions : 20 x 20 x 50 cm.
Quantité par palette : 60

- Calculer le nombre de parpaings nécessaire.

.....

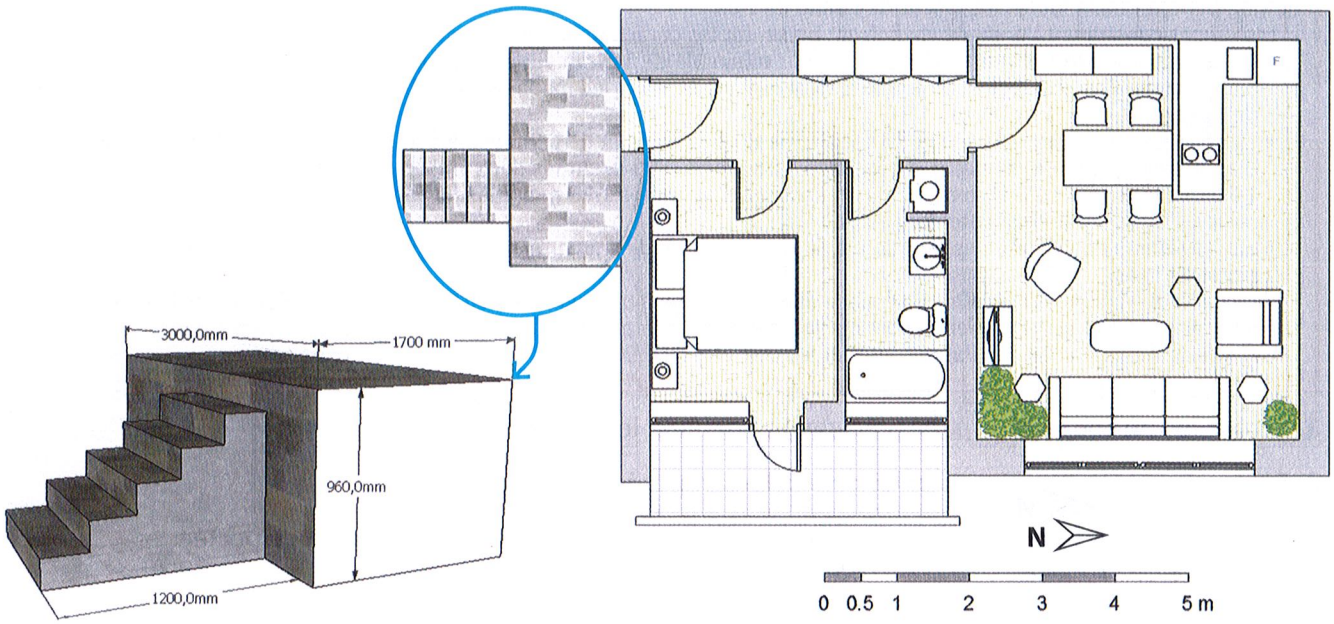
.....

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 5 ÉTUDE DE CAS

ADAPTATION AU HANDICAP D'UN APPARTEMENT

Problématique : Madame LAPIC voudrait rendre son appartement accessible aux handicapés en vue d'une location. L'appartement se situe au rez-de-chaussée d'une maison. Il a une surface de 50 m².



1. Cheminements extérieurs

DOC. 1 Circulaire interministérielle du 30/11/2007 (extrait)

Les cheminements extérieurs accessibles aux personnes handicapées doivent répondre aux dispositions suivantes :

Lorsqu'une dénivellation ne peut être évitée, un plan incliné de pente inférieure ou égale à 5 % doit être aménagé afin de la franchir. Les valeurs de pentes suivantes sont tolérées exceptionnellement :

- jusqu'à 8 % sur une longueur inférieure ou égale à 2 m ;
- jusqu'à 10 % sur une longueur inférieure ou égale à 0,50 m.

Un palier de repos est nécessaire en haut et en bas de chaque plan incliné quelle qu'en soit la longueur.

En cas de plan incliné de pente supérieure ou égale à 4 %, un palier de repos est nécessaire tous les 10 m. Le palier de repos s'insère en intégralité dans le cheminement. Il correspond à un espace rectangulaire de dimensions minimales 1,20 m x 1,40 m.

La largeur minimale du cheminement accessible doit être de 1,20 m libre de tout obstacle afin de faciliter les croisements.

Les portes et portails doivent avoir une largeur minimale de 0,90 m.

Qu'une porte soit située latéralement ou perpendiculairement à l'axe d'une circulation, la longueur minimale de l'espace de manœuvre de porte est de 1,70 m pour les ouvertures en poussant.

1. Calculer (en %) la dénivellation de l'escalier pour accéder au bâtiment. Est-elle conforme à la norme ? Quelle mesure faut-il prendre ? .....
2. Calculer la longueur du plan incliné nécessaire à l'accessibilité de l'appartement. Que faut-il prévoir en plus du plan incliné ? Faire un croquis, sur feuille, de cet accès. .....

.....

3. La largeur de la porte d'entrée est-elle correcte ? Pourquoi ? .....

.....

4. Quel est le type d'ouverture depuis l'extérieur de la porte d'entrée ? ☐ en poussant ☐ en tirant

5. Quelle doit être la longueur de l'espace de manœuvre devant la porte ? Est-elle correcte pour l'appartement ?

2. Pièces de l'unité de vie

DOC. 2 Circulaire interministérielle du 30/11/2007 (extrait)

Dans le cas d'un logement réalisé sur un seul niveau, il doit permettre à une personne handicapée d'utiliser une unité de vie constituée des pièces suivantes : la cuisine, le séjour, une chambre, un cabinet d'aisances et une salle d'eau.

Une personne doit pouvoir passer dans toutes les circulations intérieures du logement qui conduisent à une pièce de l'unité de vie ; pénétrer dans toutes les pièces de l'unité de vie.

Les pièces constituant l'unité de vie doivent présenter les caractéristiques suivantes :

- La cuisine doit offrir un passage d'une largeur minimale de 1,50 m entre les appareils ménagers installés ou prévisibles, compte tenu des possibilités de branchement et d'évacuation, les meubles fixes et les parois, et ce, hors du débattement de la porte.
- La chambre doit offrir, en-dehors du débattement de la porte et de l'emprise d'un lit de 1,40 m x 1,90 m, un espace libre d'au moins 1,50 m de diamètre, un passage d'au moins 0,90 m sur les deux grands côtés du lit et un passage d'au moins 1,20 m sur le petit côté libre du lit, ou un passage d'au moins 1,20 m sur les deux grands côtés du lit et un passage d'au moins 0,90 m sur le petit côté libre du lit.
- La salle d'eau doit offrir un espace libre d'au moins 1,50 m de diamètre en-dehors du débattement de la porte et des équipements fixes.
- Le cabinet d'aisances doit offrir un espace libre accessible à une personne en fauteuil roulant d'au moins 0,80 m x 1,30 m latéralement à la cuvette et en dehors du débattement de la porte.

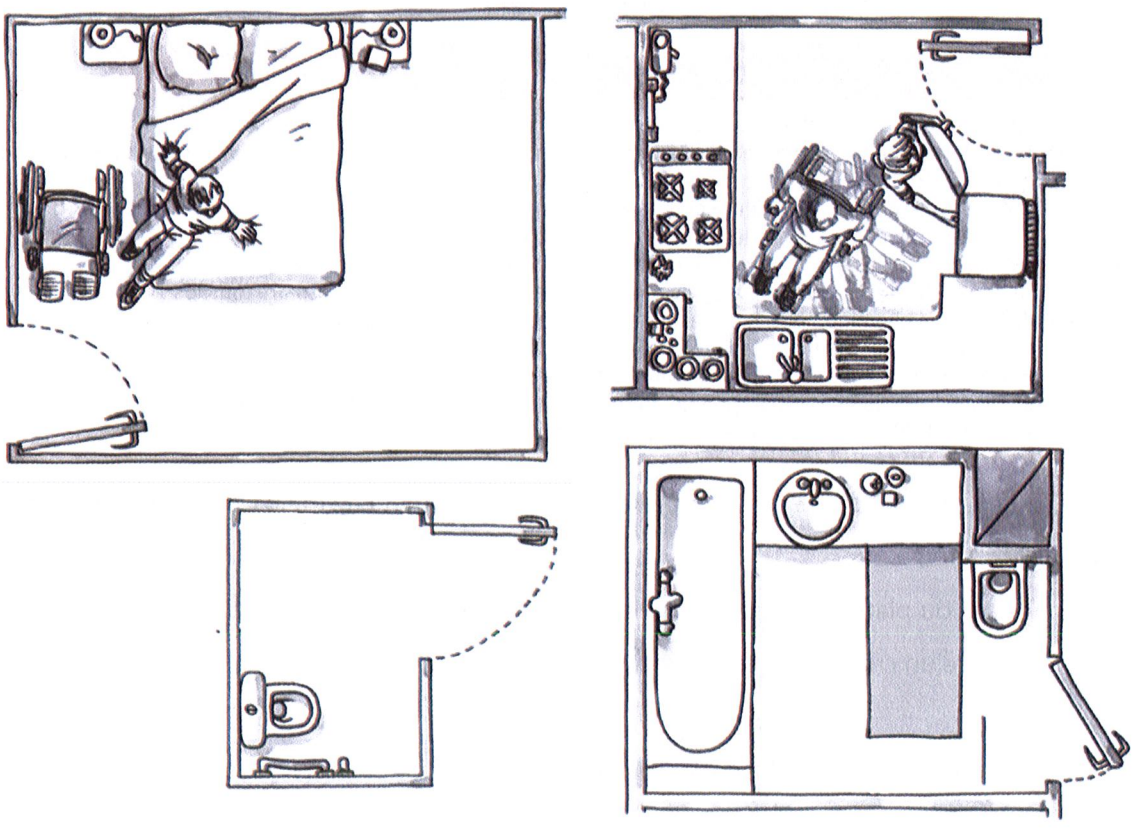
La largeur minimale des circulations intérieures doit être de 0,90 m.

1. Sur le plan en coupe de la page précédente, hachurer les pièces de l'unité de vie.

2. Sur les dessins ci-dessous, coter les dimensions imposées par la norme.

3. Pour chacune des pièces de l'unité de vie de l'appartement, vérifier si la norme est respectée.

Exemples d'implantation



Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

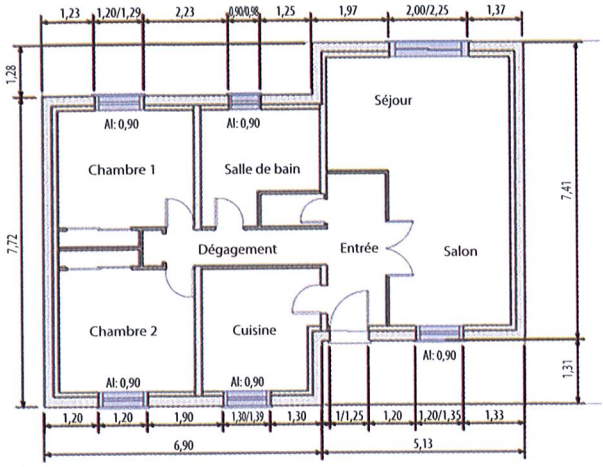
SÉQUENCE 5 — INVESTIGATION 1

MODIFICATION DES PLANS D'UNE MAISON

Problématique : La famille DUPUIS désire réaliser une extension de sa maison en faisant construire un garage sur leur terrain de 1 000 m². Elle vous demande de réaliser le plan 2D de cette extension.

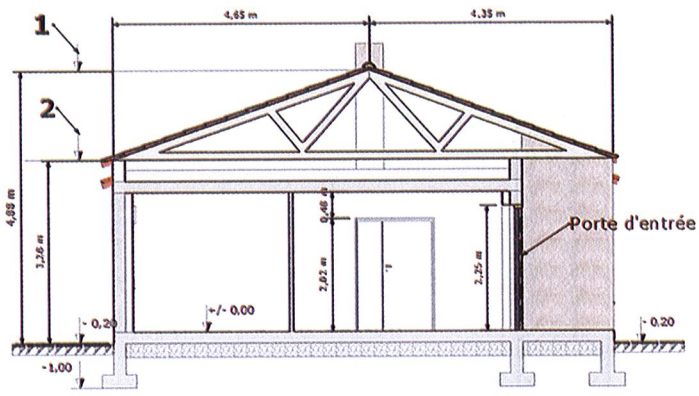
1. Analyse des plans

Afin de pouvoir travailler, il faut prendre connaissance des plans existants.



N

Coupe du rez-de-chaussée



Coupe A-A

1. Sur la coupe du rez-de-chaussée, tracer le plan de la coupe A-A. Indiquer, aux extrémités du trait de coupe, le sens d'observation par une flèche.
2. Donner la hauteur de passage de la porte à double vantaux du salon. .....
3. Donner la hauteur sous plafond. .....
4. Donner le volume du séjour/salon. .....
5. Les niveaux sont représentés par :
   - Une flèche ↓ et une valeur pour les coupes transversales. L'écriture ↓ +/- 0,00 représente la référence des mesures.
   - Un cercle ◯ et une valeur à l'intérieur pour les coupes longitudinales. L'écriture (0.00) représente la référence des mesures.

Les valeurs des autres niveaux sont données en mètre par rapport à cette référence. Donner les valeurs des niveaux repérés 1 et 2 sur la coupe A-A. *Niveau 1 :* ..... *Niveau 2* .....

2. Modification des plans

Le propriétaire désire construire un garage de 40,5 m² accolé à la façade nord de sa maison. Sa longueur devra être identique au mur de cette façade.

Il faut savoir que chaque construction est soumise à un coefficient d'occupation des sols (**COS**). C'est le rapport entre la surface de plancher hors œuvre nette (**SHON**) et la surface du terrain. Pour cette construction la SHON correspond à la surface totale de la maison et le COS est de 0,25.

1. Calculer la surface totale de la maison. .....

.....

2. En déduire la valeur de la surface maximale que pourrait avoir une nouvelle construction. Le garage peut-il être réalisé ? .....

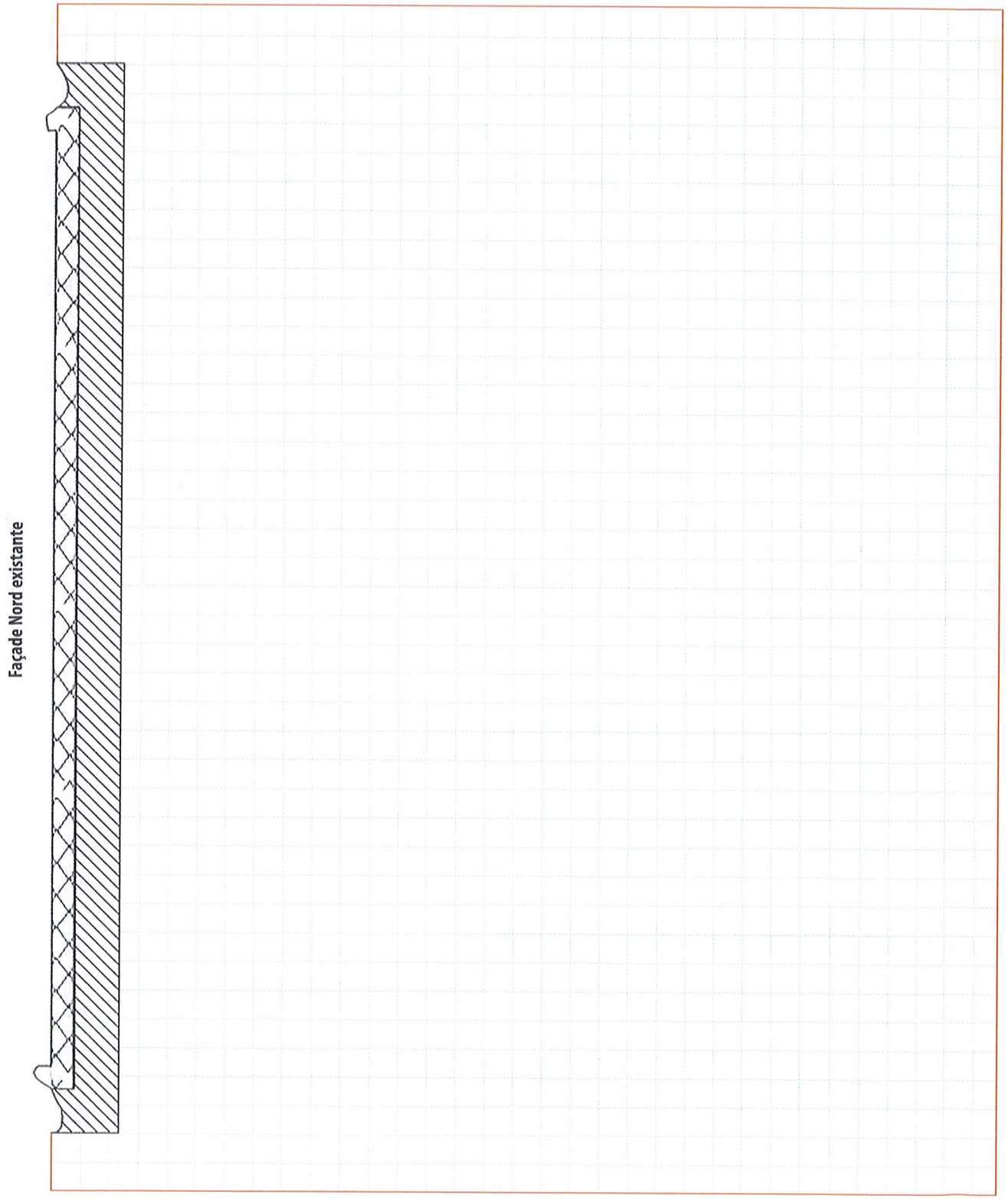
3. Calculer la largeur de ce nouveau bâtiment. .....

Le cahier des charges est le suivant :

- Murs en parpaings 20 × 20 × 50 cm non isolés.
- Porte garage 2,4 × 2 m (l × h) sur la façade Est.
- Fenêtre 0,8 × 0,9 m (l × h), allège de 1 m au milieu de la façade Nord.
- Fenêtre 0,8 × 0,9 m, allège 1 m et porte de service 0,9 × 2,14 m (l × h) sur la façade Ouest. La disposition est laissée à la convenance du dessinateur.
- Sol surélevé de 0,1 m par rapport au sol naturel.

4. Dessiner ci-dessous le garage à l'échelle 1/40e.

5. Porter toutes les cotations.



Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 5

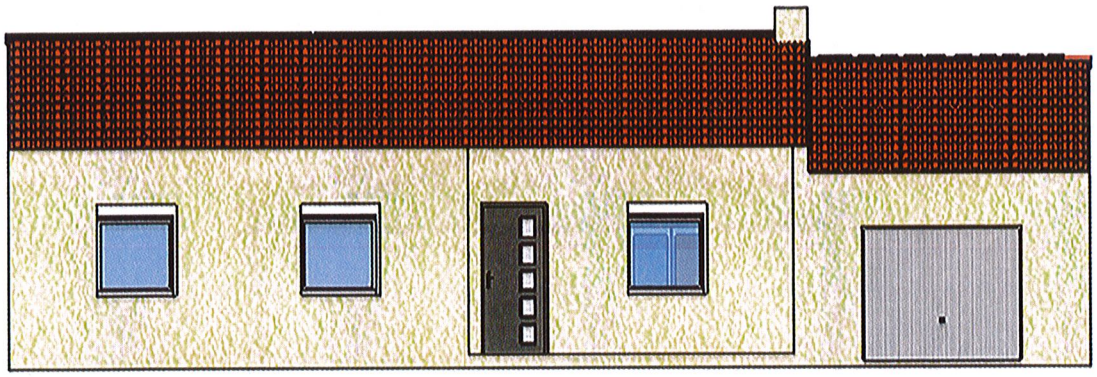
INVESTIGATION 2

REPRÉSENTATION EN 3D D'UNE MAISON

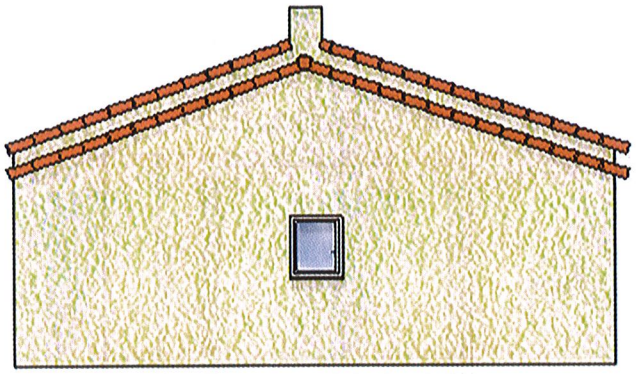
Problématique : Afin d'effectuer des simulations pour d'autres extensions possibles de leur maison, la famille DUPUIS aimerait avoir une représentation en 3D du modèle présenté.

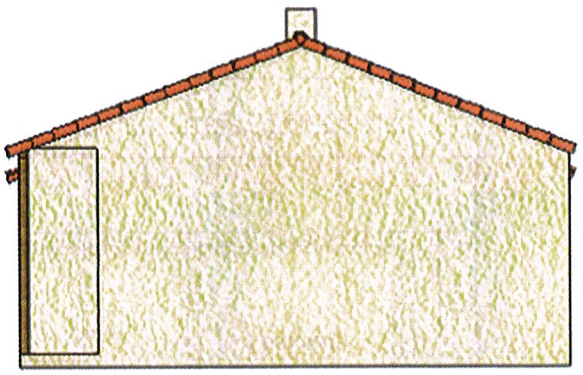
En utilisant la documentation de ces deux pages, dessiner, à l'aide d'un logiciel de dessin d'architecture, la maison en 3D. Seuls les murs extérieurs seront représentés.

Vue de face

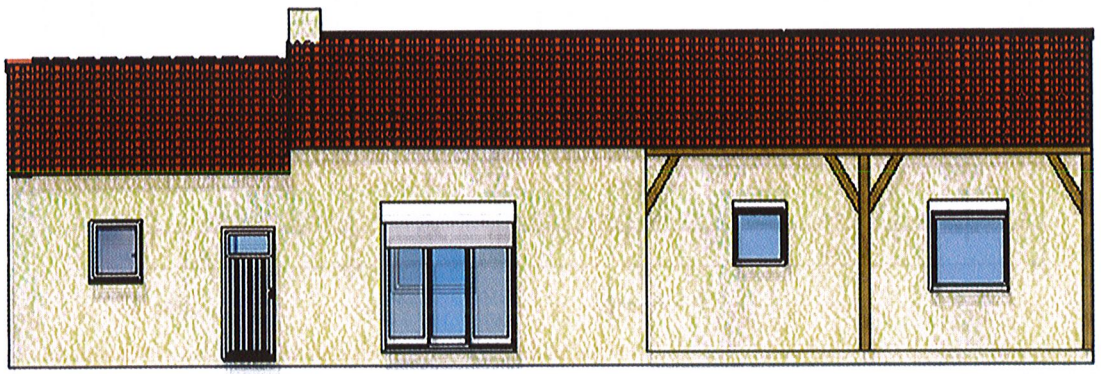


Vue de droite et vue de gauche



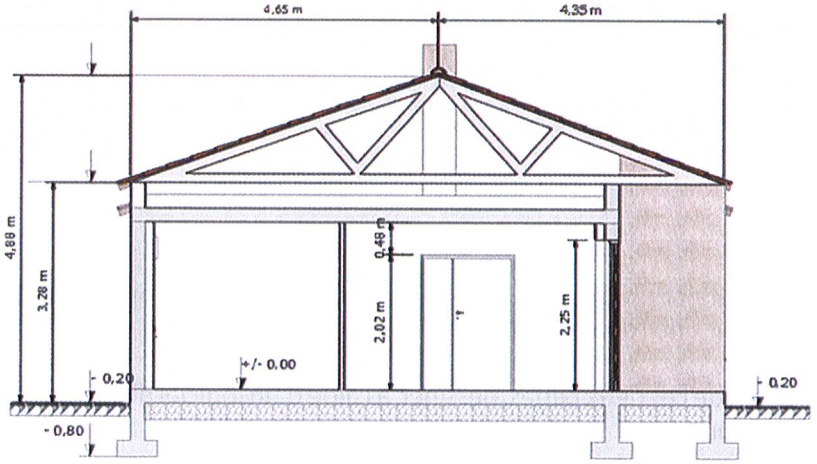


Vue arrière

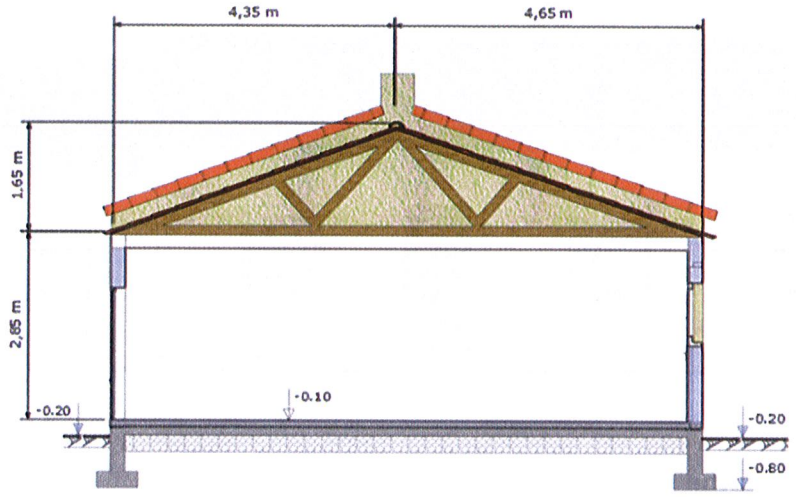


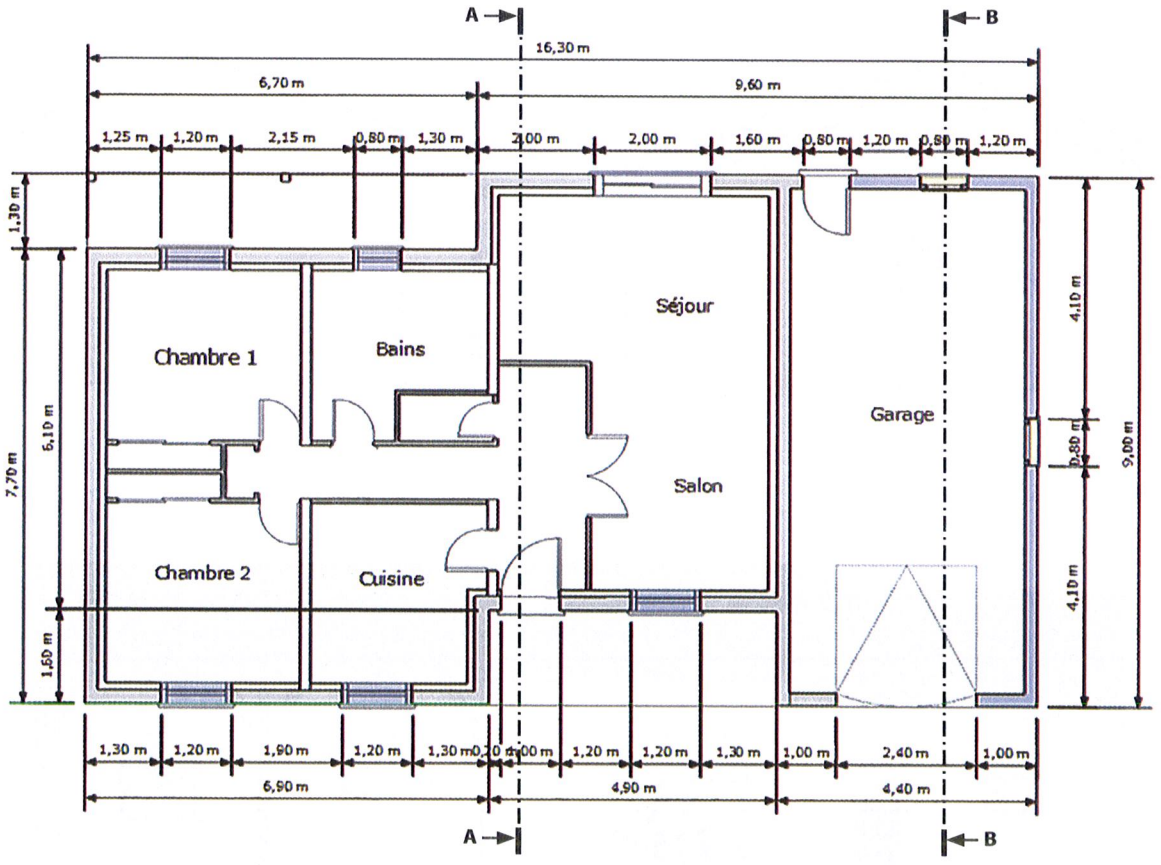
Coupe en plan du rez-de-chaussée

Coupe A-A



Coupe B-B





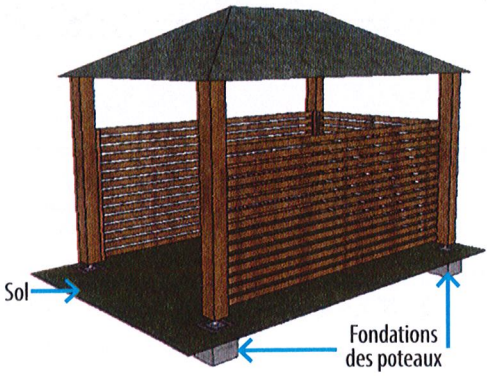
Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 5 INVESTIGATION 3

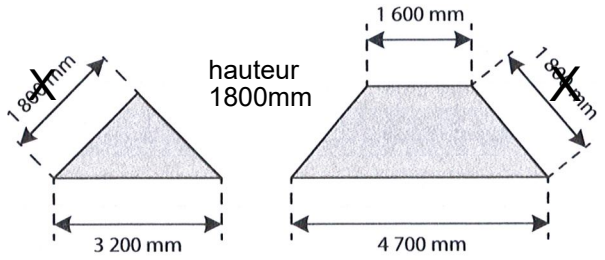
CONSTRUCTION D'UN ABRI

Problématique : La famille DUPUIS dont la maison est située dans les environs de Saint-Flour (Cantal -15), à une altitude de 850 m, désire réaliser une extension afin d'implanter un abri pour voiture. Le propriétaire possède déjà 4 poteaux en sapin (classe C18) de 15 cm × 15 cm × 2,5 m. Après avoir réalisé les plans, il voudrait savoir s'il peut utiliser ces poteaux et dimensionner leur fondation.

Une vue 3D et une vue en plan du toit de cette nouvelle construction sont données ci-dessous.



Dimensions réelles du toit



La construction sera placée à l'abri du vent. La toiture sera réalisée avec des ardoises d'épaisseur 2,7 mm. Pour simplifier l'étude, seule la contrainte de compression axiale sur les poteaux sera prise en compte. Les fondations de ces poteaux seront de section carrée.

Pour tous les calculs, prendre $g = 10\ m.s^{-2}$. Pour les documentations diverses nécessaires, voir le cours.

1. Charges permanentes du toit de l'abri

1. Calculer la surface du toit *St*. .....

.....

2. Lors de la pose des ardoises, on crée un recouvrement. Il faut donc environ 3 fois plus d'ardoises que la surface de base. Dans ces conditions, calculer le poids des ardoises *Pa*.

.....

.....

3. La charpente possède un poids P_C de 180 daN. Calculer le poids total P_T des ardoises et de la charpente.

.....

4. La charge surfacique due à l'ensemble toit et charpente doit être ramenée à la surface de l'appentis. Calculer cette valeur Q_A.

.....

5. Calculer la charge surfacique due à la neige Q_N.

.....

6. Calculer la charge surfacique Q_T due à l'ensemble toit + neige.

.....

2. Dimensionnement des poteaux

1. Compléter la vue de dessus de l'appentis en représentant la répartition des charges sur chaque poteau.

2. Calculer la charge C_p (en N) supportée par chaque poteau.

.....

.....



3. En utilisant le tableau Eurocode ci-dessous, donner la charge C'_p que peut supporter chaque poteau.

.....

Symbole	Désignation	Unité	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27
$f_{m,k}$	Contrainte de flexion	N/mm²	14	16	18	20	22	24	27
$f_{t,0,k}$	Contrainte de traction axiale	N/mm²	8	10	11	12	13	14	16
$f_{t,90,k}$	Contrainte de traction transversale	N/mm²	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
$f_{c,0,k}$	Contrainte de compression axiale	N/mm²	16	17	18	19	20	21	22
$f_{c,90,k}$	Contrainte de compression transversale	N/mm²	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
$f_{v,k}$	Contrainte de cisaillement	N/mm²	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0
ρ_{mean}	Masse volumique moyenne	kg/m³	350	370	380	390	410	420	450

4. Les poteaux peuvent-ils convenir pour la construction ?

.....

3. Dimensionnement des fondations des poteaux

1. En utilisant le tableau ci-dessus, calculer le poids moyen de chaque poteau P_p.

.....

.....

2. Calculer le poids P_f supporté par chaque fondation. .....

3. Le sol sur lequel est construit le batiment est capable de reprendre (évacuer) une charge de 5 tonnes par m². Les fondations servent à effectuer cette évacuation. Une fondation d'un mètre de long sur un mètre de large évacue donc 5 tonnes. Calculer la section de chaque fondation S_F.

.....

4. Calculer la dimension des côtés de ces fondations C_F. .....

.....

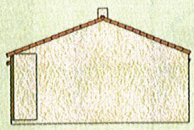
4. Mise en place de l'appentis

- Reprendre le fichier de la maison 3D de l'investigation précédente, implanter l'abri en l'accolant au garage.

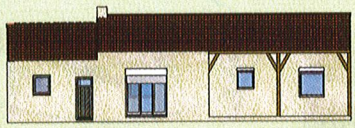
CE QU'IL FAUT RETENIR DE LA SÉQUENCE

1. Plans d'architecture

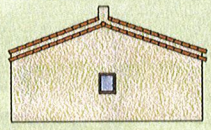
Pour la construction d'un habitat, plusieurs **représentations** sont nécessaires.



Vue de droite

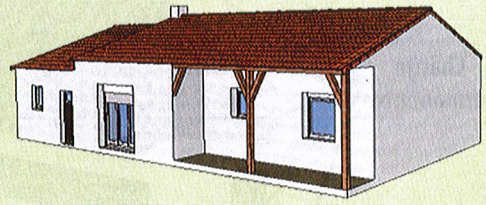


Vue de face



Vue de gauche

La **représentation en plan** visualise les vues extérieures de la maison.



La **représentation en 3D** visualise la maison en perspective.





Maçonnerie



Bois







Isolation

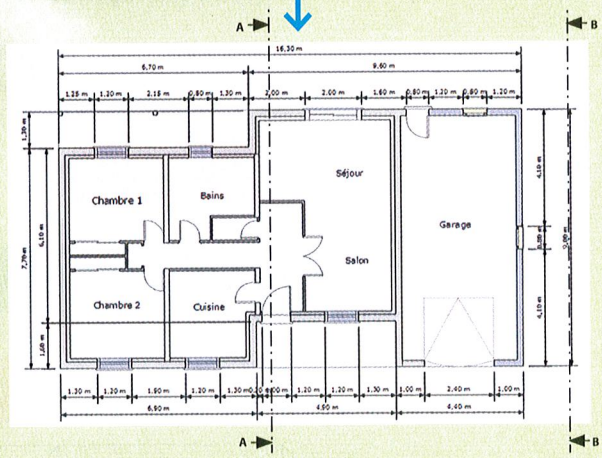


Béton armé

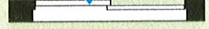


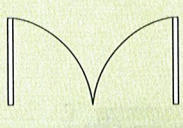


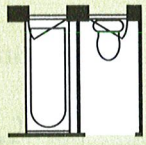
Les **hachures** définissent les matériaux utilisés.



La **vue en coupe** visualise l'aménagement intérieur.



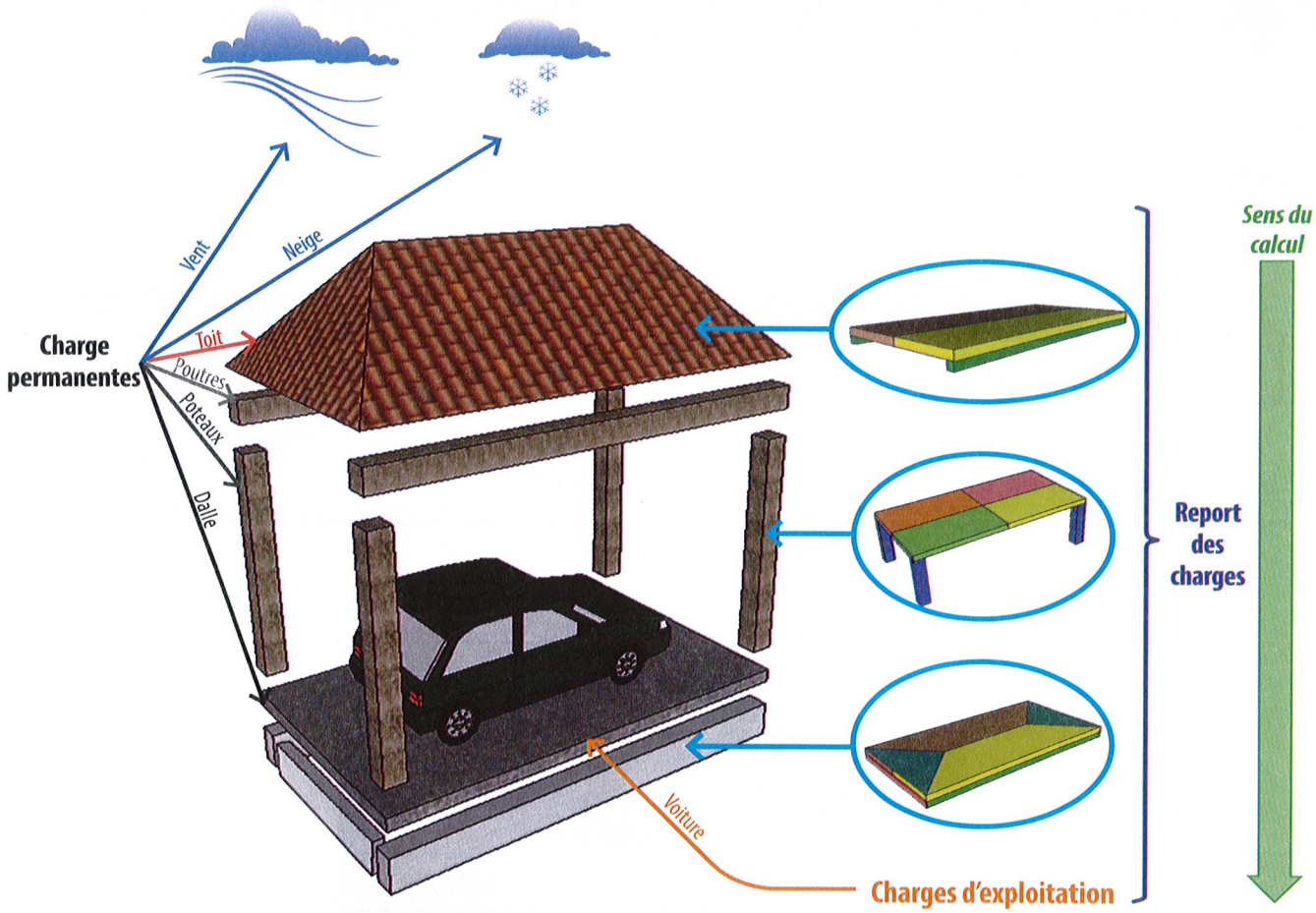




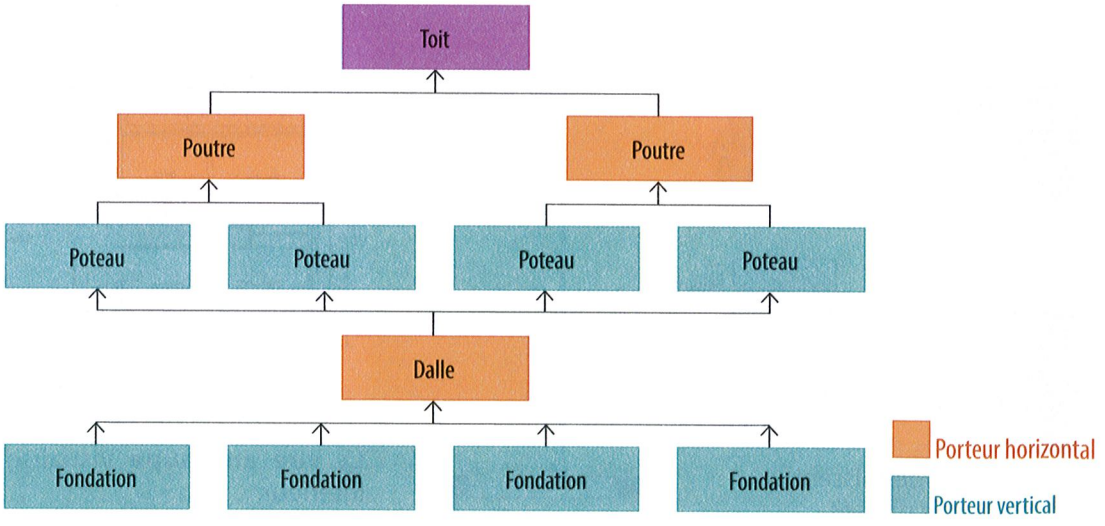
Les **symboles** précisent le type et l'emplacement des éléments intérieurs.

2. Descente de charges

La **descente de charges** permet de déterminer les contraintes sur toutes les parties d'une structure.



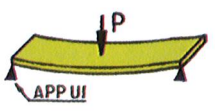
On peut décomposer les actions de la façon suivante.



Toutes les parties de la structure sont soumises à des sollicitations.

La traction : 

La compression : 

La flexion : 

SÉQUENCE 6

LEÇON

LES ÉNERGIES TRADITIONNELLES DANS L'HABITAT

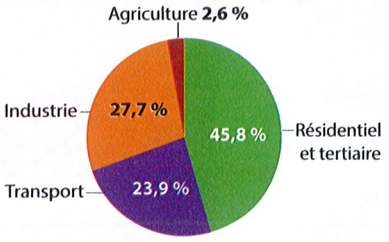
LIAISON RÉFÉRENTIEL

2 Outils et méthodes d'analyse et de description des systèmes
2.2 Outils de représentation
2.2.2 Représentations symboliques
2.3 Approche comportementale
2.3.5 Comportement énergétique des systèmes

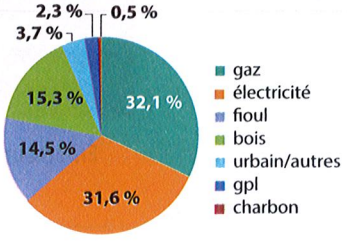
1. Situation déclenchante

DOC. Consommation d'énergie dans le résidentiel

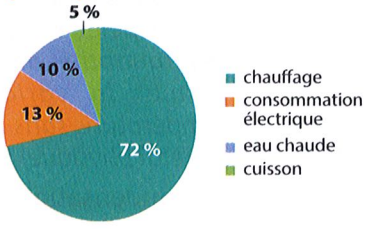
Consommation énergétique par secteur



Consommation énergétique par énergie pour le résidentiel



Consommation énergétique par poste pour le résidentiel



D'ici 2020, la France et l'Europe se sont engagées à améliorer fortement l'efficacité énergétique, à développer la part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie et à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre (GES) et de polluants atmosphériques. Ces objectifs répondent aux défis environnementaux et climatiques actuels ainsi qu'à des enjeux d'indépendance énergétique.

Avec plus de 45 % du bilan énergétique français, le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire) est le plus consommateur d'énergie. 2/3 de ces consommations concernent le secteur résidentiel.

Le gaz et l'électricité sont les deux sources d'énergie les plus consommées, principalement pour le chauffage, qui représente plus de 70 % de la consommation totale. À ce jour 34 % du parc de résidences principales est équipé en chauffage électrique et 44 % est chauffé au gaz.

Pour les logements, la consommation moyenne d'énergie finale en 2011 est de l'ordre de 190 kWh/m², contre 240 kWh/m² en 1990 ou encore 350 kWh/m² en 1973. Cette amélioration est due principalement aux progrès réalisés sur les usages thermiques : **le chauffage, l'eau chaude et la cuisson**.

ADEME, 2013

1. Quel est le % de la consommation totale du secteur résidentiel ? .....
2. Dans le résidentiel, quelles sont les 4 énergies les plus consommées ? .....
.....
3. Quels sont les postes de consommation les plus énergivores ? .....
4. Quelles sont les énergies les plus consommées pour assurer le chauffage ? .....
5. Pour les logements existants, chiffrer en % la baisse de consommation entre 1973 et 2011.
.....

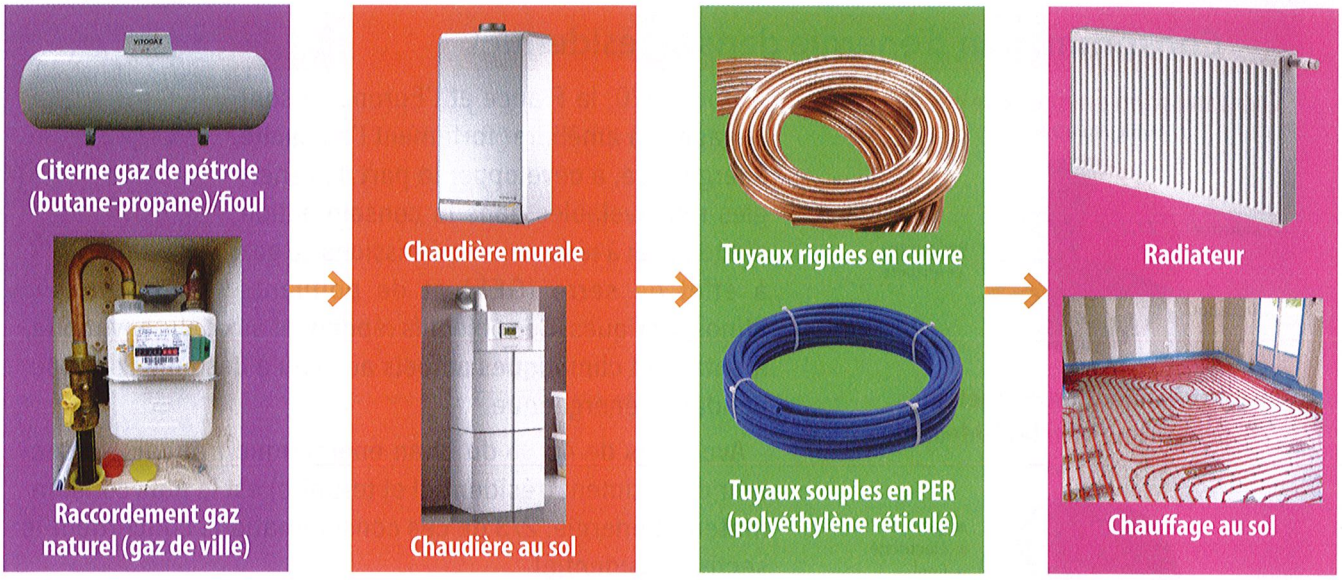
Conclusion : D'après vous, comment la consommation résidentielle va-t-elle évoluer ? Pourquoi ?
.....
.....

2. Les énergies fossiles : fioul - gaz

Les deux principales énergie fossiles utilisées pour le chauffage sont le fioul (unité : le litre) et le gaz (unité : le m^3).

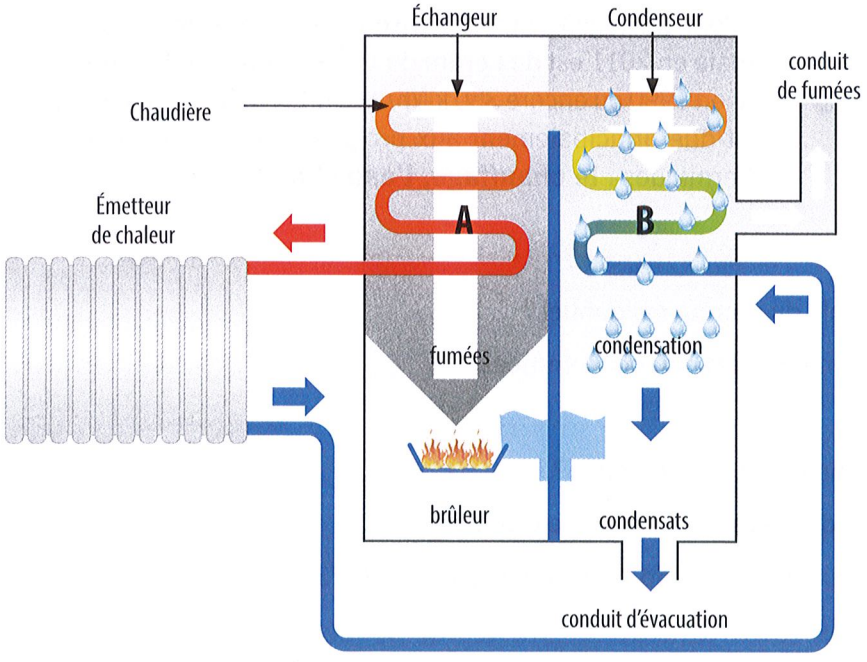
2.1 Chauffage

Principe du chauffage central : Un générateur de chaleur produit de la chaleur à partir d'une énergie fossile (gaz, fioul). Cette chaleur sert à chauffer un **liquide caloporteur** (eau) que l'on fait circuler dans des **émetteurs de chaleur**.



Actuellement, les chaudières les plus installées sont les **chaudières à condensation**.

Principe d'une chaudière à condensation : dans une chaudière à condensation il y a deux sources de chaleur :

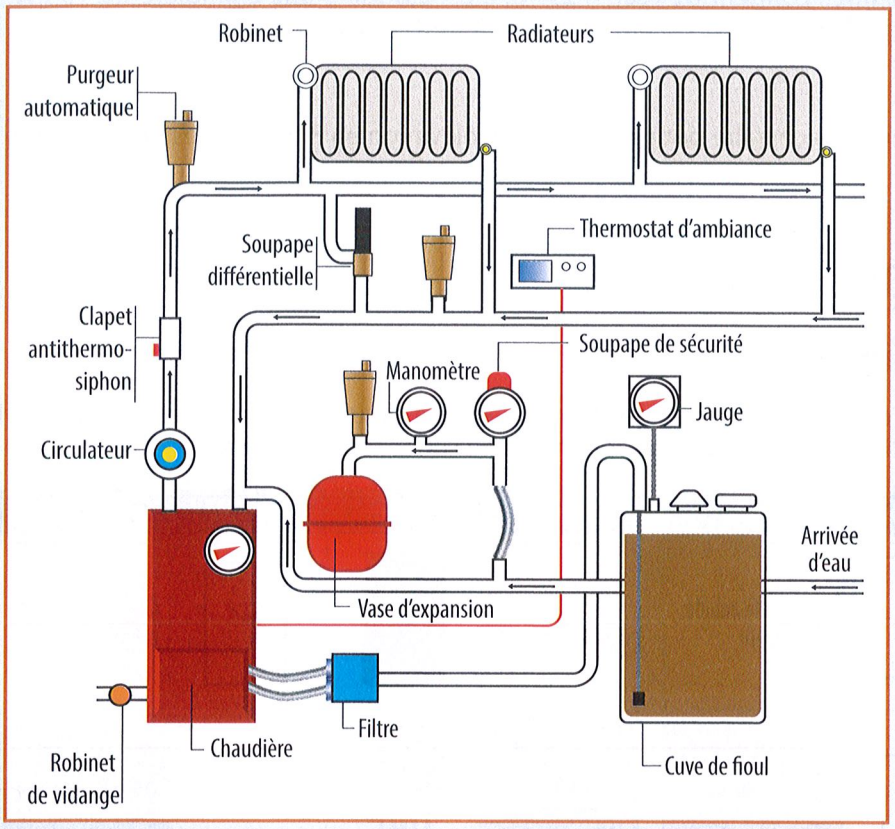


- La combustion du fioul ou du gaz, appelée **chaleur sensible (A)** *(quantité de chaleur qui permet la variation de la température sans changement de l'état physique)* ;
- La condensation des vapeurs d'eau contenues dans les fumées de combustion, appelée **chaleur latente (B)** *(quantité de chaleur échangée lors d'un changement d'état).*

L'addition de ces deux sources de chaleur permet d'atteindre des rendements légèrement supérieurs à 100 %.

Remarque : Le changement d'état ou **changement de phase** correspond à la modification de l'état physique d'un matériau (solide, liquide, gazeux).

APPLICATION 1 Étude d'une installation de chauffage central



1. Quel type d'énergie est utilisée dans cette installation ?

.....

2. Entourer sur le schéma en **noir** la source d'énergie, en **rouge** la chaudière, en **bleu** les émetteurs de chaleur.

3. Quel est le rôle du filtre ? .....

4. Quel est le rôle du circulateur ? .....

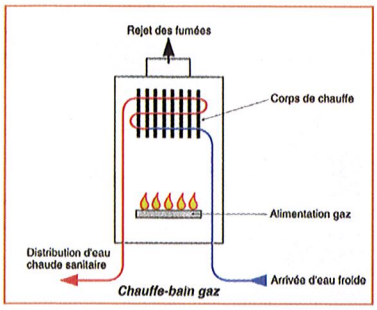
5. Quel est le rôle du thermostat ? .....

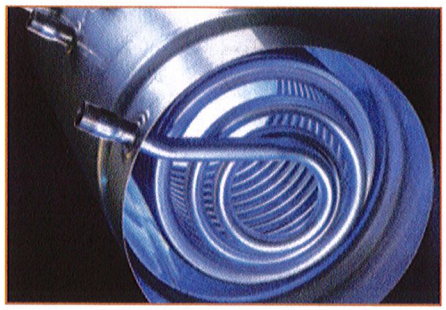
6. Surligner en **noir** l'arrivée de fioul dans la chaudière, en **bleu** l'arrivée d'eau froide dans la chaudière, en **rouge** le trajet de l'eau chaude et en **pointillés bleus** le retour de l'eau des radiateurs.

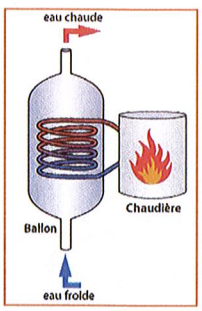
2.2 Eau Chaude Sanitaire (ECS)

L'**eau chaude sanitaire** (ECS) alimente les appareils sanitaires (évier, douche, baignoire, ...) pour répondre aux besoins des personnes. Elle est délivrée à une température d'environ 55 °C.









Chauffe-eau instantané : Il fournit à la demande et immédiatement de l'eau chaude à une température définie par l'utilisateur.

Chauffe-eau à accumulation : Il permet de stocker une réserve importante d'eau, chauffée par un serpentin dans lequel circule de l'eau issue de la chaudière.

Détermination des caractéristiques d'un chauffe-eau à accumulation : l'énergie nécessaire pour élever la température d'un volume d'eau *V* de la température *T1* à *T2* se calcule par la formule :

$$Q = m \times Cp \times \Delta T \text{ ou}$$
$$Q = \rho \times V \times Cp \times (T2 - T1)$$
avec $Q = P \times t$

Q = énergie en Joule (J), ***m*** = masse de fluide à réchauffer en kg
Cp = capacité thermique massique à pression constante en J/(kg.K), pour l'eau : Cp = 4 185 J/(kg.K)
T1 = température initiale du fluide en Kelvin (ou °C), ***T2*** = température finale du fluide en Kelvin (ou °C)
ΔT = différence de température entre la température finale et la température initiale en Kelvin (ou °C)
V = volume de fluide en m^3, ***ρ*** = masse volumique du fluide en kg/m^3, pour l'eau : $\rho = 1\,000\ kg/m^3$
P = puissance nécessaire en Watt (W), ***t*** = temps de chauffe en s

APPLICATION 2 Élévation de la température de l'eau d'un ballon

1. Un ballon d'eau chaude de 300 litres contient de l'eau à 25 °C. Il est associé à une chaudière de 10 kW. Calculer l'énergie nécessaire en joule pour élever la température de cette eau à 60 °C.

.....

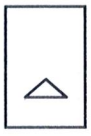
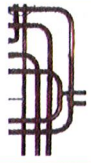
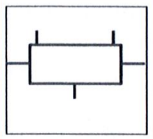
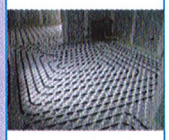
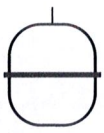
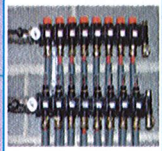
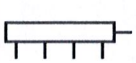
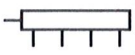
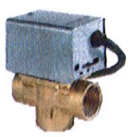
2. Déterminer la puissance de chauffe nécessaire pour réaliser cette élévation en 3 heures (les déperditions sont négligées).

.....

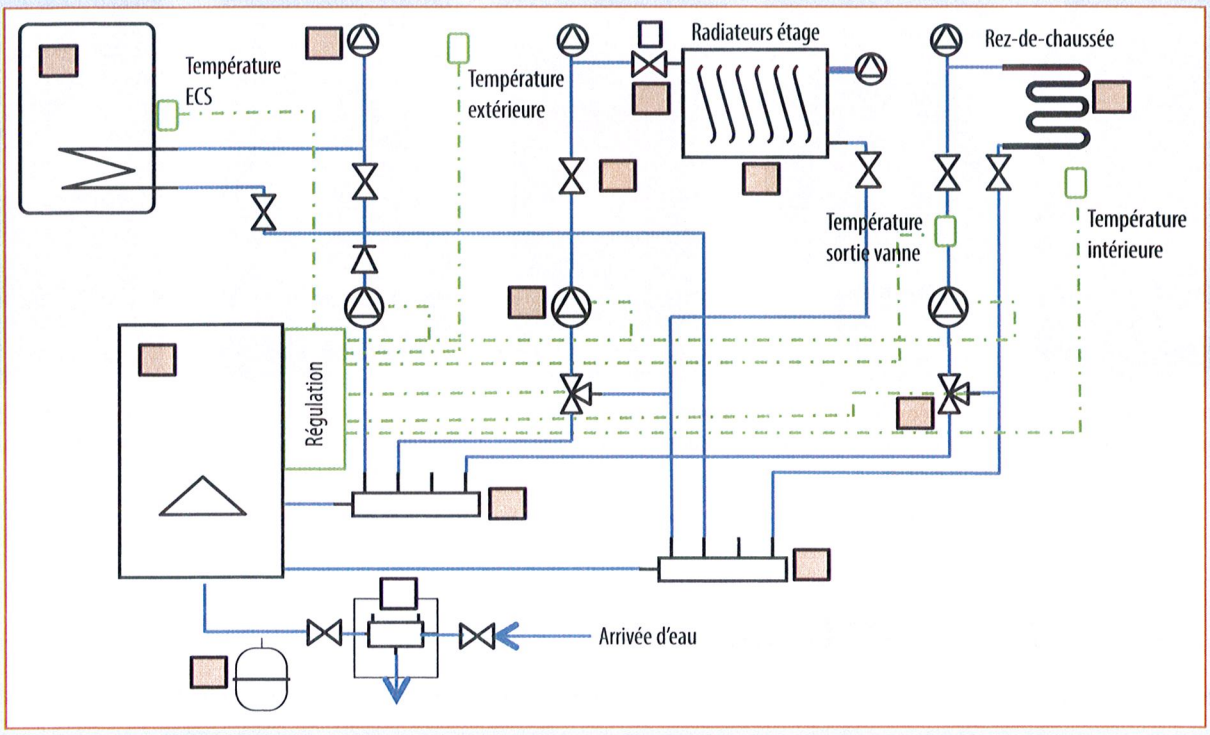
3. La chaudière convient-elle ? ☐ Oui ☐ Non

2.3 Schéma fluidique

Le schéma fluidique représente les différents éléments qui contribuent à la circulation du fluide caloporteur. Il décrit la constitution d'une installation et permet la compréhension de son fonctionnement.

Nom	Photo	Symbole	Rôle
① Chaudière gaz			Chauffer le liquide caloporteur
② Chaudière fioul			Chauffer le liquide caloporteur
③ Ballon ECS			Chauffer et stocker l'eau chaude sanitaire
④ Tuyauterie			Transporter le fluide caloporteur
⑤ Circulateur			Faire circuler le fluide caloporteur dans l'installation
⑥ Disconnecteur			Éviter une pollution accidentelle du réseau d'eau potable
⑦ Émetteur de chaleur (radiateur)			Échanger la chaleur de l'eau avec l'air ambiant de la pièce
⑧ Émetteur de chaleur (plancher chauffant)			Échanger la chaleur de l'eau avec l'air ambiant de la pièce *via* le plancher
⑨ Vase d'expansion			Absorber la dilatation de l'eau due aux variations de température
⑩ Purgeur			Évacuer l'air contenu dans le circuit
⑪ Collecteur			Collecter le liquide caloporteur de retour des émetteurs
⑫ Vanne 2 zones			Isoler un circuit
⑬ Distributeur			Distribuer le fluide caloporteur aux émetteurs
⑭ Robinet thermostatique			Faire varier le débit du fluide en fonction de la température ambiante
⑮ Vanne 3 voies motorisée			Régler la température (par mélange) ou le débit
⑯ Clapet anti-retour			Éviter les retours en sens inverse du fluide

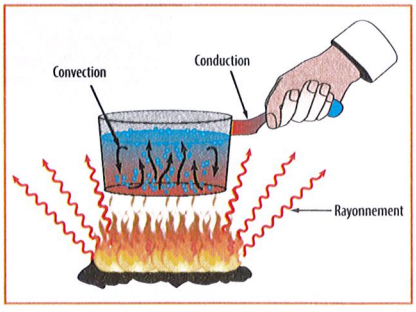
APPLICATION 3 Étude d'un schéma fluidique



1. Sur le schéma fluidique d'une installation de chauffage central, identifier (□) par les mêmes numéros que ceux du tableau, les différents constituants.

2. Surligner en **noir** le circuit d'arrivée d'eau, en **rouge** le circuit de chauffage de l'ECS, en **vert** le circuit de chauffage du rez-de-chaussée, en **bleu** le circuit de chauffage de l'étage.

2.4 Cuisson au gaz



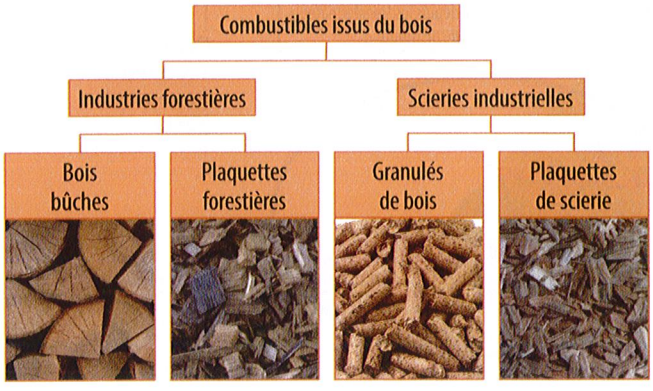
Le gaz (naturel ou butane - propane) est mélangé avec de l'air puis brulé pour émettre de la chaleur. La cuisson se fait par **transfert thermique** (échange de température), soit par :

- **conduction** : transfert thermique entre deux corps en contact,
- **convection** : transfert thermique entre un solide et un fluide en mouvement,
- **rayonnement** : transfert thermique par rayonnement électromagnétique.

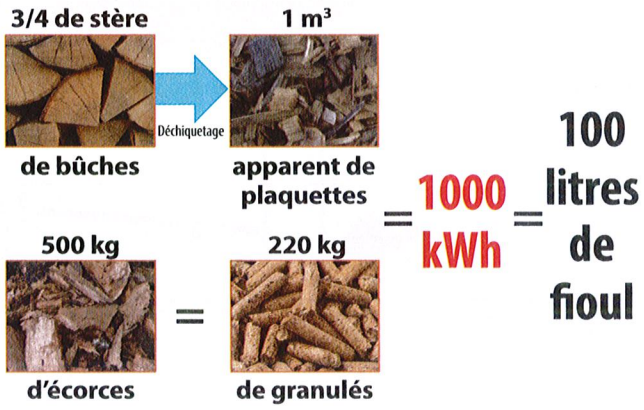
3. L'énergie bois

Le bois, utilisé comme combustible, est une énergie renouvelable (à condition qu'il soit issu de forêts à gestion durable et que les rejets de poussières et de monoxyde de carbone soient contrôlés). Le bois consomme en brûlant le CO_2 emmagasiné durant sa croissance.

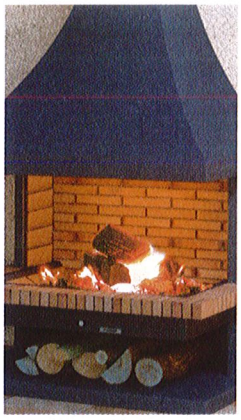
Origines et transformation du bois-combustible



Énergie fournie par type de combustible



Exemples d'appareils de chauffage au bois



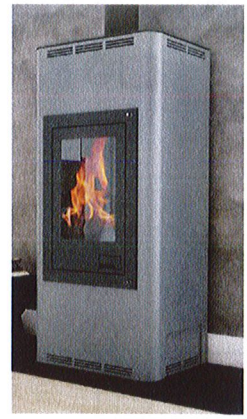
Cheminée à bûches à foyer ouvert - rendement faible (< 15 %)



Cheminée à bûches à insert fermé - rendement de 30 à 70 %



Poêle à bûches rendement de 70 à 80 %



Poêle à gazéification (combustion des gaz non brulés) - rendement de 85 %

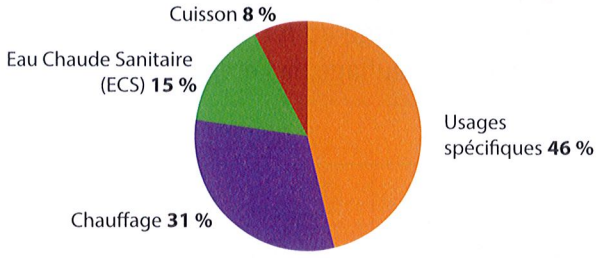


Poêle à granulés de bois - rendement de 80 à 95 %

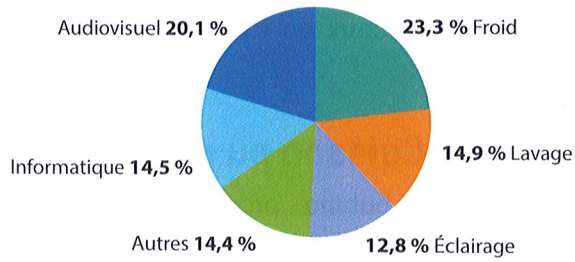
4. L'énergie électrique

Présente dans tous les foyers, l'énergie électrique est une énergie finale directement utilisable.

Principales utilisations de l'énergie électrique

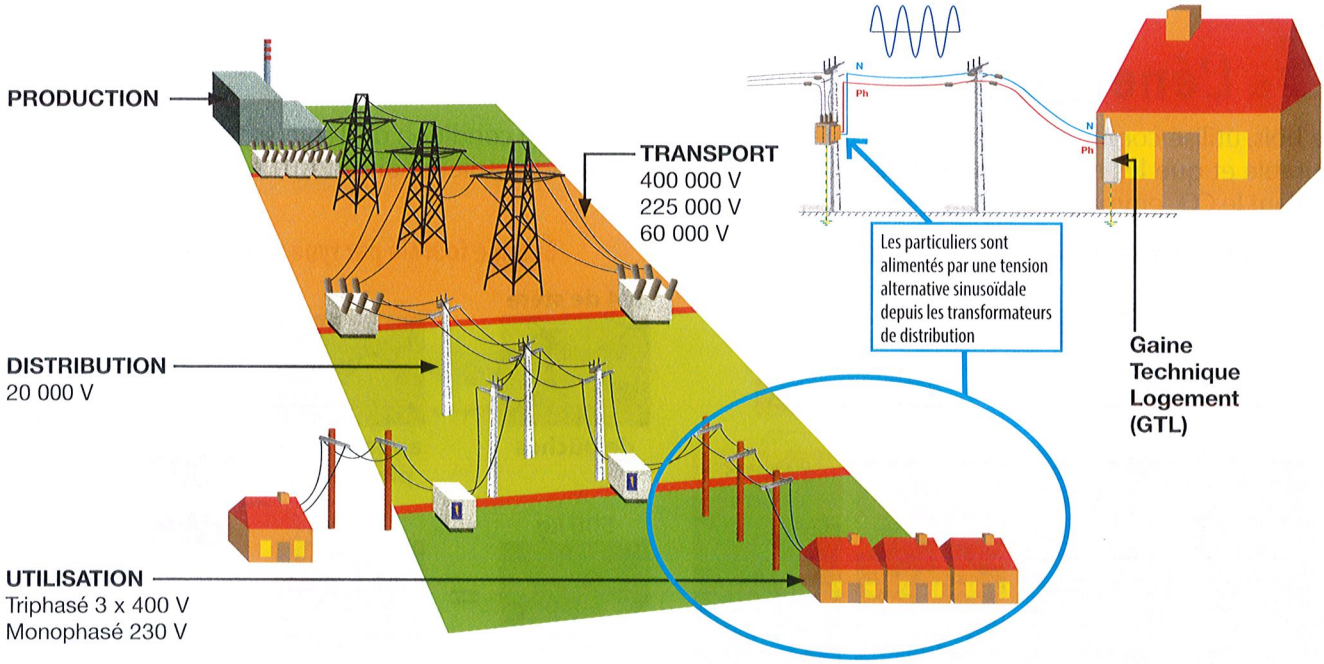


Détails des usages spécifiques



4.1 Distribution de l'énergie électrique

L'énergie électrique produite par les centrales est transportée puis distribuée aux utilisateurs.



4.2 Gaine technique logement

La gaine technique logement, présente en entrée de toute installation, permet de recevoir, de distribuer et de gérer l'énergie électrique.

Panneau de contrôle : il reçoit l'énergie électrique et contient le compteur d'énergie et le disjoncteur d'abonné

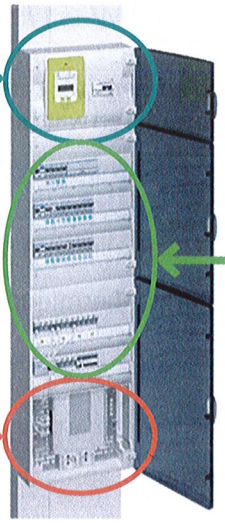


Tableau de répartition : Il contient les appareils de protection des personnes (différentiels), les appareils de protection des biens (disjoncteurs) et les appareils de gestion de l'installation

Tableau de communication : il reçoit les données de l'opérateur de communication (téléphonie, TV, Internet,...) et les distribue dans l'habitat

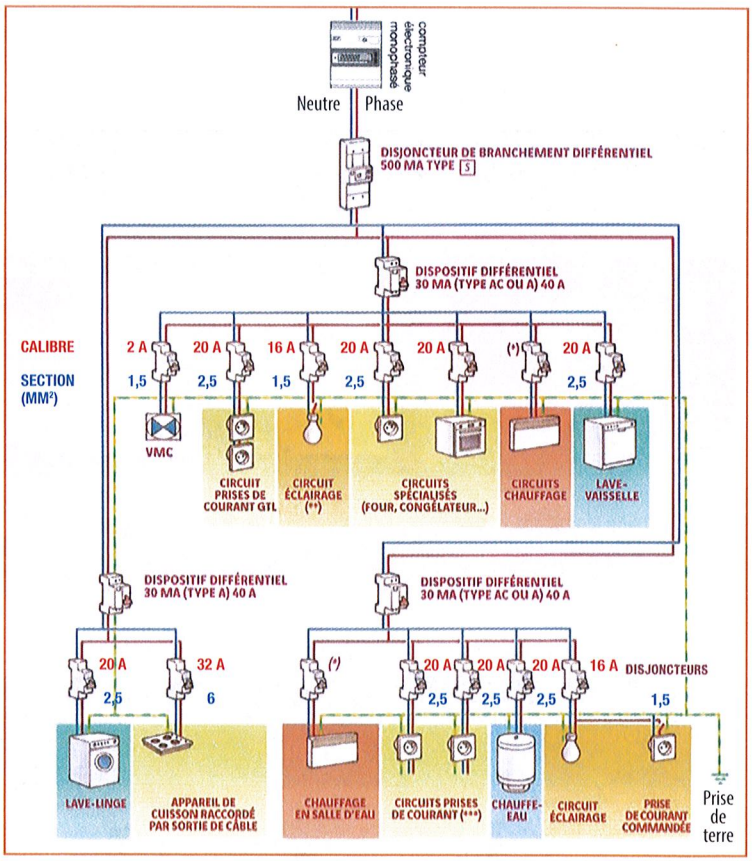
4.3 Schéma de principe d'une installation électrique

Ce **schéma de principe** permet de préciser comment l'énergie électrique est **distribuée** dans l'installation. Il indique la manière dont l'installation est divisée et les appareils utilisés pour assurer la **protection des biens et des personnes**.

Il se lit de haut en bas : l'arrivée d'énergie en haut, les récepteurs à alimenter en bas.

Les **calibres** des appareils et la **section** des conducteurs sont imposés par la norme **NF C 15-100**.

Toutes les parties métaliques de l'installation sont interconnectées et reliées avec une prise de terre (fils vert/jaune).



APPLICATION 4 Analyse du schéma électrique

1. Sur le schéma ci-dessus, entourer en **bleu** l'ensemble des appareils contenus dans le panneau de contrôle et en **rouge** l'ensemble des appareils contenus dans le tableau de répartition.
2. Un court-circuit se produit au niveau du lave-vaisselle, entourer en **vert** l'appareil qui va assurer la coupure. Quel est son calibre ? Quelle est la section des conducteurs qui l'alimentent ?

.....

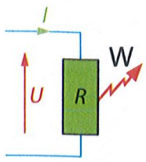
3. Une personne entre en contact avec l'énergie électrique au niveau du raccordement de la plaque de cuisson, entourer en **noir** l'appareil qui va assurer la coupure. Quel est son calibre et sa sensibilité ?

.....

4.4 Chauffage électrique

Le chauffage électrique utilise le dégagement de chaleur dans une résistance produit par effet Joule.

L'énergie dissipée se calcule par : $W = R \times I^2 \times t$ $W = U \times I \times t$ $W = P \times t$

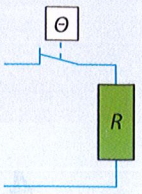


R : résistance en ohm (Ω) ; I : intensité du courant en ampère (A) ; t : temps de circulation du courant en heure (h), U : tension d'alimentation en volt (V) ; W : énergie en wattheure (Wh) ; P : puissance en watt (W)

APPLICATION 5 Fonctionnement d'un convecteur



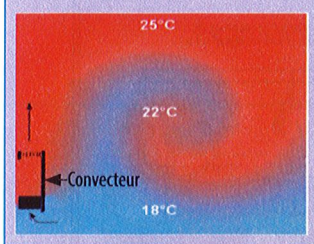
1. Un convecteur électrique de résistance 23 Ω est alimenté sous une tension de 230 V et absorbe une intensité de 10 A. Calculer l'énergie thermique produite s'il fonctionne pendant 2 heures. .....
2. Quelle est la puissance de ce convecteur ? .....
3. Chaque convecteur est équipé d'un thermostat. D'après le schéma équivalent ci-contre, que se passe-t-il si la température ambiante dépasse le réglage du convecteur ?



.....

Deux modes de transmission de la chaleur existent.

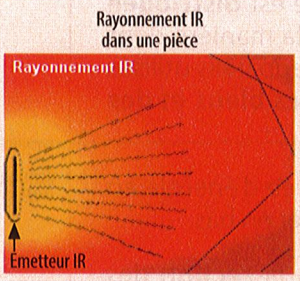
La convection

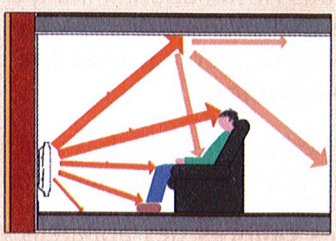




La convection est le mouvement des masses d'air dans une pièce. L'air chauffé par l'élément chauffant s'élève tandis que l'air refroidi descend.

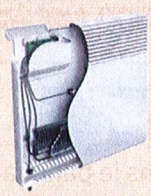
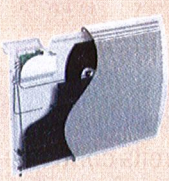
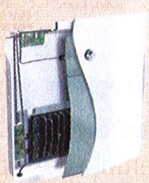
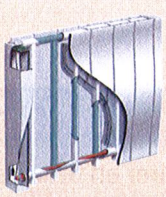
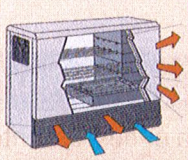
Le rayonnement infrarouge IR : rayonnement invisible qui transmet la chaleur





Une surface chaude émet un rayonnement IR qui se propage en ligne droite dans la pièce. Les rayons IR chauffent la matière : les parois, les meubles et les personnes.

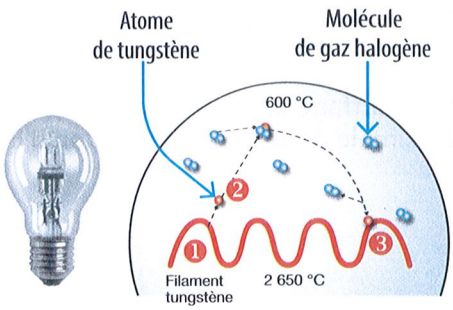
Principaux types d'appareils de chauffage électrique

Désignation	Convecteur	Panneau rayonnant	Radiateur à inertie	Radiateur à fluide caloporteur	Radiateur à accumulation	Plancher chauffant électrique
Technologie	 Résistance électrique	 Résistance noyée dans une plaque émettrice (métal ou verre…)	 Résistance noyée dans un corps en fonte ou en aluminium	 Résistance plongée dans un fluide caloporteur	 Résistances noyées dans des briques réfractaires	 Câble chauffant noyé dans la chape
Mode de transmission de la chaleur	Convection	Convection + rayonnement	Rayonnement	Rayonnement	Convection + rayonnement	Conduction

4.5 Éclairage

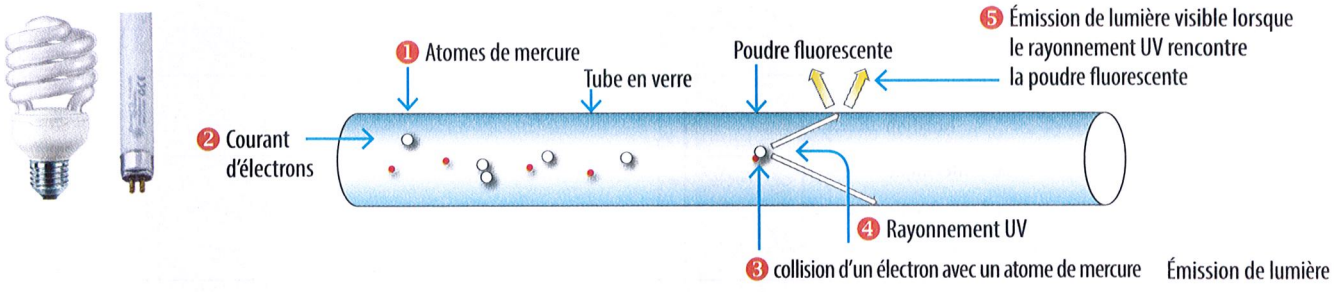
Les sources lumineuses convertissent l'énergie électrique en lumière. Actuellement, trois types de lampes se partagent le marché.

Lampes halogènes : dans une lampe halogène, un filament traversé par un courant électrique est chauffé à blanc (incandescence). Un gaz halogène (généralement du brome ou de l'iode) remplit l'ampoule et entoure le filament. Ce gaz assure le recyclage du filament. La durée de vie de la lampe s'en trouve augmentée. Les lampes sont amenées à disparaître car trop énergivores.

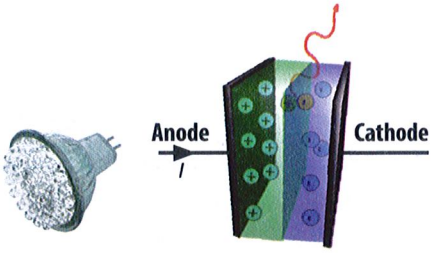


Cycle de l'halogène :
1. Évaporation du filament de tungstène
2. Combinaison halogène – tungstène
3. Redéposition du tungstène sur le filament

Tubes fluorescents et lampes fluocompactes : pour ces lampes fluorescentes, l'émission de lumière est obtenue à partir d'une décharge électrique dans un gaz. L'intérieur de l'ampoule est recouvert d'une poudre fluorescente pour rendre visible les rayonnements ultra-violets émis lors de la décharge.

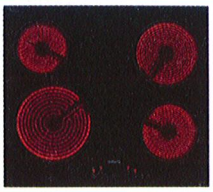
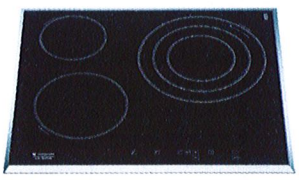
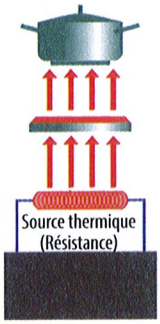
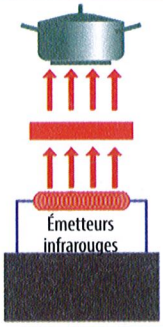
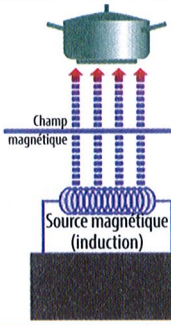


Lampes à Diodes Électroluminescentes (DEL) : pour les lampes à DEL l'émission de lumière est obtenue à partir d'un matériau semiconducteur. Les DEL ou LED (Light Emitting Diode) ont une très bonne efficacité lumineuse, une longue durée de vie et n'émettent ni chaleur (IR) ni rayonnement UV.



4.6 Cuisson électrique

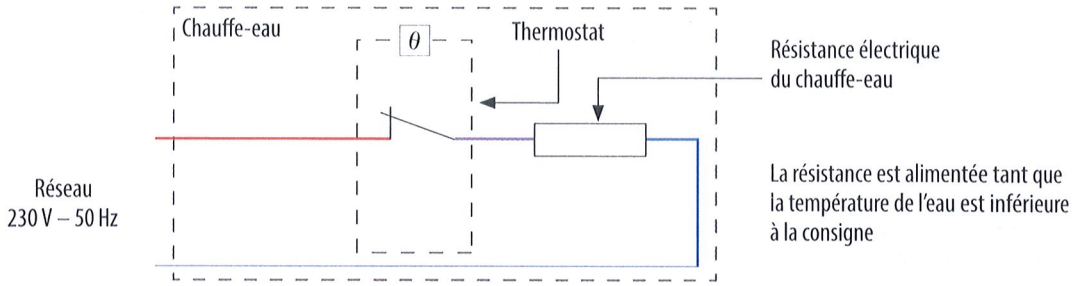
Les plaques de cuisson électriques fonctionnent sur le principe de l'effet Joule. Leur régulation est assurée par un thermostat intégré. Les modes de cuisson vitrocéramique et induction utilisent un principe différent.

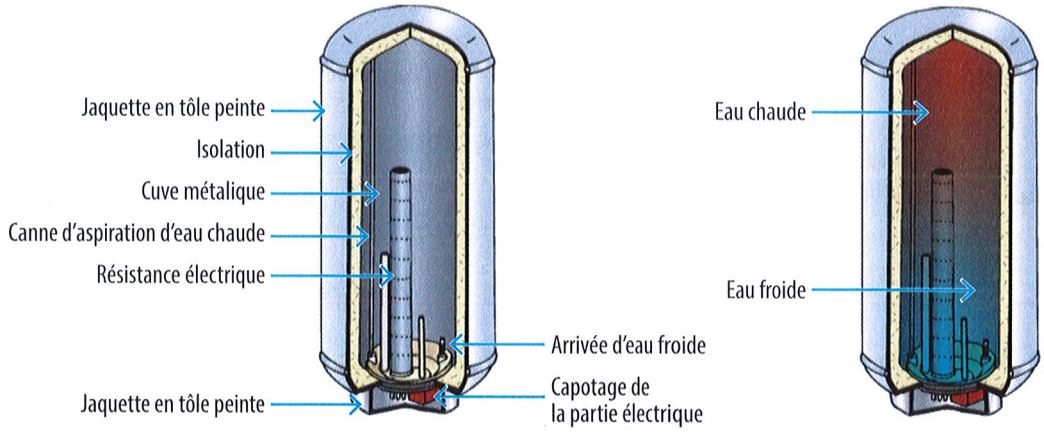
Plaque de cuisson électrique	Plaque de cuisson à infrarouge (vitrocéramique)	Plaque de cuisson à induction
		
 Récipient / Chaleur (calories) / Support chaud / Chaleur (calories) / Courant électrique à 50 Hz / Alimentation	 Récipient / Transmission de la chaleur au récipient par contact / Chaleur (calories) / Support chaud / Chaleur + rayonnement / Courant électrique à 50 Hz / Alimentation	 Tout le récipient s'échauffe sous l'influence du champ magnétique / Transformation du champ en courant puis en chaleur / Support froid / Traversée du support sans échauffement / Courant électrique à 25 000 Hz / Alimentation (générateur électronique)
Des résistances électriques chauffent par conduction la plaque de cuisson. Les puissances de chauffe sont obtenues en associant les résistances en série ou en parallèle.	Scellées dans un matériau réfractaire, des tubes halogènes et/ou des résistances émettent de la chaleur et un rayonnement infrarouge.	L'alimentation à haute fréquence d'une bobine de cuivre permet la création d'un champ magnétique qui provoque l'échauffement du récipient métallique.

4.7 Ballon d'eau chaude électrique

Le chauffage de l'eau est assuré par une résistance électrique. Un thermostat permet de régler la température maximale de l'eau. La production d'ECS peut être instantanée ou à accumulation.

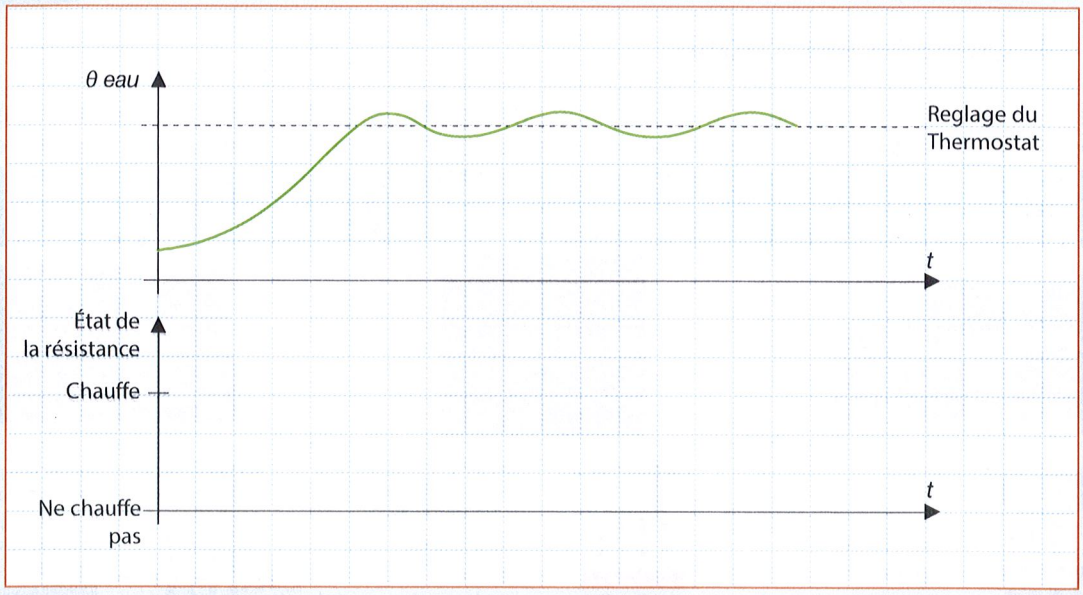
Schéma de principe d'un chauffe-eau





APPLICATION 6 Fonctionnement d'un ballon d'eau chaude

1. Compléter le chronogramme ci-dessous, en indiquant les périodes de chauffe de la résistance.



2. Pourquoi l'eau continue-t-elle à chauffer alors que l'alimentation de la résistance est coupée ?

.....

.....

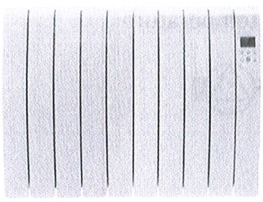
Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 6 TD

LES ÉNERGIES DANS L'HABITAT

Activité 1. Consommation énergétique

Un particulier veut chauffer sa maison. Il veut effectuer un comparatif entre quatre modes de chauffage différents. Pour cela, il estime qu'il lui faudra 5 040 000 000 joules pour une année. Dans cette étude, il ne tient pas compte des frais d'installation et d'entretien.



Électricité



Plaquette de bois



Granulés de bois



Fioul

1. Quelle sera l'énergie nécessaire en Wh ? .....
2. Sachant que le prix moyen de l'**électricité** est 0,14 €/Wh, donner le coût moyen par an de sa consommation.

.....

3. Calculer, à partir de la leçon, le volume en m^3 de **plaquette de bois** nécessaire. .....
4. Sachant que le prix moyen de ces plaquettes est de 25 €/m^3, donner le coût moyen par an de sa consommation. .....
5. Calculer, à partir de la leçon, la masse en kg de **granulés de bois** nécessaire. .....
6. Sachant que le prix moyen de ces granulés est de 0,3 €/kg, donner le coût moyen par an de sa consommation. .....
7. La masse volumique des granulés (en vrac) est de 750 kg/m^3. Calculer le volume de granulés nécessaire.

.....

8. Calculer, à partir de la leçon, le volume en L de **fioul** nécessaire. .....
9. Sachant que le prix moyen du fioul est de 0,688 €/L, donner le coût moyen par an de sa consommation.

.....

10. Entre les plaquettes, les granulés de bois, le fioul, quelle est l'énergie demandant le moins de volume de stockage ? .....
11. Quelle est l'énergie la moins chère ? .....

Activité 2. Cuisson de l'eau



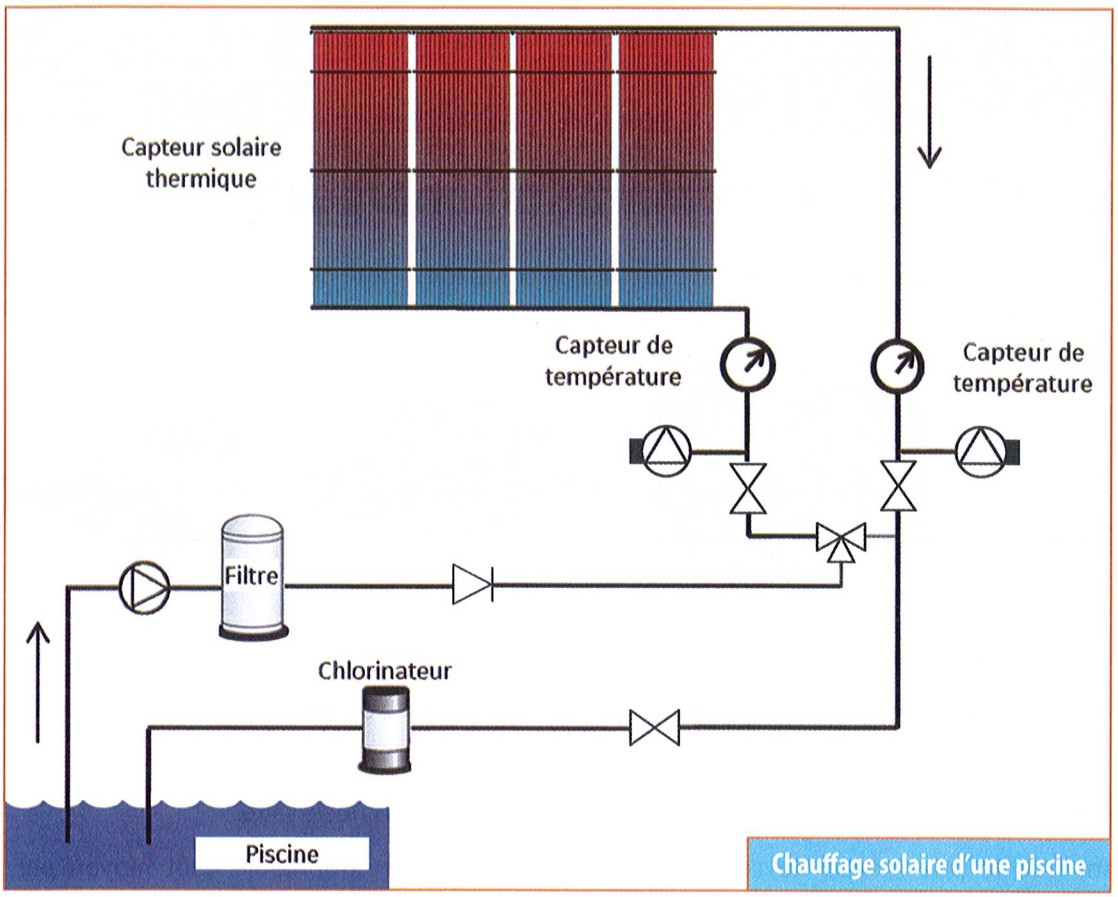
Une personne désire faire bouillir de l'eau dans une casserole de 24 cm de diamètre et de 12 cm de hauteur. La température initiale de l'eau est de 20 °C. La casserole est remplie au 2/3.

1. Calculer le volume d'eau contenu dans la casserole. .....

.....

2. Calculer l'énergie nécessaire pour amener l'eau à ébullition. .....
3. L'eau bout en 3 min. Calculer la puissance de cuisson à fournir. .....

Activité 3. Analyse d'un schéma fluidique



1. Nommer sur le schéma les différents constituants.
2. Surligner en **rouge** le circuit de l'eau chauffée par le capteur solaire thermique et en **bleu** le circuit de l'eau refroidie dans la piscine.
3. À quoi sert le filtre ? .....

Activité 4. Consommation d'une télévision

Une télévision est utilisée en moyenne 3 h 45 par jour en conditions normales et 20 h 15 en veille. La télévision étudiée est un LCD 165 cm (éclairage LED), elle consomme 136 W en utilisation normale et 0,3 W en mode veille. L'électricité coûte en moyenne en France 0,14 €/kWh.



1. En utilisation normale, quelle sera l'énergie consommée en kWh par jour ?

.....

2. En veille, quelle sera l'énergie consommée en kWh par jour ?

.....

3. Au total, quelle sera l'énergie consommée en kWh pour une journée ?

.....

4. Quel est le coût journalier et annuel ? .....
5. Environ 25 millions de foyers français sont équipés d'une télévision. Calculer la consommation française annuelle et son coût. .....

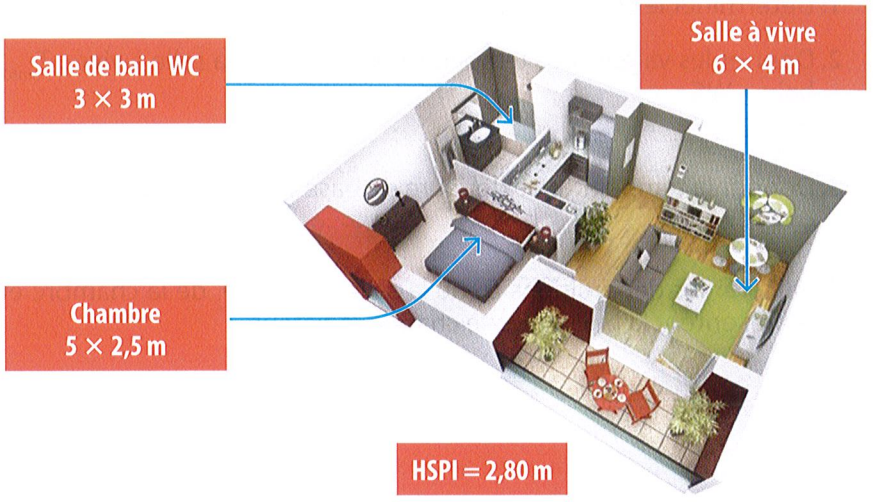
Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 6 — ÉTUDE DE CAS

DIMENSIONNEMENT D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE

Problématique : Redimensionner, lors de la remise en état d'un appartement, une installation de chauffage central.

L'appartement, construit en respectant la réglementation thermique de 2005, se situe à Limoges (87 – Haute-Vienne) à une altitude de 350 mètres.



1. Calcul des volumes

- Calculer les volumes V_1 de la salle à vivre, V_2 de la chambre et V_3 de la salle de bain – WC.

$V_1 =$ ..... ; $V_2 =$ .....

$V_3 =$ .....

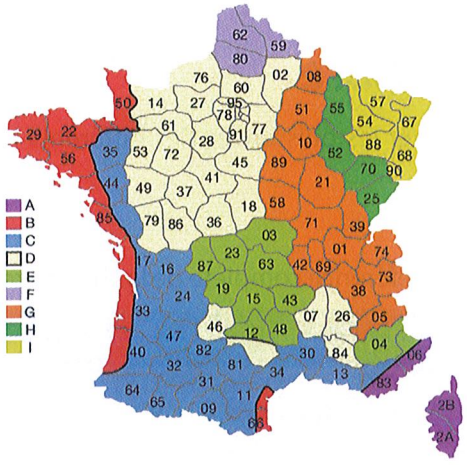
2. Calcul de la puissance des radiateurs

La puissance de chauffe des radiateurs permet de compenser les déperditions qui se calculent de la manière suivante :

$$D = K \times V \times (T_{amb} - T_{ext})$$

D : déperdition en W
K : coefficient tenant compte de l'isolation de l'appartement
V : volume de la pièce en m^3
T_{amb} : température ambiante en °C
T_{ext} : température extérieure de base en °C

Températures extérieures minimum de base



Altitude	Zone A	B	C	D	E	F	G	H	I
0 à 200m	– 2	– 4	– 5	– 7	– 8	– 9	– 10	– 12	– 15
201 à 400m	– 4	– 5	– 6	– 8	– 9	– 10	– 11	– 13	– 15
401 à 600m	– 6	– 6	– 7	– 9	– 11	– 11	– 13	– 15	– 19
601 à 800m	– 8	– 7	– 8	– 11	– 13	– 12	– 14	– 17	– 21
801 à 1000m	– 10	– 8	– 9	– 13	– 15	– 13	– 17	– 19	– 23
1001 à 1200m	– 12	– 9	– 10	– 14	– 17		– 19	– 21	– 24
1201 à 1400m	– 14	– 10	– 11	– 15	– 19		– 21	– 23	– 25
1401 à 1600m	– 16		– 12		– 21		– 23	– 24	
1601 à 1800m	– 18		– 13		– 23		– 24		
1801 à 2000m	– 20		– 14		– 25		– 25		
2001 à 2200m			– 15		– 27		– 29		

Type	K
maison ancienne sans isolation	2
maison ancienne avec isolation	1,5
maison d'après 1990	1,1
maison RT 2000	0,9
maison RT 2005	0,8
maison RT 2012	0,6

Pièces	Température idéale
Salon, salle à manger	19 °C
Cuisine	17 °C
Chambre	17 °C
Salle de bains	21 °C
Couloirs, escaliers	17 °C

En utilisant les documentations précédentes :

1. Déterminer le cefficient *K*. .....

2. Donner les valeurs des températures T_{amb1} pour la salle à vivre, T_{amb2} pour la chambre et T_{amb3} pour la salle de bain – WC.

   T_{amb1} = ... ; T_{amb2} = ... ; T_{amb3} = ...

3. Donner la température extérieure de base T_{ext} pour le département et l'altitude concernés.

   T_{ext} = ...

4. Calculer les déperditions D_1 de la salle à vivre, D_2 de la chambre et D_3 de la salle de bain – WC. Ces valeurs représentent la puissance de chaque radiateur.

   D_1 = ...

   D_2 = ...

   D_3 = ...

5. On applique un coefficient de sécurité de 20 % pour obtenir la puissance des radiateurs. Calculer les puissances P_1 pour la salle à vivre, P_2 pour la chambre et P_3 pour la salle de bain – WC.

   P_1 = ... ; P_2 = ... ; P_3 = ...

3. Choix des radiateurs

- En utilisant la documentation ci-dessous, donner les dimensions des radiateurs utilisés pour chaque pièce.

Salle à vivre :

.....

Chambre :

.....

Salle de bain :

.....

Emplacements disponibles pour les radiateurs

Pièce	Dimensions (*H* × *L* en mm)
Pièce à vivre	450 × 1 600
Chambre	450 × 1 000
Salle de bain - WC	450 × 800

Tableau des puissances en fonction des dimensions

Hauteur H (mm)	300		400						500			
Modèles / Long. L (mm)	22 HR 22 IHR	33 HR 33 IHR	11 H 11 IHD 11 IHG	21 HR 21 IHR	22 HR 22 IHR	33 HR 33 IHR	20 TR	32 ITD 32 ITG	11 H 11 IHD 11 IHG	21 HR 21 IHR	22 HR 22 IHR	33 HR 33 IHR
600	410	567	292	414	526	729	324	587	342	495	634	884
700	479	662	340	483	613	851	378	685	399	578	739	1 031
800	547	756	389	552	701	972	432	782	456	660	845	1 178
900	616	851	437	621	788	1 094	486	880	513	743	950	1 326
1 000	684	945	486	690	876	1 215	540	978	570	825	1 056	1 473
1 100	752	1 040	535	759	964	1 337	594	1 076	627	908	1 162	1 620
1 200	821	1 134	583	828	1051	1 458	648	1 174	684	990	1 267	176
1 300	889	1 229	–	897	1 139	1 580	702	1 271	741	1 073	1 373	1 915
1 400	958	1 323	–	966	1 226	1 701	756	1 369	798	1 155	1 478	2 062
1 500	1 026	1 418	–	1 035	1 314	1 823	810	1 467	855	1 238	1 584	2 210

4. Dimensionnement de la chaudière

Pour déterminer la puissance de la chaudière, il suffit d'additionner les puissances des différents radiateurs. L'alimentation électrique est du 230 V monophasé.

1. Calculer la puissance *P* de la chaudière. .....

2. En utilisant la documentation constructeur ci-dessous, donner la référence complète de la chaudière à utiliser.

Référence : .....

Pour composer la référence :
Préciser l'application : radiateurs : type R / plancher chauffant : type BT
Préciser la tension d'alimentation : 3 à 6 kW : TRI 400V + N ou MONO 230 V
exemple : MINI 6 BT MONO 230 V

référence	Puissance (kW)	Modulation	I–Mono (A)	I–Tri (A)	Volume (L)	Poids (kg)	Sorties (")
MINI3	3	2-3	13	4	1	22	3/4" F
MINI4	4	2.66-4	17	6	1	22	3/4" F
MINI6	6	4-6	26	9	1	22	3/4" F

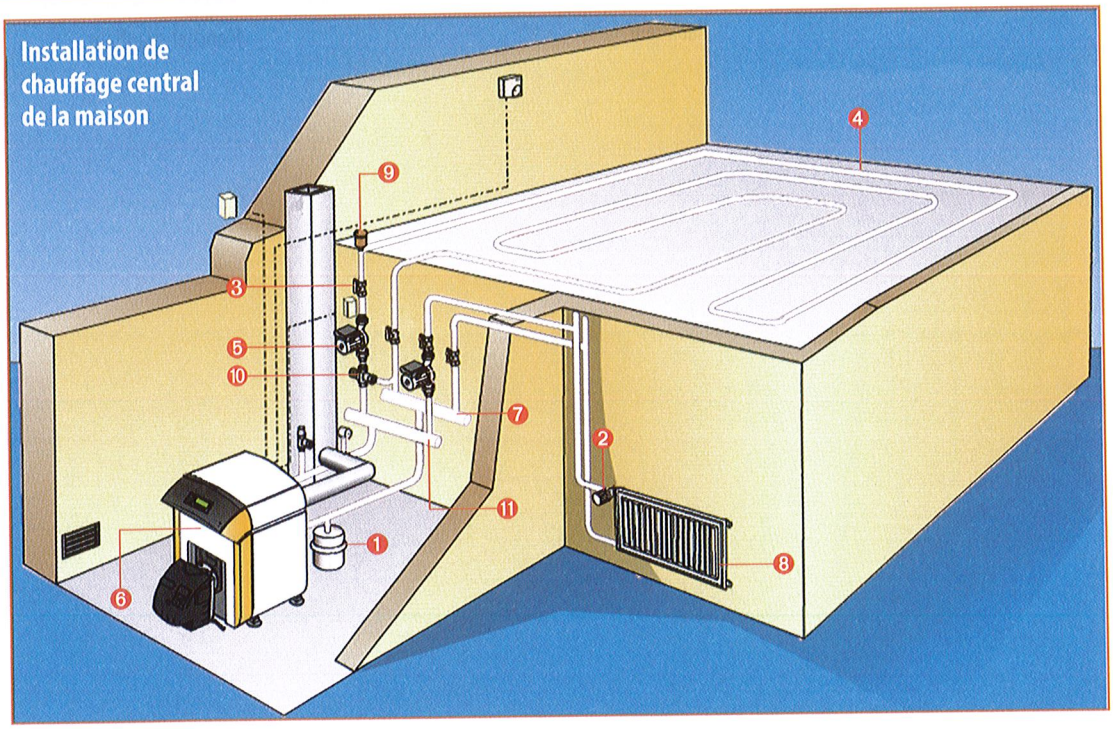
Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 6

INVESTIGATION 1

SCHÉMA FLUIDIQUE

Problématique : Analyser et décrire le système de chauffage d'une maison afin de pouvoir réaliser sa représentation fluidique.

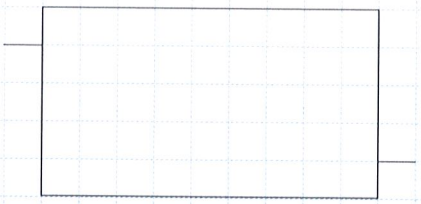


1. Compléter le tableau suivant en donnant le nom, le rôle, et le symbole de chacun des constituants du circuit.

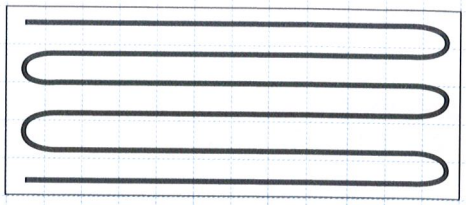
N°	Nom	Rôle	Symbole
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			

2. Sur le schéma de la page précédente, surligner en **rouge** la circulation de l'eau chaude et en **bleu** le retour de l'eau froide de l'installation.

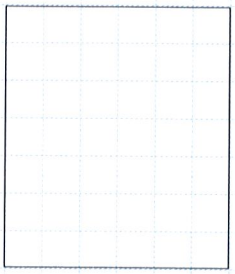
3. Dessiner dans le cadre ci-dessous, avec soin, le schéma fluidique normalisé complet de cette installation (la chaudière est au gaz).



Radiateur



Plancher chauffant



Chaudière

4. Sur le schéma réalisé, surligner en **rouge** les parties chaudes et en **bleu** les parties froides de l'installation.

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 6

INVESTIGATION 2

SCHÉMA ÉLECTRIQUE

Problématique : Étudier une installation électrique domestique et analyser le fonctionnement des montages de base.

1. Analyse du réseau



1. Afin de mieux connaître le réseau domestique, on désire visualiser et mesurer la tension délivrée. Réaliser le montage ci-contre à l'aide d'un oscilloscope ou d'un analyseur de réseau.

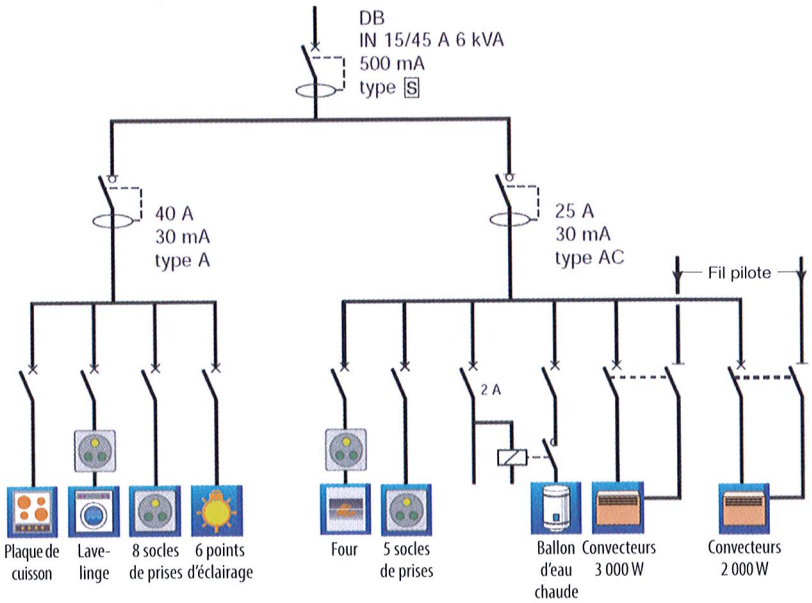
2. Donner l'allure de la tension et sa valeur. .....

2. Schéma électrique complet de l'installation

L'installation domestique est souvent représentée sous la forme d'un schéma unifilaire (un seul conducteur et un seul contact des appareils dessinés).

1. Sur le schéma ci-contre, surligner en **vert** l'arrivée de l'énergie dans l'installation, entourer en **rouge** le panneau de contrôle et en **bleu** le tableau de répartition.

2. À l'aide du tableau, indiquer sous chaque récepteur, les calibres normalisés des disjoncteurs et la section des conducteurs à utiliser.



Calibre disjoncteur ....

Section des conducteur ....

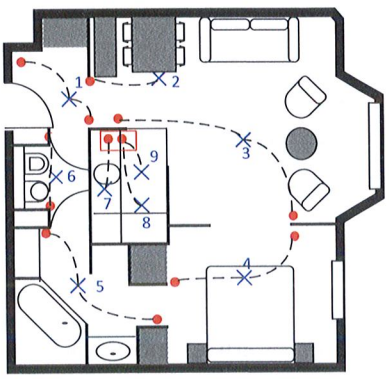
Nature du circuit	Section des conducteurs (mm²)		Courant assigné (A)	
	cuivre	aluminium	fusible	disjoncteur
Éclairage	1,5	2,5	10	16
Prise de courant 10/16 A	1,5	2,5	10	–
Prise de courant 10/16 A	2,5	4	16	20
Chauffe-eau électrique	2,5	4	16	20
Lave-linge lave-vaisselle	2,5	4	16	20
Appareil de cuisson monophasé	6	10	32	32

Nature du circuit	Section des conducteurs (mm²)		Courant assigné (A)	
	cuivre	aluminium	fusible	disjoncteur
Appareil de cuisson triphasé	4	6	16	20
Chauffage électrique 2 300 W	1,5	2,5	10	16
Chauffage électrique 4 600 W	2,5	4	16	20
Chauffage électrique 5 800 W	4	6	20	25
Chauffage électrique 7 300 W	6	10	32	32

3. Montages de base

Les trois principaux montages de base sont :

- le **simple allumage** : commande d'un ou plusieurs points lumineux d'un et d'un seul endroit.
- le **double allumage** : commande de deux points lumineux indépendants à partir d'un point de commande (double interrupteur).
- le **va-et-vient** : commande d'un ou plusieurs points lumineux de deux endroits différents.



Sur le plan de l'appartement, les points de commande sont représentés par des points rouges ●, les points lumineux par des croix bleues ✕. Les pointillés indiquent qui commande quoi.

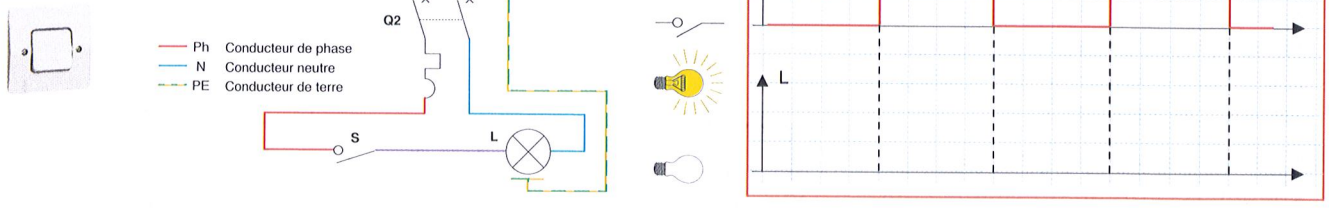
1. Compléter le tableau suivant en indiquant, pour chaque pièce, le nombre de points de commande agissant sur chaque point lumineux. Cocher la colonne correspondant au type de montage à utiliser.

Pièces	N° du point lumineux	Nombre de points de commande	Simple allumage	Double allumage	Va-et-vient
Entrée	1				
Séjour	2				
	3				
Chambre	4				
Salle de bain	5				
WC	6				
Cuisine	7				
	8				
	9				

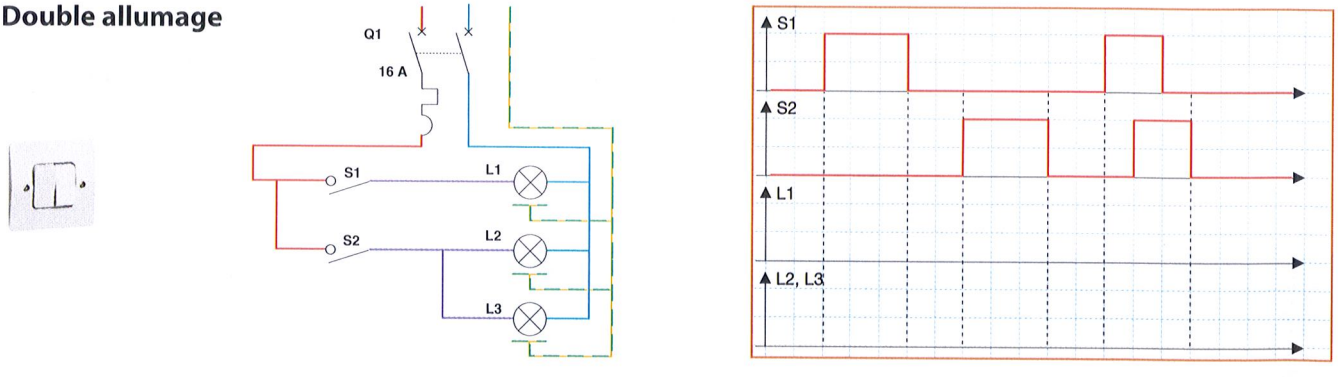
2. Pour chaque montage, représenter le schéma sur un simulateur informatique, simuler le fonctionnement et compléter le chronogramme correspondant.

Remarque : Le **chronogramme** est une représentation graphique de l'évolution temporelle d'un signal.

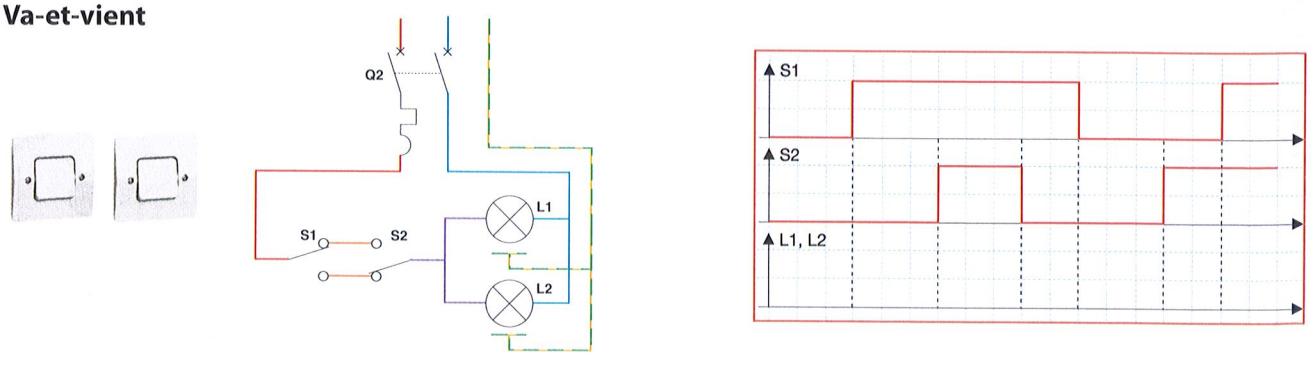
Simple allumage



Double allumage



Va-et-vient



3. Citer les autres montages existant dans l'habitat et les simuler. .....

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 6

INVESTIGATION 3

ÉTUDE COMPARATIVE DE DIFFÉRENTES SOURCES D'ÉCLAIRAGE

Problématique : Comparer 4 lampes de technologies différentes et effectuer un classement énergétique.

Les lampes doivent assurer un éclairement équivalent de façon à pouvoir les comparer. Vous allez vérifier les grandeurs caractéristiques.

1. Étude du matériel

- Pour chacune des lampes en votre possession, indiquer les grandeurs caractéristiques dans le tableau suivant (préciser les unités).

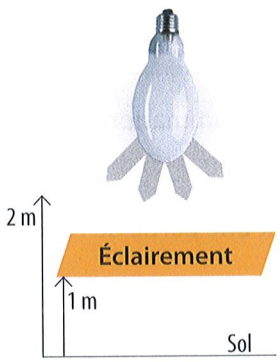
	Type de lampe	Tension d'alimentation	Puissance consommée	Éclairement	Classe énergétique
	Incandescence				
	Halogène				
	Fluocompacte				
	DEL				

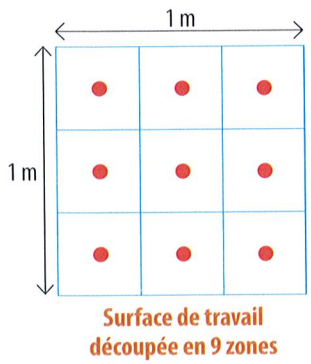
2. Protocole de mesure des grandeurs caractéristiques des lampes

Afin de contrôler les caractéristiques de chacune des lampes, vous allez mettre en place un **protocole de mesure** en suivant les étapes suivantes.

2.1 ÉTAPE 1 : Définir le type de mesures à effectuer

- La tension aux bornes des lampes.
- L'intensité du courant absorbé par les lampes.
- La puissance dissipée par les lampes.
- L'énergie consommée par les lampes pendant une durée de 2 minutes.
- L'éclairement moyen sur une surface de travail positionnée à 1 m du sol (la lampe sera fixée à une hauteur de 2 m et la surface de mesure sera de 1 m²).





Surface de travail découpée en 9 zones

- La température de surface de la lampe lors de son fonctionnement.

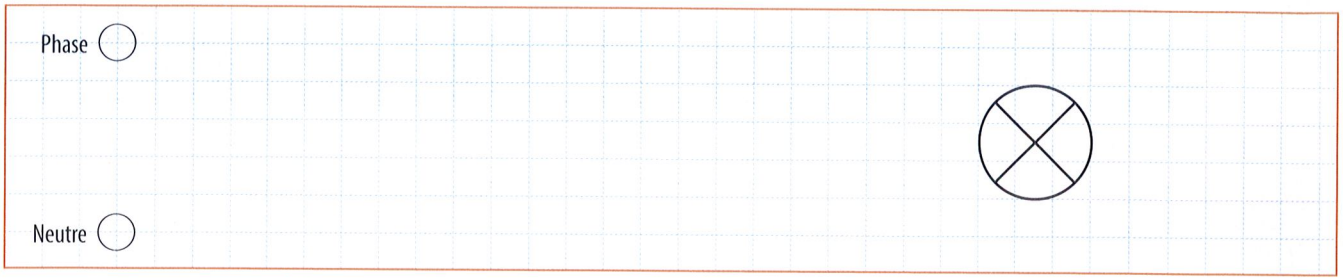
2.2 ÉTAPE 2 : Choisir les instruments de mesure adaptés

- Dans le tableau suivant, indiquer les appareils, présents dans votre laboratoire, que vous allez utiliser pour la mesure des grandeurs.

Appareil de mesure	Tension d'alimentation	Intensité absorbée	Puissance consommée	Énergie consommée	Éclairement moyen	Température de surface
Nom					luxmètre	
Photo						

2.3 ÉTAPE 3 : Définir le schéma de montage

- Tracer le schéma de branchement des appareils nécessaires à la mesure simultanée de toutes les grandeurs caractéristiques.



2.4 ÉTAPE 4 : Mettre en œuvre la mesure

CONSIGNES DE SÉCURITÉ : La mise sous tension ne peut s'effectuer qu'en présence et avec l'accord de votre professeur.

- Compléter le tableau suivant pour chacune des lampes.

Type de lampe	Tension d'alimentation	Intensité absorbée	Puissance consommée	Énergie consommée	Éclairement moyen	Température de surface
Incandescence						
Halogène						
Fluocompacte						
DEL						

2.5 Analyse et exploitation des résultats

1. L'éclairement moyen est-il identique pour les 4 lampes ? ☐ Oui ☐ Non

2. Que pensez-vous de la répartition de l'éclairement sur la surface de travail ? .....

.....

3. Effectuer un classement des lampes en fonction de leur consommation (de la plus faible à la plus forte).

.....

4. D'après les mesures de température de surface, que devient une partie de l'énergie absorbée par les lampes ?

.....

5. Effectuer un classement en fonction des déperditions de chaleur (de la plus faible à la plus forte).

.....

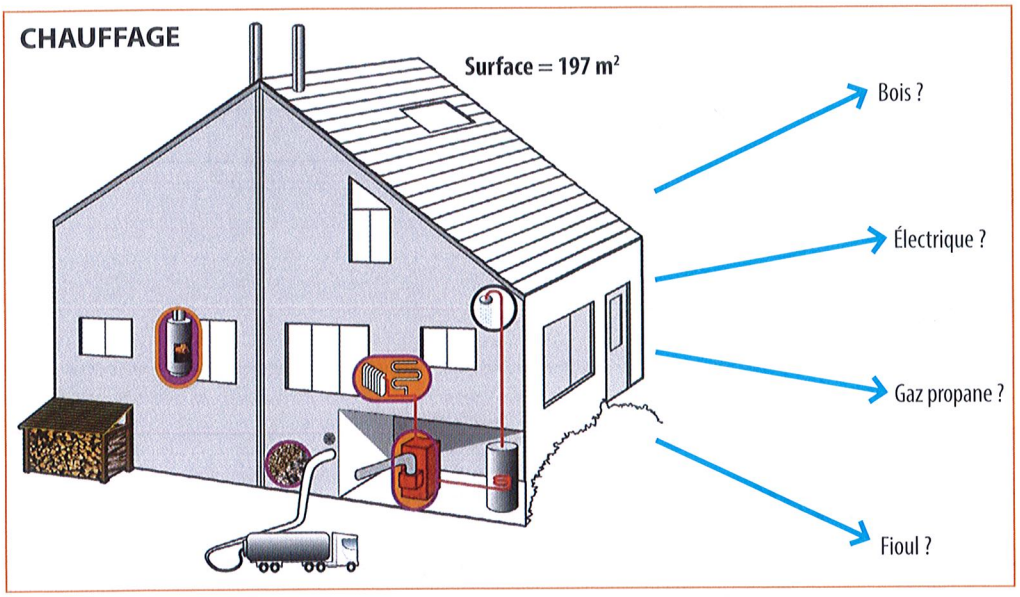
Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 6

INVESTIGATION 4

ÉTUDE COMPARATIVE DES ÉNERGIES DE CHAUFFAGE

Problématique : Afin de rénover une vieille maison, les propriétaires souhaitent choisir le mode de chauffage le plus économique. Vous êtes chargé de leur présenter une étude comparative entre 4 énergies pour les guider dans leur choix.



Le choix du matériel et les coûts d'installation et d'entretien ne sont pas de votre responsabilité. Ils vous seront fournis. Vous devez déterminer les coûts liés à la consommation d'énergie et établir un bilan global.

1. Consommations énergetiques

Des études ont permis de déterminer que pour assurer un confort thermique correct, avec l'isolation existante, la consommation énergétique est de **350 kWh/m².an**.

1. Le PCI (Pouvoir Calorifique inférieur) indique la quantité de chaleur dégagée par la combustion d'une unité (kg, m³, L, …) de combustible (sans tenir compte de la chaleur de vaporisation de la vapeur d'eau produite pendant la combustion). À l'aide d'Internet, indiquer dans le tableau ci-dessous, pour chaque type d'énergie, son unité de livraison et son PCI.

2. En fonction des systèmes choisis, calculer la consommation énergétique annuelle.

Type d'énergie	Unité	PCI (kWh)	Système de chauffage utilisé	Rendement du système de chauffage	Consommation énergétique annuelle (unité de livraison par an)	Consommation énergétique annuelle (kWh/an)
Bois			Chaudière à granulés	80 %		
Électricité			Panneaux rayonnants	91 %		
Gaz propane			Chaudière à condensation + plancher chauffant	95 %		
Fioul			Chaudière à condensation + plancher chauffant	81 %		

3. Quel est le système de chauffage le moins énergivore ? .....

2. Coût global par énergie

1. À l'aide d'Internet, indiquer dans le tableau ci-dessous, pour chaque type d'énergie, son prix de vente.
2. Calculer le coût annuel de la consommation et le coût global de l'installation sur 15 ans. En déduire le coût annuel total de chaque énergie.

Type d'énergie	Prix par unité	Coût annuel de la consommation d'énergie	Coût d'installation moyen	Coût d'entretien annuel moyen	Coût global sur 15 ans	Coût/an
Bois			5 000	160 €		
Électricité			7 000	0 €		
Gaz propane			4 500	150 €		
Fioul			4 500	200 €		

3. Quel est le mode de chauffage le plus économique pour cette maison ?

.....

4. Quel critère n'a pas été pris en compte dans cette étude ?

.....

3. Validation des résultats par tableur

Pour pouvoir comparer les énergies, vous allez tracer à l'aide d'un tableur des graphes sous forme d'histogrammes, permettant de comparer le coût des consommations d'énergie.

1. Établir une formule de calcul du prix des dépenses annuelles en énergie (**DA**) en fonction de la consommation énergétique (**CE**), de la surface de la maison (**SM**), du prix des énergies (**PE**), du rendement du système de chauffage (**η**) et du **PCI**.

.....

.....

2. Créer un tableau contenant les différents prix des énergies, le PCI, les rendements des systèmes de chauffage, la surface de la maison et la consommation énergétique.
3. Tracer les histogrammes de coût des consommations d'énergie.
4. Comparer avec les résultats de la partie 2. .....

.....

4. Gains engendrés par une nouvelle isolation

Les propriétaires souhaitent changer l'isolation. Dans ces conditions, la consommation énergétique serait de 286 kWh/m².an.

1. Rentrer cette valeur dans le tableur.

2. En déduire le gain financier apporté par l'isolation suivant le type d'énergie. .....

.....

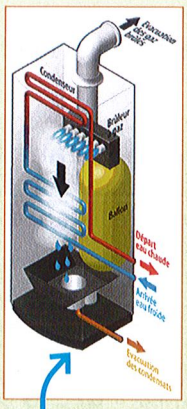
Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 6 SYNTHÈSE

CE QU'IL FAUT RETENIR DE LA SÉQUENCE

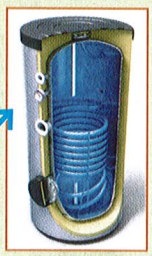
1. Les énergies fossiles : gaz – fioul

Les énergies fossiles **gaz - fioul** sont principalement utilisées dans l'habitat pour assurer le **chauffage**, la **cuisson** et l'**eau chaude sanitaire (ECS)**.

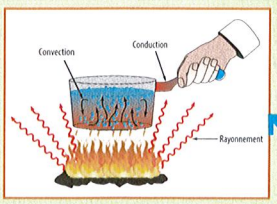


Les **chaudières à condensation** sont les chaudières les plus installées actuellement. Elles utilisent la chaleur issue des bruleurs et des fumées de combustion pour chauffer le liquide caloporteur.

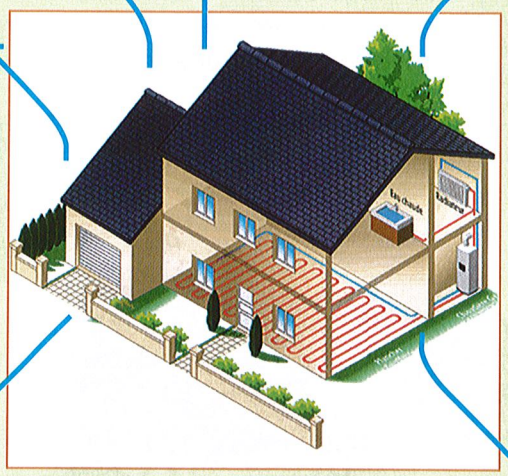
Unités de livraison
- **Gaz en m³**
- **Fioul en litre**



L'**eau chaude sanitaire (ECS)** est fournie par des ballons à serpentin traversés par le fluide caloporteur issu de la chaudière

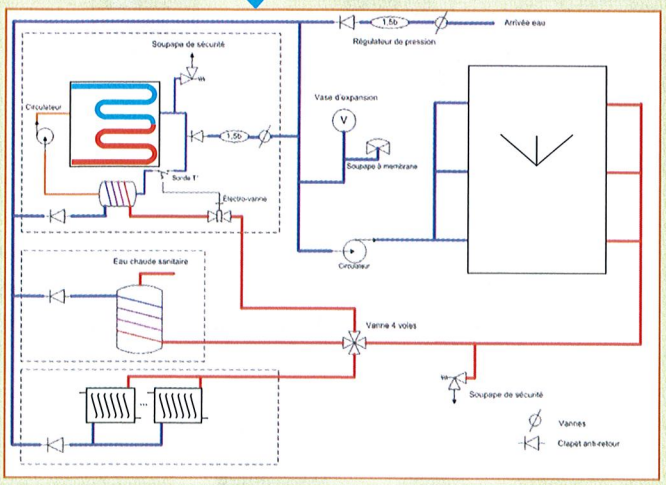


Le gaz permet d'assurer la **cuisson** des aliments par **conduction, convection** ou **rayonnement**

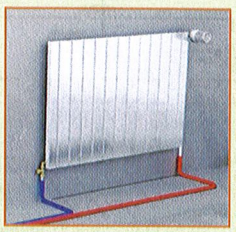


Les formules
- $Q = m \times Cp \times \Delta T$ *ou*
- $Q = \rho \times V \times Cp \times (T2 - T1)$
- avec $Q = P \times t$

permettent de déterminer l'énergie nécessaire pour élever la température d'un fluide (air, eau, ...).



Le **schéma fluidique** représente l'organisation et la constitution d'une installation. Il permet de comprendre son fonctionnement.





Dans un chauffage central gaz – fioul la chaleur est distribuée par des **radiateurs** ou par **chauffage au sol**.

2. L'énergie bois

Sous forme de bûches, de plaquettes, d'écorces ou de granulés, le bois est utilisé pour assurer le chauffage des locaux. Il peut être utilisé également pour l'eau chaude sanitaire.



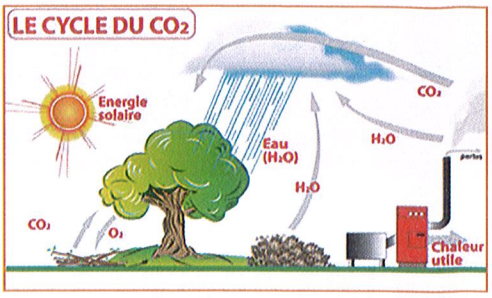
Granulés



Plaquettes



Bûches

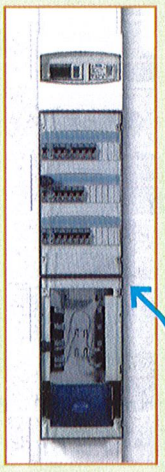


3. L'énergie électrique

L'énergie électrique est utilisée dans l'habitat pour assurer le chauffage, la cuisson et l'eau chaude sanitaire mais également l'éclairage.

L'**énergie électrique**, produite par les centrales, arrive sur la Gaine Technique Logement (GTL).

La tension de **230 V** est de forme **alternative sinusoïdale**.

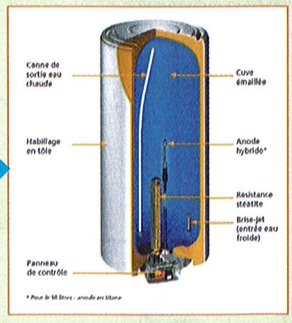


Les **radiateurs** permettent de convertir l'énergie électrique en énergie thermique grâce à une résistance en série avec un thermostat.

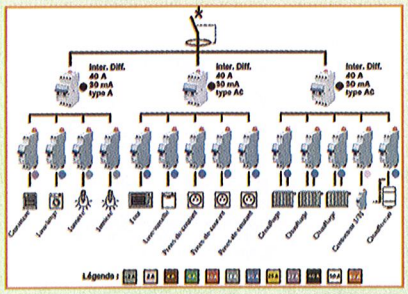


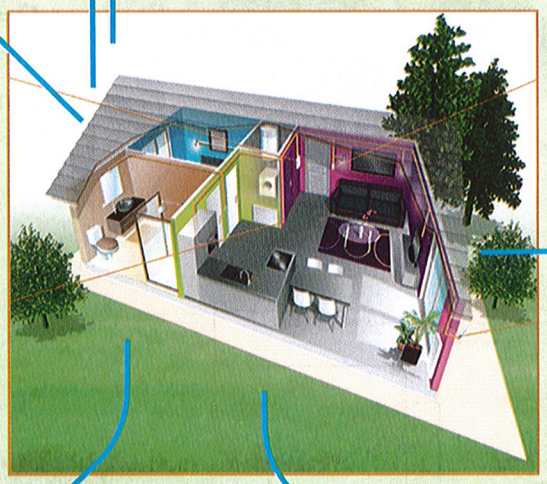
Les formules : $W = R \times I^2 \times t$; $W = U \times I \times t$; $W = P \times t$ permettent de déterminer l'énergie et la puissance consommées par une résistance pendant une durée t de fonctionnement.

L'**Eau Chaude Sanitaire** est obtenue par chauffage d'une résistance plongée dans le liquide.

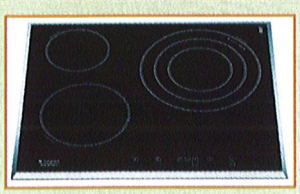


Le **schéma électrique** de distribution permet de comprendre l'organisation de l'installation, le calibre et le rôle des protections.





La **cuisson des aliments** s'effectue grâce à des plaques chauffantes, des plaques vitrocéramiques ou des plaques à induction.



L'**éclairage** est assuré par des lampes halogènes, fluocompactes ou à DEL. L'incandescence et certaines lampes halogènes sont interdites car trop énergivores.



SÉQUENCE 7

LEÇON

LE RÉSEAU D'INFORMATION MULTIMÉDIA DANS L'HABITAT

LIAISON RÉFÉRENTIEL

- **3** Solutions technologiques
- **3.1.4** Traitement de l'information – Codage et transcodage de l'information
- **3.2.3** Acquisition et codage de l'information – Restitution de l'information
- **3.2.4** Transmission de l'information, réseaux et Internet

1. Situation déclenchante

DOC. Un réseau multimédia en étoile pour toute la maison

Pour profiter de tous les équipements de communication, des offres Internet, de la télévision numérique, …., la norme NF C 15-100 impose d'équiper les logements neufs d'un réseau multimédia filaire (téléphone, Internet, télévision) également appelé VDI (voix – données – image). Ce réseau distribue les médias dans toute la maison à partir du coffret de communication de la Gaine Technique Logement – GTL.



Des prises de communication permettent de se raccorder facilement depuis n'importe quelle pièce et de pouvoir téléphoner, regarder la télévision ou se connecter à Internet, partager des fichiers, jouer en réseau, brancher des enceintes hi-fi, une webcam, un disque dur multimédia, … Elles permettent également d'assurer la surveillance médicale des personnes dépendantes, de mettre en réseau les appareils domestiques contrôlables à distance, …

1. Quel est le point central d'un réseau multimédia résidentiel filaire ? .....

.....

2. Comment est organisé ce réseau ? .....

3. Chez vous, de quels équipements connectés disposez-vous ? .....

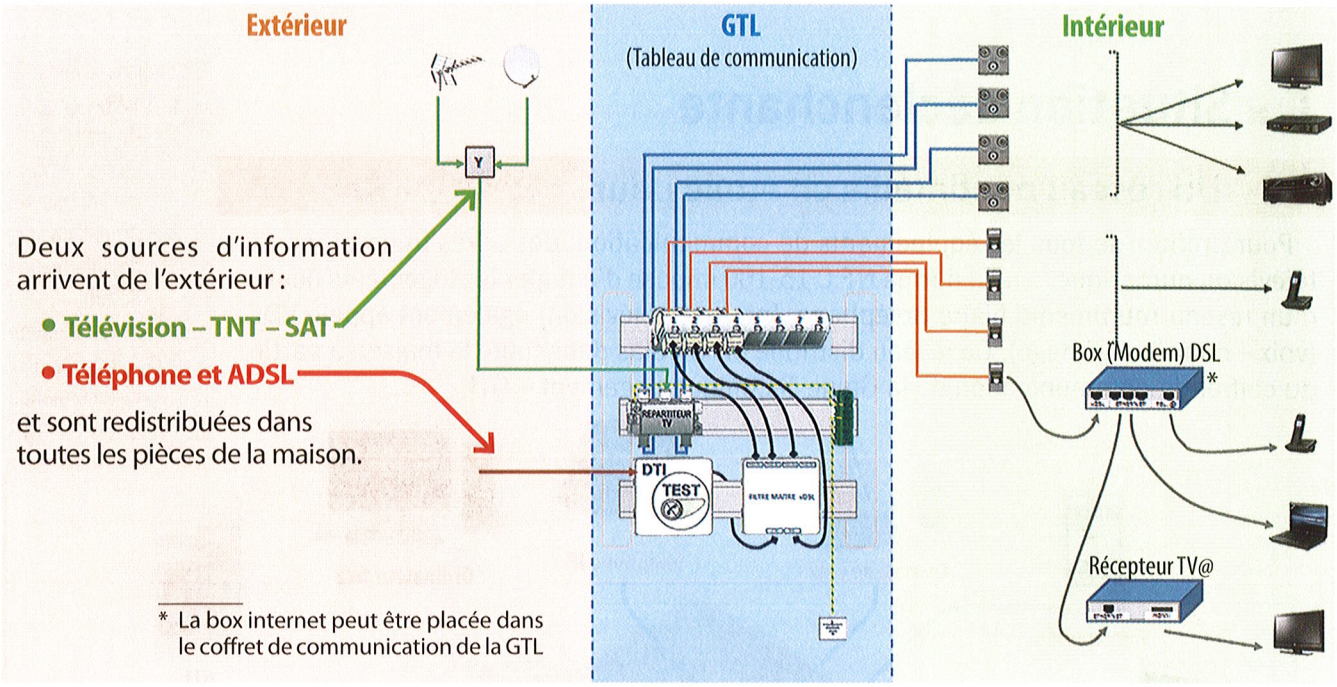
.....

Conclusion : Quel est l'intérêt d'un réseau de communication dans l'habitat ?

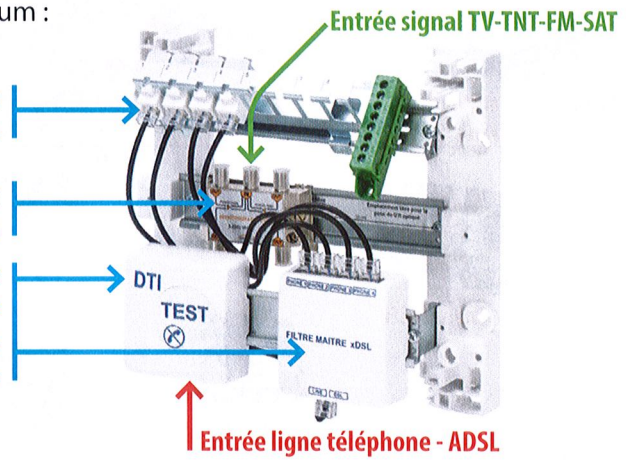
.....

2. Structure d'un réseau filaire

Le **tableau de communication**, ou **boîtier de raccordement des usagers (BRU)**, concentre les points de livraison des opérateurs téléphoniques, informatiques et télévisuels et permet de les diffuser dans l'habitat. Il est placé dans la gaine technique logement (GTL).



Dans le tableau de communication, on trouve au minimum :



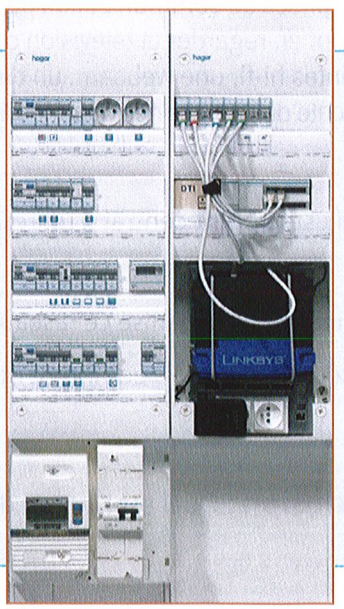
Un système de brassage : Il centralise le câblage à destination des différentes pièces du logement et peut être manuel ou automatique.

Un répartiteur télévision : Il distribue le signal de télévision hertzien sur plusieurs sorties.

Le module de terminaison intérieur (DTI) : Ce dispositif représente la limite de responsabilité de l'opérateur télécom, c'est-à-dire la frontière entre « l'extérieur » et « l'intérieur » du logement. Il est associé à un **filtre ADSL.**

APPLICATION 1 Gaine technique logement

- Sur la gaine technique logement ci-contre, entourer :
  - En **bleu**, le panneau de contrôle.
  - En **rouge**, le tableau de répartition.
  - En **vert**, le coffret de communication
  - En **noir**, le module DTI et le filtre ADSL.
  - En **pointillés rouges**, le système de brassage.
  - En **pointillés verts**, la box Internet.



3. La distribution filaire de l'information

Les informations sont disponibles sur des prises RJ45 (❶) ou des prises coaxiales (❷).


❶


❷

La norme NF C 15-100 prescrit le nombre de prises à installer par pièce.

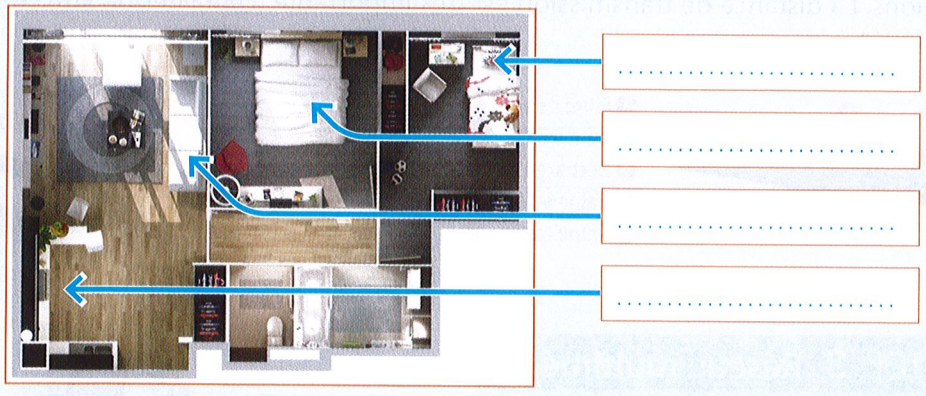
Nombre de prises par logement	RJ45			Coaxiales		
	Norme	Recommandé	Confort	Norme < 100 m²	Norme > 100 m²	Recommandé
Pièce principale	1	3	6	2 (admis 1 < 35 m²)	3	3
Cuisine	1	1	2	–	–	–
Chambre	–	2	3	–	–	–
Comble	–	1	2	–	–	–
Salle de jeux	–	2	2	–	–	–
Autres pièces	–	–	1	–	–	–

APPLICATION 2 Distribution filaire

Les propriétaires d'une maison de 120 m², composée entre autres d'une salle principale, d'une cuisine et de deux chambres, désirent avoir une distribution du téléphone et de l'informatique par prise RJ45 et la télévision satellite sur prise coaxiale.

1. Combien de prises est-il **recommandé** d'installer au total ? .....

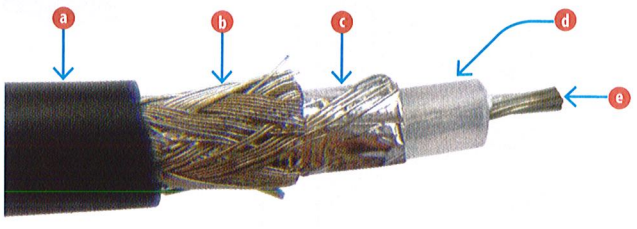
2. Donner sur le schéma ci-dessous le nombre et le type de prises installées par pièce.



Différents types de câbles permettent de véhiculer les informations.

3.1 Le câble coaxial

Le **câble coaxial** permet la transmission de signaux analogiques et numériques (notamment la télévision hertzienne, la TNT et la télévision par parabole). Il peut être utilisé sur de longues distances (jusqu'à 500 m). Son installation est simple et peu couteuse.



ⓐ Gaine extérieure en plastique
ⓑ Tresse en cuivre
ⓒ Feuille d'aluminium
ⓓ Diélectrique
ⓔ Conducteur central (âme) en cuivre

Les connexions sont réalisées à l'aide de prises BNC, de prises F ou de prises coaxiales.

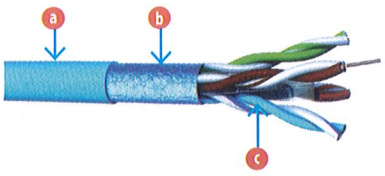

Prise BNC


Prise F


Prise coaxiale

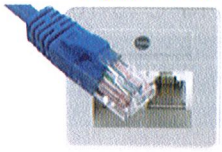
3.2 Le câble à paires torsadées

Le **câble à paires torsadées** permet la transmission de tous types d'informations. La distance de transmission est d'une centaine de mètres. Son installation est simple et peu couteuse.

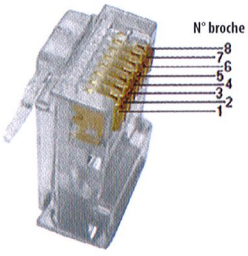


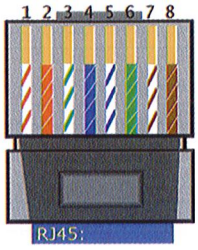
- (a) Gaine extérieure en plastique
- (b) Blindage en cuivre
- (c) Paires torsadées, conducteurs enroulés en hélice deux par deux

Les connexions sont réalisées à l'aide de prises RJ45.



Identification des broches d'une prise RJ45





N° Broche	N° Paire	Couleur
1	1	Blanc-orange
2	1	Orange
3	2	Blanc-vert
4	3	Bleu
5	3	Blanc-bleu
6	2	Vert
7	4	Blanc-brun
8	4	Brun

Paire 1 : Réception des données

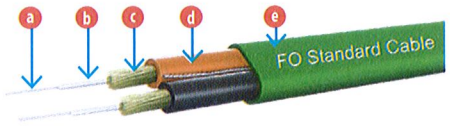
Paire 2 : Transmission des données

Paire 3 : Téléphone

Paire 4 : Télévision

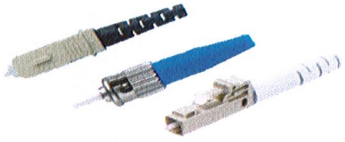
3.3 La fibre optique

La **fibre optique** est un fil conducteur de lumière très fin, en verre ou en plastique, capable de transmettre tous types d'informations. La distance de transmission est très importante (centaines de km). Son installation est complexe et couteuse.



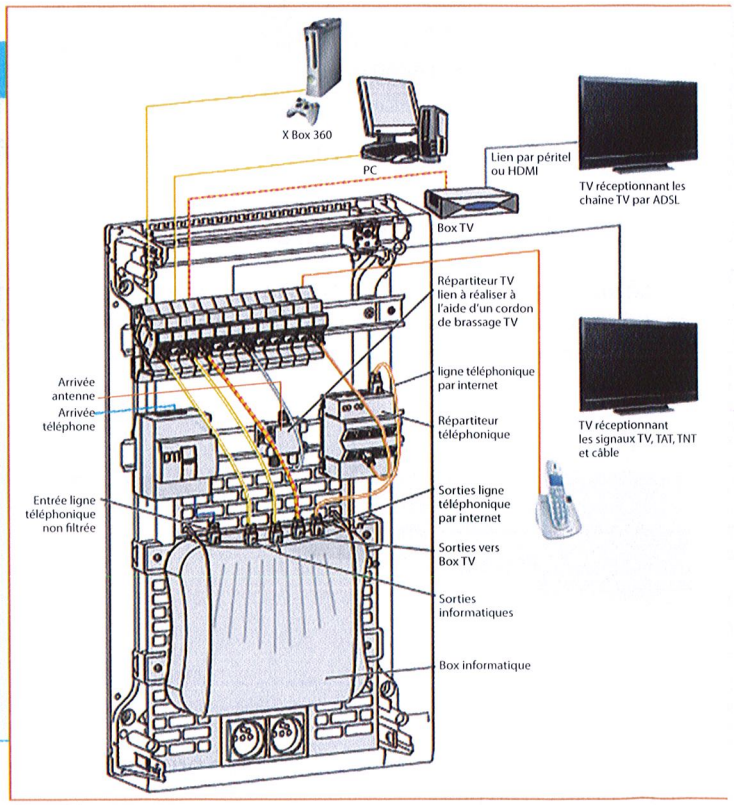
- (a) Fibre de verre
- (b) Âme creuse
- (c) Décharge de traction
- (d) Gaine intérieure
- (e) Gaine extérieure

Connecteurs de fibre optique



APPLICATION 3 Réseau multimédia

1. Colorier :
   - En **bleu** l'arrivée de la ligne téléphonique sur la box.
   - En **rouge** l'arrivée et la distribution de la télévision hertzienne.
   - En **vert** la distribution du téléphone par Internet.
   - En **pointillés rouges** la distribution informatique Internet.
   - En **pointillés verts** la distribution de la télévision numérique.
2. Indiquer par un **cercle noir** le ou les emplacements des prises RJ45.
3. Indiquer par un **cercle bleu** le ou les emplacements des prises coaxiales.

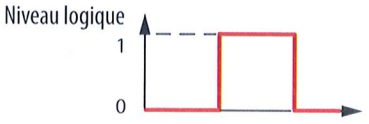


4 Les informations

Les **informations** sont transmises sous forme **binaire** : l'information est soit présente (notée **1**), soit absente (notée **0**). Les valeurs 0 et 1 sont appelés **niveaux logiques**.

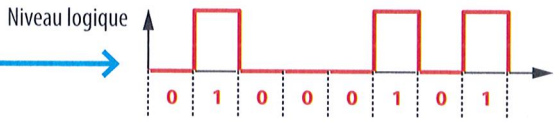
4.1 Le bit

Ce mot vient de la compression de l'anglais « binary digit ». Il s'agit de la plus petite information traitable par un système informatique. Il ne prend que les valeurs 0 ou 1.



Pour pouvoir transmettre n'importe quel type d'information (textes, images, sons, ...), il faut envoyer des séries de bits les uns derrière les autres.

Exemple : émission du code 10100010 (Les bits sont transmis en commençant par le bit de poids le plus faible)

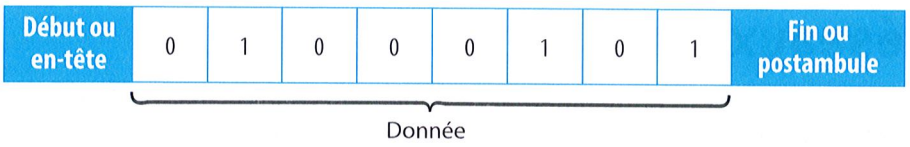


4.2 Les trames

Pour bien délimiter et identifier l'information, il faut encadrer les suites de bits.

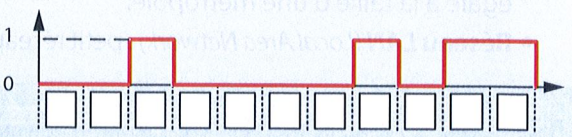
Exemple : lorsque les données 01000101 et 01000010 doivent être transmises, on ne peut pas envoyer 0100010101000010. Le début et la fin de chaque donnée ne sont pas clairement identifiés. Il faut utiliser des séparateurs.

On crée une **trame** en précisant le début et la fin de l'envoi. La donnée est encadrée.



APPLICATION 4 Exemple de transmission

La trame à transmettre est :
- En-tête : un bit égal à 0 (bit de start).
- Postambule : deux bits égaux à 1 (bits de stop).
- Donnée sur 8 bits.



1. Compléter les cadres ci-dessus en inscrivant les niveaux logiques.
2. Entourer en **vert** le bit de start et en **rouge** les bits de stop.
3. Quel code binaire est envoyé ? .....

4.3 L'écriture des données

Les données sont transmises sous forme d'**octet** (8 bits). Un octet est :
- en décimal : un paquet de 8 bits qui donne une valeur comprise entre 0 (00000000) et 255 (11111111).
- en hexadécimal : un paquet qui est divisé en deux groupes de 4 bits donnant chacun une valeur comprise entre 0 (0000) et F (1111).

APPLICATION 5 Écriture de donnée en décimal et hexadécimal

- La donnée est 10110011. Compléter les tableaux suivants.

Écriture en décimal : à chaque bit est affecté un poids binaire de 2^0 à 2^7

Poids binaire	$2^7 = 128$	$2^6 = 64$	$2^5 = 32$	$2^4 = 16$	$2^3 = 8$	$2^2 = 4$	$2^1 = 2$	$2^0 = 1$
Donnée	1	0	1	1	0	0	1	1
Résultat = Poids binaire × donnée								

Résultat en décimal = somme des résultats de chaque bit = ...

Écriture en hexadécimal : à chaque bit est affecté un poids binaire de 2^0 à 2^3

Poids binaire	$2^3 = 8$	$2^2 = 4$	$2^1 = 2$	$2^0 = 1$	$2^3 = 8$	$2^2 = 4$	$2^1 = 2$	$2^0 = 1$
Donnée	1	0	1	1	0	0	1	1
Résultat = Poids binaire × donnée								

Résultat en décimal = ... Résultat en décimal = ...

Résultat hexadécimal ....

Pour convertir en hexadécimal, on utilise les correspondances suivantes.

15 = F	14 = E	13 = D	12 = C	11 = B	10 = A	9 = 9	8 = 8	7 = 7	6 = 6	5 = 5	4 = 4	3 = 3	2 = 2	1 = 1	0 = 0

4.4 Encapsulation

La forme des trames diffère suivant les informations à faire transiter. Elle peut être beaucoup plus sophistiquée. L'encadrement de la donnée pour former une trame s'appelle l'**encapsulation**.

Exemple : trame Ethernet IEEE 802.3

En-tête	Adresse de destination	Adresse source	Longueur	Données	Postambule

5. Les réseaux

Si l'on désire diffuser des informations entre différents équipements dans la maison, il faut les relier entre eux et donc créer un **réseau**. On distingue trois types de réseaux classés par leur taille :

- **Réseau *WAN*** (*Wide Area Network*) : réseau de plus de 1 000 000 de machines sur une étendue géographique égale à la terre. Le plus connu de ces réseaux est Internet.
- **Réseau *MAN*** (*Metropolitan Area Network*) : réseau de plus de 1 000 machines sur une étendue géographique égale à la taille d'une métropole.
- **Réseau *LAN*** (*Local Area Network*) : petit réseau de 2 à 1 000 machines sur une étendue géographique restreinte.

APPLICATION 6 Quel type de réseau ?

- De quel type est le réseau de votre habitation ? .....

6. Les protocoles

Afin d'assurer le bon fonctionnement d'un réseau, il faut mettre en place des liaisons entre les machines et mettre au point des moyens de communication. On parle de **protocoles**.

Le protocole le plus utilisé dans les réseaux LAN est le protocole **TCP/IP** (Transfer Control Protocol/ Internet Protocol). Il gère la façon dont s'effectuent les communications.

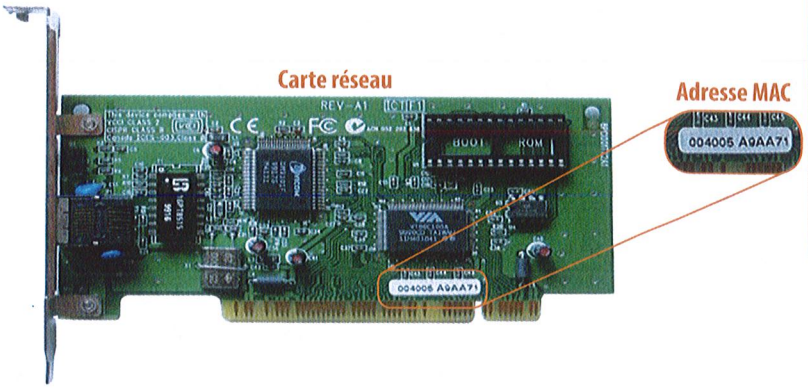
TCP : Gère le découpage des données en paquets qui circulent indépendamment.

IP : Gère l'envoi des paquets à la bonne adresse de destination.

7 L'adressage

Pour pouvoir dialoguer, les machines possèdent deux **adresses** :

- L'adresse **MAC**.
- L'adresse **IP**.



7.1 Adresse MAC

Chaque carte communicante possède une adresse unique dans le monde : l'**adresse MAC** (Media Access Control).

C'est une suite de six nombres hexadécimaux (*exemple : 00 : 40 : 05 : A9 : AA : 71*).

On parle d'**adresse matériel**.

7.2 Adresse IP

Chaque machine possède une seconde adresse : l'**adresse IP** (Internet Protocol). On parle d'**adresse physique**.

Le standard utilisé aujourd'hui est l'**IPV4** avec une adresse IP sur quatre octets. L'augmentation du besoin d'adresses IP a fait apparaître le format **IPV6** avec une adresse IP sur six octets.

L'adresse IPV4 est constituée de deux parties :



Afin de faciliter sa lecture, l'adresse est donnée en décimal et sa structure est la suivante :



Le nombre de blocs utilisés dans le net-ID détermine la taille du réseau. On range les réseaux en 3 classes.

7.3 Classes de réseaux

	XXX	XXX	XXX	XXX	
Classe A	net-ID	host-ID			**Réseau de classe A :** l'adresse est de la forme XXX.XXX.XXX.XXX avec en **rouge l'adresse réseau** et en **vert l'adresse machine**. 127 réseaux disponibles. Le nombre de machines d'un réseau est de 16 777 214.
Classe B	net-ID		host-ID		**Réseau de classe B :** l'adresse est de la forme XXX.XXX.XXX.XXX avec en **rouge l'adresse réseau** et en **vert l'adresse machine**. 16 384 réseaux disponibles. Le nombre de machines d'un réseau est de 65 534.
Classe C	net-ID			host-ID	**Réseau de classe C :** l'adresse est de la forme XXX.XXX.XXX.XXX avec en **rouge l'adresse réseau** et en **vert l'adresse machine**. 2 097 152 réseaux disponibles. Le nombre de machines d'un réseau est de 254.

APPLICATION 7 Classe de réseau

- Une machine a pour adresse IP 192.16.0.1. Quelle est sa classe de réseau ? Justifier.

.....

7.4 Masque de sous-réseau

Seules les machines ayant le même identifiant réseau (net-ID) peuvent communiquer entre elles.

Le **masque de sous-réseau** permet d'isoler le net-ID dans une adresse IP. Il possède autant de bloc que l'adresse IP. Dans la plupart des cas, chaque bloc est égal soit à 255, soit à 0. La valeur 255 laisse passer la valeur du même rang de l'adresse IP. La valeur 0 bloque la valeur du même rang de l'adresse IP.

Exemple : Masque de sous-réseau

	172	150	45	23	
	255	255	0	0	
laisse passer la valeur	←	←	→	→	bloque la valeur
laisse passer la valeur	←	←	→	→	bloque la valeur
Résultat :	172	150	0	0	

Le net-ID a été isolé. Toutes les machines ayant une adresse IP commençant par 172.150 peuvent communiquer entre elles.

La valeur du masque de sous-réseau dépend de la classe réseau des machines :

- Réseau de classe A : masque de sous-réseau : **255.0.0.0**
- Réseau de classe B : masque de sous-réseau : **255.255.0.0**
- Réseau de classe C : masque de sous-réseau : **255.255.255.0**

APPLICATION 8 Masque de sous-réseau

Une machine A a pour adresse IP 192.16.0.1, une machine B a pour adresse IP 192.7.0.1.

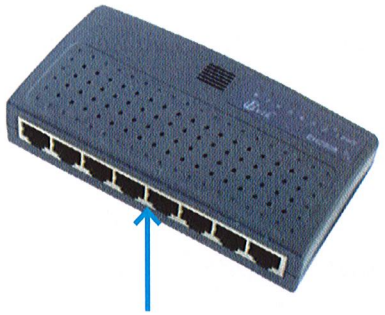
1. Quelle est la classe du réseau ? .....
2. Quel est la valeur du masque de sous-réseau ? .....
3. Quel est leur net-ID ? .....
4. Peuvent-elles dialoguer ensemble ? Justifier.

.....

8 Le matériel des réseaux

8.1 Le concentrateur ou hub

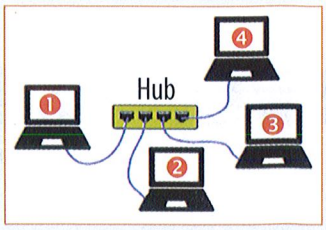
Le **concentrateur** est un matériel qui met en contact plusieurs équipements. Son rôle consiste à recevoir des données d'une première machine et de les envoyer **à toutes les autres**. Seule la machine concernée pourra lire les données.



Le concentrateur possède des prises de branchement (**ports**) qui peuvent recevoir ou envoyer des données.

APPLICATION 9 Concentrateur

Sur le réseau ci-contre, l'ordinateur 1 envoie un message à l'ordinateur 3.

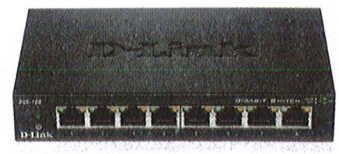


1. Quelle(s) machine(s) le réceptionne(nt) ? .....
2. Quelle(s) machine(s) lit(sent) le message ? .....

Sur le réseau ci-contre, l'ordinateur 3 envoie un message à l'ordinateur 2.

3. Quelle(s) machine(s) le réceptionne(nt) ? .....
4. Quelle(s) machine(s) lit(sent) le message ? .....

8.2 Le commutateur ou switch



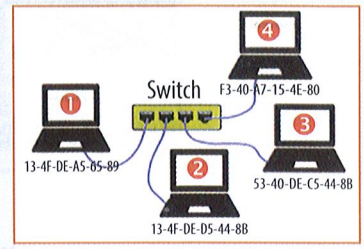
Le **commutateur** est plus sélectif que le hub. Il n'envoie ce qu'il reçoit qu'au **destinataire concerné**, pour cela il utilise l'adresse MAC des machines connectées.

APPLICATION 10 Switch

1. Sur le réseau ci-contre, l'ordinateur 1 envoie un message à l'adresse 53-40-DE-C5-44-8B. Quelle(s) est(sont) la(les) machine(s) qui le réceptionne(nt) ? .....

2. Sur le réseau ci-contre, l'ordinateur 4 veut envoyer un message à la machine 1. Quelle adresse MAC doit-il utiliser ?

.....



8.3 Le routeur et la passerelle

Pour aller sur Internet, il faut changer de réseau. On utilise deux matériels supplémentaires : le **routeur** et la **passerelle**.

Le **routeur** trace l'itinéraire que les informations doivent prendre pour sortir du réseau et aller sur Internet. La **passerelle** est la porte d'entrée et de sortie du réseau.

Ces deux éléments (et d'autres) se retrouvent dans la box Internet de la maison.



APPLICATION 11 Dialogue entre machines

- Donner une solution pour que les machines A et B de l'**application 8** arrivent à dialoguer.

.....

.....

9. Vitesse de transmission

La taille d'un fichier se mesure en **bit**. Les fichiers contenant de grosses quantités de bits, on préfère utiliser l'**octet** qui correspond à 8 bits ou ses multiples.

1 octet = 8 bits

1 kilo-octet (**Ko**) = 1 024 octets = 1 024 × 8 bits = 8 192 bits

1 Méga-octet (**Mo**) = 1 024 Ko = 1 024 × 1 024 × 8 bits = 8 388 608 bits

1 Giga-octet (**Go**) = 1 024 Mo = 1 024 × 1 024 × 1 024 × 8 bits = 8 589 934 592 bits

APPLICATION 12 Conversion

- Convertir en bit 2 Mo.

.....

La vitesse de transmission des données s'exprime en **bit par seconde** ou en octet par seconde.

Les vitesses de transmission pour les câbles sont les suivantes : coaxial : 10 Mb/s ; paire torsadée : 10 à 100 Mo/s ; fibre optique : 0,1 à 1 Go/s.

18. Autres moyens de transmission des informations

Wi-Fi : La liaison s'effectue par ondes radio. La portée peut aller jusqu'à 150 m en intérieur et 500 m en extérieur et la vitesse de transmission jusqu'à 10 Mo/s.

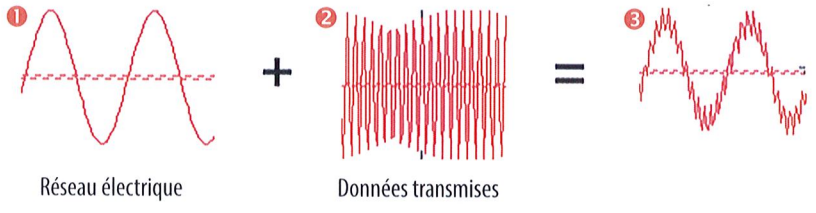
Avantages : pas de fils
Inconvénients : action des ondes sur la santé

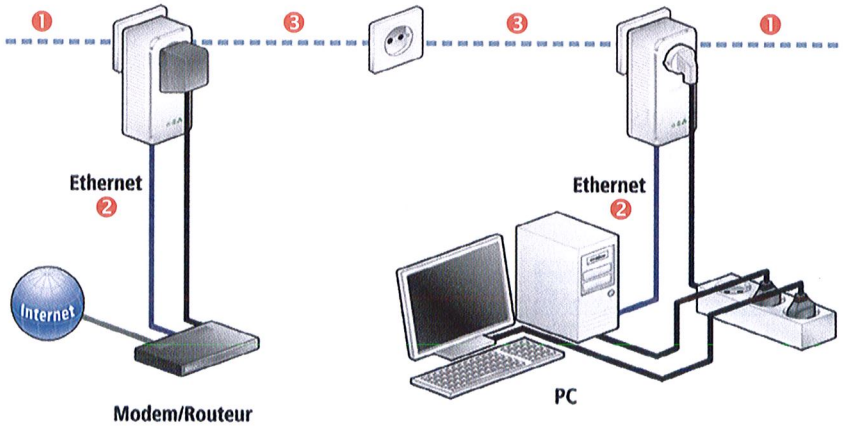


Bluetooth : La liaison s'effectue par ondes radio sur courtes distances. La portée est de 10 à 20 mètres pour les appareils les plus courants et la vitesse de transmission est au maximum de 3 Mo/s.



Courant porteur en ligne CPL : Il permet de transmettre des informations numériques sur le réseau électrique d'une habitation avec un débit maximal de 25 Mo/s.





Dans l'avenir : D'autres moyens technologiques faciliteront la transmission de données, le **LiFi** par exemple permettra la transmission d'information depuis un luminaire communiquant vers un ordinateur.

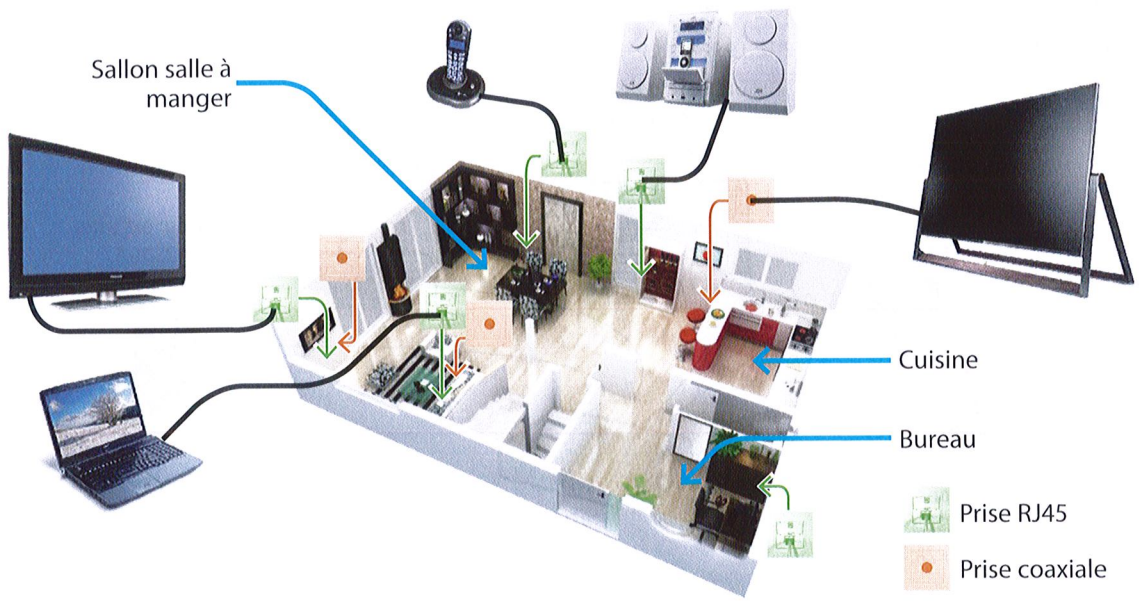
Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 7 TD

INFORMATION DANS L'HABITAT

Activité 1. Structure et distribution

On donne ci-dessous une vue 3D d'une maison de 120 m² faisant apparaître la distribution multimédia.



- La norme NF C 15-100 est-elle respectée ? Justifier votre réponse.

.....

.....

Activité 2. Trame Ethernet

Rappel : forme d'une trame Ethernet :

	En-tête	Adresse de destination	Adresse source	Longueur	Données	Postambule
Nombre d'octets :	8	6	6	2	46 à 1 500	4

1. Pour écrire une adresse IP, combien faut-il d'octets ? Justifier votre réponse.

.....

2. Pour écrire une adresse MAC, combien faut-il d'octets ? Justifier votre réponse.

.....

3. En déduire les adresses utilisées dans la trame pour la destination et la source.

.....

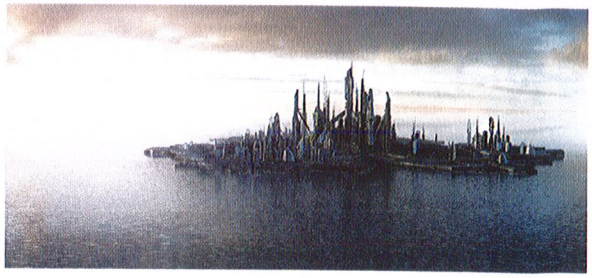
4. Soit le début d'une trame Ethernet : AA AA AA AA AA AA AA AB 08 00 20 0A 70 66 08 00 20 0A AC 96 08 00 45 00 00 28 A6 F5 00 00 1A 06 75 94 C0 5D 02 01 84 E3.

   a) Surligner en **vert** l'adresse de destination. Donner sa valeur. .....

   b) Surligner en **bleu** l'adresse source. Donner sa valeur. .....

Activité 3 – Vitesse de transmission

- Combien de temps faut-il pour recevoir l'image ci-contre dont la taille est de 288 768 000 bits avec une vitesse de transmission de 2 Mo/s ?



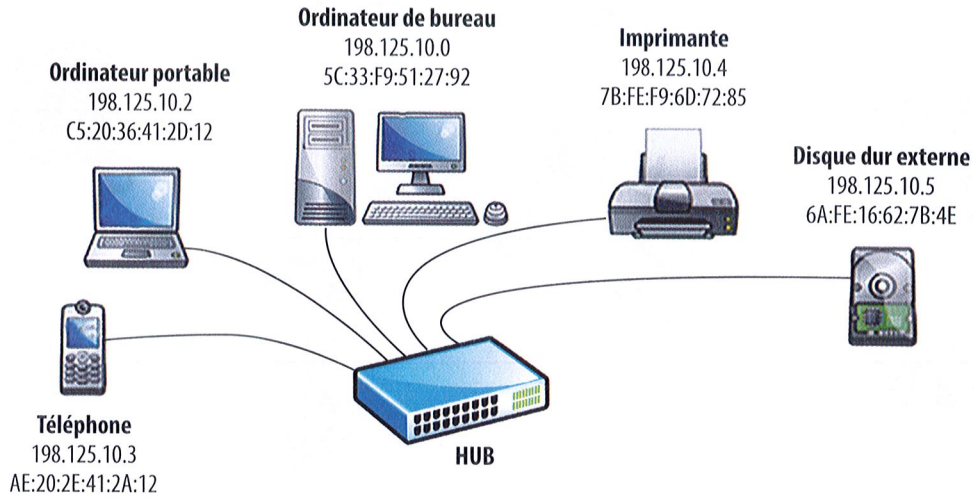
.....

.....

.....

Activité 4 – Les réseaux

Un particulier a réalisé à son domicile le réseau ci-dessous.



1. Quelle est la classe du réseau ? Justifier. .....

2. Quel masque de sous-réseau doit-on utiliser pour chaque machine ? Justifier. .....

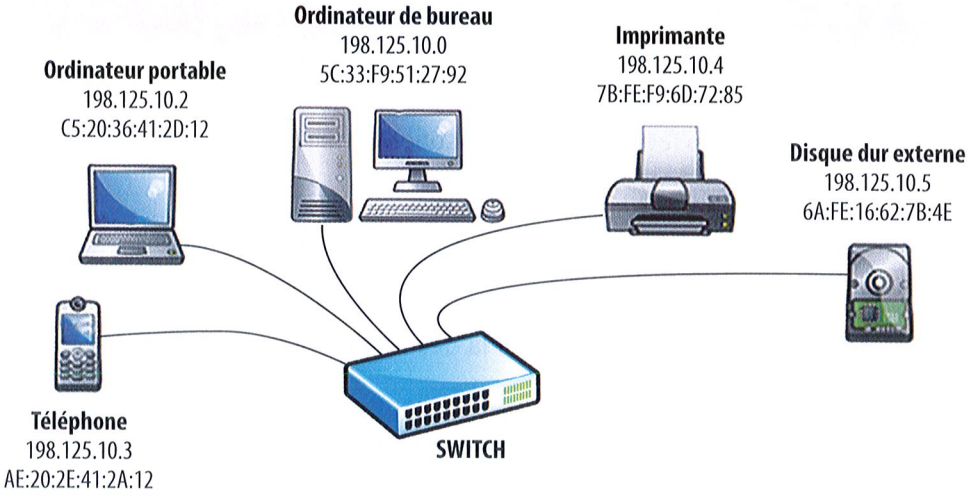
.....

3. Il désire imprimer un dossier à partir de son ordinateur de bureau. Surligner en **vert** le(s) parcours du fichier lors de son envoi.

4. Lors de la réception, la machine concernée avertit l'émetteur en envoyant un accusé de réception. Surligner en **bleu** le parcours de cet accusé de réception.

5. Quelle est l'adresse utilisée par l'ordinateur de bureau pour acheminer le fichier ? .....

Le même particulier a transformé son réseau en remplaçant le hub par un switch.



6. Il désire sauvegarder un dossier sur le disque dur à partir de son ordinateur portable. Surligner en **vert** le(s) parcours du fichier lors de son envoi et en **bleu** le parcours de l'accusé de réception envoyé par la machine concernée.

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 7

ÉTUDE DE CAS

NFORMATION DANS L'HABITAT

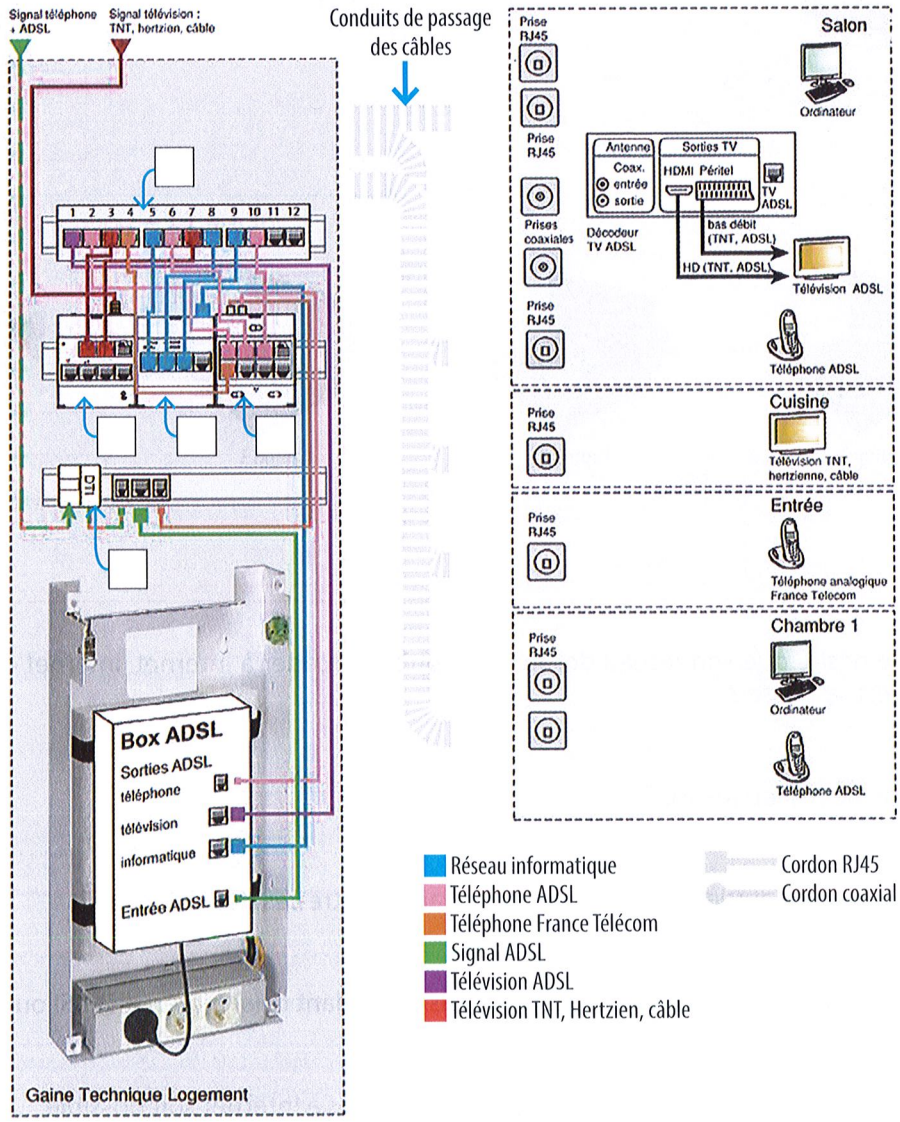
Problématique : câbler et réaliser un réseau domestique pour mettre une maison aux normes. La maison d'une superficie de 90 m² est composée d'un salon, d'une cuisine, de trois chambres, d'une entrée, d'une salle de bain, et de deux WC.

1. Matériel – normes – câblage

1. Compléter le tableau ci-contre en donnant le nombre normalisé de prises de chaque type pour chaque pièce.

	RJ45	Coaxiale		RJ45	Coaxiale
Salon			Chambre 2		
Cuisine			Chambre 3		
Chambre 1			SdB - WC		

2. Placer les numéros de la liste suivante sur le schéma du tableau de communication :
❶ DTI + Filtre ADSL ; ❷ Répartiteur TV ; ❸ Répartiteur informatique ; ❹ Répartiteur téléphonique ; ❺ Brassage.



3. Tracer le câblage de la GTL jusqu'à l'intérieur de la maison..

2. Réseau domestique

Le propriétaire pense réaliser un réseau domestique en connectant toutes les machines de la maison. Il opte pour l'utilisation d'un switch pour réaliser les liaisons.

1. Quelle est la classe de ce réseau ?

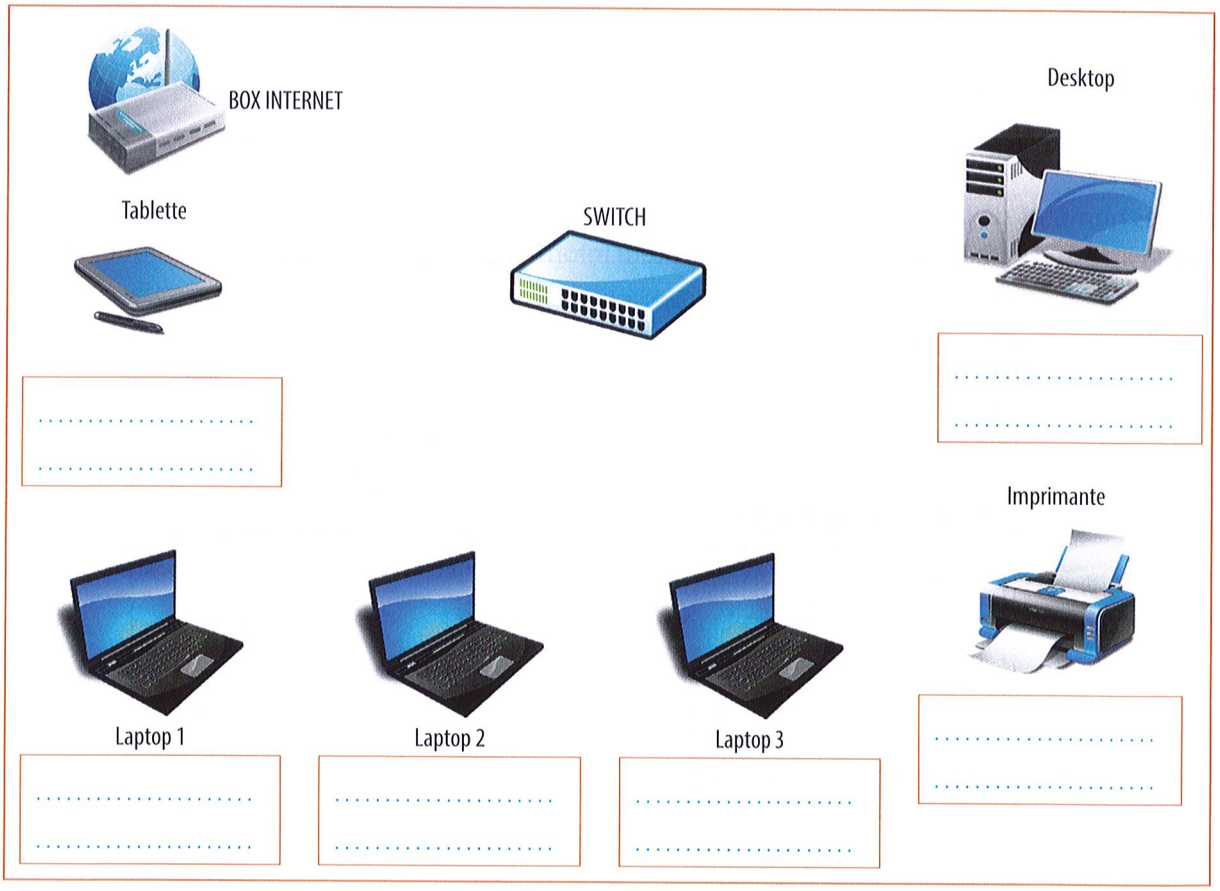
.....

2. Donner le nombre d'octets nécessaire à l'écriture du net-ID.

.....

3. Le net-ID du réseau est choisi égal à 198.120.10. Compléter les cadres sous chaque machine en donnant une adresse IP complète et le masque de sous-réseau à attribuer à chaque machine.

4. Tracer en **vert** sur la figure ci-dessous, le câblage du **réseau domestique** et de lui seul.



5. Le propriétaire désire que son réseau domestique puisse accéder à Internet. Internet est un réseau de quel type ? Quelle est sa classe ?

.....

6. Quel est le type de réseau réalisé ?

.....

7. Quel(s) est(sont) le(s) matériel(s) nécessaire(s) à la liaison entre ces deux réseaux ?

.....

8. Existe-t-il, sur la figure ci-dessus, un ou des appareils possédant ce(s) matériel(s) ? Si oui, lequel ou lesquels ?

.....

9. Tracer en **bleu** la (les) liaison(s) nécessaire(s) pour que l'accès à Internet soit possible.

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 7

INVESTIGATION 1

PROPRIÉTÉS DE CONNEXION D'UN PC

Problématique : vérifier et tester les propriétés de connexion d'une machine.

1. Vérification de la communication

Vous allez dans un premier temps vérifier que la communication interne et externe du lycée s'effectue bien.

1. Sur le réseau du lycée, avez-vous des accès en lecture et/ou écriture ? ☐ Oui ☐ Non

2. Dans quel(s) répertoire(s) ? .....

➤ Faire un test.

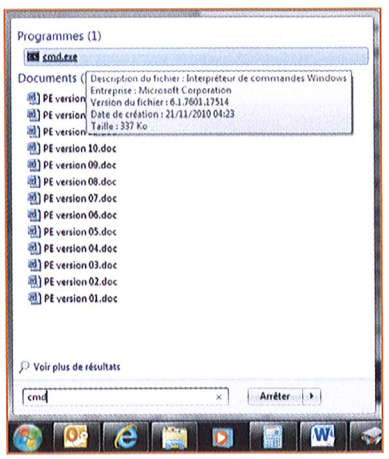
➤ Faire une recherche sur Internet.

3. L'accès à Internet est-il possible depuis votre poste ? ☐ Oui ☐ Non

2. Configuration du pc

L'invite de commande Windows permet d'obtenir des informations sur la configuration du PC. Pour accéder à la ligne de commande, vous disposez de deux moyens possible :

- Dans le menu **Démarrer**, taper **cmd** dans la fenêtre « **Rechercher les programmes et fichiers** » puis valider avec la touche **Entrée** ↵.



- Appuyer simultanément sur les touches **Windows** et **R**.



1. Dans la ligne de commande taper **Ipconfig/all** et compléter les cadres suivants.

```
>
   Adresse IPv4. . . . . . . . . . . . . . :
   Masque de sous-réseau. . . . . . . . . . :
   Bail obtenu. . . . . . . . . . . . . . . : mardi 16 juin 2015 15:41:42
   Bail expirant. . . . . . . . . . . . . . : mercredi 24 juin 2015 15:41:42
   Passerelle par défaut. . . . . . . . . . :
```

Vous allez tester la communication avec un autre PC de la salle.

➤ Demander son adresse IP à l'un de vos camarades. Dans la ligne de commande, taper **Ping<adresse IP>**.

2. Recopier les réponses obtenues. La connexion est-elle correcte ? ☐ Oui ☐ Non

.....

.....

3. Traçage d'une requête



Vous allez maintenant déterminer le trajet d'une requête sur le réseau Internet et localiser les différents serveurs par lesquelles elle passe à travers le monde.

Accéder à la ligne de commande comme indiqué précédemment.

Pour connaître l'ensemble des serveurs par lesquels passe une requête, il faut utiliser l'instruction **tracert** (qui signifie traceroute) suivie de l'adresse IP ou de l'adresse Internet du site à contacter.

1. Taper la ligne de commande **Tracert www.google.fr**.

Rang	Adresses IP	Adresses physiques
1		
2		
...		

2. Remplir la colonne **Adresses IP** du tableau ci-dessus avec les résultats obtenus.

3. Dans Google, taper l'URL **www.loc8ip.com** puis pour chaque adresse IP, compléter la colonne **Adresses physiques** (il est possible que quelques adresses soit non localisables).

4. Sur les cartes ci-dessous, tracer et numéroter les chemins entre les différents serveurs.







Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 7

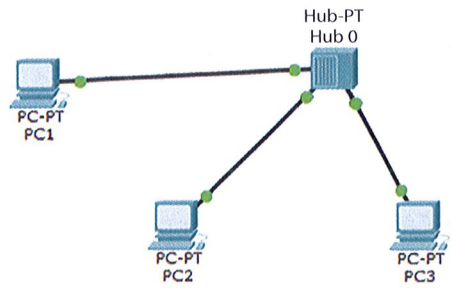
INVESTIGATION 2

SIMULATION DU FONCTIONNEMENT D'UN RÉSEAU DOMESTIQUE

Problématique : simuler et tester un réseau domestique à l'aide d'un logiciel de simulation de réseau du type « Cisco Packet Tracer ».

1. Utilisation d'un concentrateur

Ouvrir le logiciel et réaliser le schéma ci-contre.



Pour réaliser les PC : cliquer sur **End devices** puis sur **Generic**.

Pour réaliser le concentrateur : cliquer sur **Hubs** puis sur **Generic**.

Pour entrer les noms des machines : cliquer sur chaque machine, puis sur **Config** et remplir **Display name**.

Passer en mode **Simulation**.

1. Envoyer une requête de PC1 vers PC2. Que se passe-t-il ? Justifier le problème.

Avant d'envoyer la requête : cliquer sur **Show All/None** puis sur **Edit Filters** et **ICMP**.

Pour envoyer la requête : cliquer sur **Add Simple PDU**. Cliquer sur la machine de départ et la machine d'arrivée.

Pour voir le fonctionnement : cliquer sur **Capture/Foward**. Refaire l'opération pour chaque étape du fonctionnement. L'opération est terminée et réussie quand l'enveloppe revient sur la machine de départ avec une coche verte.

.....

.....

2. Quel type de réseau êtes-vous en train de réaliser (WAN, MAN, LAN) ? .....

3. Quelle est la plage d'adresses disponible pour le net-ID ? .....

4. Le net-ID est 200.100.0. Quelle est sa classe ? Combien de machines peut-on brancher sur ce réseau ?

.....

5. Proposer une adresse pour chacun des PC. .....

.....

6. Quel masque de sous-réseau doit-on utiliser ? Faire valider les réponses par votre professeur. .....

.....

7. Rappeler le mode de fonctionnement d'un concentrateur. .....

.....

.....

➤ Compléter le réseau.

Adressage IP : cliquer sur la machine. Cliquer sur **Desktop** puis sur **IP configuration**. Compléter l'adresse IP et valider. Le masque de sous-réseau s'affiche. Vérifier qu'il correspond à vos attentes.

➤ Faire une simulation en envoyant une requête du PC1 vers le PC2. Décrire chaque étape du processus.

.....

.....

.....

8. Cela correspond-il au fonctionnement d'un hub ? Pourquoi ? ☐ Oui ☐ Non

.....

9. Surligner en **vert** sur le schéma le trajet de l'envoi de la requête et en **rouge** le trajet de l'accusé de réception.

➤ Câbler un ordinateur portable (Laptop 

). Lui donner une adresse compatible avec votre réseau.

➤ Simuler l'envoi d'une requête de PC2 vers cette machine.

10. Le fonctionnement est-il correct ? ☐ Oui ☐ Non

2. Contrôle du réseau

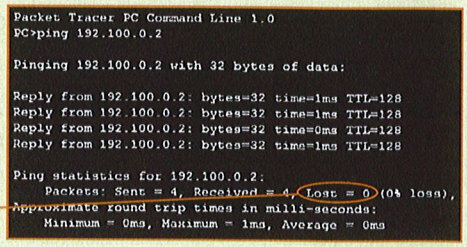
Pour savoir si deux machines sont correctement reliées entre elles, il existe une commande utilisable sur un PC. À partir de la première machine, on tape **Ping [adresse IP de la machine à contrôler]** (*exemple* : ping 192.100.0.2). La réponse à cette commande permet de savoir si les deux machines sont correctement connectées.

Pour réaliser un ping, passer en mode **Realtime** 

. Cliquer sur le PC de départ puis sur **Desktop**.

Cliquer sur **Command Prompt** et taper la commande **Ping**.

La liaison est correcte si la réponse au ping fait apparaître qu'aucun paquet envoyé n'a été perdu **(Lost = 0)**.



1. À partir du PC1 faire un ping vers le PC2. La liaison est-elle réalisée ? Justifier. ☐ Oui ☐ Non

.....

➤ Ajouter un ordinateur et lui donner l'adresse IP : 200.100.1.6. À partir du PC1 faire un ping vers cette nouvelle machine.

2. La liaison est-elle réalisée ? Justifier. ☐ Oui ☐ Non

.....

3. Pour quelle(s) raison(s) cette liaison ne fonctionne-t-elle pas ? .....

.....

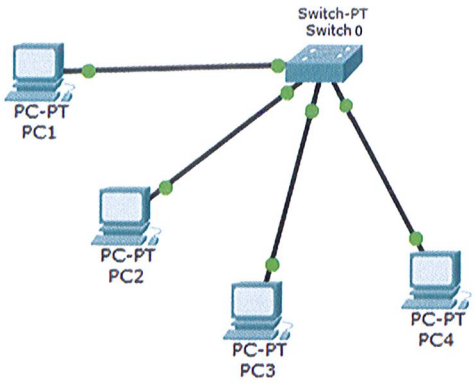
➤ Rectifier le réseau et refaire un nouveau ping pour vérifier le bon fonctionnement.

.....

3. Utilisation d'un commutateur

Soit le réseau ci-contre.

PC1 : IP = 192.100.0.1
Masque = 255.255.255.0
PC2 : IP = 192.100.0.2
Masque = 255.255.255.0
PC3 : IP = 192.100.0.3
Masque = 255.255.255.0
PC4 : IP = 192.100.0.4
Masque = 255.255.255.0



➤ Passer en mode **Realtime**. Réaliser le schéma et attendre que toutes les connexions soient en vert.

1. Rappeler le mode de fonctionnement d'un commutateur. .....

.....

.....

2. Si toutes les liaisons sont vertes, passer en mode **Simulation**. Simuler l'envoi d'une requête du PC1 vers le PC2. Décrire chaque étape du processus.

.....

.....

3. Surligner en **vert** sur le schéma le trajet de l'envoi de la requête et en **rouge** le trajet de l'accusé de réception

4. Le processus correspond-il au fonctionnement d'un switch ? ☐ Oui ☐ Non

4. Réalisation d'un réseau complet

Le réseau est constitué d'un ordinateur de bureau, d'un ordinateur portable, d'un disque dur externe (serveur), d'une imprimante, le tout relié par un switch.

Configuration de l'imprimante : cliquer sur l'imprimante. Dans l'onglet **Config**, cliquer sur **FastEthernet0** et remplir l'adresse IP.

➤ Configurer ce réseau avec un net-ID de 220.10.5.

➤ Réaliser le schéma et tester son fonctionnement.

➤ Ajouter un ordinateur portable sur ce réseau.

1. Est-ce possible ? Que répond le logiciel ? ☐ Oui ☐ Non

.....

2. Vérifier la composition physique du switch et expliquer les raisons de l'impossibilité.

Composition physique : cliquer sur le switch et se placer sur l'onglet **Physical**. La vue arrière du switch est alors visible.



.....

.....

3. En gardant le switch et en utilisant les appareils que vous venez de voir, proposer deux solutions permettant de réaliser l'extension du réseau. Pour chaque solution, faire le schéma, configurer et valider, à l'aide de ping, leur fonctionnement en présence de votre professeur.

.....

.....

5. Autre solution pour agrandir un réseau

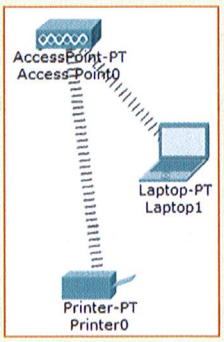
Pour réaliser un agrandissement, il est possible d'utiliser le WiFi.

➤ Sur le réseau précédent, conserver les machines et le premier switch. Ajouter un point d'accès WiFi pour l'ordinateur portable et l'imprimante.

Point d'accès WiFi : cliquer sur **Wireless Devices** et choisir un point d'accès générique 

.

La liaison WiFi est symbolisée par :



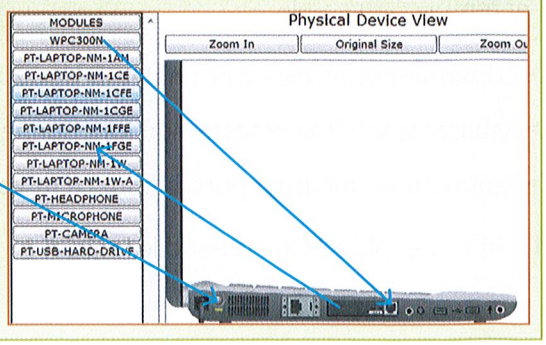
➤ Pour rendre possible la liaison il faut installer une carte WiFi sur les machines. Faire cette opération sur l'ordinateur portable et l'imprimante.

Mise en place d'une carte WiFi sur un ordinateur portable :

Cliquer sur l'ordinateur, puis sur l'onglet **Physical**. Éteindre la machine.

Glisser la carte présente sur la machine vers les modules. Glisser la carte WPC300N à la place.

Allumer la machine.



➤ Donner une adresse compatible avec le réseau à l'ordinateur portable et l'imprimante. Valider par des ping le bon fonctionnement de ce réseau.

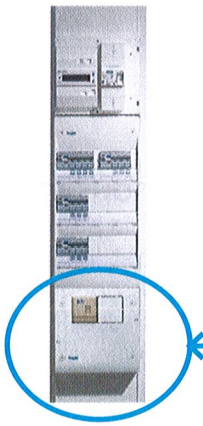
➤ Ajouter à votre réseau une tablette 

et un téléphone portable 

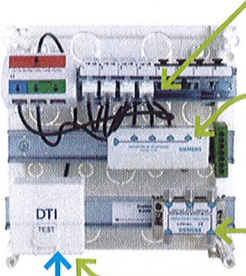
. Configurer le tout et valider le fonctionnement.

CE QU'IL FAUT RETENIR DE LA SÉQUENCE

1. Aspects matériels



Les points de livraison des opérateurs téléphoniques, informatiques et télévisuels se situent dans **le tableau de communication** placé dans la GTL.

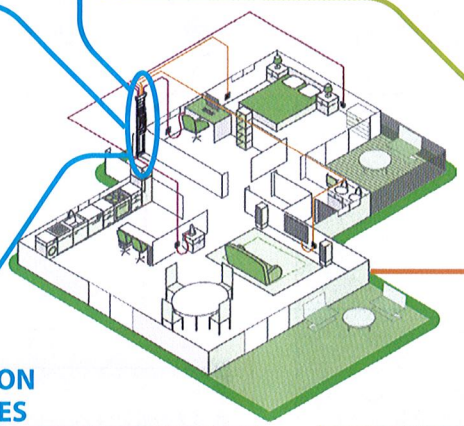


Système de brassage
Il centralise le câblage à destination des différentes pièces du logement.

Répartiteur téléphonique
Il distribue le signal téléphonique sur plusieurs sorties.

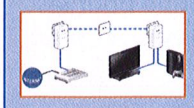
Répartiteur télévision :
Il distribue le signal télévision hertzien sur plusieurs sorties.

Module de terminaison intérieur (DTI)
C'est la limite de responsabilité de l'opérateur télécom.



TRANSMISSION DES DONNÉES

Liaison filaire



CPL
La liaison est réalisée par le réseau électrique de la maison à 20 Mo/s.



COAXIAL
Jusqu'à 500 m à 10 Mo/s.



PAIRE TORSADÉE
Sur une centaine de mètres et jusqu'à 100 Mo/s.



FIBRE OPTIQUE
Transmission par la lumière sur plusieurs centaines de km et jusqu'à 1 Go/s.

Liaison sans fil



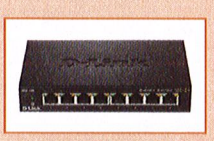
WiFi
Liaison par ondes radio jusqu'à 500 m en extérieur à 10 Mo/s.

BLUETOOTH
Liaison par ondes radio jusqu'à 20 m à 3 Mo/s.

MATÉRIEL RÉSEAU



CONCENTRATEUR ou HUB
Il reçoit les données d'une machine et les envoie à toutes les machines du réseau.

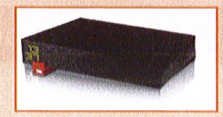


COMMUTATEUR ou SWITCH
Il reçoit les données d'une machine et ne les envoie qu'à la machine concernée sur le réseau.



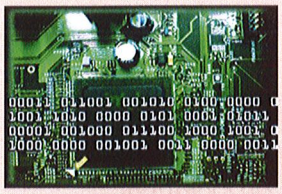
ROUTEUR
Il permet le dialogue entre deux réseaux.

PASSERELLE
Porte d'entrée d'un réseau.

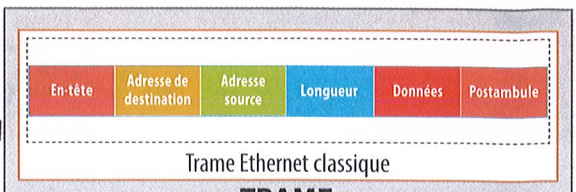


BOX
Permet au réseau de dialoguer avec Internet. Elle regroupe un switch, un routeur et une passerelle.

2. Nature des informations



BIT
Plus petite information pouvant être traitée par un ordinateur. Ses valeurs sont **0** ou **1**.
1 octet = 8 bits



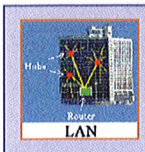
Trame Ethernet classique

TRAME
Structure définie pour l'envoi d'information. L'information se trouve **encapsulée**.

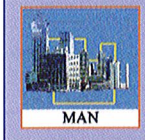


MASQUE DE SOUS-RÉSEAU
Il permet dans la plupart des cas d'isoler le net-ID dans une adresse IP. Il possède autant de blocs que l'adresse IP. Le 255 laisse passer la valeur du même rang de l'adresse IP. Le 0 bloque la valeur du même rang de l'adresse IP. On a donc :
Classe A – Masque 255.0.0.0
Classe B – Masque 255.255.0.0
Classe C – Masque 255.255.255.0

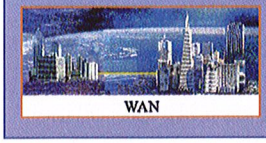
Les réseaux sont classés par rapport à leur taille.



LAN :
Local Area Network Classe C



MAN :
Metropolitan Area Network Classe B



WAN :
Wide Area Network Classe A



ADRESSE MAC
Suite de six nombres hexadécimaux créant une adresse matérielle unique dans le monde pour les cartes de communication.

ADRESSE IP
C'est une adresse physique permettant l'identification d'un réseau ainsi que celle des machines de ce réseau. En IPV4, c'est une suite de quatre octets en décimal.

127.0.0.1

net-ID
C'est la partie gauche de l'adresse. Elle identifie le réseau :
- Classe A : un octet variant de 1 à 127
- Classe B : deux octets variant de 128.0 à 191.255
- Classe C : trois octets variant de 192.0.0 à 223.255.255

host-ID
C'est la partie droite de l'adresse. Elle identifie la machine sur trois octets (classe A), deux octets (classe B) ou un octet (classe C).

Seules les machines ayant le même identifiant réseau (net-ID) peuvent communiquer entre elles.

SÉQUENCE 8

LEÇON

EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS L'HABITAT

LIAISON RÉFÉRENTIEL

- 1.2.3 Utilisation raisonnée des ressources – Propriétés thermiques des matériaux
- 2.3.1 Modèles de comportement
- 2.3.2 Comportement des matériaux
- 2.3.5 Comportement énergétique des systèmes
- 3.1.1 Choix des matériaux

1. Situation déclenchante

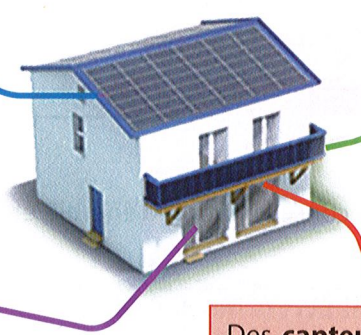
DOC. À quoi ressemblera la maison de demain ?

Dans le futur, l'habitat sera à énergie positive afin de maximiser l'apport d'énergie d'origine naturelle, de réduire les rejets de gaz à effet de serre et de consommer de manière plus intelligente.

Le site de l'Institut national de l'énergie solaire (Ines), à Chambéry, est constitué de quatre maisons expérimentales de 100 m² environ chacune, orientées plein sud, équipées de technologies innovantes et de systèmes de production d'énergies nouvelles.

La première est construite en blocs de béton avec une isolation interne, la deuxième est en béton banché*, avec une isolation par l'extérieur, la troisième est en ossature bois. Une quatrième maison est en cours de construction. Chacun de ces prototypes est équipé d'instruments qui simulent les gestes d'habitants au quotidien : ouverture/fermeture des volets, prendre une douche, etc. Chaque maison possède plusieurs systèmes de capteurs qui fournissent en temps réel des données sur la production et la consommation d'énergie au sein du bâtiment.

La moitié du toit est recouverte de **panneaux photovoltaïques**. L'énergie ainsi obtenue peut soit être réinjectée dans le réseau, soit faire fonctionner les appareils électroménagers de la maison.



Le garde-corps du balcon est doté de **panneaux solaires thermiques**. L'énergie produite par ces panneaux alimente un chauffe-eau solaire individuel (CESI). 5 m² de surface de capteurs suffisent pour assurer 50 % à 80 % de la consommation en eau chaude d'une famille de quatre personnes.

Les **baies vitrées** sont orientées « **plein sud** » pour récupérer le maximum d'apports solaires en hiver, lorsque le soleil est bas. En été, lorsque le soleil est haut, le balcon génère de l'ombre.

Des **capteurs** permettent de contrôler la qualité de l'air, de suivre en temps réel la production et la consommation d'énergie, de gérer les consommations d'énergie des appareillages de la maison.

* Murs en béton armé coulé dans des « coffres » appelés banches.

1. Quel sera le comportement énergétique de l'habitat du futur ? .....

.....

2. Quels sont les différents types d'isolation mis en œuvre dans les trois maisons déjà construites ? .....

.....

3. Quels sont les apports énergétiques captés par ces maisons ? .....

.....

Conclusion : Que représente pour vous l'efficacité énergétique ? .....

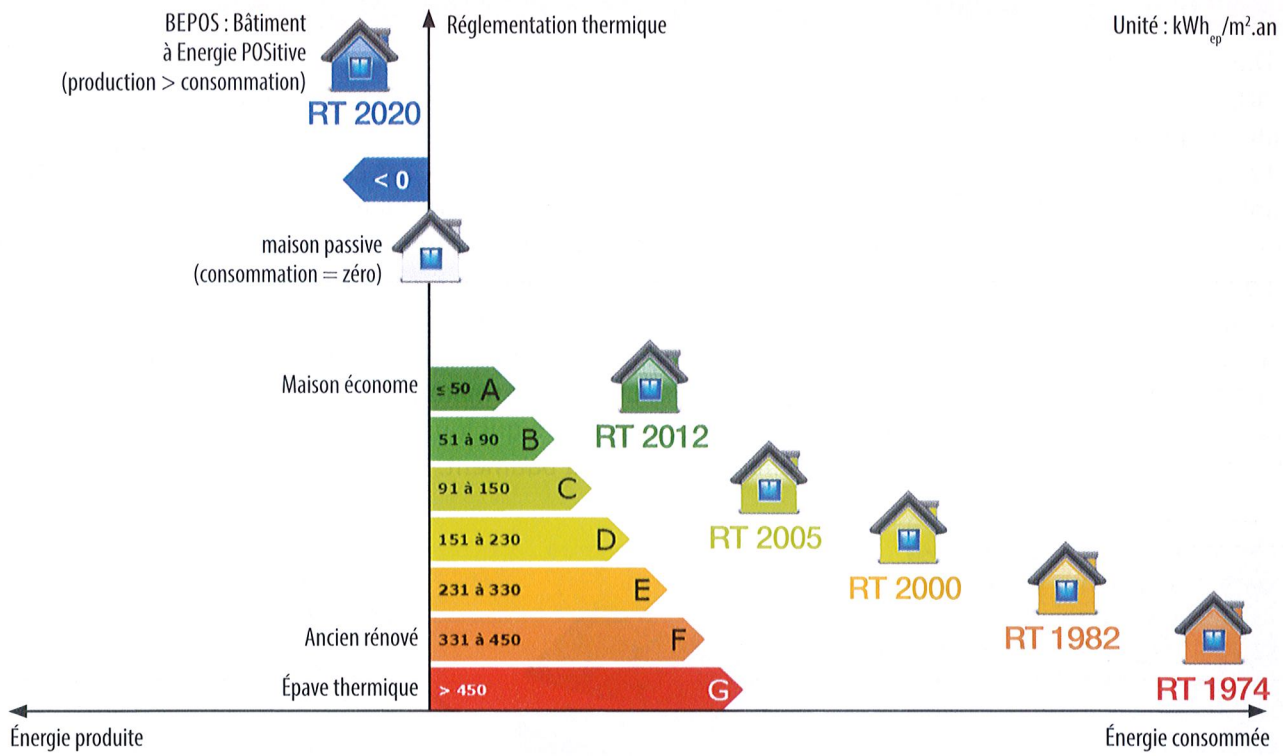
.....

2. La réglementation thermique

Pour réduire la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre, la France a mis en place, depuis 1974 (1er choc pétrolier), une **Réglementation Thermique (RT)** fixant des normes en matière d'**isolation** des constructions neuves.

Depuis 2013, les constructions neuves et les rénovations doivent appliquer la RT 2012 (**B**âtiments **B**asse **C**onsommation : **BBC**).

La future RT 2020 fixera comme objectif la construction de bâtiments qui produiront plus d'énergie qu'ils n'en consommeront (**B**âtiments à **É**nergie **POS**itive : **BEPOS**).



Les priorités de la RT 2012 pour limiter la consommation d'énergie et augmenter l'efficacité énergétique des habitations sont les suivantes.

1 - Respecter une architecture bioclimatique (partie 3 de cette leçon)

2 – Limiter les déperditions thermiques et favoriser les apports solaires (partie 4)

3 - Renouveler l'air intérieur (partie 5)

4 - Utiliser les énergies renouvelables (partie 6)

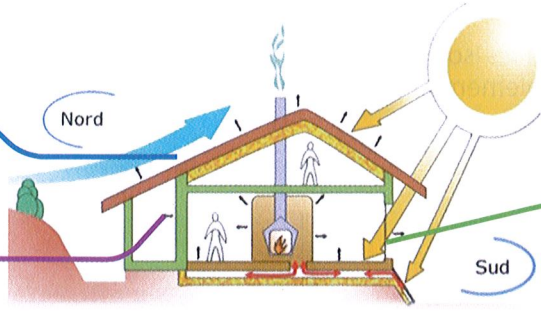
5 - Limiter la consommation énergétique (partie 7)

3. Respecter une architecture bioclimatique

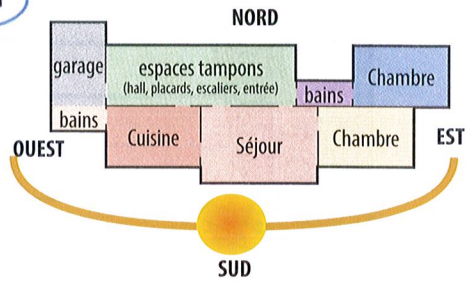
L'architecture bioclimatique permet d'assurer un très bon confort de vie aux habitants en respectant l'environnement et en minimisant au maximum le coût énergétique.

Isolation maximale des parois extérieures (toiture, murs, dalles, fenêtres…).

La **façade nord** est protégée des vents dominants. Elle possède **peu d'ouvertures** et donne sur des espaces tampons.



Orientation au sud des pièces de vie équipées de parois vitrées importantes afin de récupérer au maximum l'éclairement naturel et les apports solaires. Des **brise-soleil** permettent d'éviter les surchauffes en été.



Exemple d'organisation des pièces d'habitation

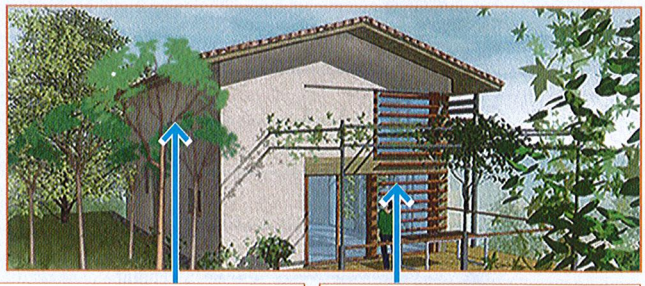
Les pièces de vie sont exposées au sud afin de bénéficier de la lumière et des apports solaires. Au nord, des pièces peu chauffées (garage, couloir, cellier…) servent de tampon et renforcent l'isolation thermique. À l'est, les chambres bénéficient du soleil matinal et de la fraicheur en soirée.

APPLICATION 1 Architecture bioclimatique d'une maison

1. Sur les différentes vues, identifier les façades nord, sud et ouest.
2. Entourer en rouge les brise-soleil.
3. Comment la façade nord est-elle protégée ? .....



Façade .....



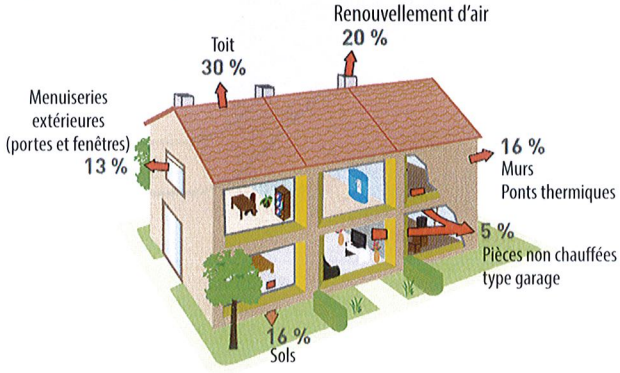
Façade .....

Façade .....

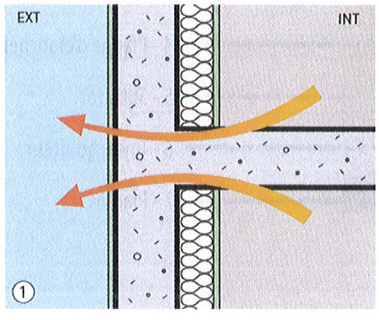
4. Limiter les déperditions thermiques

Les **déperditions thermiques** correspondent aux pertes de chaleur de l'habitat par ses parois extérieures, par ses ponts thermiques et par son renouvellement d'air.

Répartition des déperditions dans une maison



Principe d'un pont thermique



Un **pont thermique** correspond à une zone de déperditions thermiques par conduction à travers un défaut d'isolation.

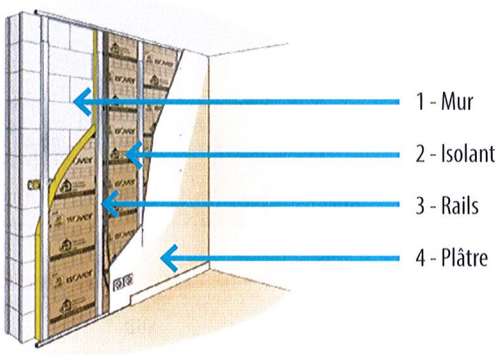
Afin de limiter au maximum les déperditions thermiques, il faut isoler la maison.

4.1 Isolation des parois

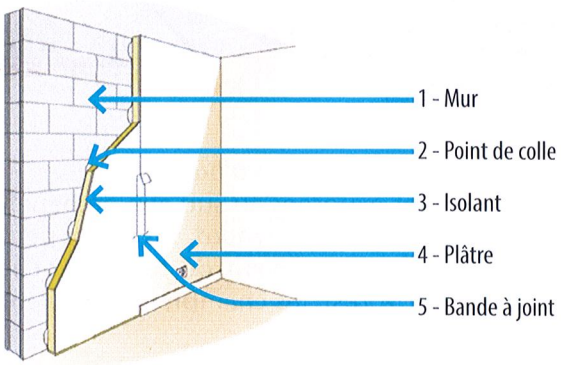
L'**isolation thermique** a pour objectif de limiter les transferts de chaleur par conduction entre une zone chaude et une zone froide (été comme hiver).

L'**isolation intérieure** consiste à placer les isolants sur la face intérieure des murs des habitations. Facile à mettre en œuvre, elle permet de réaliser simplement et rapidement des économies d'énergie.

Exemples :



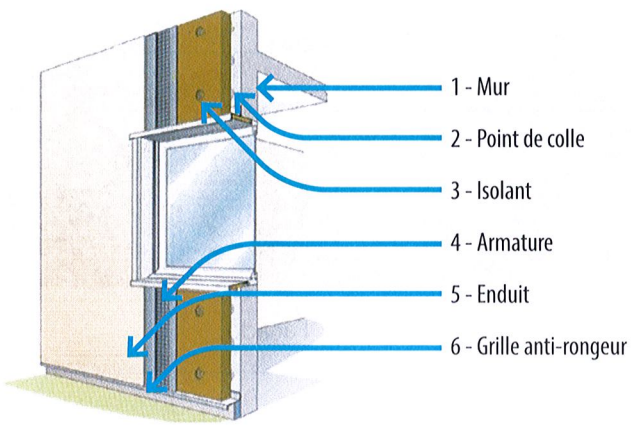
Isolation par laine de verre



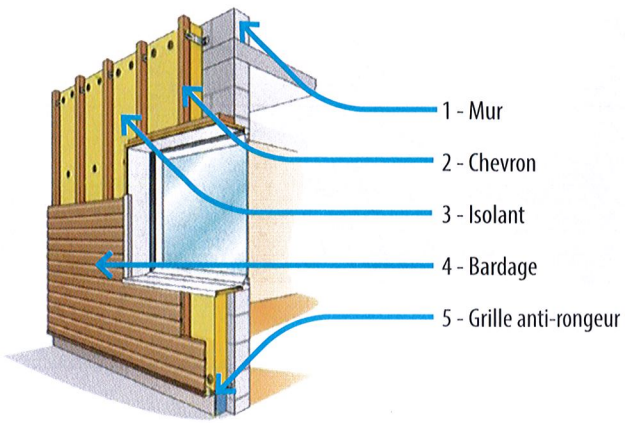
Isolation par placoplâtre

L'**isolation extérieure** consiste à placer les isolants sur la face extérieure des murs des habitations. Elle permet de supprimer les ponts thermiques et d'obtenir un haut niveau de performance.

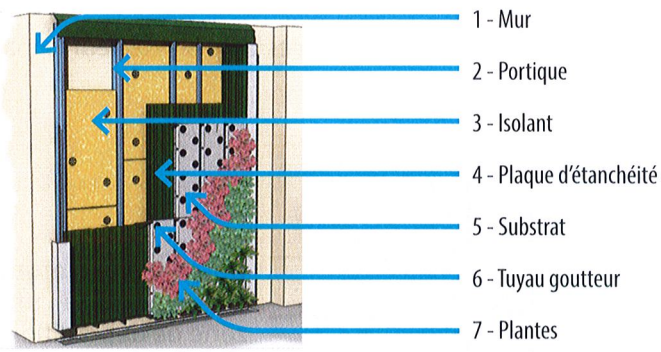
Exemples :



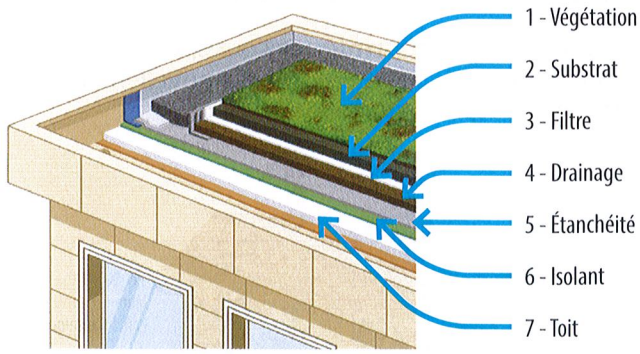
Isolation extérieure enduite



Isolation extérieure à bardage



Mur végétal



Toiture végétalisée

4.2 Grandeurs thermiques caractéristiques des matériaux

- La **conductivité thermique** (λ) est une caractéristique propre à chaque matériau. Elle caractérise l'aptitude d'un corps à conduire la chaleur.

Plus λ est faible et plus le matériau est isolant.

La conductivité thermique est exprimée en watt par mètre par Kelvin ($W.m^{-1}.K^{-1}$). D'après la RT 2012, un matériau est considéré comme isolant lorsque que $\lambda < 0{,}065\ W.m^{-1}.K^{-1}$.

Matériau	Air	Polystyrène expansé	Laine de verre	Laine de roche	Brique alvéolée	Plâtre BA13	Parpaing	Acier	Aluminium
λ_{moyen}	0,025	0,03	0,035	0,04	0,15	0,25	0,95	45	203

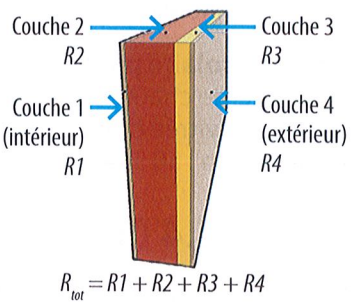
- La **résistance thermique (*R*)** est le critère qui définit la performance d'un produit isolant vendu dans le commerce. Elle dépend de la conductivité thermique du matériau (λ) et de son épaisseur (*e*).

$$R = \frac{e}{\lambda}$$ avec *e* en m, λ en $W.m^{-1}.K^{-1}$, *R* en m^2. K/W

Plus la résistance thermique est élevée, plus le produit est isolant.

Pour une paroi constituée de plusieurs couches de matériaux différents, la résistance thermique totale est égale à la somme des résistances thermiques de la paroi.

$$R_{Totale} = R1 + R2 + R3 + R4 + ...$$



$R_{tot} = R1 + R2 + R3 + R4$

- Le **coefficient de transfert thermique (*U*)** caractérise la quantité de chaleur qui traverse un mètre carré de matériau lorsqu'il y a une différence de température de 1 K entre les parois.

$$U = \frac{1}{R}$$ avec *U* en $W.m^{-2}.K^{-1}$

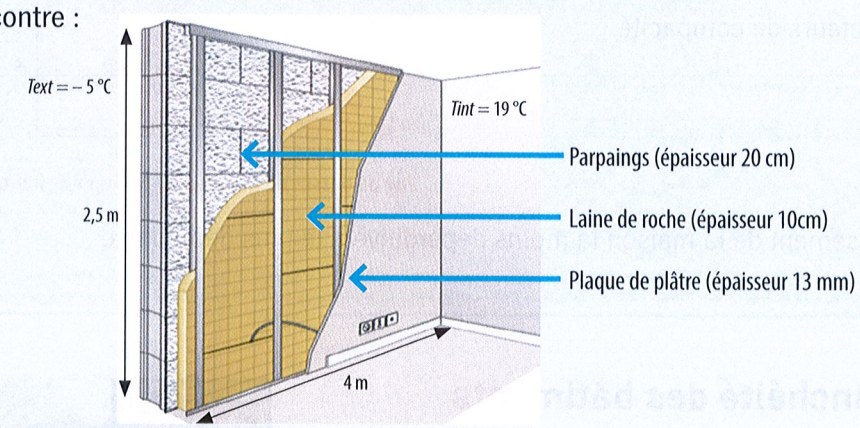
Plus le coefficient de transfert thermique est faible, plus le produit est isolant.

- La **déperdition thermique *D*** d'une paroi représente la puissance perdue par la paroi lorsque la différence de température est de 1 K.

$$D = U \times S = \frac{1}{R} \times S$$ *D* en $W.K^{-1}$

APPLICATION 2 Grandeurs thermiques d'une paroi

Pour la paroi ci-contre :



1. Quel est le type d'isolation de cette paroi ? ☐ extérieure ☐ intérieure

2. Pour chacun des matériaux de la paroi, calculer *R* et *U* :
   Parpaings : *Rp* ..... *Up* .....
   Laine de roche : *Rr* ..... *Ur* .....
   Plâtre : *Rpl* ..... *Upl* .....

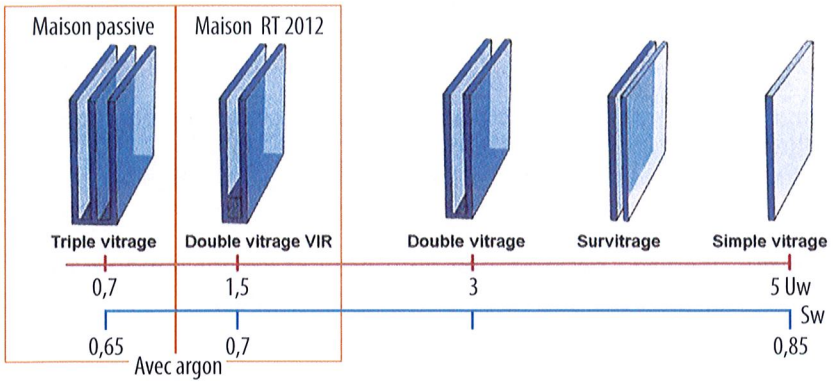
3. Pour la paroi complète, déterminer :
   R_{totale} : ..... U_{totale} : ..... *D* : .....

4. Calculer la puissance perdue à travers la paroi. *Pperdue* = ...

4.3 Parois vitrées

Les parois vitrées permettent l'arrivée de l'éclairage naturel et des apports solaires passifs, mais elles ont pour inconvénient de provoquer des pertes thermiques.

Principales parois vitrées



Les parois vitrées sont caractérisées par un **coefficient de transfert thermique *Uw*** et un **facteur solaire *Sw*** (compris entre 0 et 1).

L'apport solaire passif consiste à laisser entrer dans l'habitat le rayonnement solaire. C'est une manière efficace et simple de chauffer un logement.
La surface vitrée doit être comprise entre 16 et 18 % de la surface habitable, avec une certaine répartition selon l'orientation : 50 % au sud, 20 à 30 % à l'est, 20 % à l'ouest, 0 à 10 % au nord.

4.4 Compacité des bâtiments

La construction de bâtiments compacts permet de réduire les déperditions énergétiques et la quantité de matériaux nécessaires à la construction. Le **facteur de compacité *C*** d'un bâtiment est le rapport de la surface des parois en contact avec une zone non chauffée, appelées parois déperditives, par le volume chauffé.

$$C = \frac{Sp}{V}$$

avec *Sp* surface des parois déperditives en m² et *V* volume à chauffer en m³

La compacité est la meilleure lorsque le facteur de compacité est le plus faible.

APPLICATION 3 Calculs de compacité

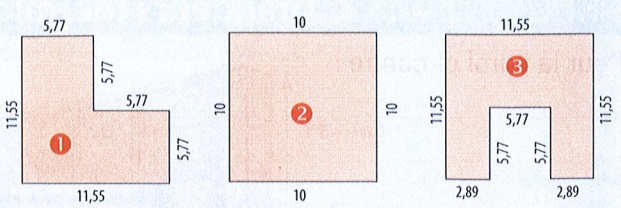
Les trois maisons ci-contre ont la même surface.

1. Calculer leurs facteurs de compacité.

❶ : .....

❷ : .....

❸ : .....



Vue de dessus de maisons de plain-pied : hauteur sous toiture 2,5 m

2. Effectuer un classement de la maison la moins déperditive à la plus déperditive.

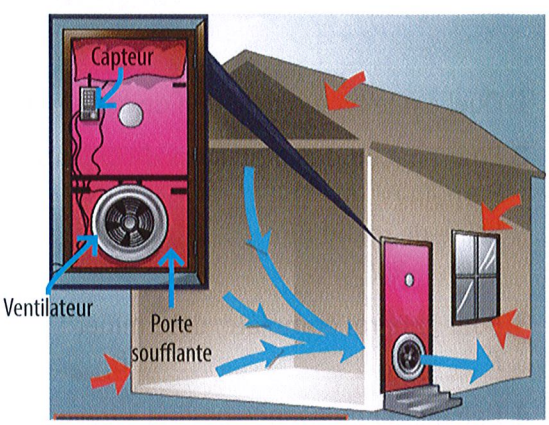
.....

4.5 Étanchéité des bâtiments

Étanchéifier un bâtiment consiste à éliminer toutes les fuites d'air parasites passant au travers de son enveloppe.

Une bonne étanchéité à l'air concourt à la performance énergétique de la maison et au confort de ses occupants.

Test d'étanchéité : La maison est mise sous pression ou dépression, entrées d'air et bouches d'aération occultées. Le débit d'air nécessaire au maintien d'une pression constante permet de déterminer la valeur des fuites d'air(< 0,6 m³/h.m²).

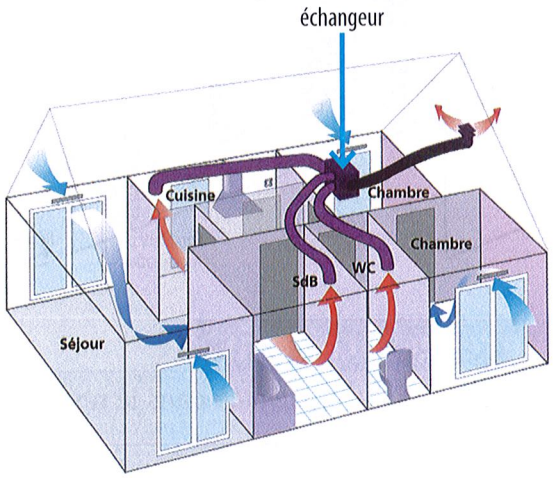


5 Renouveler l'air extérieur

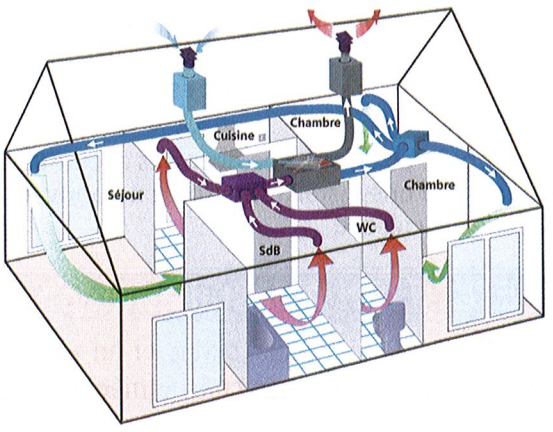
Avec l'amélioration des techniques d'isolation, les habitats sont de plus en plus étanches à l'air. Les systèmes de **ventilation mécanique centralisée (VMC)** permettent de les ventiler pour :

- Apporter un air intérieur neuf et pourvoir à nos besoins en oxygène.
- Éliminer l'humidité et les pollutions intérieures.
- Apporter l'oxygène nécessaire aux appareils à combustion.

5.1 Principaux types de VMC



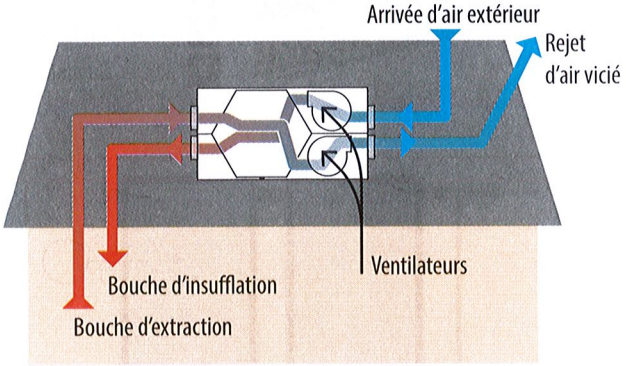
La **VMC simple flux** permet d'extraire l'**air vicié** des pièces de service (cuisine, salle de bains, toilettes,...). De l'**air neuf** entre par les ouvertures pratiquées au-dessus des fenêtres des pièces principales.



La **VMC double flux** permet d'extraire l'**air vicié** des pièces de service (cuisine, salle de bains, toilettes,....). Elle aspire de l'**air neuf** à l'extérieur qu'elle réchauffe dans un échangeur avant de le **réinjecter** dans les pièces principales.

Remarque : Il faut prévoir un espace sous les portes afin d'assurer la circulation de l'air.

5.2 Principe de l'échangeur de chaleur d'une VMC double flux

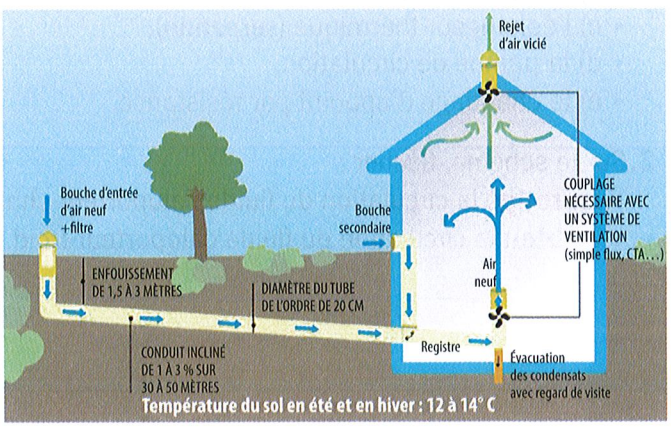


L'air intérieur, extrait à une température d'environ 20 °C, croise sans contact l'air extérieur aspiré. Il y a échange de calories : l'air extérieur est réchauffé avant d'être insufflé dans la maison, l'air intérieur cède ses calories avant d'être rejeté.

5.3 Puit canadien

Le puits canadien est un procédé géothermique qui permet de réchauffer ou de refroidir l'air neuf qui alimente la VMC. Quelle que soit la saison, la température du sol se maintient entre 12 et 14 °C à une profondeur de 1,5 à 3 m :

- L'hiver, le sol est plus chaud que l'air extérieur. L'air qui circule se réchauffe.
- L'été, le sol est plus froid que l'air extérieur. L'air qui circule est refroidi.



6. Utiliser les énergies renouvelables

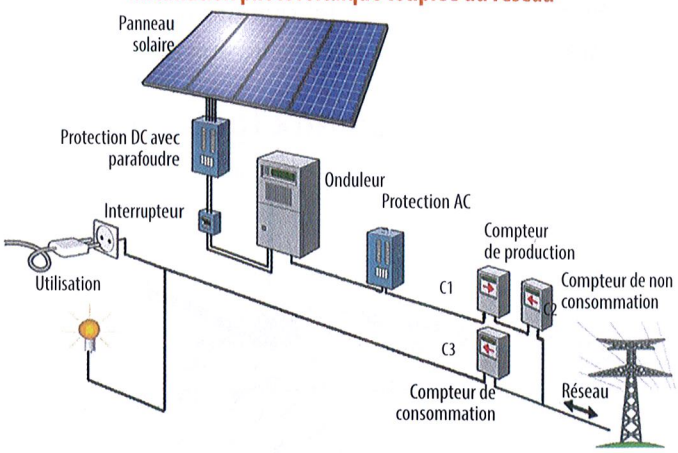
La RT 2012 impose l'utilisation d'au moins une source d'énergie renouvelable pour répondre aux besoins en chauffage, eau chaude sanitaire ou électricité de l'habitat.

6.1 Énergie solaire photovoltaïque

Les installations solaires photovoltaïques permettent de transformer le rayonnement solaire en électricité. L'énergie électrique produite peut être :

- Revendue aux fournisseurs d'énergie et réinjectée dans le réseau. Cette solution est privilégiée car le prix de revente du kWh produit est supérieur au prix du kWh acheté.
- Consommée et/ou stockée avec des accumulateurs dans le cas d'une installation isolée ne pouvant être raccordée au réseau.

Installation photovoltaïque couplée au réseau

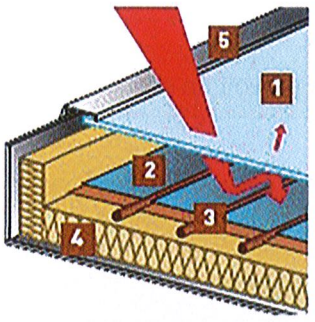


APPLICATION 4 Installation photovoltaïque reliée au réseau

1. Sur le schéma ci-dessus, surligner en **vert** le trajet de l'énergie produite et injectée dans le réseau, en **bleu** le trajet de l'énergie consommée par l'habitation.
2. Quel est le rôle de chacun des compteurs de l'installation ? C1 : .....
   C2 : ..... C3 : .....

6.2 Énergie solaire thermique

Les installations solaires thermiques utilisent la chaleur du rayonnement solaire pour chauffer un fluide caloporteur (effet de serre). Ce fluide circule dans un chauffe-eau solaire individuel (CESI) pour chauffer l'eau chaude sanitaire ou dans un ballon tampon pour chauffer l'eau du chauffage central.

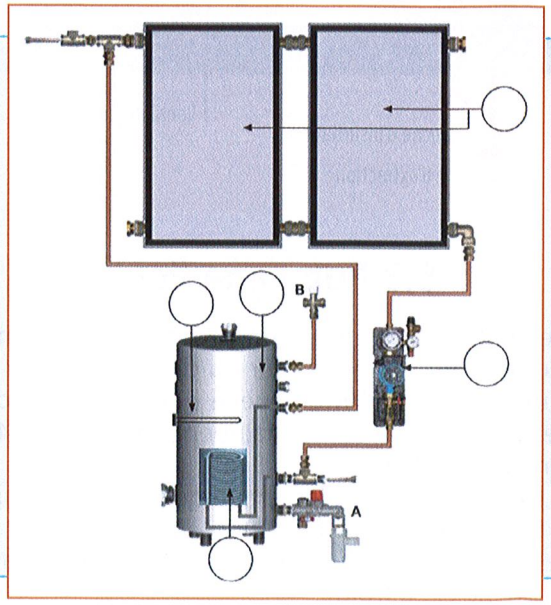


Coupe d'un panneau solaire

1. Verre trempé
2. Absorbeur de chaleur
3. Fluide caloporteur
4. Isolant thermique
5. Cadre en aluminium

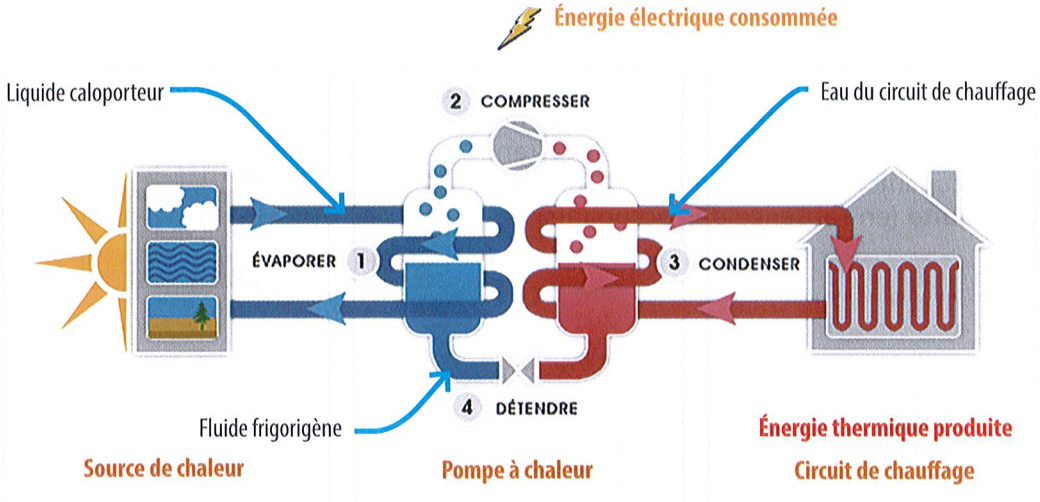
APPLICATION 5 CESI électro-solaire

1. Sur l'installation de chauffage d'eau chaude sanitaire ci-contre, identifier :
   - a) les capteurs solaires thermiques,
   - b) le ballon de stockage,
   - c) l'échangeur thermique (serpentin),
   - d) la pompe de circulation,
   - e) le chauffage d'appoint par résistance,
2. Sur le schéma, flécher :
   - En **rouge** la circulation du fluide caloporteur chaud.
   - En **bleu** la circulation du fluide caloporteur froid.



6.3 Pompe à chaleur

Une **pompe à chaleur (PAC)** capte les calories présentes dans l'air, le sol ou l'eau et les convertit pour assurer le chauffage, l'eau chaude sanitaire et le rafraichissement d'une habitation (aérothermie, géothermie…).



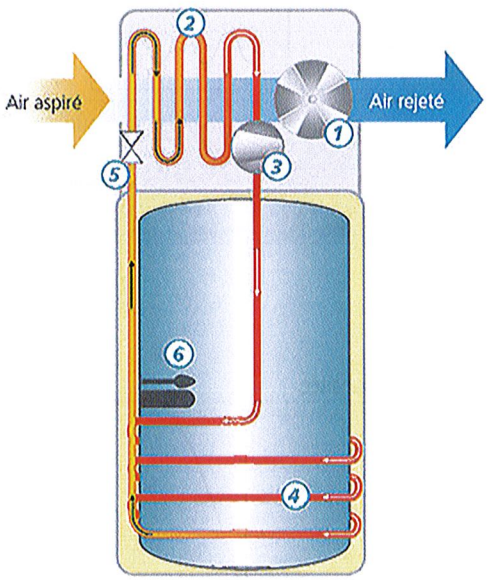
Principe : Le fluide frigorigène de la PAC se vaporise au contact de la chaleur du liquide caloporteur dans l'**évaporateur 1**. Il est ensuite compressé pour élever sa chaleur dans le **compresseur 2**. Le fluide réchauffe l'eau du circuit de chauffage et se liquéfie dans le **condenseur 3**. Sa pression est abaissée dans le **détendeur 4** pour le préparer à un nouveau cycle.

Le coefficient de performance (COP) d'une pompe à chaleur est le rapport entre l'énergie thermique produite et l'énergie électrique consommée. En bilan annuel, le COP varie entre 2 et 3.

$$COP = \frac{W_{\text{thermique produite}}}{W_{\text{électrique consommée}}}$$

6.4 Chauffe-eau thermodynamique

Le **chauffe-eau thermodynamique** fonctionne grâce à une pompe à chaleur intégrée qui récupère les calories contenues dans l'air (air du local d'implantation, air extérieur, air issu de la VMC,…) et assure le chauffage de l'eau chaude sanitaire.



1 - Ventilateur
2 - Évaporateur
3 - Compresseur
4 - Condenseur
5 - Détendeur
6 - Chauffage d'appoint

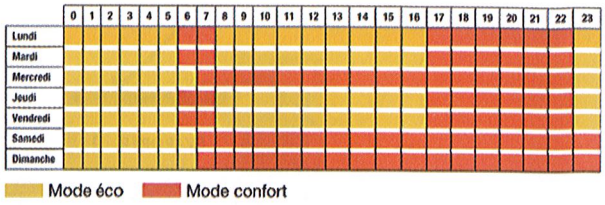
Dans les bâtiments neufs, la RT 2012 prescrit l'utilisation du chauffe-eau thermodynamique en remplacement du chauffe-eau électrique classique.

7 Limiter la consommation énergétique

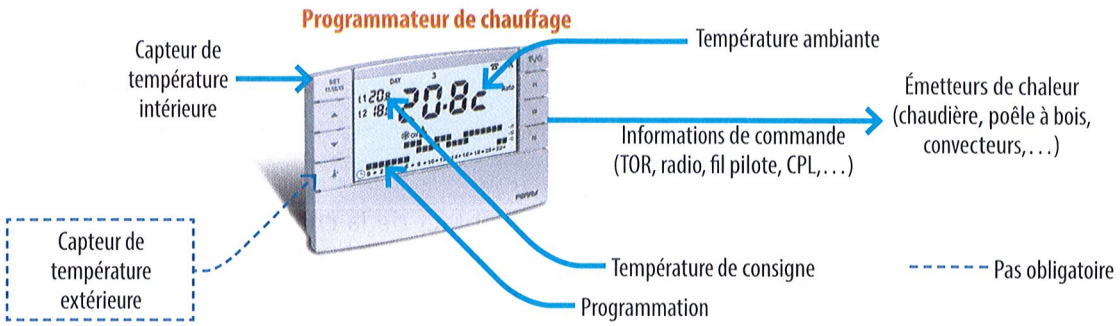
7.1 Limiter la consommation des équipements de chauffage

Pour limiter la consommation énergétique due au chauffage, il est conseillé d'assurer à l'aide d'une programmation, **une température de confort** (en présence des occupants) de l'ordre de 19 °C et **une température réduite** (en l'absence des occupants) de l'ordre de 16 °C.

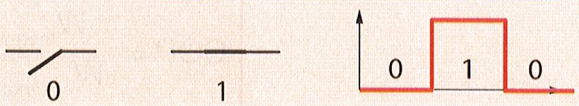
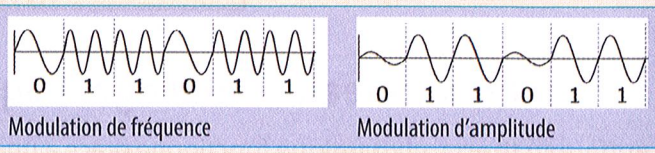
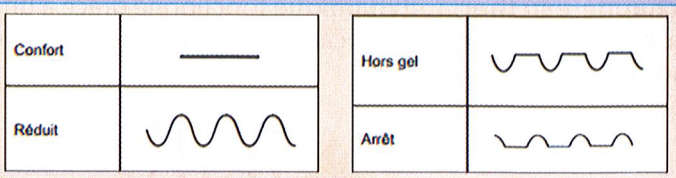
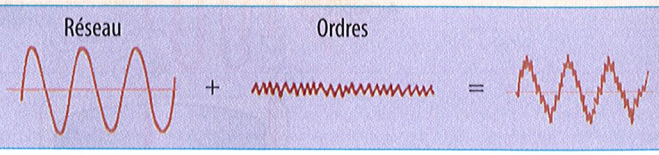
Exemple de programmation hebdomadaire



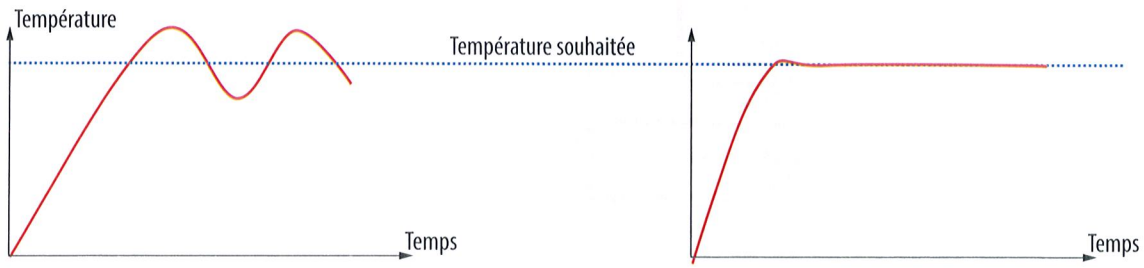
Principe



Nature des informations de commande

	Principe	Allure
TOR (Tout Ou Rien)	Signal pouvant prendre uniquement deux états	
Radio	Signal modulé en fréquence ou en amplitude, utilisant les fréquences radio de 868 MHz	 Modulation de fréquence Modulation d'amplitude
Fil pilote	Signal fabriqué à partir du réseau électrique (4 à 6 ordres disponibles)	
CPL (Courant Porteur en Ligne)	Superposition des ordres sur le signal du réseau électrique	

Intérêt d'une bonne régulation du chauffage



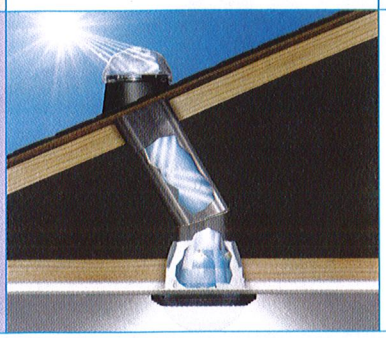
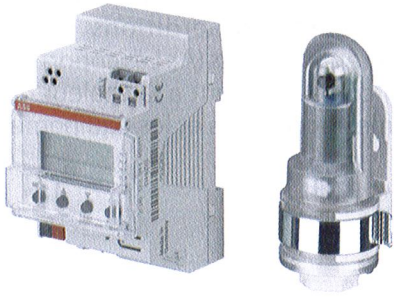
Mauvaise régulation : la température intérieure n'est pas stable, le confort thermique n'est pas bon (sensation de température fluctuante).

Bonne régulation : la température intérieure est stable, le confort thermique est bon.

7.2 Limiter la consommation des équipements d'éclairage

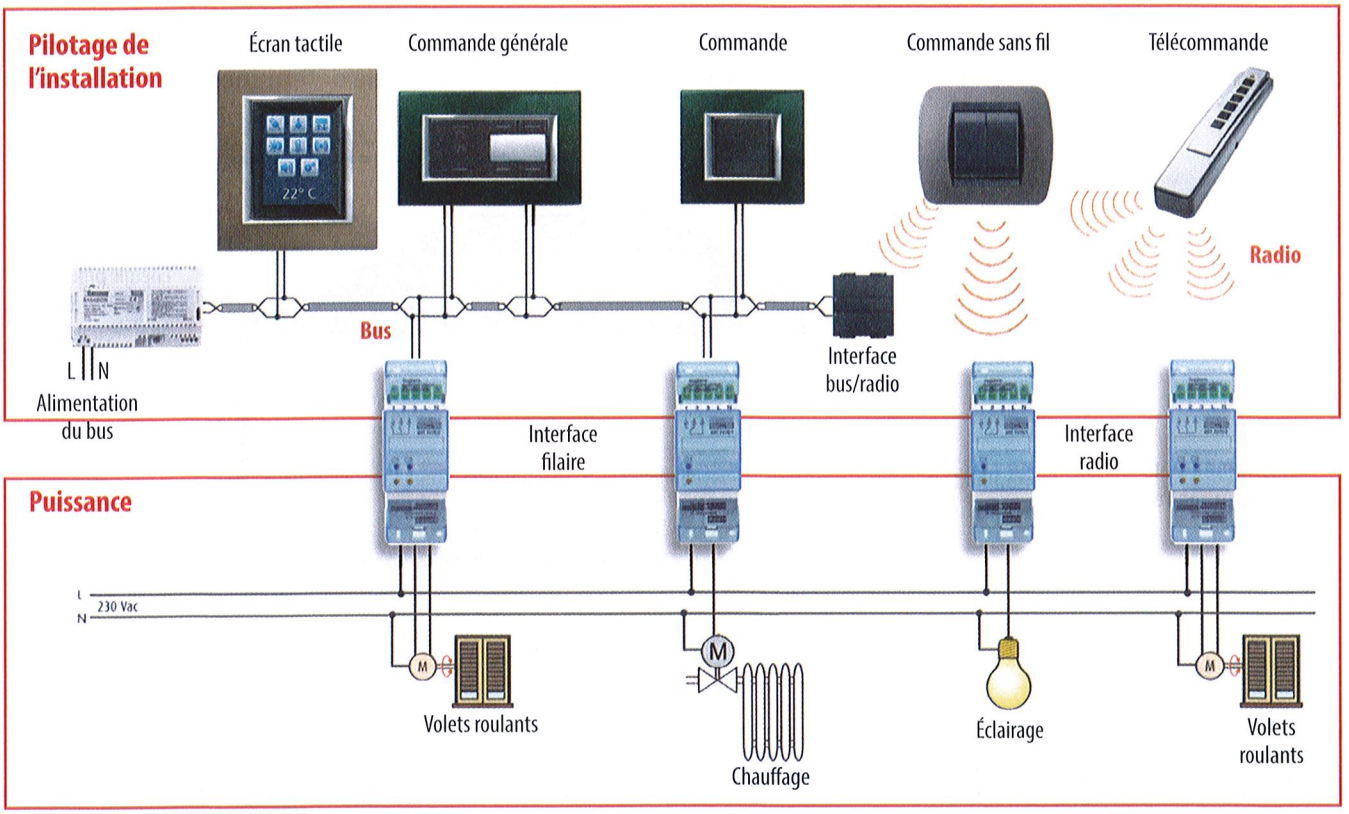
Pour limiter la consommation énergétique due à l'éclairage, il faut :

- Utiliser des sources d'éclairage ayant une faible consommation énergétique (DEL, …).
- Favoriser l'éclairage naturel et n'utiliser les sources d'éclairage que si elles sont indispensables.

Exemples	Puits de lumière	Détection de présence	Détection crépusculaire
Principe	Amener la lumière naturelle dans les zones sombres de l'habitat	Allumer l'éclairage uniquement lors de la présence de personnes	Allumer l'éclairage uniquement lorsque la luminosité est faible
Photo			

7.3 La domotique : gestion intelligente de la maison

La domotique permet de faire communiquer par bus ou par radio tous les éléments de l'habitat afin d'assurer un meilleur confort aux habitants avec une gestion optimale de l'installation.



Principales technologies utilisées :

– en filaire : bus KMX, Ethernet domestique, Legrand MyHOME, …

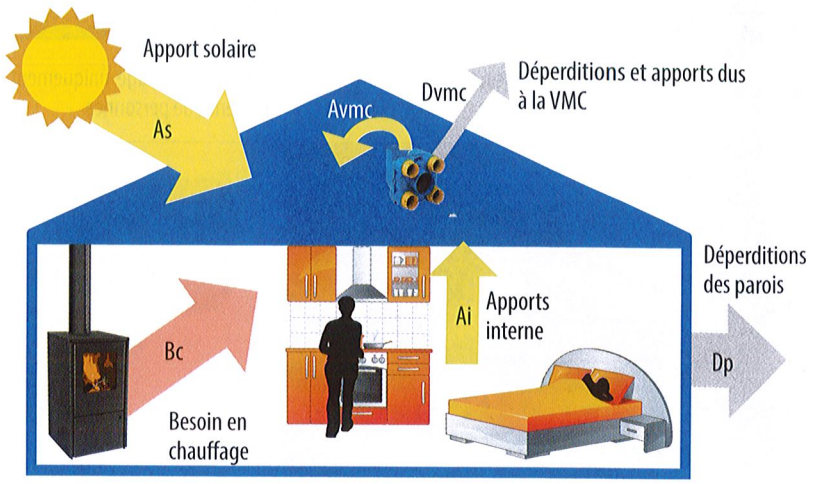
– sans fil : Zwave, Zygbee, infrarouge, …

8. BILAN GLOBAL

Pour vérifier l'efficacité énergétique dans une maison, plusieurs bilans sont possibles (bilan thermique, bilan énergétique). Ils permettent de définir les coefficients de la RT 2012.

8.1 Bilan thermique

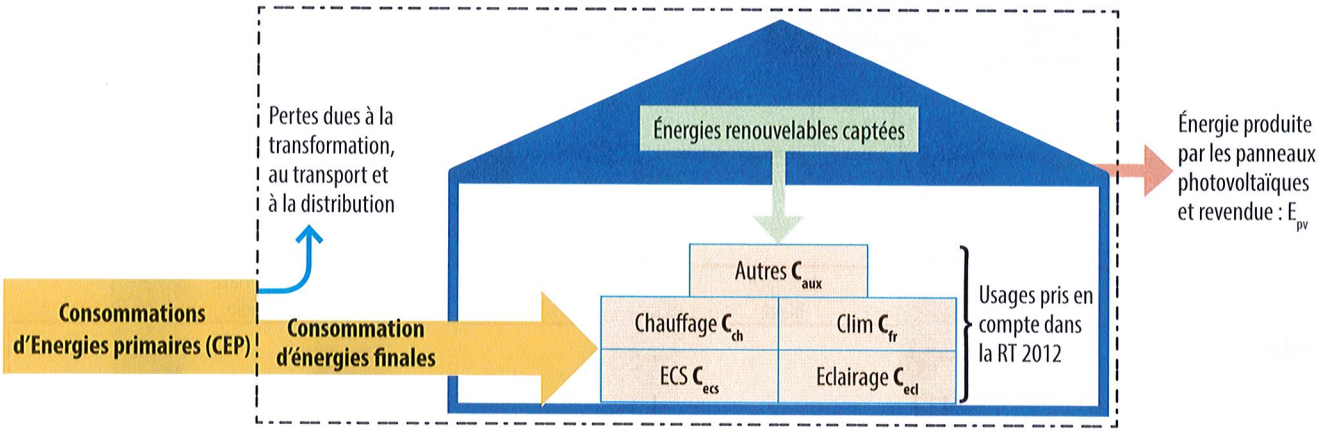
Le **bilan thermique** d'une habitation permet de déterminer le besoin en chauffage (Bc) en tenant compte des différentes déperditions (D) et des différents apports (A). Les apports internes (Ai) correspondent à la chaleur dégagée par les occupants et les équipements.



$$Bc = Dp + Dvmc - Avmc - As - Ai$$

8.2 Bilan énergétique

Le **bilan énergétique** d'une maison prend en compte les énergies primaires nécessaires au fonctionnement des appareillages de la maison et les énergies produites et revendues. Il permet de déterminer les émissions de gaz à effet de serre.



8.3 Principaux coefficients de la RT 2012

Plusieurs coefficients permettent de vérifier que le logement est bien conforme à la RT 2012.

BBio	CEP	Tic
Le **B**esoin **Bio**climatique (**BBio**) exprime les besoins liés au chauffage (B_{ch}), à la climatisation (B_{fr}) et à l'éclairage (B_{ecl}). Calculé dès la phase de conception, il est nécessaire au dépôt du permis de construire. Il permet la prise en compte de l'accès à la lumière naturelle, de l'orientation et de la réflexion faite autour de la conception.	Le coefficient de **C**onsommation d'**E**nergie **P**rimaire (**CEP**) porte sur les cinq usages suivants : chauffage (C_{ch}), climatisation(C_{fr}), ECS (C_{ecs}), éclairage (C_{ecl}), et auxiliaires (C_{aux}) Il permet la prise en compte de l'efficacité des systèmes utilisés.	La limitation de la **Température intérieure conventionnelle (Tic)** vise à assurer, en période de forte chaleur, un bon niveau de confort et à éviter les surchauffes sans qu'il soit nécessaire de climatiser. La Tic d'un logement est la moyenne des températures relevées au cours des cinq jours les plus chauds.
Les valeurs maximales de ces coefficients dépendent de la localisation géographique, de l'altitude, de l'usage du bâtiment, de la surface habitable. Elles sont fixées par la RT 2012.		

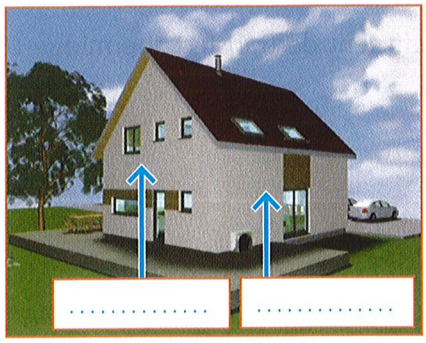
Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

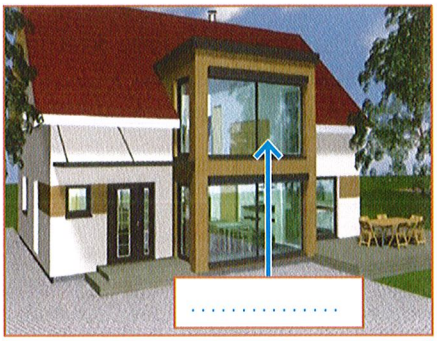
SÉQUENCE 8 TD

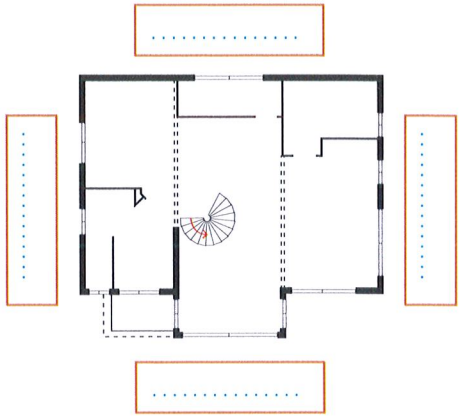
EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS L'HABITAT

Activité 1. Maison bioclimatique

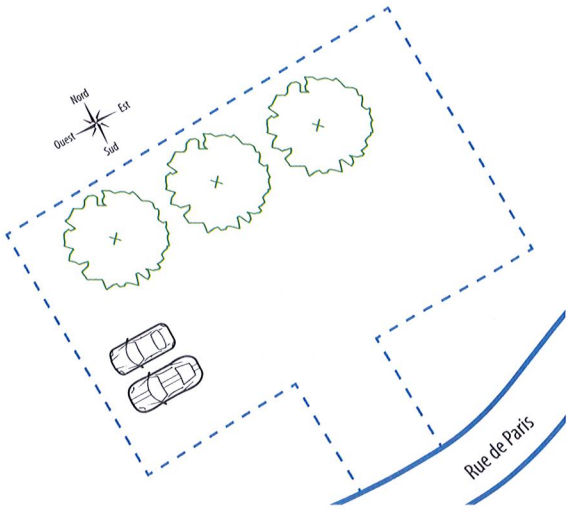
1. Sur les vues ci-dessous, indiquer l'orientation à donner aux façades pour répondre au concept d'architecture bioclimatique.







2. Sur le plan du terrain ci-contre, tracer la vue de dessus de la maison en respectant les orientations définies.



3. Quel est le rôle des arbres ?

.....

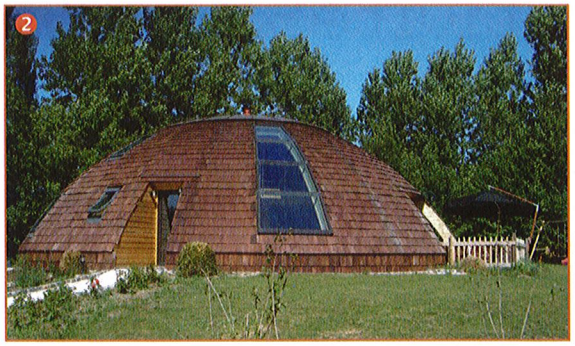
.....

Activité 2. Compacité

- Déterminer la compacité des maisons ci-dessous.



Largeur : 7 m ; longueur : 9,5 m ; hauteur : 7 m ; *S* habitable : 100 m²



Rayon : 5,65 m – demi-sphère ; *S* habitable : 100 m²

.....

.....

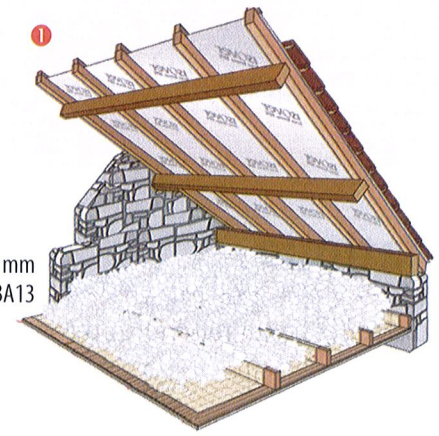
.....

.....

Maison ayant le moins de pertes surfaciques : ☐ 1 ☐ 2

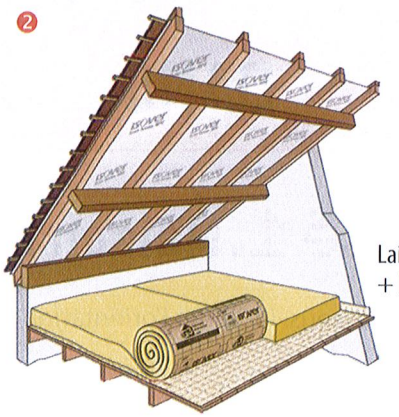
Activité 3. Isolation des combles perdus

❶



Laine soufflée 260 mm
($\lambda = 0{,}05$) + BA13

❷



Laine de verre 260 mm
+ BA13

- Pour chacune des solutions, calculer la résistance thermique R et le coefficient de transfert thermique U. Choisir la solution présentant la meilleure isolation thermique.

.....

.....

Solution offrant la meilleure isolation : ☐ ❶ ☐ ❷

Activité 4. Installation solaire thermique

1. Indiquer les numéros des constituants suivants :

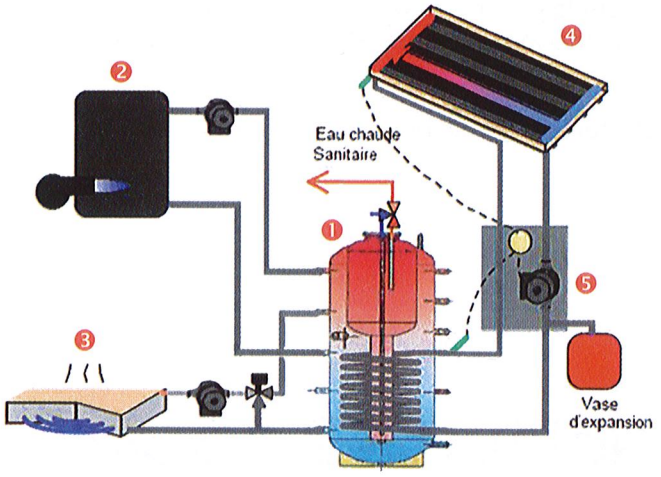
   plancher chauffant : ..... ; *circulateur :* ..... ;

   capteur solaire thermique : ..... ; *chaudière :* ..... ;

   ballon de stockage : .....

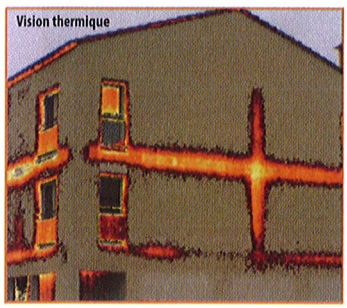
2. Surligner :
   - le circuit du fluide caloporteur solaire en **rouge** ;
   - le circuit d'appoint en chaleur en **vert** ;
   - le circuit de l'eau chaude du chauffage en **bleu**.

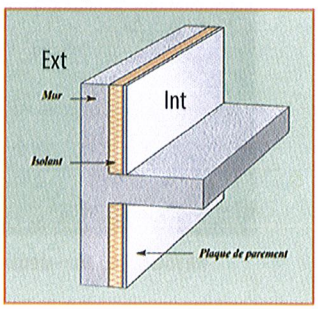
3. Hachurer la zone de stockage de l'ECS.

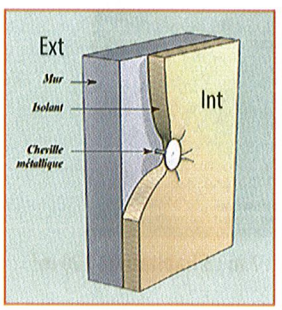


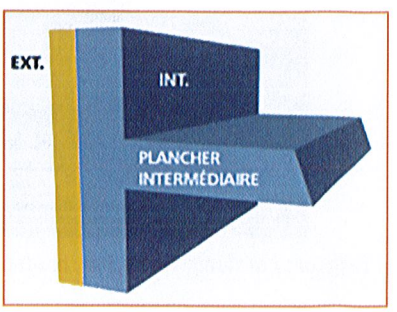
Activité 5. Ponts thermiques

- Entourer en rouge les ponts thermiques et flécher les pertes de chaleur (si possible).







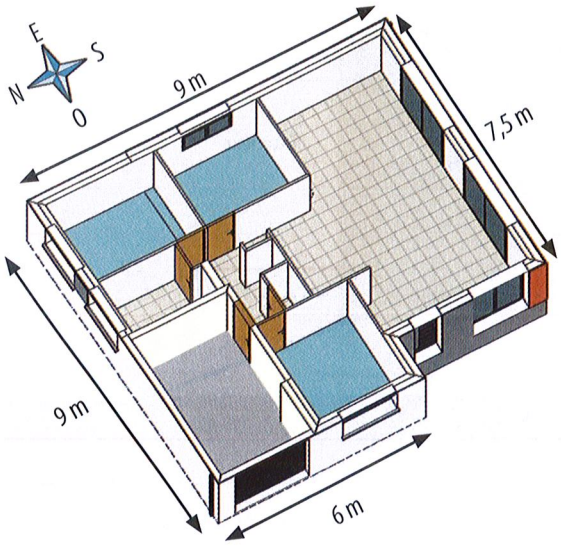


Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 8 – ÉTUDE DE CAS

BILAN THERMIQUE D'UNE MAISON

Problématique : Déterminer les besoins en chauffage nécessaires pour maintenir à 19 °C la température de la maison ci-dessous située à La Rochelle (17 Charente-Maritime).





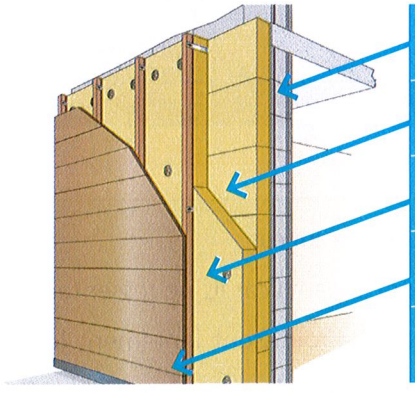
Caractéristiques des ouvertures de la maison

Sud	2 baies vitrées 2,15 x 2,4 m
Est	1 fenêtre 2 vantaux 1 x 1,2 m
Ouest	1 fenêtre 2 vantaux 1 x 1,2m ; 1 baie vitrée 2,15 x 2,4 m ; 1 porte d'entrée 2,15 x 0,9 m ; 1 porte de garage 2 x 2,4 m
Nord	2 fenêtres 2 vantaux 1 x 1,2 m

1. Résistance thermique des murs

La maison a été réalisée avec une isolation extérieure constituée de deux couches croisées d'isolant minéral et d'un bardage bois (voir schéma ci-dessous – toutes les dimensions sont en mm).

- Après avoir déterminé la résistance thermique des différents éléments, calculer la résistance thermique d'un mur.



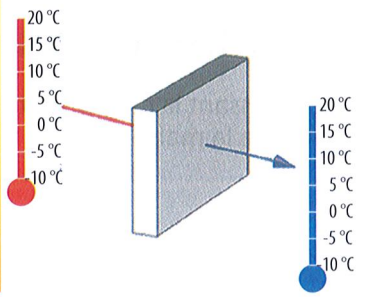
Parpaing (500 x 200 x 200)	$\lambda = 0{,}952\ W.m^{-1}.K^{-1}$	$Rp =$ .....
Laine minérale 1 (épaisseur 140)	$\lambda = 0{,}038\ W.m^{-1}.K^{-1}$	$Risol1 =$ .....
Laine minérale 2 (épaisseur 80)	$\lambda = 0{,}032\ W.m^{-1}.K^{-1}$	$Risol2 =$ .....
Bardage bois (épaisseur 21)	$\lambda = 0{,}2\ W.m^{-1}.K^{-1}$	$Rb =$ .....
Résistance thermique du mur		$Rmur =$ .....

2. Variation de la température à travers le mur

Le **flux thermique** Φ (W/m²) qui traverse un matériau dépend de l'écart de température entre ses deux faces. Il est donné par la loi de Fourier :

$$\Phi = \frac{\lambda}{e}\Delta T = \frac{1}{R}\Delta T = U \times \Delta T$$

Φ = flux de chaleur en W/m²
λ = conductivité thermique en W/m.k
ΔT = écart de température entre les côtés de la paroi en °C
e = épaisseur de la paroi en m

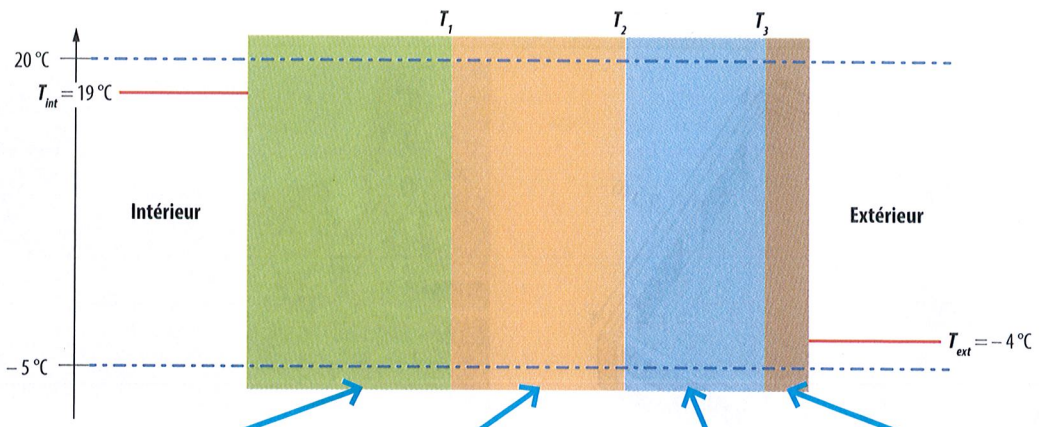


Si on connait le flux à travers une paroi et la température intérieure, il est possible de déterminer la température en sortie de paroi : $T_{ext} = T_{int} - R \times \Phi$

1. Calculer le flux thermique qui va traverser toute la paroi (on prendra $T_{ext} = -4\ °C$).

.....

2. Le flux thermique reste constant sur toute la traversée de la paroi. Calculer les températures en différents points de l'isolation.



Type de matériau	Parpaing	Isolant 1	Isolant 2	Bardage
Épaisseur				
R				
T_{int} du parpaing	$T_{int} = 19\ °C$			
Calcul T_1 du parpaing	$T_1 =$			
Calcul T_2 de l'isolant 1		$T_2 =$		
Calcul T_3 de l'isolant 2			$T_3 =$	
T_{ext} du bardage				$T_{ext} = -4\ °C$

3. Tracer sur le graphe la variation de température.

Conclusion : Dans le cas d'une **isolation par l'extérieur**, la température du mur est ..... de celle de l'air intérieur. L'isolation extérieure apporte du **confort** aux occupants car ils ne ressentent pas de sensation de ..... au contact des murs. Ceux-ci se refroidissent lentement lorsque le chauffage est arrêté. Les logements isolés par l'extérieur présentent une **forte inertie thermique**. Ce type d'isolation n'empiète pas sur la surface .....

3. Calcul des déperditions thermiques

1. Connaissant la résistance thermique et les dimensions, calculer les déperditions en W/K dues à la totalité des murs de la maison.

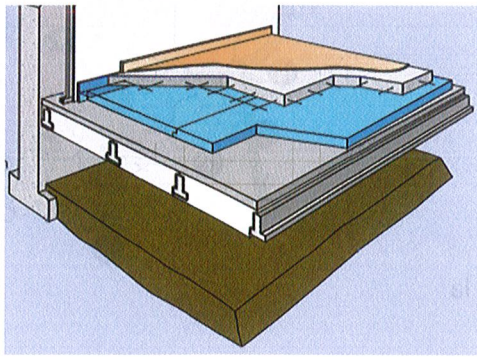
.....

.....

2. Calculer les déperditions en W/K dues au sol et au plafond.

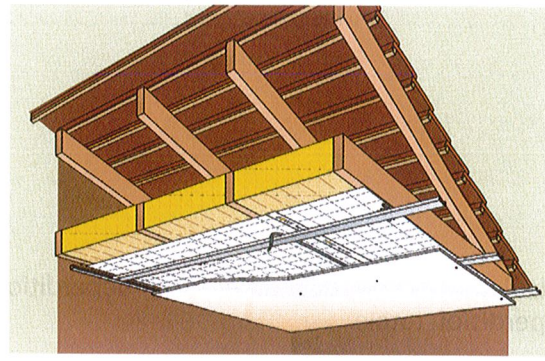
Constitution du sol

$R_{sol} = 5\ W.m^{-1}.K^{-1}$



Constitution du plafond

$R_{plaf} = 10\ W.m^{-1}.K^{-1}$



.....

.....

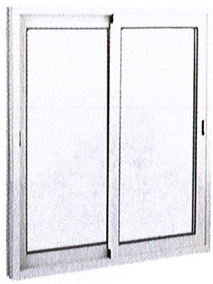
.....

.....

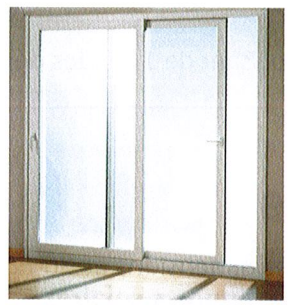
.....

.....

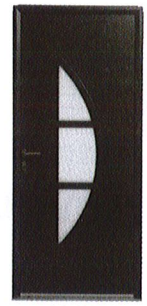
3. Calculer les déperditions en W/K dues aux fenêtres, baies vitrées, porte et porte de garage.



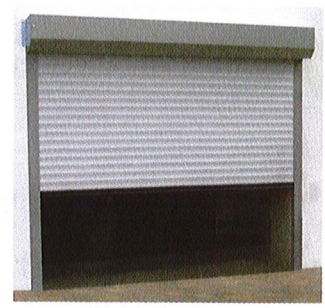
Vitrage isolant	Format	Uw (W/m².K)	Facteur solaire Sw	Facteur de transmission lumineuse TLw
4 / SW U 16 argon / TBE 1.0 THERM 4	1 vantail	1.2	0,42	59 %
4 / alu 16 argon / TBE 4	1 vantail	1.4	0,53	66 %
	2 vantaux	1.6	0,50	63 %
	2 vantaux	1.5	0,52	65 %



Vitrage isolant	Uw	Facteur Solaire Sw
4/20 argon / TBE 4	1,7 W/m².K	0,48



Coefficient de transmission thermique = 1,4 W/m².K.



U_p W/m².K	
L × H : 3 × 2,25 m	L × H : 2,40 × 2 m
3,0	3,2

Type d'ouverture	Surface unitaire	U (W.m^{-2}.K^{-1})	Déperdition unitaire	Nombre	Déperditions
Fenêtres					
Baies					
Porte					
Porte garage					

Déperditions totales dues aux ouvertures : .....

.....

4. Calculer les déperditions en W/K dues à la VMC simple flux. Les déperditions par renouvellement d'air Dvmc sont calculées en appliquant la formule $D_R = 0{,}34 \times Q_D$ avec Q_D = débit pour le calcul des déperditions.

.....

.....



Alimentation électrique 230 V - 50 Hz ;
Puissance 35 W ; Débit : 150 m³/h

5. Calculer le besoin en chauffage de la maison (en W/K), la température extérieure de référence puis la puissance de chauffage (en W).

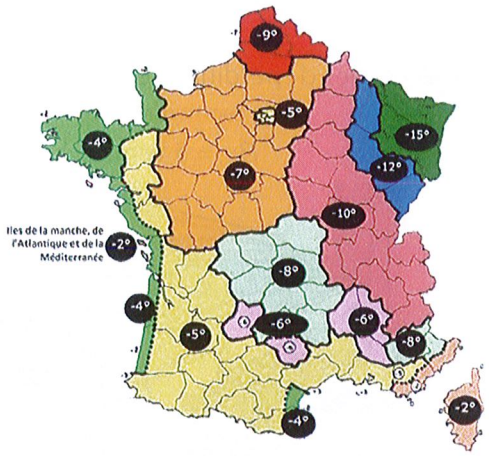
.....

.....

.....

.....

.....



6. Calculer chacune des différentes déperditions en % de la déperdition totale.

Toiture : ..... Rang : .....

Air renouvelé : ..... Rang : .....

Fenêtres : ..... Rang : .....

Murs : ..... Rang : .....

Plancher : ..... Rang : .....

Conclusion : Effectuer un classement décroissant de 1 à 5 des déperditions.

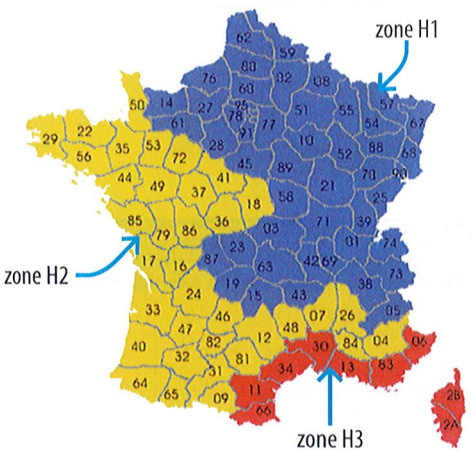
4. Apports thermiques

1. En tenant compte de l'irradiation solaire, des dimensions et du facteur solaire des parois vitrées, calculer les **apports solaires** fournis à la maison pour le mois de janvier.

.....

.....

.....



Zones	orientation	valeurs d'irradiation solaire (I_s) en W/m²											
		janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Zone H1	I_s sud	44,3	76,2	99,5	94,1	99,4	107,4	123,5	127,9	117,6	81,6	40,2	37,9
	I_s ouest	23,4	46,4	72,4	80,2	97,4	116,8	129	116,4	82,3	52,5	26,3	19,6
	I_s nord	18,4	30,9	46,7	60	75,7	86,5	86,1	71,2	55,7	35,5	18,6	14,8
	I_s est	25	42,6	71	83,8	101,7	116,8	136,5	119,8	85,5	47,7	21,7	19,8
	I_s horiz.	38,9	72,6	114,3	144,7	177,2	209,9	242,9	208,5	144,1	83,7	38,4	30,8
Zone H2	I_s sud	84,5	109,2	104,1	117	108,7	115,3	124,	139,1	119	82,9	82,1	58,9
	I_s ouest	37,8	59,3	74,5	102,9	114,8	135,2	148,5	133,7	88,6	52,6	42,1	30
	I_s nord	21,8	32,4	49,3	66	78,6	90	88	74,1	58,3	37,8	27,2	16,8
	I_s est	37	55,9	80,4	102,4	106,5	129,6	135,9	134	83,9	51,6	41,7	24,7
	I_s horiz.	57,7	90,4	123,7	178,5	203,4	243,8	257,9	227	154,1	88,4	64,7	40,3
Zone H3	I_s sud	82,2	71,3	130,1	133,4	138	122,8	136,6	135,4	139,2	132,8	141,8	109,8
	I_s ouest	39,4	42,7	86,4	106,3	140,6	140,5	146,6	115,3	92,3	70,3	61,2	44,4
	I_s nord	23,3	31,2	49,2	69,5	83,1	90,6	86,7	72,3	60,4	41,1	29,9	22
	I_s est	39,3	42,2	94,5	119,5	143	141,4	156	132,8	101,4	71,9	59,8	39,7
	I_s horiz.	59,2	72,5	146,6	203,3	272,2	268,6	290,4	226,8	175,1	120,8	90,7	63,9

2. Calculer les apports internes. Comme il est difficile de définir la quantité d'énergie que peuvent produire les occupants et leurs modes de vie (appareils électroménagers, ….), la valeur de 4 W/m² de surface habitable sera prise comme base : $Q_i = 4 \times A_{Bât}$ avec Q_i apports thermiques en W et $A_{Bât}$ surface habitable du logement en m².

.....

.....

Conclusion : Comparer les déperditions et les apports thermiques. .....

.....

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 8 — INVESTIGATION 1

DIAGNOSTIC DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE

Problématique : Déterminer et améliorer le DPE d'une habitation.

1. Qu'est ce que le DPE ?

1. Donner une définition du DPE. .....

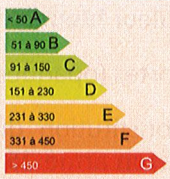
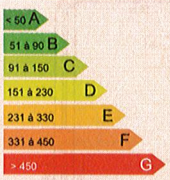
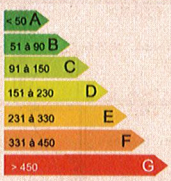
.....

2. Comment est établi le DPE ? Par qui ? Suivant quelles procédures ? .....

.....

.....

3. Rechercher dans les agences immobilières locales (sur Internet ou en vous rendant sur place) un appartement de 40 m² environ et remplir le tableau ci-dessous.

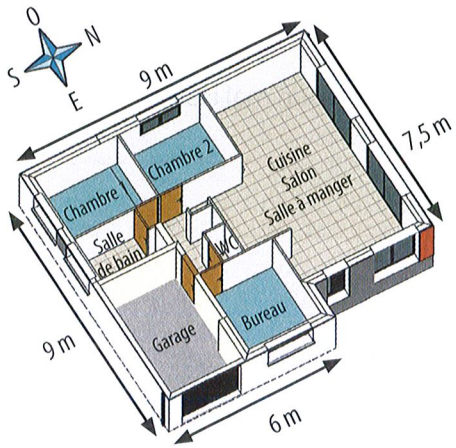
Type d'appartement	Ancien non rénové (+ de 30 ans)	Assez récent (15 ans)	Récent (sur plan)
Classement DPE			
Surface			
Calcul du cout annuel en énergie (prix moyen 0,10 €/kWh)			

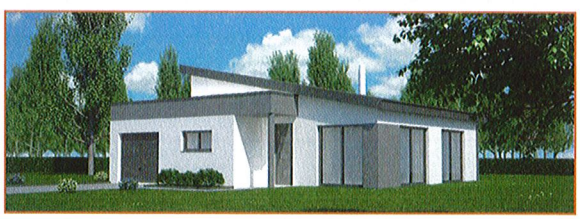
4. Quel est l'intérêt pour un acheteur de connaître le classement DPE de son futur logement ?

.....

2. DPE d'une maison

On souhaite établir le DPE de la maison de plain-pied ci-dessous située à La Rochelle (17) à 20 m d'altitude. Elle est construite sur terre-plein et possède des combles aménageables.





Nord	2 baies vitrées 2,15 x 2 m
Ouest	1 fenêtre 2 vantaux 1 x 1,2 m
Est	1 fenêtre 2 vantaux 1 x 1,2m ; 1 baie vitrée 2,15 x 1,6 m ; 1 porte d'entrée 2,15 x 0,9m ; 1 porte de garage 2 x 2,4m
Sud	2 fenêtres 2 vantaux 1 x 1,2m

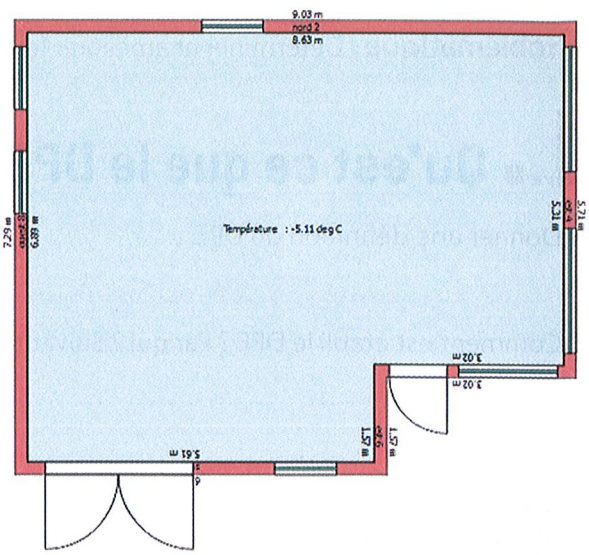
Le diagnostic DPE sera établi à l'aide du logiciel Archimist, disponible gratuitement. Archimist

2.1 Maison mal isolée, mal orientée, chauffage électrique

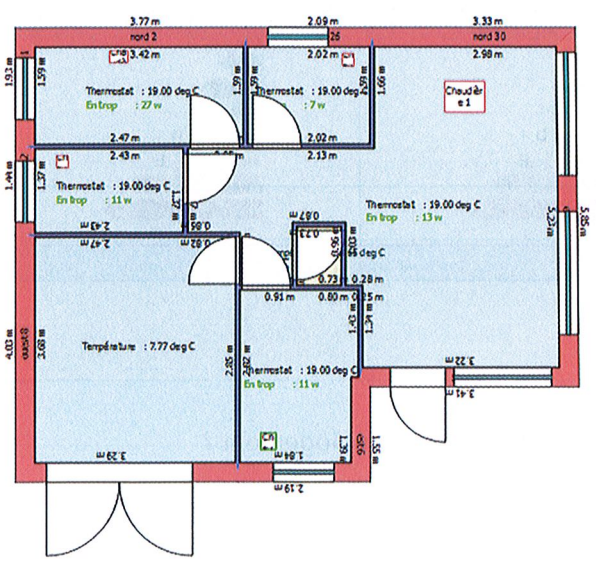
1. Créer votre projet en cliquant sur **Projet** puis **Nouveau**. Renseigner l'écran présentant le logement.

2. Faire le dessin des murs porteurs (**Murs extérieurs**) du rez de chaussée (**Parpaing de 20**), couleur **rouge**.

Remarques :
La longueur des murs peut être définie à la souris ou au clavier.
Le contour doit être fermé (la zone centrale est colorisée).



3. Ajouter les portes (opaques, pleines en bois), fenêtres (PVC, simple vitrage) : **Ouvertures** puis **Fenêtre/porte**, cliquer sur l'emplacement puis définir les dimensions et les caractéristiques.



4. Implanter les cloisons intérieures (carreau de plâtre de 70) : **Mur**, couleur **bleue**.

5. Ajouter les portes (opaques, pleines, en bois).

6. Donner la constitution du rez-de-chaussée (cliquer sur le sol - **Béton armé 25 cm** et **Carrelage**) ainsi que la constitution des combles (**Laine de verre, 8 cm** et **Plaque de BA13**).

7. Régler la température intérieure souhaitée à 19 °C. **Edition – Scénario de chauffage - Température basse extérieure – 6 °C ; Température normale 19 °C ; Température réduite 16 °C ; Durée de chauffe normale 16 hrs.**

8. Placer des radiateurs électriques dans toutes les pièces (sauf le garage et les WC) : **Générateur – Type : radiateur autonome – Électrique.**

9. Implanter une rose des vents pour orienter la maison comme sur le schéma de la page précédente.

10. Ajuster la puissance des radiateurs dans chaque pièce pour obtenir la température souhaitée.

11. Placer les résultats obtenus dans le tableau de synthèse de la dernière page.

Conclusion : Que pensez-vous de la performance énergétique d'une maison mal isolée ?

.....

.....

2.2 Orientation de la maison

1. Modifier l'orientation de la maison en plaçant les baies vitrées du salon au sud.

2. Ajuster la puissance des radiateurs et placer les résultats obtenus dans le tableau de synthèse de la dernière page.

3. Le fait de placer les pièces à vivre et leurs baies vitrées au sud a-t-il une influence ? .....

.....

2.3 Amélioration de l'isolation de la maison

1. Modifier la constitution des éléments suivants : Murs extérieurs (**Parpaing de 20** + **Polystyrène de 10 cm** + **BA 13**) ; Plafond (**Laine de verre de 15 cm** + **BA13**) ; Sol (**Béton de vermiculite gr.3 6/1**) ; Fenêtres et baies vitrées (**Double vitrage 4/6/4**).
2. Ajuster la puissance des radiateurs électriques et placer les résultats obtenus dans le tableau de synthèse de la dernière page.
3. Que provoque une amélioration de l'isolation ? .....

.....

2.4 Utilisation d'un autre mode de chauffage traditionnel plus efficace

1. Supprimer les radiateurs électriques.
2. Placer une chaudière gaz à condensation dans le garage et des émetteurs en fonte 2 colonnes dans chaque pièce, reliés à la chaudière. Ajuster la puissance des radiateurs.
3. Placer les résultats obtenus dans le tableau de synthèse de la dernière page.
4. Quel intérêt présente l'utilisation d'un moyen de chauffage plus efficace ? .....

.....

2.5 Utilisation des énergies renouvelables

1. Remplacer la chaudière gaz à condensation située dans le garage par une pompe à chaleur alimentée en énergie électrique.
2. Remplacer les radiateurs par un chauffage au sol puis ajuster la puissance du chauffage.
3. Placer les résultats obtenus dans le tableau de synthèse de la dernière page.
4. L'utilisation des énergies renouvelables permet-elle d'améliorer encore le bilan énergétique ?

.....

3 Maison passive ou à énergie positive

3.1 Maison passive

1. Quelles améliorations faudrait-il encore apporter pour que cette maison devienne une maison passive ?

.....

.....

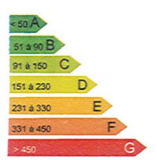
2. Effectuer ces modifications dans Archimist jusqu'à obtenir une maison passive.

3.2 Maison à énergie positive

1. Que faut-il encore ajouter pour obtenir une maison à énergie positive ? .....

.....

2. Si la modification est possible, la réaliser dans Archimist.

	Bilan puissance			Bilan énergétique				Classement DPE			
	Apports	Déperditions	Bilan	Énergie consommée	Énergie fournie	Énergie requise	Bilan	Coût annuel	Prix revient/5 ans	Prix revient /10 ans	
Maison mal isolée, mal orientée, chauffage électrique											
Meilleure orientation											
Amélioration de l'isolation											
Amélioration du mode de chauffage traditionnel											
Utilisation des énergies renouvelables											

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 3

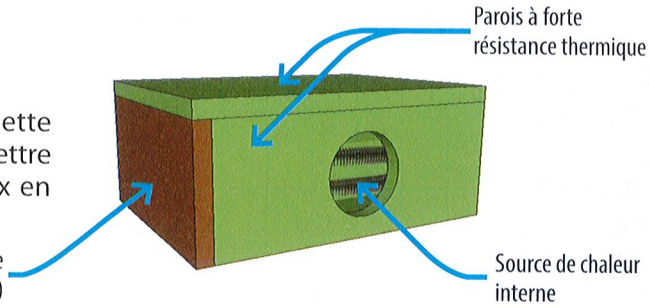
INVESTIGATION 2

ETUDE DES PERFORMANCES THERMIQUES DES MATÉRIAUX

Problématique : Évaluer par simulation et par mesurage les performances thermiques d'un matériau.

1. Présentation

Votre professeur a mis à votre disposition une maquette semblable à celle ci-contre. Cette maquette va vous permettre de déterminer les propriétés thermiques des matériaux en effectuant des mesures de transfert de température.



1. Indiquer les caractéristiques principales de votre maquette :

Longueur : ..... Largeur : ..... Hauteur : ..... Puissance de la source de chaleur : .....

2. Calculer le volume d'air *V* contenu à l'intérieur de la maquette. .....

3. Mesurages : vous devez mesurer la température de l'air intérieur et la température de surface extérieure de la paroi à tester. Préciser le mode opératoire des deux types de thermomètre à utiliser.

Nom	Photo	Mode opératoire	Température mesurable
Thermomètre numérique			
Thermomètre infrarouge			

2. Définitions

1. Quels sont les trois modes de transmission de la chaleur ? Expliquer brièvement leur principe.

- Transmission par ..... : .....
.....
- Transmission par ..... : .....
.....
- Transmission par ..... : .....
.....

2. Qu'est-ce que la conductivité thermique d'un matériau ? .....
.....

3. Donner une définition de l'inertie thermique d'un matériau. .....
.....

3. Essais pratiques

1. Donner les caractéristiques du matériau à tester :

Nom : ..... Longueur : ..... Largeur : ..... Épaisseur : ..... λ : .....

2. Protocole de mesure : la mesure de la température intérieure s'effectue avec le thermomètre numérique, celle de la température extérieure avec le thermomètre infrarouge.

Mettre la source de chaleur sous tension et mesurer les deux températures toutes les minutes. Couper l'alimentation de la source de chaleur au bout de 10 minutes et continuer les mesures pendant encore 15 minutes. Consigner vos résultats dans le tableau suivant.

Temps	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Température intérieure																										
Température paroi extérieure																										

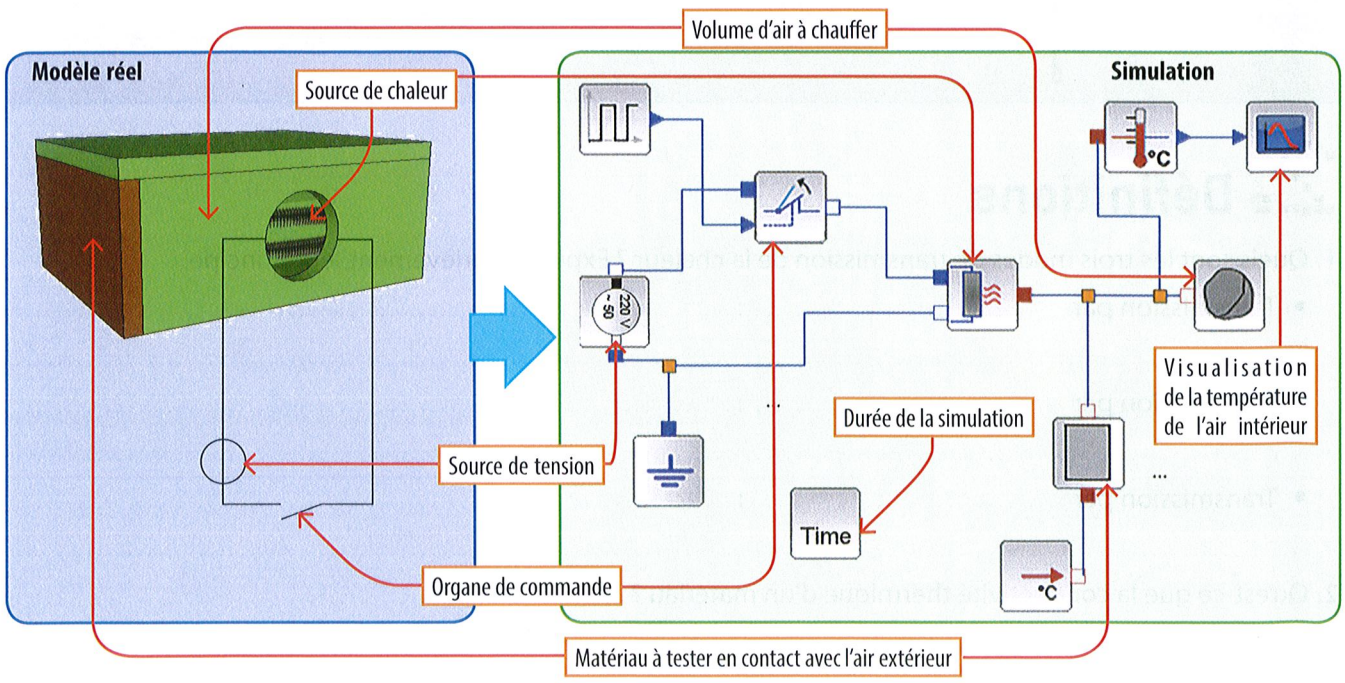
3. Tracer en **rouge** les courbes de variation de la température sur le graphe de la dernière page (Partie 5).

4. Simulation

La simulation numérique est incontournable lors de la conception de systèmes. Simuler des phénomènes complexes (thermiques, mécaniques, électriques, etc.) permet d'étudier leurs comportements et d'obtenir des résultats sans avoir besoin de recourir à l'expérience réelle.

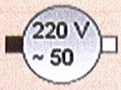
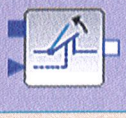
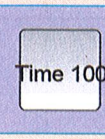
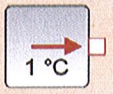
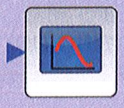
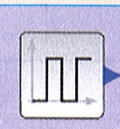
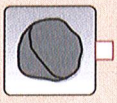
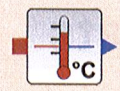
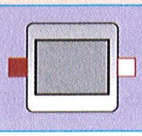
SCILAB est un logiciel gratuit de calcul numérique. Le module **XCOS** permet la modélisation et la simulation de systèmes. XCOS possède un module qui trace des courbes indiquant le fonctionnement du système. Lors de cette simulation, vous visualiserez la variation de température intérieure de l'air.

Passage du modèle réel à la simulation



4.1 Mise en place de la simulation

1. Lancer **SCILAB**. Lorsque le démarrage est terminé, dans **Applications**, lancer **XCOS**  . Les symboles se situent presque tous dans la palette **SIMM**. Pour placer un symbole, effectuer un clic gauche sur le symbole puis le déplacer dans XCOS en maintenant le bouton gauche de la souris actionné.

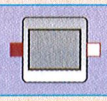
	Palettes/Électrique : **VsourceAC**		SIMM/Électrique/Composant basique/Passif : **MEAB_HeatingResistor**
	SIMM/Électrique/Composant basique/Passif : **MEASI_IdealOpeningSwitch**		SIMM/Utilitaires/Visualisation : **IREP_TEMP**
	SIMM/Thermique/Sources : **MTHC_FixedTemperature**		SIMM/Électrique/Sources : **MEAB_Ground**
	SIMM/Utilitaires/Visualisation : **ISCOPE**		SIMM/Signaux/Sources : **MBS_Pulse**
	SIMM/Thermique/Basique : **MTH_heatCapacitor**		SIMM/Thermique/Mesure : **MTHC_TemperatureSensor**
	SIMM/Thermique/Basique : **MTH_ThermalConductor**		

Les liaisons entre blocs s'effectuent en cliquant (bouton gauche de la souris) sur la borne de départ et en tirant le trait, bouton gauche de la souris enclenché, jusqu'au point d'arrivée. Les bornes de couleur **rouge** correspondent aux grandeurs thermiques. Les bornes de couleur **bleue** correspondent aux grandeurs électriques.

2. Tracer le schéma bloc de la simulation.

4-2 Paramétrage des blocs à modifier

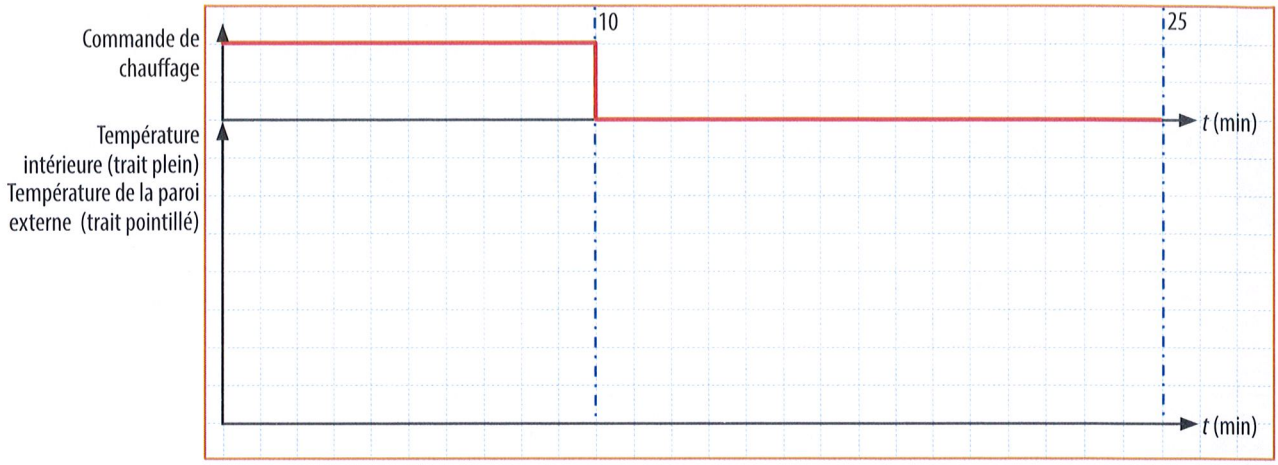
Pour accéder au paramétrage d'un bloc, il faut effectuer un double clic gauche sur celui-ci. Les données dépendent des caractéristiques réelles de la maquette.

Constituants	Symbole	Caractéristiques à paramétrer
Source de tension		Tension alternative d'amplitude230 V et de fréquence 50 Hz
Source de chaleur		Résistance ($P = U^2/R$) ; *Tref* = *Tambiante* de la salle en Kelvin (K)
Volume d'air		$C = Cp \times m$ Cp : capacité thermique massique de l'air ; m = masse volumique de l'air x volume d'air
Matériau à tester		$G = U \times S = (1/R) \times S = (\lambda/e) \times S$
Température extérieure		Température ambiante de la pièce en °C
Durée d'acquisition		25 minutes (à indiquer en secondes) et pour 2000 points
Signal de commande		Amplitude : 1 ; Période : 25 mn ; 10 mn à l'état haut

4-3 Simulation

- Tracer en **vert** la courbe de variation de la température intérieure sur le graphe ci-dessous.

5. Résultats des essais



6. Analyse des résultats

1. Pour la température intérieure, comparer les résultats obtenus par essais et par simulation.

.....

2. Chiffrer en % l'écart entre les deux méthodes pour t = 10 mn et pour t = 25 mn. Donner des explications possibles pour ces écarts. .....

.....

3. Quel est le mode de transmission de la chaleur à travers la paroi ? .....

4. D'après les résultats des tests, que pensez-vous de la conductivité thermique du matériau ?

.....

5. D'après les résultats des tests, que pensez-vous de l'inertie thermique de la maquette ?

.....

6. On souhaite déterminer les performances de différents matériaux. Quelle méthode allez-vous utiliser ? Pourquoi ? .....

.....

7. Quelle(s) grandeur(s) faudra-t-il modifier ?

.....

8. Compléter le tableau ci-dessous permettant de comparer différents matériaux de même épaisseur.

Matériau	λ	G	θintérieur après 10 mn	θintérieur après 25 mn
Matériau fourni pour les essais				
Polystyrène				
BA13				
Brique alvéolée				

SÉQUENCE 8

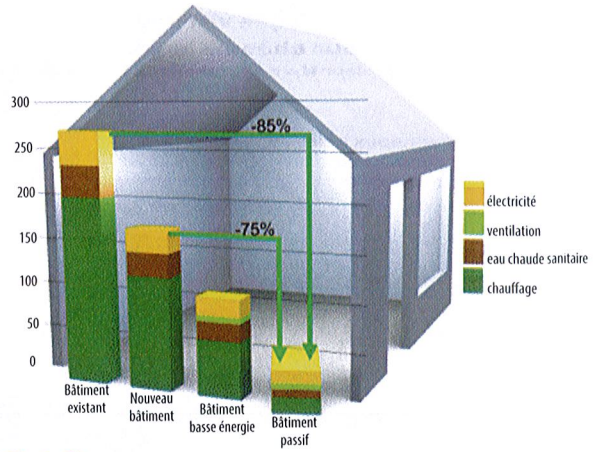
SYNTHÈSE

CE QU'IL FAUT RETENIR DE LA SÉQUENCE

1. La réglementation thermique

Depuis 1974, les réglementations successives ont évolué pour faire baisser la consommation d'énergie et les émissions de CO_2 dues à l'habitat.

La RT 2012 permet de concevoir des bâtiments **BBC** (**B**âtiments **B**asse **C**onsommation).



2. Les principaux points de la RT 2012

Orientation bioclimatique : les pièces de vie sont orientées au sud et comportent un maximum de parois vitrées. Au nord, protégées des vents dominants, sont situées les pièces tampons.



Isolation : Les murs, plafonds et sols sont fortement isolés pour limiter les déperditions, les ponts thermiques et les infiltrations d'air.

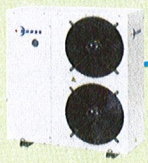


La température intérieure est contrôlée : confort (19 °C) pendant les heures de présence ; réduite (16 C°) pendant les heures d'absence.



Des **panneaux solaires photovoltaïques** permettent de produire de l'énergie électrique qui peut être revendue, stockée ou utilisée.

Utilisation des **énergies renouvelables** : (pompe à chaleur, ballon thermodynamique, solaire thermique, ...).



Choix d'**équipements électroménagers** moins énergivores (classe A+ ou supérieure).





Des **brise-soleil** sont installés pour limiter les surchauffes en été



Utilisation d'**ampoules à DEL** ayant une faible consommation d'énergie.



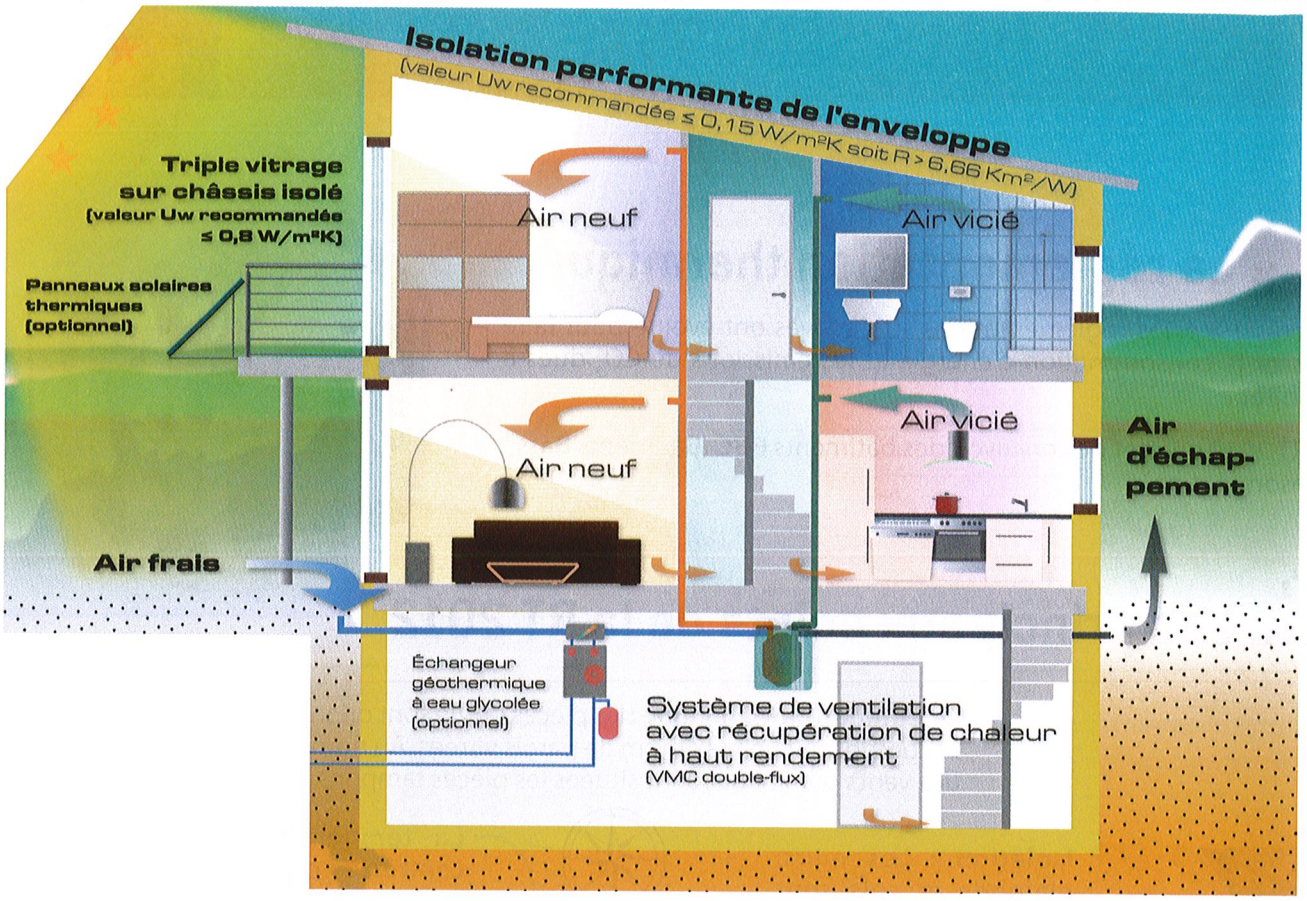
Le renouvellement d'air est assuré par une **VMC** (simple ou double flux) et/ou un puit canadien.



Les **baies vitrées** doivent laisser entrer les apports solaires (*Sw*) et limiter les déperditions (*Uw*). Elles représentent 1/6 de la surface des murs et 50 % est orienté sud.

3. Principe de la maison passive

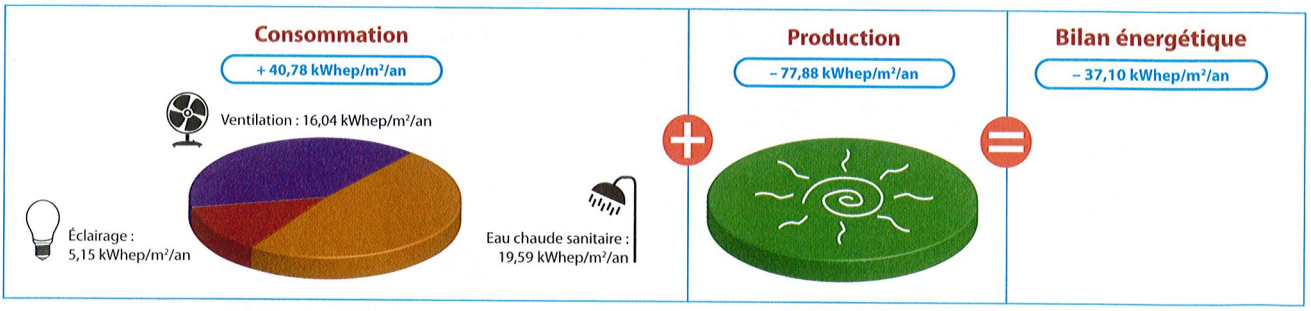
Le bilan énergétique annuel d'une maison passive est nul : la maison produit autant d'énergie qu'elle en consomme.



4. Principe de la maison à énergie positive

Ce type de construction sera préconisé par la future RT 2020. Un Bâtiment à Energie POSitive (BEPOS) produit sur un an plus d'énergie qu'il en consomme.

Exemple :



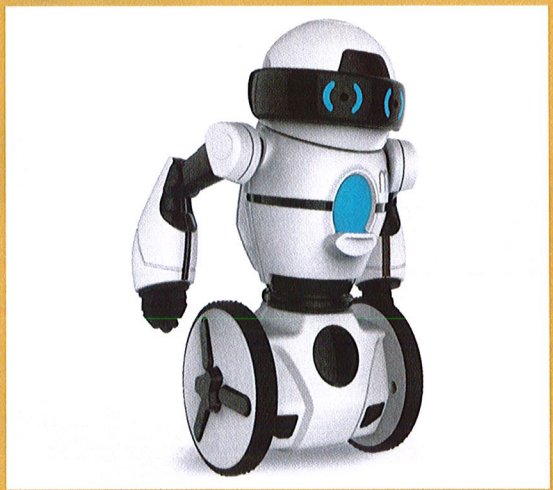
Exemple de maison à énergie positive



- Maçonnerie briques de 25 cm d'épaisseur sur vide sanitaire en pierres ponces, isolation par l'extérieur de 24 cm, triple vitrage avec bâti bois alu, combiné thermodynamique pour la VMC double flux et le chauffe eau.
- Isolation dynamique avec volets roulants à lames orientables et domotique.
- 50 m² de panneaux solaires photovoltaïques.

PARTIE

Description, Analyse et Solutions Technologiques dans les Systèmes Mécatroniques



PARTIE 3

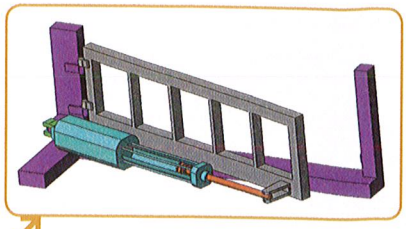
DESCRIPTION, ANALYSE ET SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES DANS LES SYSTÈMES MÉCATRONIQUES

9. Comportement mécanique des systèmes mécatroniques (M)

Notions de chaîne cinématique, d'efforts et de moments
Étude des systèmes en équilibre

Page 185



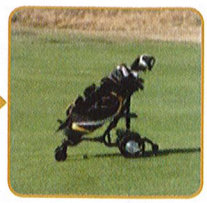


10. Chaîne d'énergie (E)

Chaîne d'énergie des systèmes et constitution des différentes fonctions

Page 207



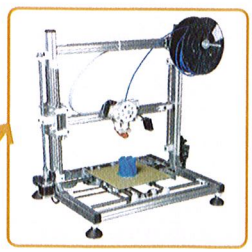




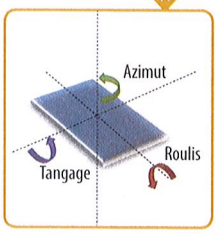
11. Chaîne d'information (I)

Chaîne d'information des systèmes et constitution des différentes fonctions

Page 233



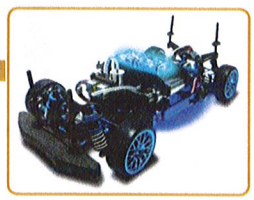


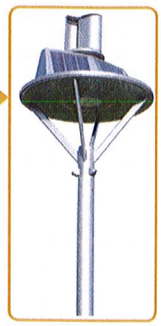


12. Efficacité énergétique dans les systèmes mécatroniques (M) (E) (I)

Les différentes solutions techniques disponibles pour augmenter l'efficacité énergétique des systèmes

Page 265





(M) = Matériaux ; (E) = Énergie ; (I) = Information

SÉQUENCE 9

LEÇON

COMPORTEMENT MÉCANIQUE DES SYSTÈMES MÉCATRONIQUES

LIAISON RÉFÉRENTIEL

2.2.2 Représentations symboliques – Représentation symbolique associée à la modélisation des systèmes : schéma cinématique

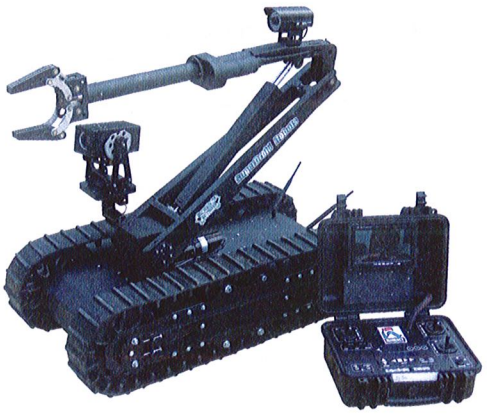
2.3.3 Comportement mécanique des systèmes – Équilibre des solides : modélisation des liaisons, actions mécaniques, principe fondamental de la statique, résolution d'un problème de statique plane

3.1.2 Typologie des solutions constructives des liaisons entre solides – Caractérisation des liaisons sur les systèmes

1. Situation déclenchante

DOC. Robot tactique

Une société désire développer une gamme de robots tactiques conçus et construits spécifiquement pour la surveillance, la recherche et la négociation. Ils permettent une évaluation rapide et facile des situations dangereuses, à partir d'un endroit sûr et à distance.

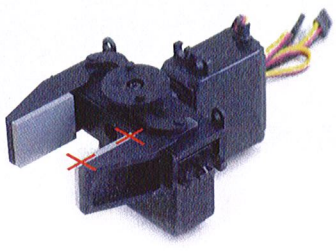


Voici quelques-unes des fonctions visées :

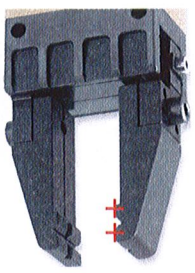
- télésurveillance de jour et de nuit ;
- monter les escaliers ;
- manipulation d'objets en utilisant 3 axes, 4 axes ;
- patrouille pour la sécurité intérieure et extérieure.

L'équipe d'ingénieur part d'une base existante à laquelle il faudra rajouter une caméra et un bras manipulateur avec une pince. L'énergie utilisée doit exclusivement être d'origine électrique. Pour un serrage d'objet de tailles différentes, les mors de la pince doivent avoir un mouvement de translation. L'effort de serrage doit être au minimum de 10 N.

Plusieurs modèles de pinces existent :



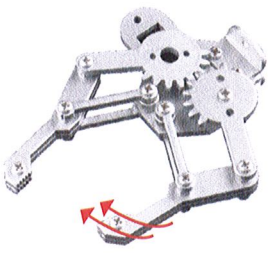
1 - Pince avec servomoteur



2 - Pince pneumatique



3 - Pince avec servomoteur



4 - Pince avec servomoteur

1. Cocher les paramètres à prendre en compte pour assurer un bon serrage.

- ☐ La couleur
- ☐ Le mouvement des mors (parties en contact avec l'objet à serrer)
- ☐ Le matériau
- ☐ La marque de la pince
- ☐ La forme de la pince
- ☐ L'effort de serrage

2. Vu l'énergie utilisée, barrer la pince pouvant être éliminée sur les photos précédentes.

3. Dessiner la trajectoire de deux points des mors de chacune des pinces restantes sur les photos (voir exemple en **rouge** sur la photo 4).

4. Barrer les pinces n'ayant pas le mouvement souhaité.

Conclusion : Afin de faire un choix pertinent et étudier ou concevoir un mécanisme, il faut connaître le **mouvement** des pièces et les **actions mécaniques** mises en jeu.

2. Mouvements élémentaires

Pour décrire le mouvement d'un solide, il est nécessaire de définir le **solide étudié** (S) et le **solide de référence** (S0) par rapport auquel on définit le mouvement. Deux types de mouvements sont essentiels : la **translation** et la **rotation**.

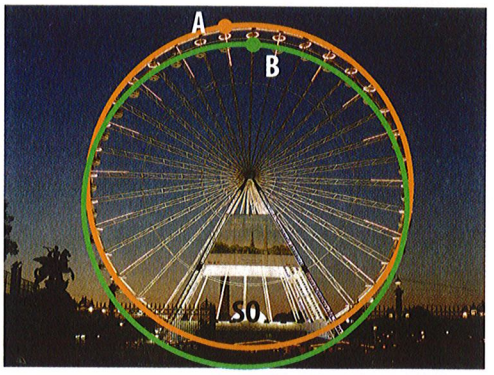
2.1 Translation

Un solide (S) est animé d'un mouvement de **translation** par rapport à un référentiel (S0) si deux segments distincts et non colinéaires de ce solide restent parallèles à eux-mêmes au cours du mouvement. Plusieurs cas sont alors possibles.

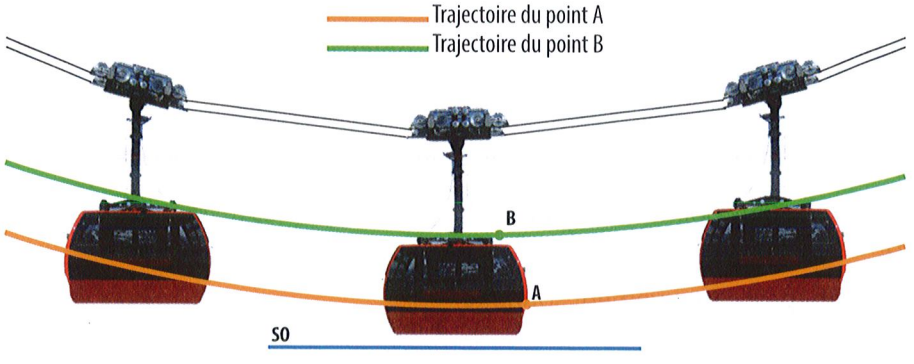
- La **translation rectiligne** : les trajectoires de tous les points du solide sont des droites parallèles (*exemple : ascenseur (S) par rapport au bâtiment (S0)*).



- La **translation circulaire** : les trajectoires de tous les points du solide sont des cercles de même rayon mais dont les centres sont décalés (*exemple : nacelles de grande roue (S) par rapport au sol (S0)*).

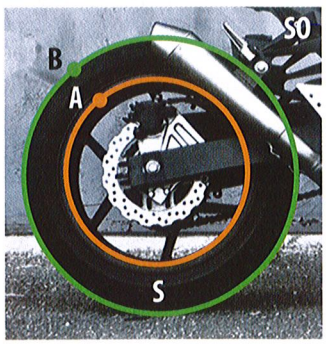


- la **translation curviligne** : les trajectoires de tous les points du solide sont des courbes superposables et décalées (*exemple : nacelles de téléphérique (S) par rapport au sol (S0)*).



2-2 Rotation

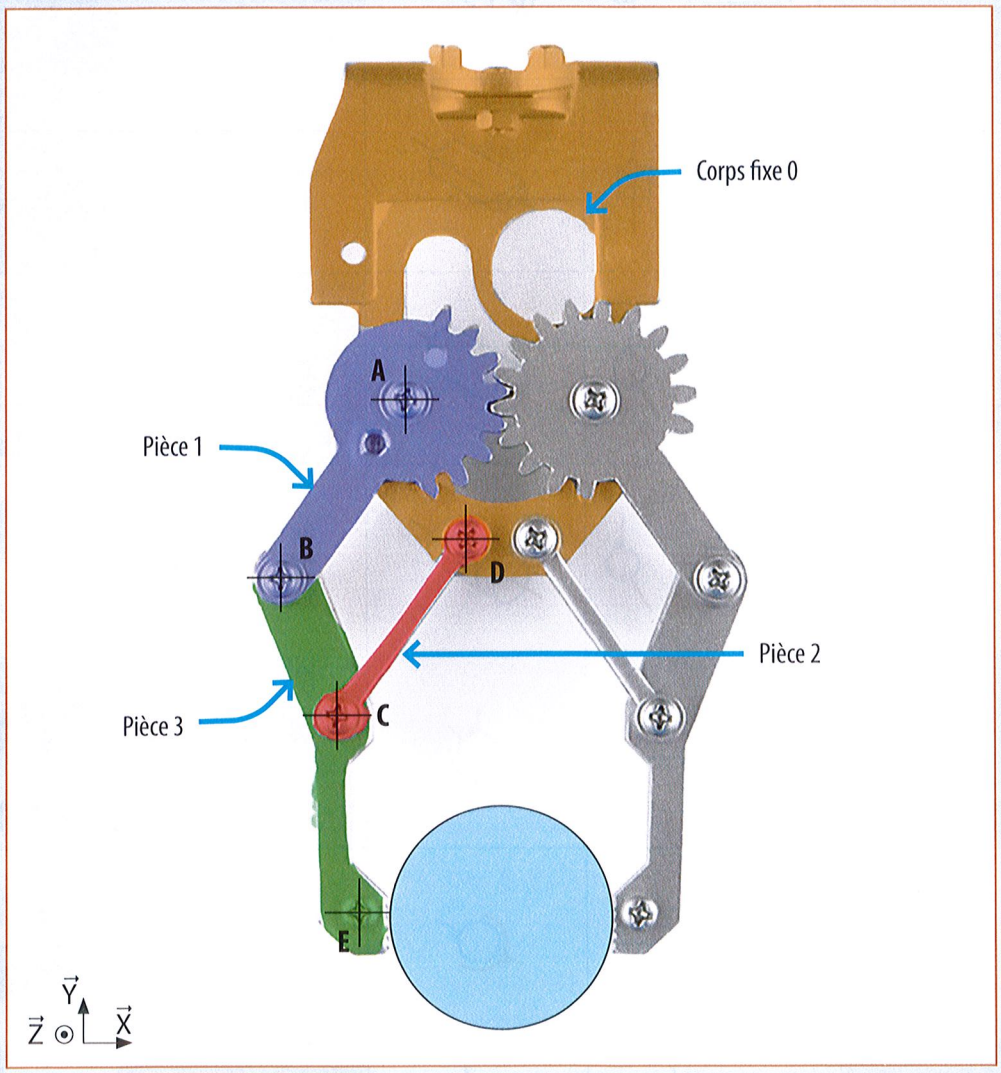
Un solide (S) est animé d'un mouvement de **rotation** autour d'un axe par rapport à (S0) si tous les points du solide décrivent des cercles dont les centres sont situés sur l'axe de rotation (*exemple : roue de moto (S) par rapport à la moto (S0)*).



Trajectoire du point A
Trajectoire du point B

APPLICATION 1 Pince

Soit la pince suivante.



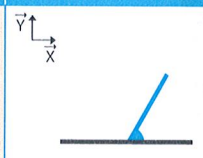
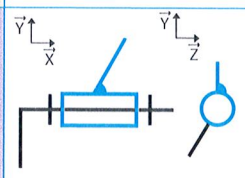
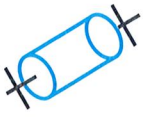
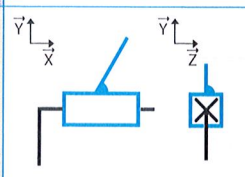
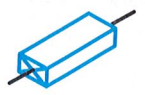
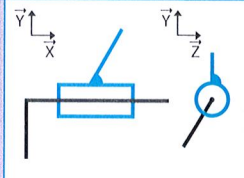
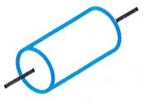
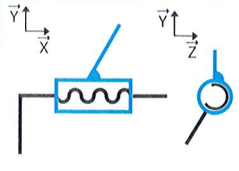
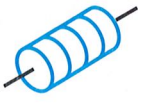
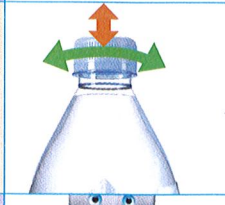
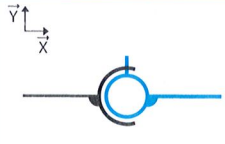
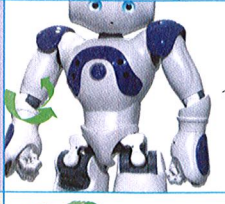
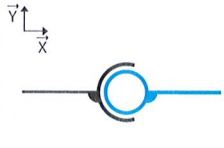
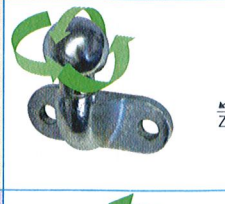
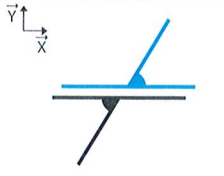
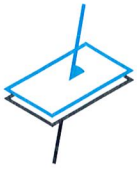
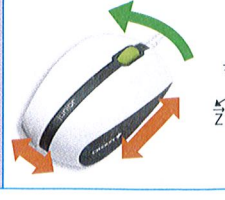
- Décrire le mouvement des pièces suivantes par rapport au corps fixe 0 :

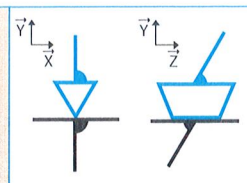
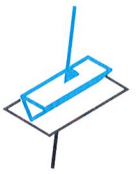
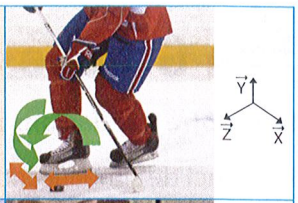
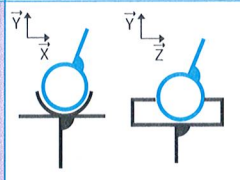
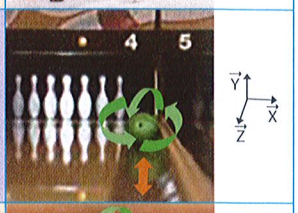
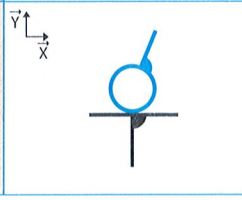
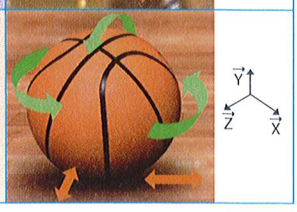
1. Pièce 1 : .....
2. Pièce 2 : .....
3. Pièce 3 : .....

3. Liaisons

Afin de décrire et de schématiser les mouvements et contacts entre solides dans un mécanisme, on utilise les **liaisons**. La **norme ISO 3952** précise les symboles graphiques à utiliser.

Les liaisons se caractérisent par la géométrie **des contacts** et les types de **mouvements possibles** entre pièces. Les rotations et translations indépendantes possibles se nomment les **degrés de libertés**.

Liaisons	Degrés de liberté	Schémas plans sur différentes vues	Schéma en perspective	Mouvement possibles		Exemple
				Rotation	Translation	
Encastrement	0			~~Rx~~ ~~Ry~~ ~~Rz~~	~~Tx~~ ~~Ty~~ ~~Tz~~	
Pivot	1			Rx ~~Ry~~ ~~Rz~~	~~Tx~~ ~~Ty~~ ~~Tz~~	
Glissière	1			~~Rx~~ ~~Ry~~ ~~Rz~~	Tx ~~Ty~~ ~~Tz~~	
Pivot glissant	2			Rx ~~Ry~~ ~~Rz~~	Tx ~~Ty~~ ~~Tz~~	
Hélicoïdale	2			Rx ⟷ Tx ~~Ry~~ ~~Rz~~		
Rotule à doigt	2			~~Rx~~ Ry Rz	~~Tx~~ ~~Ty~~ ~~Tz~~	
Rotule	3			Rx Ry Rz	~~Tx~~ ~~Ty~~ ~~Tz~~	
Appui plan	3			~~Rx~~ Ry ~~Rz~~	Tx ~~Ty~~ Tz	

Linéaire rectiligne	4			~~Rx~~ Ry Rz	Tx ~~Ty~~ Tz	
Linéaire annulaire	4			Rx Ry Rz	~~Tx~~ ~~Ty~~ Tz	
Ponctuelle	5			Rx Ry Rz	Tx ~~Ty~~ Tz	

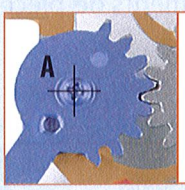
Note :

- Les parties fixes sont accompagnées de ce symbole :  .
- Pour connaître totalement une liaison, il faut donner son centre et/ou ses axes.

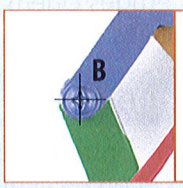
Pour définir les liaisons entre solides, on ne tient compte que des mouvements relatifs entre les deux pièces considérées, on ignore le reste du mécanisme.

APPLICATION 2 Liaisons

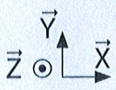
- La pince étant symétrique, on étudie simplement la partie gauche. Trouver les liaisons pour la pince en vous inspirant de l'exemple donné.

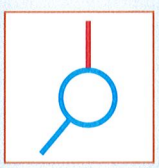


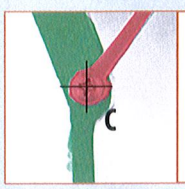
Mouvement de rotation entre la pièce 1 et le corps fixe :
Liaison pivot de centre A d'axe Z



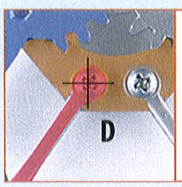
.....
.....
.....







.....
.....
.....



.....
.....
.....

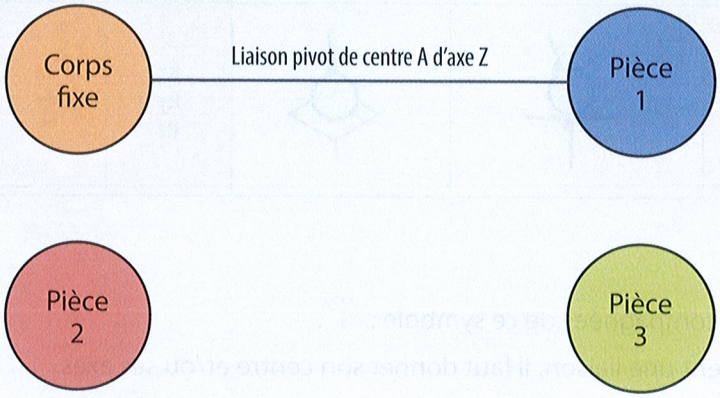
4. Graphe des liaisons

Le **graphe des liaisons** permet de recenser toutes les liaisons mécaniques dans un système.

Par souci de simplification, **des classes d'équivalence** sont utilisées pour les mécanismes avec de nombreuses pièces. Une classe d'équivalence cinématique est un groupe de pièces solidaires pendant le fonctionnement du mécanisme.

APPLICATION 3 Graphe des liaisons

- Compléter le graphe des liaisons suivant avec les liaisons trouvées précédemment.



5. Schéma cinématique

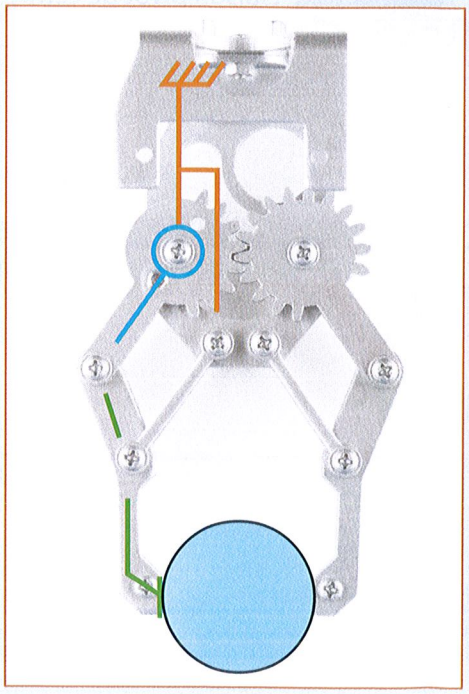
Le **schéma cinématique** permet de représenter l'ensemble du mécanisme. Il comprend les différentes classes d'équivalences (ou groupes de pièces) et les liaisons entre ces classes.

Ces dernières doivent être placées correctement afin de respecter la géométrie du système étudié.

Ce type de schéma permet de faire des études cinématiques portant sur les différents mouvements de pièces (position, vitesse) et les trajectoires associées.

APPLICATION 4 Schéma cinématique

1. Compléter le schéma cinématique ci-contre correspondant à la pince étudiée en insérant les liaisons et en les liant.
2. Tracer ensuite la partie symétrique.



6. Actions mécaniques

Une **action mécanique** exercée sur un objet peut le déformer, modifier son mouvement (trajectoire, vitesse) ou le maintenir en équilibre. Il existe deux actions mécaniques de base :

- les actions **à distance** (champ de pesanteur, champ magnétique,...) ;
- les actions **de contact** (entre deux solides, dans les liaisons,...).

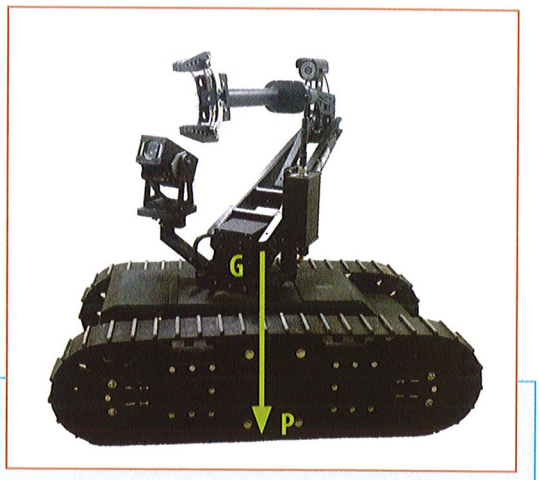
6.1 Force

Une force est une action mécanique représentée par un **vecteur** ayant un point d'application, une direction, un sens, une norme. Son unité est le Newton (**N**).

La **pesanteur** $\vec{P}$ est une action mécanique à distance. Son point d'application est le centre de gravité du solide (G), sa direction verticale, son sens vers le bas et elle se calcule de la manière suivante :

$$P = m \times g$$

avec P poids de l'objet en Newton, m masse de l'objet en kg, g accélération de la pesanteur (souvent prise égale à 9,81 $m.s^{-2}$)



APPLICATION 5 Force de pesanteur

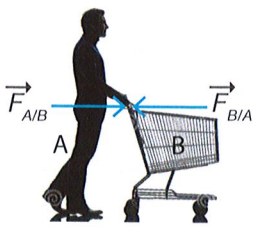
- Calculer le poids de ce robot de masse 54 kg.

.....

6.2 Principe des actions réciproques

Tout corps A exerçant une force sur un corps B subit une force d'égale intensité, de même direction mais de sens opposé, exercée par le corps B.

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$

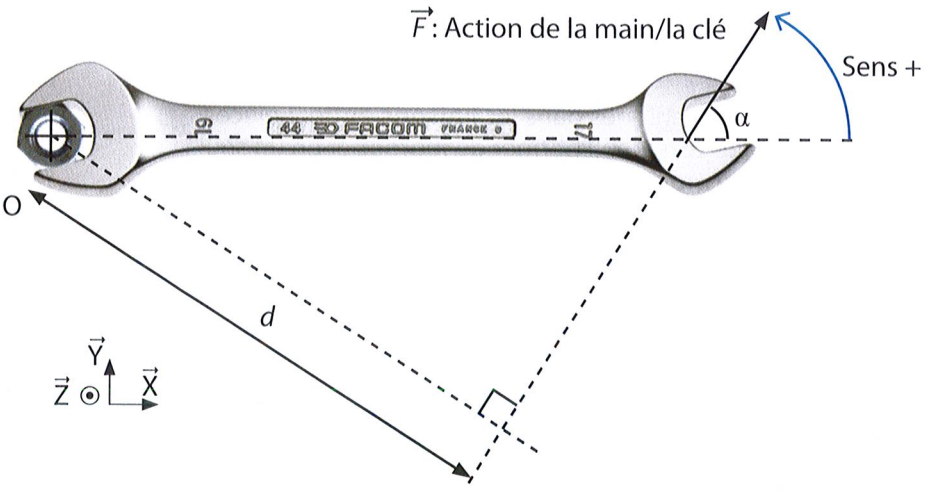


6.3 Moment d'une force

Le **moment d'une force** est une action mécanique tendant à faire tourner une pièce ou un mécanisme. Son unité est le **N.m** (Newton mètre). Il se calcule de la manière suivante.

Moment de la force $\vec{F}$ par rapport au point O :

$||M_{\vec{F}/O}|| = d \times F$ (d est mesurée perpendiculairement à $\vec{F}$)



Remarque : par convention, si la force tend à faire tourner la pièce par rapport au point considéré dans le sens trigonométrique, le moment est positif. Dans le cas contraire, il est négatif.

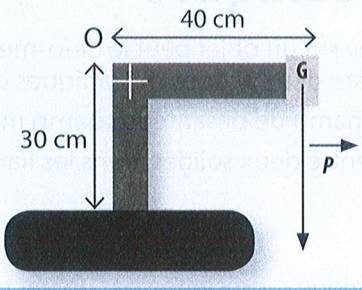
APPLICATION 6 Moment d'une force

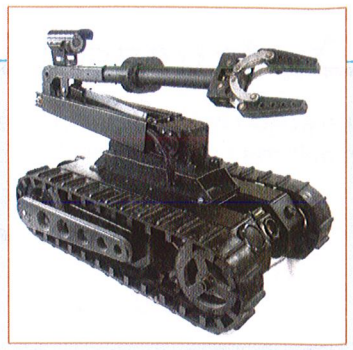
- Si le robot doit porter un objet de 20 kg à bout de bras, quel sera le moment de cette force par rapport au point O ?

.....

.....

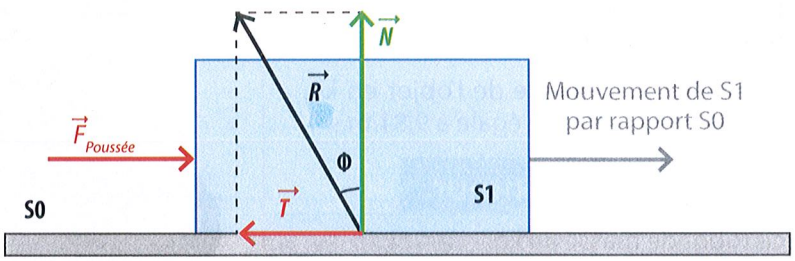
(Ce calcul permettrait de dimensionner le servomoteur dirigeant le bras et de vérifier le non basculement du robot)





6.4 Actions mécaniques de frottement

Lorsque les deux solides sont en mouvement l'un par rapport à l'autre, on parle de **glissement** ou **frottement**.



La force de frottement $\vec{R}$ s'opposant au mouvement a deux composantes $\vec{T}$ et $\vec{N}$: $\vec{R} = \vec{T} + \vec{N}$
avec $N = m \times g$ pour une surface S0 horizontale.

$\vec{R}$ **réaction** du sol sur le solide, $\vec{T}$ composante **tangentielle** au contact, $\vec{N}$ composante **normale** au contact

Le lien entre T et N est donnée par la **loi de Coulomb** : $T = N \times \tan \Phi = N \times f$
avec f **coefficient de frottement**

Exemples de coefficients :

Matériaux	Coefficient de frottement
Acier/acier	0,15
Acier/bronze	0,05
Bronze/bronze	0,2
Pneu/route sèche	0,5

6.5 Torseur

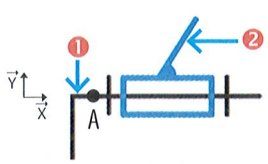
Pour caractériser les actions mécaniques dans les **liaisons** entre 2 pièces, on utilise l'outil mathématique **torseur**. Il permet de regrouper en un seul terme la notion de **force** et de **moment**.

Technique : si un mouvement est possible, alors l'action mécanique correspondante ne peut pas être transmise.

$$\tau = \left\{ \begin{array}{c|c} X & L \\ Y & M \\ Z & N \end{array} \right\}$$

Force transmissible — Moment transmissible

Exemple : Torseur des actions mécaniques transmissibles en A dans une liaison pivot entre deux pièces 1 et 2.

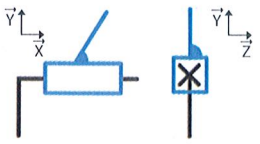
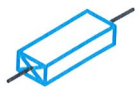
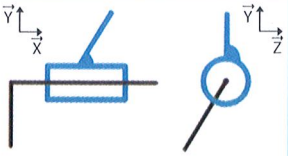
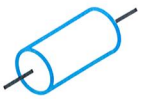
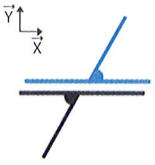
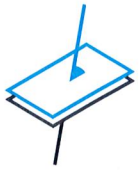


Mouvements possibles	
Rx	~~Tx~~
~~Ry~~	~~Ty~~
~~Rz~~	~~Tz~~

$$\{\tau\}_{A\frac{1}{2}} = \left\{ \begin{array}{c|c} X_{12} & 0 \\ Y_{12} & M_{12} \\ Z_{12} & N_{12} \end{array} \right\}$$

APPLICATION 7 Torseur

- En vous inspirant de l'exemple précédent, remplir le tableau suivant.

Liaisons	Degrés de liberté	Schémas plans sur différentes vues	Schémas en perspective	Mouvements possibles		Actions transmissibles
Glissière	1			~~Rx~~ ~~Ry~~ ~~Rz~~	Tx ~~Ty~~ ~~Tz~~	$\{\tau\} = \left\{ \begin{array}{c\|c} \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots \end{array} \right\}$
Pivot glissant	2			Rx ~~Ry~~ ~~Rz~~	Tx ~~Ty~~ ~~Tz~~	$\{\tau\} = \left\{ \begin{array}{c\|c} \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots \end{array} \right\}$
Appui plan	3			~~Rx~~ Ry ~~Rz~~	Tx ~~Ty~~ Tz	$\{\tau\} = \left\{ \begin{array}{c\|c} \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots \end{array} \right\}$

7 Principe fondamental de la statique

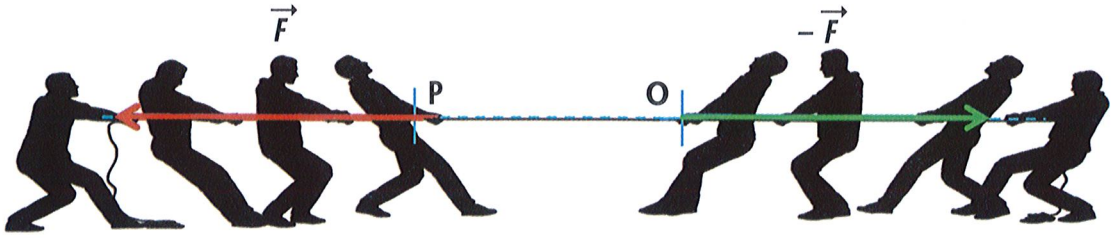
Si un solide est en équilibre, on peut appliquer le principe fondamental de la statique **(PFS)** au solide isolé :

- La **somme vectorielle des forces** s'exerçant sur le solide est **nulle.**
- La **somme des moments des forces** s'exerçant sur le solide en un même point est **nulle.**

Pour un problème plan, graphiquement, cela se traduit par les conclusions suivantes.

7.1 Solide en équilibre soumis à deux forces

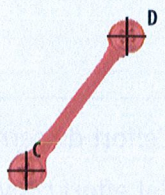
Les deux forces ont la **même norme**, la **même direction** et sont de **sens opposés**.



APPLICATION 8 Solide soumis à deux forces

1. La pièce 2 est isolée. Effectuer le bilan des actions mécaniques extérieures à 2.

Nom	Point d'application	Direction	Sens	Norme
$\vec{C}_{3/2}$				
$\vec{D}_{0/2}$				

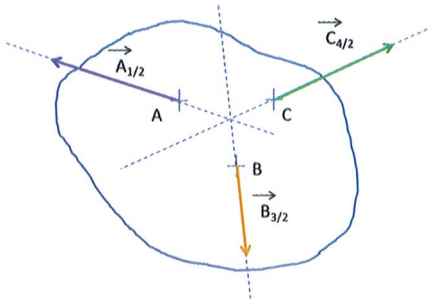


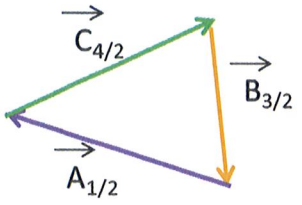
2. En appliquant le PFS, déduire la direction des actions mécaniques et la tracer sur la photo ci-dessus.

.....

7.2 Solide en équilibre soumis à trois forces

Les trois forces sont **concourantes** (elles se croisent en un même point) et leur **somme vectorielle est nulle** (le triangle formé par ces forces est fermé).



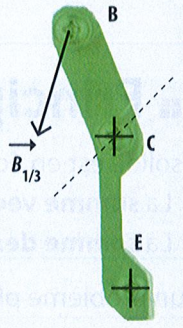


Remarque : dans la pratique, on isole d'abord les solides soumis à 2 forces pour définir leur direction puis ensuite les solides soumis à 3 forces pour déterminer leur sens et leur norme.

APPLICATION 9 Solide soumis à trois forces

1. La pièce 3 est isolée. L'effort $\overrightarrow{B_{1/3}}$ du au servomoteur est de 25 N. Les forces sont concourantes en un point I. Effectuer le bilan des actions mécaniques extérieures à 2.

Nom	Point d'application	Direction	Sens	Norme
$\overrightarrow{B_{1/3}}$	B	BI	Vers le bas	25 N



2. En appliquant le PFS, trouver le point de concours I des actions mécaniques puis leurs valeurs. Finir de compléter le tableau d'une couleur différente avec vos résultats.

Triangle des forces :

3. L'effort de serrage est de : .....

4. Cet effort convient-il ? .....

5. Remplir les cases grisées de l'**Application 8** .....

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 9

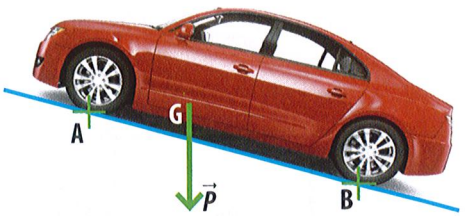
TD

COMPORTEMENT MÉCANIQUE DES SYSTÈMES MÉCATRONIQUES

Activité 1. Véhicule en stationnement

Une voiture de masse 1 200 kg est stationnée dans une rue en pente. Le frein à main agit sur les roues arrière, les roues avant sont libres. L'action transmise par le sol en A ne peut être que perpendiculaire à la route).

- En appliquant le principe fondamental de la statique au véhicule, trouver les actions mécaniques en A.



.....

.....

.....

.....

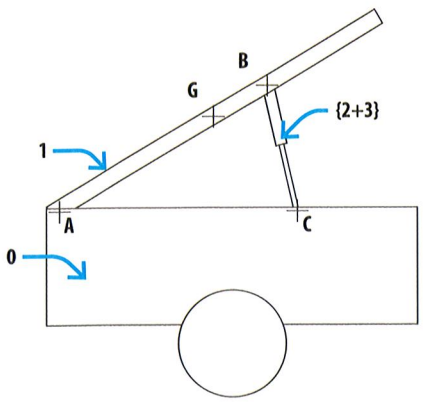
.....

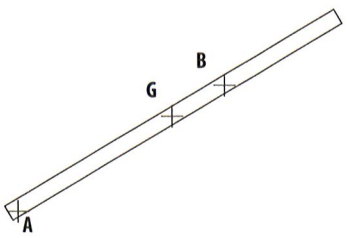
.....

Triangle des forces

Activité 2 - Remorque solaire

La remorque ci-dessous permet d'accéder à l'énergie électrique dans des lieux isolés grâce aux panneaux solaires intégrés. Un vérin pneumatique aide au soulèvement du panneau solaire et à son maintien en position. La masse du panneau solaire est de 18 kg.







1. Isoler le système {2+3} et en appliquant le PFS, trouver les directions des actions mécaniques appliquées sur cet ensemble.

.....

.....

2. Isoler 1 et en appliquant le PFS, trouver les actions mécaniques appliquées sur cet ensemble.

.....

.....

Triangle des forces

3. Donner l'effort que doit fournir le vérin pour le maintien en position.

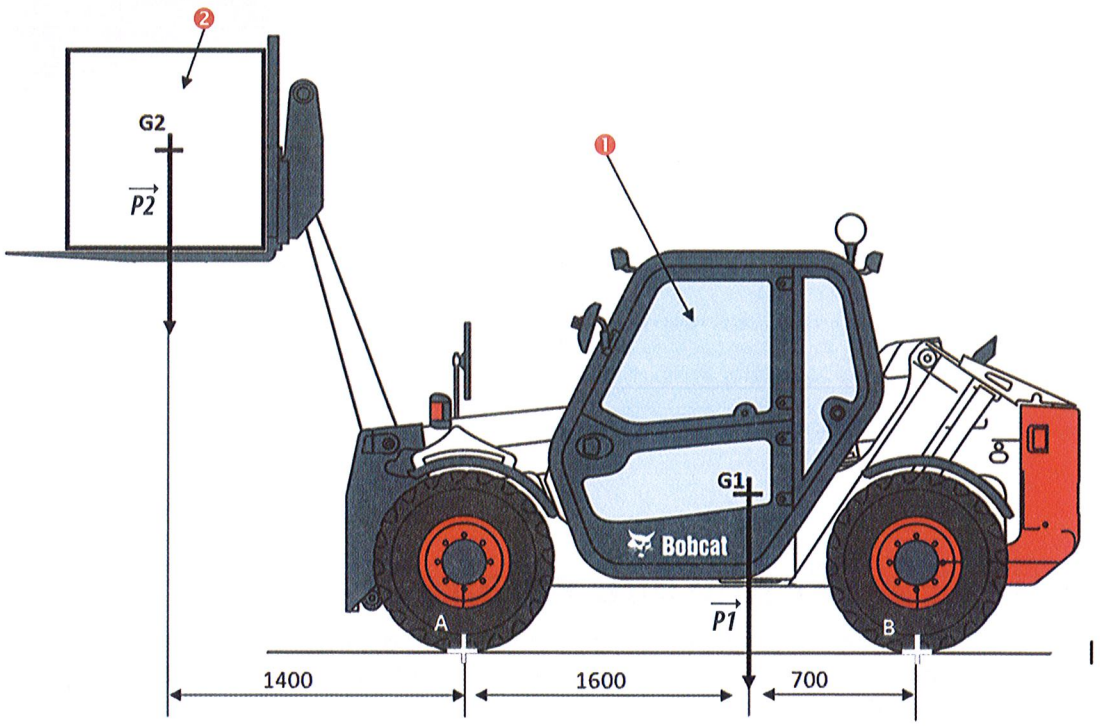
.....

.....

Activité 3 - Tractopelle

Un tractopelle permet de soulever des charges. Sa masse à vide est de 4 700 kg. Le poids est appliqué en G1, centre de gravité du tractopelle.

Il soulève une charge m_2 dont le centre de gravité est en G2.



Afin de vérifier le non basculement de l'engin vers l'avant, il faut se placer à la limite de l'équilibre. Il n'y aura donc pas d'action en B.

1. Calculer le moment de $\overrightarrow{P2}$ en A.

.....

2. Calculer le moment de $\overrightarrow{P1}$ en A.

.....

3. Si le système est en équilibre, la somme de ces moments en A vaut 0. Que vaut alors la charge maximale m_2 que l'on peut soulever dans cette position ?

.....

.....

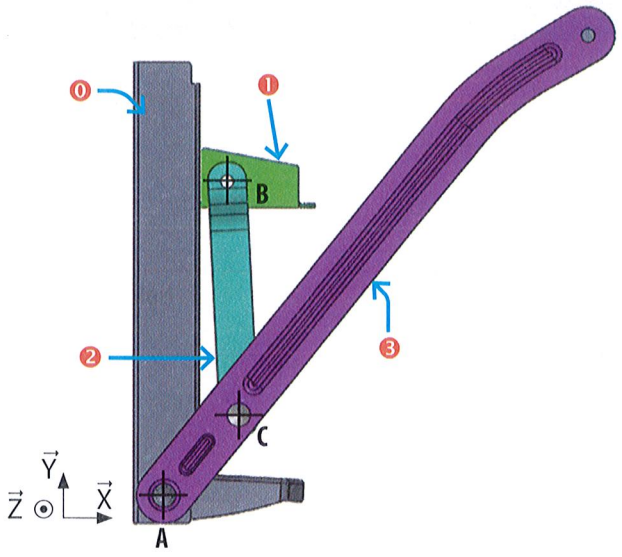
Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 3 — ÉTUDE DE CAS

ÉTUDE CINÉMATIQUE

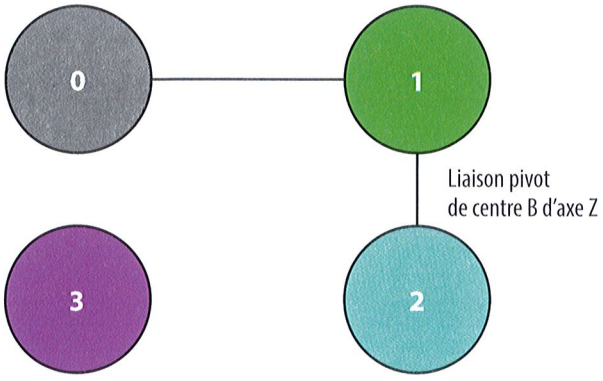
Problématique : Étudier un produit permettant le compactage des canettes avant leur tri et recyclage. Ce produit permet de gagner de la place dans les poubelles et d'économiser du carburant lors du transport de déchets.



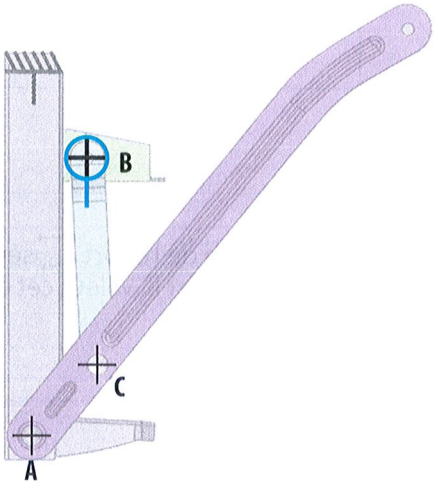


1. Graphe des liaisons et schéma cinématique

1. Compléter le graphe des liaisons suivant.



2. Compléter le schéma cinématique ci-contre en insérant les liaisons et en les liant.



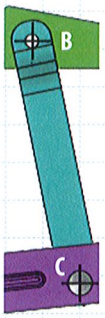
2. Étude des actions mécaniques

L'objectif est de trouver la force disponible sur la canette, dans une position donnée du mécanisme. Les ergonomes conseillent une force de poussée limite vers le bas à hauteur des coudes de 287 N. Cette force est verticale, dirigée vers le bas.

1. **Isolement de la partie 2 :** faire le bilan des actions mécaniques extérieures à la partie 2. En appliquant le PFS, trouver la direction des actions mécaniques.

Nom	Point d'application	Direction	Sens	Norme
$\overrightarrow{B_{1/2}}$	B			

Isolement de 2



2. **Isolement de la partie 3 :** faire le bilan des actions mécaniques extérieures à la partie 3. En appliquant le PFS, trouver la direction des actions mécaniques et leurs valeurs.

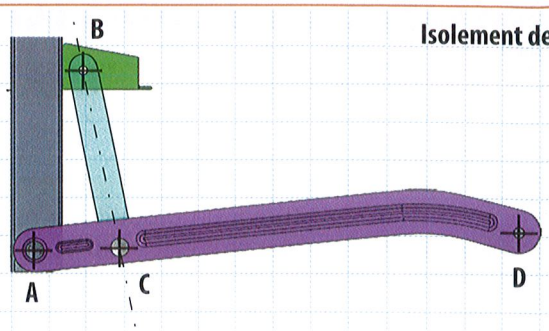
Nom	Point d'application	Direction	Sens	Norme
$\overrightarrow{C_{2/3}}$	C			

3. La partie verticale de l'effort $\overrightarrow{B_{2/1}}$ sera l'effort présent sur la canette. Quelle est la valeur cet effort?

.....

.....

Isolement de 3



Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

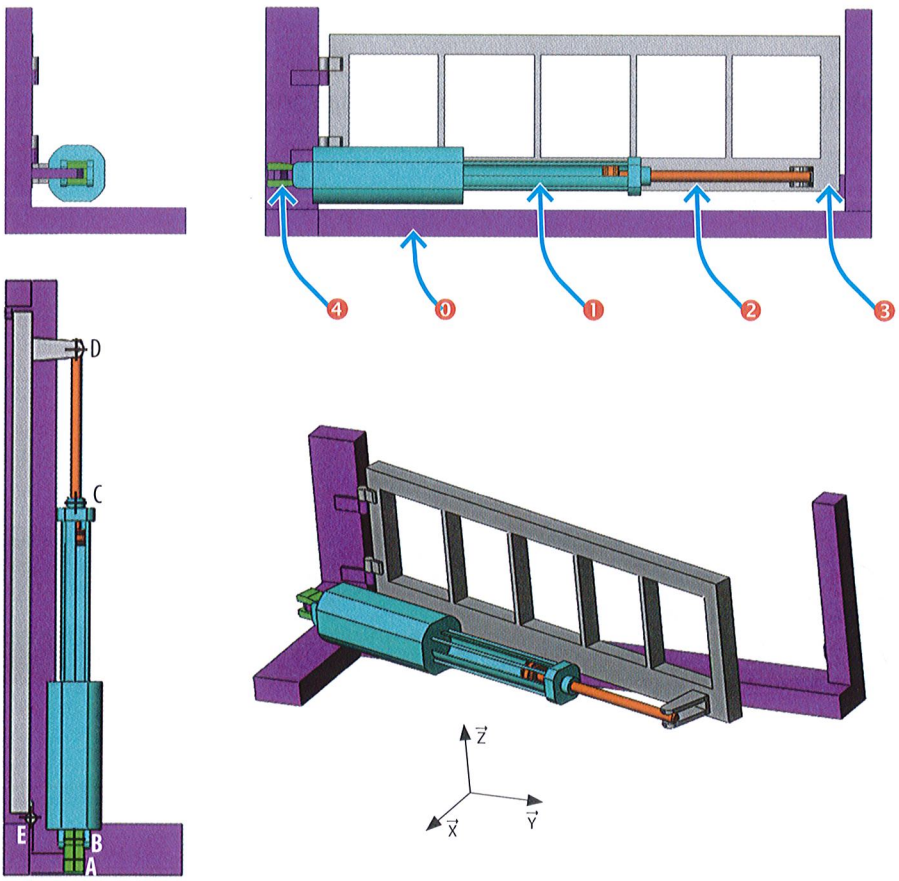
SÉQUENCE 9

INVESTIGATION 1

SCHÉMA CINÉMATIQUE

Problématique : Tracer la chaîne cinématique d'un portail et vérifier que la norme anti-pincement est bien respectée.

Plans de l'ouvre portail

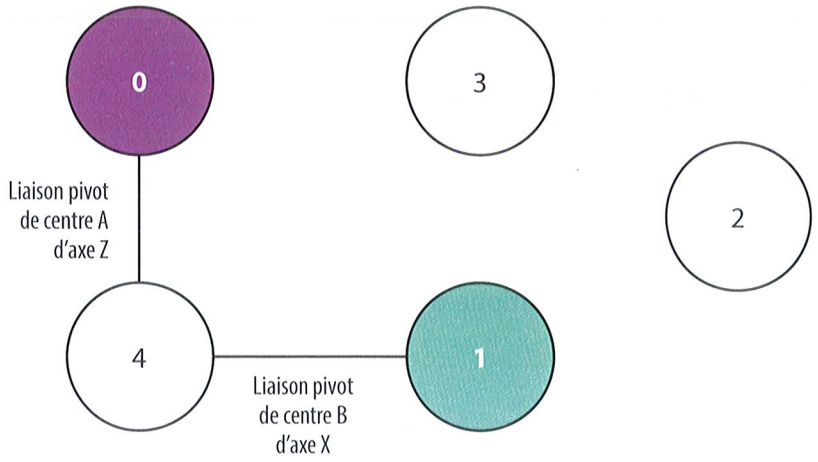


1. Schéma cinématique

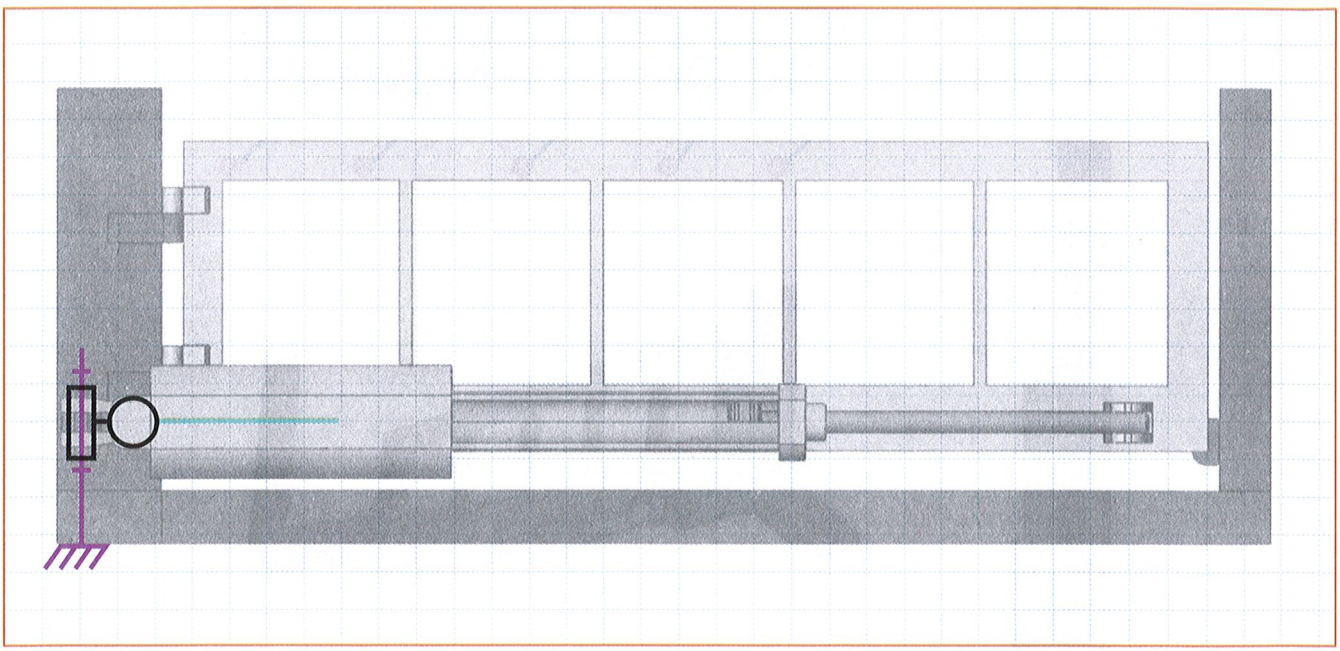
1. Compléter le tableau de liaisons suivant (couleurs et liaisons).

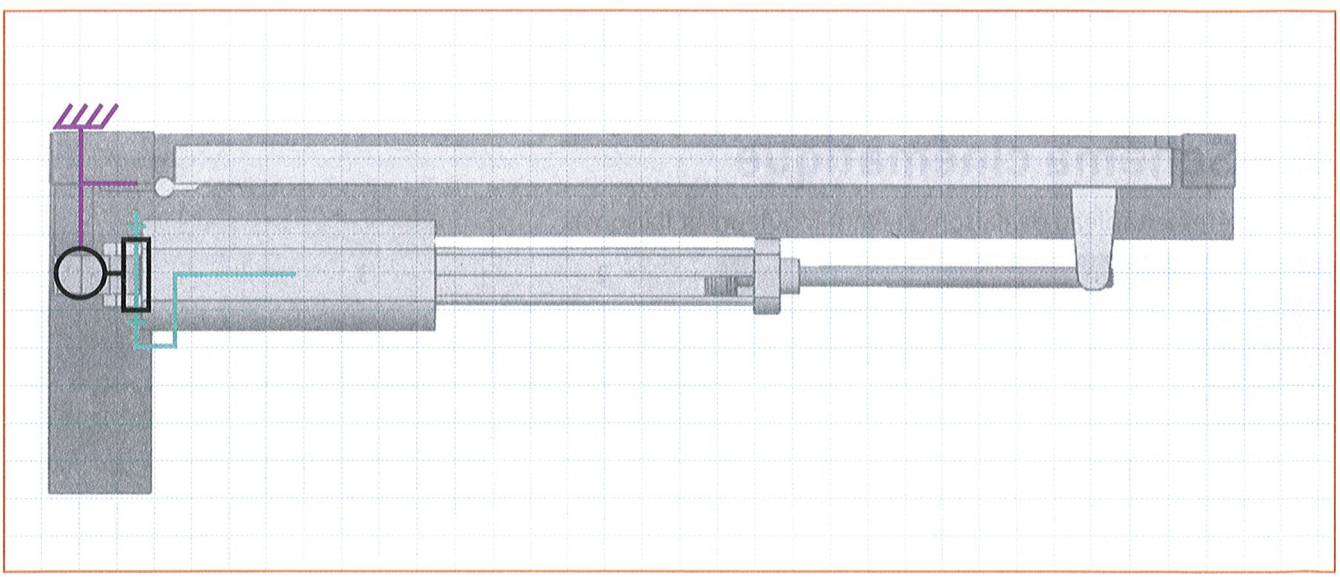
Pièces	0	1	2	3	4
0					
1					
2	Pas de contact				
3					
4	Liaison pivot de centre A d'axe Z				

2. À partir de ce tableau, compléter le graphe des liaisons suivant (couleurs et liaisons).



3. Compléter les schémas cinématiques à partir du graphe des liaisons.



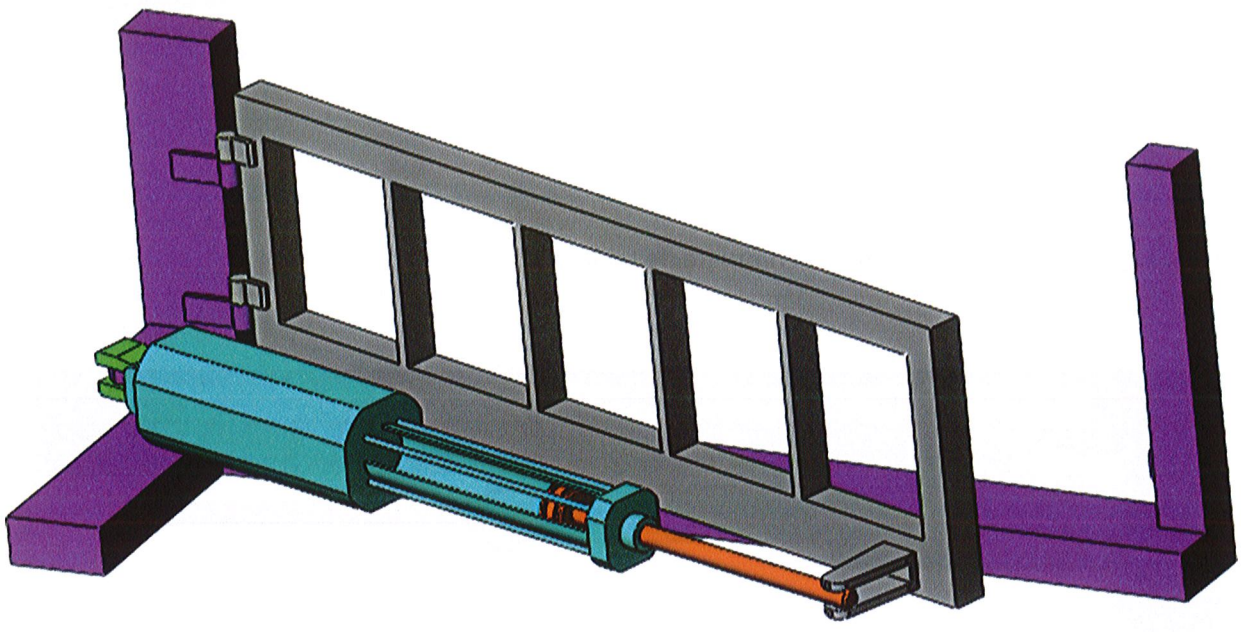


2. Mouvement du portail

Le vérin à un diamètre de piston de 40 mm. La pression d'alimentation de l'huile est de 11 bars.

1. Lorsque le portail se ferme, le vérin entre-t-il ou sort-il ? .....

2. Montrer par des flèches sur le schéma ci-dessous le mouvement du portail et de la tige du vérin.



3. Colorier en rouge la partie du vérin sous pression.

4. Colorier en bleu la partie du vérin à l'échappement.

5. Calculer l'effort $\overrightarrow{D_{2/3}}$ disponible en bout de tige du vérin et appliqué au vantail.

.....

.....

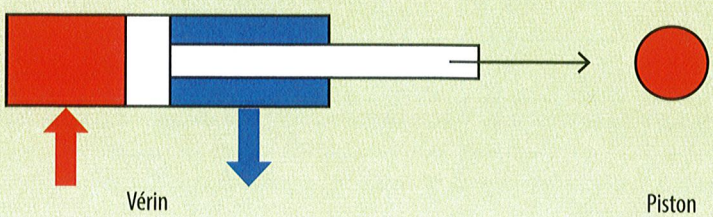
.....

Aide : Dans ce cas, le calcul utilisé sera $F = P \times S$

avec : F : effort de sortie de tige en Newton

P : pression en Pa (1 bar = 10^5 Pa)

S : surface du piston où s'applique l'huile en m^2



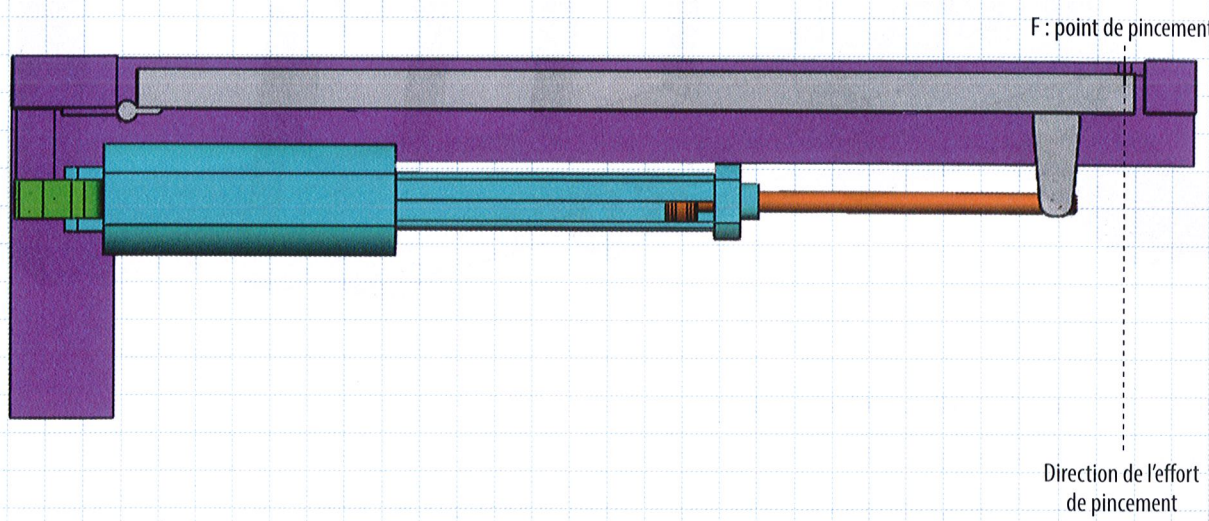
3. Norme anti-pincement

La norme anti-pincement impose un effort de pincement inférieur à 150 N. Vous allez vérifier par une étude graphique si la norme est respectée. Pour le vérin, prendre un effort de 1 400 N.

1. Isoler le vantail 3. Faire le bilan des actions mécaniques extérieures en complétant le tableau suivant.

Effort	Point d'application	Direction	Sens	Norme
$\overrightarrow{D_{2/3}}$	D	(CD)		1 400 N

2. Appliquer le PFS au vantail 3 et finir de compléter le tableau.



Tracé des directions des efforts

Tracé du triangle des forces
Échelle : 1 cm <-> 100 N

3. La norme est-elle respectée ? .....

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 2

INVESTIGATION 2

TYPOLOGIE DES LIAISONS

Les liaisons mécaniques étudiées en cours sont des **modélisations**. Elles sont utiles pour la conception ou pour étudier le comportement d'un système. Pour les étapes de prototypage et de réalisation du produit, il faut construire concrètement ces liaisons. Plusieurs choix sont alors possibles.

Vous allez faire une recherche sur les différentes solutions constructives des liaisons. Pour chaque type de liaison :

- Identifier au lycée un ou des systèmes comprenant cette liaison et prendre des photos.
- Utiliser Internet pour chercher des photos sur des systèmes ou liaisons non présents dans la salle.
- Constituer un tableau recensant toutes les liaisons rencontrées et leurs applications.

1. Liaison pivot

Pour chacune des liaisons, donner les **avantages** et **inconvénients** (penser aux frottements, au prix, à la mise en place,...).

Liaison	Symbole	Solution trouvée	Système	Photos dans le mécanisme	Photo hors mécanisme
Pivot		Par contact direct	Voiture radiocommandée		
		Par roulement à billes	Roller Gyropode		

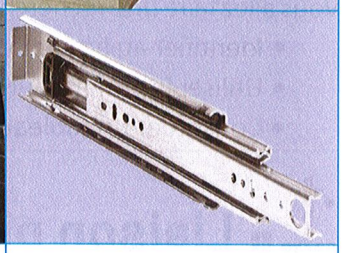
Avantages : .....

.....

Inconvénients : .....

.....

2. Liaison glissière

Liaison	Symbole	Solution trouvée	Système	Photos dans le mécanisme	Photo hors mécanisme
Glissière		Par contact direct	Tiroir		
		Par glissière à billes	Tiroir		

Avantages : .....

.....

Inconvénients : .....

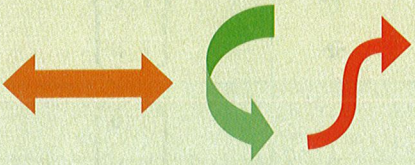
.....

SÉQUENCE 9 SYNTHÈSE

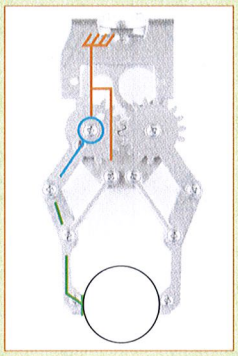
CE QU'IL FAUT RETENIR DE LA SÉQUENCE

1. Mouvements et action mécaniques

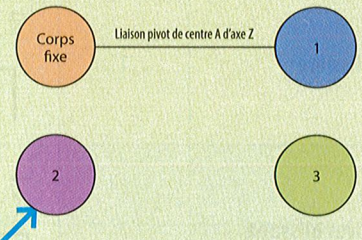
Différents **types de mouvements** existent : la translation, la rotation, les mouvements plans,…

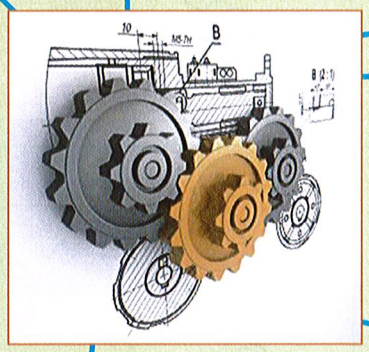


Le **schéma cinématique** permet de décrire un mécanisme à partir des liaisons



Le **graphe des liaisons** recense les liaisons entre classes d'équivalence





Les **liaisons normalisées** sont construites à partir des mouvements et surfaces de contact entre pièces



ÉTUDE DES ACTIONS MÉCANIQUES

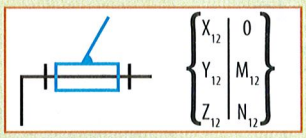
Les **actions mécaniques de base** sont les actions à distances (comme le poids) et les actions de contact (comme dans les liaisons)

Pesanteur

$P = m \times g$ $\quad \vec{P}$

Moment de $\vec{F}$ en O

$||M_{\vec{F}/O}|| = ||\vec{F}|| \times \vec{d}$



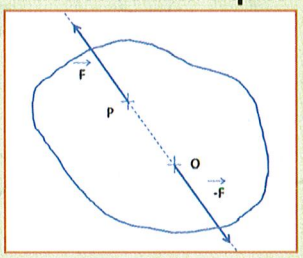
$\begin{Bmatrix} X_{12} & 0 \\ Y_{12} & M_{12} \\ Z_{12} & N_{12} \end{Bmatrix}$

Torseur d'actions transmissibles dans une liaison

Principe fondamental de la statique (PFS)

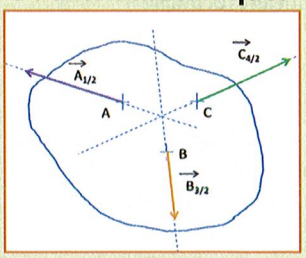
PFS pour un solide en équilibre soumis à :

2 actions mécaniques



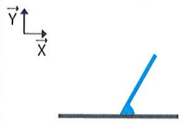
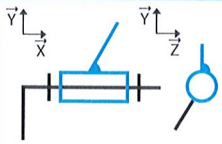
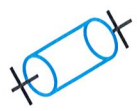
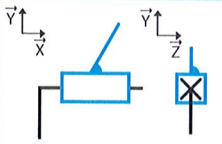
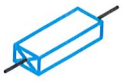
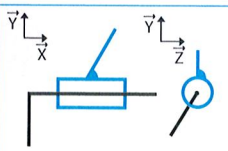
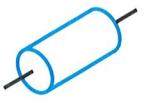
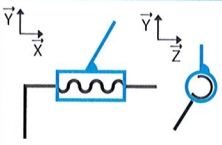
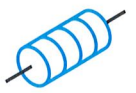
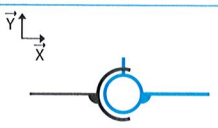
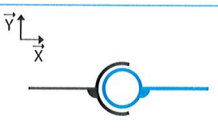
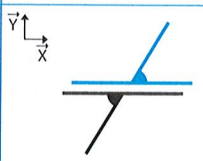
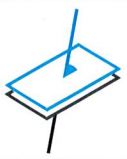
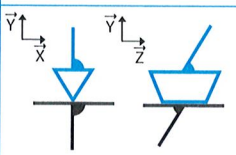
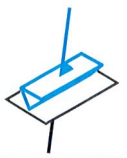
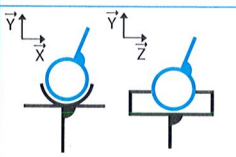
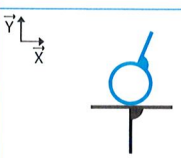
Les actions ont :
- même norme,
- même direction,
- des sens opposés.

3 actions mécaniques



Les actions se croisent en un même point et le triangle des forces est fermé.

2. Liaisons issues de la norme ISO 3952

Liaisons	Degrés de liberté	Schémas plans sur différentes vues	Schéma en perspective	Mouvement possibles		Actions transmissibles
				Rotation	Translation	
Encastrement	0			~~Rx~~ ~~Ry~~ ~~Rz~~	~~Tx~~ ~~Ty~~ ~~Tz~~	$\begin{Bmatrix} X & L \\ Y & M \\ Z & N \end{Bmatrix}$
Pivot	1			Rx ~~Ry~~ ~~Rz~~	~~Tx~~ ~~Ty~~ ~~Tz~~	$\begin{Bmatrix} X & 0 \\ Y & M \\ Z & N \end{Bmatrix}$
Glissière	1			~~Rx~~ ~~Ry~~ ~~Rz~~	Tx ~~Ty~~ ~~Tz~~	$\begin{Bmatrix} 0 & L \\ Y & M \\ Z & N \end{Bmatrix}$
Pivot glissant	2			Rx ~~Ry~~ ~~Rz~~	Tx ~~Ty~~ ~~Tz~~	$\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y & M \\ Z & N \end{Bmatrix}$
Hélicoïdale	2			Rx ~~Ry~~ ~~Rz~~	Tx ~~Ty~~ ~~Tz~~	$\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y & M \\ Z & N \end{Bmatrix}$
Rotule à doigt	3			~~Rx~~ Ry Rz	~~Tx~~ ~~Ty~~ ~~Tz~~	$\begin{Bmatrix} X & L \\ Y & 0 \\ Z & 0 \end{Bmatrix}$
Rotule	3			Rx Ry Rz	~~Tx~~ ~~Ty~~ ~~Tz~~	$\begin{Bmatrix} X & 0 \\ Y & 0 \\ Z & 0 \end{Bmatrix}$
Appui plan	3			~~Rx~~ Ry ~~Rz~~	Tx ~~Ty~~ Tz	$\begin{Bmatrix} 0 & L \\ Y & 0 \\ 0 & N \end{Bmatrix}$
Linéaire rectiligne	4			~~Rx~~ Ry Rz	Tx ~~Ty~~ Tz	$\begin{Bmatrix} 0 & L \\ Y & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}$
Linéaire annulaire	4			Rx Ry Rz	~~Tx~~ ~~Ty~~ Tz	$\begin{Bmatrix} X & 0 \\ Y & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}$
Ponctuelle	5			Rx Ry Rz	Tx ~~Ty~~ Tz	$\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}$

SÉQUENCE 10 LEÇON

CHAÎNE D'ÉNERGIE

LIAISON RÉFÉRENTIEL

- 2.1.1 Organisation fonctionnelle d'une chaîne d'énergie ;
- 2.3.1 Modèles de comportement ;
- 2.3.5 Comportement énergétique des systèmes - Conservation d'énergie, pertes et rendements ;
- 3.2.1 Transformateurs et modulateurs d'énergie associés.

1. Situation déclenchante

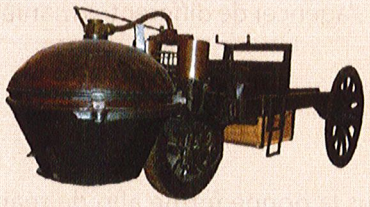
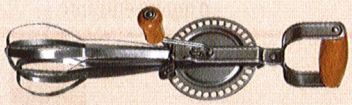
Le type d'énergie utilisée par les appareils de la vie courante a changé au cours du temps. Pour éviter les pertes inutiles et avoir une bonne efficacité énergétique, l'énergie doit être utilisée et contrôlée au mieux.

1. Pour chacun des produits ci-dessous, indiquer, sous la photo, l'énergie utilisée.
2. Pour chaque type de produit du tableau, indiquer les principales évolutions techniques.

Voiture : .....

Mixeur : .....

Aspirateur : .....

Voiture à vapeur - 1771	Voiture à essence - 1949	Voiture électrique - 2012
		
.....	.....	.....
Batteur - 19e siècle	**Robot - 1973**	**Robot connecté - 2014**
		
.....	.....	.....
Aspirateur à manivelle - 1869	**Aspirateur électrique - 1970**	**Aspirateur autonome - 2014**
		
.....	.....	.....

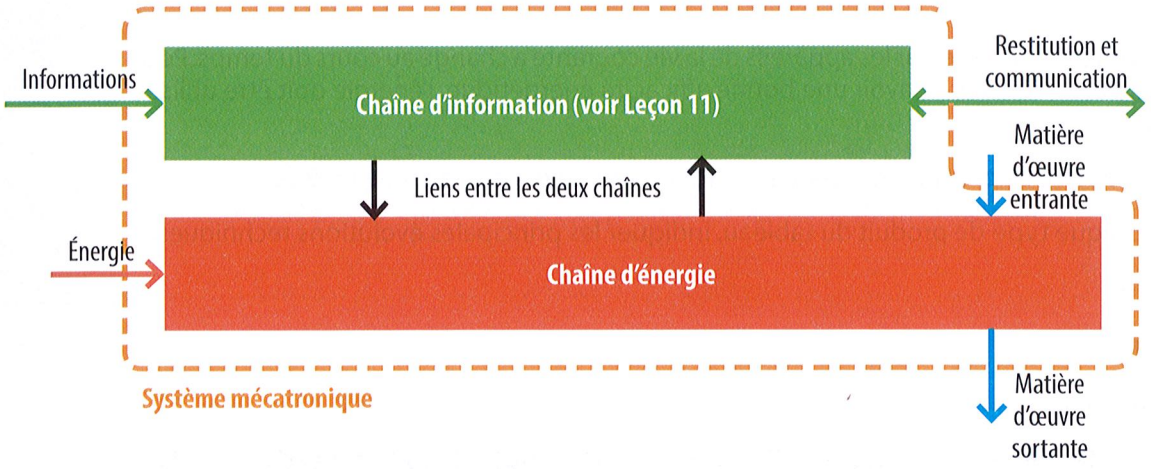
Conclusion : Les systèmes récents mêlent des parties mécaniques, électroniques et informatiques. Quel intérêt cela apporte-t-il ? .....

2. Systèmes mécatroniques

Les systèmes **mécatroniques** sont des systèmes mêlant des parties **mécaniques**, **électroniques** et **informatiques** et des **structures de contrôle** afin d'augmenter et d'optimiser leur fonctionnalités. Ils concernent tous les domaines (robotique, aérospatiale, transport, électroménager, loisirs,...).

Ce chapitre permettra d'étudier les systèmes **mono-source**.

La pluparts des systèmes mécatroniques peuvent être modélisés sous la forme d'une **chaîne d'énergie** et d'une **chaîne d'information**.

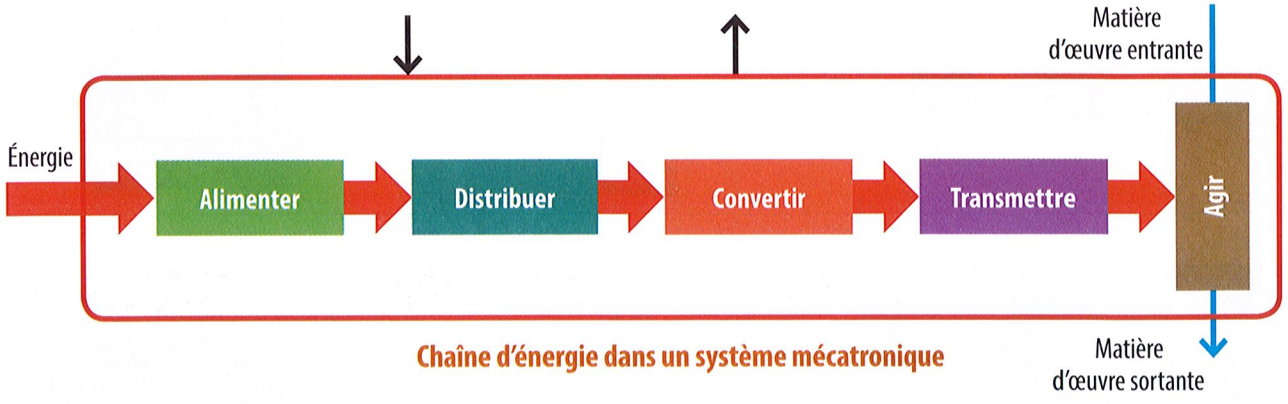


Ces chaînes sont composées de **blocs fonctionnels** élémentaires qui peuvent s'agencer de différentes manières.

3. Chaîne d'énergie

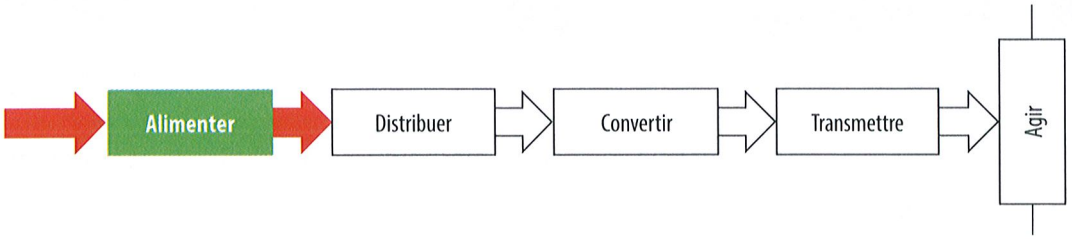
La chaîne d'énergie permet d'amener l'énergie en quantité suffisante et sous la bonne forme afin de réaliser **l'action désirée**.

Elle est constituée de blocs dont les plus courants sont : **Alimenter, Distribuer, Convertir, Transmettre**.



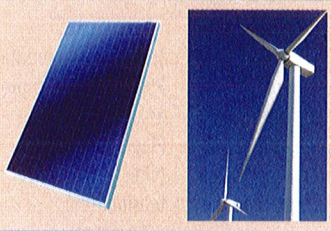
Chaîne d'énergie dans un système mécatronique

3.1 Fonction Alimenter

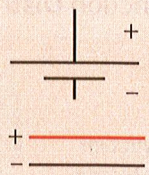


Ce bloc indique comment le système est alimenté en énergie.

Les éléments les plus courants sont les suivants.

	Photo	Fonction détaillée	Caractéristiques	Symboles
Réseau EDF		**Alimenter** en énergie électrique	Courant alternatif triphasé ❶ (400 V entre 2 phases, 230 V entre phase et neutre) ou monophasé ❷ (230 V) - fréquence 50 Hz	❶ L1 L2 L3 N PE ❷ L N PE
Réseau pneumatique ou hydraulique		**Alimenter** en énergie pneumatique (air) ou hydraulique (huile, eau)	Pression P (en Pa), débit Q (en m^3/s)	
Énergies renouvelables		**Alimenter localement** en énergie électrique à partir d'énergie solaire ou éolienne	Tension U (en V) et puissance nominale P (en W)	
Groupe électrogène		**Alimenter localement** en énergie électrique à partir d'une énergie fossile	Tension U (en V) et puissance nominale P (en W)	

Le bloc **Alimenter** peut aussi comporter un bloc **Stocker** si le système admet un stockage de l'énergie.

Batterie		**Alimenter** en énergie électrique préalablement **stockée**	Tension U (en V) et capacité (en Ah) Courant continu	

APPLICATION 1 Fonction Alimenter

- Par quels moyens sont alimentés les systèmes suivants ?



a) Mixeur sans fil

.....



b) Lampe de poche solaire

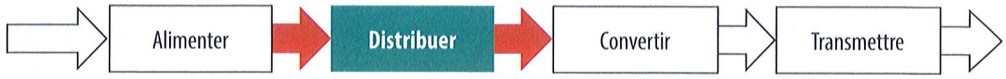
.....



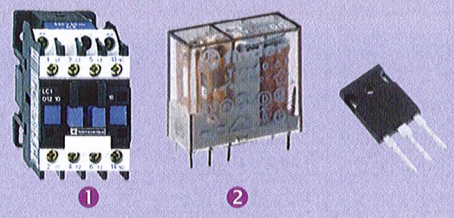
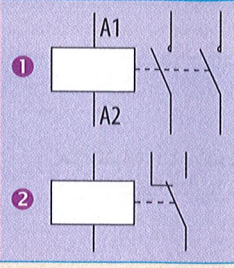
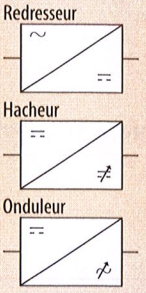
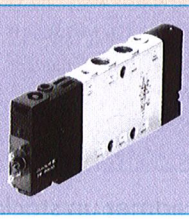
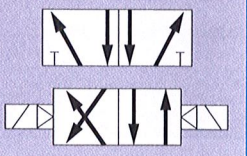
c) Ventilateur

.....

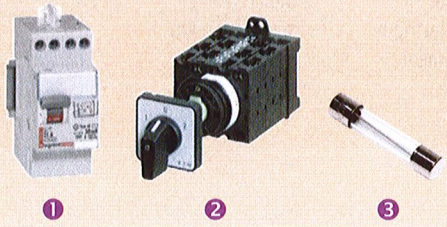
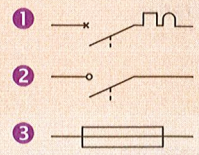
3.2 Fonction Distribuer



Ce bloc explique comment l'énergie est distribuée à l'actionneur (bloc Convertir). Suivant les ordres de la chaîne d'information, il distribue l'énergie sous la forme qui convient. Les éléments les plus courants sont les suivants.

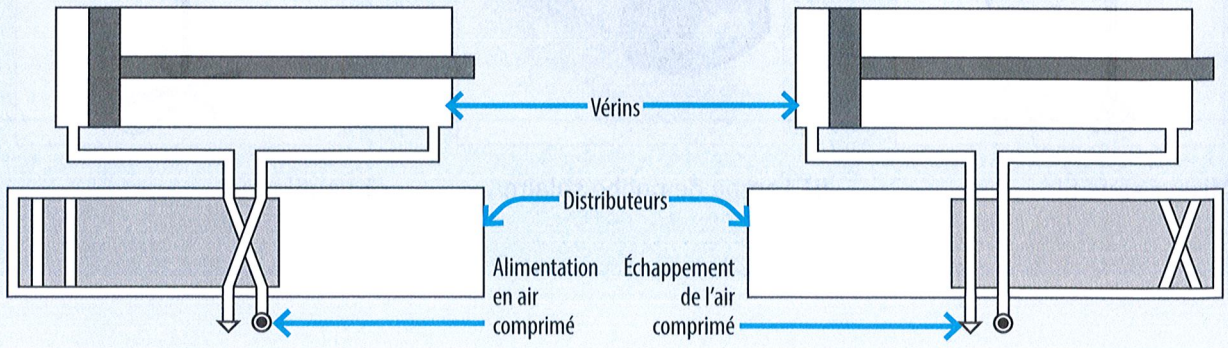
	Photo	Fonction détaillée	Caractéristiques	Symboles
Contacteur, relais et composants électroniques	 ❶ ❷	**Distribuer** l'énergie électrique à partir d'un ordre de la chaîne d'information	Nombre de contacts et leurs positions Tension et intensité assignés Tension de bobine	
Modulateur		**Moduler** l'énergie électrique (peut comporter un redresseur, un onduleur, un hacheur,...) afin d'alimenter un récepteur électrique avec l'énergie adéquate	Tension d'alimentation Puissance du récepteur associé Plage de variation (vitesse, fréquence, tension, ...)	
Distributeur pneumatique		**Distribuer** l'énergie pneumatique aux bons éléments au bon moment	Nombre d'orifices et de positions Type de commande	

La fonction **Distribuer** peut comporter un bloc **Protéger**.

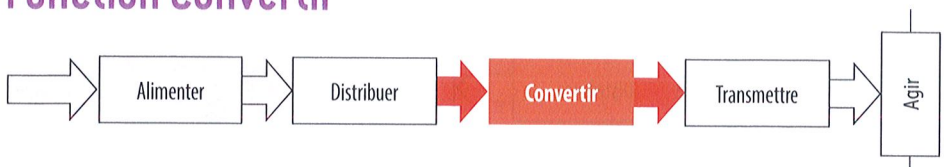
Interrupteur et protection	 ❶ ❷ ❸	**Distribuer** l'énergie électrique et assurer la **protection** des biens et des personnes	Nombre de pôles Intensité nominale Seuil de déclenchement	 ❶ ❷ ❸

APPLICATION 2 Fonction Distribuer

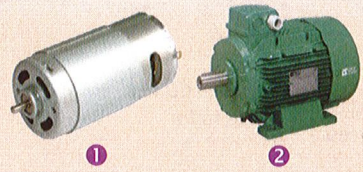
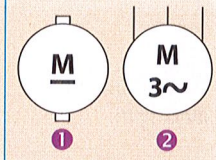
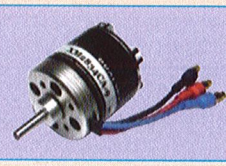
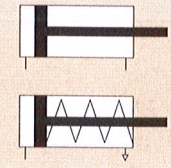
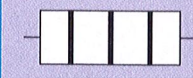
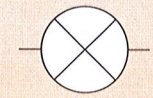
1. Pour les deux positions de distributeur pneumatique suivantes, dessiner le trajet de l'air sous pression en **rouge** et de l'air à l'échappement en **bleu**.
2. Indiquer par une flèche sur le vérin s'il va vers la droite ou vers la gauche.



3.3 Fonction Convertir



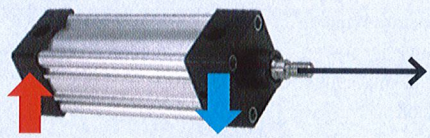
Ce bloc décrit comment l'énergie est convertie d'une forme à une autre dans le système. Les éléments les plus courants sont les suivants.

	Photo	Fonction détaillée	Caractéristiques	Symboles
Moteur électrique à courant continu ou à courant alternatif	 ❶ ❷	**Convertir** l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation	Alimentation, fréquence de rotation en tour/min et couple	 ❶ ❷
Moteur brushless		**Convertir** l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation à des vitesses élevées	Alimentation, fréquence de rotation en tour/min et couple	
Vérin pneumatique ou hydraulique		**Convertir** l'énergie pneumatique ou hydraulique en énergie mécanique de translation	Diamètre et course en mm	
Résistance de chauffage		**Convertir** l'énergie électrique en chaleur par effet Joule	Puissance *P* et tension d'alimentation *U*	
Ampoule		**Convertir** l'énergie électrique en lumière	Puissance *P*, tension d'alimentation *U* et éclairement	

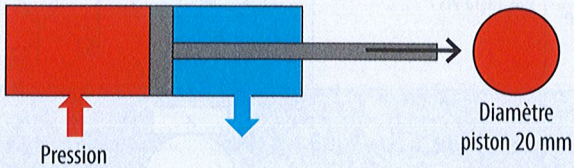
Note : Il existe aussi d'autres convertisseurs comme les ventilateurs, les pompes, les compresseurs,…

APPLICATION 3 Vérin

Pour le vérin suivant :



1. Calculer la force exercée lors de la sortie de la tige, sachant que $P = \frac{F}{S}$ avec *P* pression d'alimentation en Pa, *F* force exercée en N, *S* surface sur laquelle s'applique la pression en m².

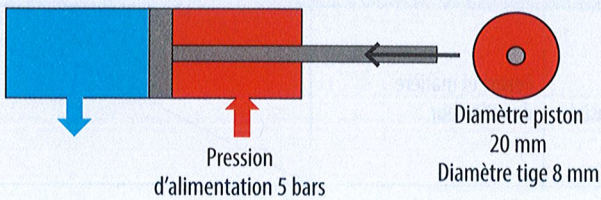


.....

.....

.....

2. Calculer la force exercée lors de la rentrée de la tige.

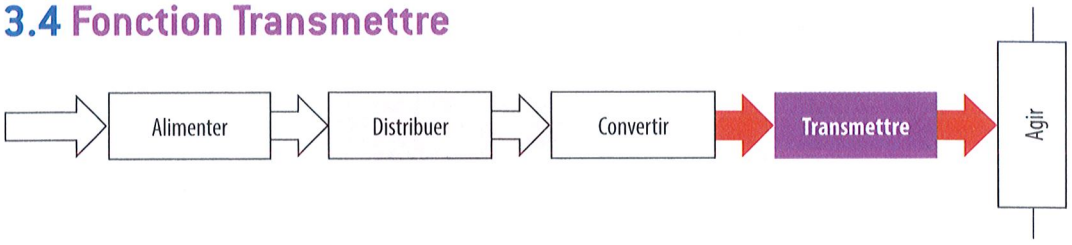


.....

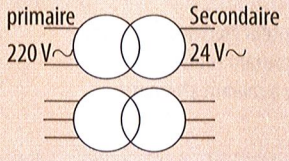
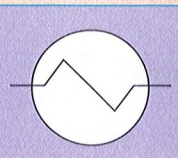
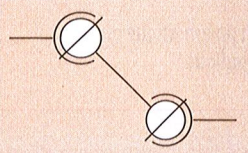
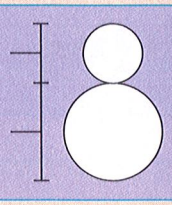
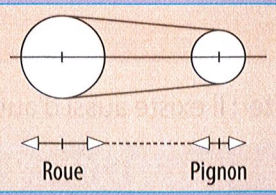
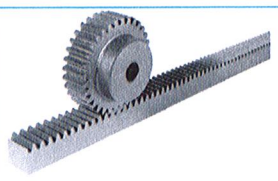
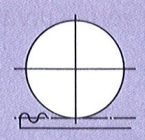
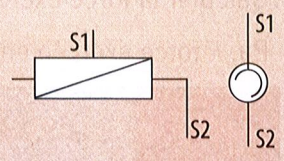
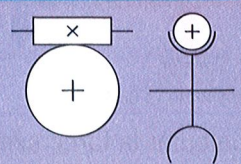
.....

.....

3.4 Fonction Transmettre



Ce bloc explique comment l'énergie fournie par l'actionneur est transmise au système. Les éléments les plus courants sont les suivants.

	Photo	Fonction détaillée	Caractéristiques	Symboles
Transformateur électrique		**Adapter** l'énergie électrique en modifiant sa tension et son intensité	Tensions d'entrée et de sortie	
Échangeur thermique		**Transmettre** la chaleur d'un fluide à un autre sans aucun contact entre les deux	Débit en m^3/h Surface d'échange en m^2	
Accouplement permanent ou non		**Transmettre** la vitesse et le couple entre deux arbres	Angle ou décalage entre les axes	
Engrenage droit et à axes parallèles		**Adapter** l'énergie mécanique en modifiant sa vitesse et son couple	Nombre de dents *Z* Diamètres primitifs *D*	
Chaîne		**Adapter** l'énergie mécanique en modifiant sa vitesse et son couple	Diamètres primitifs des deux roues *D1* et *D2*	
Pignon crémaillère		**Transformer** l'énergie mécanique de rotation en énergie mécanique de translation	Diamètre primitif de la roue *D*	
Vis écrou		**Transformer** l'énergie mécanique de rotation en énergie mécanique de translation	Pas de la vis *P*	
Roue vis sans fin		**Adapter** l'énergie mécanique en modifiant sa vitesse, son couple et sa direction	Pas de la vis *P*	
Réflecteur de lumière		**Transmettre** le maximum de luminosité	Forme et matière du réflecteur	

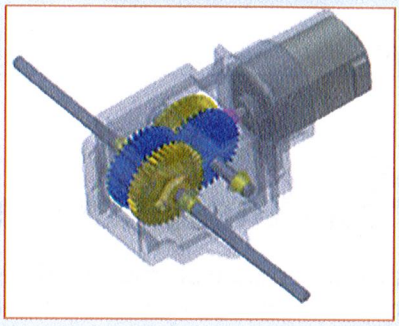
Note : Pour des engrenages, le rapport de réduction r se calcule de la manière suivante :

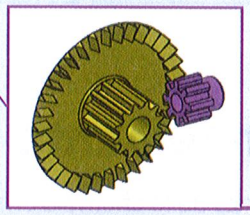
$$r = \frac{\omega_{sortie}}{\omega_{entrée}} = \frac{D_{entrée}}{D_{sortie}} = \frac{Z_{entrée}}{Z_{sortie}}$$

avec ω vitesse de rotation en rad/s, D diamètre primitif en mm, Z nombre de dents d'une roue

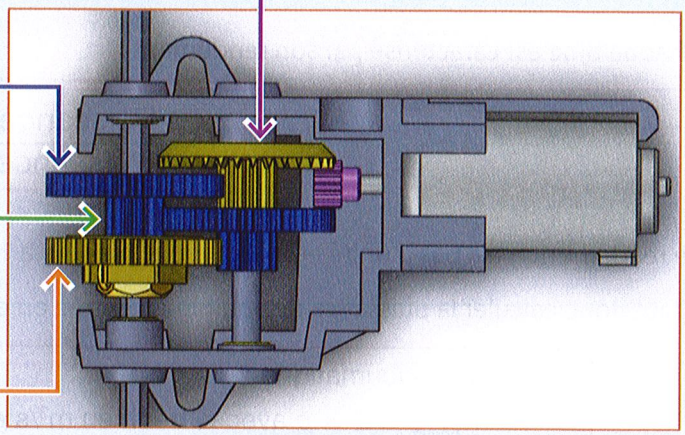
APPLICATION 4 Réducteur

Le réducteur ci-contre est utilisé dans certaines voitures radiocommandées.
Toutes les roues sont libres sur leur axe, sauf la roue 4.
Le premier rapport de réduction vaut : 0,235.

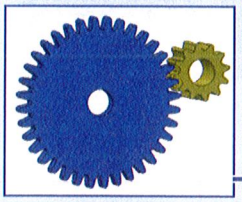




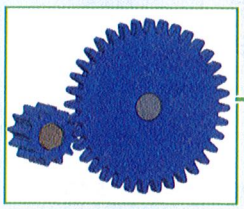
1. Calculer les rapports de réduction des différents étages d'engrenage.



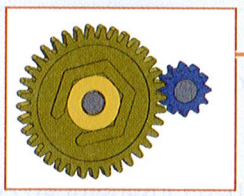
r1 Roue 2a (sortie) — Roue 1 (Entrée)



r2 Roue 2b (sortie) — Roue 3a (sortie)



r3 Roue 4 (sortie) — Roue 3b (Entrée)



a) $r1$ = ...

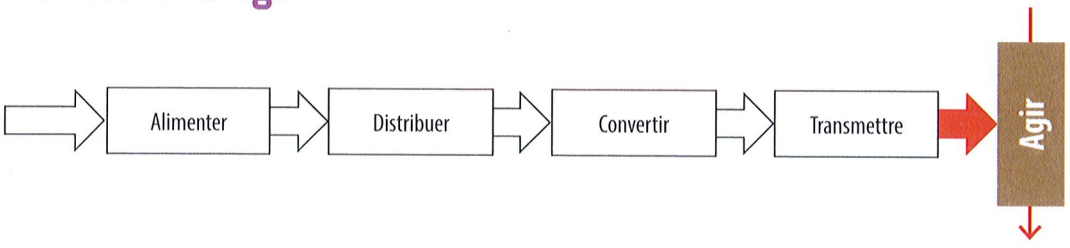
b) $r2$ = ...

c) $r3$ = ...

2. Calculer le rapport de réduction global en les multipliant entre eux.

$rg = r1 \times r2 \times r3$ = ...

3.5 Fonction Agir



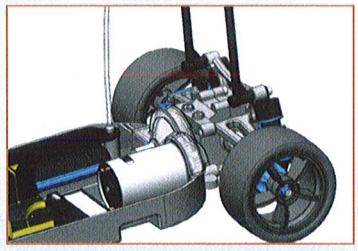
Ce bloc explique comment est utilisée l'énergie transmise pour réaliser l'action demandée par le cahier des charges du système.

APPLICATION 5 Fonction Agir

- Entourer et nommer l'élément qui agit sur la matière pour les cas suivants.



a) .....



b) .....



c) .....

4. Puissances et rendements

Lorsque l'énergie parcourt les différents blocs de la chaîne d'énergie, elle est distribuée, convertie, transformée, adaptée,... Il y a forcément des pertes.



Chaque bloc est caractérisé par son rendement :

$$\eta = \frac{\text{Puissance de sortie}}{\text{Puissance d'entrée}}$$

Le rendement η n'a pas d'unité et est toujours inférieur à 1.

Il faut donc calculer la puissance disponible en entrée ou en sortie pour différents cas.

Puissance pneumatique :

$P_{pneum} = Q \times p$ avec Q débit en m^3/s et p pression en Pa

Puissance électrique :

Courant continu : $P_{elec} = U \times I$ avec U tension en V, I intensité en A

Courant alternatif monophasé : $P_{elec} = U \times I \times \cos \varphi$
avec $\cos \varphi$ facteur de puissance

Courant alternatif triphasé : $P_{elec} = U \times I \times \sqrt{3} \times \cos \varphi$

Puissance mécanique pour la translation :

$P_{méca} = F \times v$ avec F force en N et v vitesse en m/s

Puissance mécanique pour la rotation :

$P_{méca} = C \times \Omega$ avec C couple en Nm et Ω vitesse de rotation en rad/s

Puissance thermique pour une résistance :

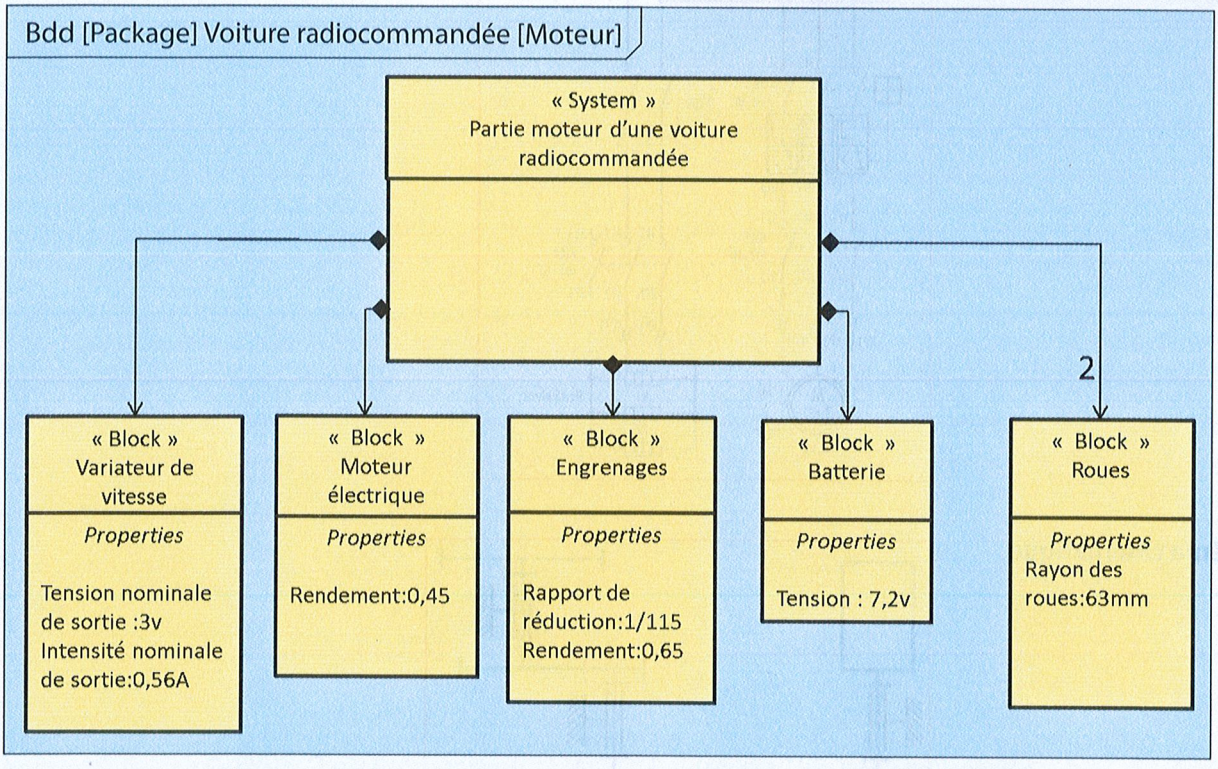
$P = R \times I^2 = \frac{U^2}{R}$ avec R résistance en Ω, U tension en V, I intensité en A

APPLICATION 6 Puissances et rendements

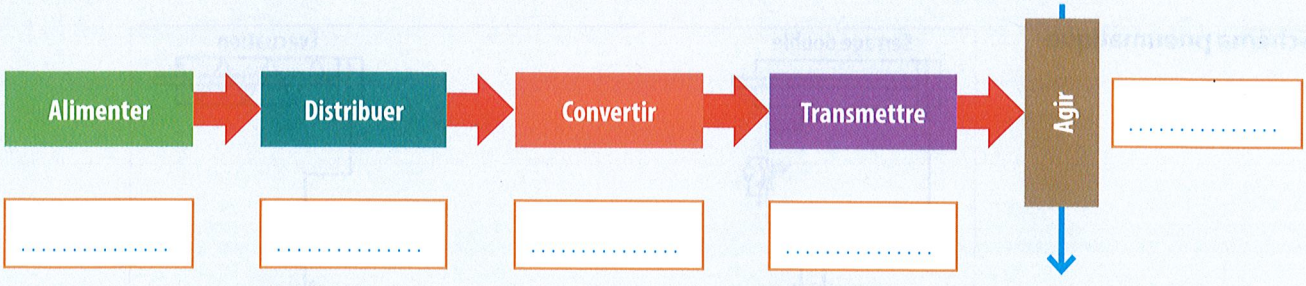
Le **diagramme de définition de blocs Bdd** permet de décrire la structure d'un système ou d'un sous-système.

Le diagramme Bdd ci-dessous indique les éléments essentiels constituant la partie moteur d'une voiture radio commandée.





1. À partir de ce diagramme, compléter la chaîne d'énergie suivante en utilisant les différents blocs.



2. Quelle est la puissance absorbée par le moteur en régime nominal ?

.....

3. À l'aide des différents rendements, donner la puissance disponible au niveau des roues.

.....

.....

.....

.....

5. Bilan global

Sur les schémas suivants, entourer en **vert** la fonction **Alimenter**, en **bleu** la fonction **Distribuer**, en **rouge** la fonction **Convertir**, en **noir** la fonction **Transmettre**.

Schéma électrique

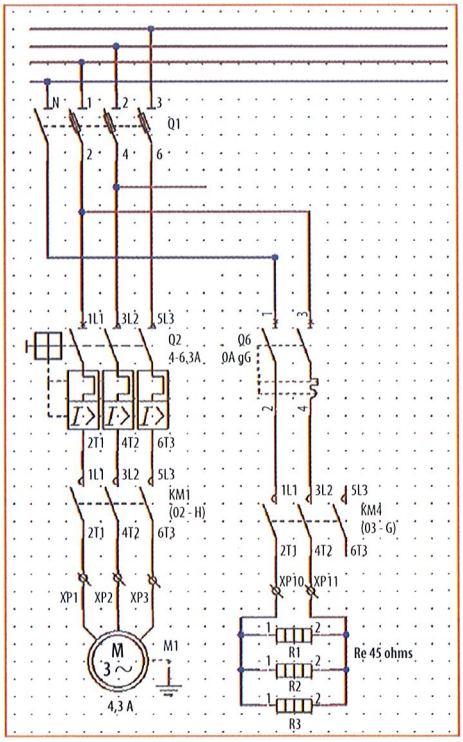


Schéma cinématique

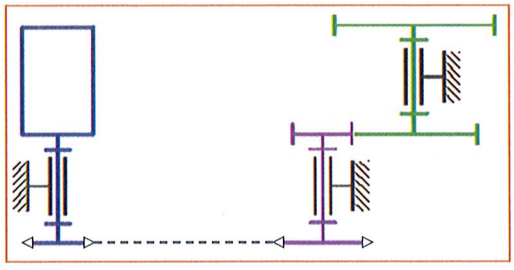
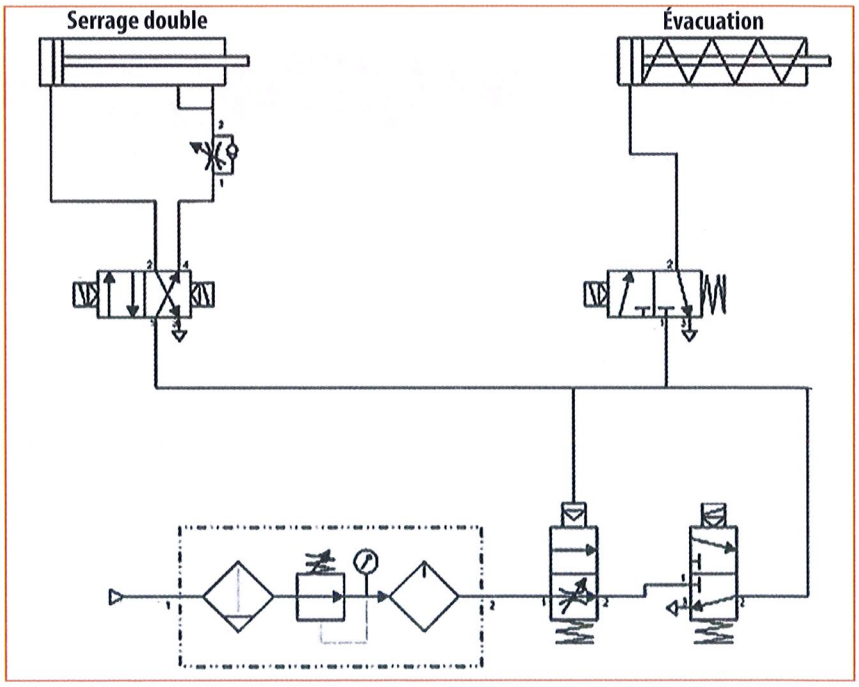


Schéma pneumatique



Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

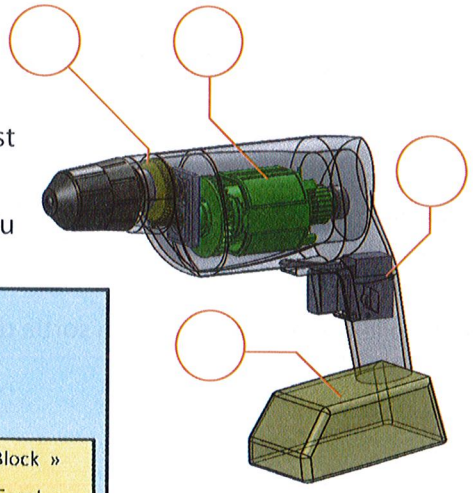
SÉQUENCE 10

TD

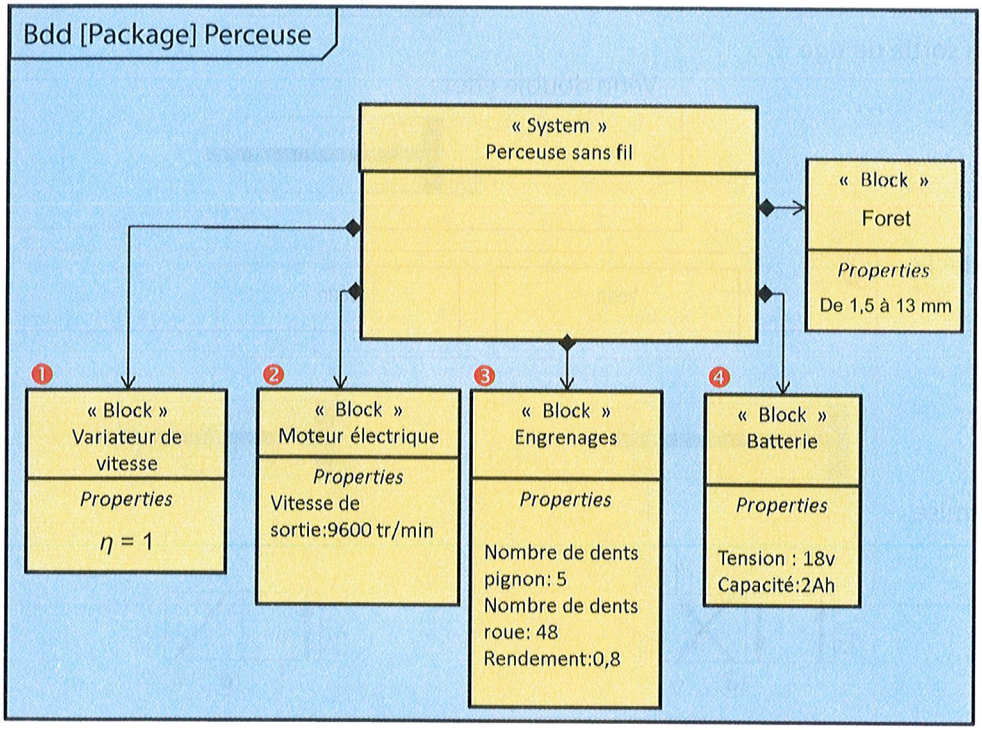
CHAÎNE D'ÉNERGIE

Activité 1 – Perceuse

La perceuse ci-contre fournit une puissance utile de 360 W. Elle est autonome en énergie grâce à sa batterie.

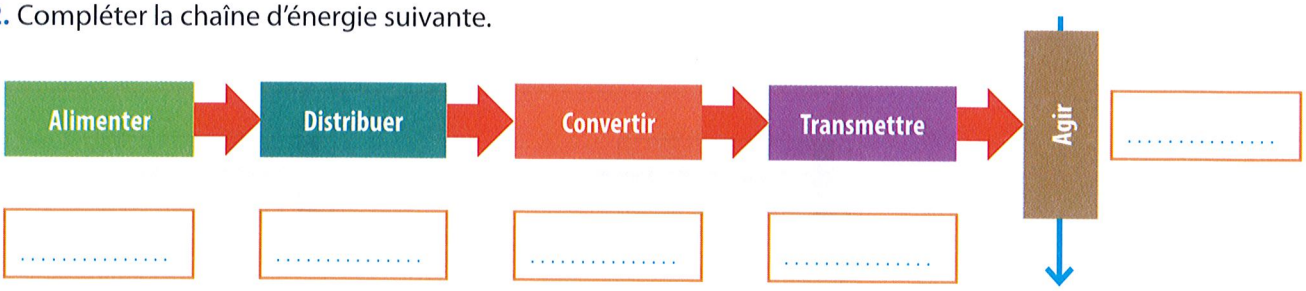


1. Numéroter les différentes parties sur le schéma en vous aidant du diagramme ci-dessus.





2. Compléter la chaîne d'énergie suivante.



3. Quel est le rapport de réduction du réducteur à engrenages ? .....

4. Calculer la vitesse de rotation du foret de perçage. .....

5. Calculer le couple disponible au niveau du foret. .....

6. Calculer la puissance *Pu* du moteur. .....

7. La batterie fournit un courant de 31 A. Calculer la puissance absorbée par le moteur. En déduire son rendement.

.....

Activité 2 : Distributeur pneumatique

1. Sur le schéma ❶, nommer les différents éléments en vous appuyant sur l'aide ci-contre.
2. Sur les schémas ❶ et ❷, tracer le trajet de l'air sous pression en **rouge** et de l'air à l'échappement en **bleu**.
3. Sur les schémas ❶ et ❷, représenter par une **flèche verte** le sens de déplacement des tiges de vérins.

Les vérins ont un diamètre de piston de 60 mm et des tiges de 15 mm. Ils sont alimentés avec une pression de 10 bars. La vitesse de sortie de la tige est de 0,05 m/s.

4. Quelle sera la force lors de la sortie de tige ?

.....

.....

.....

5. Quelle sera la force lors de la rentrée de tige ?

.....

.....

.....

6. Calculer la puissance transmise lors de la sortie de la tige.

.....

.....

.....

Aide :

Désignation d'un distributeur pneumatique

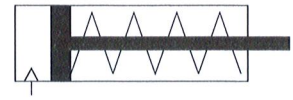
Exemple : Distributeur 5/2

Nombre d'orifices / Nombre de positions (cases)

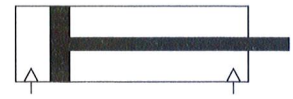


Désignation d'un vérin

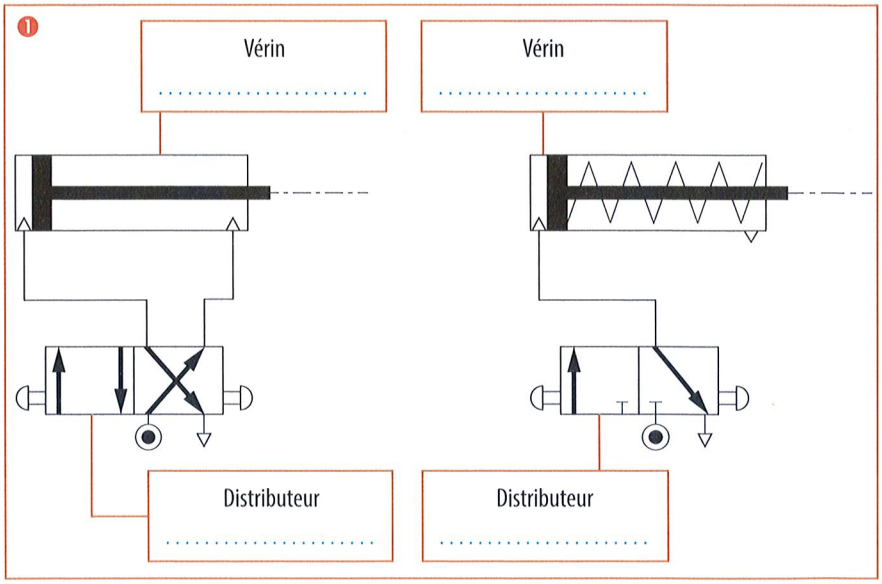
Vérin simple effet :



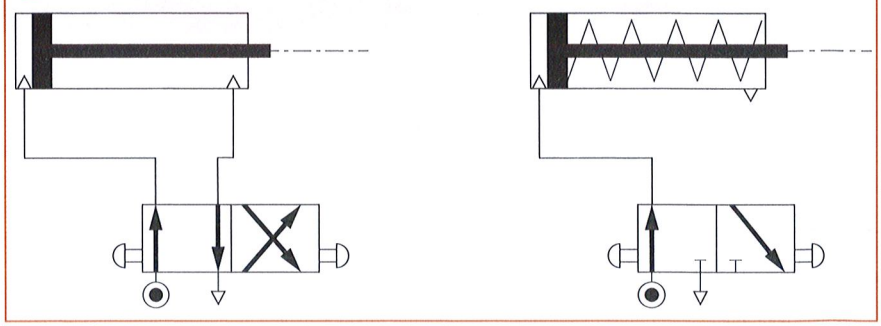
Vérin double effet :



❶



❷



Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 10 ÉTUDE DE CAS

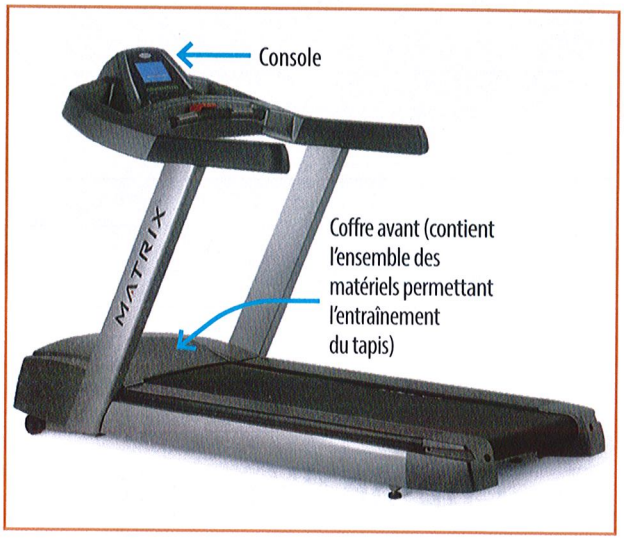
CHAÎNE D'ÉNERGIE D'UN TAPIS DE COURSE

Problématique : Déterminer le rendement énergétique des principales parties de la chaîne d'énergie d'un tapis de course et identifier les formes d'énergies mises en jeu

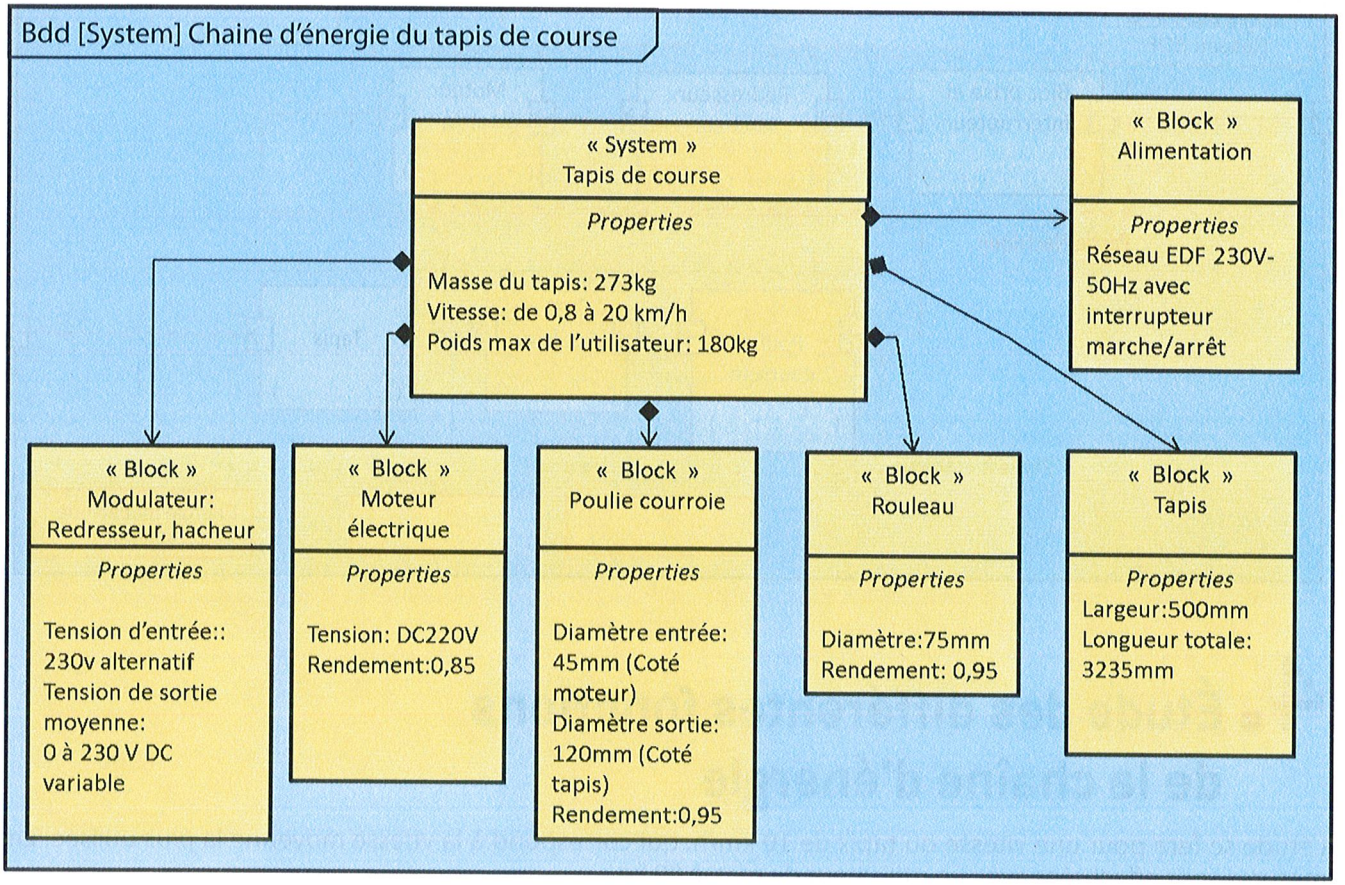
Le tapis de course T8000 de la société Matrix est conçu pour une utilisation intensive dans les salles de fitness. Il permet de marcher ou de courir de 0,8 à 20 km/h.

Pour le confort des utilisateurs et pour éviter les accidents, les accélérations, les décélérations et la vitesse du tapis sont contrôlées électroniquement.

La **console** permet d'informer le pratiquant sur les calories brûlées, le rythme cardiaque, la vitesse, le temps et la distance parcourue. Elle comporte 7 programmes d'entraînement (manuel, intervalle, perte de poids, course 5 km, entraînement cardiaque, test fitness et brûleur de graisse).

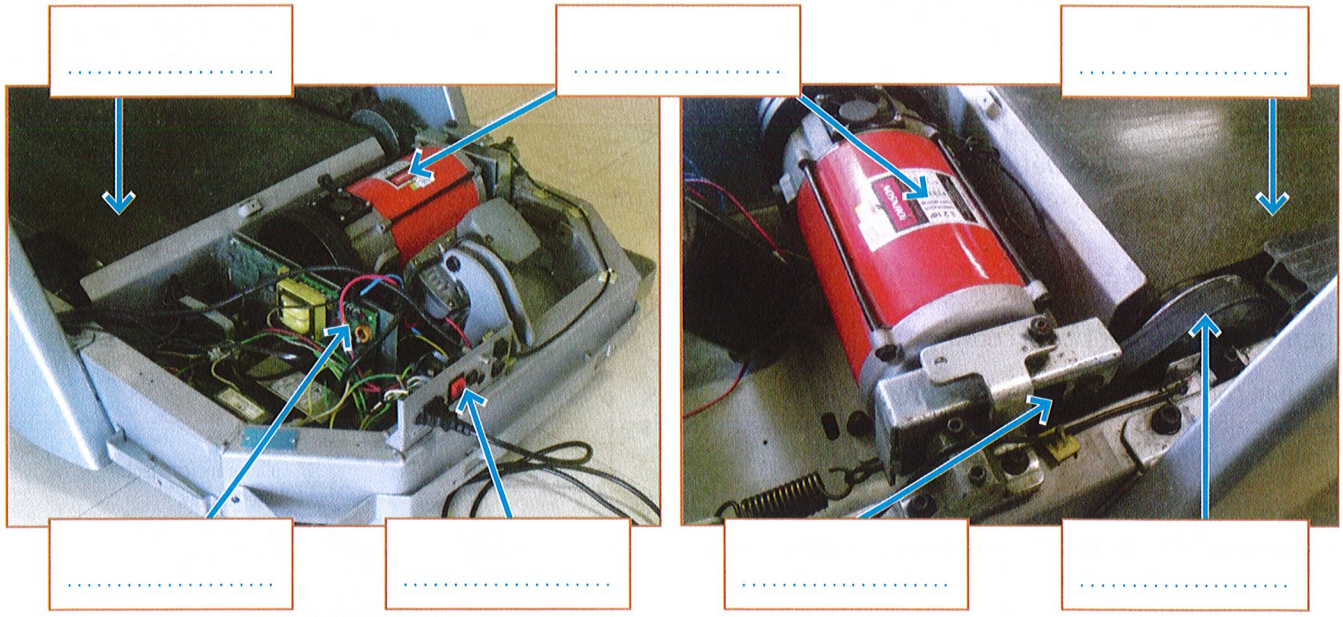


1. Diagramme de définition de blocs



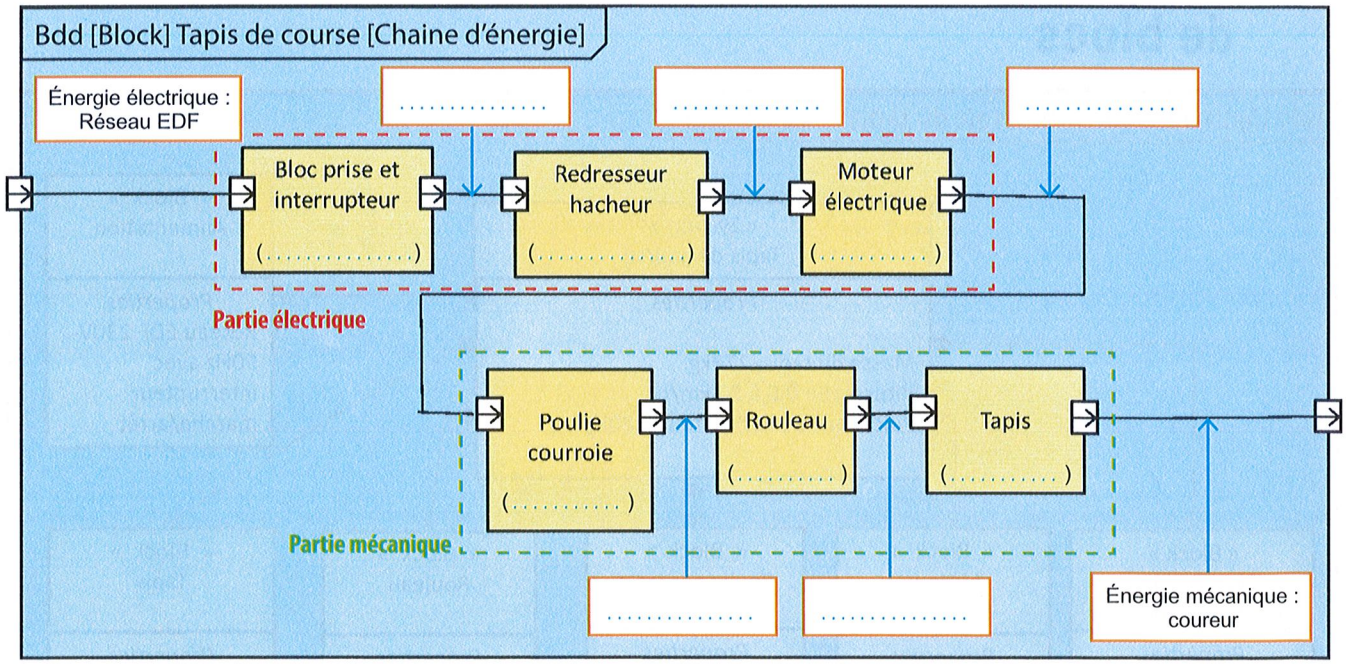
2. Identification des principaux constituants

- À partir du diagramme de définition de blocs, indiquer le nom des constituants de la chaîne d'énergie du tapis sur les photos suivantes.



3. Chaîne d'énergie

- Compléter le diagramme de blocs internes de la chaîne d'énergie du tapis de course en indiquant dans les parenthèses la fonction réalisée par le constituant (les énergies seront renseignées plus tard).



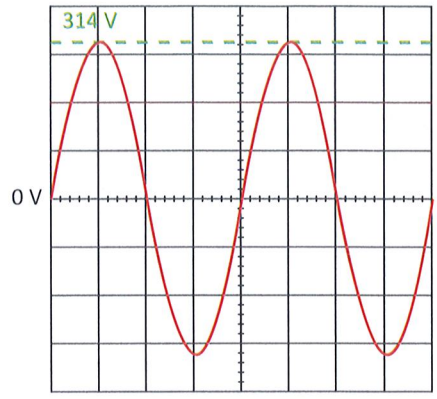
4. Étude des différentes fonctions de la chaîne d'énergie

L'étude se fera pour une vitesse du tapis de 10 km/h, qui correspond à la vitesse moyenne la plus utilisée. Les mesures sont effectuées avec un utilisateur de masse 80 kg.

4.1 Fonction Alimenter

La puissance absorbée par le tapis a été mesurée avec une pince wattmétrique : $P = 700$ W.

La tension d'alimentation du tapis a été relevée à l'oscilloscope et a donné l'oscillogramme ci-contre.



U : 1 div = 100 V ; t : 1 div = 5 ms

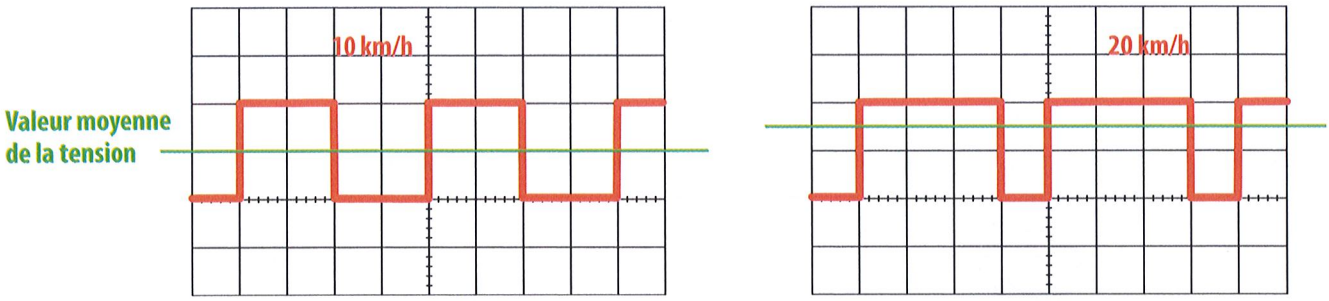
1. Déterminer la période $T =$ .....
2. Calculer la fréquence ($f = \frac{1}{T}$). $f =$ .....
3. Donner la valeur maximale de la tension $\hat{U} =$ .....
4. Calculer la valeur efficace de la tension ($U = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}}$). $U =$ .....
5. Les valeurs mesurées correspondent-elles aux valeurs attendues ?

☐ Oui ☐ Non

6. Compléter sur la chaîne d'énergie (page précédente) les entrées/sorties du bloc Alimenter.

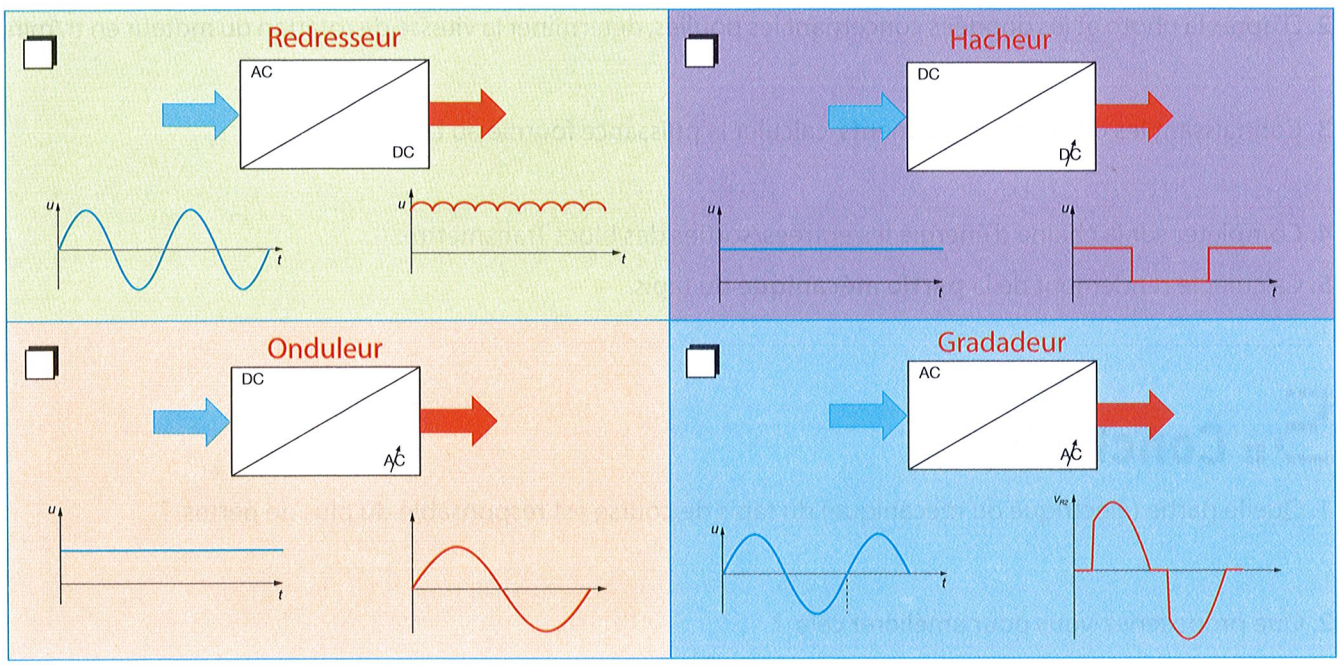
4.2 Fonction Distribuer

En sortie du modulateur, la tension a été relevée à l'oscilloscope pour deux vitesses de course.



U : 1 div = 100 V ; t : 1 div = 5 µs

1. Parmi les 4 grands types de modulateurs, cocher celui utilisé dans la chaîne d'énergie du tapis.



2. Quel principe est utilisé pour faire varier la tension moteur ? .....

3. Pour une vitesse de 10 km/h, le courant en sortie du modulateur est de 5,5 A. Mesurer sur la courbe précédente la valeur de la tension moyenne <U> et calculer la puissance en sortie du modulateur.

.....

4. Compléter sur la chaîne d'énergie de la page précédente les entrées/sorties du modulateur.

4.3 Fonction Convertir

1. D'après le diagramme des exigences, indiquer le type de moteur qui équipe le tapis de course.

.....

2. Pour ce type de moteur, la loi $<U> = k \times N$, avec k = constante, lie la tension d'alimentation moyenne et la vitesse de rotation N. Que se passe-t-il pour la vitesse si l'on fait varier la tension ?

.....

3. Expliquer rapidement le fonctionnement de l'association modulateur - moteur.

.....

4. Connaissant le rendement du moteur, indiquer la puissance mécanique qu'il fournit.

.....

5. Calculer le rendement de la **partie électrique** du tapis.

.....

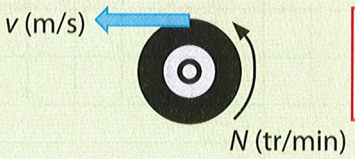
6. Compléter sur la chaîne d'énergie les entrées/sorties du moteur.

4.4 Fonction Transmettre

1. La vitesse du tapis étant de 10 km/h, déterminer la vitesse de rotation du rouleau.

.....

Rappel : formule de transformation d'une vitesse de rotation en vitesse linéaire.



$$v = R \times \Omega = 2\pi N \times \frac{R}{60}$$

avec R rayon de la roue en m

2. D'après la photo et les données concernant les poulies, déterminer la vitesse de rotation du moteur en tr/min.

.....

3. Connaissant les différents rendements, calculer la puissance fournie au tapis.

.....

4. Compléter sur la chaîne d'énergie les entrées/sorties des blocs Transmettre.

5. Calculer le rendement de la **partie mécanique** du tapis.

.....

5. Conclusion

1. Quelle partie (électrique ou mécanique) du tapis de course est responsable du plus de pertes ?

.....

2. Que proposeriez-vous pour améliorer cela ? .....

.....

.....

.....

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 10 INVESTIGATION 1

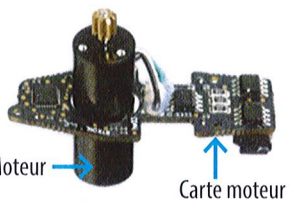
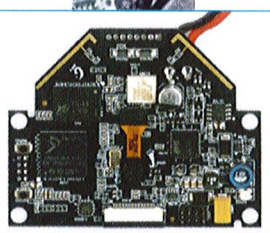
CHAÎNE D'ÉNERGIE AR-DRONE

Problématique : L'AR-Drone est un quadricoptère piloté à l'aide d'une tablette. Il est conçu pour une utilisation en extérieur et en intérieur. Vous allez déterminer les différents constituants de la chaîne d'énergie de cet appareil.



1. Constituants de l'AR-Drone

- Une partie des constituants est donnée dans le tableau suivant. Compléter la quatrième colonne en précisant si le constituant concerné appartient ou non à la chaîne d'énergie.

Moteur brushless et carte moteur		4 moteurs brushless Vitesse : 35 000 tr/min Puissance : 15 W	☐ Oui ☐ Non
Altimètre à ultrason		Fréquence d'émission : 40 kHz Portée : 6 m Stabilisation verticale	☐ Oui ☐ Non
Carte mère		ARM9 - 468 MHz DDR 128 Mo à 200 MHz	☐ Oui ☐ Non
Hélices		Longueur : 200 mm	☐ Oui ☐ Non
Structure		360 × 360 mm	☐ Oui ☐ Non
Batterie lithium polymère		3 cellules 11,1 V 1 000 mAh Temps de charge : 90 min	☐ Oui ☐ Non

2. Fonction Alimenter

1. Quel élément réalise cette fonction ?

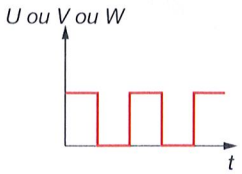
.....

2. Quelles sont la nature et la valeur de la tension d'alimentation qu'il fournit ?

.....

3. Fonction Distribuer

Cette fonction doit fournir trois signaux (*U*, *V* et *W*) à la fonction Convertir. L'allure simplifiée des signaux est donnée ci-dessous.



1. La fonction « Distribuer » peut-elle être réalisée par de simple fils ? Justifier la réponse.

.....

.....

2. Quels appareils peuvent produire ce signal ? .....

4. Fonction Convertir

1. Quel élément réalise cette fonction ? Combien y en a-t-il dans le drone ?

.....

2. Quel est le rôle de cet élément ? .....

.....

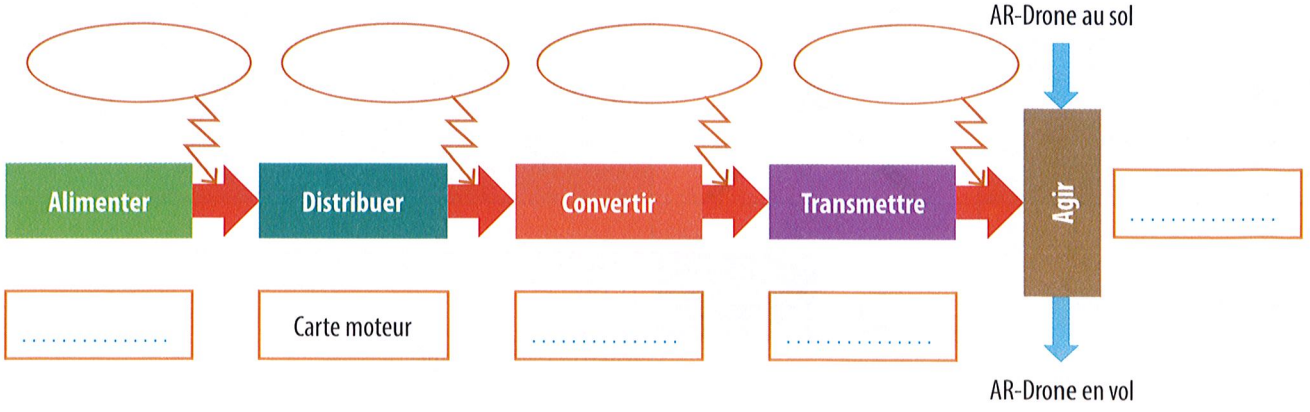
3. Quelles sont ses caractéristiques ? .....

.....

5. Fonction Transmettre

1. Quel(s) élément(s) réalise(nt) cette fonction ? .....

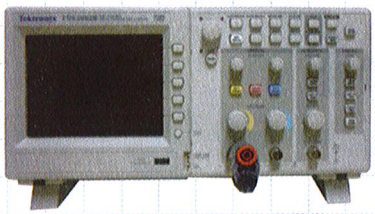
2. Compléter la chaîne d'énergie ci-dessous en précisant dans chaque rectangle l'élément réalisant la fonction et dans chaque bulle le type et la nature des énergies.

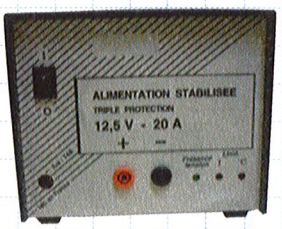


6. Fonctionnement de la chaîne d'énergie

Aucune mise sous tension sans l'accord du professeur

1. Proposer un schéma permettant de visualiser à l'oscilloscope la tension *Vu* entre les bornes « *U* » et la masse.



2. Câbler l'alimentation du système.
3. Allumer la tablette et lancer l'application « ORIENTER ».
4. Placer la commande des moteurs en 1 × 1.
5. Placer la consigne du moteur 1 à 150.
6. Relever la tension *Vu* et donner la valeur de sa période.

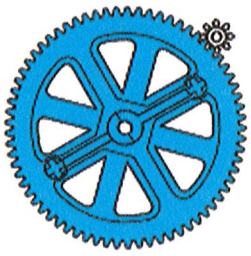


.....

7. Remettre la consigne à 0. Sachant que le moteur fait un tour en une période de la tension *Vu*, calculer la vitesse de rotation du moteur 1 en tr/min.

.....

8. En utilisant la figure ci-contre, compter le nombre de dents des roues menante et menée de l'engrenage en sortie du moteur.



Menante : .....

Menée : .....

9. Calculer le rapport de réduction de cet engrenage. En déduire la vitesse de rotation des hélices en tr/min.

.....

10. Placer la consigne du moteur 1 à 150. À l'aide d'un tachymètre, mesurer la vitesse de rotation de l'hélice 1. Comparer avec vos calculs.

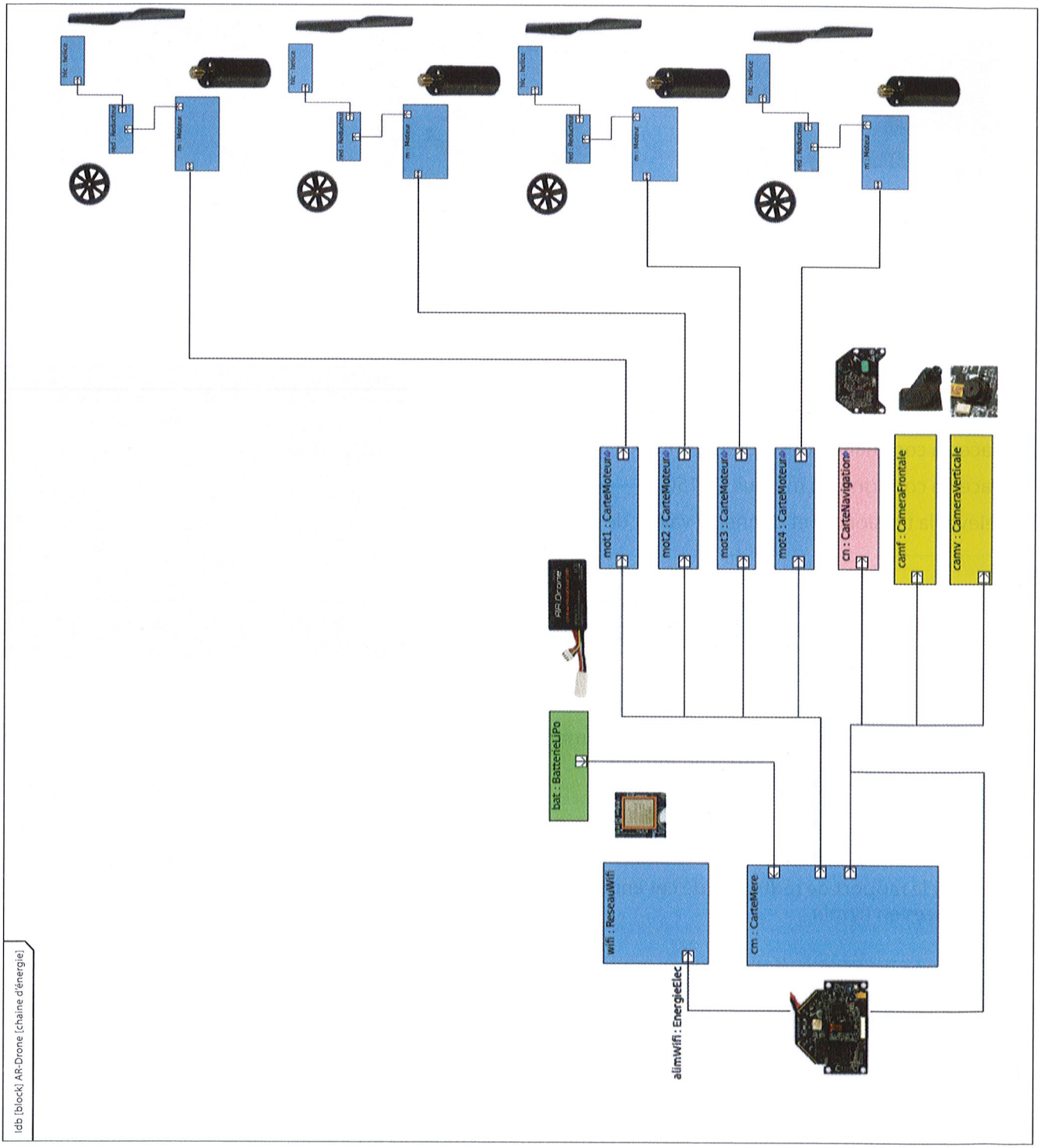
.....

11. Placer une pince ampèremétrique sur l'un des câbles de l'alimentation du système.
12. Sur l'application « ORIENTER », placer la commande des moteurs en 2 × 2.
13. Placer les 2 curseurs au maximum et relever la valeur de l'intensité débitée par l'alimentation.

.....

Synthèse de la chaîne d'énergie

1. Sur le diagramme de bloc interne ci-dessous (IBD Internal Block Diagram), tracer en **vert**, le parcours de l'énergie entre l'alimentation et les hélices.
2. Préciser, en **bleu**, le type d'énergie (électrique, mécanique…) mis en jeu tout au long du parcours.
3. Préciser, en **rouge**, la valeur de l'intensité du courant lorsque l'"énergie est électrique, en **noir**, les différentes vitesses de rotation.



Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

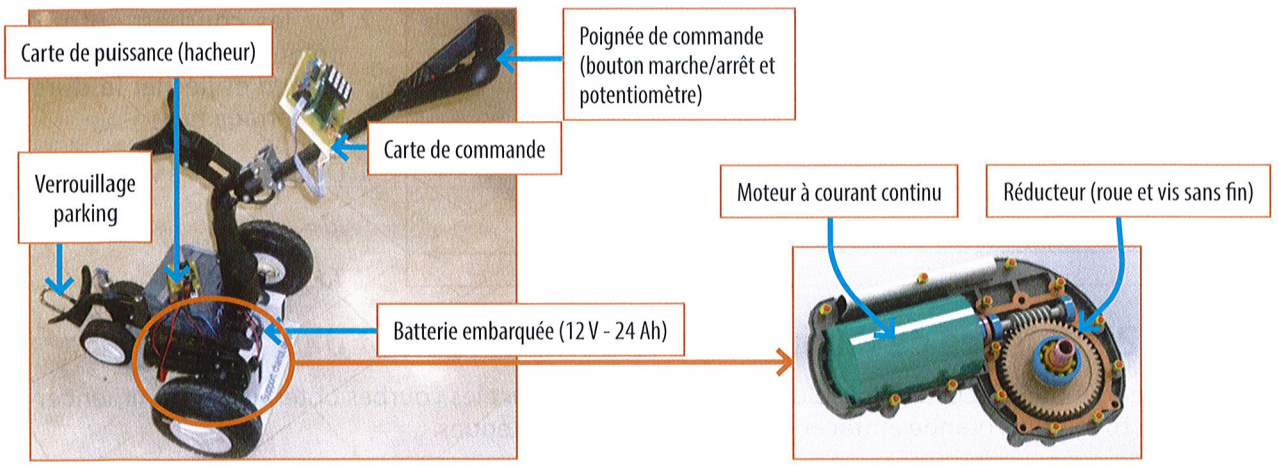
SÉQUENCE 10 INVESTIGATION 2

SIMULATION DE LA CHAÎNE D'ÉNERGIE D'UN CHARIOT DE GOLF

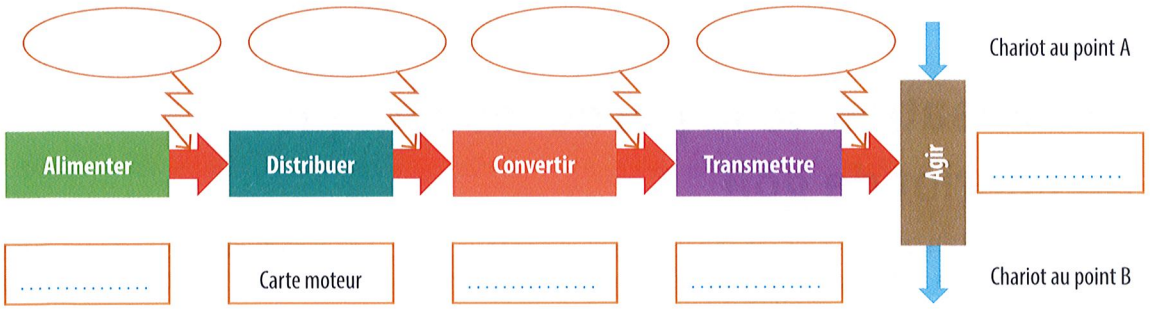
Problématique : Simuler le fonctionnement de la la chaîne d'énergie d'un chariot de golf à l'aide du logiciel Scilab.

Le chariot de golf étudié est un véhicule d'environ 10 kg à énergie embarquée (**batterie**). La mise en mouvement et la vitesse de déplacement du chariot sont assurées par une **carte de commande** située dans la **poignée**. Le golfeur pilote le chariot à l'aide d'un bouton marche/arrêt et d'un potentiomètre réglable. Le démarrage progressif et la vitesse sont gérés par une **carte de puissance** située dans un boîtier sous la batterie. La motorisation est constituée d'un **motoréducteur** transmettant le mouvement aux roues.

1. Présentation du chariot de golf

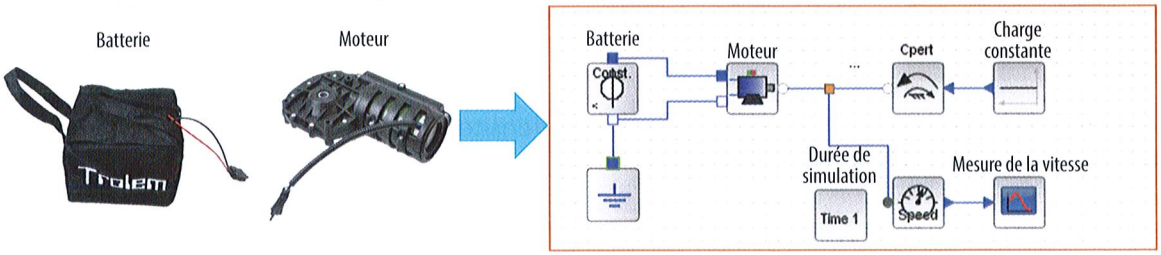


- À l'aide des informations précédentes, compléter la chaîne d'énergie du chariot de golf.



2. Modélisation du moteur

Dans un premier temps, vous allez étudier le comportement du moteur à courant continu alimenté par une batterie et entraînant une charge constante.

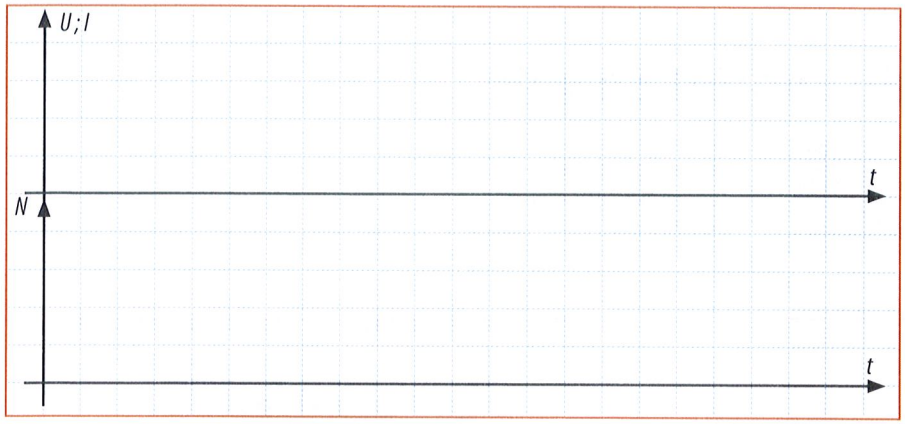


Lancer ***SCILAB***, puis dans ***Applications*** lancer ***XCOS*** | |. Tracer le schéma bloc de la simulation. Prévoir également la mesure de l'intensité absorbée par le moteur et une mesure de la tension aux bornes du moteur.

SIMM/Electrique/Sources : ***CEAS_predefVoltage*** (constant ;12V)		SIMM/Electrique/Sources : ***MEAB_Ground***	
Cosellica/Components/actuators : ***MEMC_DCmotor*** (0,2Ω;0,01mH;0,028Nm/A;0,015kg.m²)		SIMM/Utilitaires/Visualisation : ***IREP_TEMP*** (durée : 2s ; 2000points)	
SIMM/Mécanique/Rotationnel1D/sources : ***CMRS_TorqueO***		SIMM/Signaux/Sources : ***MBS_Constant*** (Valeur :-0,5)	
SIMM/Utilitaires/Visualisation : ***ISCOPE***		SIMM/Electrique/Composant avance/mesure: ***MEAS_VoltageSensor***	
SIMM/Electrique/Composant avance/mesure: ***MEAS_CurrentSensor***		Coselica/Mechanics/Rotational/sensors : ***MMRS_SpeedSensor***	

2.1 Simulation

1. Lancer la simulation et tracer ci-dessous en **rouge** les courbes obtenues.



2. Sur les courbes, entourer la pointe de courant au démarrage *Id* et flécher la durée du démarrage *td*.

3. Déterminer les valeurs :

Id = ...

Td = ...

2.2 Influence de l'inertie sur le comportement d'un moteur

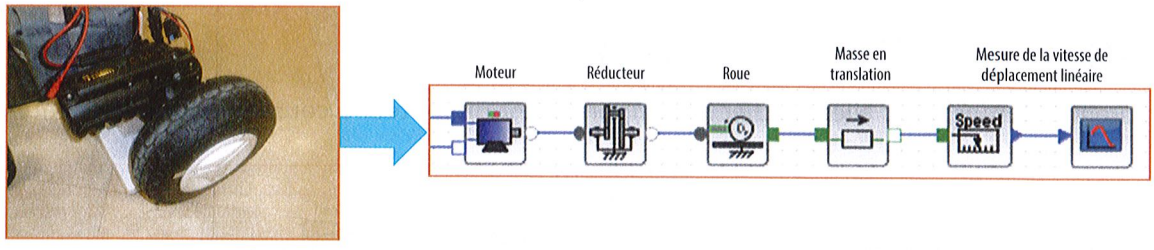
1. Modifier l'inertie du moteur (10 fois plus petite) et tracer en **vert** les courbes obtenues. Recommencer avec une inertie 10 fois plus grande et tracer en **bleu** les courbes obtenues.

2. Conclure sur l'influence de l'inertie du moteur sur son comportement. .....

.....

Modélisation de la partie mécanique du chariot de golf

La partie mécanique du chariot de golf est constituée d'un **moteur** associé à un **réducteur** de vitesse qui entraîne les roues en rotation. Les **roues** permettent de transformer la **rotation en translation**. C'est l'ensemble de la **masse** du chariot et de sa charge qui doit être déplacé.

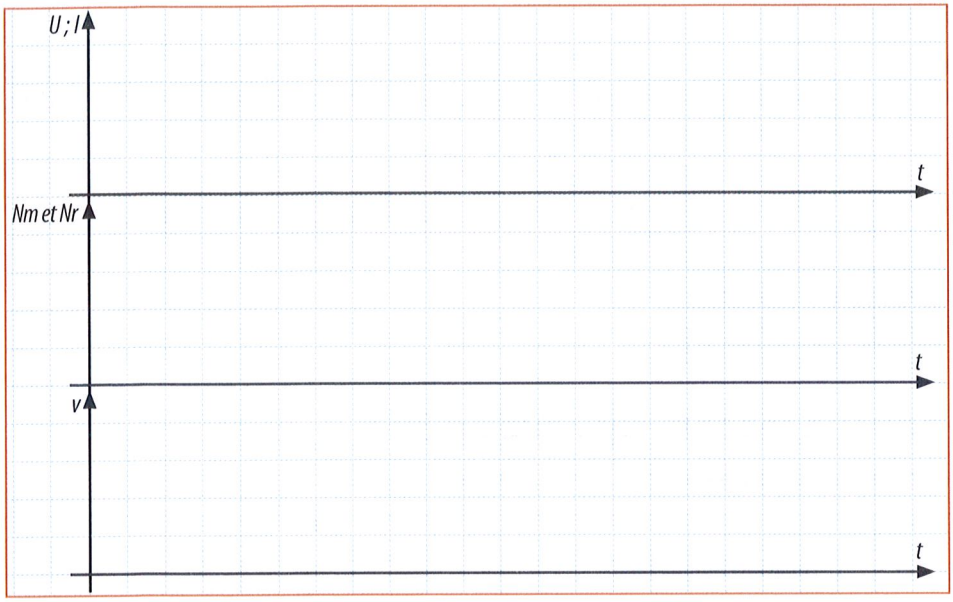


Modifier le schéma bloc de la simulation. Prévoir la mesure de l'intensité absorbée par le moteur (*I*), la mesure de la tension aux bornes du moteur (*U*), la mesure de la vitesse du moteur (*Nm*) et de la vitesse en sortie du réducteur (*Nr*).

Coselica/Mechanics/Rotational/Components : ***MMR_IdealGear0*** Rapport de reduction : 1/25		Coselica/Mechanics/Rotational/Components : ***MMR_IdealGearR2TGen*** Rapport : 1/256	
Coselica/Mechanics/Translational/Components : ***CMTC_Mass*** Poids du chariot seul : 10kgs		Speed	Coselica/Mechanics/Translational/Sensors : ***CMTS_SpeedSensor***

3.1 Simulation du chariot à vide

1. Lancer la simulation et tracer ci-dessous en **rouge** les courbes obtenues.



2. Sur les courbes, entourer la pointe de courant au démarrage *Id* et flécher la durée du démarrage *td*.

3. Déterminer les valeurs :

Id = ...

Td = ...

v = ...

3.2 Simulation du chariot en charge

1. Modifier la masse de la charge à transporter (poids du sac de golf soit 20 kg en plus) puis lancer la simulation. Tracer en **vert** les courbes obtenues et mesurer *Id*, *td* et *v*.

Id = ... *td* = ... *v* = ...

2. Conclure sur l'influence de la charge sur le fonctionnement du chariot. .....

.....

3.3 Variation de la tension d'alimentation

1. Modifier la valeur de la tension d'alimentation du moteur (12 V, 6 V, 2 V) et relever pour chaque cas la vitesse de rotation. v_{12} = ... v_6 = ... v_2 = ...

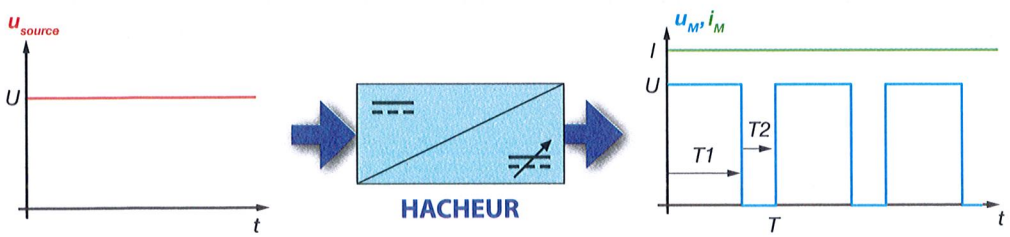
2. Conclure sur l'influence de la tension d'alimentation sur le fonctionnement du moteur.

.....

4. Modélisation de la variation de vitesse

Le chariot de golf est équipé d'une carte de variation de vitesse basée sur le principe du hacheur série. Cette carte permet de faire varier la valeur de la tension moyenne aux bornes du moteur.

Principe du hacheur : Un hacheur permet d'obtenir une tension continue variable à partir d'une tension continue fixe.

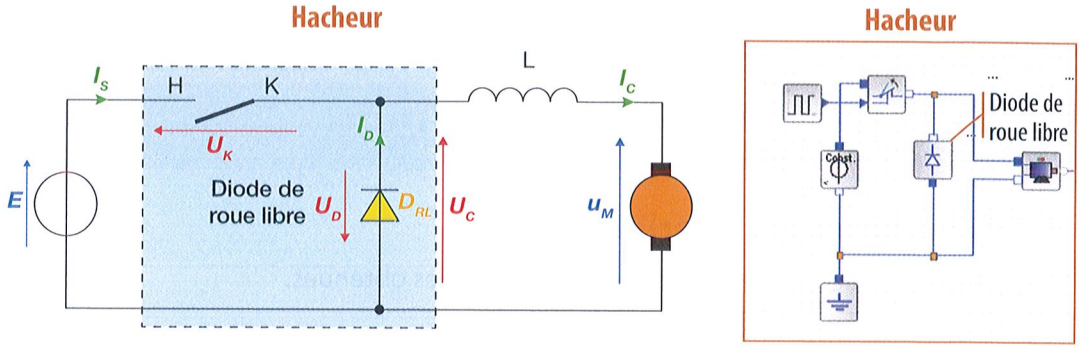


On appelle tension moyenne moteur (notée $<U_M>$) la moyenne sur une période de la tension u_M :

$<U_M> = \alpha \times U$

avec α : rapport cyclique

$$\alpha = \frac{T1}{T}$$

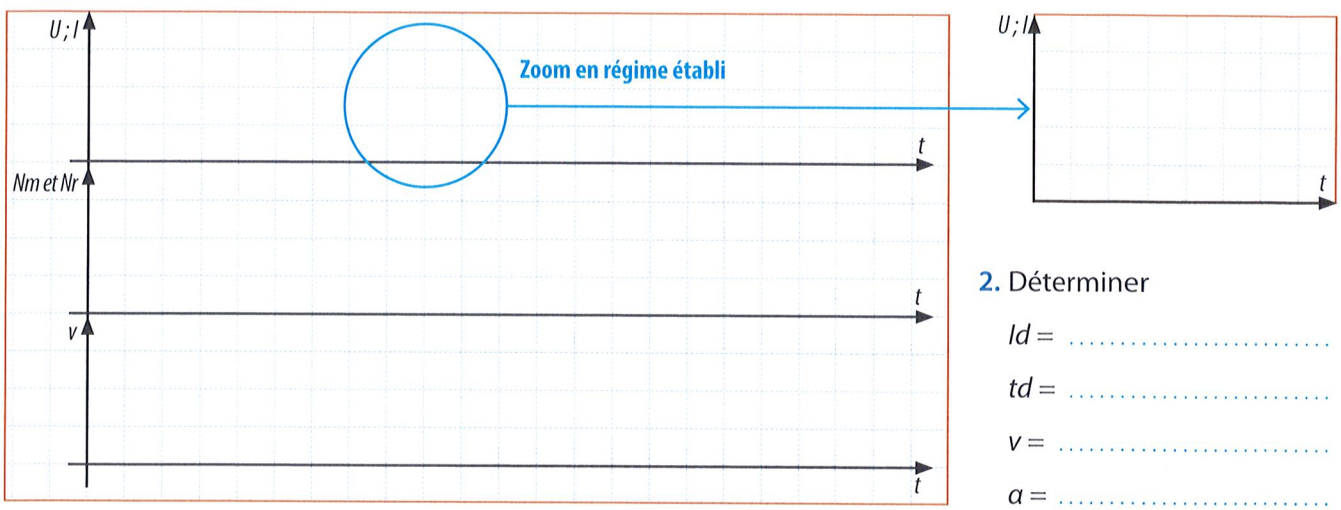


Modifier le schéma bloc de la simulation. Prévoir la mesure de l'intensité absorbée par le moteur (*I*), la mesure de la tension aux bornes du moteur (*U*), la mesure de la vitesse du moteur (N_M). Afin de simplifier la simulation, placer en sortie du moteur la même partie mécanique qu'au point 2.

	SIMM/Electrique/Composant basique/passif : ***MEAI_IdealOpeningSwitch Ron*** = Goff = 0,00001		SIMM/Electrique/Composant basique/passif : ***CEAI_IdealDiode***
	SIMM/Signaux/Source : ***MBS_Pulse*** Amplitude : 1 ; largeur : 50% ; période de simulation :0.01s (30µs pour la période réelle)		

4-1 Simulation pour un rapport cyclique de 50 %

1. Lancer la simulation et tracer ci-dessous en **rouge** les courbes obtenues.



2. Déterminer

Id = ...

td = ...

v = ...

a = ...

3. Sur le schéma du hacheur, tracer en **rouge** la circulation du courant quand $u_M = 1$ et en **pointillés rouges** quand $u_M = 0$.

4-2 Modification du rapport cyclique

1. Modifier le rapport cyclique à 80 % et tracer en **bleu** les courbes obtenues.

2. Conclure sur l'influence du hacheur sur le fonctionnement du chariot. .....

.....

5 Mesurage des performances réelles du chariot

1. Si vous disposez du chariot de golf, proposer un protocole permettant de mesurer les différentes vitesses (rotation et translation) et de visualiser la tension aux bornes de la batterie et du moteur ainsi que le courant absorbé par le moteur. .....

.....

2. Comparer les résultats obtenus avec les simulations. .....

.....

CE QU'IL FAUT RETENIR DE LA SÉQUENCE

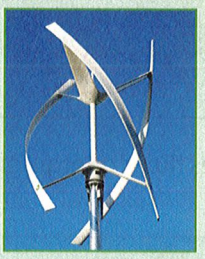
1. Constitution de la chaîne d'énergie

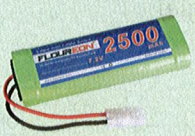
La chaîne d'énergie est composée de plusieurs blocs fonctionnels.

Le bloc **Alimenter** indique comment sont réalisées les fonctions :

- Alimenter (réseau EDF, pneumatique,...)
- Alimenter localement (éolienne, panneaux solaires,...)
- Stocker (batterie,...)

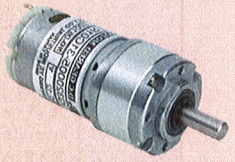


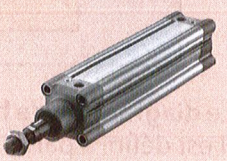




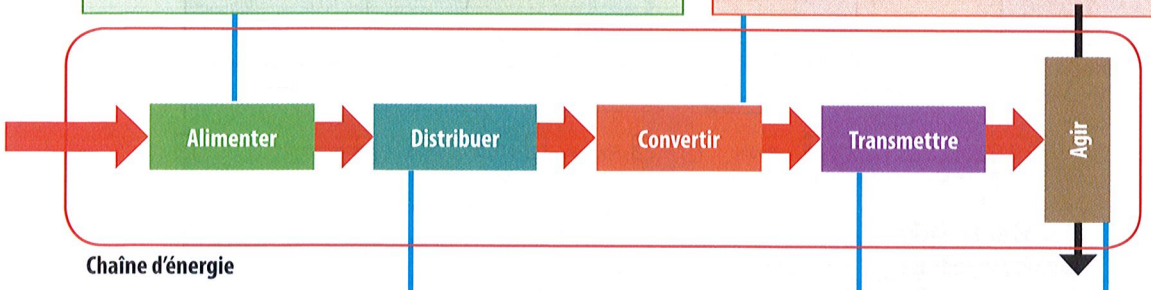
Le bloc **Convertir** indique comment sont réalisées les fonctions :

- Convertir l'énergie électrique (moteur, lampe, résistance,...)
- Convertir l'énergie pneumatique ou hydraulique (vérin, ...)
- Convertir les énergies fossiles (moteur,...)









Chaîne d'énergie

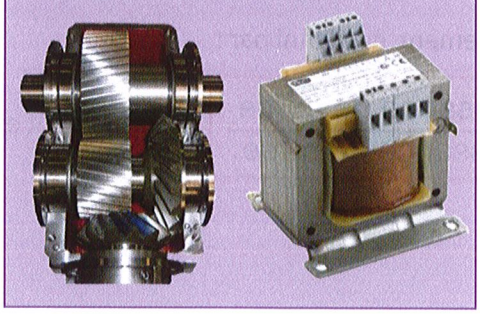
Le bloc **Distribuer** indique comment sont réalisées les fonctions :

- Distribuer et protéger (disjoncteur, distributeur,...)
- Commuter (contacteur, électronique de puissance,...)
- Moduler (variateur,...)



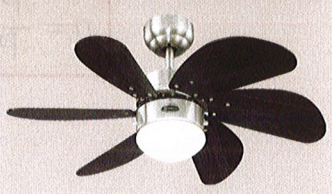
Le bloc **Transmettre** indique comment sont réalisées les fonctions :

- Transmettre l'énergie mécanique (réducteur, ...)
- Transmettre l'énergie électrique (transformateur,...)
- ...



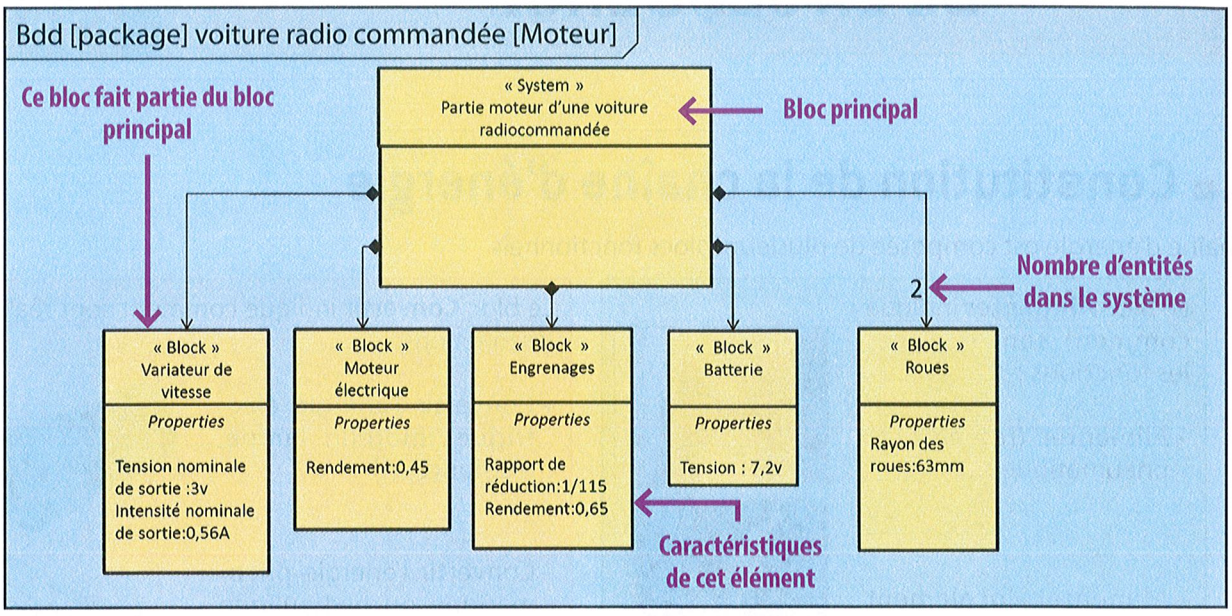
Le bloc **Agir** indique comment est réalisée l'action demandée par le cahier des charges.



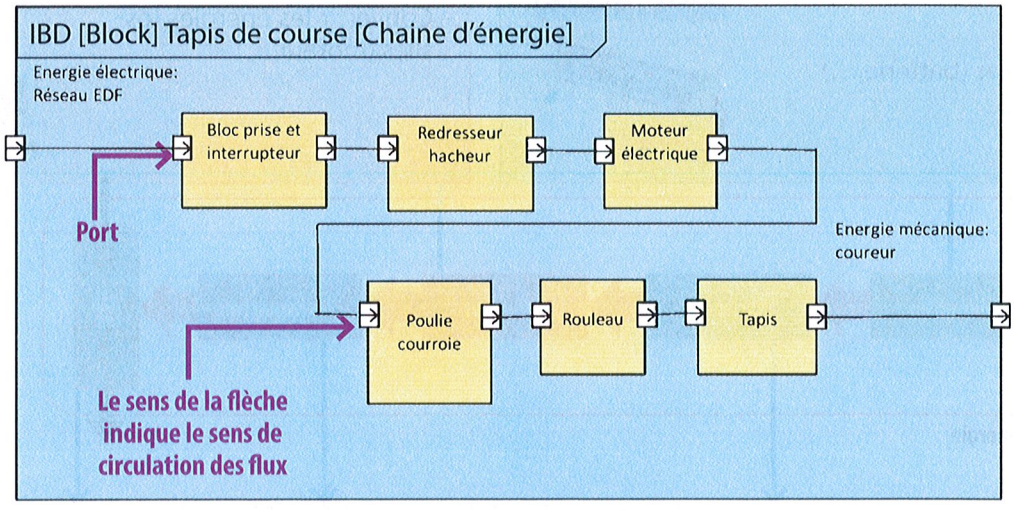


2. Diagrammes SysML

Le **diagramme de définition de blocs (Bdd)** est utilisé pour décrire l'architecture matérielle du système. Il donne une représentation des parties du système, de leurs propriétés, et de leurs caractéristiques.



Le **diagramme de bloc interne (IBD)** permet de décrire les flux d'énergie entre les différentes parties du système. Il est défini à partir du BDD.



3. Puissances et rendements



Pour chacun des blocs, le rendement est défini par :

$$\eta = \frac{\text{Puissance de sortie}}{\text{Puissance d'entrée}}$$

le rendement est toujours inférieur à 1

SÉQUENCE 11 LEÇON

Chaîne d'information

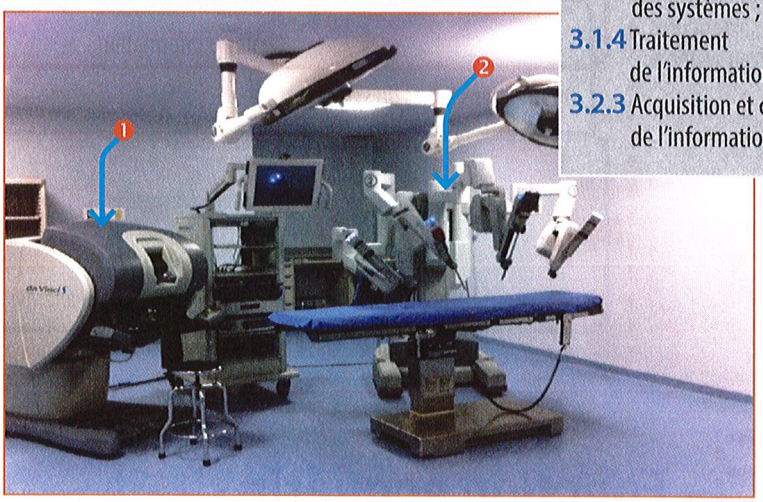
LIAISON RÉFÉRENTIEL
2.1.2 Organisation fonctionnelle d'une chaîne d'information ;
2.3.6 Comportements informationnels des systèmes ;
3.1.4 Traitement de l'information ;
3.2.3 Acquisition et codage de l'information

1. Situation déclenchante

DOC. Le système da Vinci

Le système da Vinci Si HD® est une plate-forme chirurgicale qui se compose de deux éléments :

- une console ergonomique pour le chirurgien ❶ ;
- un chariot côté patient, équipé de quatre bras robotisés interactifs et d'un système de vision haute performance ❷.



Installé derrière la console ergonomique, le chirurgien dispose d'une vision en trois dimensions du champ opératoire, avec fonction d'agrandissement haute performance. Pour opérer, il lui suffit de manipuler les manettes de la console.

Le chariot côté patient peut être équipé au maximum de trois instruments et d'une caméra 3D. Le système répond aux ordres du chirurgien en temps réel. Il met à l'échelle, filtre et convertit les mouvements des mains, poignets et doigts du chirurgien, en mouvements précis d'instruments miniatures introduits dans le corps du patient. Les possibles tremblements du chirurgien peuvent être également réduits pour optimiser le contrôle de ses mouvements.

Pour la sécurité du patient, le robot ne peut ni être programmé, ni prendre des décisions de manière autonome. Seul le chirurgien effectue directement chaque manœuvre derrière la console. De plus, le système réalise des millions de contrôles de sécurité.

À l'épreuve des pannes, il est doté d'un mode d'extinction sécurisé qui permet au chirurgien de garder le contrôle de la procédure en cas de panne de courant ou de détection d'un problème lors d'un contrôle de sécurité.

1. Quel instrument permet au chirurgien d'avoir une vision 3D du champ opératoire ?

.....

2. Les mouvements du chirurgien sont-ils transmis directement aux instruments ? ☐ Oui ☐ Non

3. Si non, que se passe-t-il durant la transmission ? .....

.....

4. Quels sont, à votre avis, les avantages et les inconvénients de cette plateforme ?

.....

.....

Conclusion : Qu'apportent l'électronique et l'informatique aux systèmes mécatroniques ?

.....

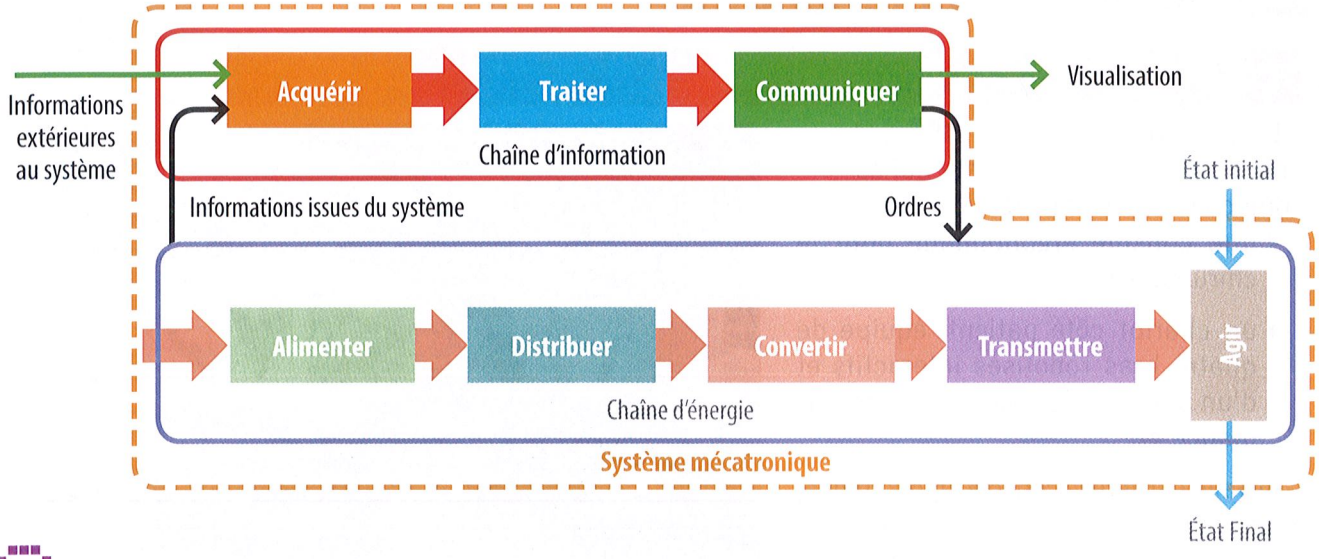
.....

Les systèmes mécatroniques peuvent être modélisés sous la forme d'une **chaîne d'énergie** et d'une **chaîne d'information**. Ces chaînes sont composées de **blocs fonctionnels** élémentaires qui peuvent s'agencer de différentes manières.

2. Chaîne d'information

La chaîne d'information permet d'**acquérir des informations** issues du système ou de l'extérieur, de les **traiter** et de les **communiquer** sous forme d'ordres à la chaîne d'énergie ou sous forme d'informations destinées à l'extérieur.

Les blocs de cette chaîne sont : **Acquérir**, **Traiter** et **Communiquer**.



3. Fonction Acquérir

Pour réaliser la fonction acquérir, on fait appel à des interfaces **homme-machine** ou à des **capteurs**.

Les **Interfaces Homme - Machine (IHM)** permettent à l'utilisateur de donner des consignes au système.



Bouton poussoir

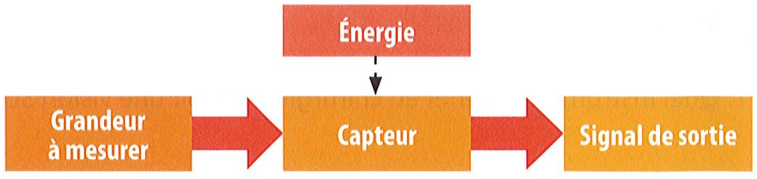


Clavier



Écran tactile (boutons)

Les **capteurs** transforment l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable.



3.1 Grandeur à mesurer

La grandeur à mesurer peut être toute grandeur physique ou chimique telle que l'accélération, le couple, la densité, la fréquence, l'intensité lumineuse, la masse, la tension, la vitesse…

APPLICATION 1

- Compléter le tableau suivant en indiquant la grandeur à mesurer en fonction des applications proposées.

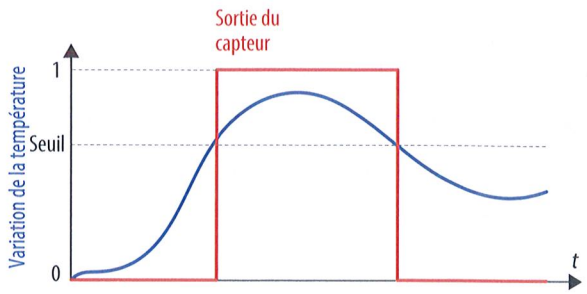
Utilisation	Grandeur à mesurer
Régulation de chauffage dans une maison	
Radar routier	
Radar de recul automobile	
Allumage/extinction de l'éclairage public	

Le **signal de sortie** d'un capteur peut prendre 3 formes différentes : logique, analogique ou numérique.

3.2 Signal de sortie logique

Le signal logique ou **Tout Ou Rien (TOR)** peut prendre deux valeurs (0 ou 1 logique). Dans ce cas, on parle de **capteur TOR**.

Exemple : un capteur de température prend en sortie un niveau logique 0 si la température est en dessous d'un seuil réglé par l'utilisateur et passe à 1 si la température passe au-dessus du seuil.

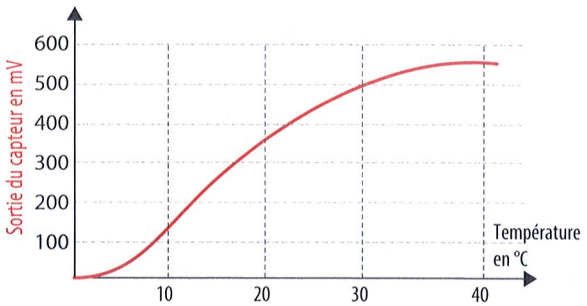


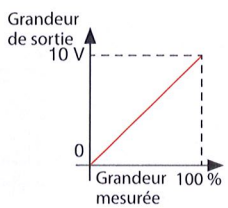
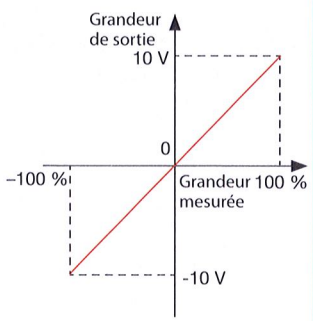
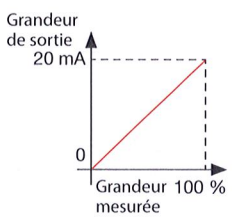
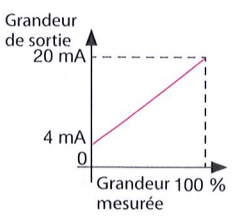
3.3 Signal de sortie analogique

La variation de la grandeur à mesurer produit une variation de la **grandeur électrique** de sortie du capteur. Dans ce cas, on parle de **capteur analogique**.

Exemple : un capteur de température fournit une tension variant en fonction de la valeur de la température mesurée.

Les signaux analogiques se déclinent en 4 catégories normalisées.

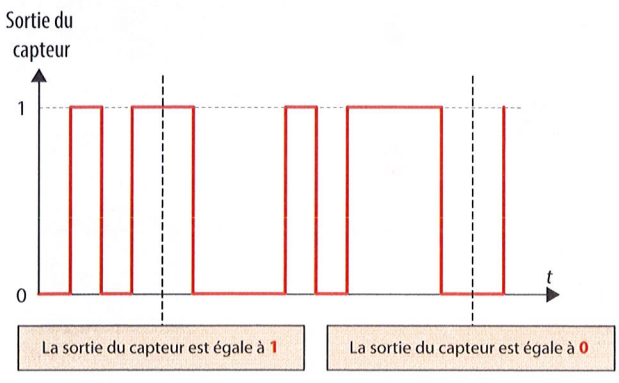


Nature de la sortie	Tension		Courant	
Évolution de la grandeur de sortie				
Plage de sortie	Sortie 0/10 V	Sortie -10/+10 V	Sortie 0/20 mA	Sortie 4/20 mA

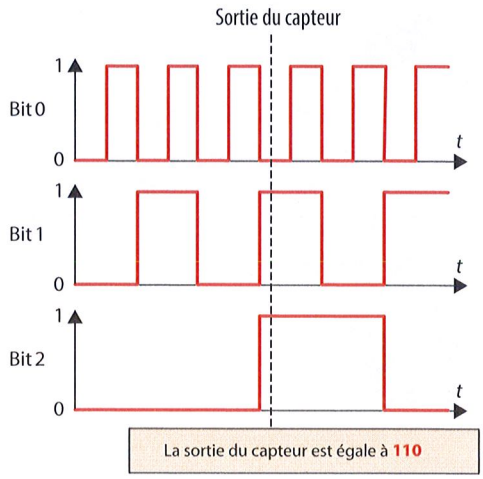
3.4 Signal de sortie numérique

Le signal est une suite de signaux logiques (bits) qui forment une donnée à traiter. Dans ce cas, on parle de **capteur numérique**. Le signal peut prendre plusieurs formes.

Sortie série : les bits de données sont envoyés les uns après les autres



Sortie parallèle : les bits de données sont envoyés simultanément



APPLICATION 2

1. Pour détecter le passage d'une personne, on décide d'utiliser un capteur TOR. Quel est le type de signal issu de ce capteur ? ☐ logique ☐ analogique ☐ numérique
2. Quelles valeurs peut prendre ce signal ? .....
3. La sortie 0/10 V d'un capteur de vitesse a les caractéristiques suivantes : 0 V → 0 km/h et 10 V → 130 km/h. À quelle vitesse correspond une tension de sortie du capteur de 6,93 V ?

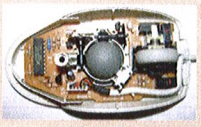
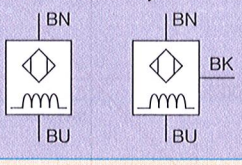
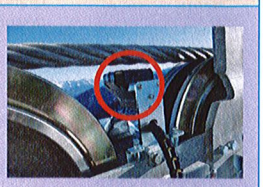
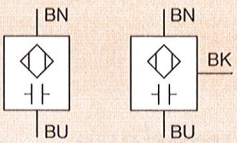
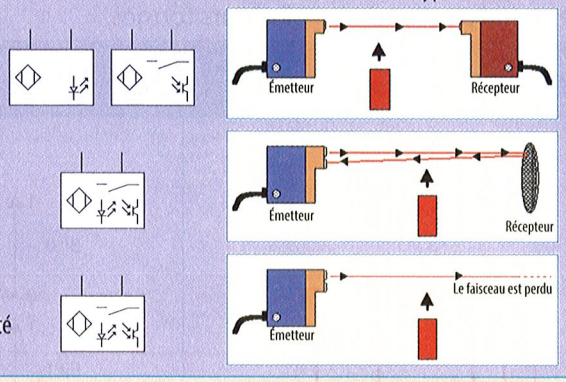
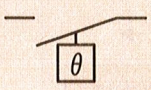
.....

4. Les différents types de capteurs

4.1 Les capteurs TOR

Les capteurs TOR possèdent un ou des contact(s) qui change(nt) d'état lors de la détection.

Exemples :

Nom	Fonctionnement	Exemple
Interrupteur de position 	La détection s'effectue par contact avec un objet extérieur. 	 Bouton de souris d'ordinateur
Détecteur de proximité inductif 	Il détecte un objet métallique présent à proximité de la tête sensible (de 1 à 75 mm). Il n'y a aucun contact entre le détecteur et l'objet. 	 Câble de téléphérique
Détecteur de proximité capacitif 	Il détecte tout objet présent à proximité de la tête sensible (de 1 à 30 mm). Il n'y a aucun contact entre le détecteur et l'objet. 	 Chaîne d'emballage
Détecteur photoélectrique 	Il se compose d'un émetteur de lumière associé à un récepteur. La détection d'un objet se fait par coupure ou variation d'un faisceau lumineux. Il en existe 3 types : 	 Entrée magasin
Détecteur de température Thermostat 	La détection a lieu lorsqu'une température préréglée (consigne) est atteinte. 	 Thermostat chauffe-eau

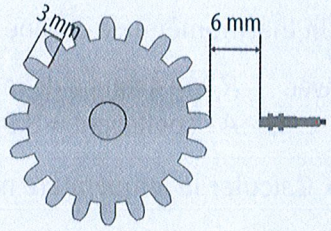
APPLICATION 3

1. Pour mesurer la vitesse de rotation d'une roue dentée en aluminium, on utilise un capteur TOR. Quel est son type ?

.....

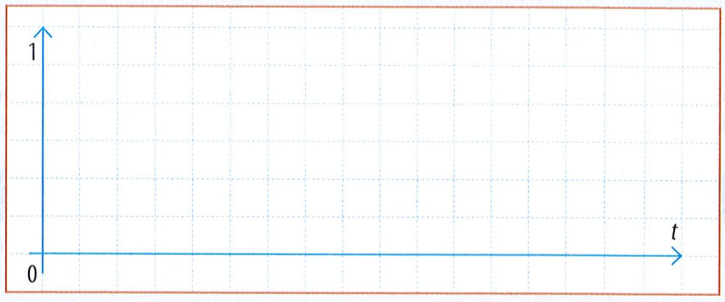
2. À l'aide de la documentation, donner la(es) référence(s) du détecteur.

.....



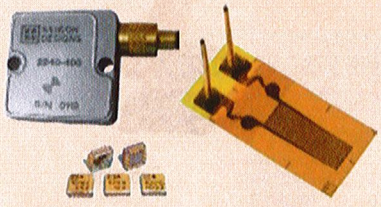
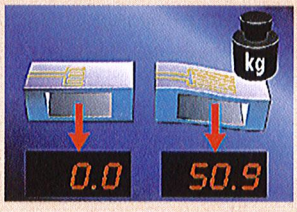
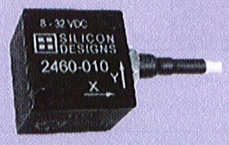
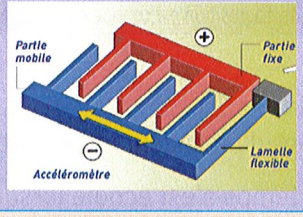
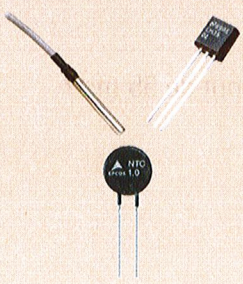
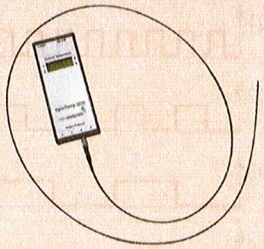
Famille produits	IWRM 12 ATEX	IWRM 18	IWRR 18
			
	AlphaProx	*AlphaProx*	*AlphaProx*
Type de montage	quasi noyé	quasi noyé	quasi noyé
Distance de mesure Sd	0 ... 4 mm	0 ... 8 mm	0 ... 7 mm
Dimension	12 mm	18 mm	18 mm
Longueur du boîtier	50 mm	60 mm	60 mm

3. Tracer l'allure du signal en sortie du capteur.



4.2 Les capteurs analogiques

Les capteurs analogiques utilisent différentes technologies suivant le type de grandeur à mesurer.

Nom	Fonctionnement	Exemple
Jauge de contrainte 	Les jauges de contraintes peuvent mesurer une force, une masse, un couple, un effort. Elles présentent une variation de leur résistance interne en fonction de l'effort de torsion, d'appui ou de cisaillement que l'on exerce dessus. 	 Balance
Accéléromètre capacitif 	Les accéléromètres miniatures sont composés de structure qui se plient en fonction de l'accélération. Ces déformations font varier la capacité du capteur. Cette variation est transformée en tension. 	 Manette de jeu vidéo
Capteur de température 	Ces capteurs ont une résistance ou une tension qui varie en fonction de la température de leur milieu ambiant.	 Sonde de température

APPLICATION 4

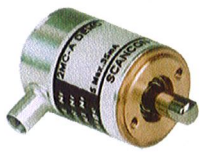
Un thermomètre de cuisine utilise une sonde PT100. Cette sonde suit la loi : $\frac{R_t}{R_0} = 1 + At$.

avec : R_t : résistance de la sonde à la température t ; R_0 : résistance de la sonde à 0 °C (100 Ω) ;
A : coefficient = $3{,}9 \times 10^{-3}$ °C^{-1}

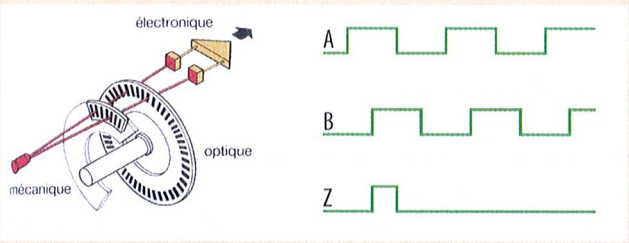
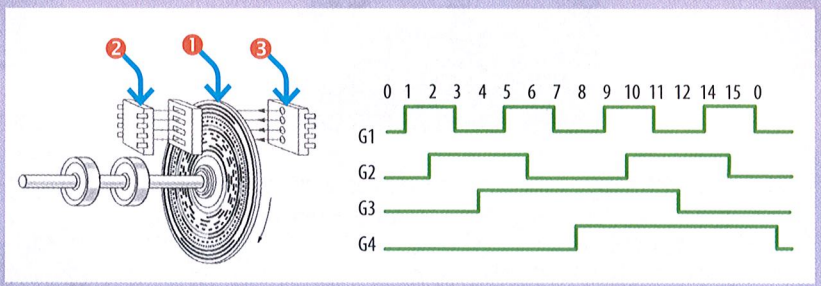
- Calculer la température mesurée dans la viande si la résistance de la sonde est égale à 178 Ω.

.....

4.3 Les capteurs numériques

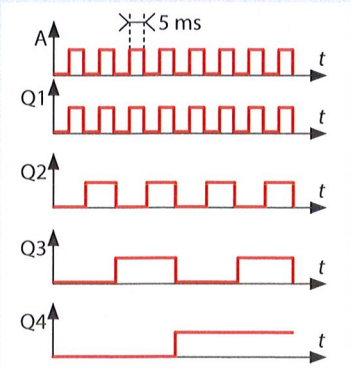


Les codeurs sont des **capteurs rotatifs** qui détectent la position angulaire. Ils sont solidaires de l'arbre tournant du système à contrôler. Il en existe 2 types :

Type	Fonctionnement	Exemple
Codeur incrémental	Le disque du codeur est divisé en « n » fentes régulières réparties sur sa périphérie. Un faisceau lumineux est dirigé au travers de ces ouvertures vers des récepteurs photosensibles.  Le capteur envoie un signal A qui permet de connaître la variation de position et la vitesse de rotation de l'arbre. Le déplacement est calculé en ajoutant le nombre d'impulsions à la position précédente. Un deuxième signal B, décalé par rapport à A, permet de connaître le sens de rotation de l'arbre. Le signal Z permet de compter le nombre de tours.	 Robotique
Codeur absolu	Le principe est le même, mais le disque ❶ est divisé en plusieurs pistes formant un code (binaire, gray,...). Plusieurs faisceaux lumineux ❷ sont envoyés au travers des ouvertures vers plusieurs récepteurs ❸.  Le signal de sortie est envoyé sur plusieurs bits. La position est connue en lisant le code présent en sortie.	

APPLICATION 5

Un système compte les impulsions A issues d'un codeur incrémental.



1. Quel temps s'est écoulé lorsque les sorties numériques (Q_1, Q_2, Q_3, Q_4) du compteur ont atteint **0101** (le bit de gauche représente la sortie Q4) ?

.....

2. Quelle est la valeur de la sortie du système au bout de 55 ms ?

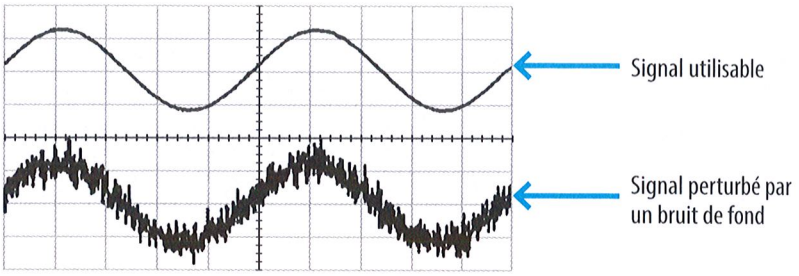
.....

5. Conditionnement du signal

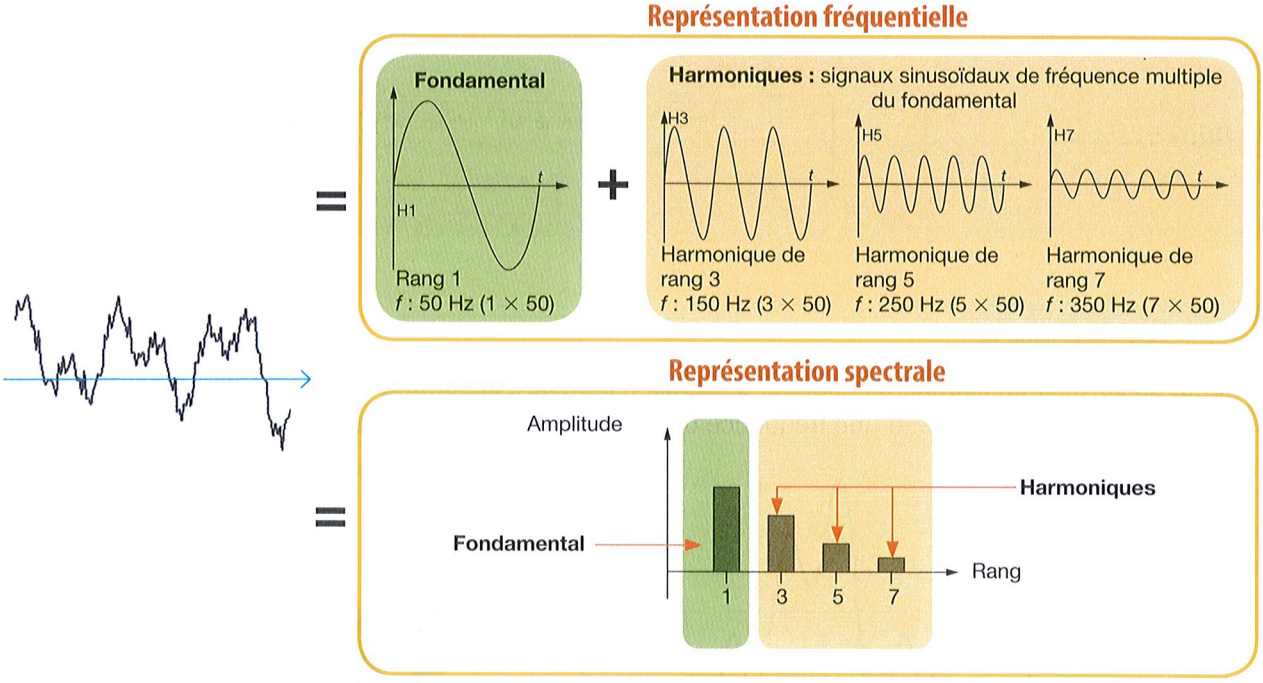
Le signal fourni par un capteur est généralement de faible amplitude et peut être entaché de bruits. Il convient alors de le conditionner, c'est-à-dire de le rendre apte à être transformé en une information numérique.

5.1 Filtrage

Le **filtrage** permet d'**éliminer les perturbations** dues au milieu ambiant (bruit de fond, parasites…).

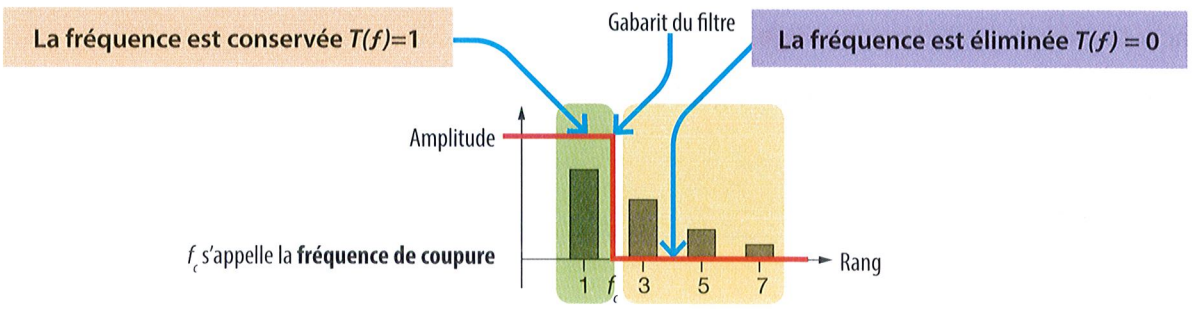


Le mathématicien Joseph Fourrier a montré que tout signal est en fait la somme de plusieurs signaux sinusoïdaux : le **fondamental** + les **harmoniques**.

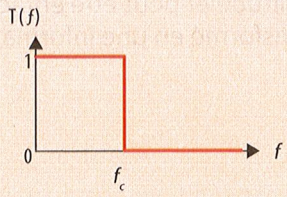
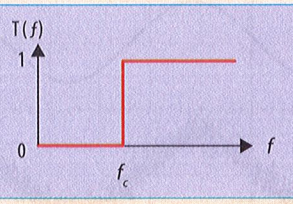
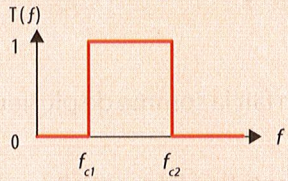
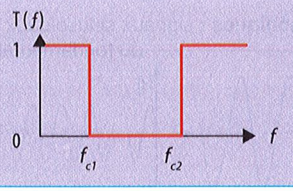


En partant de ce principe, il suffit d'atténuer les signaux de fréquence indésirable pour retrouver un signal « propre ». C'est le rôle des **filtres**.

Pour définir un filtre, on va utiliser une représentation simplifiée de son fonctionnement : le **gabarit**.
Il s'agit d'appliquer à chaque fréquence du signal d'entrée une amplification (multiplication) $T(f)$.
Si $T(f) = 0$ la fréquence est éliminée ; si $T(f) = 1$ la fréquence est conservée.

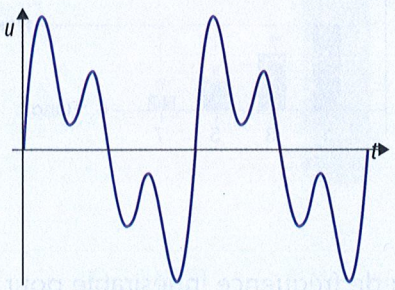


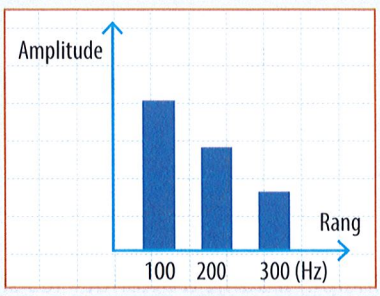
Il existe 4 types de gabarit.

Nom	Caractéristique	
Filtre passe-bas		Ce filtre laisse passer les basses fréquences ($< f_c$) et coupe les hautes fréquences.
Filtre passe-haut		Ce filtre laisse passer les hautes fréquences ($> f_c$) et coupe les basses fréquences.
Filtre passe-bande		Ce filtre laisse passer les fréquences comprises entre f_{c1} et f_{c2}. Il élimine toutes les autres.
Filtre réjecteur de bande		Ce filtre élimine les fréquences comprises entre f_{c1} et f_{c2}. Il laisse passer toutes les autres.

APPLICATION 6

Le signal en sortie d'un capteur a l'allure ci-dessous. Il peut être décomposé en trois signaux sinusoïdaux S_1 d'une fréquence de 100 Hz, S_2 d'une fréquence de 200 Hz et S_3 d'une fréquence de 300 Hz.





1. Quel type de filtre doit-on utiliser pour conserver uniquement le signal de 300 Hz.

.....

2. Quelle est la fréquence de coupure de ce filtre ? .....

3. Tracer le gabarit de ce filtre en **rouge**. .....

4. Mêmes questions pour conserver un signal de 200 Hz.

.....

5. Tracer le gabarit de ce filtre en **vert**.

5.2 Conversion

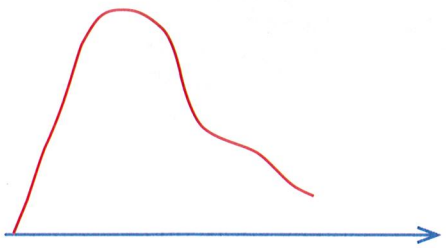
La partie Traiter est constituée d'un composant programmable qui ne traite que des signaux numériques. Il faut donc convertir les signaux analogiques en signaux numériques. Cette conversion est appelée la **numérisation**.

Pour réaliser cette opération, il est nécessaire de stabiliser le signal à convertir pendant la phase de conversion (on utilisera dans ce cas un **échantillonneur-bloqueur**) puis d'effectuer la conversion (on utilisera dans ce cas un **convertisseur analogique-numérique**).

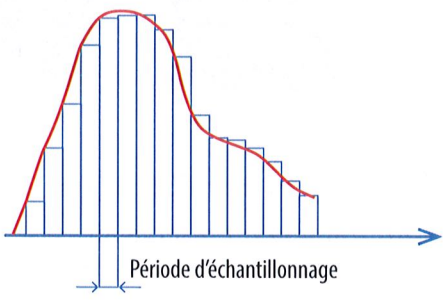
Principe de l'échantillonneur-bloqueur

L'échantillonnage consiste à prendre à intervalle de temps régulier (période d'échantillonnage) un échantillon du signal et à le maintenir bloqué.

Signal analogique

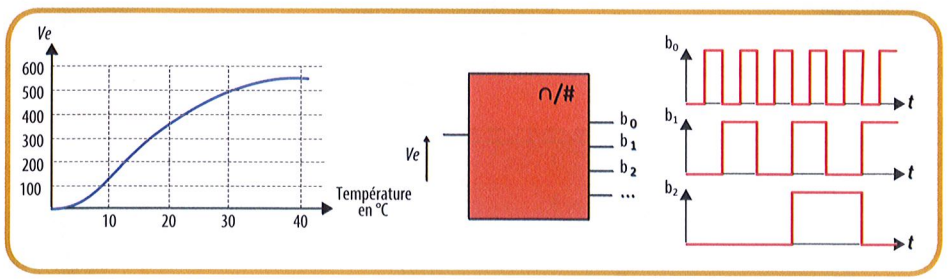


Signal échantillonné bloqué

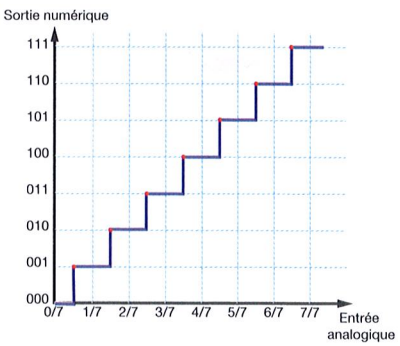


Principe du Convertisseur Analogique-Numérique (CAN ou ADC en anglais)

Le convertisseur analogique-numérique transforme un signal d'entrée analogique en un signal de sortie numérique codé sur plusieurs bits.

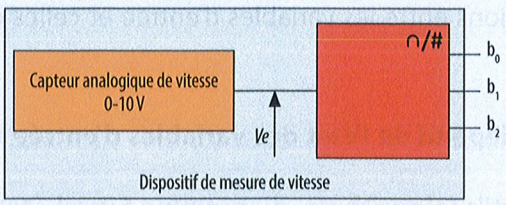


Caractéristique de sortie d'un CAN 3 bits



Les critères de choix d'un CAN sont la durée de conversion qui permet de répondre à la rapidité d'exécution voulue et le nombre de bits qui permet de répondre à la précision souhaitée.

APPLICATION 7



Le schéma d'un dispositif de mesure de vitesse est visible ci-contre.

- En utilisant la caractéristique de sortie du CAN ci-dessus donner la valeur numérique en sortie du capteur si la valeur de la tension d'entrée *Ve* est de 6,3 V.

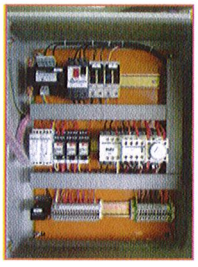
.....

6. Fonction Traiter

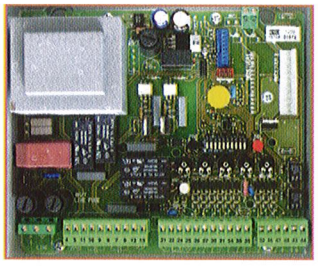
Il existe deux façons principales pour réaliser la fonction Traiter : le traitement câblé et le traitement programmé.

6.1 Le traitement câblé

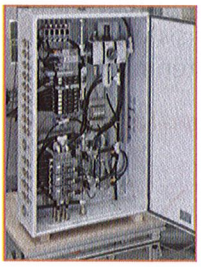
Le traitement câblé est réalisé en reliant entre eux des éléments électriques électroniques ou pneumatiques. La structure est figée et est réservée pour les systèmes simples et non évolutifs.



Câblage électrique



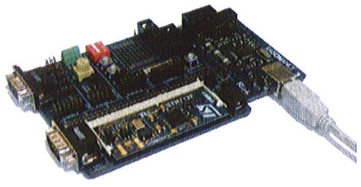
Câblage électronique



Câblage pneumatique

6.2 Le traitement programmé

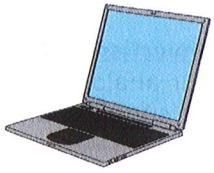
Le **traitement programmé** est réservé aux systèmes plus complexes, ou évolutifs, ou nécessitant une taille réduite. Les composants utilisés sont programmables.



microcontrôleur (picaxe, arduino...)

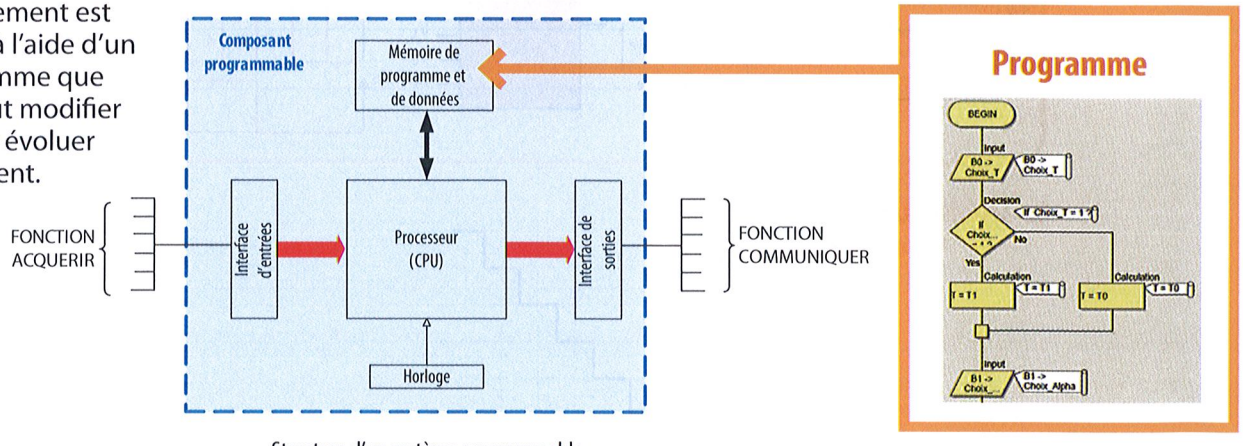


automate programmable



ordinateur programmable

Le traitement est réalisé à l'aide d'un programme que l'on peut modifier ou faire évoluer facilement.



Structure d'un système programmable

6.3 Programmation

La programmation consiste à décrire le comportement d'un processus. On va distinguer deux types de comportements que l'on nommera logiques : logique combinatoire et logique séquentielle.

La logique combinatoire

La logique est dite combinatoire si **l'état des variables de sorties ne dépend que de l'état présent des variables d'entrée**.

Pour décrire le comportement du système, il faut établir des relations entre les variables d'entrée et celles de sorties. On parle de **fonctions logiques**.

La logique séquentielle

La logique est dite séquentielle si **l'état des variables de sortie dépend de l'état des variables d'entrée ET de ce qui s'est passé auparavant.**

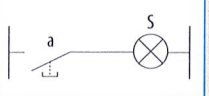
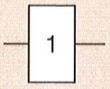
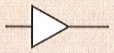
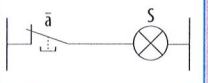
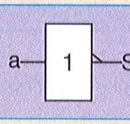
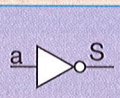
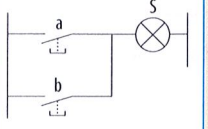
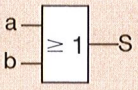
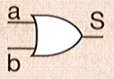
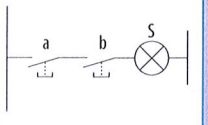
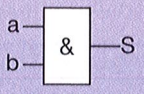
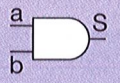
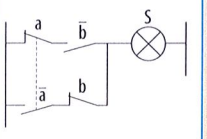
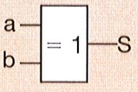
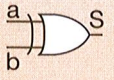
Pour décrire le comportement du système, on utilise plusieurs outils **(algorithme, diagramme Sysml états-transitions, grafcet,.....)**.

6.4 Logique combinatoire

On utilise des variables logiques qui peuvent prendre 2 états : 0 ou 1 (désactivée = 0, activée = 1).

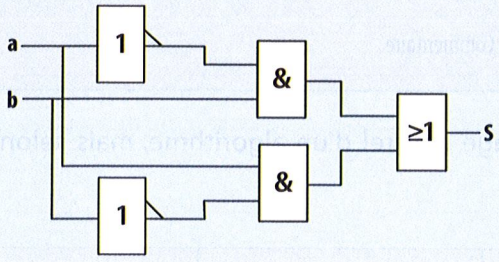
La **table de vérité** permet de connaître l'état des sorties pour chaque combinaison des variables d'entrée. Le fonctionnement est décrit par une équation logique qui utilise les opérateurs logiques.

Fonctions logiques de base

Nom	Schéma à contact	Symbole européen	Symbole anglo-saxon	Équation logique	Table de vérité	Exemples
OUI				$S = a$	a | S 0 | 0 1 | 1	Sonnette
NON				$S = \bar{a}$	a | S 0 | 1 1 | 0	Lampe de réfrigérateur
OU				$S = a + b$	a | b | S 0 | 0 | 0 0 | 1 | 1 1 | 0 | 1 1 | 1 | 1	Détecteur de présence dans un couloir
ET				$S = a.b$	a | b | S 0 | 0 | 0 0 | 1 | 0 1 | 0 | 0 1 | 1 | 1	Éclairage extérieur (présence de personne et luminosité basse)
OU exclusif				$S = a \oplus b$	a | b | S 0 | 0 | 0 0 | 1 | 1 1 | 0 | 1 1 | 1 | 0	Distributeur de boisson (café ou chocolat)

APPLICATION 8

1. Compléter la table de vérité correspondant au schéma (logigramme) ci-dessous.



a	b	S
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

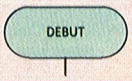
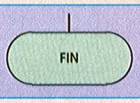
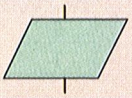
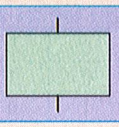
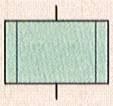
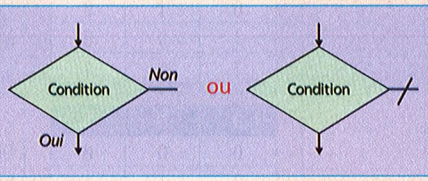
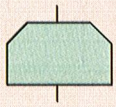
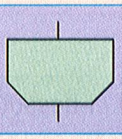
2. Donner l'équation logique de S. .....

3. Tracer le schéma à contact. .....

6.5 Logique séquentielle : algorithmes

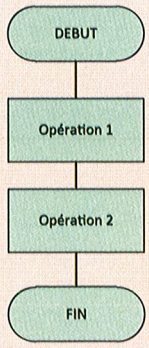
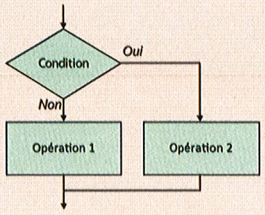
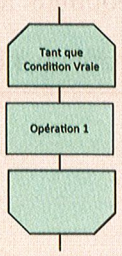
Un **algorithme** décrit l'évolution du fonctionnement du système par une suite ordonnée d'instructions, qui une fois exécutée correctement, conduit à un résultat donné. Un **algorigramme** est une représentation graphique de l'algorithme.

Principaux symboles d'un algorigramme

Symbole	Description
	Début de l'algorigramme
	Fin de l'algorigramme
	Acquisition des entrées ou mise à jour des sorties
	Traitement des données (assignation de valeurs, opérations,...)
	Appel à un sous-programme
	Test d'une condition et aiguillage suivant le résultat
	Début d'une boucle
	Fin d'une boucle
	Commentaire

Le **pseudo-code** est une représentation en langage naturel d'un algorithme, mais selon une disposition particulière et des mots choisis.

Exemple :

ALGORIGRAMME			
PSEUDO-CODE	**Début** Opération 1 Opération 2 **Fin**	**Si** Condition vraie **Alors** Opération 2 **Sinon** Opération 1 **Fin Si**	**Tant Que** condition vraie **Faire** Opération 1 Fin **Tant Que**

APPLICATION 9

1. Représenter l'algorigramme correspondant au pseudo-code ci-dessous.

Début
Acquérir la valeur de la température
Affecter la valeur de la température à la variable T
Tant Que T < 65 °C
Faire Chauffer
Fin Tant Que
Fin

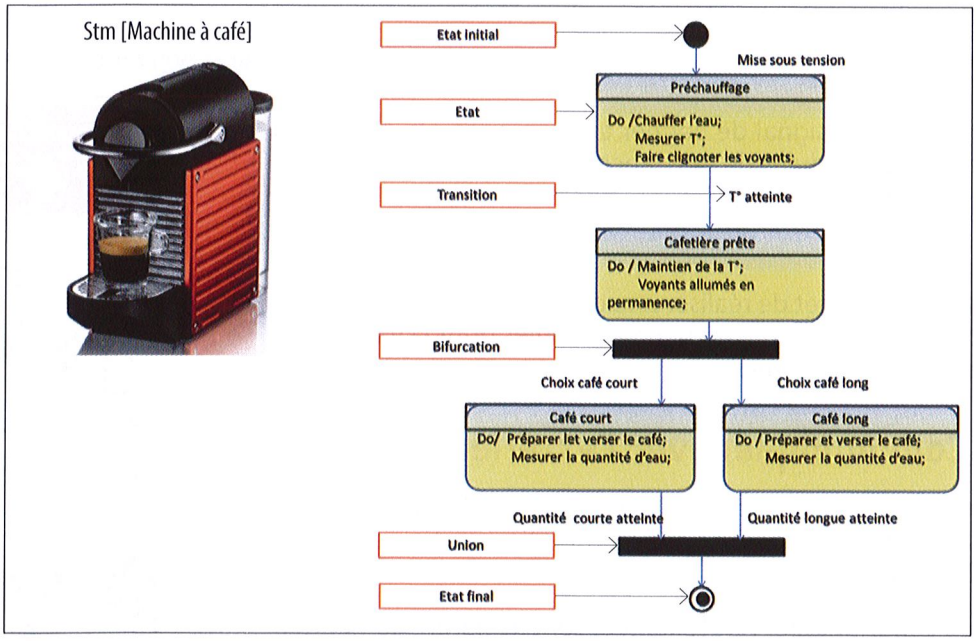
2. Analyse :

a) Si T = 50 °C, que se passe-t-il ? .....

b) Si T = 70 °C, que se passe-t-il ? .....

6.6 Logique séquentielle : diagrammes Sysml états-transitions

Le diagramme états-transition (Stm : state machine diagram) permet de modéliser le comportement d'un système par les **états successifs** dans lesquels il peut se trouver et les **transitions** qui permettent de passer d'un état à l'autre.

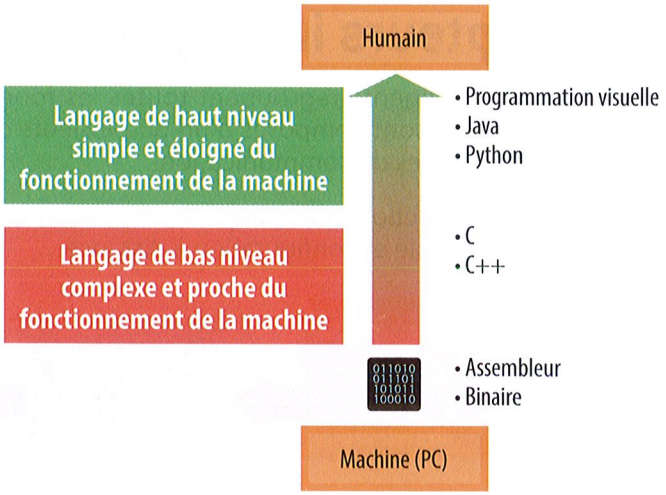


6.7 Logique séquentielle : langages de programmation

Une fois la description du processus réalisée, il ne reste plus qu'à formuler l'algorithme à l'aide d'un **langage de programmation** pour créer un programme informatique.

Il existe plusieurs types de programmation : structurée (Basic, Pascal, C, Fortran, ...) ; orientée objet (Java, ...) ; descriptive (HTML,...) ; visuelle (Ladder, boîtes fonctionnelles (FBD), Grafcet, scratch, ardublock, ...) ; ...

Niveaux de langage



7. Fonction Communiquer

La fonction Communiquer intègre deux parties :

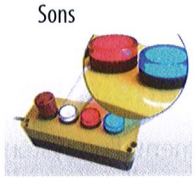
- **Restituer les informations** vers l'utilisateur ou vers la chaîne d'énergie pour la piloter.
- **Communiquer avec l'extérieur.**

7.1 Restituer les informations

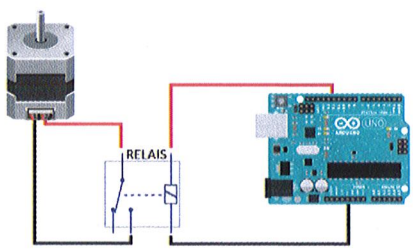
Les informations directement exploitables et fournies par la partie Traiter sont restituées sous forme logique, analogique (son, commandes pour la chaîne d'énergie…) ou numérique (écran LCD,…).



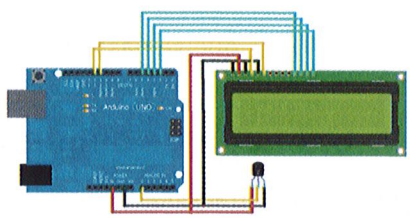
Sons



Voyants



Commande de la chaîne d'énergie



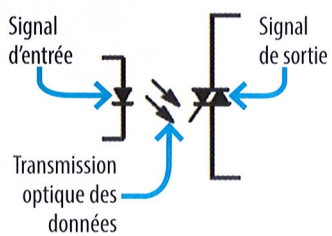
Envoi d'informations sur afficheur LCD

Pour transmettre des ordres à la chaîne d'énergie, des organes supplémentaires peuvent être nécessaires :

L'**amplificateur** permet au signal de gagner en puissance. On peut ainsi communiquer avec des modules de puissance plus élevée ou augmenter la distance de communication.



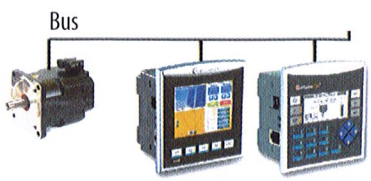
L'**isolation galvanique** permet de réaliser une communication sans liaison électrique. On peut ainsi communiquer entre modules dont la valeur et la nature de la tension sont différents.



7.2 Communiquer avec l'extérieur

La partie Communiquer avec l'extérieur permet de rendre les systèmes communicants, d'échanger des données, de diagnostiquer et de commander à distance.

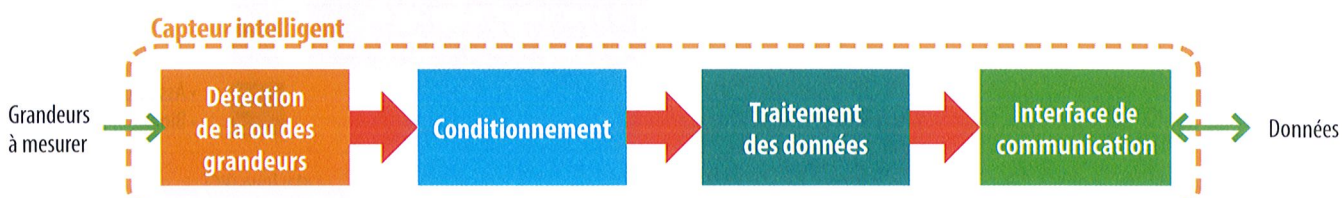
Les informations à communiquer vers l'extérieur sont de nature numérique et peuvent être transmises par différents types de **bus** (I2C, CAN…), **réseaux filaires** (ethernet, …) ou **réseaux sans fil** (bluetooth, zigbee, wifi…).



8. Capteurs intelligents

Les capteurs intelligents regroupent toutes les fonctions de la chaîne d'information (Acquérir – Traiter – Communiquer). Ils sont composés d'un ou plusieurs capteurs, d'unités de conditionnement et de traitement interne et d'interfaces de communication.

Ils disposent de fonctionnalités importantes : auto-adaptabilité, autodiagnostic, remplacement des données manquantes, contrôle et configuration à distance…



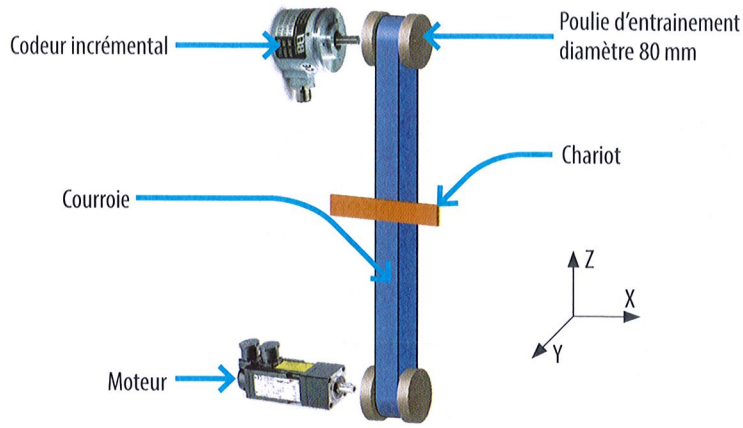
Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 11 TD

CHAÎNE D'INFORMATION

Activité 1. Codeur

Soit un magasin de stockage automatisé à rayonnages fixes (transtockeur) dont le déplacement du chariot sur l'axe Z a été détaillé.



1. Quelle distance parcourt le chariot lors d'un tour de la poulie d'entrainement ?

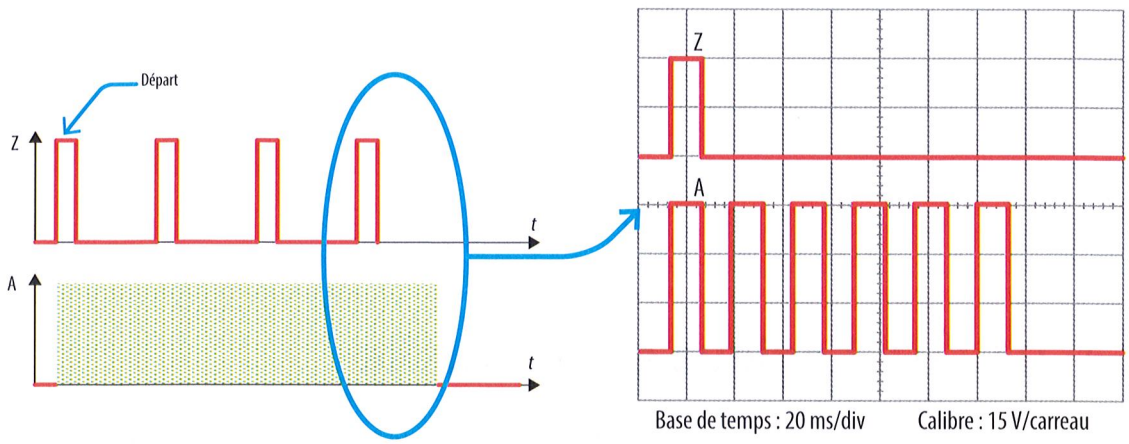
.....

.....

2. Le codeur fournit 1 024 impulsions par tour. Quel est le déplacement minimal mesurable par le codeur ?

.....

Lors du déplacement du chariot, un relevé des données du codeur a donné les résultats suivants.



Agrandissement du relevé des pistes A et Z dans le dernier tour

3. Calculer la longueur du déplacement du chariot lors de ce relevé.

.....

.....

4. Calculer la vitesse de déplacement du chariot en m/s.

.....

Activité 2. Capteur de température



Pour relever la température dans un four on utilise une sonde PT100. La loi de variation de la résistance en fonction de la température est donnée par :

$$R_\theta = R_0 (1 + \alpha \times \theta)$$

avec R_θ résistance à la température mesurée θ, R_0 résistance à 0 °C (100 Ω), α coefficient = 3,85 × 10^{-3} °C^{-1} et θ température mesurée

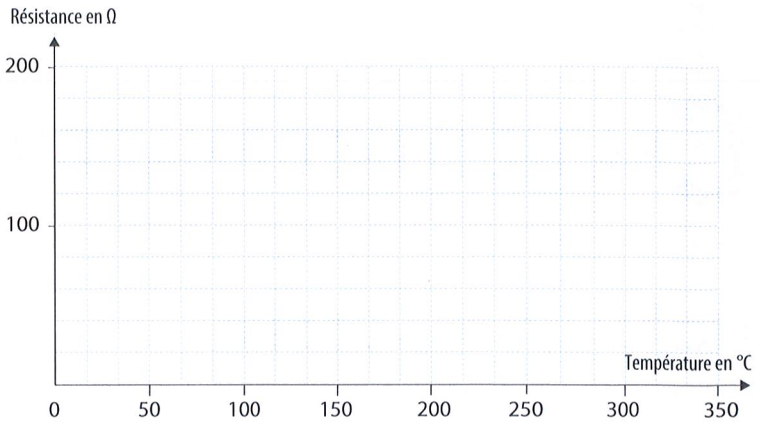
1. Tracer la caractéristique $R = f(\theta)$ de cette sonde pour des températures comprises entre 0 et 250 °C.

2. Donner graphiquement la valeur de la résistance pour une température mesurée de 170 °C.

.....

3. Calculer la valeur de la température mesurée pour une résistance égale à 230 Ω.

.....



Activité 3. Logique combinatoire

La commande des feux de croisements sur un véhicule est gérée de la façon suivante : **si** le contact est mis (**S1**) **et** si la luminosité est faible (**S2**) **ou si** le conducteur le souhaite (**S3**) **alors** les feux de croisements s'allument (**KA**).

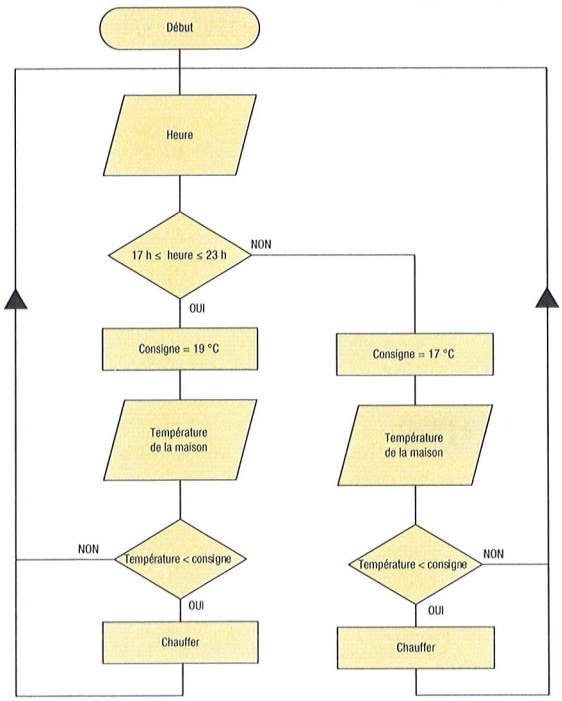
1. Écrire l'équation de fonctionnement. KA = ...

2. Tracer le schéma à contacts et le logigramme du fonctionnement.

Schéma à contacts

Logigramme

Activité 4. Logique séquentielle



L'algorigramme de la régulation de chauffage dans une maison est donné ci-contre.

1. Il est 16 h et la température dans la maison est de 18 °C.
   a) Tracer en **vert** le parcours sur l'algorigramme.
   b) Le chauffage fonctionne-t-il ? ☐ Oui ☐ Non
2. Il est 21 h et la température dans la maison est de 18 °C.
   a) Tracer en **rouge** le parcours sur l'algorigramme.
   b) Le chauffage fonctionne-t-il ? ☐ Oui ☐ Non
3. Il est 22 h et la température dans la maison est de 20 °C.
   a) Tracer en **bleu** le parcours sur l'algorigramme.
   b) Le chauffage fonctionne-t-il ? ☐ Oui ☐ Non

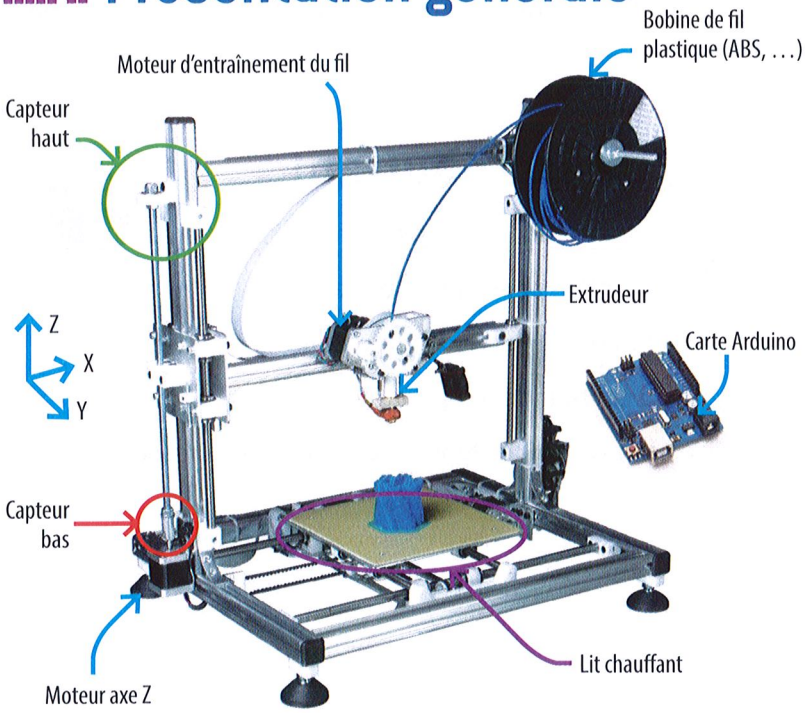
Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 11 ÉTUDE DE CAS

CHAÎNE D'INFORMATION D'UNE IMPRIMANTE 3D

Problématique : Choisir et raccorder des capteurs et des LEDS sur la carte Arduino qui pilote une imprimante 3D. Créer un programme de test.

1. Présentation générale



Les **imprimantes 3D** permettent de réaliser un prototypage rapide lors des phases de mise au point, de matérialiser rapidement les produits en cours de développement et de valider les solutions techniques retenues.

Les pièces sont réalisées par dépôts successifs, couche par couche, de plastique en fusion. Après avoir traversé une **buse** chauffée à haute température (extrudeur), le fil de plastique est déposé et collé sur la couche précédente.

Des **moteurs** X, Y et Z permettent de déplacer l'extrudeur afin de réaliser la forme de la pièce.

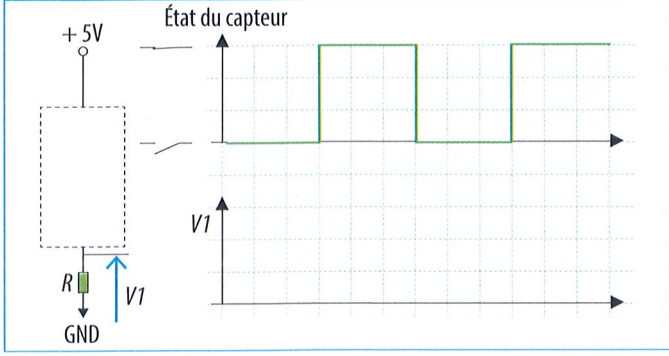
L'ensemble est piloté par un **module Arduino** sur lequel sont reliés tous les **capteurs** et les **cartes de puissance**.

2. Choix des capteurs de position sur l'axe Z

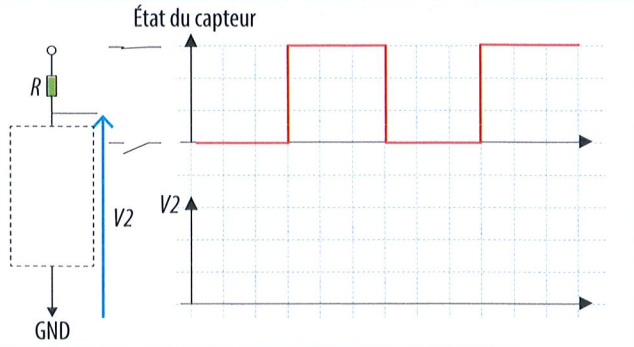
Deux capteurs doivent être disposés sur l'axe Z pour contrôler les positions basse et haute de l'extrudeur. À l'aide des documentations de la dernière page :

1. Déterminer le type et la référence du **capteur haut** (la détection se fera par contact direct avec la structure en aluminium). .....
2. Déterminer le type et la référence du **capteur bas** (la détection se fera sans contact direct avec la structure en aluminium et à une distance inférieure à 30 mm). .....
3. Compléter les schémas puis tracer l'allure des signaux fournis par ces capteurs.

Capteur de position haute



Capteur de position basse



4. Quelle est la nature des informations fournies par ces capteurs ?

☐ binaire ☐ analogique ☐ numérique

D'après la norme, la logique positive (la plus utilisée) est la logique pour laquelle l'état bas est affecté à l'état 0 et l'état haut à l'état 1. La logique négative est la logique pour laquelle l'état bas est affecté de l'état 1 et l'état haut de l'état 0.

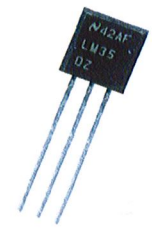
5. Quelle est la logique utilisée pour chaque capteur ?

- **Capteur position haute :** ☐ logique positive ☐ logique négative
- **Capteur position basse :** ☐ logique positive ☐ logique négative

6. Tracer en dernière page le schéma de raccordement des capteurs de position haute et basse.

7. Compléter en page ci-contre le diagramme Ibd de la chaîne d'information de l'imprimante 3D (uniquement pour les capteurs de position de l'axe Z).

3. Capteur de température du lit chauffant

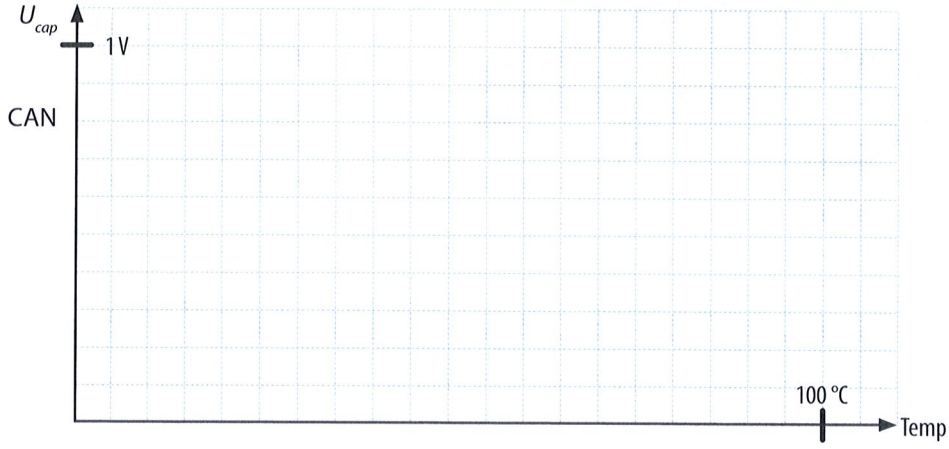


La **mesure de température** du lit chauffant se fera à l'aide du capteur de température LM35.

1. D'après la documentation technique de ce capteur en dernière page, quelle est la nature des informations fournies ? ☐ binaire ☐ analogique ☐ numérique

2. Tracer en dernière page le schéma de raccordement du capteur de température.

3. Tracer ci-dessous en **rouge** l'allure de la tension fournie par le capteur en fonction de la température (de 0 à 100 °C).



4. Écrire une équation permettant de calculer la tension fournie par le capteur (U_{cap}) en fonction de la température (Temp). .....

5. Chaque entrée Arduino de ce type est transformée en valeur numérique (la tension comprise entre 0 et 1 V est codée de 0 à 15).

a) Combien de bits sont nécessaires pour réaliser ce codage ? .....

b) Calculer la résolution du CAN (V/bit). .....

c) Tracer en **vert**, sur la courbe précédente, la conversion numérique obtenue en fonction de la température.

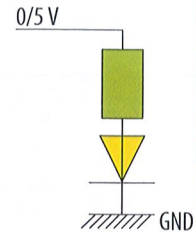
d) Écrire une équation permettant de calculer la valeur numérique (CAN) en fonction de la température (Temp).

.....

6. Indiquer sur la courbe les valeurs binaires correspondant aux valeurs numériques.

7. Compléter en page ci-contre le diagramme Ibd de la chaîne d'information de l'imprimante 3D (uniquement pour le capteur de température).

4. Restitution par led



Vous devez implanter deux leds de couleur **rouge** et **vert** qui serviront à indiquer que :

- La température de 50 °C est dépassée (led **rouge**).
- La température de 50 °C n'est pas encore atteinte (led **verte**).

- Tracer en dernière page le schéma de raccordement des leds et compléter le diagramme Ibd en bas de page.

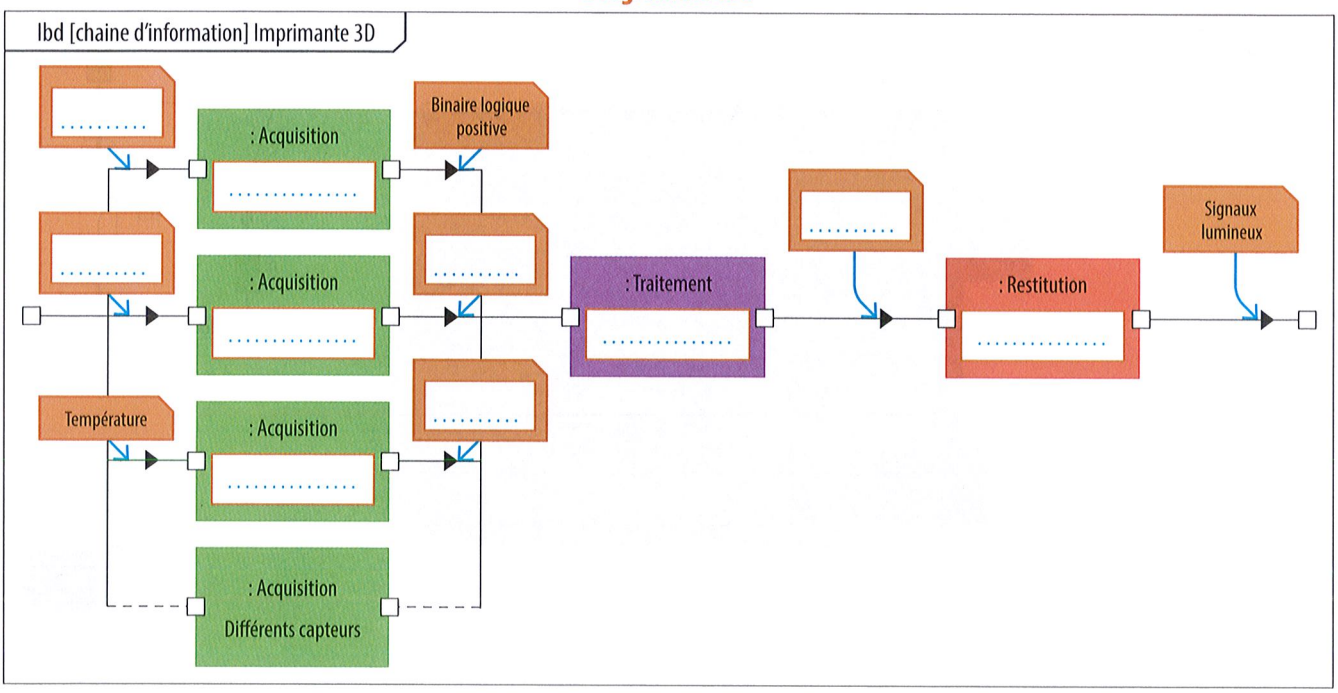
5. Programme de test

- Écrire ci-dessous sous forme d'algorithme un programme de test permettant, après action sur un bouton poussoir « test », de :
  - Provoquer la descente jusqu'en position basse de l'axe Z puis sa montée en position haute.
  - Porter ensuite le lit chauffant à une température de 50 °C. L'état de la température du lit chauffant sera indiqué grâce aux 2 leds (rouge et verte).

DEBUT

FIN

Diagramme Ibd



Choix des capteurs : organigramme de choix d'un capteur de position

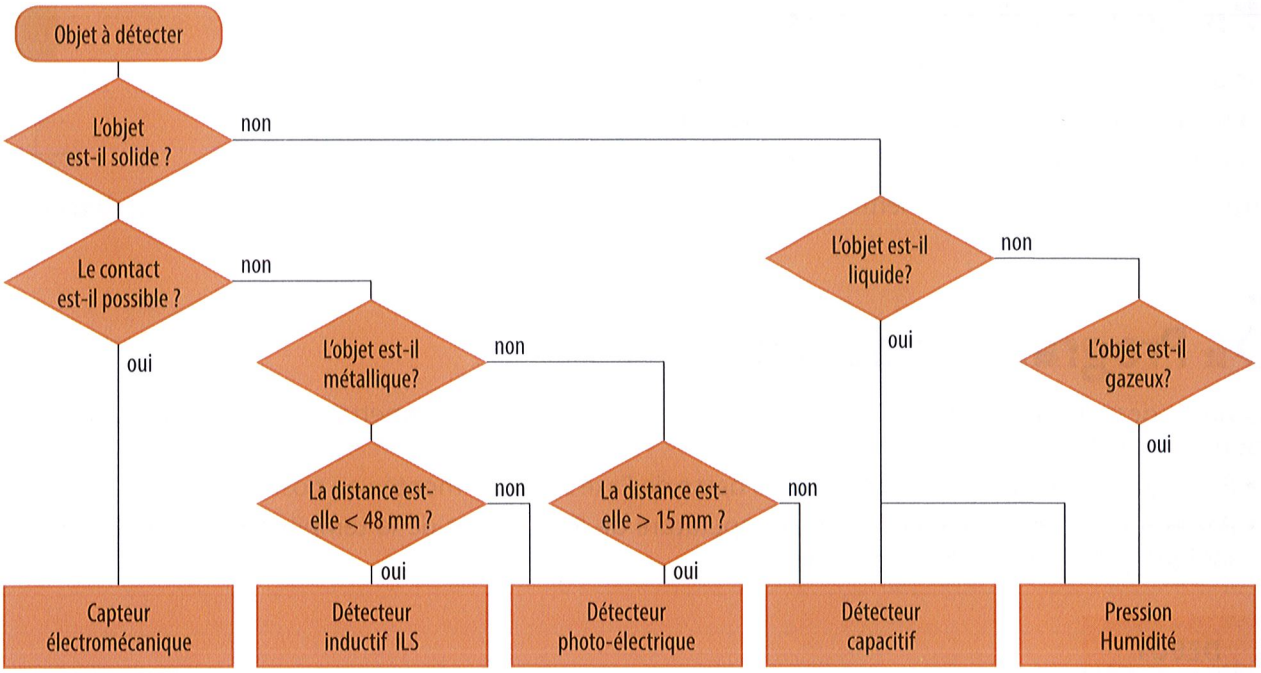
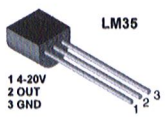
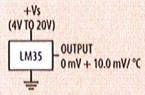


Tableau de choix

Capteur de température EDC11-0





- Calibrated directly in °Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/°C scale factor

Capteur infrarouge EDC11-1



Capteur double élément
Alimentation : 2,2 à 15 V
Consommation : 15 µA
Champ de détection : 52°

Capteur électromécanique EDC11-2



Capteur Tout ou rien
Pouvoir de coupure 0,1A



Capteur ILS (Interrupteur à Lames Souples) EDC11-3



Pouvoir de coupure : 0,5 A
Tension 2 à 10 V
Commutation par contact reed

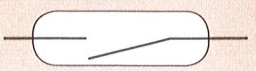
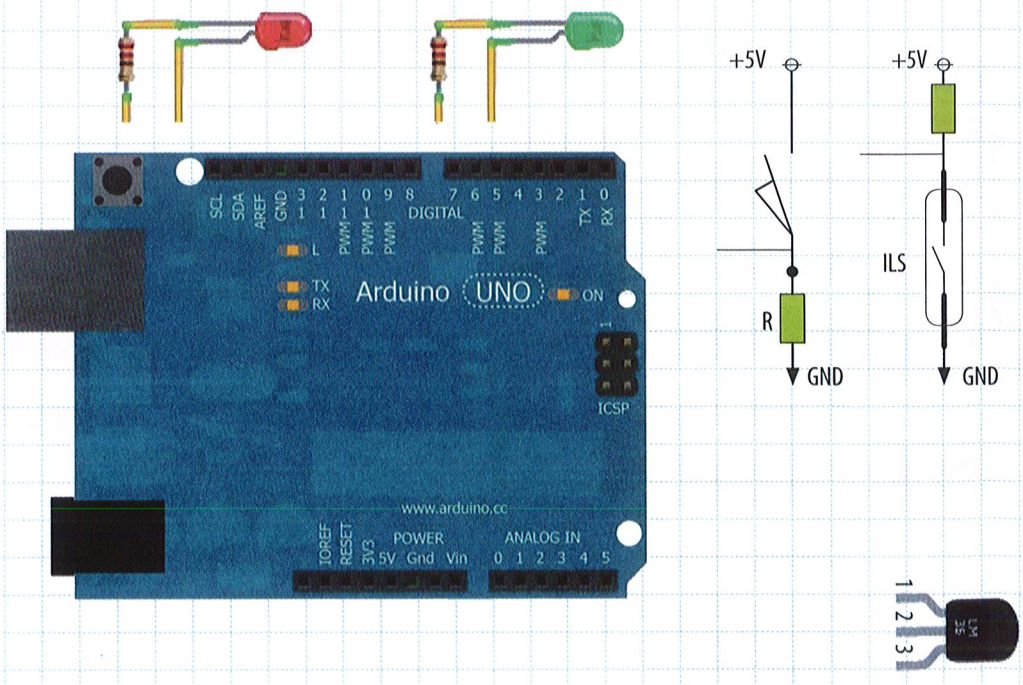


Schéma de raccordement

Entrées /sorties logiques disponibles : D8 à D13
Entrées analogiques disponibles : A3, A4 et A5



Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

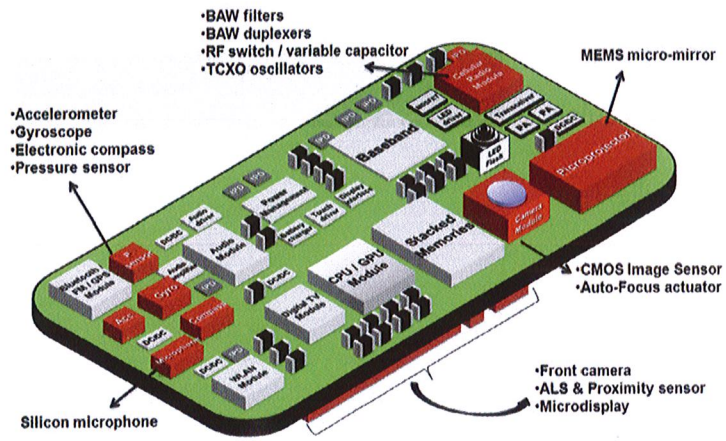
SÉQUENCE 1.1 INVESTIGATION 1

CHAÎNE D'INFORMATION D'UN SMARTPHONE

Problématique : Créer une boussole sur votre smartphone à l'aide d'un logiciel orienté programmation objet.

1. Capteurs

Un smartphone comporte de nombreux capteurs intégrés.



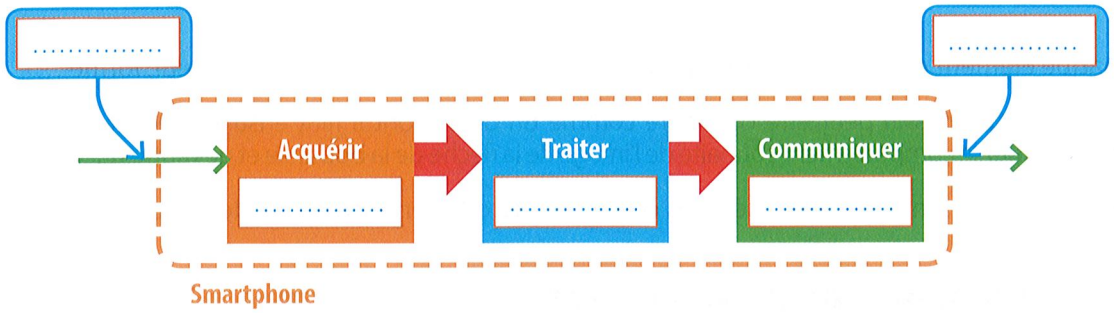


Pour cette activité, vous utiliserez le capteur d'orientation de l'appareil pour orienter une image de flèche de boussole. Il vous faudra également une image de fond avec les points cardinaux.

2. Chaîne d'information

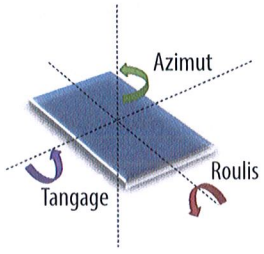
Les informations issues du capteur seront traitées par le CPU (Central Processing Unit) du smartphone pour ensuite être affichées sur son écran.

- Compléter la chaîne d'information d'après les données précédentes.



3. Fonction Acquérir

Fonctionnement du capteur : il renvoie 3 valeurs d'angles en degrés sur les 3 axes de rotation. Par convention, l'azimut vaut 0 degré lorsque le haut de l'appareil est orienté vers le nord.



Fonctions Traiter et Communiquer

Le traitement des données et l'affichage de la position de la flèche seront réalisés sous Android à l'aide du logiciel App Inventor.

En programmation, plusieurs styles fondamentaux existent (paradigme). L'un d'entre eux est la **programmation orientée objet**.

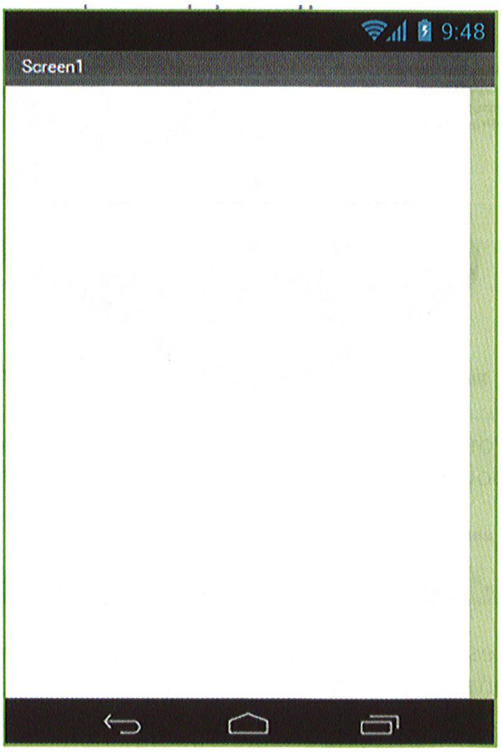
Vous allez utiliser **App Inventor** qui n'est pas exactement de la programmation orientée objet mais qui permet d'aborder les concepts principaux de ce type de programmation :

- Objet (entités informatiques, ici des blocs graphiques).
- Méthodes (qui régissent le comportement de ces entités informatiques, ici des éléments de programmation).
- Attributs (les propriétés modifiables de ces objets).

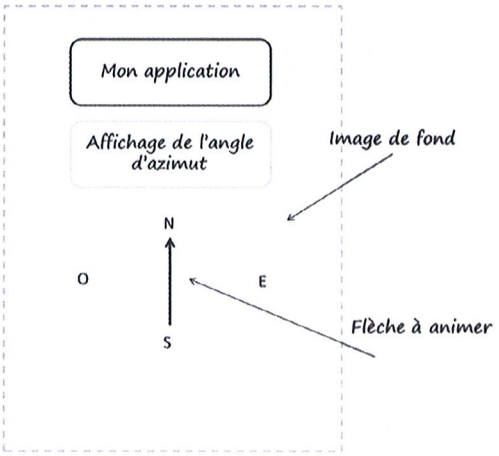
Cet outil graphique aide à créer facilement des applications pour plateforme Android.

4.1 Préparation de l'application

1. Dessiner sur l'écran ci-contre l'aspect général que vous voulez donner à votre application :
   - Placement des objets comme les boutons, leur taille, leur fonction,...
   - Placement des images, des textes,...



Exemple de disposition :



2. Pour chaque élément de votre dessin, indiquer les caractéristiques souhaitées (couleur, forme,...).
3. Chaque élément du dessin peut être considéré comme un objet dont il faut ensuite préciser le comportement souhaité. **Indiquer** le comportement souhaité de l'image de la flèche de la boussole et des autres éléments du dessin.
4. **Préparer** des fichiers informatiques séparés contenant les différents éléments de votre dessin.

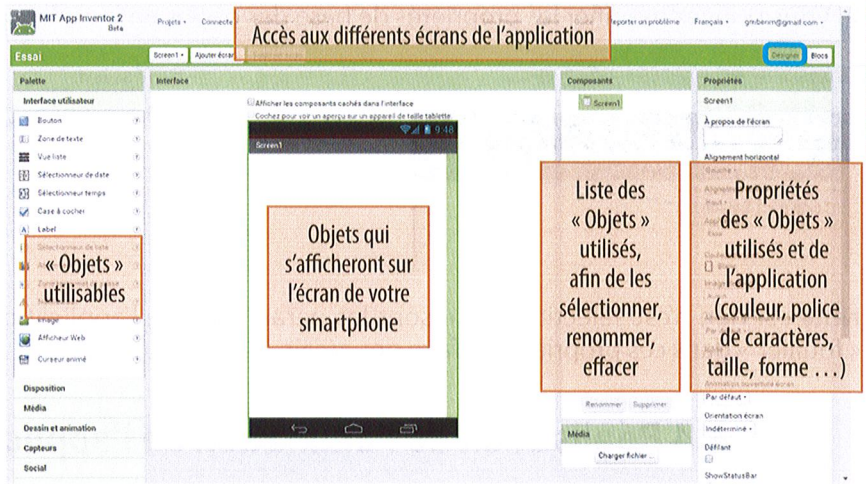
4.2 Présentation de App Inventor

Vous devez tout d'abord disposer d'un compte Google, si ce n'est pas le cas, en créer un. Se connecter ensuite sur : http://ai2.appinventor.mit.edu/.

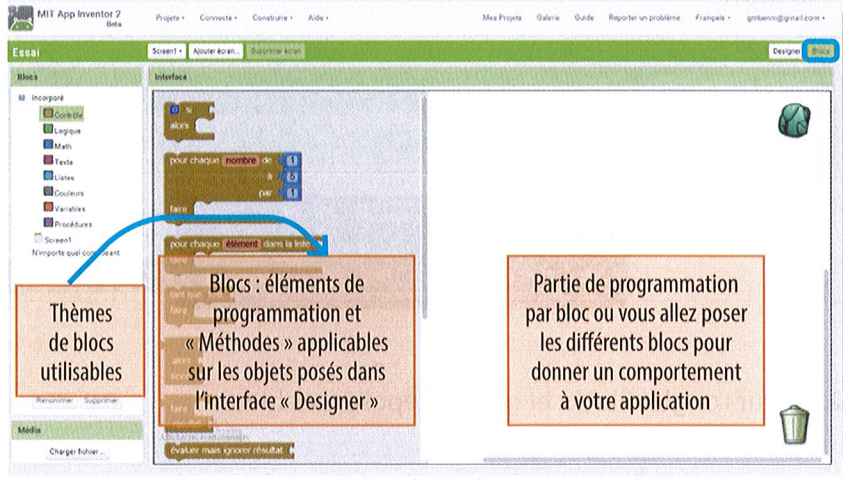
Cliquer sur Projets puis Start new project et donner un nom au projet.

La structure de App Inventor comprend deux parties essentielles :

- **Designer** qui permet de créer la partie graphique de votre application (ce qui va apparaître sur l'écran du smartphone) en utilisant différents « objets » et en les paramétrant.

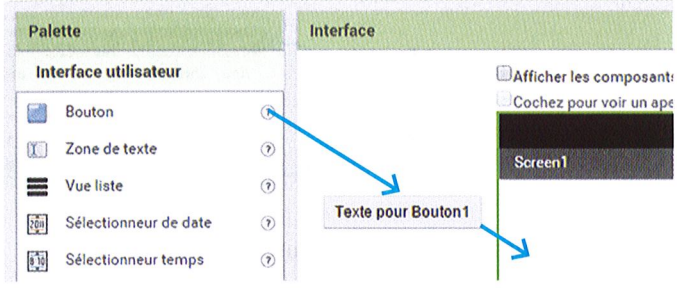


- **Blocs** qui permet de programmer par bloc le comportement de votre application et de ses « objets ».



4.3 Réalisation de la partie graphique de l'application

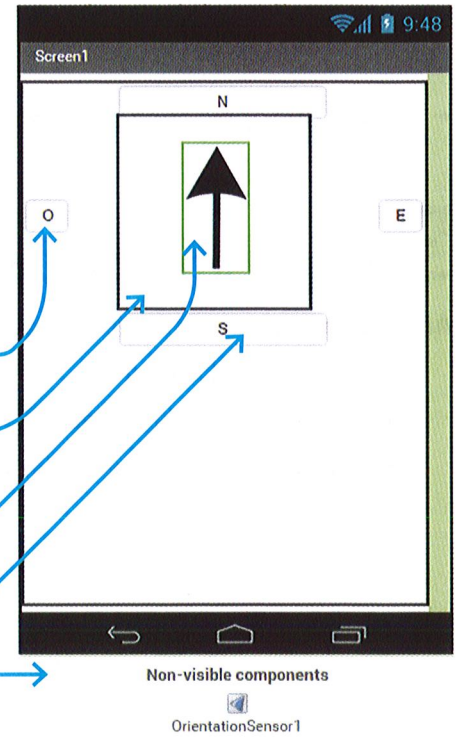
1. Dans le Designer, **placer** vos différents objets en les faisant « glisser ».



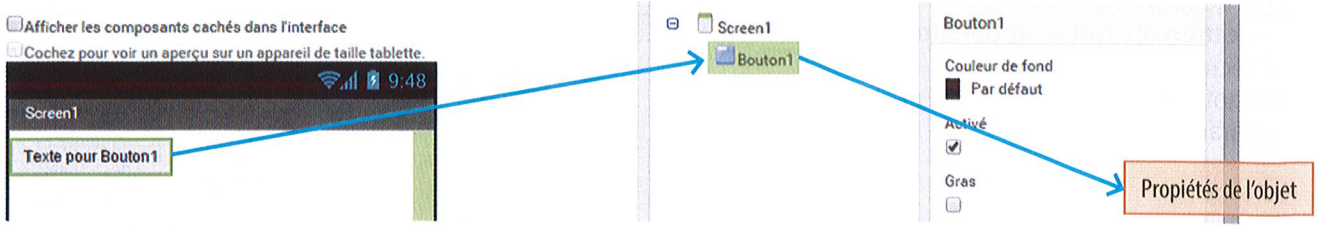
Pour cette application, il est conseillé de créer un tableau de 5 colonnes par 5 lignes dans lequel il faut placer les 4 points cardinaux et la flèche de boussole.

Pour cela, il vous faut au minimum les objets :

- **Tableau** de 5 colonnes par 5 lignes (cocher « remplir parents » pour sa taille).
- **Cadre** ou Canvas (une zone dans laquelle on peut dessiner et animer des objets).
- **Image lutin** ou Image sprite de 50 × 100 pixels à l'intérieur du cadre précédent (c'est l'image de la flèche de la boussole à animer). *Conseil :* mettre la flèche orientée vers le haut par défaut.
- Des blocs texte de 20 × 20 pixels pour les points cardinaux (N, E, S, O).
- Utilisation du capteur d'orientation ou Orientation sensor (le capteur d'orientation de l'appareil).



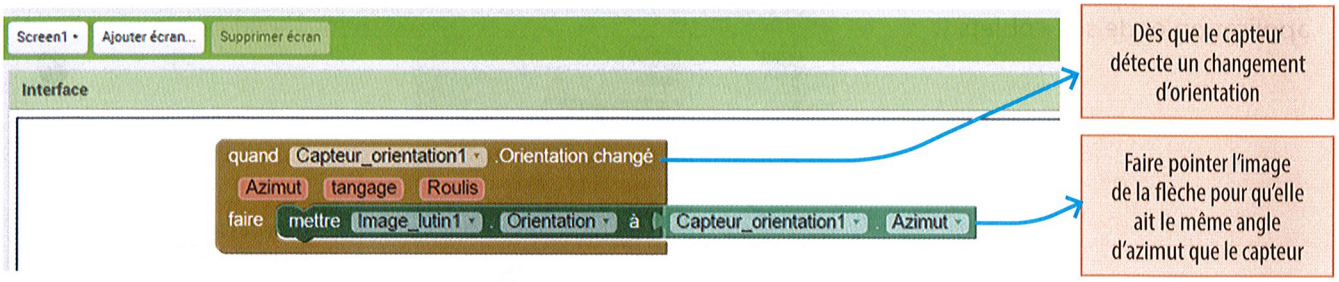
2. Vous pouvez modifier les propriétés de base des objets en les sélectionnant.



Note : si rien n'est sélectionné, ce sont les paramètres de l'application qui sont présentés. Ne pas hésiter à « fouiller » dans ces propriétés et faire des essais.

4.4 Réalisation de l'animation de l'application

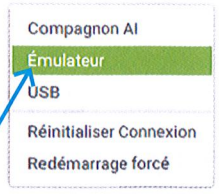
1. Les blocs suivants permettent un fonctionnement basique de l'application (l'image de la flèche indique le nord).



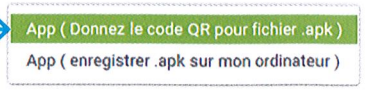
2. Ouvrir l'onglet Blocks et glisser-déposer ces blocs.

4.5 Test de l'application

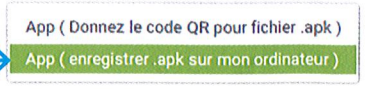
Afin de tester votre application, trois solutions sont possibles :



- La **simulation** avec l'émulateur (sous réserve d'avoir installé le logiciel aistarter).
- Le **test** sur smartphone en téléchargeant l'application via un **QR code**.



- Le **test** sur smartphone en enregistrant sur le PC puis en **transférant** sur l'appareil Android.



- **Tester** votre application et la **mettre** au point avec plusieurs essais si nécessaire.

Approfondissement

Améliorer votre application en travaillant son design, son ergonomie et en insérant d'autres fonctions :

- Affichage de l'azimut.
- Changement de la couleur de fond d'écran quand on est à + ou – 5 ° du nord.
- Un bouton d'activation et désactivation de la boussole.
- …

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

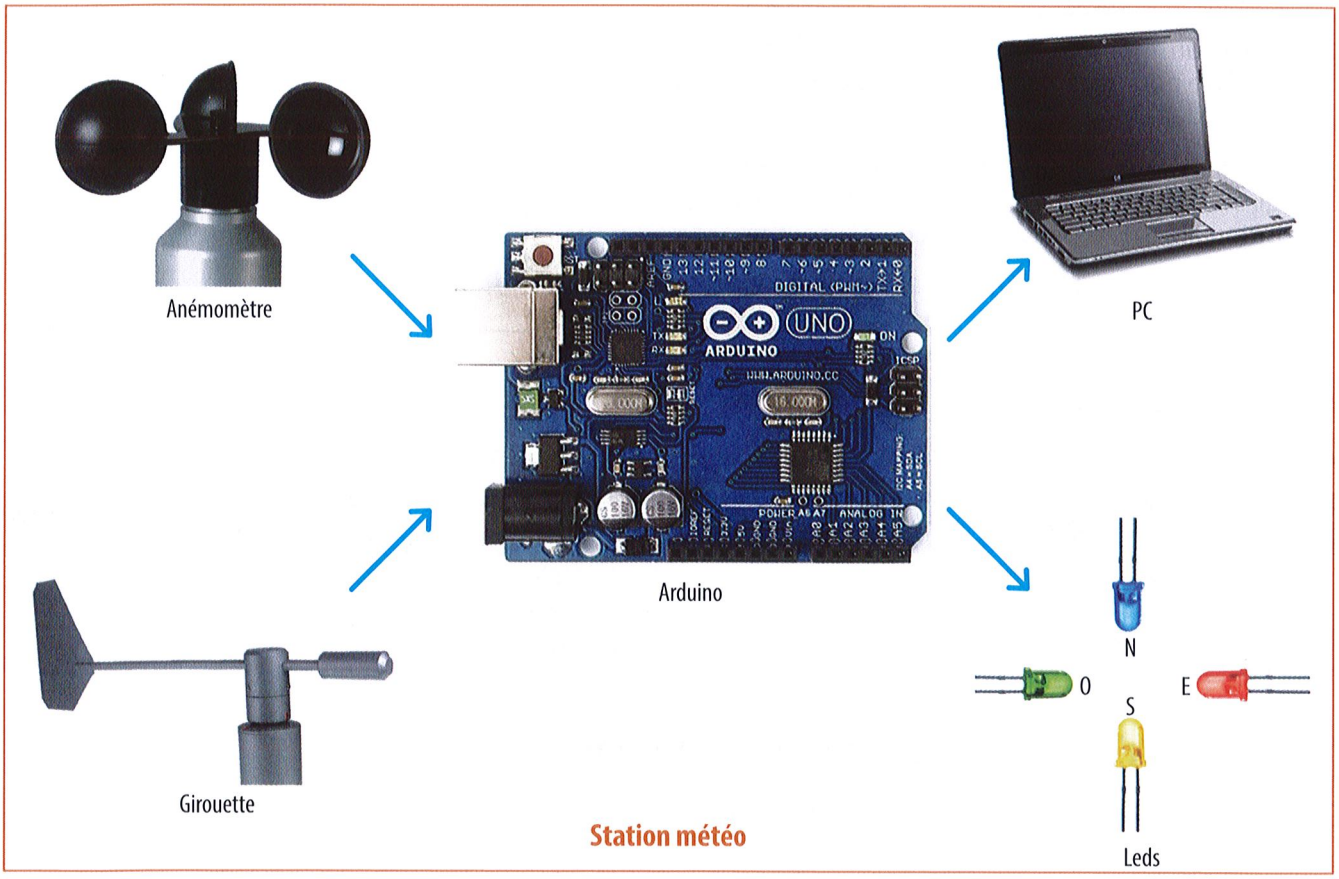
SÉQUENCE 11 INVESTIGATION 2

CHAÎNE D'INFORMATION D'UNE STATION MÉTÉO

Problématique : Réaliser une station météo permettant d'afficher la direction et la vitesse du vent sur un écran de PC à partir d'informations issues de deux capteurs.

1. Présentation

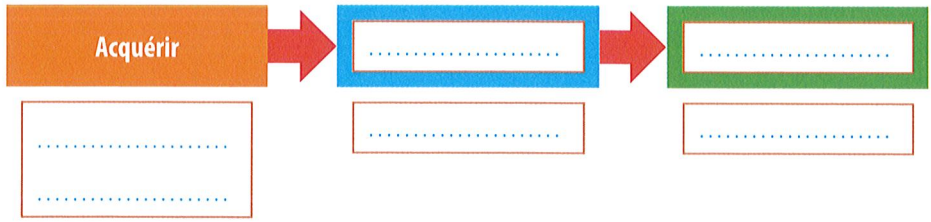
La station comprend deux capteurs (un **anémomètre** et une **girouette**) dont les informations sont traitées par une carte programmable équipée d'un microcontrôleur (de type **Arduino**). L'affichage des données s'effectuera sur l'écran d'un **ordinateur** et par l'allumage de différentes **leds** représentants les points cardinaux (N, E, S, O).



Station météo

2. Chaîne d'information

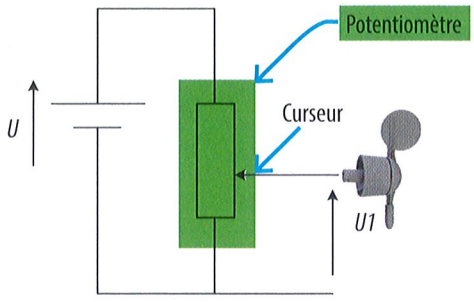
- Compléter la chaîne d'information d'après les données précédentes (noms des constituants et fonctions).

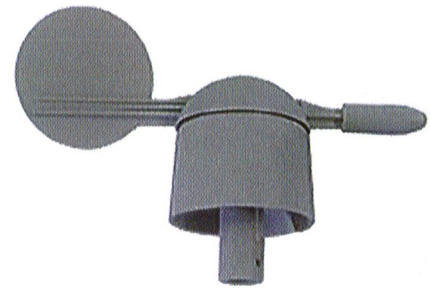


3. Direction du vent

3.1 Fonction Acquérir

Pour mesurer la direction du vent, on utilise une **girouette** qui entraîne le déplacement du curseur d'un potentiomètre de 10 kΩ et fait donc varier la tension *U1*.



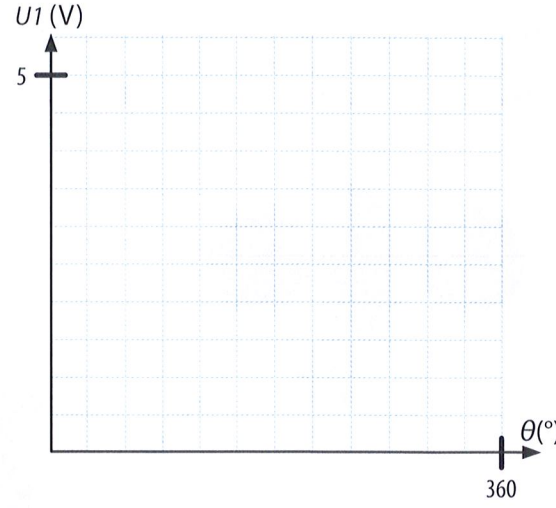


1. Quelle est le type de grandeur en sortie du capteur ?

☐ binaire ☐ numérique ☐ analogique

2. Réaliser un montage alimenté en 5 V et comportant un voltmètre pour mesurer *U1*. Prévoir la mesure de l'angle de rotation de la girouette.

3. Tracer la courbe $U1 = f(\theta)$ avec θ angle de déplacement de la girouette en ° ($0 < U1 < 5\ V \Rightarrow 0 < \theta < 360°$). Indiquer les positions N, S, E, O par des points sur la courbe.



4. Quelle est la plage de positions de la girouette mesurable ? .....

5. Donner l'équation de la courbe $U1 = f(\theta)$. .....

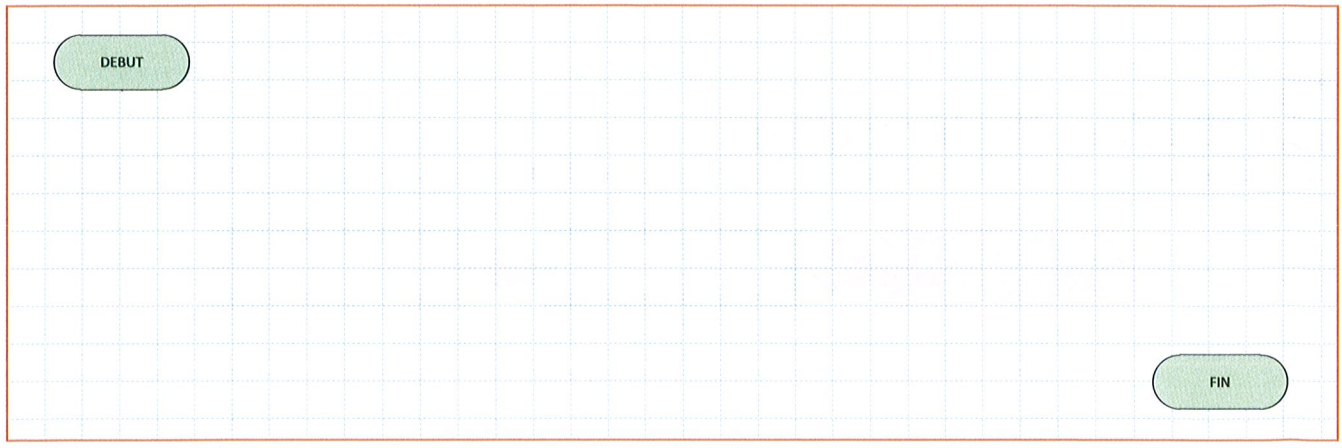
6. Compléter le tableau en indiquant les plages de tension qui correspondent aux points cardinaux.

Positions	Plage de tension *U1*
NORD à + ou – 10°	..... < *U1* < .....
SUD à + ou – 10°	..... < *U1* < .....

Positions	Plage de tension *U1*
EST à + ou – 10°	..... < *U1* < .....
OUEST à + ou – 10°	..... < *U1* < .....

3.2 Fonctions Traiter et Communiquer

1. En utilisant les résultats précédents, proposer un algorigramme permettant d'afficher les 4 points cardinaux (une led par point).

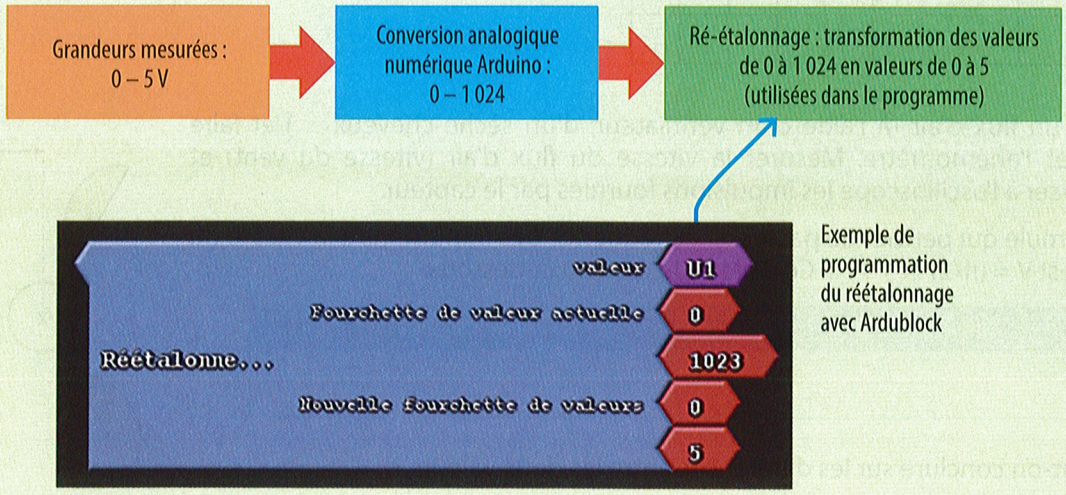


2. Sur la dernière page, tracer le raccordement des différents éléments (potentiomètre, leds) avec la carte Arduino.

3. Effectuer le câblage sur la maquette d'essai.

4. Réaliser le programme de cette application à l'aide du logiciel fourni par votre professeur (**Ardubock** par exemple).

Note : Si vous utilisez un microcontrôleur Arduino, il convertit les valeurs analogiques (0 à 5 V) en valeurs numériques (0 à 1 024). Pour que votre programme fonctionne, il faut ré-étalonner les valeurs numériques acquises.



Exemple de programmation du réétalonnage avec Ardublock

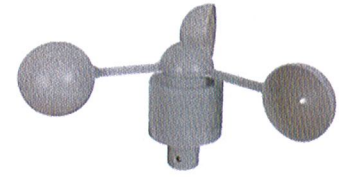
5. Présenter votre câblage et votre programme à votre enseignant.

6. Avec son accord, tester votre programme : ☐ fonctionnement correct ☐ fonctionnement incorrect

7. En cas de mauvais fonctionnement, proposer une modification.

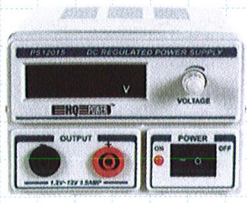
4. VITESSE DU VENT

4.1 Fonction Acquérir



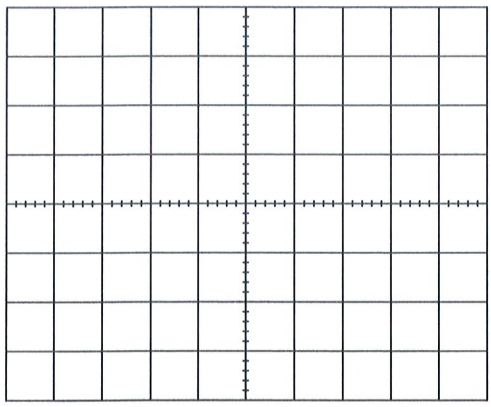
Pour mesurer la vitesse du vent, on utilise un **anémomètre**. Ce capteur est muni d'un ILS sur sa partie fixe et d'un ou plusieurs aimants sur sa partie tournante.

1. Pour déterminer le nombre d'aimants présents sur le capteur, il faut visualiser le nombre d'impulsions envoyées par le capteur pendant une rotation d'un tour. Proposer un schéma permettant de visualiser à l'oscilloscope les impulsions fournies par le capteur.









2. Effectuer le relevé pour un tour de l'anémomètre. Le recopier ci-contre et déterminer la fréquence des impulsions.

Période des impulsions :

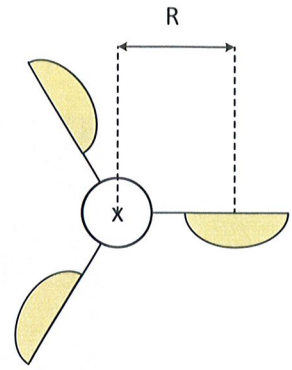
$T =$ .....

Fréquence des impulsions :

$f =$ .....

3. a) Créer un flux d'air (à l'aide d'un ventilateur, d'un sèche-cheveux ...) et faire tourner l'anémomètre. Mesurer la vitesse du flux d'air (vitesse du vent) et visualiser à l'oscilloscope les impulsions fournies par le capteur.

b) La formule qui permet de passer de la fréquence des impulsions à la vitesse du vent est $V = (\pi/2) \times f \times R$. Compléter le tableau ci-dessous.



Valeur mesurée	Valeur calculée

4. Que peut-on conclure sur les différences entre les deux valeurs ?

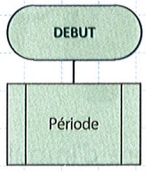
.....

.....

4.2 Fonctions Traiter et Communiquer

Une programmation va permettre d'afficher la vitesse du vent.

1. En utilisant les résultats précédents, proposer un algorigramme permettant, à partir de la période des signaux de l'anémomètre (déterminée par le sous-programme « Période » de la page suivante), de calculer la vitesse du vent en m/s.

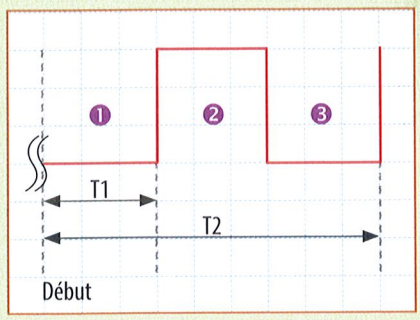


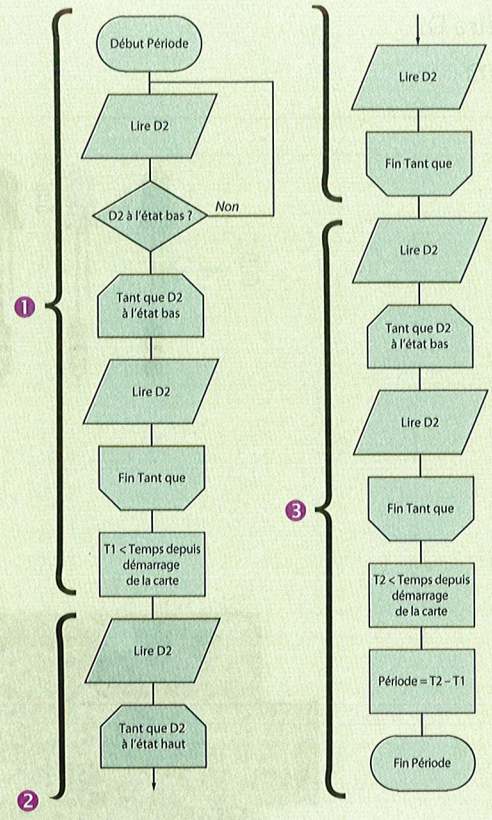


2. Sur la dernière page, tracer le raccordement des différents éléments (potentiomètre, leds) avec la carte Arduino.

3. Effectuer le câblage sur la maquette d'essai.

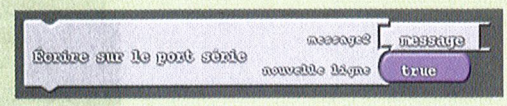
Note : Algorigramme du sous-programme **Période**





4. Réaliser le programme de l'application « Affichage de la vitesse du vent » à l'aide du logiciel fourni par votre professeur.

Note : l'affichage sur l'écran du PC se fait en envoyant un message sur le port série. Sur Ardublock, utiliser le bloc ci-contre.



5. Présenter votre câblage et votre programme à votre enseignant. Avec son accord, tester votre programme :

☐ fonctionnement correct ☐ fonctionnement incorrect

6. En cas de mauvais fonctionnement, proposer une modification.

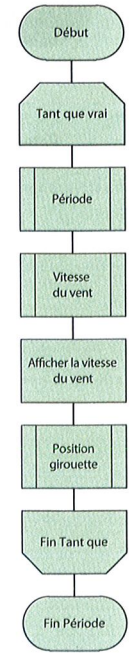
5. Programme final

1. Vous allez maintenant réaliser le programme complet de la station météo en assurant un affichage de la direction et de la vitesse du vent.

La structure comportera un **programme principal** faisant appel à trois **sous-programmes**.

Le programme tourne indéfiniment, il aura la structure suivante :

- Appel à un sous-programme de mesure de la fréquence du signal émis par l'anémomètre (**Période**).
- Appel à un sous-programme permettant de calculer la vitesse du vent (**Vitesse du vent**).
- Affichage de la valeur (**Afficher la vitesse du vent**).
- Appel à un sous-programme permettant de déterminer la position de la girouette et de l'afficher (**Position girouette**).

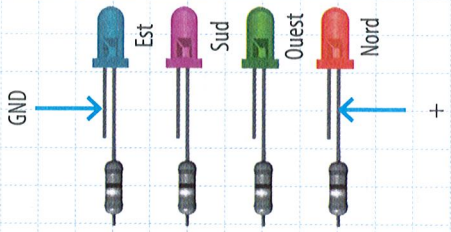


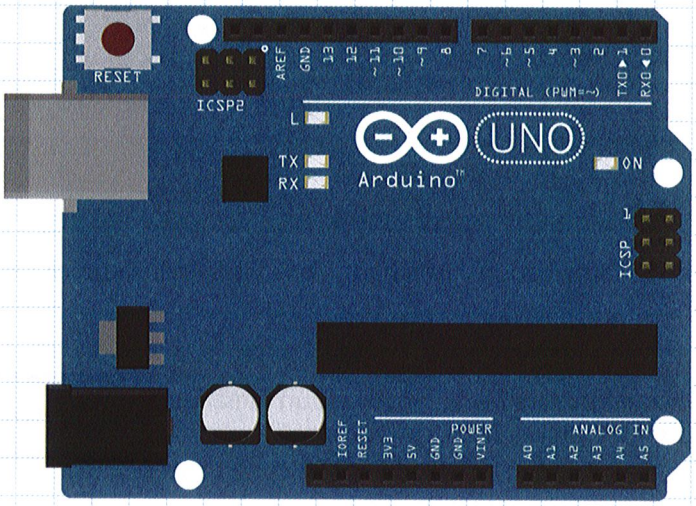
2. Programmer et tester le programme.

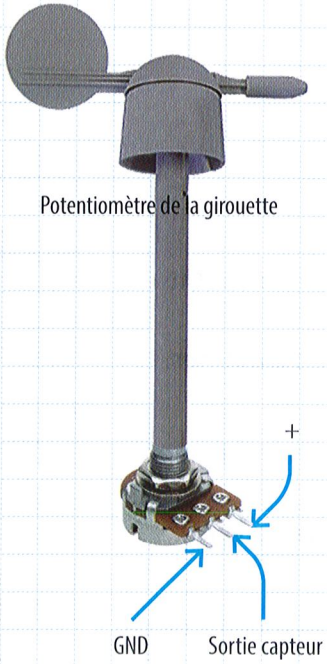
Câblage

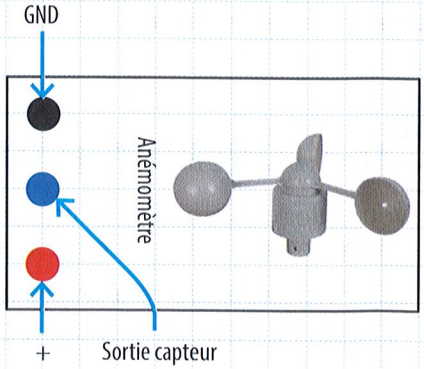
Broches entrées sorties :

- Girouette A0
- Anémomètre D2
- Led nord D3
- Led ouest D4
- Led sud D5
- Led est D6



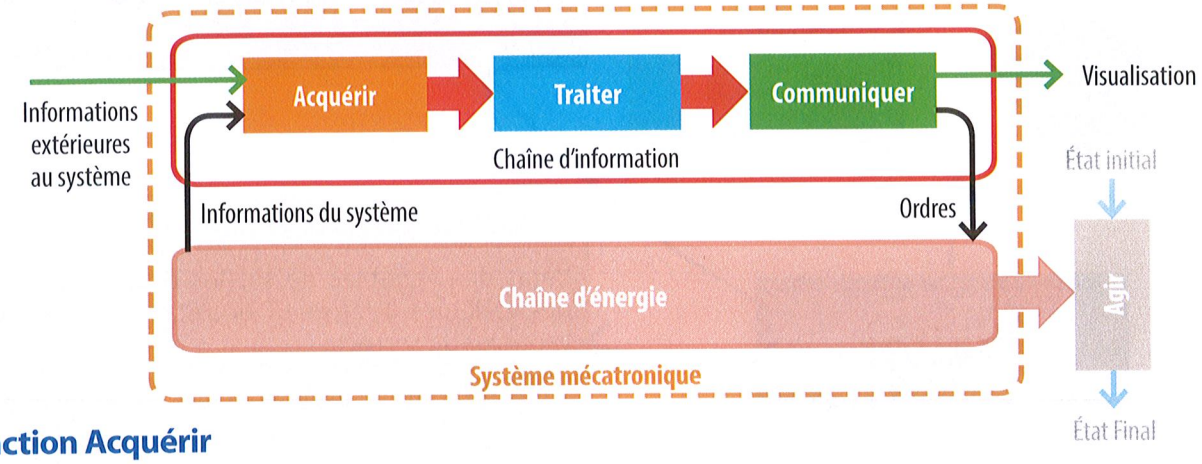






CE QU'IL FAUT RETENIR DE LA SÉQUENCE

Structure d'une chaîne d'information



Fonction Acquérir

Mise en forme des signaux de sortie

Signal logique : le signal logique ou **Tout Ou Rien** (TOR) ne peut prendre que deux valeurs (0 ou 1 logique). Dans ce cas le capteur prendra le nom de **détecteur**.

Signal analogique : la variation de la grandeur mesurée produit une variation de la **grandeur électrique** de sortie. Dans ce cas on parle de **capteur**.

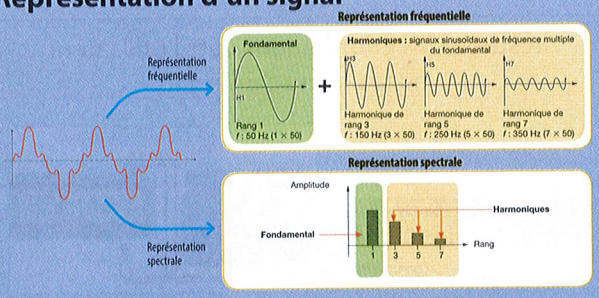
Signal numérique : le signal est une suite de signaux logiques. Dans ce cas le capteur prend le nom de **codeur** ou de **compteur**.

Différents types de matériels



Filtrage des signaux de sortie

Représentation d'un signal



Filtre passe-bas : Ce filtre laisse passer les basses fréquences ($< f_c$) et coupe les hautes fréquences.

Filtre passe-haut : Ce filtre laisse passer les hautes fréquences ($> f_c$) et coupe les basses fréquences.

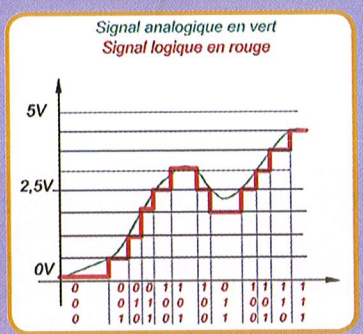
Filtre passe-bande : ce filtre laisse passer les fréquences comprises entre f_{c1} et f_{c2}. Il élimine toutes les autres.

Filtre réjecteur de bande : Ce filtre élimine les fréquences comprises entre f_{c1} et f_{c2}. Il laisse passer toutes les autres.

Acquérir

Mise en forme des signaux de sortie

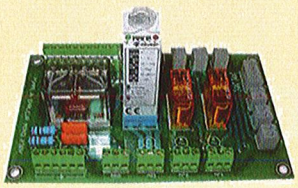
Convertisseur analogique numérique
il transforme un signal d'entrée analogique en un signal de sortie numérique codé sur plusieurs bits.



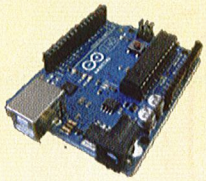
Fonction Traiter

Traitement

Traitement câblé



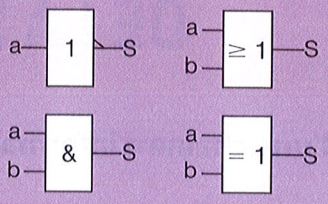
Traitement programmé





Logique combinatoire

L'état des variables de sortie ne dépend que de l'état des variables d'entrée.

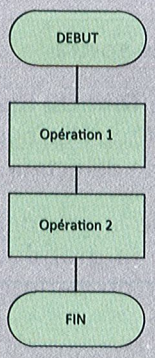


Traiter

Logique séquentielle

L'état des variables de sorties dépend de l'état des variables d'entrée ET de l'état précédent des variables de sortie.

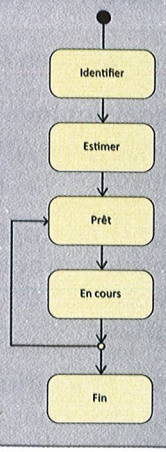
Algorigramme



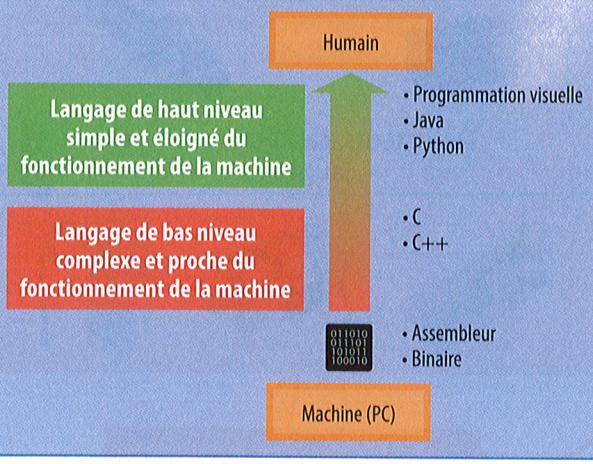
Pseudo-code

```
Début
  Opération 1
  Opération 2
Fin
```

Graphe état transition



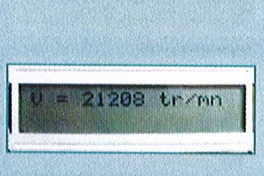
Les niveaux de langage de programmation

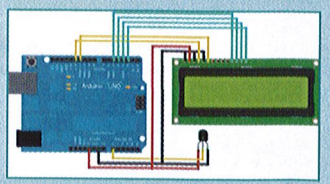


Fonction Communiquer

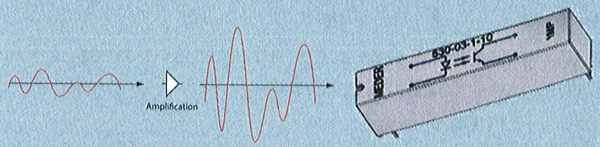
Communiquer

Restituer les informations vers l'utilisateur ou la chaîne d'énergie





Certains organes supplémentaires peuvent être nécessaires :



Amplification

Isolation galvanique

Communiquer vers l'extérieur

La transmission s'effectue sous forme numérique et utilise plusieurs supports tels que les **bus, les réseaux filaires, les réseaux sans fil.**

SÉQUENCE 12

LEÇON

EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LES SYSTÈMES MÉCATRONIQUES

LIAISON RÉFÉRENTIEL

- **1.2.3** Utilisation raisonnée des ressources : efficacité énergétique d'un système : apport de la chaîne d'information associée à la commande pour améliorer l'efficacité globale d'un système ;
- **2.3.5** Comportement énergétique des systèmes : Conservation de l'énergie, pertes, rendement principe de réversibilité : Caractérisation des échanges d'énergie entre source et charge ;
- **3.1.2** Typologie des solutions constructives de l'énergie : système monosource, multisource et hybride ;
- **3.2.2** Stockage de l'énergie : chimique, électrostatique, mécanique.

1. Situation déclenchante

DOC. Porche Panamera E-hybrid

Quelle sera la source d'énergie de nos automobiles dans quinze ou vingt ans ? À cette question, Toyota, n° 1 mondial, apporte une réponse : les citadines seront à propulsion électrique, les grandes routières fonctionneront à l'hydrogène et le reste du parc possédera un moteur hybride essence-électricité comme la **Porsche Panamera E-Hybrid**.



Cette voiture hybride possède quatre modes de fonctionnement : « **E-Power** », pour une conduite 100 % électrique ; « **Hybrid** » exploitant les deux sources d'énergie ; « **E-Charge** » privilégiant la recharge de la batterie en roulant ; « **Sport** » utilisant simultanément le moteur V6 à compresseur de 333 ch et l'électrique de 95 ch pour fournir une puissance combinée de 416 ch.

La Panamera E-Hybrid dispose d'une batterie lithium-ion qui se recharge sur une borne dédiée (2,3 h) ou sur une prise domestique (3,8 h) ainsi que pendant les phases de ralentissement (quel que soit le mode). En mode E-Power, son autonomie est de 36 kilomètres (suffisante pour assurer les trajets quotidiens et accéder à des centre-ville qui seront bientôt interdits aux véhicules à moteur thermique), ses performances (accélération de 0 à 50 km/h en 6,1 s et une vitesse de pointe de 135 km/h) lui permettent de s'insérer sans encombre dans le flot d'une circulation urbaine ou périurbaine.

Lors d'essais en mode hybride, après 87 kilomètres effectués à 61 km/h de moyenne et mariant parcours urbains, routes de campagne et autoroutes, l'ordinateur de bord a affiché 5,7 L/100 km.

1. Quels seront les modes de propulsion des véhicules à l'avenir ? .....

.....

2. Quel est l'impact sur la consommation des deux sources d'énergie de chacun des modes de fonctionnement de la Panamera E-Hybrid ?

E-Power : ..... Hybrid : .....

E-Charge : ..... Sport : .....

3. Pourquoi la consommation a-t-elle été aussi basse pendant les essais ?

.....

Conclusion : Donner des idées permettant d'améliorer l'efficacité énergétique des systèmes mécatroniques.

.....

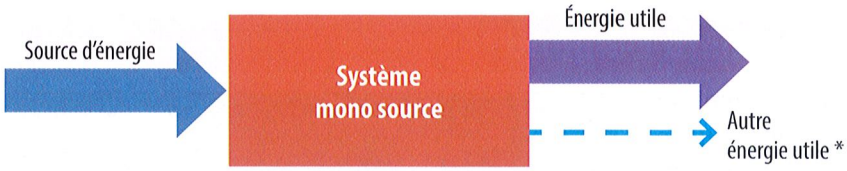
.....

2 Les différents types de systèmes

Les systèmes mécatroniques peuvent être classés selon deux procédés de conversion ou de transfert d'énergie : les systèmes **mono source** et les sytèmes **multi sources**.

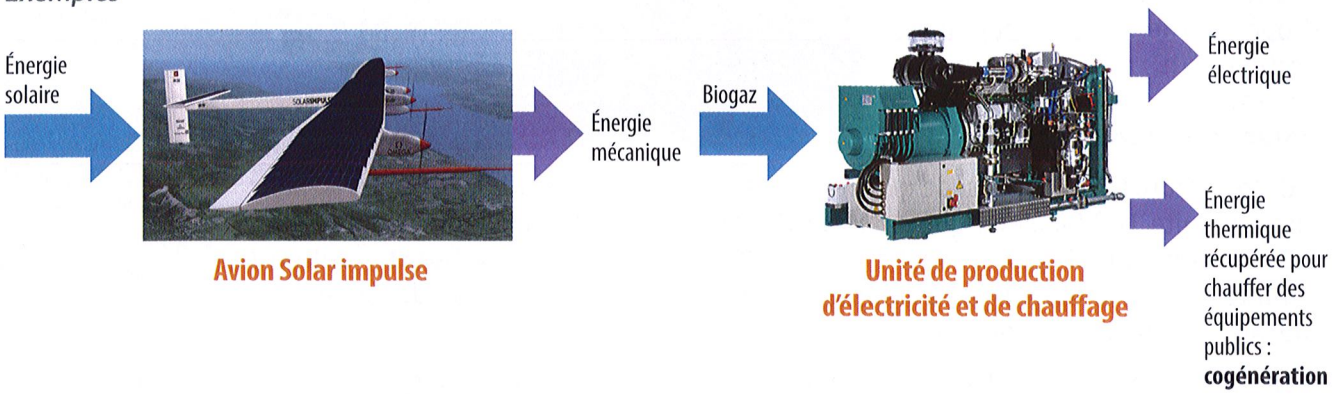
2.1 Système mono source

Un système **mono source** produit une énergie utile à partir d'une seule forme d'énergie. Il possède une seule chaîne de transformation de l'énergie.



* Si le système produit plusieurs énergies utiles (chaleur et électricité par exemple) à partir d'une seule source d'énergie, on parle de **système mono source à production combinée**.

Exemples



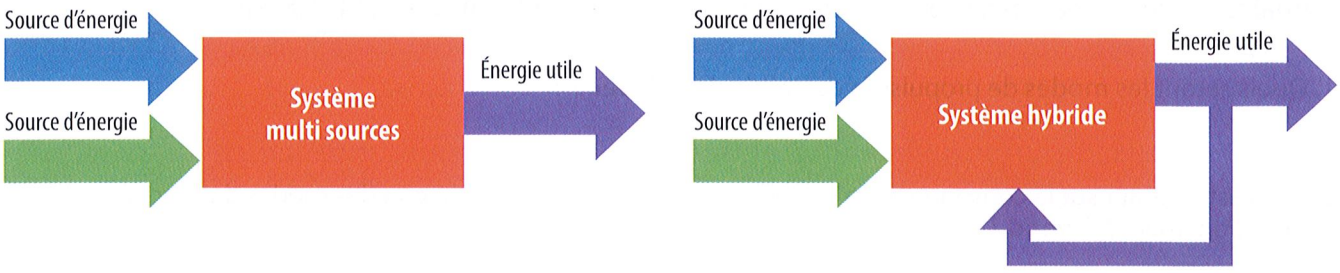
Avion Solar impulse

Unité de production d'électricité et de chauffage

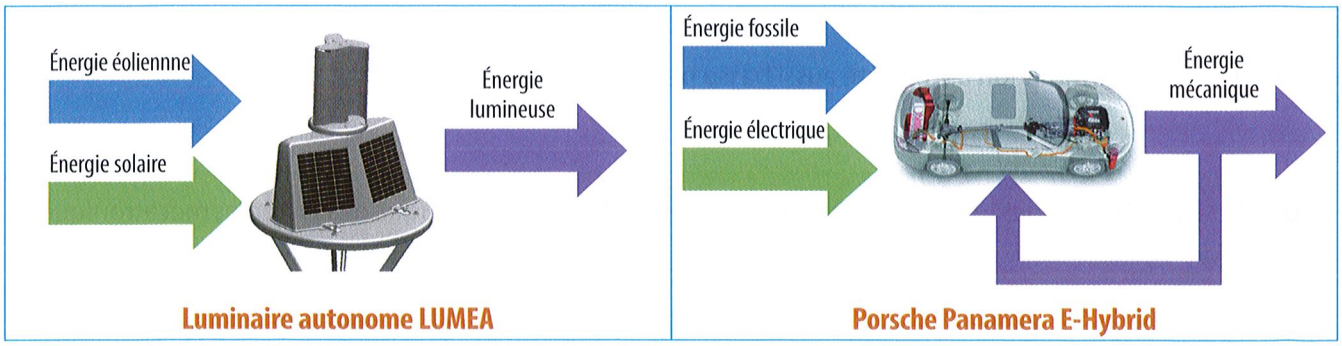
2.2 Système multi sources

Un **système multi sources** produit de l'énergie utile à partir de plusieurs formes d'énergie. Il possède plusieurs chaînes de transformation de l'énergie.

Un **système hybride** est un système multi sources dont l'énergie utile est produite par des chaînes de transformation d'énergie de technologies différentes exploitant la ou les sources d'entrée et une partie de l'énergie de sortie.



Exemples

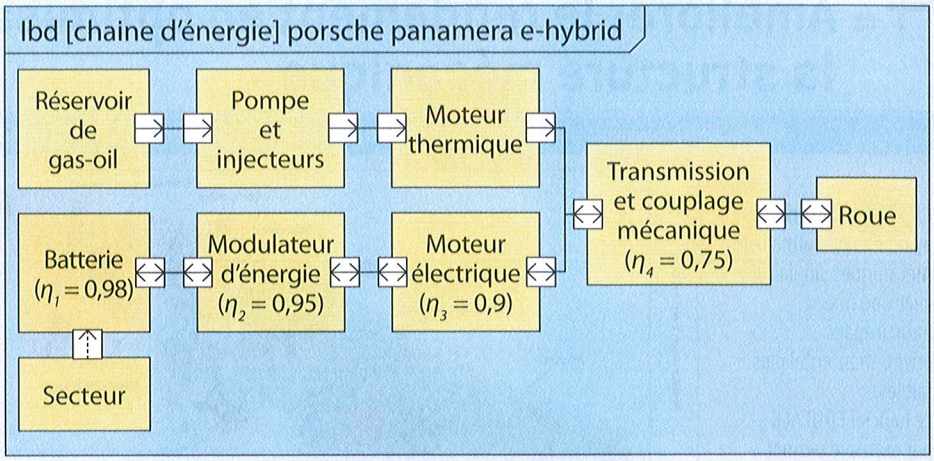


Luminaire autonome LUMEA

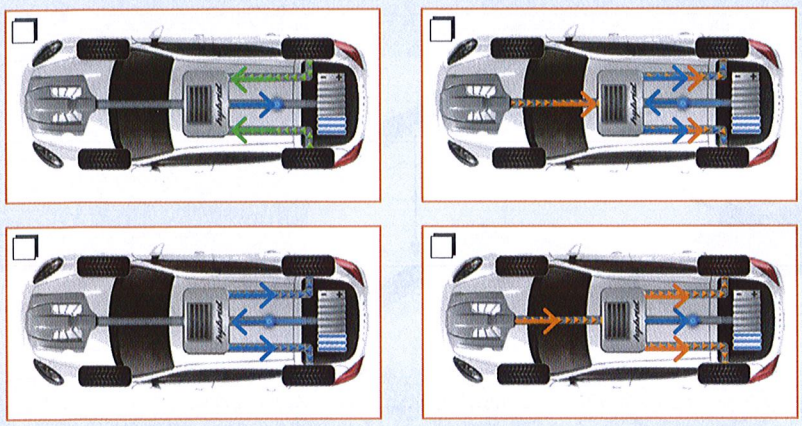
Porsche Panamera E-Hybrid

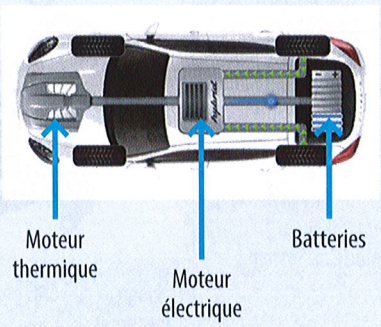
APPLICATION 1 Flux d'énergie de la Porsche Panamera E- Hybrid

1. Sur le diagramme Ibd ci-contre, surligner et flécher :
   - en **rouge**, le trajet de l'énergie **en mode elec.**
   - en **vert**, le trajet de l'énergie **en mode hybride** (moteur thermique seul).
   - En **bleu**, Le trajet de l'énergie récupérée lors des phases de ralentissement.



2. Cocher ci-dessous le schéma qui correspond au fonctionnement : **elec** (en **rouge**) ; ralentissement en **descente** (en **vert**) ; **sport** (en **bleu**) ; **hybride** moteur thermique seul (en **noir**).





3. Rendement global de la chaîne d'énergie

Dans un système, durant les différentes phases de transformation de l'énergie, il y a des pertes (généralement sous forme de chaleur). Chaque bloc de la chaîne d'énergie possède une puissance d'entrée et une puissance de sortie. On peut ainsi calculer le rendement η de chacun des blocs.



Le **rendement global** du système est égal au rapport entre l'énergie utile produite en sortie et l'énergie absorbée en entrée.

$$\eta_{global} = \frac{P_{utile}}{P_{absorbée}}$$

Il est aussi égal au **produit des rendements** des différents blocs de la chaîne.

$$\eta_{global} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4$$

Conclusion : Pour améliorer le rendement global d'un système, il faut veiller à obtenir le meilleur rendement possible de chacun des constituants de la chaîne d'énergie.

APPLICATION 2

1. Calculer le rendement de la chaîne d'énergie électrique de la Porsche Panamera E-Hybrid.

.....

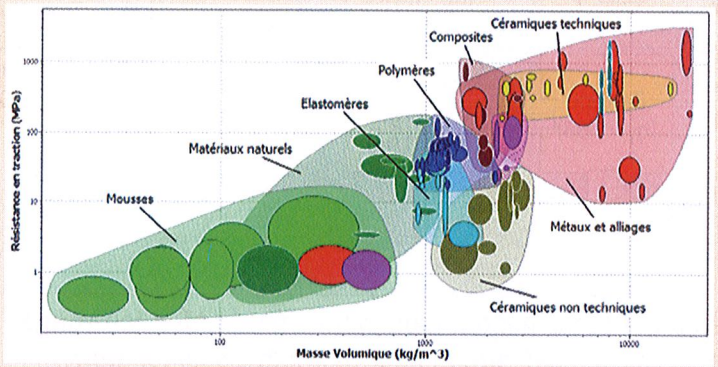
2. Quel constituant faudrait-il optimiser pour améliorer encore ce rendement ?

.....

4 Améliorer le rendement en optimisant la structure mécanique

En diminuant le poids de la partie opérative du système

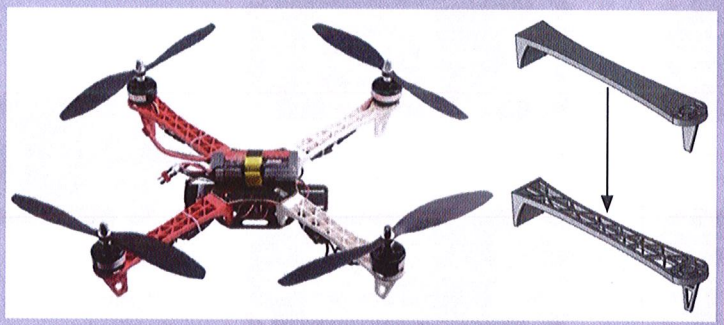
Choix de matériaux ayant des performances mécaniques similaires mais avec une masse et un impact environnemental plus faibles.
Le logiciel EDUPACK par exemple permet d'effectuer ce choix.



Le poids agit verticalement

$$P = m \times g$$

Allègement des pièces de la structure en vérifiant la résistance aux différentes contraintes.
Cet allègement provoque une diminution du poids et de l'inertie J de la pièce.
L'inertie agit sur la dynamique du système.



Les logiciels de CAO permettent de dessiner les pièces et de vérifier leur résistance aux contraintes.

Principe fondamental de la dynamique

En **translation** :

$$\sum forces = m \times \gamma$$

m : masse du corps
a : accélération

En **rotation** :

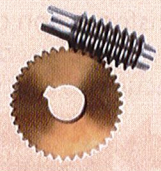
$$J \times \frac{d\Omega}{dt} = Cm - Cr$$

J : inertie du corps
Ω : fréquence de rotation
Cm couple moteur
Cr couple résistant

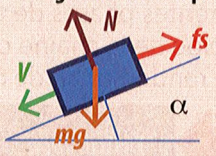
En diminuant les pertes mécaniques

Pour les pièces en contact, on associe des matériaux qui présentent un **coefficient de frottement** faible.

Dans un système roue-vis sans fin on privilégie le contact bronze-acier plutôt que le contact acier-acier.



Pièce glissant sur un plan

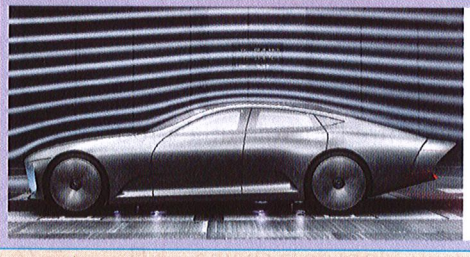


fs s'oppose au mouvement :

$$fs = \mu \times N$$

avec $N = m \times g \times \cos\alpha$
μ = coefficient de frottement

Amélioration de la **résistance au fluide ambiant** par travail de la forme et par diminution de la surface en contact avec le fluide.



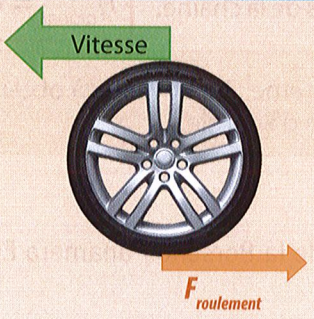


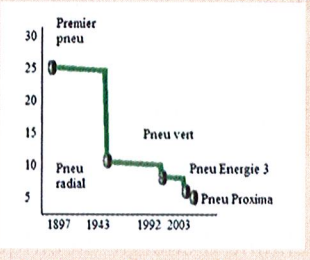
La force fluidique ou trainée s'oppose au mouvement.

$$F_{fluide} = \frac{1}{2} \rho \times v^2 \times C_x \times S$$

ρ : masse volumique du fluide
v : vitesse
C_x : coefficient fluidique
S : surface frontale

Diminution de la **résistance au roulement** due essentiellement à la déformation du pneu (écrasement du pneu par le poids du véhicule).





Évolution de la résistance au roulement (Michelin)

Pour les véhicules de tourisme, 1 plein sur 5 est utilisé pour vaincre la résistance au roulement, 1 plein sur 3 pour les camions

La force de roulement s'oppose au mouvement

$$F_{roulement} = C_r \times m \times g$$

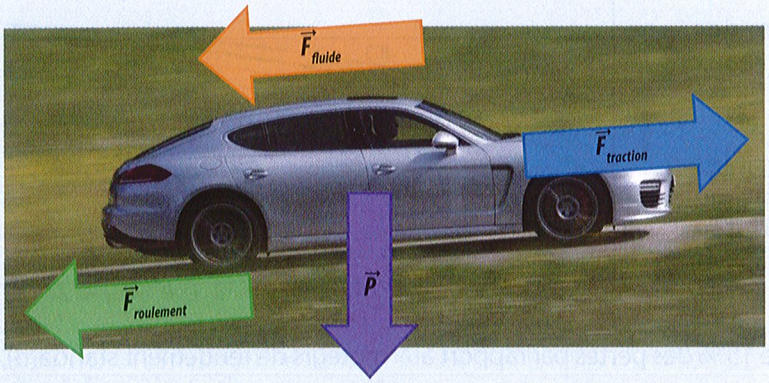
Cr : coefficient de roulement
m : masse du véhicule

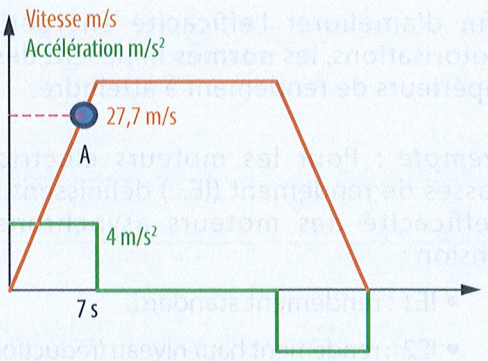
APPLICATION 3 Besoins énergétiques d'un véhicule en mouvement

Les consommations officielles des véhicules sont déterminées grâce à des tests codifiés. Il s'agit de cycles accélération - vitesse constante – décélération en mode urbain puis en mode route.

Caractéristiques techniques : m = 2 095 kg ; C_x = 0,29 ; C_r = 0,01 ; $S_{frontale}$ = 2,33 m² ; ρ_{air} = 1,24 kg/m³ ; Pente = 5° ; P_{elec} = 95 ch ; P_{mec} = 330 ch

Problématique : Calculer la puissance consommée au point A d'un de ces cycles.





1. Détermination des différentes forces d'opposition au mouvement au point A du cycle.

a) Déterminer la force fluidique $\vec{F}_{fluide}$.

.....

b) Déterminer la force de roulement $\vec{F}_{roulement}$.

.....

c) Déterminer la force due au poids $\vec{F}_{poids}$ qui s'oppose au mouvement.

.....

.....

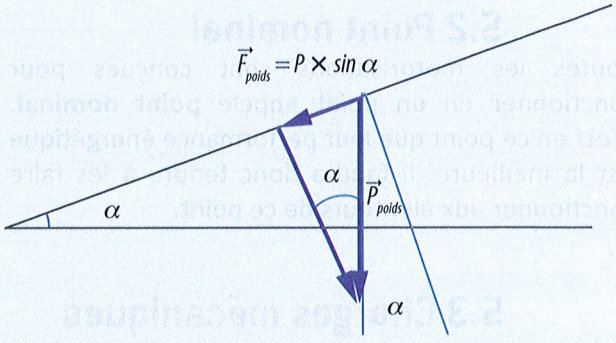
.....

.....

.....

.....

.....



2. Déterminer la force de traction $\vec{F}_{traction}$ au point A du cycle en appliquant le théorème fondamental de la dynamique. .....

.....

.....

3. Calculer la puissance consommée au point A du cycle.

.....

.....

.....

4. Dans quel mode de fonctionnement ce cycle a-t-il été réalisé ?

☐ Elec ☐ Hybrid ☐ Sport

5 Améliorer le rendement en optimisant la motorisation

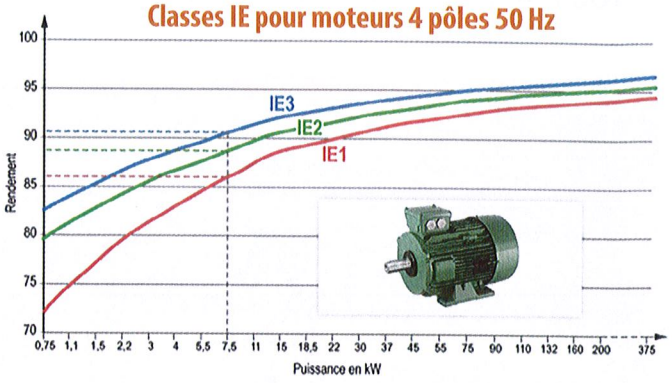
La grande majorité des systèmes mécatroniques effectuent leurs mouvements grâce à une motorisation tournante. Dans cette partie, nous étudierons 5 façons d'optimiser cette motorisation.

5.1 Normes

Afin d'améliorer l'efficacité énergétique des motorisations, les **normes** imposent des niveaux supérieurs de rendement à atteindre.

Exemple : Pour les moteurs électriques, les classes de rendement (IE...) définissent le niveau d'efficacité des moteurs asynchrones basse tension :

Classes IE pour moteurs 4 pôles 50 Hz



- IE1 : rendement standard,
- IE2 : rendement haut niveau (réduction de 15 % des pertes par rapport aux moteurs de rendement standard),
- IE3 : rendement premium,
- IE4 : rendement super premium.

APPLICATION 4

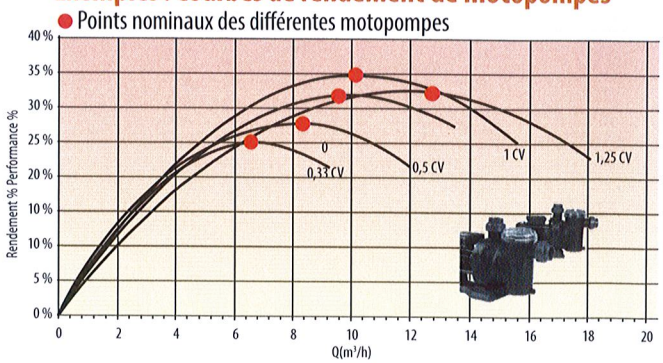
- D'après les courbes ci-dessus, estimer les économies énergétiques réalisées entre les versions IE1, IE2 et IE3 pour un moteur de 7,5 kW.

.....

5.2 Point nominal

Toutes les motorisations sont conçues pour fonctionner en un point appelé **point nominal.** C'est en ce point que leur performance énergétique est la meilleure. Il faudra donc tendre à les faire fonctionner aux alentours de ce point.

Exemples : Courbes de rendement de motopompes



5.3 Charges mécaniques

Les motorisations des systèmes mécatroniques doivent entraîner une partie opérative qui se comporte comme une **charge mécanique** qui s'oppose au mouvement et exerce un **couple résistant C_r**.

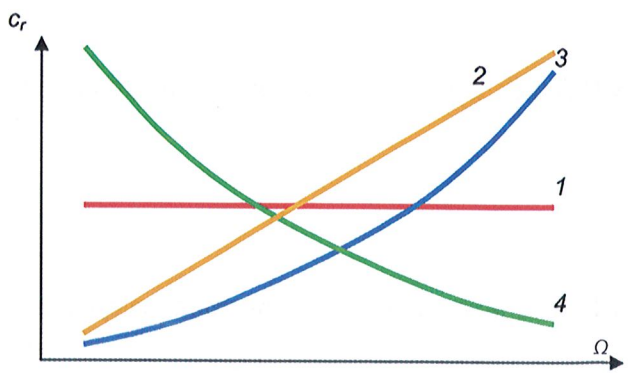
Les charges mécaniques entraînées par un moteur ont des caractéristiques couple résistant - vitesse qui dépendent du type de composant.

(1) Couple résistant constant : compresseurs, pompes à pistons, bandes transporteuses, broyeurs, concasseurs, levage...

(2) Couple résistant proportionnel à la vitesse : presses, freins à courant de Foucault, machines-outils...

(3) Couple résistant proportionnel au carré de la vitesse : pompes et compresseurs centrifuges, ventilateurs, pompes à vis et à hélices, centrifugeuses...

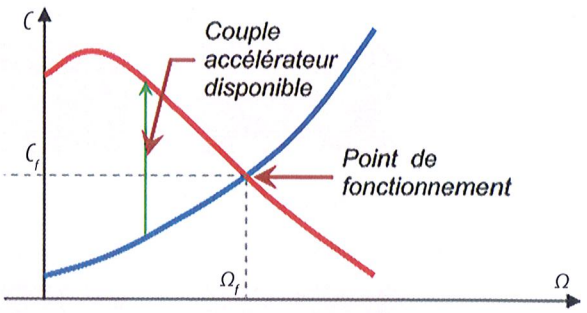
(4) Couple résistant inversement proportionnel à la vitesse : bobineuses, tours, dérouleuses à bois,...



5.4 Point de fonctionnement

L'association motorisation - charge mécanique atteint son régime de fonctionnement permanent lorsque les paramètres de fonctionnement (couple, vitesse, ...) restent stables dans le temps.

Le point de fonctionnement s'obtient en superposant la courbe du **couple fourni par le moteur Cm** avec celle du **couple résistant Cr**.



5.5 Association moteur/charge

Par souci d'efficacité énergétique, il est nécessaire que le point de fonctionnement soit proche du point nominal. Pour cela il faut :

- Dimensionner correctement le moteur.
- Ajuster la vitesse avec un réducteur si le point de fonctionnement sans réducteur est éloigné du point nominal.

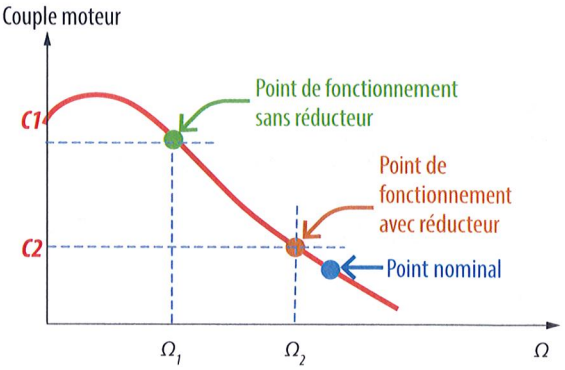
Association moteur – charge en direct

Point de fonctionnement (●) éloigné du point nominal (●).



Ajout d'un réducteur





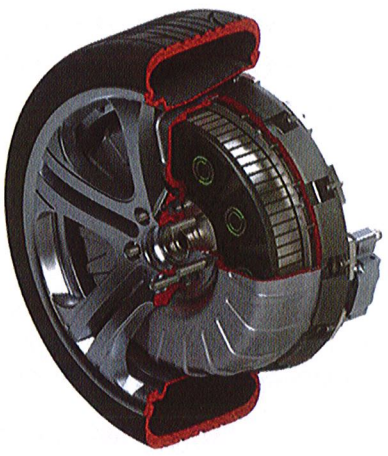
Le point de fonctionnement (●) se rapproche du point nominal (●).
La charge reçoit toujours le couple *C1* et tourne toujours à la vitesse *Ω1*.
Le moteur tourne à la vitesse *Ω2* > *Ω1* et fournit un couple *C2* < *C1*.
(*P1* = *P2* d'où *C1* × *Ω1* = *C2* × *Ω2* si le réducteur est parfait)

Pour un réducteur parfait : $Cm1 \times \Omega m = Crcharge \times \omega 1$

d'où $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{Cm2}{Crcharge}$ en entrée du réducteur *Ωm* ↗ et *Crréduc* ↘

Dans la structure moteur/charge, il faut essayer de minimiser les pertes :

- En ajustant en permanence la vitesse du moteur avec un modulateur d'énergie.
- En mettant le moteur en prise directe avec la charge, ce qui permet de supprimer le réducteur qui a un mauvais rendement.



Motor Wheel : le moteur est intégré dans la roue

Dans tous les cas, il faut trouver un compromis : fonctionnement adapté/efficacité/consommation d'énergie

APPLICATION 5 Motorisation de la nacelle d'un pont

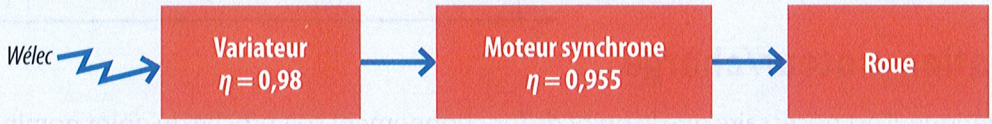
La nacelle d'un pont transbordeur permet de transporter des piétons et des automobiles d'une rive à l'autre d'un fleuve. Deux types de motorisations électriques sont envisagées.

Choix 1 : moteur asynchrone IE2 associé à un variateur et un réducteur



1. Calculer le rendement de la chaîne d'énergie. .....

Choix 2 : moteur synchrone à aimants permanents et à prise directe associé à un variateur



2. Calculer le rendement de la chaîne d'énergie. .....

3. Quelle solution offre la meilleure efficacité énergétique ? Justifier les choix qui ont permis d'améliorer le rendement global. .....

.....

6. Améliorer le rendement en utilisant la réversibilité des motorisations

De nombreux systèmes mécatroniques fonctionnent avec des phases d'accélération, décélération. Pour obtenir des temps d'arrêt courts, la motorisation doit fournir un couple de freinage qui s'oppose au mouvement.

Les différents fonctionnements possibles de la motorisation (modulateur + moteur + charge mécanique) sont représentés par le diagramme des **4 quadrants**.

Quadrants 1 et 2 : marche avant

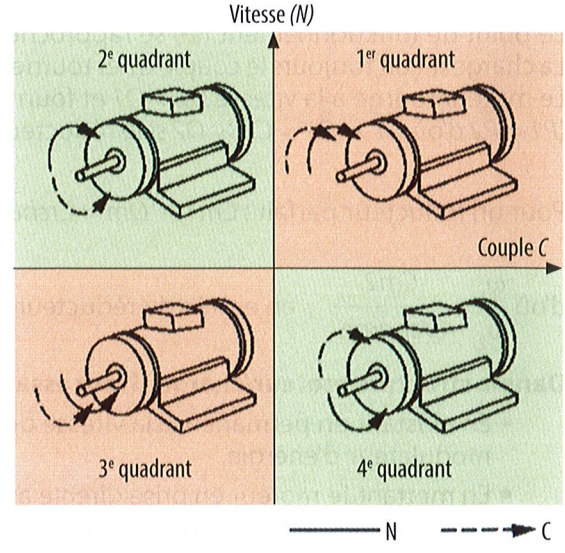
Quadrant 1 : accélération et vitesse constante ($P = C \times \Omega > 0$)

Quadrant 2 : freinage ou décélération ($P = C \times \Omega < 0$)

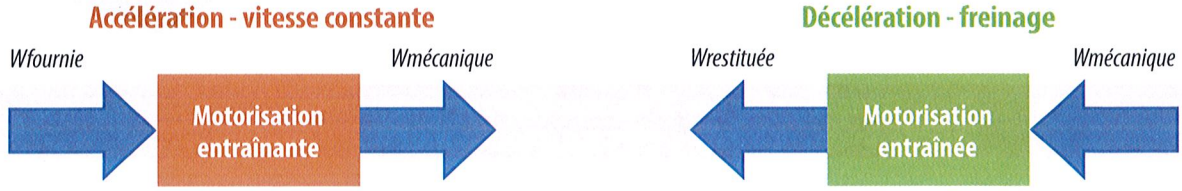
Quadrant 3 et 4 : marche arrière

Quadrant 3 : accélération et vitesse constante ($P = C \times \Omega > 0$)

Quadrant 4 : freinage ou décélération ($P = C \times \Omega < 0$)



La motorisation est **entraînante** pendant les phases d'accélération et de déplacement à vitesse constante, dans ce cas elle absorbe de l'énergie. La motorisation est **entraînée** par la charge lors des phases de décélération et de freinage, dans ce cas elle fournit de l'énergie que l'on pourra récupérer.

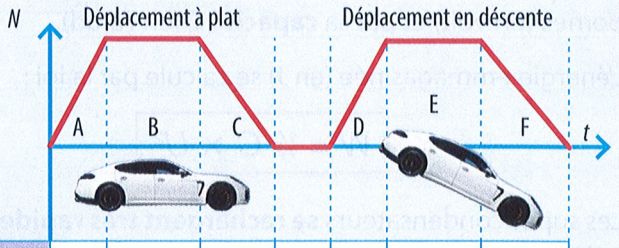


Réversibilité : Une motorisation est dite **réversible** si elle permet un sens de transfert bidirectionnel de l'énergie. Dans le cas des machines électriques, on parle de fonctionnement **moteur** ou **générateur**.

APPLICATION 6 Porsche Panamera E-Hybrid

Le véhicule effectue un cycle de déplacement en mode électrique. Pour chaque zone A à F :

1. Indiquer les signes de *C*, *N* et *P*.
2. Préciser le fonctionnement moteur (M) ou générateur (G) du moteur électrique et le quadrant de fonctionnement.



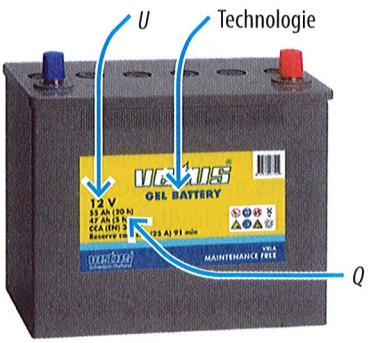
C								
N								
P								
Fonctionnement								
Quadrant								

7 Améliorer le rendement en stockant l'énergie restituée

Pour améliorer l'efficacité énergétique des systèmes mécatroniques, il faut récupérer et stocker l'énergie restituée lors des phases de freinage/décélération pour pouvoir l'utiliser par la suite et diminuer la consommation.

7.1 Stockage d'énergie électrique : accumulateurs

Les accumulateurs permettent de stocker l'énergie sous forme chimique. Ils fournissent un courant continu. Les batteries et les piles rechargeables sont réversibles : elles peuvent fournir ou stocker de l'énergie électrique. Les piles ne sont pas réversibles.



Un accumulateur se caractérise par la **tension *U*** à ses bornes (en volt), sa **capacité *Q*** (en ampère-heure) et la **technologie** utilisée.

La capacité *Q* indique la quantité d'électricité que peut fournir ou stocker la batterie en un temps donné :

$$Q = I \times t$$

L'énergie emmagasinée (en Wh) se calcule par : $W = U \times I \times t = Q \times U$

Vieillissement prématuré des batteries : La décharge trop profonde d'une batterie provoque une forte diminution de sa durée de vie. Pour les batteries au plomb, il ne faut pas excéder 80 % de décharge maximum, pour les batteries à décharge lente, le seuil est fixé à 50 %.

APPLICATION 7 Stockage d'énergie sur batteries

La Porsche Panamera E-Hybrid est équipée de batteries lithium-ion haute tension (384 V) d'une capacité de 24 Ah. Ces batteries sont utilisées pour alimenter le moteur de traction électrique.



1. Calculer l'énergie emmagasinée dans les batteries lorsqu'elles sont chargées.

.....

2. Lors d'un cycle de validation des performances, la consommation moyenne du moteur électrique a été estimée à 162 Wh/km. Calculer l'autonomie en mode purement électrique. .....

.....

7.2 Stockage d'énergie électrique : super condensateurs



Les **super condensateurs** permettent de stocker l'énergie sous forme électrostatique. Ils sont réversibles et peuvent fournir ou stocker de l'énergie électrique.

Un super condensateur se caractérise par la **tension *U*** à ses bornes (en volt) et par sa **capacité *C*** (en Farad).

L'énergie emmagasinée (en J) se calcule par la loi :

$$W = \frac{1}{2} C \times U^2$$

Les super condensateurs **se rechargent très rapidement** et ont une **longue durée de vie**. Ils devraient à l'avenir s'imposer comme de **super batteries** idéales pour les appareils électroniques, les moyens de transport électriques, ainsi que pour le stockage des énergies renouvelables.

7.3 Stockage d'énergie mécanique : ressorts



Les **ressorts** permettent de stocker de l'énergie mécanique en petite quantité par traction, torsion ou compression.



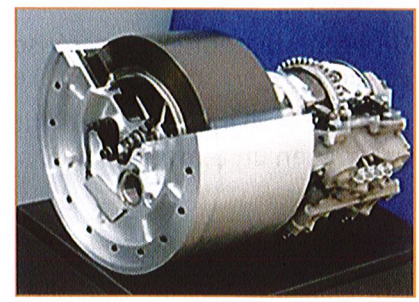
L'énergie emmagasinée (en J) se calcule par la loi :

$W = \frac{1}{2} k \times x^2$ en traction et $W = \frac{1}{2} k \times \alpha^2$ en torsion

avec k raideur ; x variation de longueur en m ; α variation angulaire en radian

Dans l'avenir, des nanotubes de carbones assemblés sous forme de ressorts pourraient stocker plus longtemps et plus sûrement l'énergie que les batteries lithium-ion les plus performantes.

7.4 Stockage d'énergie mécanique : volants d'inertie



Les **volants d'inertie** permettent de récupérer l'énergie cinétique emmagasinée pendant la rotation. Leur utilisation permet d'obtenir de forts et courts apports de puissance. Les plus récents sont en fibre de carbone et tournent en lévitation magnétique entre 20 000 et 50 000 tours par minute. C'est un mode de stockage parmi les plus rapides au niveau du chargement.

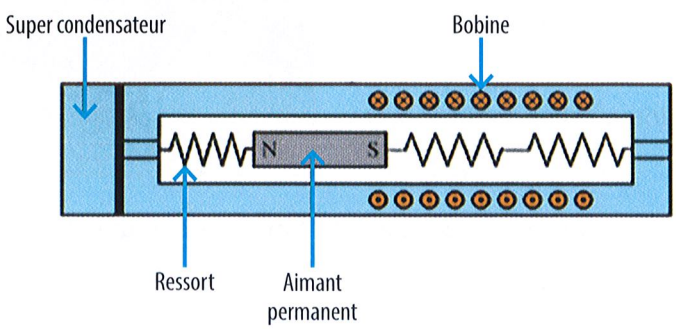
L'énergie emmagasinée (en J) se calcule par la loi :

$$W = \frac{1}{2} J \times \Omega^2$$

avec J inertie en kg/m² et Ω vitesse angulaire en rad/s

Les **récupérateurs inertiels** permettent également de récupérer de l'énergie lors des mouvements. Un aimant permanent, retenu par des ressorts, oscille à l'intérieur d'une bobine et génère ainsi par magnétisme un courant électrique.

Principe



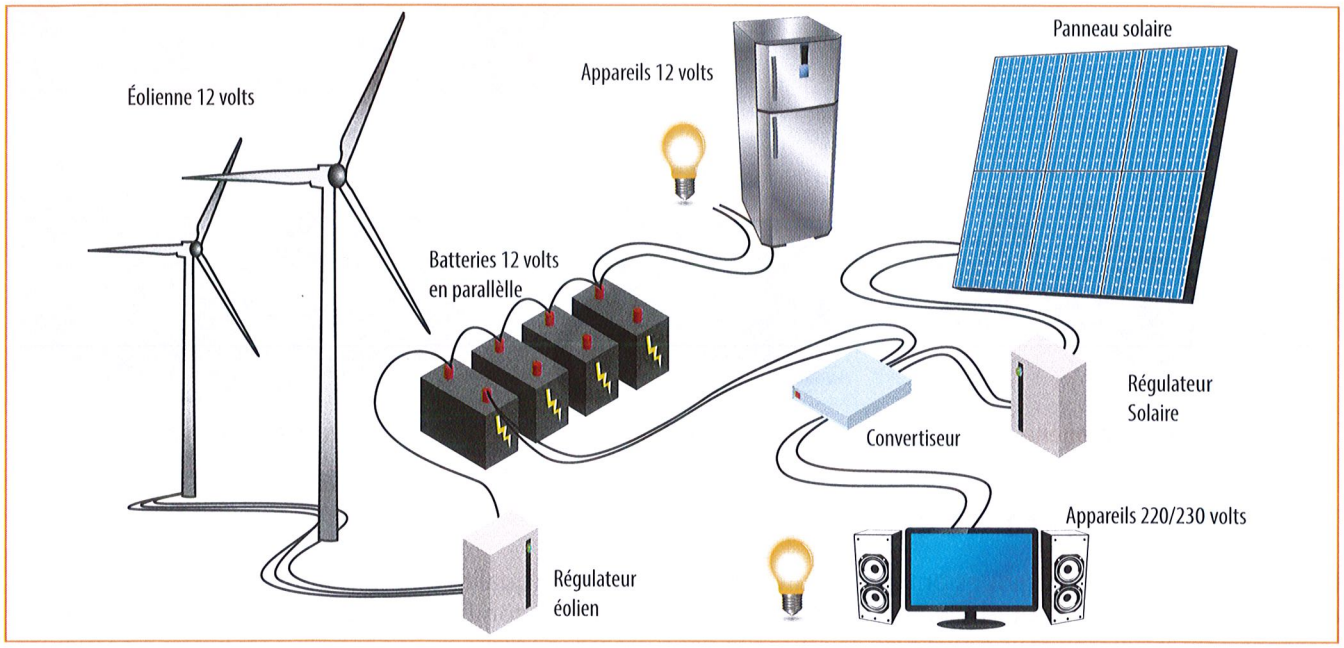
Exemple : chargeur de portable



8 Améliorer le rendement en utilisant d'autres types d'énergies

8.1 Éolien et/ou solaire

Dans un système mécatronique, il est possible de **produire localement** l'énergie nécessaire au fonctionnement à l'aide de panneaux solaires ou d'énergie éolienne. Chaque source d'énergie est associée à un régulateur chargeur qui permet d'alimenter les récepteurs sous tension constante et de recharger les batteries.



Exemples :



Voilier avec éolienne et panneaux solaires



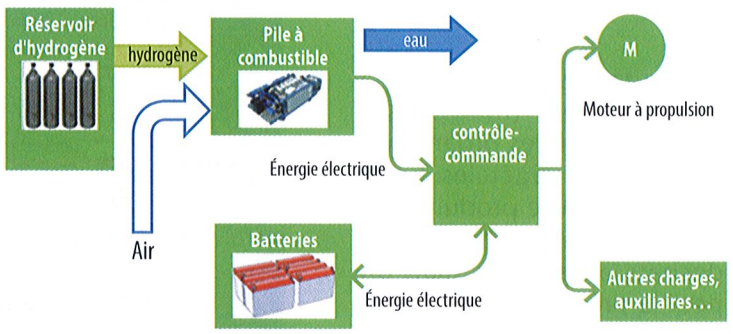
Voiture à toit solaire



Arbre à vent (alimentation des luminaires)

8.2 Hydrogène

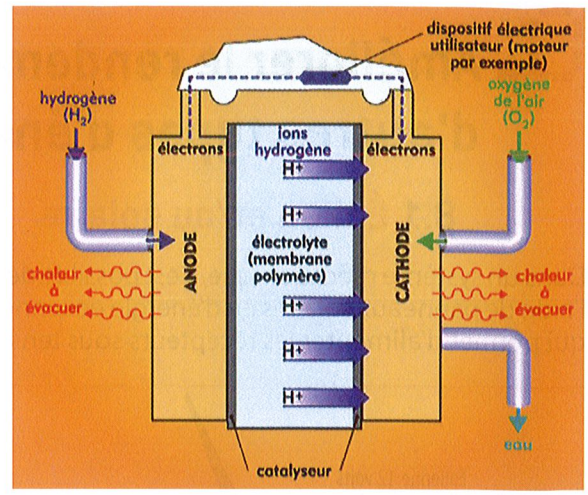
Les **moteurs à hydrogène** sont des moteurs électriques à pile à combustible. Leur énergie de fonctionnement ne vient pas de batteries qui auraient stocké de l'électricité, mais d'une pile qui produit en continu de l'électricité selon les besoins du moteur.



Principe de la pile à combustible

Pour produire de l'électricité, la **pile à combustible** procède à l'oxydation (action inverse de l'électrolyse) d'hydrogène stocké sous forme gazeuse dans un réservoir.

Cette technique ne produit pas de nuisances environnementales (aucun gaz à effet de serre ni polluant). Elle **crée** uniquement de la **chaleur** et **rejette** de la **vapeur d'eau**.



Exemples :



Vélo à hydrogène



Scooter à hydrogène



Voiture à hydrogène

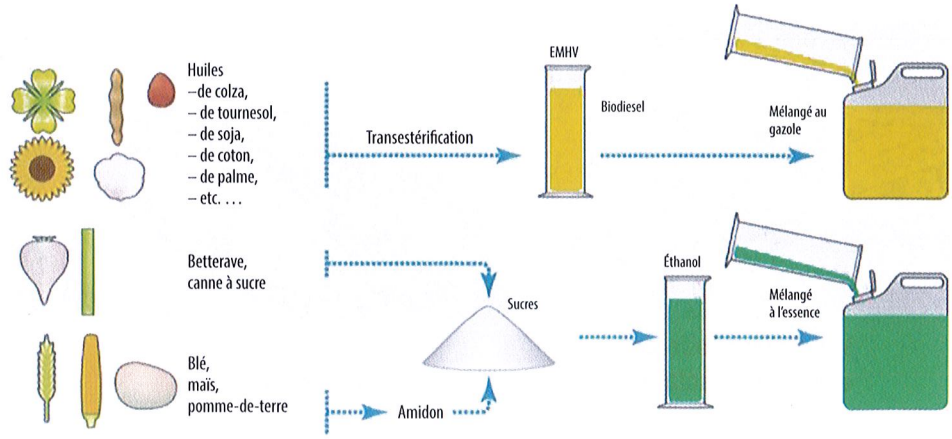
8.3 Carburants écologiques

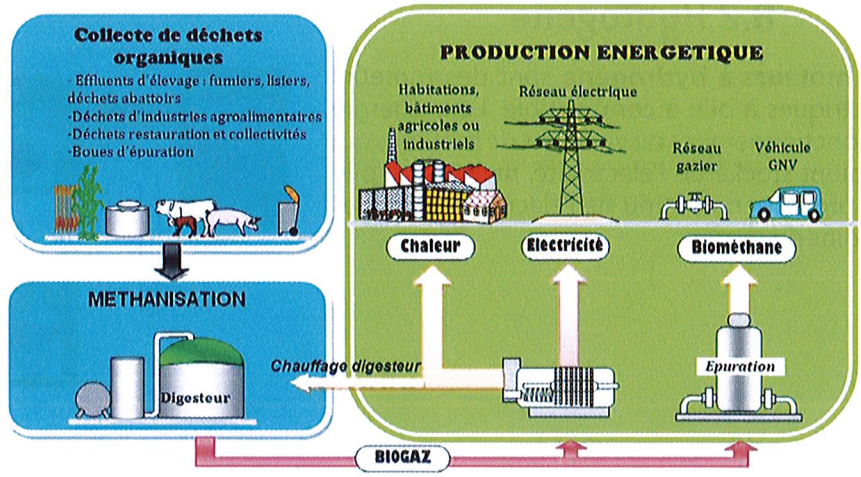
Les innovations technologiques ont permis une amélioration de la qualité des carburants. La teneur en soufre, en benzène et en aromatiques a baissé, ce qui favorise une meilleure combustion des moteurs à injection directe (essence comme diesel) et une plus grande efficacité des systèmes de traitement des polluants (filtres à particules, pièges à NOx).

Le **biodiesel** est un substitut du carburant diesel. Il est fabriqué à partir de matières *renouvelables* (de *l'huile végétale,* de *l'huile* de cuisson usée, des autres huiles : poisson et algues…, des graisses animales).

Le **bioéthanol** est un biocarburant utilisé dans les moteurs à essence. Il est fabriqué à partir de végétaux contenant du saccharose (betterave, canne à sucre…) ou de l'amidon (blé, maïs…).

Le **biogaz** est produit par la fermentation (méthanisation) de matières organiques animales ou végétales. Cette fermentation se produit dans les décharges contenant des déchets organiques mais on peut la provoquer artificiellement dans des digesteurs.





9. Amélioration des performances de la chaîne d'information

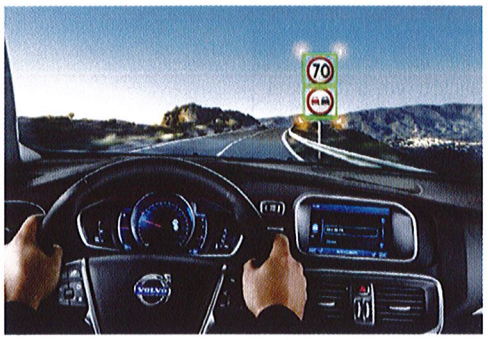
Equipés de capteurs, de systèmes intelligents de mesure, de contrôle et de régulation, les systèmes mécatroniques actuels (machines, véhicules, robots...) s'adaptent automatiquement aux situations et réagissent rapidement, ce qui leur permet notamment d'optimiser leur consommation d'énergie.

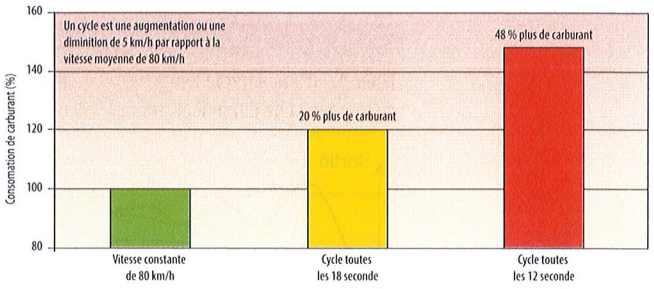
9.1 Systèmes bouclés : régulation et asservissement

Dans les **systèmes bouclés**, on prend en compte l'état réel de la sortie que l'on compare à la valeur souhaitée (**consigne**) pour ajuster la commande des actionneurs.

On parle de **régulation** si la consigne est constante et que le système compense les perturbations (évènements extérieurs qui interviennent sur le système). On parle d'**asservissement** si la consigne est variable et que le système la suit le plus rapidement et le plus précisément possible.

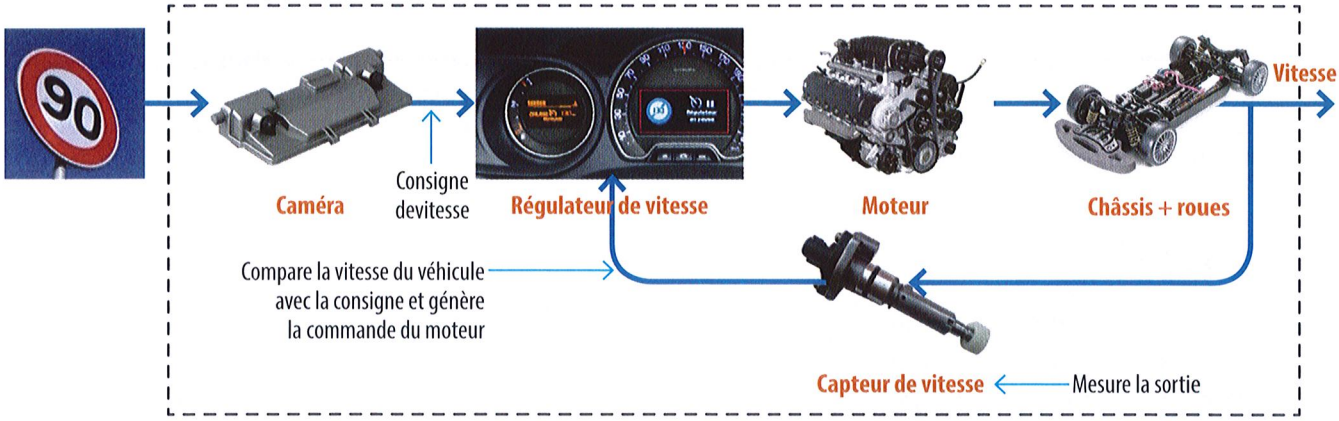
Exemple - régulateur de vitesse intelligent : ce système permet de réguler la vitesse d'un véhicule grâce à la reconnaissance de panneaux et de limitations de vitesse à l'aide de la caméra embarquée.



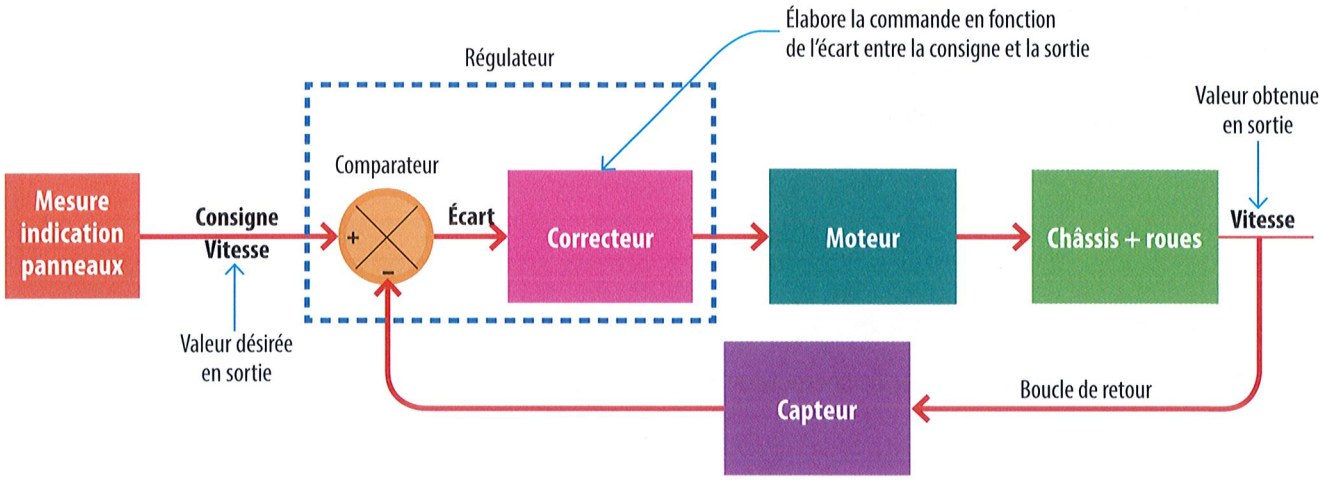


Consommation d'un véhicule avec et sans régulateur

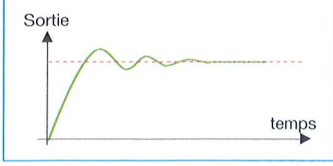
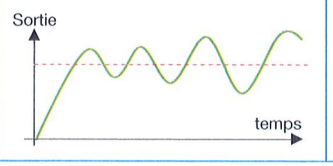
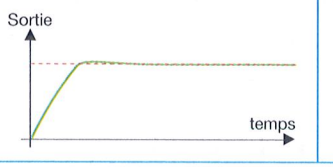
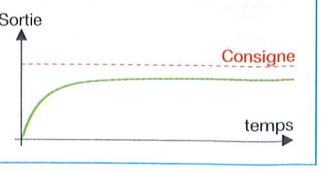
La régulation de vitesse intelligente peut se représenter par le schéma de principe suivant.



La régulation de vitesse intelligente peut être représentée sous la forme d'un **schéma bloc.**



Exemples de réponses possibles

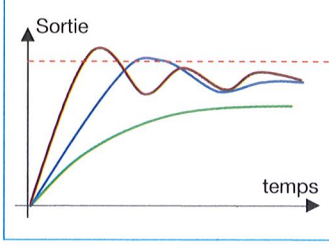
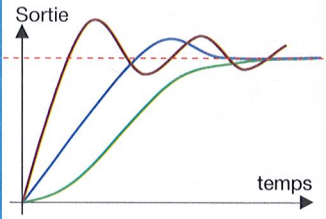
Système stable et précis : après quelques oscillations la sortie se stabilise sur la consigne.	Système instable : la sortie s'éloigne de plus en plus de la consigne	Système stable, précis et rapide : la sortie atteint la consigne rapidement et avec précision	Système lent : la sortie réagit lentement et n'atteint pas la consigne
			

Un bon système asservi ou régulé sera caractérisé par :

- un écart entre consigne et sortie très faible, si possible nul ;
- un temps de réponse *tr* à 5 % (temps mis pour que la sortie se stabilise entre 95 % et 105 % de la consigne) le plus court possible.

Le régulateur comporte un comparateur qui mesure l'écart entre la consigne et la sortie et des correcteurs (à action proportionnelle P, à action intégrale I et à action dérivée D) dont le rôle est de réduire l'écart et d'assurer la stabilité.

Influence des correcteurs P et I

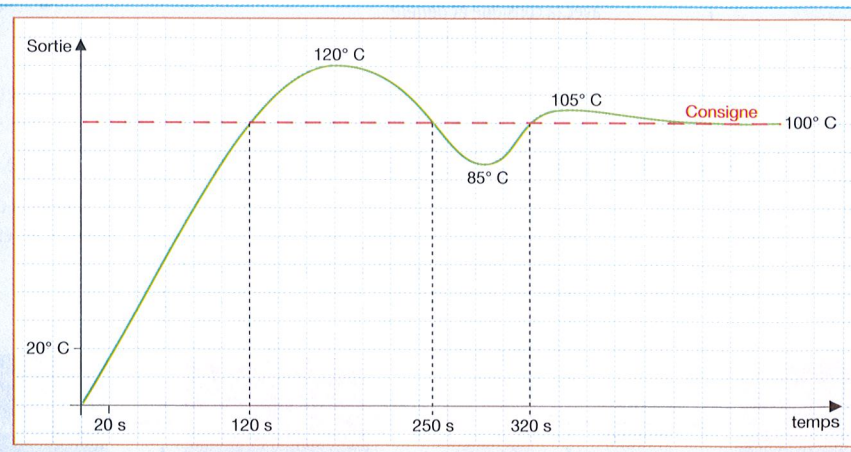
P	I
Il permet d'améliorer le temps de montée et de diminuer l'erreur.	Il permet d'annuler l'erreur statique et d'améliorer les temps de réponse.
	

Correction trop faible
Correction correcte
Correction trop forte

Le réglage des correcteurs est difficile et délicat. On parle de **compromis entre stabilité et précision**. Pour faciliter les réglages, la majorité des régulateurs sont désormais **auto-adaptatifs**. Ils sont capables de mesurer les paramètres du système et de déterminer les valeurs de réglage permettant d'assurer le meilleur compromis stabilité – précision.

APPLICATION 8

La régulation de température d'un four est réalisée par un correcteur P seul. D'après la courbe de la température en fonction du temps $\theta = f(t)$:



1. Quel est le comportement du four ?

❒ lent ❒ stable ❒ instable

2. Quelle est la précision (écart entre consigne et sortie) ?

.....

.....

3. Calculer le temps de réponse à 5 %. .....

4. Quelle action faudrait-il avoir sur le correcteur P pour améliorer la réponse ?

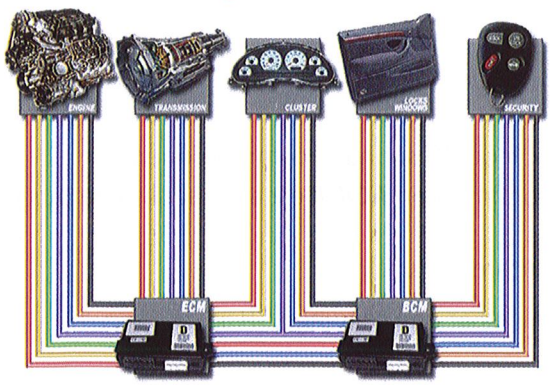
.....

9.2 Bus CAN

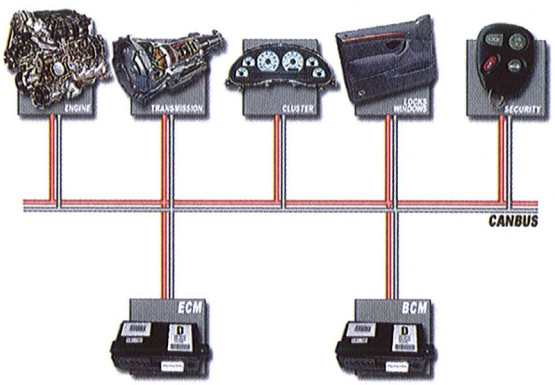
De nombreux secteurs (transport, télécommunication, industriel, ...) utilisent des systèmes électroniques communicants (calculateurs, capteurs et actionneurs intelligents,...). Un câblage filaire traditionnel de leurs liaisons entraînerait une augmentation importante des faisceaux électriques (poids, encombrement,...). Pour **faciliter leur câblage et leur communication**, ils sont reliés par bus.

Le bus **CAN** (**C**ontrol **A**rea **N**etwork) est un bus destiné à transmettre des messages courts. Un message émis par un des constituants est envoyé à toutes les stations qui sont en permanence à l'écoute du réseau. Chaque station reconnaît et traite les messages qui la concernent et ignore les autres.

Câblage sans bus CAN



Bus CAN dans une voiture

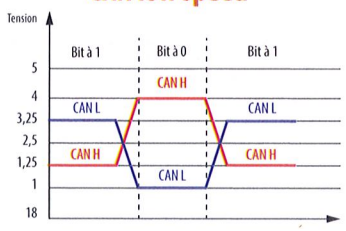


Les données sont transmises sous forme de **trames de données** sur le bus. Elles sont réparties en 7 champs.

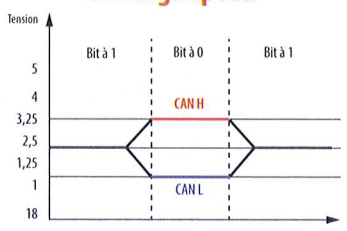
Début (SOF : 1 bit à 1)	Identificateur (11 + 1bits)	Commande (6 bits)	Informations (0 à 64 bits)	Contrôle (16 bits)	Acquittement (ACK : 2 bits)	Fin de trame (EOF : 7 bits à 1)
Start Of Frame	Identité du message Gestion des priorités Dernier bit : 0 envoi de données 1 demande	2 bits de réserve et 4 bits pour le nombre d'octets de la donnée	0 à 8 octets de données	Détection d'une erreur de transmission	Le premier bit est forcé à 1 par le récepteur	End Of Frame

Nature des informations : Le bus CAN utilise deux fils : CAN L (low) et CAN H (High). Les états logiques (0 ou 1) sont codés par différence de potentiel entre les deux fils. Il existe deux possibilités de configuration du bus : **low speed** (125 kbits) ; **high speed** (1 Mbits).

CAN low speed

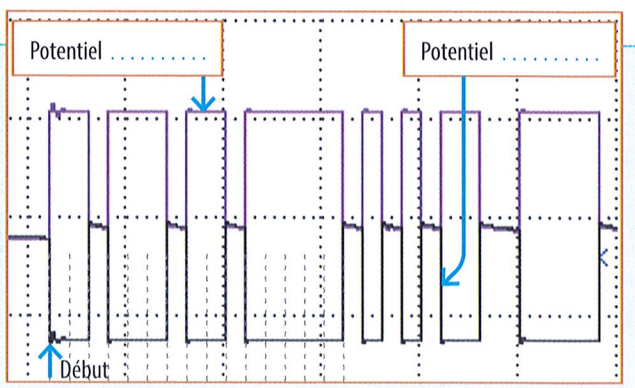


CAN high speed



APPLICATION 9

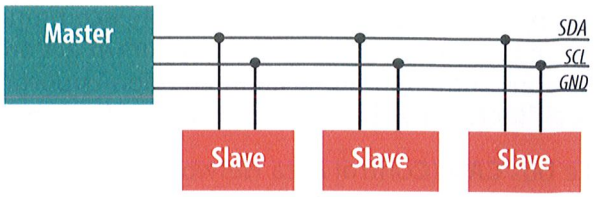
1. D'après la trame CAN ci-contre, le bus est configuré :
   ☐ high speed ☐ low speed
2. Identifier les potentiels CAN H et CAN L.
3. Par secteur, identifier par 0 ou 1 les 10 premiers bits émis. .....



9.3 Bus I2C

Le bus I2C est un **bus série** constitué de **3 fils** :

- **SDA** (Serial Data Line) : ligne de données bidirectionnelle
- **SCL** (Serial Clock Line) : horloge de synchronisation bidirectionnelle
- **GND** : la masse



Le bus I2C est contrôlé par un maître (généralement un microcontrôleur) qui possède un ou plusieurs esclaves (périphériques). Il peut y avoir plusieurs maîtres (on parle alors de mode multi-maîtres), mais à un instant donné, un seul maître contrôle le bus.

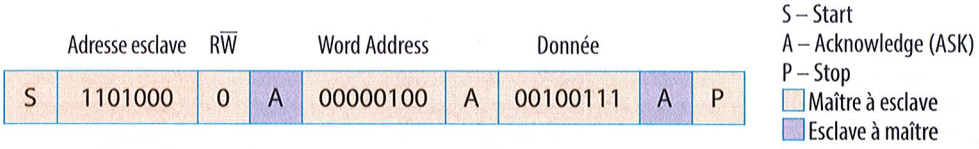
Communication sur le bus :

Le bus étant au repos (SDA = 1 , SCL = 1) :

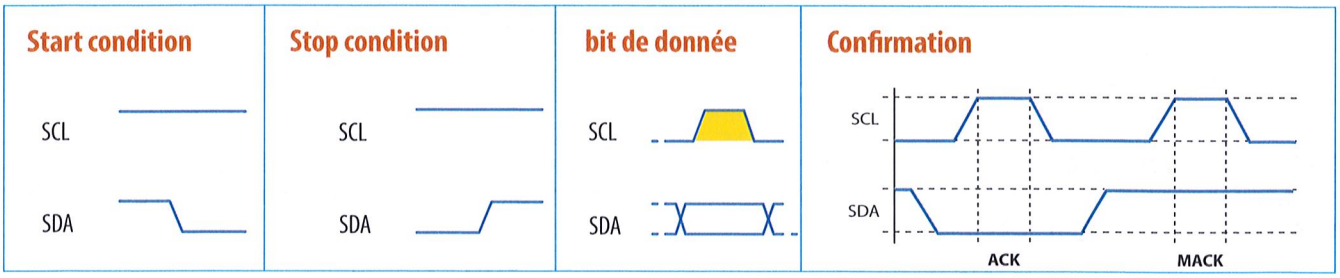
- Le **Maître** envoie sur le bus l'adresse du composant avec lequel il souhaite communiquer.
- L'**esclave** qui reconnaît son adresse émet un signal de confirmation **ACK**. Il est alors seul sur le bus avec le maître.
- Le **Maître** continue la procédure de communication (écriture/lecture).

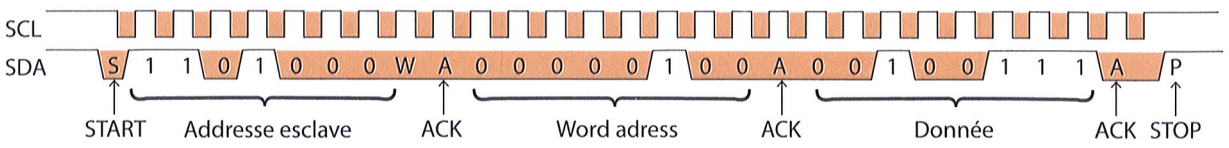
Chaque échange débute par une condition START et se termine par une condition STOP.

Exemple :



Nature des informations

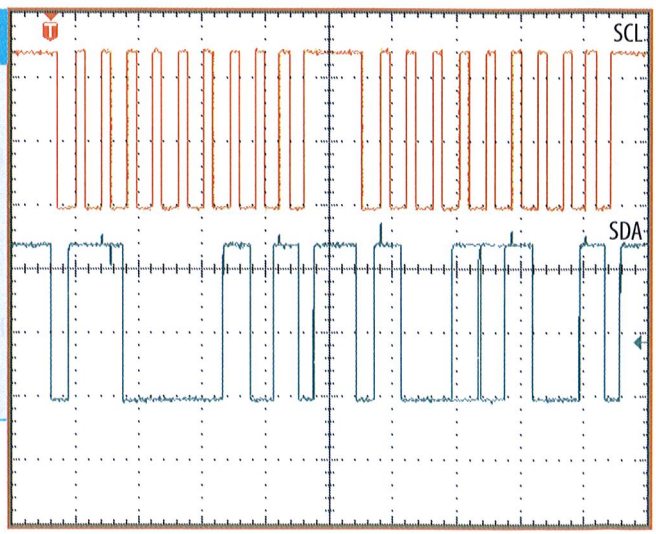




APPLICATION 10 Extrait de trame I2C

1. Sur la trame ci-contre, identifier en **rouge** le signal START, en **vert** le signal d'acquittement.
2. Donner la valeur binaire des 8 bits intermédiaires.

.....



Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 12 TD

EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LES SYSTÈMES MÉCATRONIQUES

Activité 1. Scooter Piaggio MP3

Le scooter Piaggio MP3 est propulsé par un moteur thermique associé à un moteur électrique.

Dans tous les usages, le scooter utilise l'énergie cinétique en phase de décélération et de freinage pour recharger la batterie.

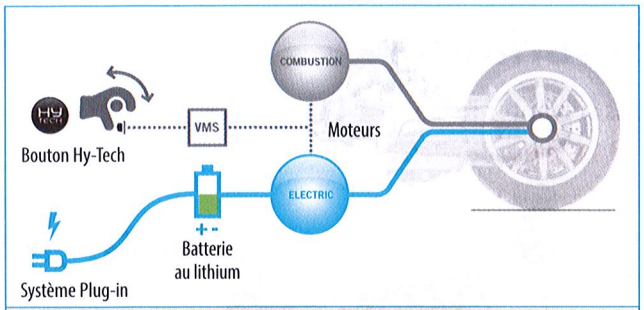


1. Indiquer le type de système auquel correspond ce scooter.

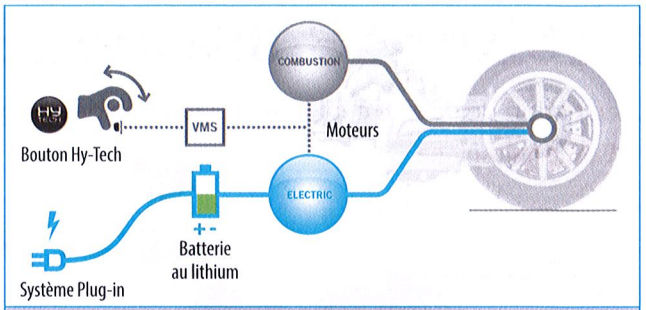
☐ mono source ☐ multi sources

☐ mono source à production combinée ☐ hybride

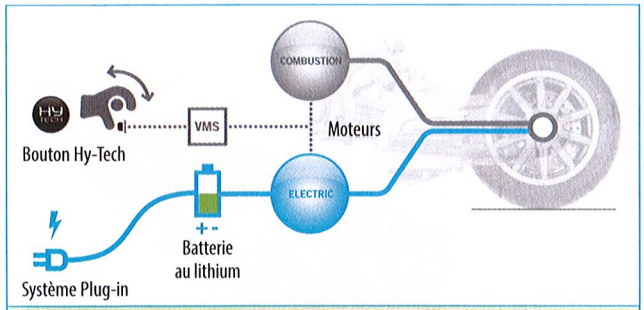
2. Ce scooter possède 3 modes de fonctionnement (hors marche arrière) : **H-Power** ; **H-Charge** ; **Électrique**. Pour chaque mode, flécher en **rouge** le trajet de l'énergie lors d'une accélération et en **vert** le trajet de l'énergie lors d'une phase de ralentissement.



H-Power : Le moteur thermique et le moteur électrique travaillent en parallèle pour fournir des performances accrues. La consommation et la pollution sont limitées.

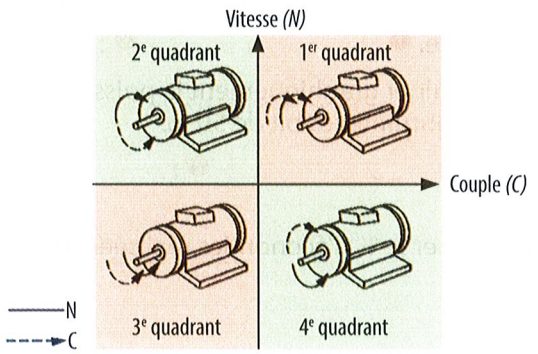


H-Charge : Le moteur électrique est coupé et le moteur thermique lui fournit de l'énergie. Le moteur électrique fonctionne alors comme un générateur et fournit de l'énergie aux batteries.

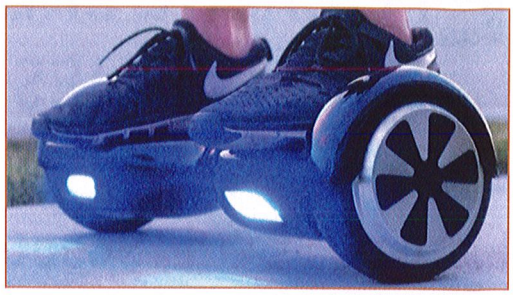


Électrique : le moteur thermique est éteint et le véhicule fonctionne en « zéro émissions ». Ce mode est idéal pour les petits déplacements en centre-ville, la vitesse étant alors limitée à 30 km/h.

3. En mode électrique, entourer en **rouge** le quadrant de fonctionnement correspondant à la montée à vitesse constante et en **bleu** le quadrant de fonctionnement correspondant à la phase de freinage en montée.



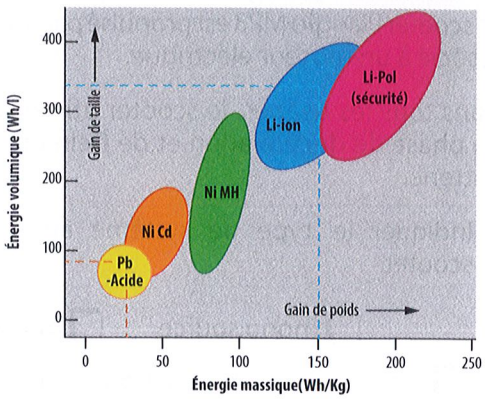
Activité 2. Choix de batterie pour un gyropode



Le gyropode 2 roues est équipé de 2 roues motrices indépendantes (diamètre 17cm) entraînées chacune par un moteur de 300 W et commandées par inclinaison des pieds. L'alimentation en énergie est assurée par une batterie 36 V ; 4,4 Ah.

Les principales technologies de batteries disponibles actuellement sur le marché sont : **plomb-acide** (la plus couramment utilisée dans l'automobile), **ni**ckel-**cad**mium, **ni**ckel-**hy**drure **mé**tallique, **li**thium-**ion** et **li**thium-**pol**ymère.

Le constructeur doit choisir entre une batterie plomb-acide ou une batterie lithium-ion.



1. Déterminer pour chaque type de batterie envisagé, le poids et le volume moyens.

   plomb-acide (- - -) : .....

   lithium-ion (- - -) : .....

2. Quel choix de batterie conseilleriez-vous au fabricant ?

   Justifier. .....

3. La vitesse maximale de ce gyropode est de 10 km/h. À cette vitesse, en déplacement linéaire, les moteurs absorbent au total 110 W. Calculer l'autonomie du véhicule (en temps et en kilomètre) pour une décharge à 80 %.

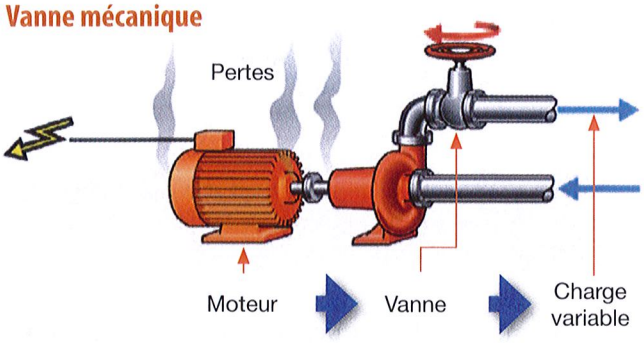
.....

.....

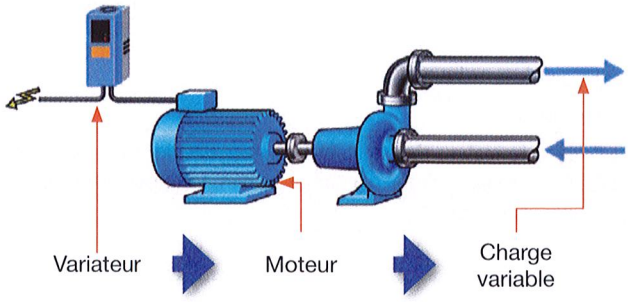
Activité 3. Utilisation d'un variateur

La variation de débit d'eau peut être réalisée des deux façons suivantes :

❶ **Vanne mécanique**



❷ **Variateur de vitesse**



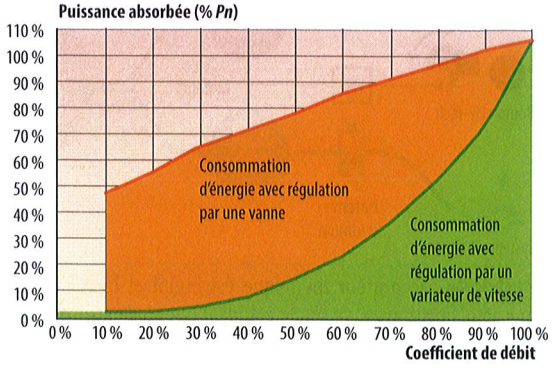
1. Pour chaque cas :

   a) entourer en **rouge** l'élément qui permet de faire varier le débit d'eau.

   b) Indiquer si la vitesse de rotation du moteur est fixe ou variable. ❶ : ..... ❷ : .....

   c) Déterminer graphiquement la puissance consommée pour fournir un débit de 50 %.

   ❶ : ..... ❷ : .....



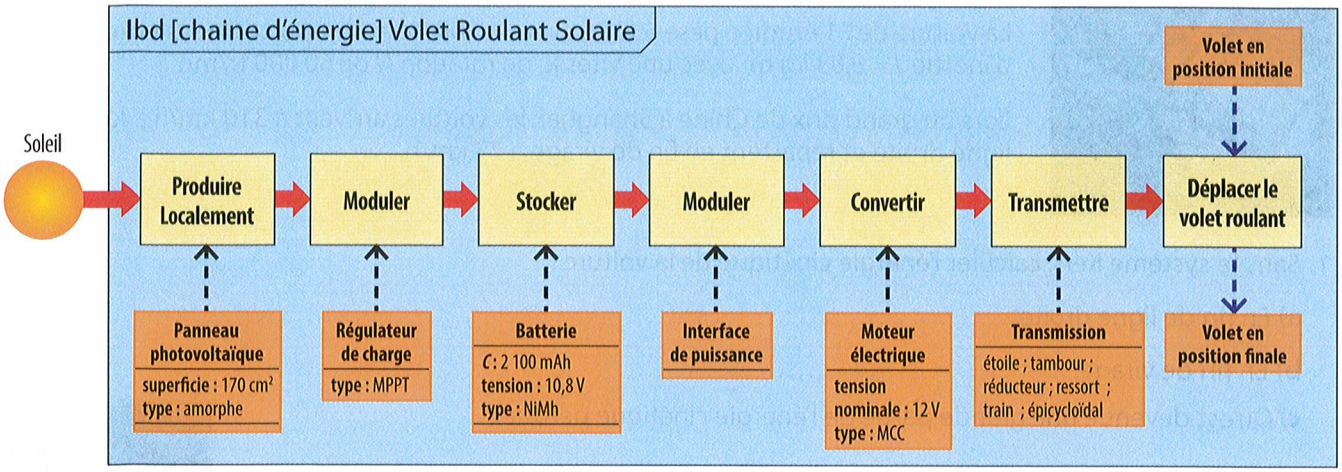
2. Déterminer le % d'économies réalisées grâce à l'utilisation d'un variateur et justifier ces économies. .....

.....

Activité 4 - Volet roulant solaire

Un volet roulant solaire est composé d'un coffre aluminium sur lequel est fixé un panneau solaire transformant le rayonnement solaire en électricité. Cette dernière est stockée dans une batterie de technologie NiMh pour alimenter le moteur électrique du volet.

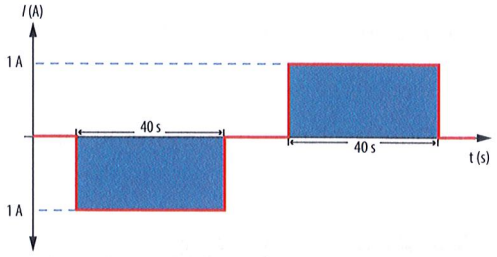
Présentation du volet et de sa chaîne d'énergie



1. Indiquer le type de système auquel correspond ce volet solaire.

☐ mono source ☐ mono source à production combinée ☐ multi sources ☐ hybride

2. On a relevé l'intensité absorbée par le moteur sur un cycle de montée - descente. Calculer la consommation en Ah et en Wh du store pour un cycle.



.....

.....

3. Calculer le nombre de cycles possibles jusqu'à décharge complète de la batterie.

.....

4. L'autonomie de 15 jours sans soleil est-elle respectée si le volet effectue 2 cycles/jour en moyenne ?

.....

5. Le volet est implanté sur une fenêtre d'une maison située à Rouen (76 – Seine-Maritime). Pour le plus mauvais mois de l'année, déterminer :

a) L'ensoleillement moyen/jour. .....

b) Le nombre de Wh moyen captés/jour par le panneau solaire.

.....

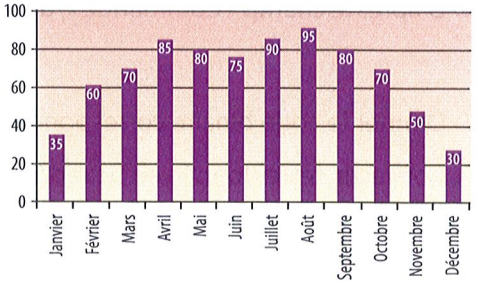
c) Le nombre d'Ah fournis à la batterie si le rendement de l'ensemble panneau + chargeur = 5 %.

.....

d) Le dimensionnement du panneau est-il correct ?

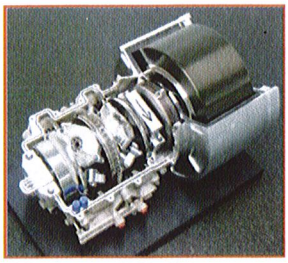
☐ Oui ☐ Non

Ensoleillement mensuel en kWh/m² à Rouen



Activité 5. Système Kers : formule 1

Pour le championnat du monde de F1, les constructeurs ont trouvé un système permettant de récupérer de l'énergie pendant les phases de freinage. Cette énergie est ensuite utilisée par le pilote pour booster sa voiture lors des phases d'accélération.



Le système Kers permet de récupérer de l'énergie avec une inertie ou avec des batteries.

La voiture de F1 étudiée pèse 630 kg avec son pilote et comporte un système à volant d'inertie $J = 0{,}03$ kg.m^2 avec une vitesse de rotation N de 60 000 tr/mn.

Lors du grand prix de Chine à Shanghai, les voitures arrivent à 310 km/h à la fin de la ligne droite et repartent en fin de virage à 73 km/h.

1. Sans le système Kers, calculer l'énergie cinétique de la voiture :

a) En fin de ligne droite. .....

b) En fin de virage. .....

c) Qu'est devenue une grande partie de l'énergie cinétique perdue ?



.....

2. Avec le système Kers, calculer :

a) L'énergie emmagasinée par l'inertie à l'entrée du virage (l'inertie tourne alors à sa vitesse maximale).

.....

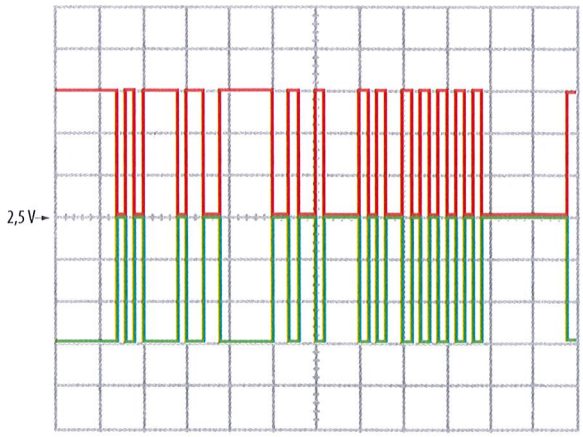
b) À quel % de l'énergie cinétique de fin de ligne droite cette énergie correspond-elle ?

.....

c) Quel est l'intérêt du système Kers ? .....

Activité 6. Bus CAN d'un yacht

Dans un yacht, les principaux équipements de navigation communiquent par un bus CAN. Une trame issue de la boussole et destinée au pilote automatique a été capturée.



1. D'après la trame, de quel type de bus CAN s'agit-il ?

☐ low speed ☐ high speed

2. Sur l'oscillogramme, identifier les 7 champs (voir la leçon) qui composent la trame.

3. D'après le champ « Identificateur », s'agit-il d'un envoi ou d'une demande ?

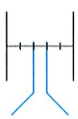
.....

4. D'après le champ « Commande », de combien d'octets est constituée la donnée transmise ?

.....

5. Donner le code binaire correspondant à la donnée transmise. .....

6. Convertir cette donnée en hexadécimal. .....



Durée d'un bit : 0,2 div

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 12 ÉTUDE DE CAS

VÉLO PLIANT À ASSISTANCE ÉLECTRIQUE

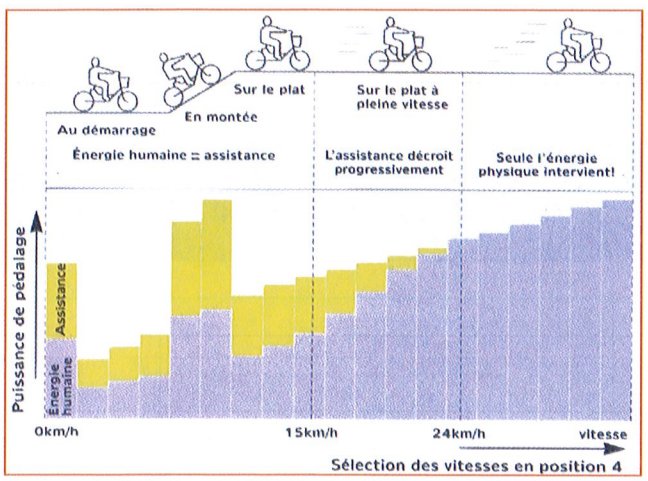
Problématique : Choisir le moteur et la batterie d'un vélo pliant à assistance électrique.

1. Présentation générale

Le **vélo à assistance électrique (VAE)** est un vélo possédant un moteur électrique alimenté par une batterie rechargeable.

L'assistance électrique ne fonctionne que si l'utilisateur pédale (capteur de pédalage). Le moteur se déconnecte dès que le vélo électrique atteint 25 km/h.



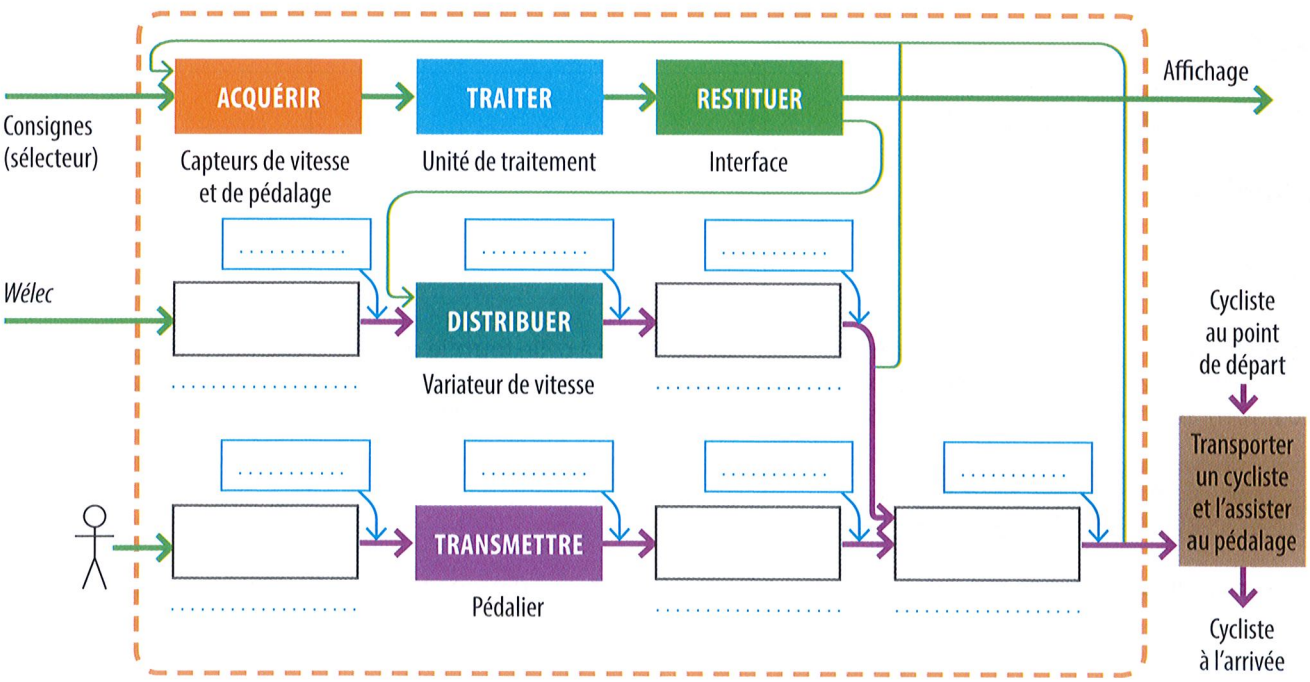


La puissance nominale du moteur ne doit pas dépasser les 250 watts. Au-delà, il serait considéré comme un cyclomoteur.

Pour une utilisation urbaine, les vélos électriques pliants sont légers et faciles à manipuler (transports en commun, coffre d'un véhicule, escaliers…).

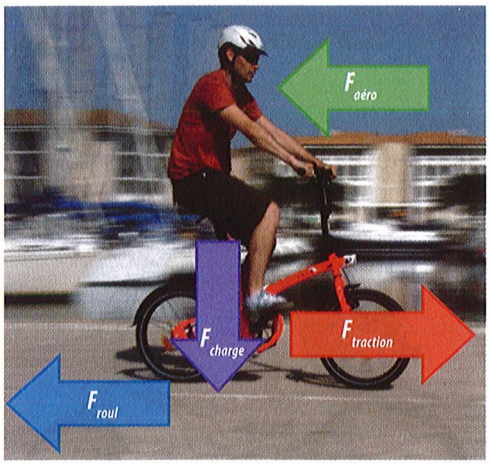
L'énergie de la batterie est fournie au moteur via un variateur de vitesse. Le moteur placé directement sur la roue, permet de disposer d'un couple important et d'évoluer sur tous les terrains.

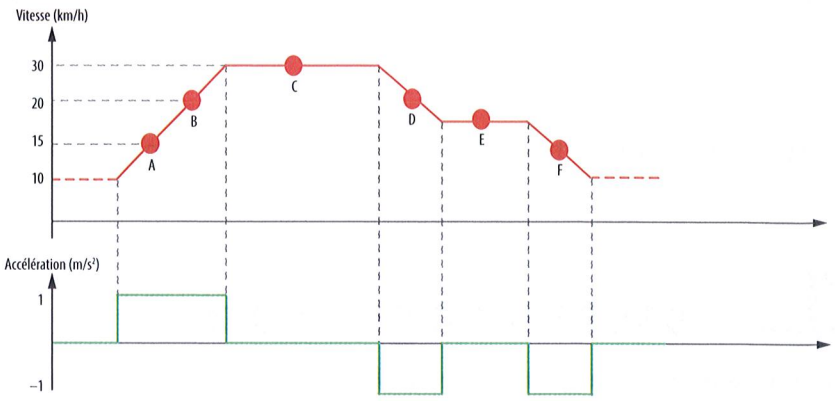
- Compléter la chaîne d'énergie du diagramme ci-dessous (préciser la nature des énergies).



2. Puissances mises en jeu lors d'un déplacement

Un cycliste monté sur un VAE pliant se déplace, par temps calme, sans vent et sur terrain plat, suivant le cycle ci-dessous.





Essais réalisés avec le sélecteur de vitesse en position 4

1. Pour **chacun des points** identifiés sur le cycle, relever sur les courbes la vitesse et l'accélération puis calculer les différentes forces mises en jeu ($F_{aéro}$: force fluidique ; F_{roul} : force de résistance au roulement ; F_{charge} : force due au poids ; $F_{traction}$: force de traction) et les puissances ($P_{vélo}$: puissance totale reçue par le vélo ; P_{mot} part de la puissance mécanique due au moteur). En freinage, les puissances sont négatives.

   Caractéristiques techniques : $Cr = 0{,}01$; m (vélo + cycliste) = 80 kg ; produit $S \times Cx = 0{,}4$; masse volumique de l'air $\rho = 1{,}24$ kg/m³

Grandeurs / Point	Formules	Phases d'accélération		Phases de vitesse constante		Phases de décélération	
		A	B	C	E	D	F
V (m/s)							
γ (m/s²)							
F_{roul} (N)							
$F_{aéro}$ (N)							
F_{charge} (N)							
$m \times \gamma$ (N)							
$F_{traction}$ (N)							
$P_{vélo}$ (W)							

Rappel : De 0 à 15 km/h, le moteur fournit une puissance égale à celle fournie par le cycliste (50 % de la puissance totale). De 15 à 25 km/h, la puissance fournie par le moteur décroit progressivement (30 % de la puissance totale à 20 km/h). Au-delà de 25 km/h, la puissance fournie par le moteur est nulle.

P_{moteur} (W)							

2. Déterminer la puissance maximale que devra fournir le moteur en prenant un coefficient de sécurité de 2.

.....

3. Choix du moteur

- À l'aide du tableau suivant, déterminer le type de moteur qui convient pour ce VAE.

 MP 36-81	 MRA 36-14	 MRA 36-26
Moteur pédalier	Moteur roue arrière	Moteur roue arrière
Puissance nominale : 250 W	Puissance nominale : 250 W	Puissance nominale : 250 W
Très puissant. Adapté aux trajets avec dénivelés importants (montagne, trial, enduro, VTT)	Adapté aux trajets sur route et en ville avec peu de dénivelés	Adapté aux grandes randonnées sur route, en ville ou VTT
en 48 V : puissance max 600 W ; couple 97 Nm ; vitesse linéaire en charge 40 km/h	en 48 V : puissance max 600 W ; couple 18 Nm ; vitesse linéaire en charge 40 km/h	en 48 V : puissance max 1 200 W ; couple 29 Nm ; vitesse linéaire en charge > 45 km/h
en 36 V : puissance max 450 W ; couple 81 Nm ; vitesse linéaire en charge 30 km/h	en 36 V : puissance max 450 W ; couple 14 Nm ; vitesse linéaire en charge < 25 km/h	en 36 V : puissance max 800 W ; couple 26 Nm ; vitesse linéaire en charge > 35 km/h

Choix : ..... Justification .....

.....

4. Choix de la batterie

1. On souhaite que ce VAE ait une autonomie de 50 km avec une utilisation en consommation économique.

   Quelle batterie utiliser ? .....

2. Déterminer la capacité en Wh et en Ah de la batterie. .....

   Justifier. .....

Autonomie des batteries en fonction du poids pour une consommation économique

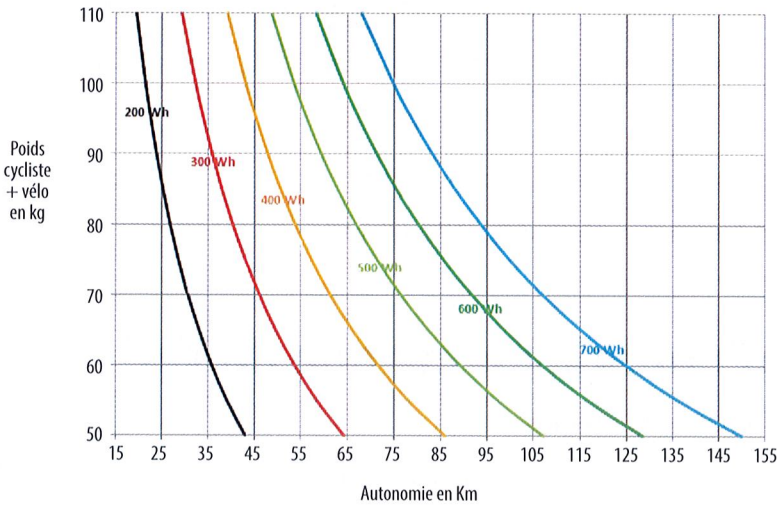
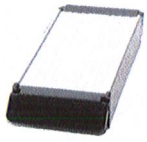


Tableau de choix des batteries Li-ion

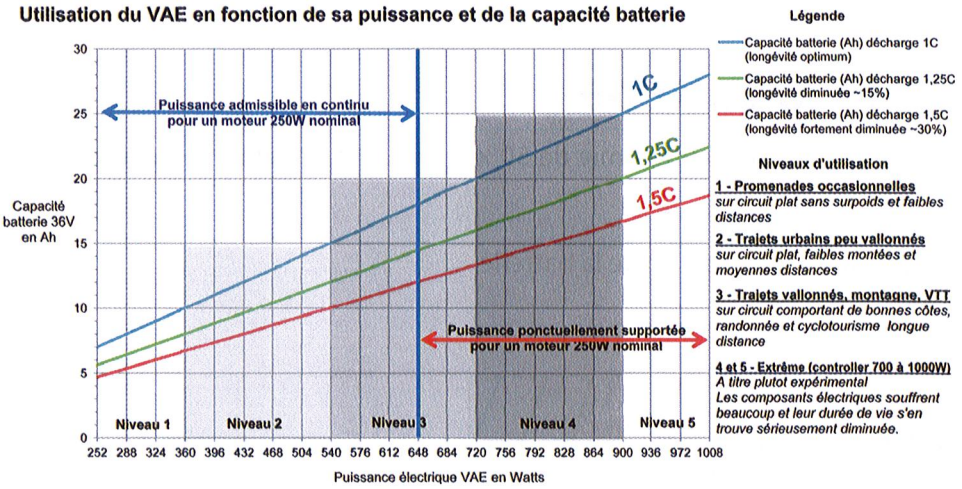
Capacité batterie en Wh	216	288	360	432	504	576
Capacité batterie 36V en Ah	6	8	10	12	14	16
Courant maxi supporté par le moteur 250 W (en A)	20	20	20	20	20	20

3. La batterie doit être placée sur le plateau arrière, choisir celle qui convient le mieux.

Tableau comparatif des batteries 36v					
	36v 10Ah	**36v 15Ah**	**36v 15Ah**	**36v 11,6Ah**	**36v 14,5Ah**
Format					
Chimie	**LI-ION** Lithium Manganèse Oxyde	**LI-ION** Lithium Manganèse Oxyde	**LI-ION** Lithium Manganèse Oxyde	**LI-ION** Lithium Nickel Manganèse Cobalt Oxyde	**LI-ION** Lithium Manganèse Oxyde
Type de cellules	**HeadWay**	**HeadWay**	**HeadWay**	**Panasonic**	**Panasonic 2900**
Dimensions* (Lxlxh)	18,5 x 7,5 x 12,5cm	24 x 7 x 14 cm	37 x 15 x 8,5cm	32,5 x 9 cm	33,5 x 12,8 x 8,8 cm
Poids*	2,90kg	4,20kg	5,60kg	2,90kg	3,70kg
Cycle de charge/décharge	800 cycles	800 cycles	800 cycles	600 cycles	800 cycles
Temps de chargement	4h00	6h00	5h00	8h30	7h00
Informations complémentaires					
Energie totale stockée	360Wh	540Wh	540Wh	418Wh	522Wh
Coût du Wh	1,11€/Wh	**0,92€/Wh**	1,11€/Wh	1,34€/Wh	1,15€/Wh
Tension minimum	32V	32V	29V	29V	29V
Tension maximum	42V	42V	42,5V	42,5V	42,5V
Densité énergétique	124Wh/kg	129Wh/kg	096Wh/kg	144Wh/kg	141Wh/kg
Nombre de cellules en série	10S	10S	10S	10S	10S

4. Indiquer par des points de couleur les puissances électriques du VAE pliant lorsqu'il fonctionne :

- en demandant à la batterie de fournir sa capacité nominale (**1C**) : **bleu**.
- en demandant à la batterie de fournir 1,25 fois sa capacité nominale (**1,25C**) : **vert**.
- en demandant à la batterie de fournir 1,5 fois sa capacité nominale (**1,5C**) : **rouge**.



5. Dans quel niveau d'utilisation se situent ces trois points ? .....

6. Ce niveau correspond-il au niveau visé avec le VAE pliant ? .....

5. Chaîne d'énergie électrique du VAE

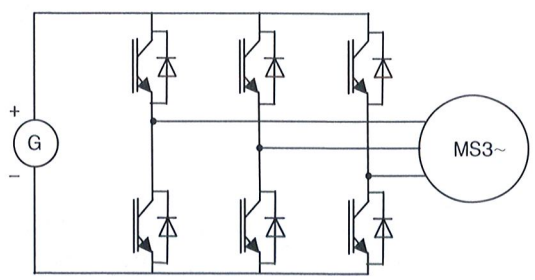
1. Entourer en **rouge** la fonction **Alimenter**.

2. Entourer en **vert** la fonction **Distribuer**. Indiquer la nature de l'énergie électrique en entrée et en sortie.

.....

3. Entourer en **bleu** la fonction **Convertir**. Indiquer le type de convertisseur utilisé.

.....



Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

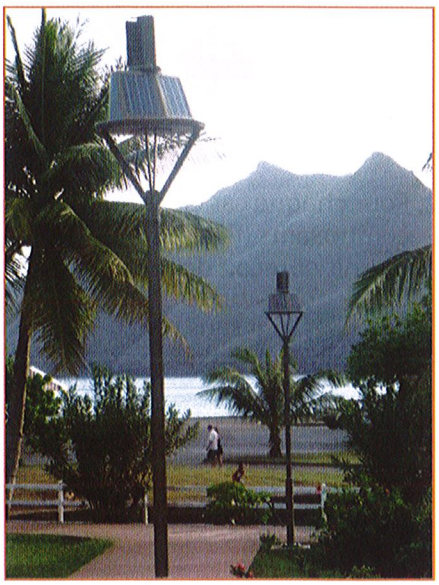
SÉQUENCE 12 INVESTIGATION 1

ÉTUDE D'UN LAMPADAIRE AUTONOME

Problématique : Étudier les circulations d'énergie, l'autonomie et l'amélioration de l'efficacité énergétique d'un lampadaire autonome.

1. Présentation

Le lampadaire bi-énergie a été développé pour répondre aux besoins d'éclairage et de sécurité des sites piétonniers, tels que les abris voyageur, les zones résidentielles, les quais et écluses…



Lampadaire autonome

Deux modes de fonctionnement :

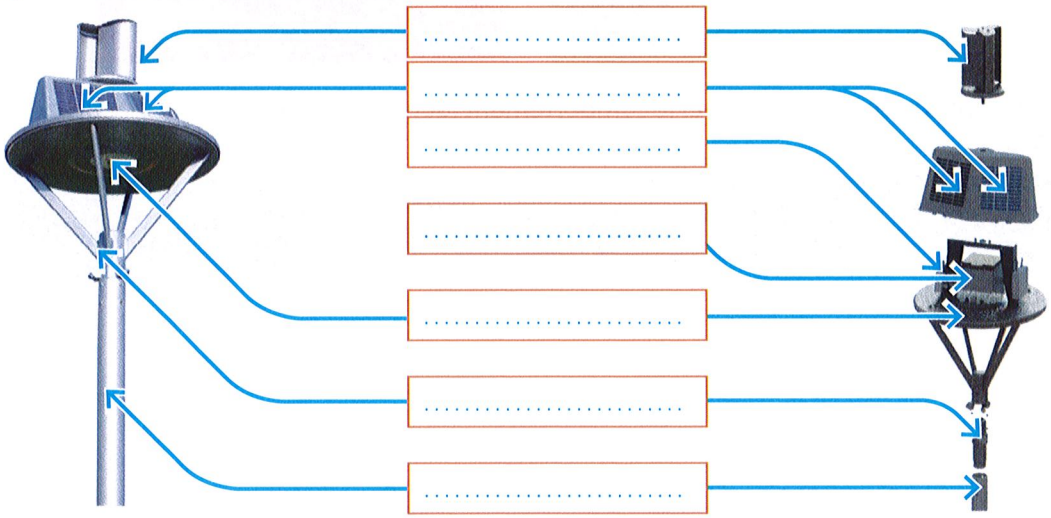
- Allumage en mode veille à la détection du crépuscule.
- Éclairage pleine puissance pendant 45 s, à la détection de présence par capteurs infrarouges.

L'éclairage est assuré par 5 Leds de puissance de 130 lumens chacune.

Le constructeur annonce 40 heures d'autonomie à pleine puissance.

2. Constitution

1. Compléter le document à l'aide des termes suivants : *Batterie, Mat, Éolienne, Module de détection infrarouge, Panneaux photovoltaïques, Carte électronique de gestion, Éclairage à DEL*



2. Compléter le bloc fonctionnel ci-dessous en précisant les sources d'énergies en entrée et en sortie.

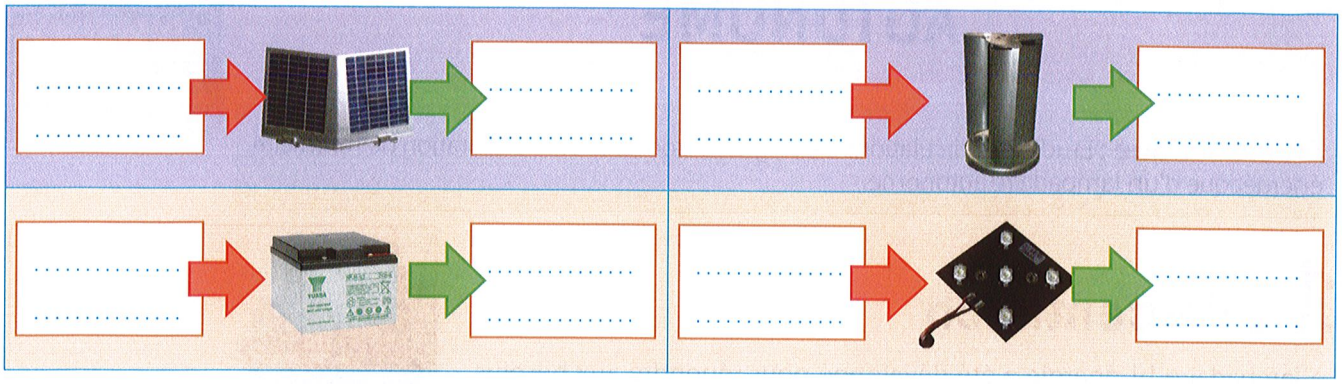


3. Indiquer le type de système auquel correspond ce lampadaire.

☐ Mono source ☐ mono source à production combinée ☐ multi sources ☐ hybride

3. Flux et formes de l'énergie

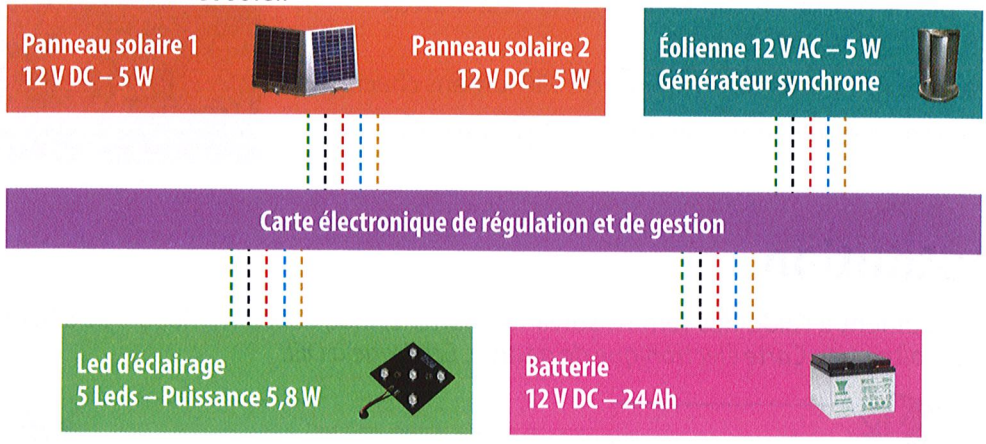
1. Pour chacun des constituants présents sur le lampadaire, préciser le type d'énergie **entrant** et **sortant**.



2. Pour chaque cas ci-dessous, surligner et flécher sur le schéma les circulations de l'énergie entre les différents composants (flèche sortante s'il produit de l'énergie, flèche entrante s'il reçoit de l'énergie, flèche double s'il fournit et reçoit de l'énergie).

Jour sans vent avec soleil — Nuit avec vent (Leds éteintes) — Nuit avec vent (Leds allumées)

Jour avec vent et soleil — Nuit sans vent (Leds allumées)



3. Pour chacun des cas précédents, préciser le comportement (générateur, récepteur ou inactif) des constituants du lampadaire.

Constituants / Cas	Panneaux solaires	Éolienne	Batterie	Leds
■				
■				
■				
■				
■				

Mesurages

Afin de vérifier la circulation des énergies, il faut réaliser des mesures sur le lampadaire. Pour cela, l'utilisation d'un boîtier de mesure est nécessaire.

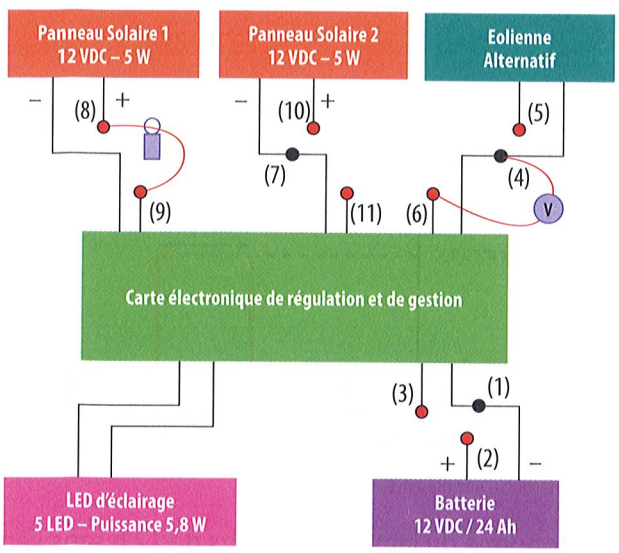
Grandeurs à mesurer : courant batterie, courant éolienne, courant panneau 1, courant panneau 2, tension batterie, tension éolienne, tension panneau 1, tension panneau 2.

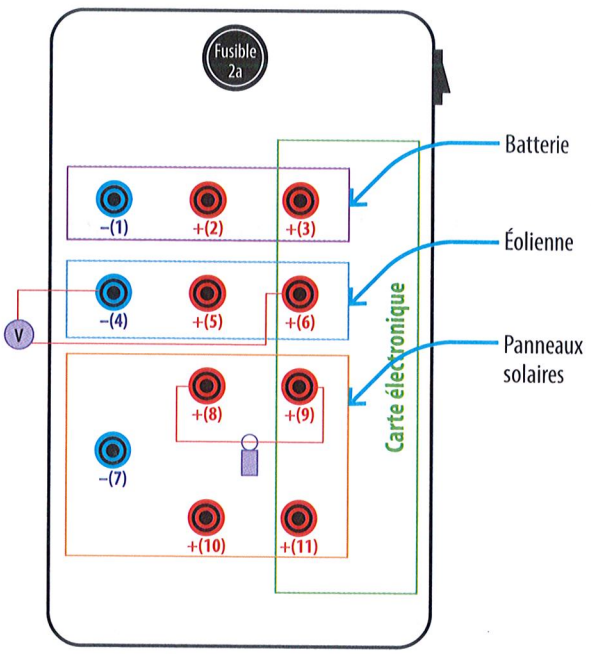
1. Indiquer les appareils nécessaires à la réalisation des mesures.

Grandeur à mesurer	Appareil
Courant	
Tension	

2. Placer les appareils utilisés sur le schéma fonctionnel et sur la représentation du boîtier de mesure ci-dessous. Faire vérifier par votre professeur.

Schéma fonctionnel





3. Réaliser le montage. Faire vérifier par votre professeur.

4. Réaliser les mesures, puis compléter le tableau suivant (attention au signe des différents courants mesurés).

	Le jour	La nuit (panneaux solaires obscurcis)
	☐ Vent ☐ Soleil	☐ Vent
Grandeur mesurée	Valeur Leds éteintes	Valeur Leds allumées
Courant batterie		
Courant éolienne		
Courant panneau 1		
Courant panneau 2		
Tension batterie		
Tension éolienne		
Tension panneau 1		
Tension panneau 2		

5. Le jour, lorsque les Leds sont éteintes, y a-t-il charge de la batterie ? Si oui, quelle(s) est(sont) la(es) énergie(s) permettant cette charge ?

.....

.....

6. La nuit, calculer la puissance consommée par les Leds allumées.

.....

.....

.....

7. Sachant que la batterie a une capacité de 24 Ah, calculer l'autonomie du système (pour une suite de nuits de 12 h sans vent).

.....

.....

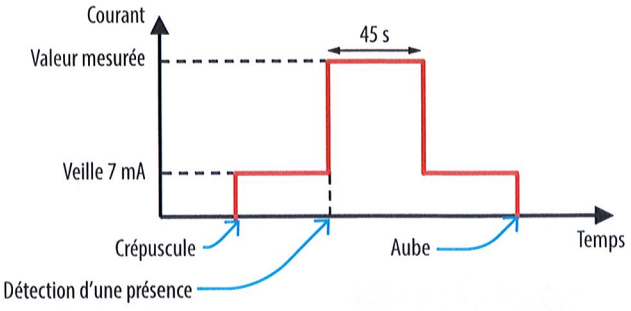
8. L'autonomie annoncée par le constructeur est-elle respectée ?

.....

.....

5. Efficacité énergétique

Le fonctionnement du lampadaire, lors du passage d'une personne la nuit, est présenté sur le diagramme ci-contre.



1. Dans ces conditions de fonctionnement, quelle est l'autonomie du lampadaire (nuits de 12 h sans vent, 320 passages par nuit) ?

.....

.....

.....

2. Calculer en % l'augmentation de celle-ci par rapport à celle calculée à la question **7.** précédente.

.....

.....

3. Quel élément du lampadaire permet ce fonctionnement ?

.....

.....

4. Quelle chaîne du système réalise cette amélioration énergétique ?

.....

.....

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 12

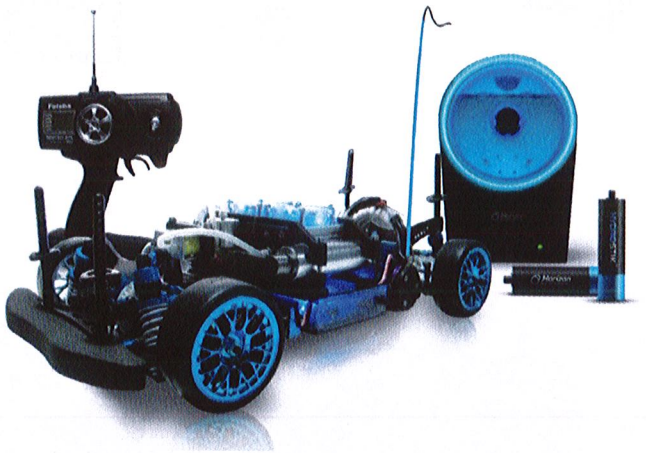
INVESTIGATION 2

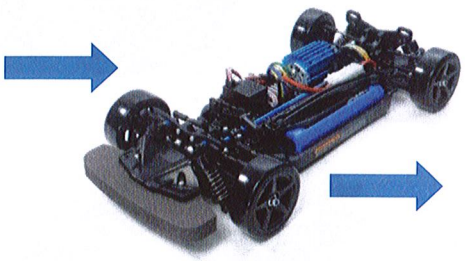
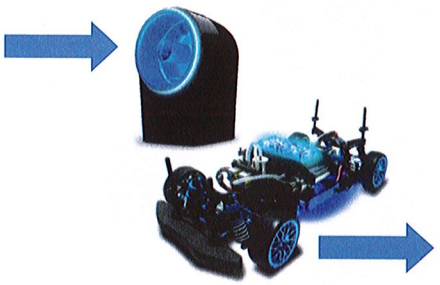
VOITURE RADIOCOMMANDÉE À HYDROGÈNE

Problématique : Étudier les flux d'énergie et les différentes puissances mises en jeu dans une voiture radiocommandée avec apport d'hydrogène.

1. Présentation

1. Afin de comparer les deux types de voitures radiocommandées classique et à hydrogène, compléter le tableau ci-dessous (si vous ne connaissez pas le mode de chargement de la voiture à hydrogène, consultez la notice).



Voiture radiocommandée électrique	Voiture radiocommandée avec hydrogène
Énergies d'alimentation et de sortie : 	Énergies d'alimentation et de sortie : 
Matériel nécessaire à la charge :	Matériel nécessaire à la charge :
Encombrement hors coque (largeur, hauteur, longueur) :	Encombrement hors coque (largeur, hauteur, longueur) :

2. Quelles sont les différences essentielles entre ces deux voitures ?

.....

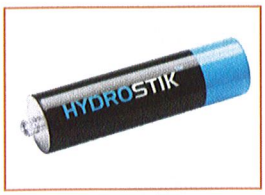
.....

.....

.....

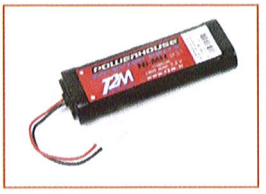
2. Organisation des chaînes d'énergie et d'information

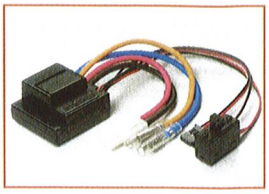
1. Nommer les différents éléments de la voiture à hydrogène sur les photos ci-dessous et situer par des flèches leur emplacement (voir l'exemple de l'accumulateur) : *moteur électrique, accumulateur, pile à combustible, réservoir d'hydrogène, châssis, carte de gestion, capteur de vitesse, variateur, station de recharge en hydrogène, récepteur radio 3 canaux, transmission, chargeur électrique.*



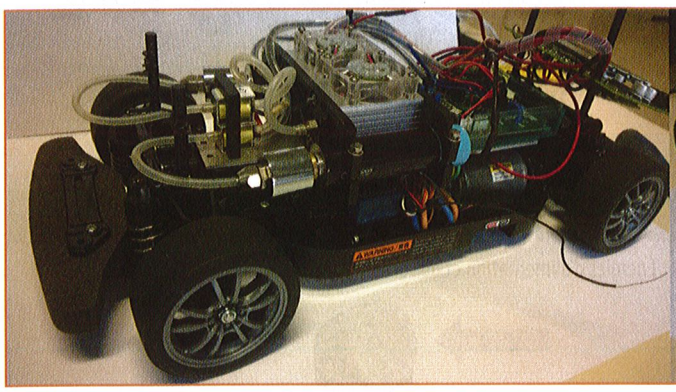


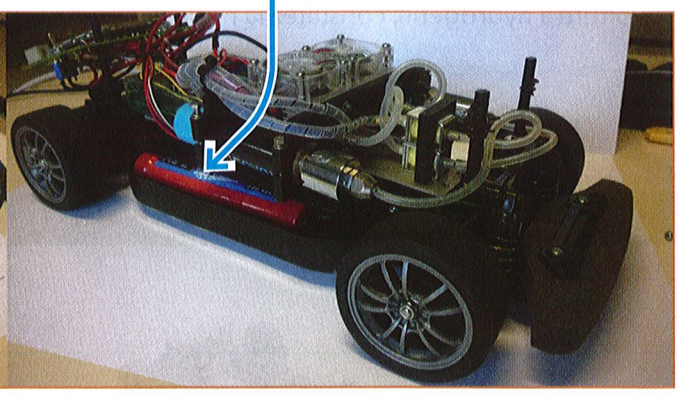


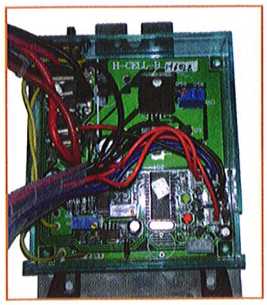


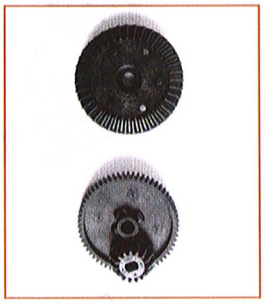


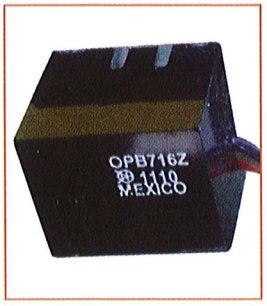
Accumulateur













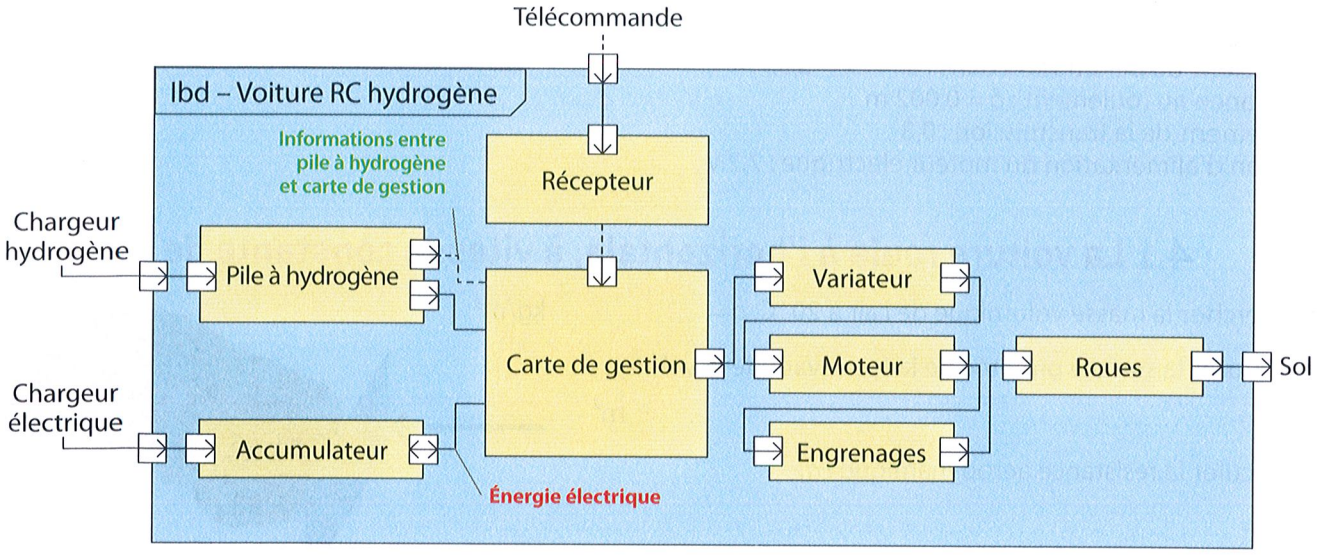






Partie extérieure au système étudié

2. Inscrire sur le diagramme suivant en **rouge** les flux d'énergie et leur type (voir exemple), en **vert** les flux d'information et leur type (voir exemple).



3. Quel est le type de cette voiture ?

☐ Mono source ☐ mono source à production combinée ☐ multi sources ☐ hybride

3. Les différents modes de gestion de l'énergie

L'énergie circule de diverses manières dans la voiture :

- Dans tous les cas, la batterie alimente le système électronique de gestion.
- S'il y a besoin de beaucoup d'énergie, la pile à hydrogène et la batterie alimentent le moteur électrique.
- S'il y a besoin de peu d'énergie, la pile à hydrogène alimente le moteur et recharge l'accumulateur.
- À l'arrêt, la pile à hydrogène recharge l'accumulateur.

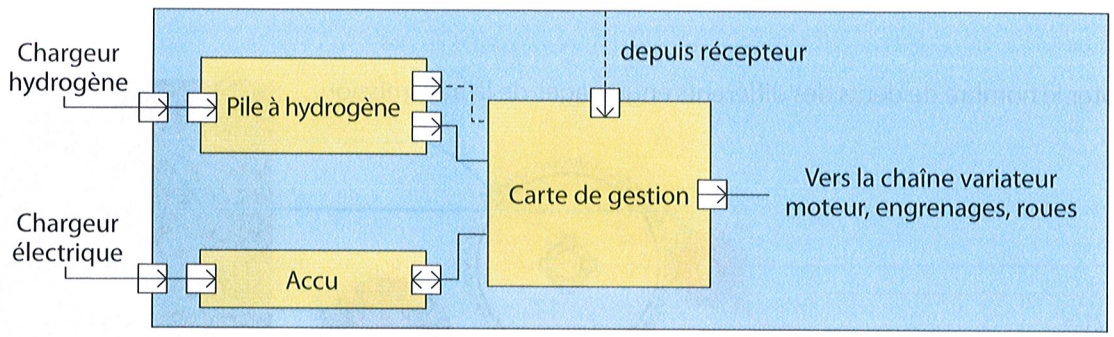
1. Pour quelle raison peut-on avoir besoin de beaucoup d'énergie ?

.....

2. Pour quelle raison peut-on avoir besoin de peu d'énergie ?

.....

3. Tracer sur l'extrait de diagramme suivant ces flux d'énergie avec des flèches dans les trois cas suivants : besoin en énergie important en **rouge** ; besoin en énergie faible en **vert** ; arrêt en **bleu**.



4 Étude de différents modes d'utilisation

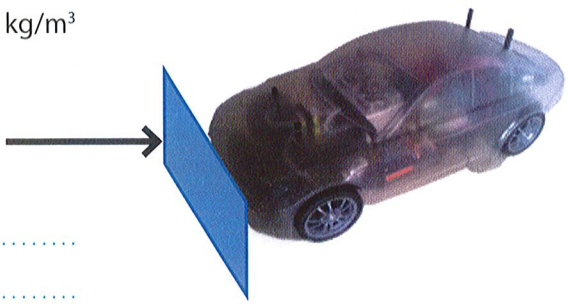
Données :
Coefficient de pénétration dans l'air : $Cx = 0{,}35$
Résistance au roulement : $\delta = 0{,}002$ m
Rendement de la transmission : 0,8
Tension d'alimentation du moteur électrique : 7,2 V

4.1 La voiture roule à l'horizontale, à vitesse constante de 7 m/s

1. Chercher la masse volumique de l'air à 20 °C. $\rho =$ ..... kg/m^3

2. Mesurer la surface projetée de la face avant de la voiture.

$Sp =$ ..... m^2



3. Calculer la résistance aérodynamique *Fa*.

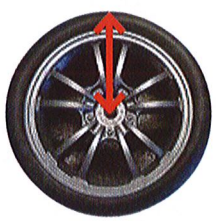
$Fa =$ .....

.....

4. Calculer la puissance nécessaire *Pa* pour vaincre la résistance à cette vitesse.

$Pa =$ .....

.....



5. Mesurer le rayon R d'une roue et calculer *Cr*.

$R =$ .....

$Cr = \frac{\delta}{R} =$ .....

6. Mesurer la masse m de la voiture et calculer son poids *P*.

$m =$ ..... $P =$ .....

7. Calculer la résistance au roulement *Fr* au niveau des roues.

$Fr =$ .....

8. Calculer la puissance *Pr* à fournir par la voiture pour vaincre cette résistance.

$Pr =$ .....

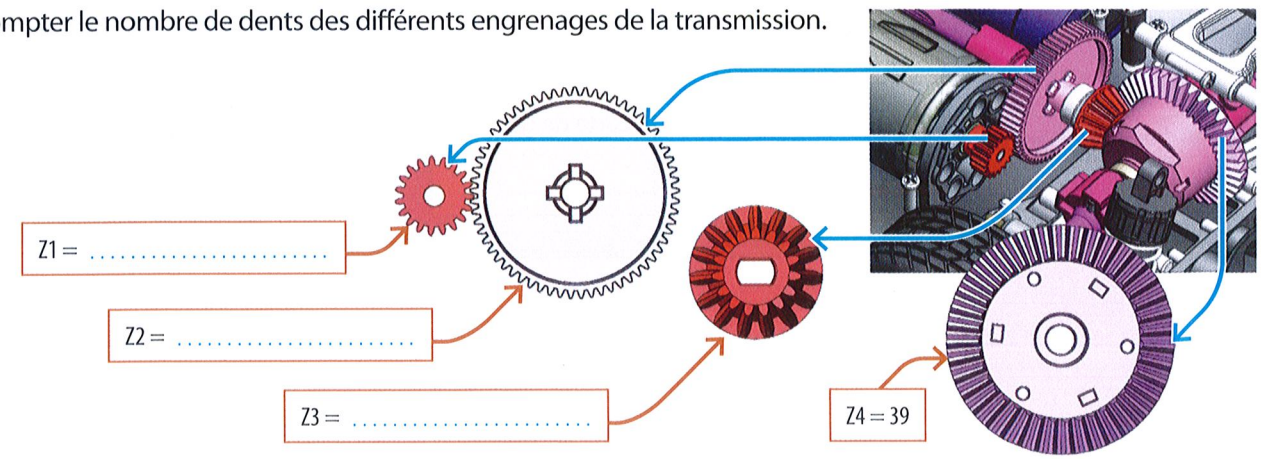
9. Calculer la puissance totale nécessaire *Pu*.

$Pu =$ .....

10. À partir du rayon des roues et de la vitesse de la voiture, calculer la vitesse de rotation des roues.

$\omega r =$ .....

11. Compter le nombre de dents des différents engrenages de la transmission.



12. Calculer le rapport de réduction de la transmission.

.....

13. Calculer la vitesse du moteur en tr/min.

.....

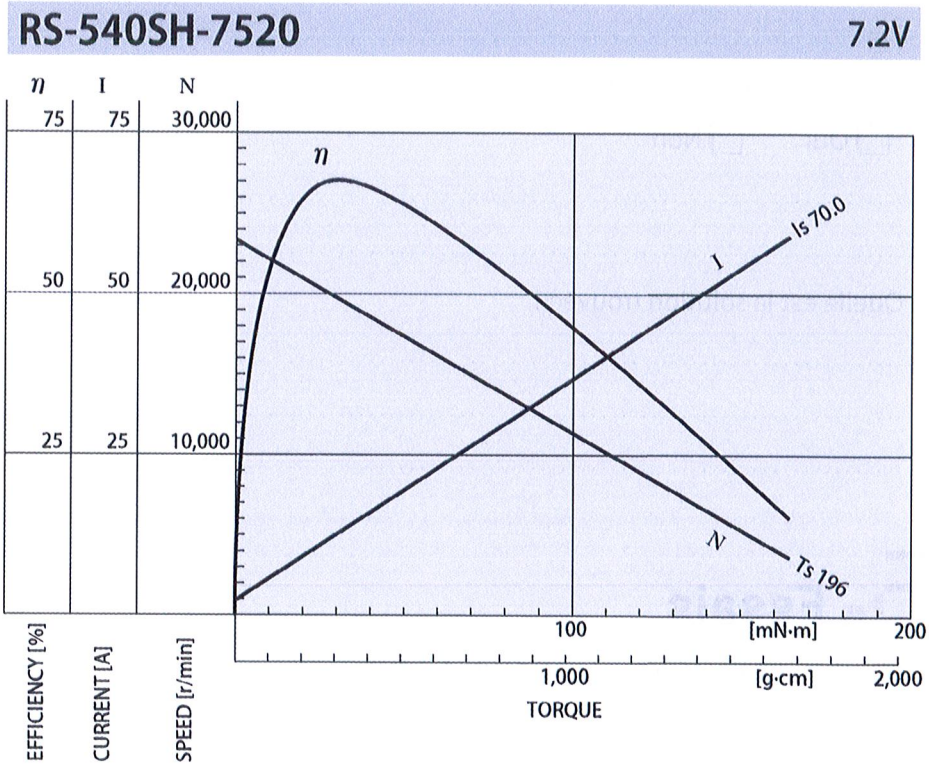
.....

14. Trouver sur la courbe ci-contre le couple correspondant en Nm, en déduire le rendement du moteur.

C = ...

ηm = ...

.....



15. Calculer le rendement global du moteur et de la transmission.

ηg = ...

16. Quelle est la puissance nécessaire *Pm* absorbée par le moteur ?

Pm = ...

17. La pile à hydrogène peut fournir 10 V et 3 A. Convient-elle ? Justifier.

☐ Oui ☐ Non

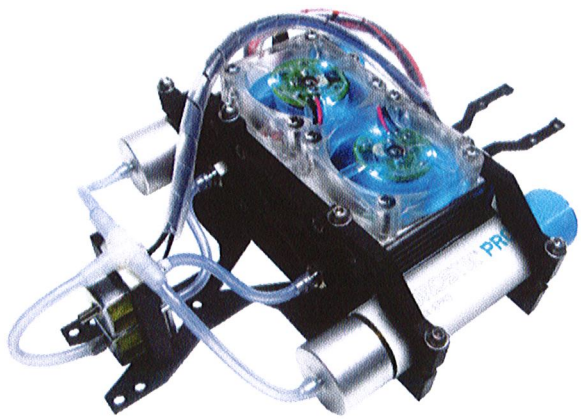
.....

.....

.....

.....

.....



18. Quelle quantité d'énergie (en Joule puis en Wh) faudra-t-il fournir pour 30 minutes d'utilisation ?

.....

.....

.....

4.2 La voiture monte une pente $\alpha = 20°$ à vitesse constante de 7 m/s

Il faut ajouter la résistance due à la pente à gravir.

1. Calculer cette résistance *Fp*.

$Fp = m \times g \times \sin\alpha =$ .....

2. Calculer la puissance *P* à fournir par la voiture.

$P =$ .....

3. La pile à hydrogène convient-elle ? Justifier.

☐ Oui ☐ Non

.....

.....

4. Quelle est la solution trouvée ?

.....

.....

.....

5. Essais

1. Effectuer un parcours en ligne droite à 7 m/s.

2. Vérifier que la vitesse moyenne est de 7 m/s.

3. Relever sur le système les grandeurs : énergie consommée, puissance absorbée, temps de parcours.

Énergie consommée : .....

Puissance absorbée : .....

Temps de parcours : .....

4. Comparer les valeurs mesurées avec celle calculées. Expliquer les différences.

.....

.....

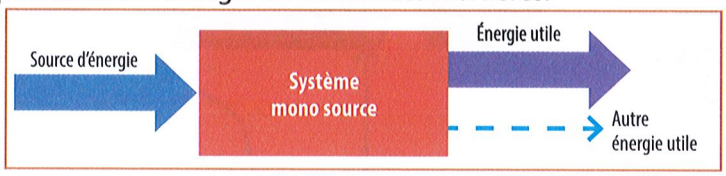
.....

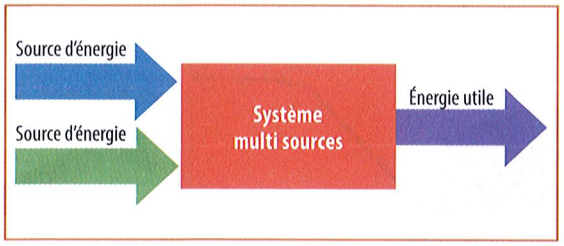
SÉQUENCE 12 SYNTHÈSE

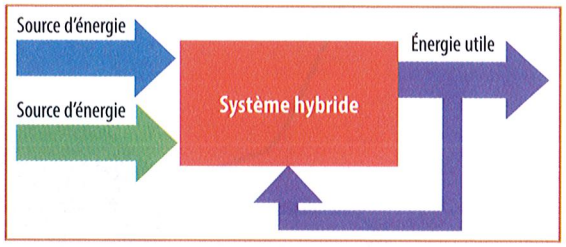
CE QU'IL FAUT RETENIR DE LA SÉQUENCE

Différents types de systèmes mécatroniques

Les systèmes mécatroniques utilisent l'énergie de différentes manières.

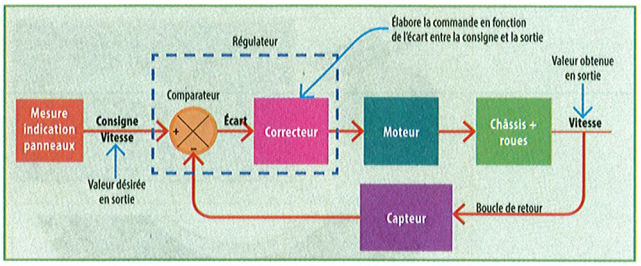


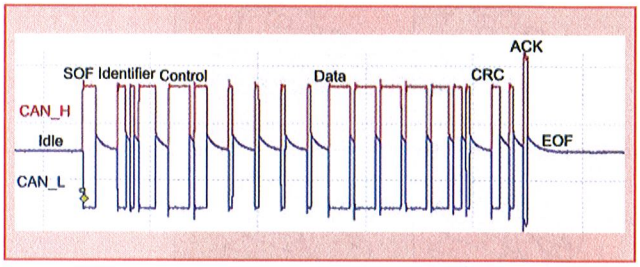


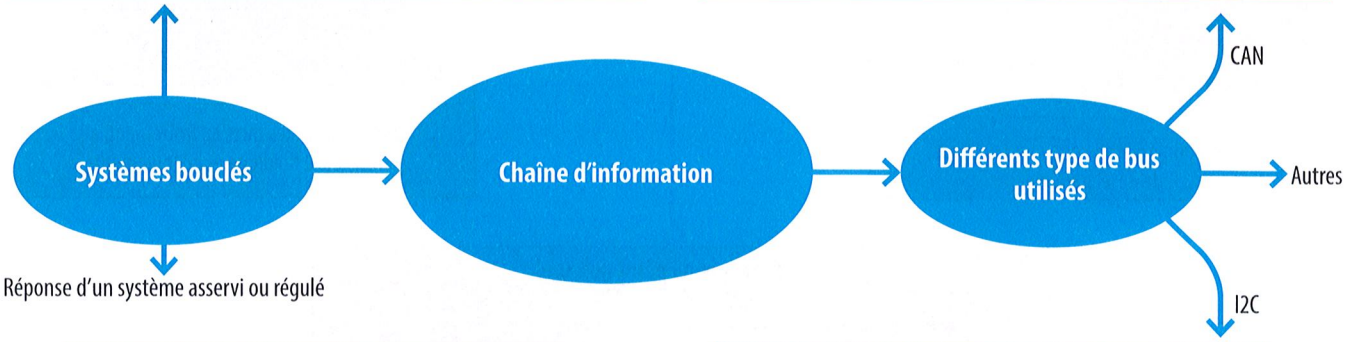


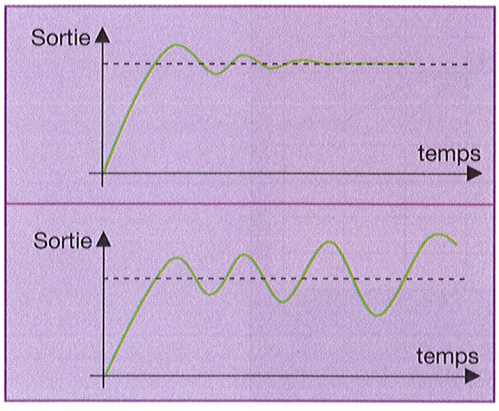
Amélioration de la chaîne d'information

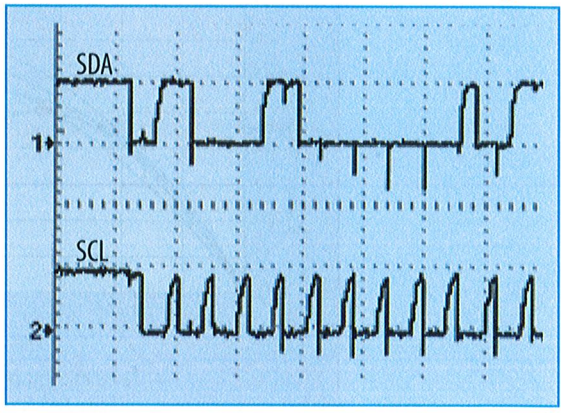
Pour avoir une bonne efficacité énergétique, la chaîne d'information peut être améliorée.











Amélioration de la chaîne d'énergie

Pour avoir une bonne efficacité énergétique, la chaîne d'énergie peut aussi être améliorée.

Chaîne d'énergie

Utiliser différentes énergies



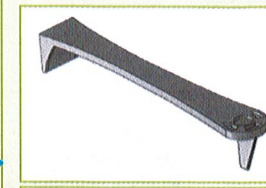
Stocker et restituer l'énergie

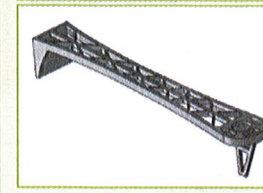


Maximiser le rendement

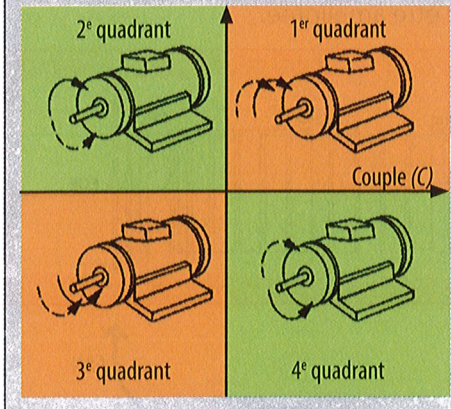
$$\eta_{global} = \eta 1 \times \eta 2 \times \dots$$

Optimiser les masses



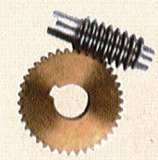


Récupérer l'énergie 4 quadrants

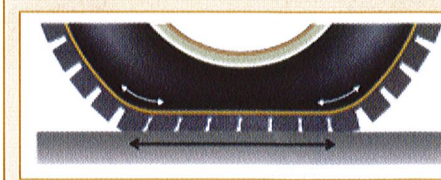


Récupération d'énergie pendant les phases de décélération.

Limiter les pertes mécaniques

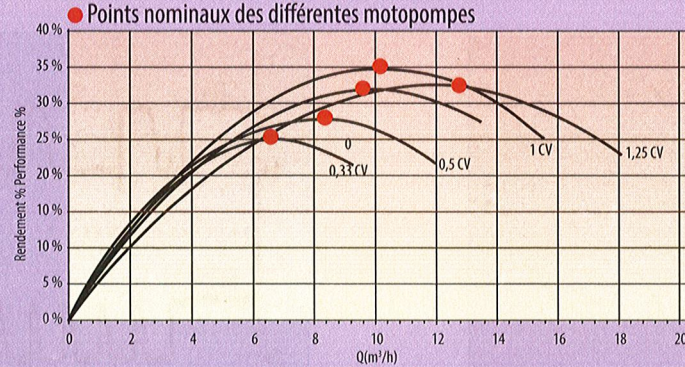






Limiter les pertes dues au frottement, à la résistance fluidique et au roulement

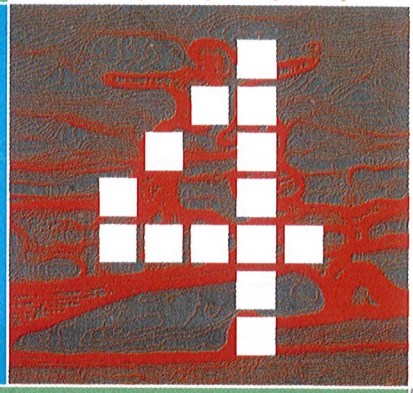
Fonctionner au point nominal

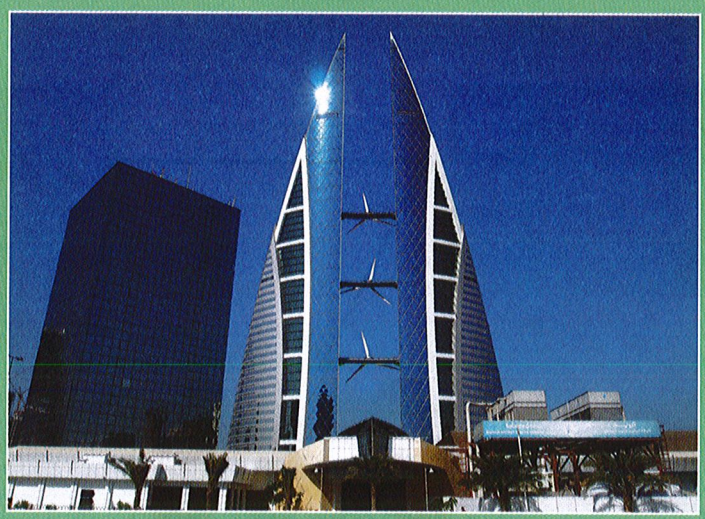


Le rendement de la motorisation est optimal au point nominal de fonctionnement

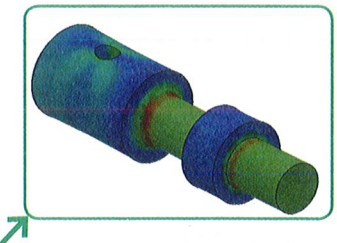
PARTIE 4

Description, Analyse et Solutions Technologiques dans les Structures Complexes







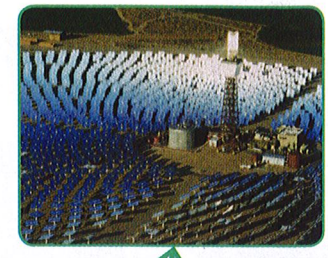


13. Résistance des matériaux et vibrations (M)

Comportement des matériaux soumis à différentes contraintes

Page 303





PARTIE 4

DESCRIPTION, ANALYSE ET SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES DANS LES STRUCTURES COMPLEXES

14. Production et stockage de l'énergie pour la transition énergétique (E)

Moyens de production et stockage des énergies renouvelables

Amélioration de la distribution

Page 329

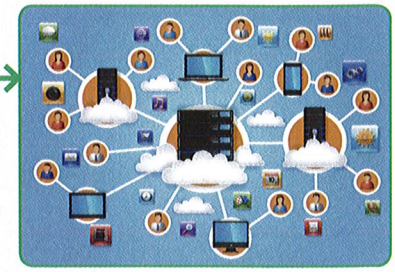


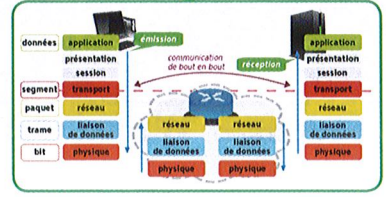


15. Réseaux informatiques (I)

Fonctionnement des réseaux et communication à l'intérieur de ceux-ci

Page 351





M = Matériaux ; E = Énergie ; I = Information

SÉQUENCE 13 LEÇON

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX ET VIBRATIONS

LIAISON RÉFÉRENTIEL

- 1.2.3 Utilisation raisonnée des ressources – Propriétés mécaniques des matériaux ;
- 2.3.2 Comportement des matériaux : Classification et typologie des matériaux – Mécaniques (élasticité, dureté, ductilité) ;
- 2.3.3 Comportement mécanique des systèmes : Résistance des matériaux : hypothèses et modèle poutre, types de sollicitations simples, notion de contrainte et de déformation, loi de Hooke et module d'Young, limite élastique, étude d'une sollicitation simple ;
- 2.3.4 Structures porteuses : Aspects vibratoires ;
- 3.1.1 Choix des matériaux ;
- 3.1.2 Typologie des solutions constructives des liaisons entre solides – Relation avec les mouvements/déformations et les efforts.

1. Situation déclenchante

DOC. Pièce de télescope

Un astronome amateur utilise fréquemment son télescope. Au bout d'un certain temps une pièce en plastique (ABS) s'est cassée. Ce type de barre permet le maintien du télescope, l'empêche de s'ouvrir complétement et de tomber.



Figure 1

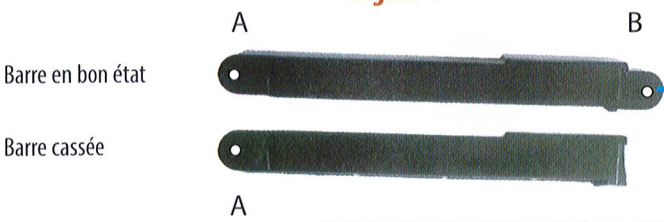
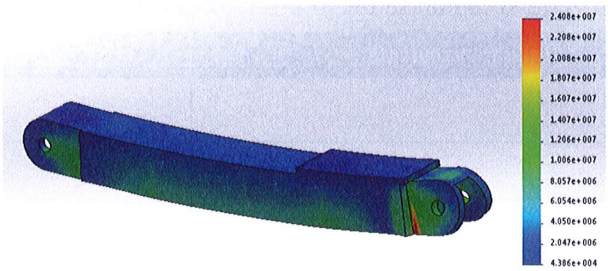


Figure 2 : Simulation informatique représentant la pression à l'intérieur du matériau quand le télescope est déplié



1. Isoler la barre en bon état. D'après le PFS, quelle est la direction des efforts auquel elle est soumise ? Tracer cette direction en pointillés sur la figure 1 (Barre en bon état).

.....

2. Les efforts sont dirigés vers l'extérieur. Les représenter par des flèches sur la figure 1 (Barre en bon état). La pièce a-t-elle été étirée ou comprimée ?

.....

3. D'après la simulation, quelle partie de la pièce est la plus fragile ? L'entourer sur la simulation (figure 2) et sur la pièce (figure 1 – Barre en bon état).

.....

4. Sur quels paramètres de la barre peut-on agir pour rendre le système plus résistant ?

.....

5. Quel matériau auriez-vous pris pour rendre cette pièce plus résistante ?

.....

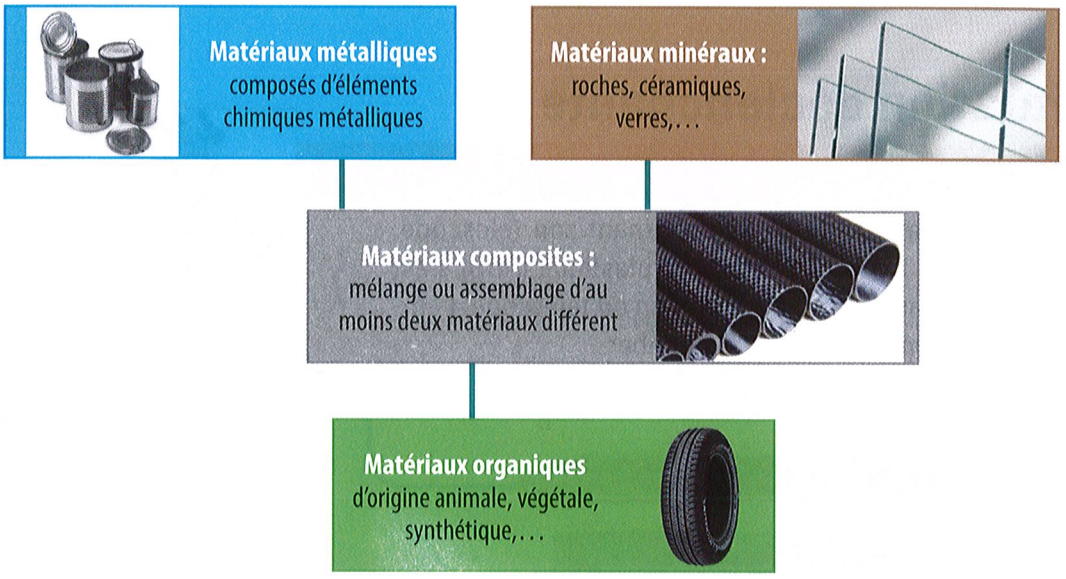
Conclusion : Qu'apporte une étude de résistance de matériau sur un système mécatronique ?

.....

2. Classification et typologie des matériaux

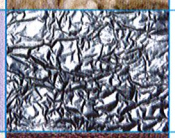
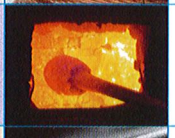
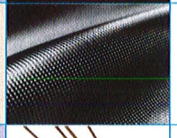
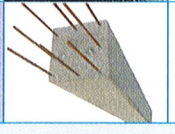
Un **matériau** est une matière d'origine naturelle ou artificielle utilisée par l'homme pour construire des objets, des ouvrages,...

Les matériaux peuvent être répartis en **4 classes principales** :



APPLICATION 1

- Trouver un exemple d'utilisation courante et la classe des matériaux suivants.

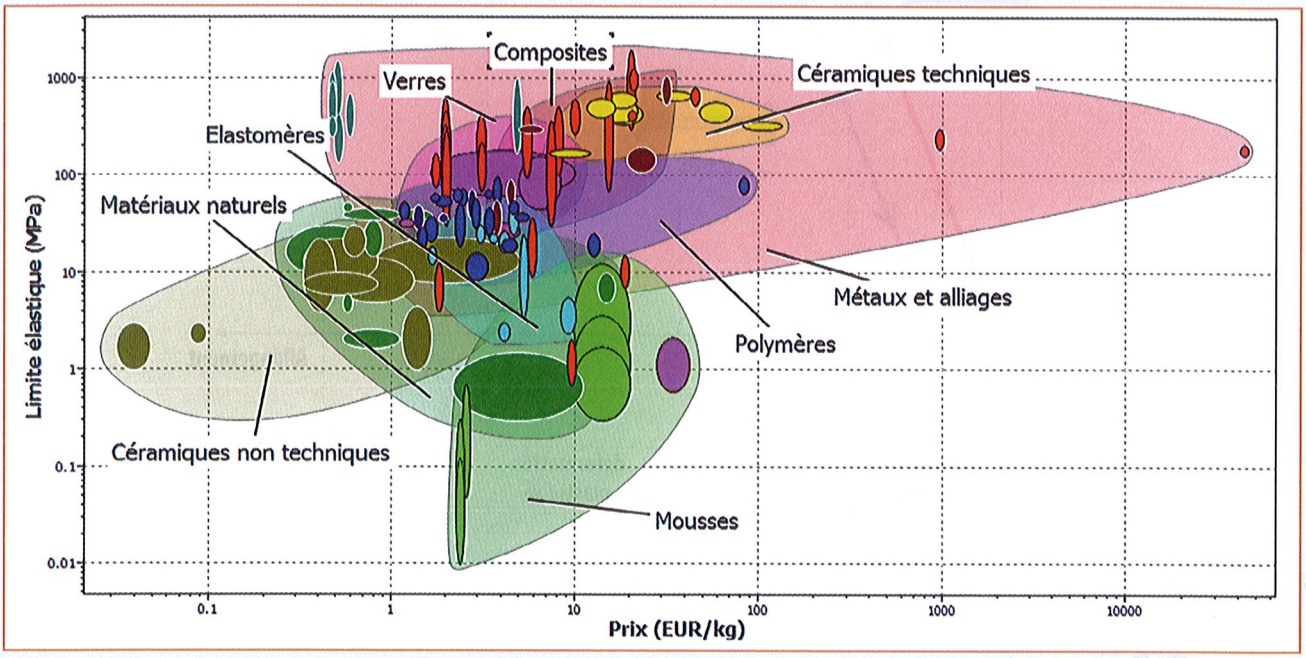
Matériau	Utilisation courante	Classe
Laine 		
Aluminium 		
Cuir 		
PVC 		
Cuivre 		
Verre 		
Fibre de carbone 		
Béton armé 		

3. Comportements caractéristiques des matériaux

Le choix d'un matériau pour un produit est un compromis entre ses propriétés, son coût, son impact environnemental, sa disponibilité, les procédés de fabrication associés,...

APPLICATION 2 Choix d'un matériau

1. Sur le graphe suivant, entourer la zone des matériaux ayant une limite élastique (propriété mécanique) supérieure à 10 MPa et un coût situé entre 20 et 100 €/kg.



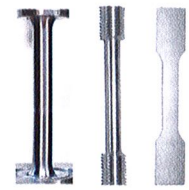
2. Le béton (céramique non technique) convient-il ?

.....

3.1 Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques les plus importantes pour le choix d'un matériau sont :

- son **élasticité** ;
- sa **dureté** ;
- sa **ductilité**.



Plusieurs essais sont réalisés afin d'évaluer la capacité du matériau à résister aux actions mécaniques qui lui sont appliquées. Pour que les résultats soient exploitables, ces tests sont réalisés avec des **éprouvettes** de tailles normalisées auxquelles sont appliquées des actions elles aussi normalisées.

3.2 Élasticité

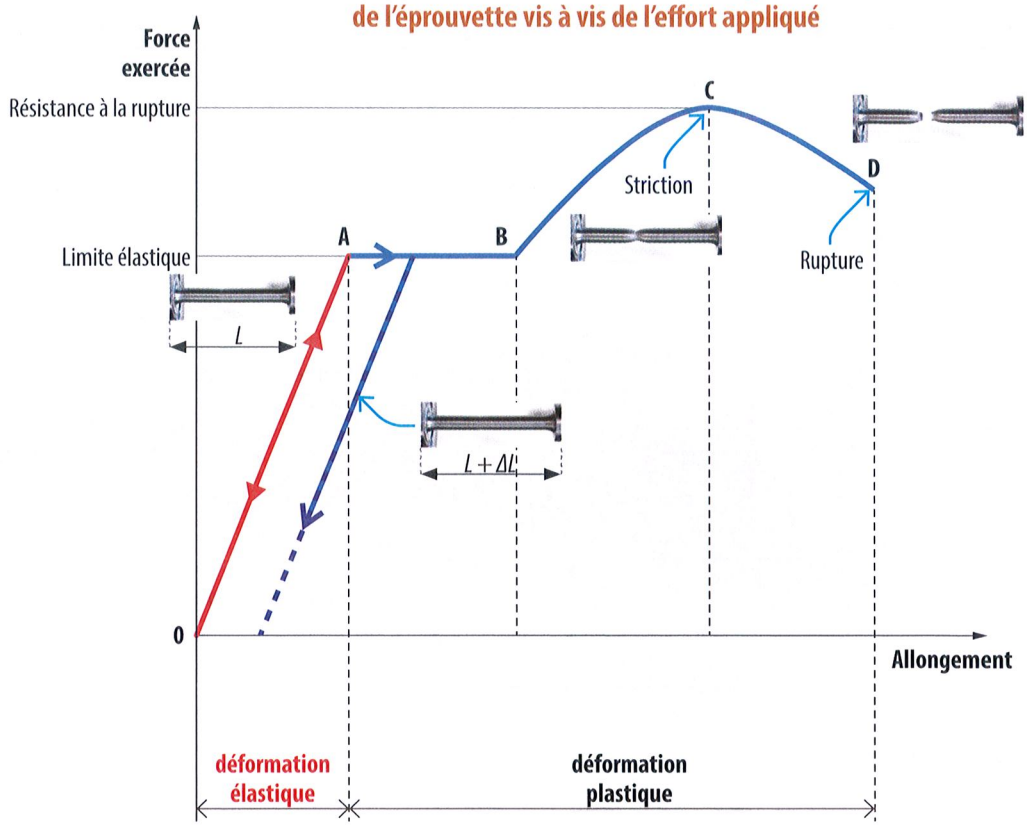


L'**élasticité** permet de déterminer la **déformation** d'un solide et sa **capacité à retrouver sa forme** d'origine.

Pour connaître l'élasticité d'un matériau, une éprouvette est retenue par deux points et étirée. Les caractéristiques que l'on peut alors obtenir sont :

- la limite d'élasticité ;
- le module d'Young (relation entre actions mécaniques et déformations) ;
- la résistance à la rupture ;
- ...

Essai de traction : évolution de l'allongement de l'éprouvette vis à vis de l'effort appliqué

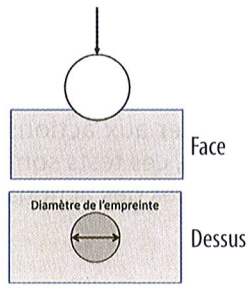
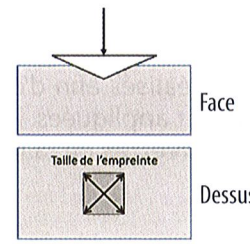


Note : une déformation est dite "**plastique**" si le matériau ne retrouve pas sa forme d'origine.

3.3 Dureté

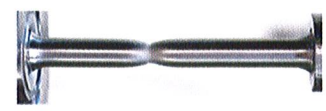
La **dureté** est la résistance qu'oppose un **matériau** quand il est **pénétré par un poinçon**. Suivant le matériau, les essais pratiqués et les échelles de mesures sont différentes.

Exemple :

Dureté Brinell : bille en acier trempé, la dureté est calculée en fonction du diamètre de l'empreinte laissée par la bille.	**Dureté Vickers :** pointe pyramidale en diamant, la dureté est calculée en fonction des diagonales de l'empreinte carrée laissée par la pyramide.
	

3.4 Ductilité

La **ductilité** est la capacité d'un matériau à **se déformer de manière plastique** (sans retour à sa forme d'origine) **sans casser**. L'essai de traction pratiqué pour l'élasticité permet aussi de connaître la ductilité du matériau.

Matériau fragile	Matériau ductile
	

4 Résistance des matériaux

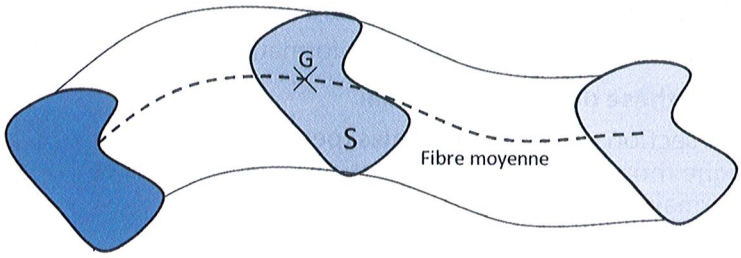
La résistance des matériaux (**RDM**) est l'étude du comportement mécanique local (contraintes et déformations) d'un matériau constituant des objets de formes simples (poutres).

4.1 Définitions

Poutre

Solide engendré par le déplacement d'une surface plane S.

Le centre de gravité G de la surface S parcourt une ligne appelée **fibre moyenne**. Le plan de S est perpendiculaire à la fibre moyenne.



Les dimensions de S sont petites par rapport à la longueur de la poutre.

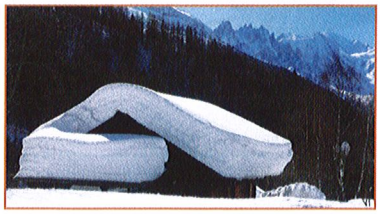
Actions mécaniques

Le chargement de la poutre se fait dans le plan de symétrie de celle-ci et s'effectue lentement et régulièrement.

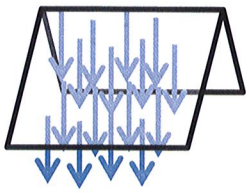
Il existe deux types de chargement :

- **actions mécaniques localisées** (ou concentrées) N,
- **actions mécaniques réparties** représentée par la densité linéique qL en N/m ou surfacique qS en N/m².

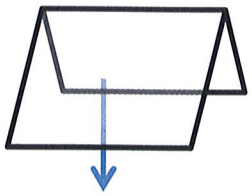
Exemple : actions mécaniques de la neige sur un toit



Répartition uniforme de la neige sur un toit qS (charge surfacique)



Force équivalente au centre de la surface enneigée N (charge localisée)



Contraintes

Les **contraintes** caractérisent les actions mécaniques qui existent entre les grains de matière dans le matériau.

Unité : N/mm² ou MPa

Déformations

Les charges appliquées entraînent des variations de dimensions, ce sont des **déformations**.



Ailes déformées lors de l'atterrissage d'un avion

Élasticité

L'**élasticité** caractérise l'aptitude qu'a un matériau à reprendre sa forme et ses dimensions initiales après avoir été déformé.

Plasticité

Un matériau qui ne reprend pas sa forme et ses dimensions initiales après avoir été déformé est dit **plastique**.

4.2 Hypothèses

Pour permettre les calculs, certaines hypothèses sont nécessaires.

Homogénéité

Le matériau étudié a les mêmes propriétés mécaniques en tous points.

Isotropie

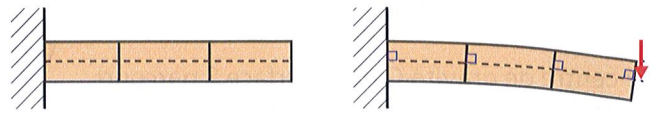
Le matériau a, en un même point, les mêmes propriétés mécaniques dans toutes les directions.

Hypothèses sur l'influence des déformations

Dans le domaine élastique, les déformations sont très faibles et ne modifient pas les actions mécaniques.

Hypothèse de Navier-Bernoulli

Les sections planes et normales (perpendiculaires à la ligne moyenne) avant déformation, restent planes et normales après déformation.



Hypothèse de Barré de Saint-Venant

Les résultats obtenus ne s'appliquent qu'à une distance suffisamment éloignée des points d'applications des actions mécaniques.

4.3 Sollicitations simples : traction - compression

Une poutre est sollicitée en traction si elle subit des actions mécaniques des deux côtés. Si elle est étirée, on parle de **traction**. Si elle est comprimée, on parle de **compression**.

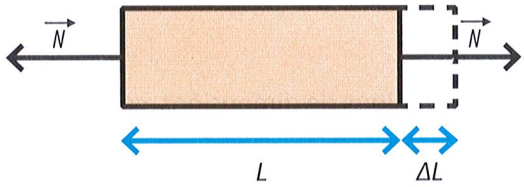


Les **contraintes** dans le matériau sont alors : $\sigma = \frac{N}{A}$

σ = contrainte en MPa
N = effort normal (Newton)
A = aire de la section (mm^2)

Les **déformation**s sont données par : $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$ sans unité

L = longueur initiale (m)
ΔL = variation de longueur (m)

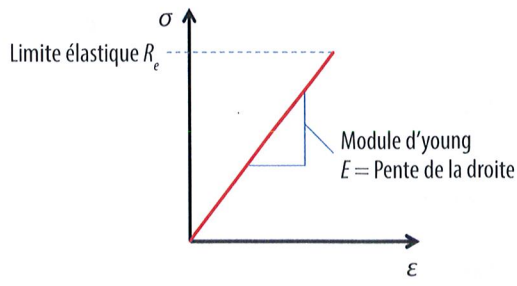


Relation entre contraintes et déformations : loi de Hooke

Dans le domaine élastique : $\sigma = E \times \varepsilon$

E = **module d'Young** (en MPa), propre au matériau.

La limite d'élasticité d'un matériau est la contrainte à partir de laquelle un matériau va se déformer de manière irréversible. Elle est souvent notée R_e (en MPa).

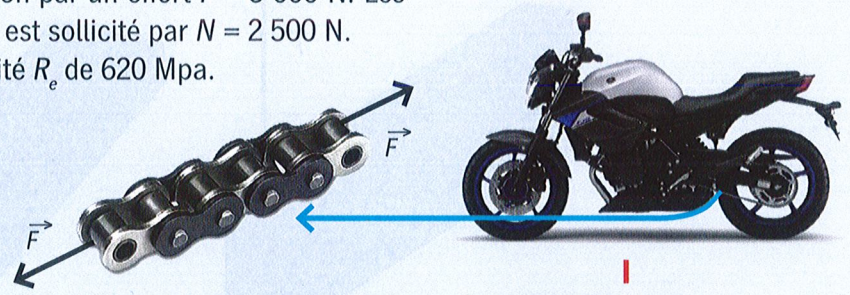


Dans la réalité, on applique un coefficient de sécurité noté s à cette limite afin d'être sûr de rester dans le domaine élastique. On utilise alors la résistance pratique à l'extension R_{pe} (en MPa).

$$R_{pe} = \frac{R_e}{s}$$

APPLICATION 3

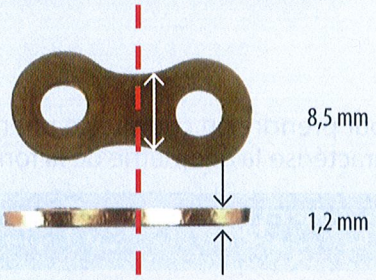
Certaines motos utilisent un système de transmission par chaîne. Cette chaîne est sollicitée en traction par un effort $F = 5\,000$ N. Les maillons étant doublés, un maillon est sollicité par $N = 2\,500$ N. L'acier utilisé a une limite d'élasticité R_e de 620 Mpa.



1. Pour le maillon ci-contre, calculer la contrainte σ dans la section S.

.....

.....



2. Le maillon risque-t-il de se déformer ?

.....

.....

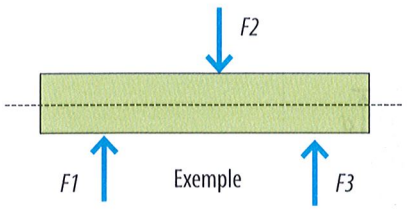
3. Le coefficient de sécurité est de 2. Le matériau peut-il être validé ?

.....

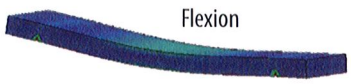
.....

4.4 Sollicitations simples : flexion simple

Dans la **flexion simple**, toutes les forces appliquées à la poutre sont disposées perpendiculairement à la ligne moyenne.

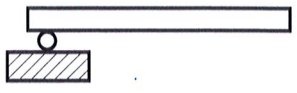
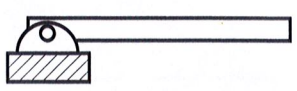


Ligne moyenne



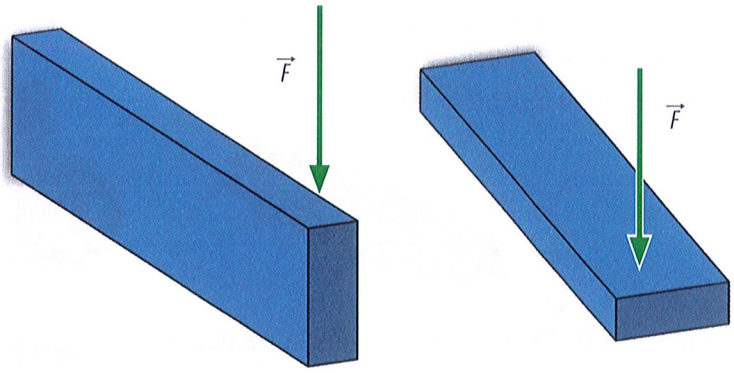
La flexion dépend de deux critères :

- Le **type de liaisons de contact** avec la poutre.

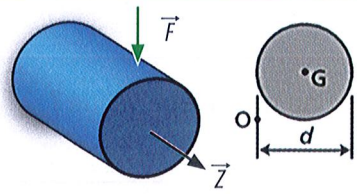
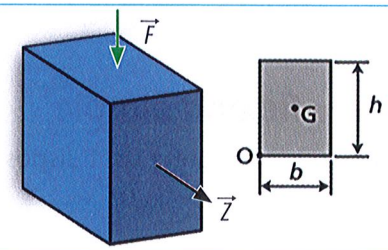
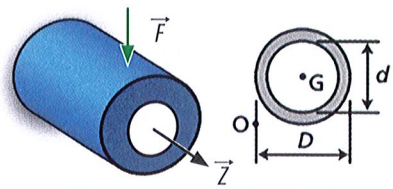
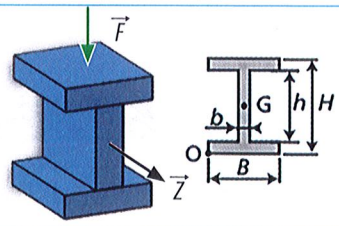
Liaisons	Schématisation	Exemples
Appui simple		
Pivot		
Encastrement		

- La **forme** de la poutre.

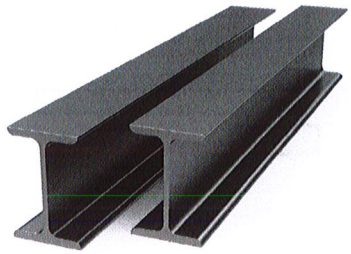
Une poutre sollicitée sur sa tranche ne résistera pas de la même manière qu'une poutre sollicitée sur sa surface la plus grande.

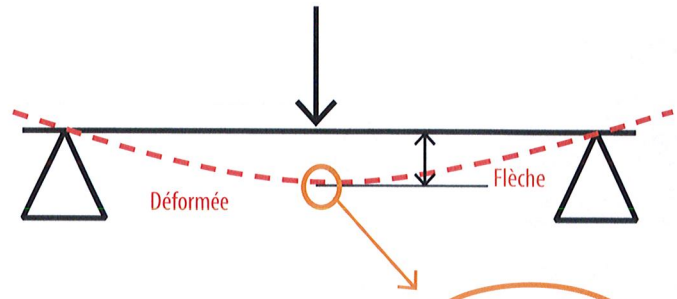


Pour prendre en compte ce phénomène, on calcule le **moment quadratique *Igz*** de la section de la poutre. Il caractérise la géométrie de la forme par rapport à un axe.

Forme	Dimensions en mm	Moment quadratique à prendre pour les calculs en mm⁴
Section circulaire		$Igz = \pi \times \frac{d^4}{64}$
Section rectangulaire		$Igz = b \times \frac{h^3}{12}$
Section annulaire		$Igz = \pi \times \frac{D^4 - d^4}{64}$
Poutre I		$I_{GZ} = \frac{BH^3 - h^3(B-b)}{12}$

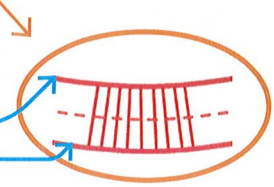
Exemple : Poutre IPN en appui simple des deux côtés





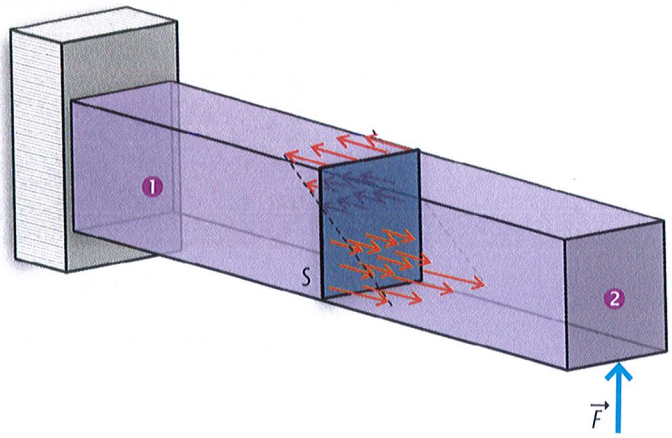
La **déformée** est la représentation de la poutre soumise aux actions mécaniques.
Dans ce cas, on définit la **flèche** comme la déformation maximale de la poutre.

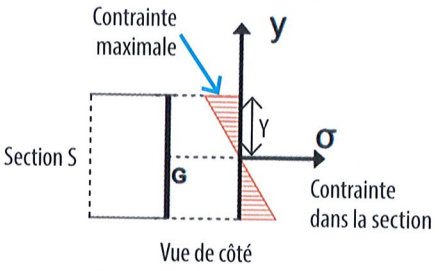
Une partie de la poutre est **comprimée**, une autre **étirée**.



Contraintes

Pour une section de poutre subissant une flexion, les **contraintes** sont réparties de la manière suivante.





Sous l'action de la force $\vec{F}$, la poutre fléchit. Pour une section donnée, on prend en compte les efforts de la partie ❷ sur la partie ❶.

Cette tendance de la poutre à se tordre est caractérisée par le **moment fléchissant *Mfz***.

La **contrainte maximale** (en MPa) s'exprime alors par :

$$\sigma_{maxi} = \frac{M_{fz}}{Igz} \times Y$$

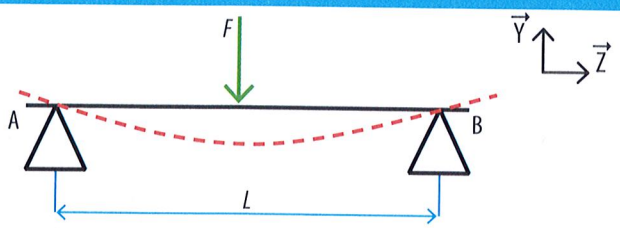
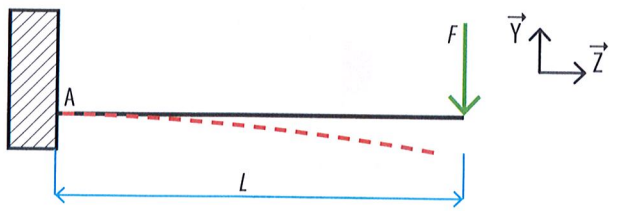
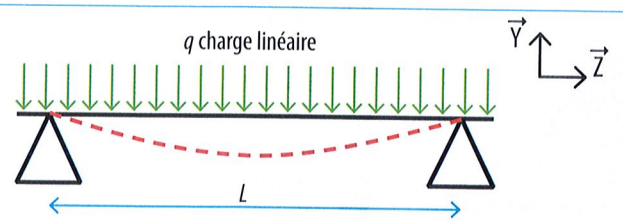
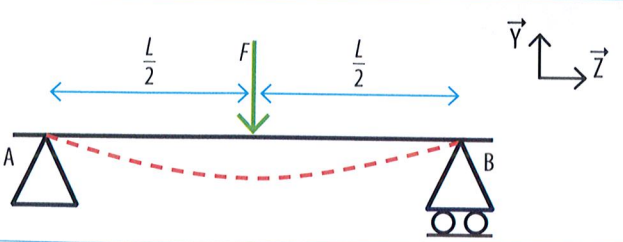
Mfz : moment fléchissant dans la section en Nmm

Igz : moment quadratique de la section en mm⁴ dépendant de la forme de la section de la poutre

Y : position du point considéré dans la section en mm

Déformations

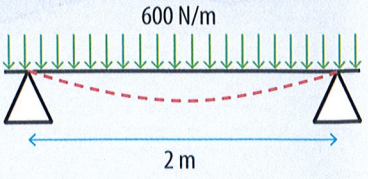
La déformée (forme de la poutre déformée) dépend des conditions aux limites (charges et appuis).

Conditions aux limites	Moment fléchissant maximal en Nmm	Flèche maximale en mm
	en $x = L/2$: $Mfz = F \times \frac{L}{4}$	$f = \frac{F \times L^3}{48 \times E \times I}$ *E* : module d'Young en MPa *I* : moment quadratique en mm⁴
	en A : $Mfz = F \times L$	$f = \frac{F \times L^3}{3 \times E \times I}$
	en $x = L/2$: $Mfz = q \times \frac{L^2}{8}$	$f = \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times E \times I}$
	en $x = L/2$: $Mfz = F \times \frac{L}{4}$	$f = \frac{F \times L^3}{48 \times E \times I}$

APPLICATION 4

Pour une charpente de maison, une poutre P est chargée d'une charge linéaire de 600 N/m. Sa longueur est de 2 m.
La poutre est rectangulaire, de hauteur 0,195 m et de base 0,097 m. Son module d'Young vaut : $E = 12\,000$ MPa.





1. Calculer son moment quadratique.

.....

2. Calculer le moment fléchissant maximal.

.....

3. Calculer la contrainte maximale.

.....

4. Calculer la flèche maximale.

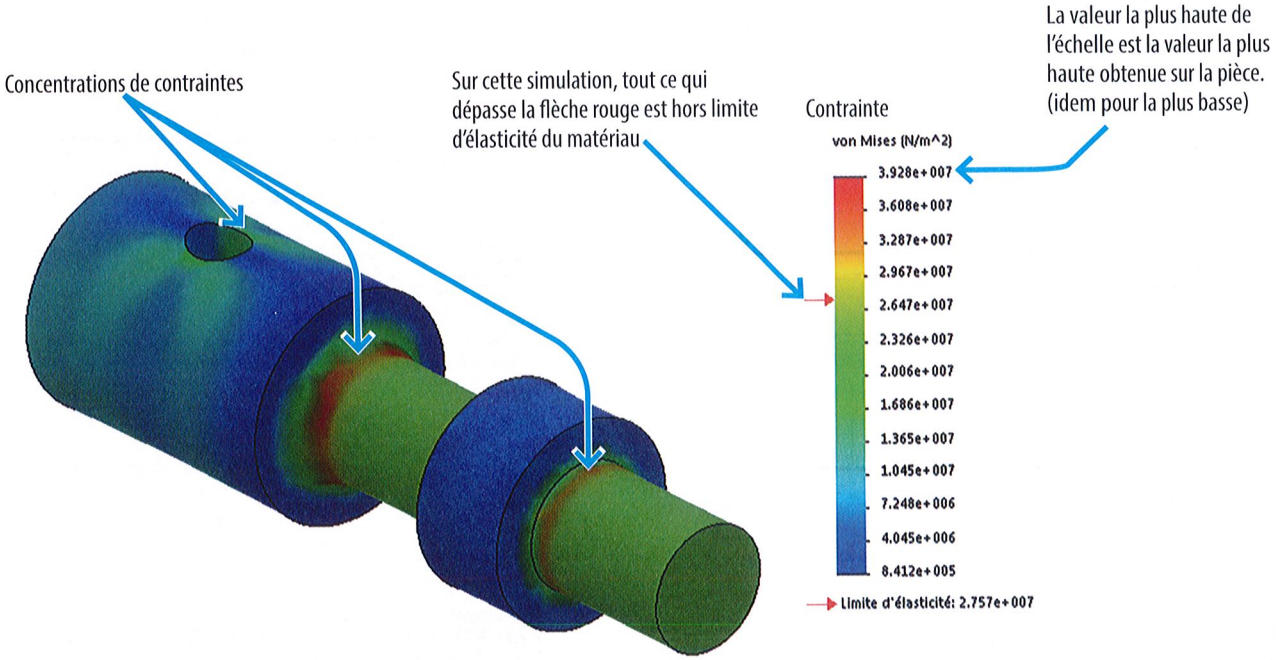
.....

4.5 Cas complexes

Pour étudier les cas plus complexes, on utilise l'informatique. Les logiciels permettent :

- La visualisation de la déformée.
- La consultation des contraintes en n'importe quel point.
- La consultation des déplacements en n'importe quel point.
- La visualisation des dépassements de coefficients de sécurité ou des différentes limites du matériau.
- Les concentrations de contraintes (contraintes excessives dues aux formes).
- L'optimisation des pièces.
- ...

Pièce sollicitée en traction



5. Aspects vibratoires

Une **vibration** est un mouvement d'oscillation autour d'une position d'équilibre stable.

Les ouvrages et mécanismes sont soumis à différents types de vibrations. Elles peuvent provenir de phénomènes comme les séismes, le vent, les actions humaines.

Ces vibrations peuvent mettre en péril la structure d'un ouvrage ou d'un mécanisme, produire des bruits indésirables, une usure prématurée de certaines parties, des problèmes de santé pour l'homme,...



5.1 Types de vibrations

Une vibration peut être provoquée soit par une excitation, on parle alors de **vibrations forcées** ou par une action imposée à un moment donné et non maintenue, on parle d'**oscillations** ou **vibrations libres**.



Actions données de manière régulière sur la balançoire : vibrations forcées

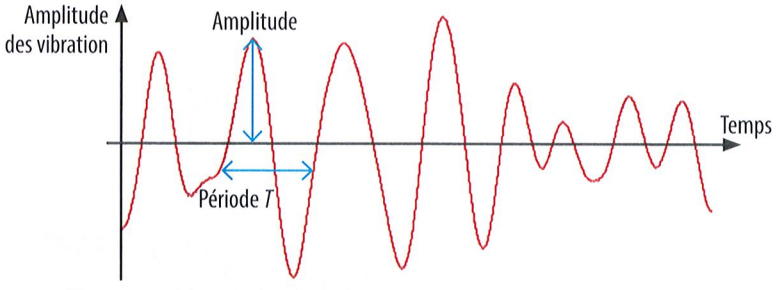


Cordes de guitare pincées que l'on laisse résonner : oscillations libres

Souvent les vibrations libres s'atténuent d'elle-même alors que les vibrations forcées continuent et peuvent même s'amplifier.

Les phénomènes de vibrations sont périodiques, ils se répètent au bout d'un intervalle de temps avec une certaine **amplitude**.

La **période** T se mesure en seconde.

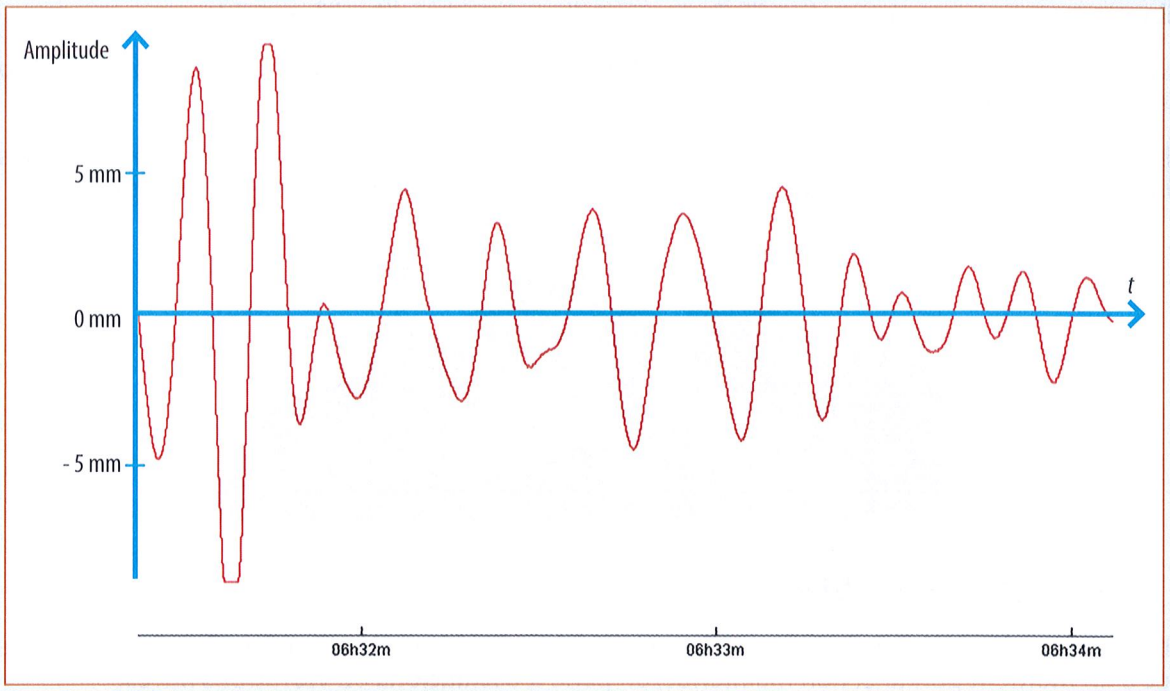


On appelle **fréquence** f le nombre de périodes ou de cycles par secondes : $f = \frac{1}{T}$ (f en Hz, T en s)

On définit également la **pulsation** ω : $\omega = 2\pi \times f = \frac{2\pi}{T}$ (en rad/s)

APPLICATION 5 Tremblement de terre

Sismogramme longitudinal du séisme du 25 avril 2015 au Népal (mesuré en Chine)



1. Donner l'amplitude maximale. .....

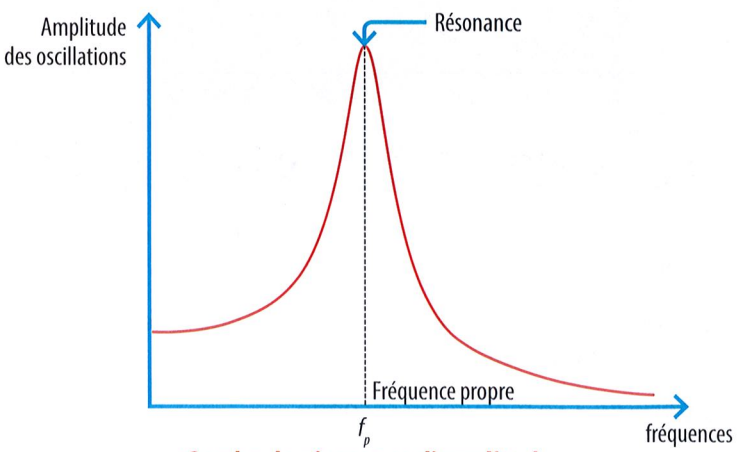
2. Calculer la période T et la fréquence f pour cette amplitude.

.....

5.2 Résonance

La **résonance** est le phénomène selon lequel l'amplitude d'oscillation d'un système augmente sous l'influence d'impulsions régulières à des fréquences particulières appelées **fréquences propres f_p**.

Pour un système, il peut exister différentes fréquences propres pouvant être la source d'une résonance. L'**amplitude de la vibration** pour ces fréquences peut alors augmenter fortement et détériorer le système.



Courbe de résonance d'amplitude

Exemple : pont de Tacoma (USA) détruit par les oscillations successives dues au vent.



5.3 Paramètres importants

La modélisation d'un système en vue de son étude vibratoire permet d'anticiper les problèmes pouvant survenir lors des différentes vibrations auquel il est soumis.

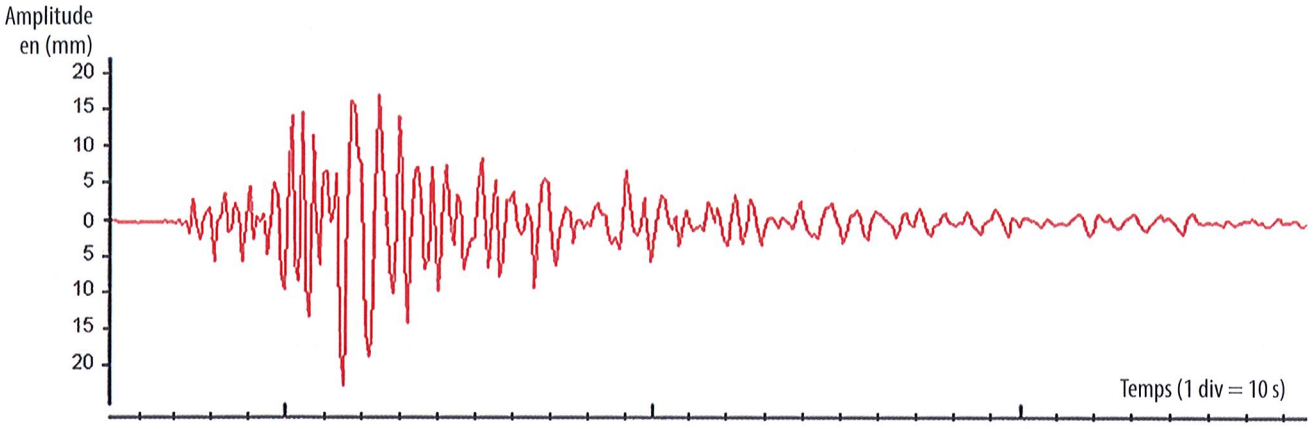
Ces études étant complexes, les paramètres les plus importants à prendre en compte sont :

- la résonance ;
- la raideur ;
- l'inertie ;
- l'amortissement.

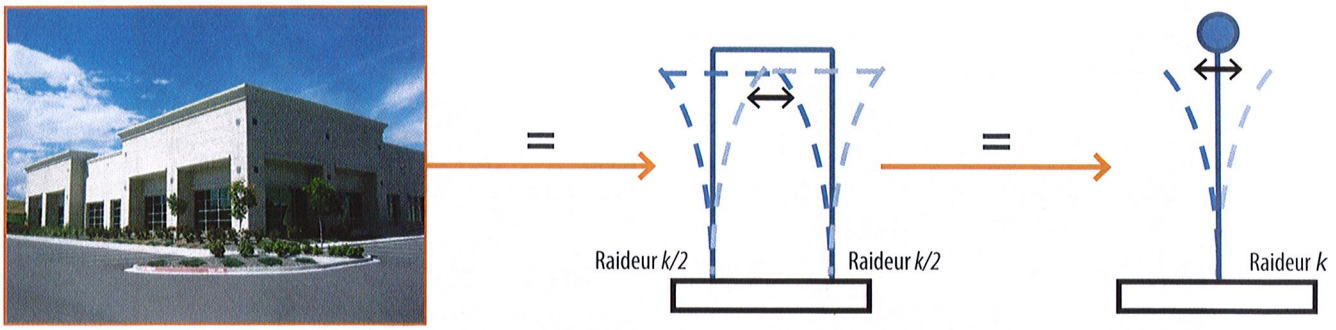
Cas d'un bâtiment

Les vibrations lors d'un séisme se transmettent de manières horizontales, verticales,... Si les fréquences dominantes des ondes sismiques s'approchent des fréquences propres du bâtiment, il y a risque de destruction.

Un séisme soumet la structure à des oscillations forcées du type suivant.



Un bâtiment peut être modélisé de la manière suivante.



On peut alors calculer la **fréquence propre** de la structure.

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

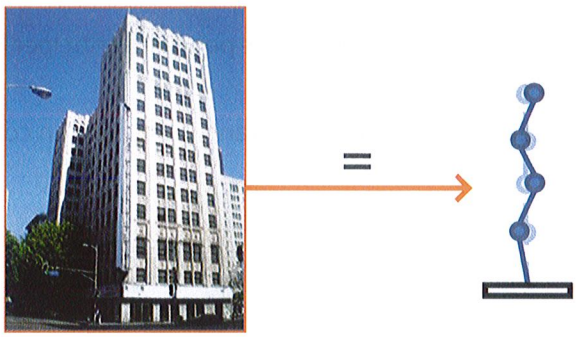
k : raideur (ou rigidité) en N/m
m : masse en kg

La **raideur *k*** dépend de l'élasticité du matériau, de la longueur de la poutre, des liaisons utilisées, de la forme de la section.

La **masse *m*** permet de prendre en compte l'inertie du système. Plus la masse est lourde, plus le système va résister à la mise en mouvement.

Dans la réalité, un matériau peut se déformer de manière permanente, se fissurer. On passe du domaine élastique au domaine plastique, on parle alors de **coefficient d'amortissement ξ**.

Si le bâtiment est plus complexe, on parle d'**oscillateur multiple** constitué de plusieurs masses.



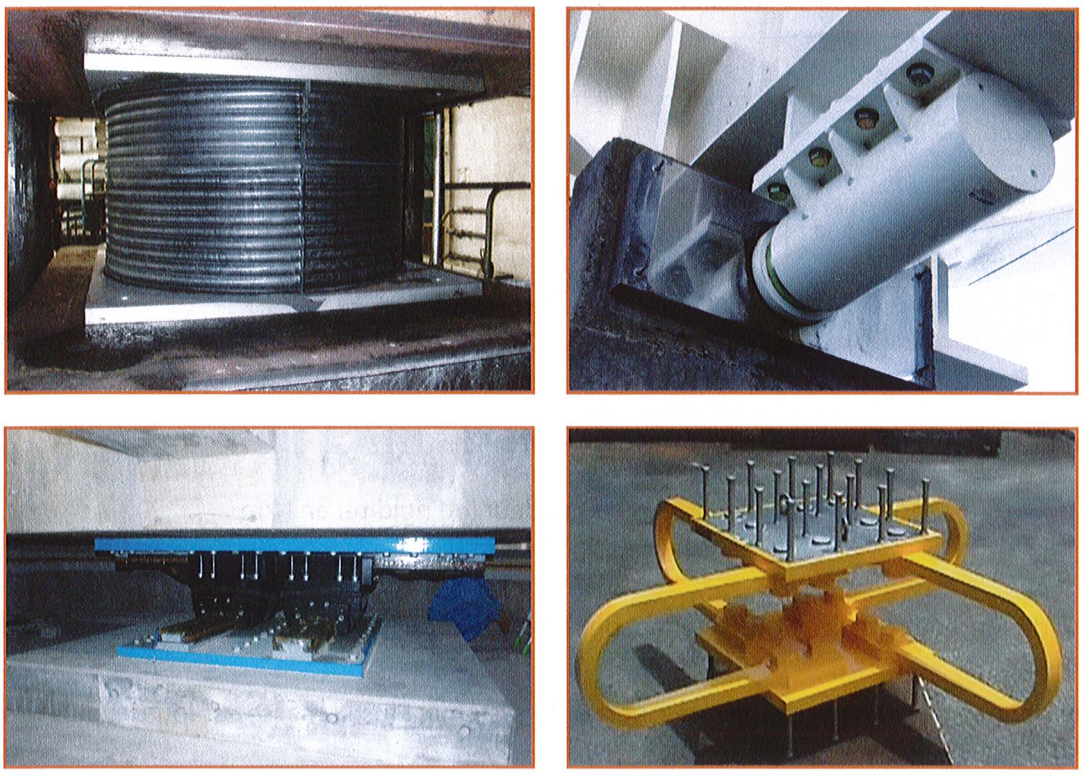
5.4 Solutions

Pour construire des systèmes plus résistants, on peut :

- Modifier la fréquence propre de la structure (en jouant sur la raideur ou la masse).
- Utiliser des structures plus rigides ou plus souples pour s'éloigner des fréquences propres.
- Utiliser des systèmes d'amortissement.
- Utiliser des pendules absorbant l'énergie des vibrations dans les bâtiments.
- Utiliser des matériaux différents.
- Étudier la nature du sol et optimiser les fondations.

Une **construction parasismique** permet ainsi de résister au seuil défini par la réglementation en exploitant cinq axes :

- Le choix du site
- L'architecture
- Les règles parasismiques
- La qualité de l'exécution
- La maintenance des bâtiments



Dispositifs antisismiques

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

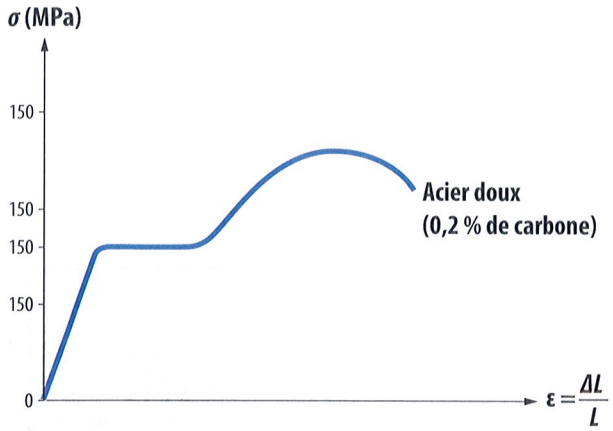
SÉQUENCE 13

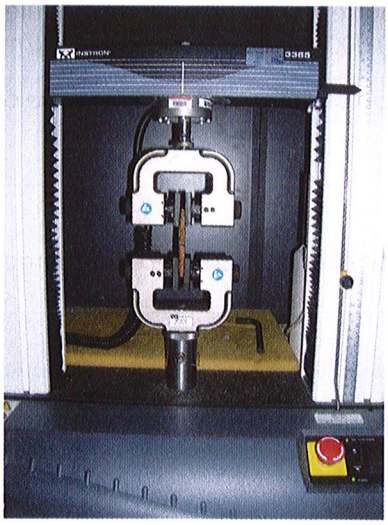
TD

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX ET VIBRATIONS

Activité 1 - Courbe d'allongement

Un essai de traction sur un matériau a permis de relever la courbe d'allongement ci-dessous.

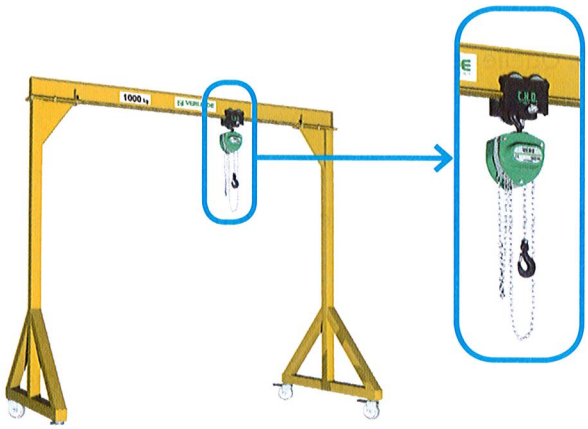




1. Délimiter sur le graphique les zones de déformation élastique et plastique.
2. Relever la limite élastique. .....
3. Relever la résistance à la rupture. .....

Activité 2 - Palan à chaîne

Le portique ci-contre est équipé d'un palan à chaîne. Les maillons de la chaîne sont en acier. Sa limite à la rupture est de 780 N/mm².



1. Déterminer la surface de la section S.

.....

.....

2. Quelle force maximale $\vec{F}$ peut supporter le maillon ?

.....

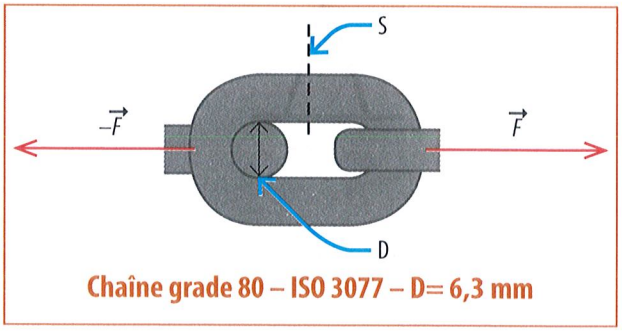
.....

3. On applique un coefficient de sécurité de 2. Quelle sera la force $\vec{F}$ maximale supportée.

.....

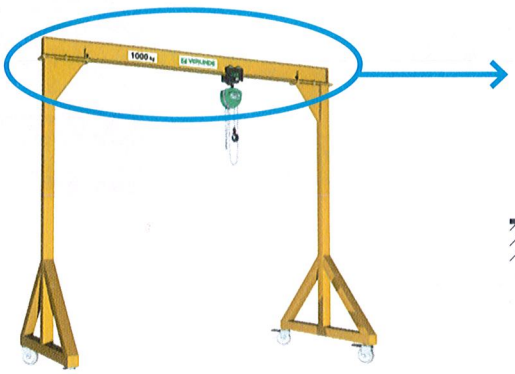
.....

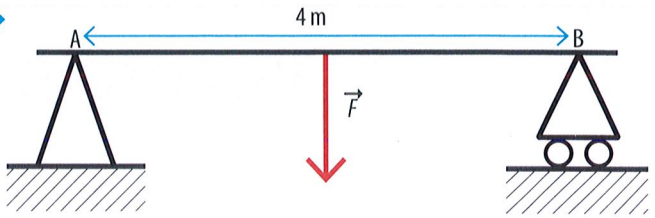
4. Le palan peut porter une charge de 1 000 kg. La chaîne convient-elle ? ☐ Oui ☐ Non



Chaîne grade 80 – ISO 3077 – D= 6,3 mm

On étudie maintenant la barre supérieure du portique.





C'est une poutre IPE 300 en acier de module d'Young $E = 210\,000$ N/mm^2 soumise à une charge en son centre de valeur $F = 20\,000$ N (limite élastique 295 N/mm^2).

5. À quel type de sollicitation est soumise cette poutre ?

.....

.....

6. Le système étant symétrique et la charge appliquée au milieu, déterminer les actions en A et B.

.....

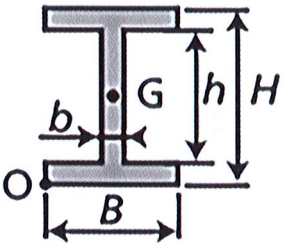
.....

7. Déterminer le moment quadratique de la section en G.

.....

.....

.....



Poutre en I

$B = 151$ mm
$b = 7$ mm
$H = 300$ mm
$h = 278$ mm

8. Déterminer le moment fléchissant maximal.

.....

.....

.....

9. Quelle sera la contrainte maximale ?

.....

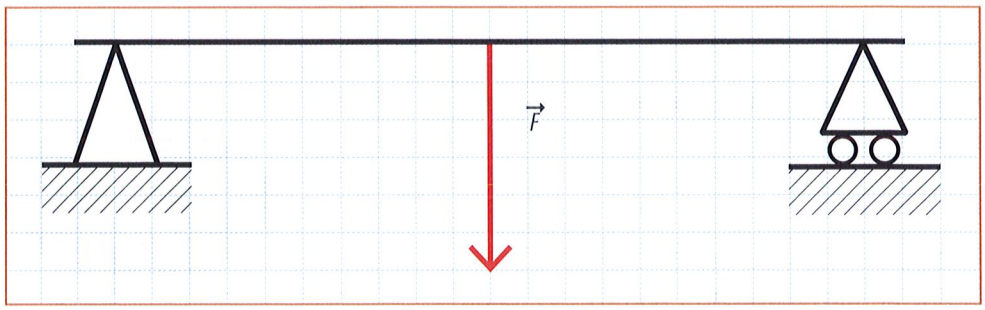
.....

10. Quelle sera la flèche maximale ?

.....

.....

11. Dessiner à main levée l'allure de la déformée en **vert** et placer la flèche sur le dessin suivant.



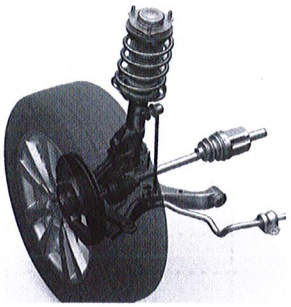
Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 13 ÉTUDE DE CAS

SUSPENSION AUTOMOBILE

Problématique : Vérifier le confort d'une suspension automobile.

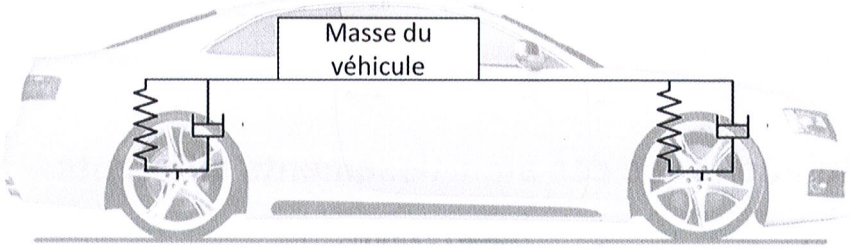
1. Présentation générale



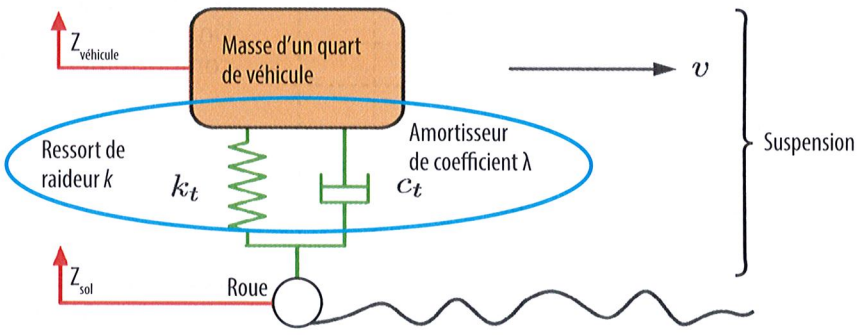
Les **suspensions** d'un véhicule permettent de relier des masses non suspendues (les roues, les systèmes de freinage,...) aux masses suspendues (châssis et tout ce qui est fixé au châssis). Elles se composent en principe d'un **ressort** et d'un **amortisseur**.

Dans l'automobile, le système le plus utilisé est la suspension de type MacPherson représentée ci-contre.

Le système de suspension d'une automobile se modélise de manière simplifiée de la façon suivante.

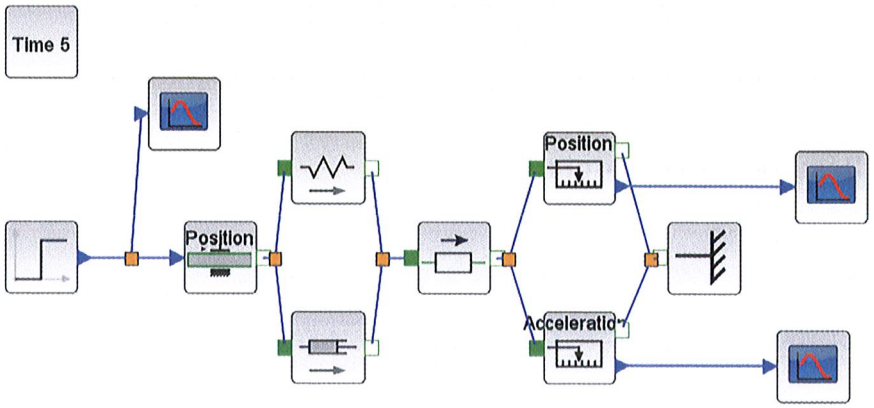


Soit, si une seule roue est étudiée :



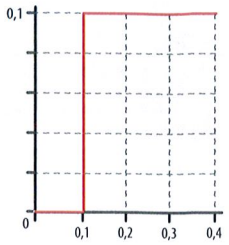
Afin d'étudier le comportement d'un véhicule, un logiciel de modélisation multiphysique a été utilisé.

1. Sur la figure ci-contre, repérer en les nommant :
   - le ressort,
   - l'amortisseur,
   - le véhicule (sa masse).
2. Entourer la suspension.

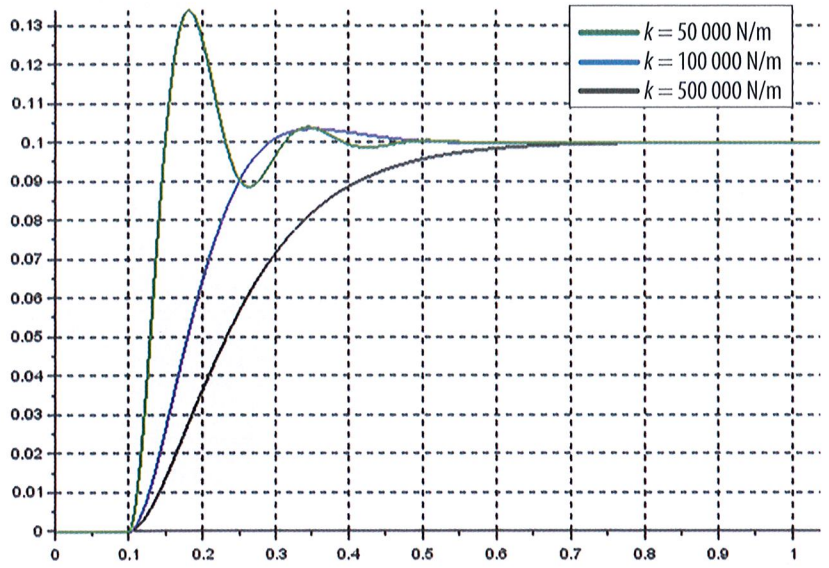


2. Oscillations libres

Le signal d'entrée est un échelon représentant la montée d'un trottoir de 10 cm de hauteur.



2.1 Simulation avec des raideurs de ressort différentes



Position verticale de la voiture suivant la raideur du ressort

1. D'après cette simulation, quelle est l'influence de la raideur du ressort sur le comportement de la voiture ?

.....

.....

.....

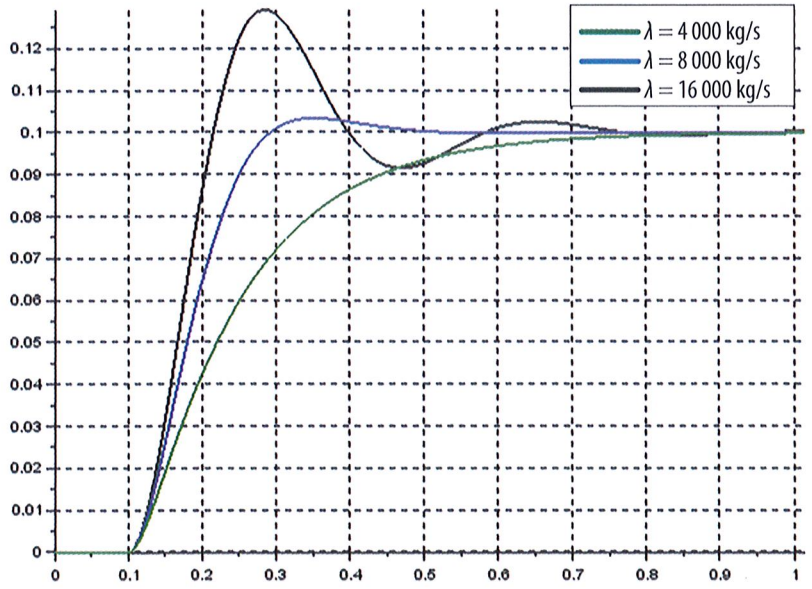
2. Quelle raideur choisiriez-vous pour un meilleur confort et pour quelle raison ?

.....

.....

.....

2.2 Simulation avec des amortissements différents



Position verticale de la voiture suivant le coefficient d'amortissement

1. D'après cette simulation, quelle est l'influence de l'amortissement sur le comportement de la voiture ?

.....

.....

.....

2. Quelle amortissement choisiriez-vous pour un meilleur confort et pour quelle raison ?

.....

.....

.....

Résumé de vos choix : k = ... λ = ...

3. Oscillations forcées



Le signal d'entrée est une sinusoïde, qui représente des vibrations sur la route.

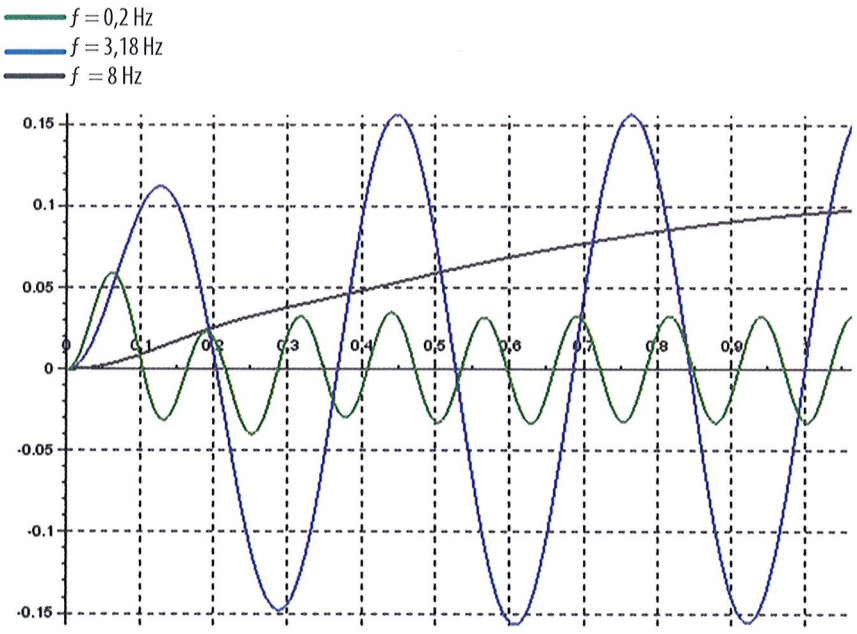
Le corps humain possède en position assise une fréquence propre d'oscillation verticale de l'ordre de 3 Hz. Pour des fréquences inférieures à 0,5 Hz, les organes internes du corps entrent en résonance et le mal des transports se fait ressentir.

La suspension est dite confortable si la raideur et le taux d'amortissement permettent d'avoir une fréquence d'oscillation comprise entre 0,9 et 1,2 Hz.

- Calculer la fréquence propre de ce système pour une masse de 250 kg et une raideur de 100 000 N/m.

$f_0 =$ .....

3.1 Simulation du comportement de la voiture suivant la fréquence des vibrations



Position verticale de la voiture suivant la fréquence des bosses

1. D'après cette simulation, quelle est l'influence de la fréquence des vibrations sur le comportement de la voiture ?

.....

.....

2. Quelle fréquence pose le plus problème (entrée en résonnance) ?

.....

.....

3. Comparer cette fréquence à la fréquence propre du système.

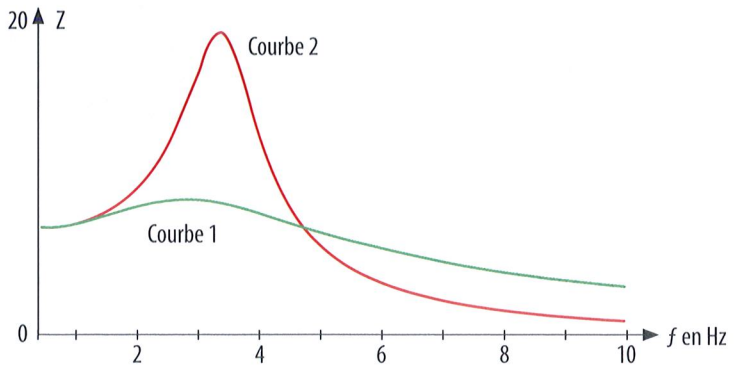
.....

4. Quelle devrait être la raideur pour avoir une fréquence propre de 1 Hz comme désiré ?

.....

3.2 Simulation du comportement de la voiture suivant l'amortissement

La figure ci-dessous représente le comportement de la voiture en fonction de l'amortissement. Une courbe correspond à un amortissement de 8 000 kg/s et l'autre à un amortissement de 4 000 kg/s.



1. Identifier quelle courbe correspond à quel amortissement.

Courbe 1 : ..... Courbe 2 : .....

2. Quelle fréquence pose le plus problème ? Pour quelle raison ?

.....

.....

3. Comparer cette valeur à f_0.

.....

.....

Pour caractériser la suspension, on parle de taux d'amortissement : $\tau = \dfrac{\lambda}{2\sqrt{k \times m}}$. Pour la plupart des véhicules, ce taux est compris entre 0,3 et 0,5 (sans unité).

4. L'amortissement λ étant de 4 000 kg/s et la raideur de 500 000 N/m, vérifier que le taux d'amortissement est bien valable.

.....

.....

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

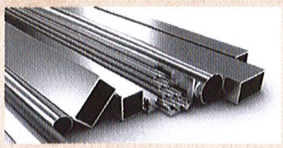
SÉQUENCE 13 INVESTIGATION 1

ÉTUDE SUR LES MATÉRIAUX

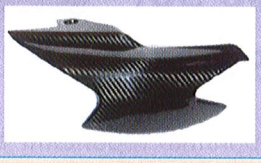
Problématique : Connaître les principales propriétés d'un matériaux, afin de justifier son utilisation.

1. Choisir un des sujets suivants et au moins un matériau associé.

Matériaux métalliques → Aluminium, Acier, ...



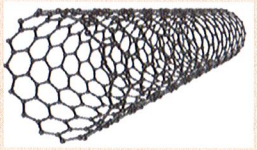
Matériaux composites → Fibre de verre, Fibre de carbone, ...



Matériaux organiques → PLA, ABS, ...



Nano matériaux → Nanotubes de carbone, ...



Matériaux minéraux → Céramique technique, Verre, ...



2. Sur le sujet choisi, construire un exposé sous forme de diaporama autour des thèmes suivants :

- Coût du matériau
- Disponibilité sur la planète de ce matériau
- Impact environnemental
- Propriétés mécaniques (efforts, frottements, élasticité, dureté, ductilité)
- Propriétés thermiques (conduction, convection et rayonnement, fusion, écoulement)
- Propriétés électriques (résistivité, perméabilité, permittivité)
- Une utilisation courante de ce matériau
- Un procédé de fabrication du matériau

3. Si vous disposez d'un système dans la salle utilisant un des matériaux étudiés, l'inclure dans votre présentation.

SÉQUENCE 13

INVESTIGATION 2

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

EFFETS DES VIBRATIONS SUR UNE STRUCTURE

Problématique : Comprendre ce qu'est un séisme et étudier les effets des vibrations sur un bâtiment.





Partie 1 : Étude sur les séismes

Rédiger un document (type diaporama) répondant aux questions suivantes (en incluant les réponses aux questions et des photos) :

- Qu'est-ce qu'un séisme ?
- Qu'est-ce qu'un épicentre ?
- Qu'est-ce que la magnitude (calcul et différentes échelles) ?
- Que sont les ondes P et S ?
- Quelles sont les zones à risques dans le monde ?
- Quelles sont les zones à risque en France ?
- Quelle sont les consignes de sécurité en cas de séisme ?
- Quelles sont les solutions envisagées dans l'architecture (classiques ou plus innovantes) ?



Ondes P



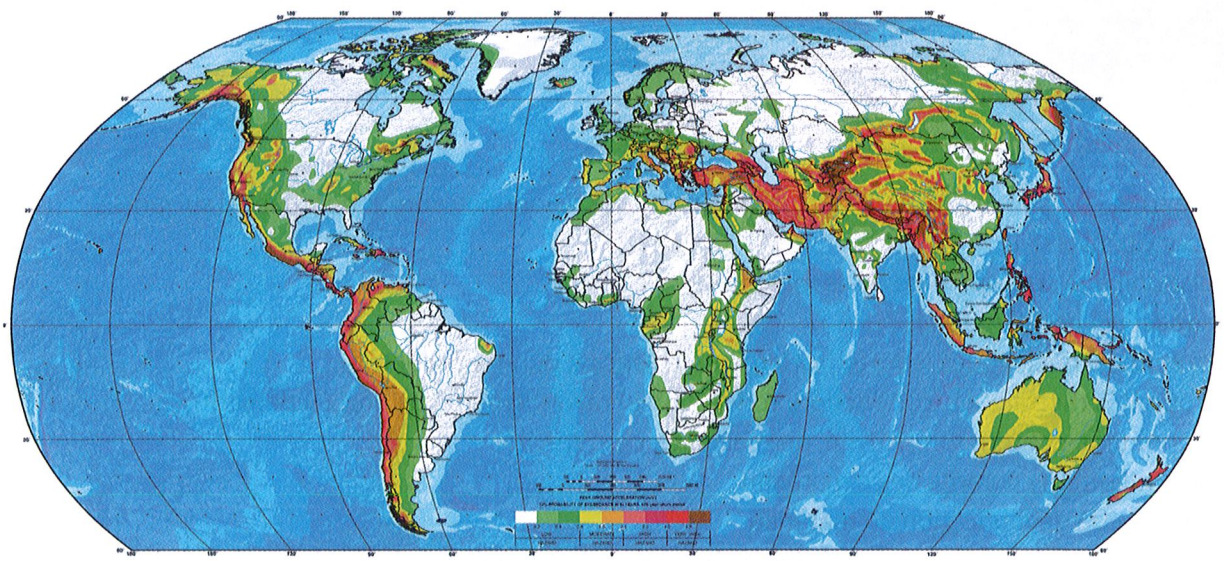
Ondes S

Rechercher des documents sur les séismes les plus importants (photos, articles, ...).

Vous pouvez vous aider d'Internet et des sites suivants :

- http://renass.unistra.fr/sismicite/derniers-seismes-en-metropole
- http://www.franceseisme.fr/
- http://www.planseisme.fr/

Carte des risques sismiques mondiaux



Partie 2 : Étude avec banc de vibrations

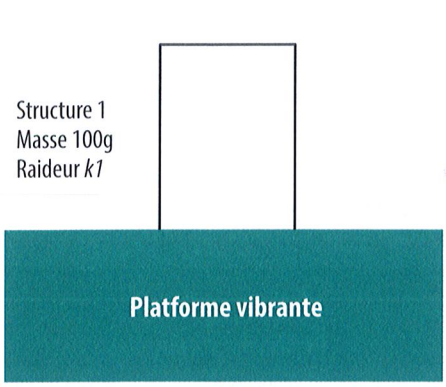
Ce banc permet de simuler l'effet des vibrations sur une structure. Vous allez jouer sur les caractéristiques importantes d'une structure afin de voir leurs influences sur le comportement global.

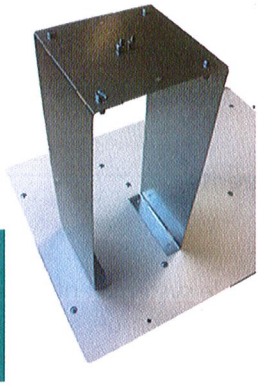


1. Influence de la raideur du matériau

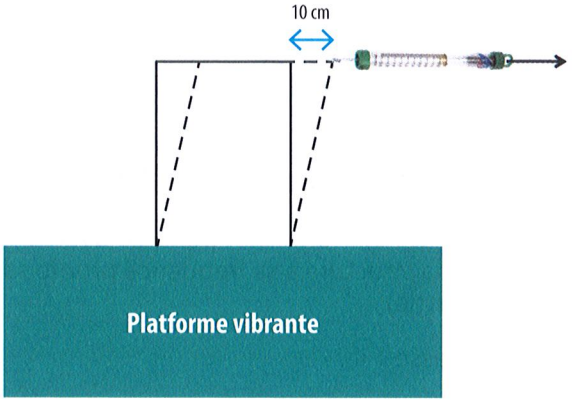
Structure 1 - Masse 100 g – Raideur *k1*

Monter la structure 1.





Afin d'obtenir sa raideur *k*, vous aller procéder à un essai statique : tirer avec un dynamomètre sur la structure jusqu'à ce qu'elle ait un déplacement de 10 cm.



1. Relever la valeur de l'effort.

.....

2. Calculer la raideur équivalente ($k1 = \frac{\text{effort}}{\text{déplacement}}$).

.....

3. Ancrer une masse de 100 g sur le plateau. Mettre la plateforme vibrante en marche en commençant par les oscillations les plus lentes. Augmenter la fréquence régulièrement et lentement.

4. Relever la fréquence où le système entre en résonance (maximum de déplacement du plateau).

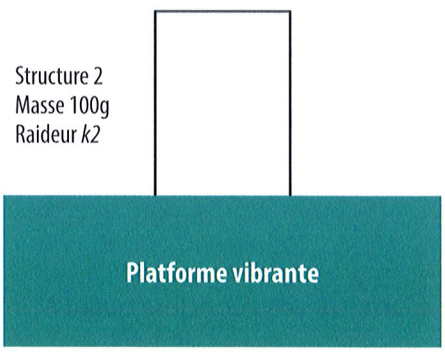
$f_{\text{mesurée}} =$ .....

Structure 2 - Masse 100 g – Raideur *k2*

5. Refaire ces essais avec une structure de raideur différente.

6. Déterminer comme précédemment la nouvelle raideur *k2*.

$k2 =$ .....



7. Relever la fréquence où le système entre en résonance (maximum de déplacement du plateau).

$f_{\text{mesurée}} =$ .....

8. D'après vos résultats, quelle est l'influence de la raideur du matériau sur les oscillations?

.....

.....

2. Influence de la masse

Structure 1 - Masse 200 g – Raideur *k1*

Monter la structure 1.

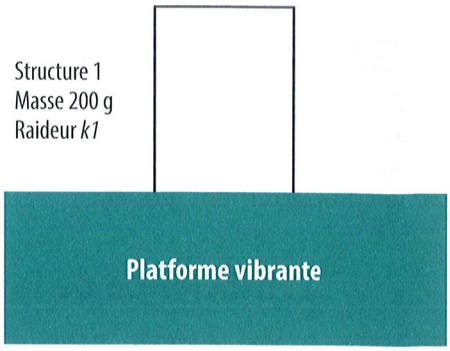
Ancrer une masse de 200 g sur le plateau.

- À l'aide du système de vibration, relever la fréquence où le système entre en résonance et la comparer à celle obtenue dans la partie précédente pour une masse de 100 g et une raideur *k1*.

$f_{mesurée}$ = ...

.....

.....



3. Influence de la hauteur

Structure 1 - Masse 100 g – Raideur *k1*– Hauteur différente

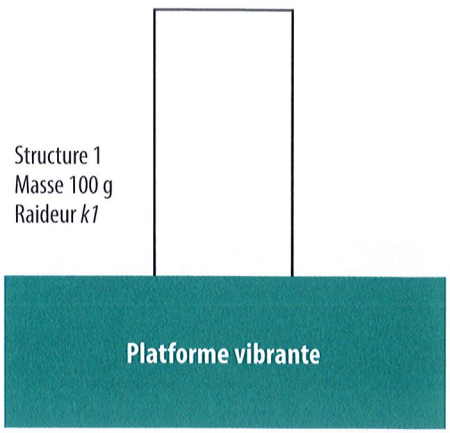
Changer la hauteur de la structure 1.

- À l'aide du système de vibration, relever la fréquence ou le système entre en résonance et la comparer à celle obtenue dans la première partie.

$f_{mesurée}$ = ...

.....

.....



4. Influence de l'amortissement

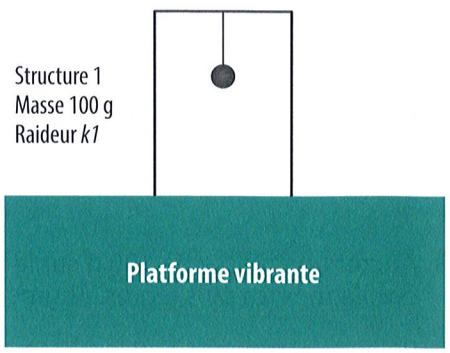
Sur la structure 1, monter un pendule avec une masse sous le plateau. Faire vibrer la structure à sa fréquence propre sans pendule (trouvée à la première partie).

1. Que se passe-t-il ?

.....

.....

.....



2. Quel est l'intérêt de ce système ?

.....

.....

3. Chercher sur Internet des exemples de bâtiment ayant intégré ce principe et donner leur nom et leur localisation.

.....

.....

Conclusion : Conclure quant à l'influence de chacun des paramètres :

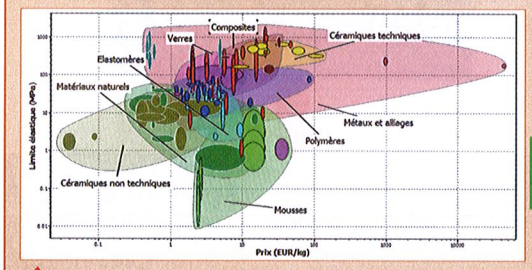
- Plus la raideur est importante, plus la fréquence de résonance .....
- Plus la masse est importante, plus la fréquence de résonance .....
- Plus le bâtiment est haut, plus la fréquence de résonance .....
- Une masse accordée permet de .....

CE QU'IL FAUT RETENIR DE LA SÉQUENCE

SÉQUENCE 13 SYNTHÈSE

Choix d'un matériau

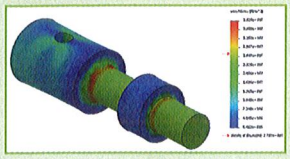
Compromis entre propriétés, coût, impact environnemental, disponibilité, procédés de fabrication associés,...



- Matériaux métalliques
- Matériaux minéraux
- Matériaux composites
- Matériaux organiques

Cas complexes

Utilisation de logiciels spécialisés



Résistance des matériaux (RDM)

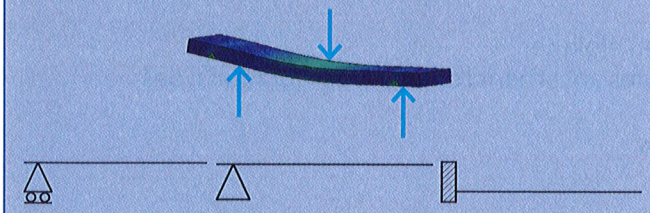
Définitions et hypothèses pour faire une étude

contraintes, déformations, élasticité, plasticité, dureté, ductilité, poutres, actions mécaniques, homogénéité, isotropie, hypothèse de Navier-Bernoulli, hypothèse de Barré de Saint-Venant.

Flexion simple

Dépend :

- du **type de liaison ou d'appui :**

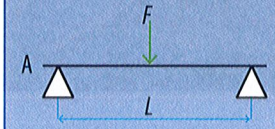


- de la **forme de la poutre :**



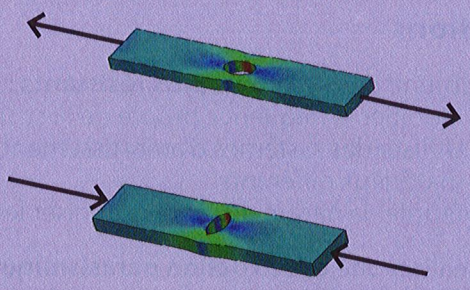
Contrainte : $\sigma_{maxi} = \frac{M_{fz}}{Igz} \times Y$

Déformation (dépend des appuis) :



$f = \frac{F \times L^3}{48 \times E \times I}$

Traction – Compression



Contrainte : $\sigma = \frac{N}{A}$

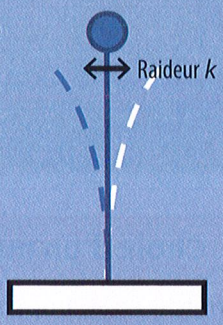
Déformation : $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$

Loi de Hooke : $\sigma = E \times \varepsilon$

Résistance à l'extension : $R_{pe} = \frac{R_e}{s}$

Fréquence propre de la structure

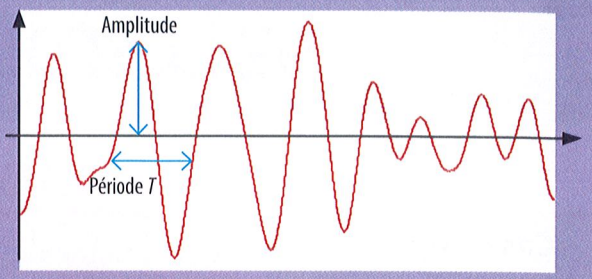
C'est la fréquence pour laquelle le système entre en résonance.



$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

Types de vibrations

Vibrations forcées - Vibrations libres



Vibrations

Paramètres les plus influents

Résonnance → La **résonnance** : l'amplitude d'oscillation du système augmente sous des impulsions régulières à une de ses **fréquences propres**.

Raideur *k* → La **raideur** dépend de l'élasticité du matériau, de la longueur de la poutre, des liaisons utilisées et de la forme de la section.

Inertie → L'**inertie** du système dépend de sa **masse** *m*. Plus la masse est lourde, plus le système va résister à la mise en mouvement.

Amortissement → Le coefficient **amortissement ξ** caractérise l'énergie dissipée lors d'une déformation permanente du système.

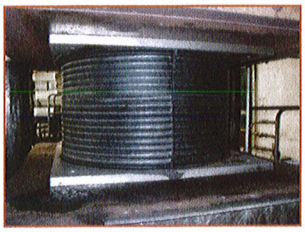
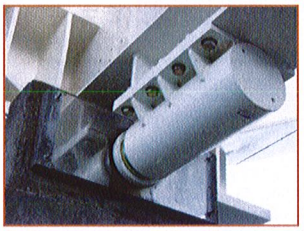
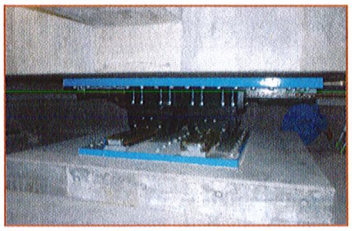
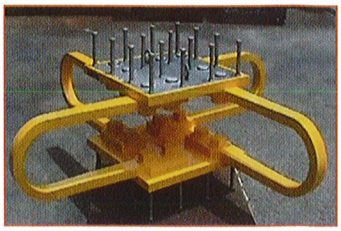
Solutions

Pour obtenir des **systèmes plus résistants** :

- Modifier la fréquence propre de la structure ou s'en éloigner.
- Utiliser des systèmes d'amortissement, des pendules absorbant l'énergie des vibrations, des matériaux différents.
- Étudier la nature du sol et optimiser les fondations.

Pour réaliser une **construction parasismique** :

- Choix du site
- Architecture
- Règles de construction parasismiques
- Qualité de l'exécution
- Maintenance des bâtiments

PRODUCTION ET STOCKAGE DE L'ÉNERGIE POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

SÉQUENCE 1.4 LEÇON

LIAISON RÉFÉRENTIEL
2.1.1 Organisation fonctionnelle d'une chaîne d'énergie ;
3.2.2 Stockage d'énergie

1. Situation déclenchante

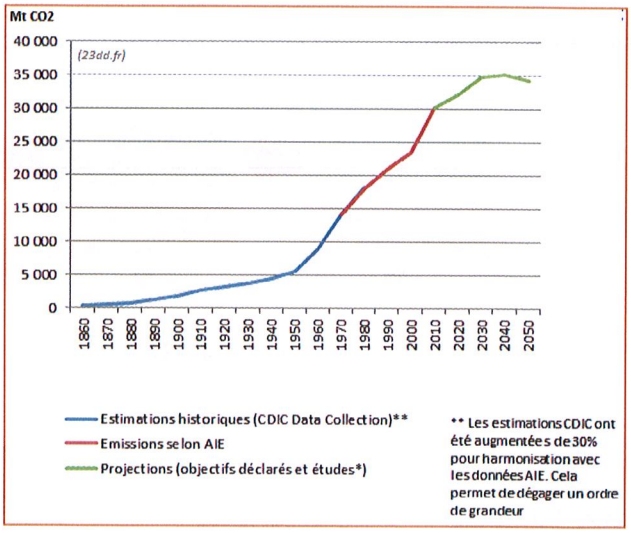
DOC. La transition énergétique

La transition énergétique décrit le passage d'un état actuel de production d'énergie à un état futur afin de réduire son impact environnemental sur la planète. Cette exigence passe par la diversification des différentes sources d'énergie primaire utilisées (**mix énergétique**) et par la promotion des énergies renouvelables. La **transition énergétique** regroupe l'ensemble des mesures à adopter.

L'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) prévoit, dans son dernier rapport, une hausse de la consommation mondiale d'énergie d'un tiers dans les 25 ans à venir. Une partie de la hausse de cette demande est imputable à la forte croissance de la consommation d'électricité (+ 70 % entre 2013 et 2040).

Dans ce même rapport, elle prévoit que les émissions de CO_2 liées à l'énergie pourraient être 16 % plus fortes en 2040 qu'en 2013.

Au niveau national, le Grenelle de l'environnement a fixé des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre, de développement des énergies renouvelables et d'une meilleure efficacité énergétique d'ici 2050.



Au niveau mondial, le Protocole de Kyoto et des sommets comme Rio+20 et la COP21 tentent d'élaborer une politique d'action mondiale.

Les innovations à mettre en place pour la réussite de cette transition concernent le développement des énergies renouvelables, un stockage optimisé, la conception d'une gestion intelligente de l'énergie.

LES ENJEUX POUR 2020

-20% DE CONSOMMATION D'ÉNERGIE	**-20%** D'ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE
23% D'ÉNERGIES RENOUVELABLES DANS LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE	**50%** DE NUCLÉAIRE DANS LE MIX ÉLECTRIQUE EN 2025

1. Qu'appelle-t-on mix énergétique ?

.....

2. Quelles sont les augmentations de consommation prévues pour les 25 ans à venir ?

.....

3. Quelles sont les augmentations d'émission de CO_2 prévues pour les 25 ans à venir ?

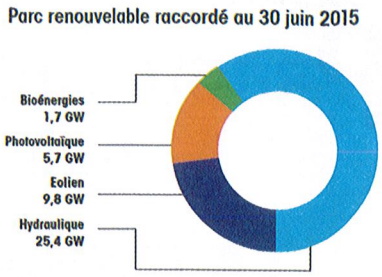
.....

Conclusion : Quelles solutions utiliser pour la réussite de la transition énergétique ?

.....

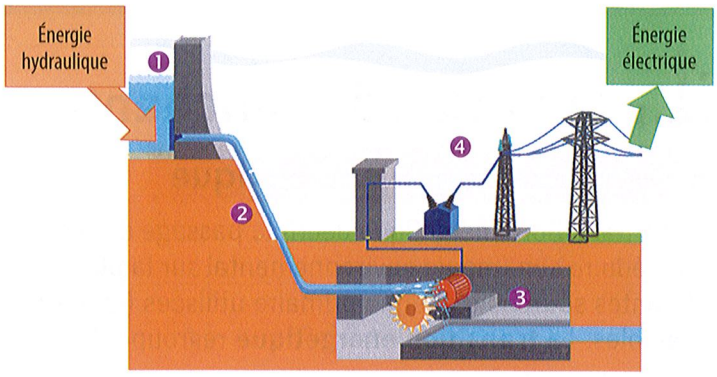
.....

Dans cette leçon, nous nous concentrerons sur le mix énergétique électrique et notamment les **énergies renouvelables**.



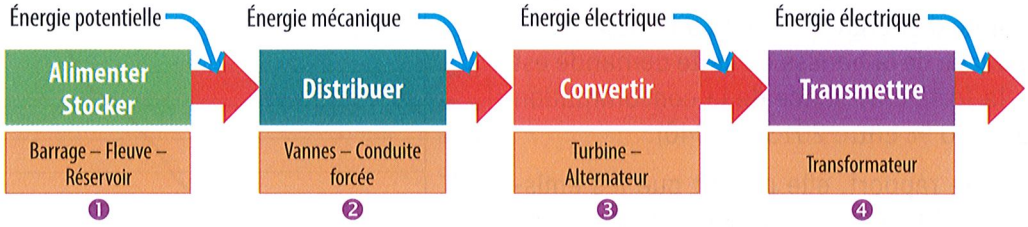
2. Production hydraulique

Les centrales hydrauliques permettent de **transformer l'énergie hydraulique en énergie électrique**.

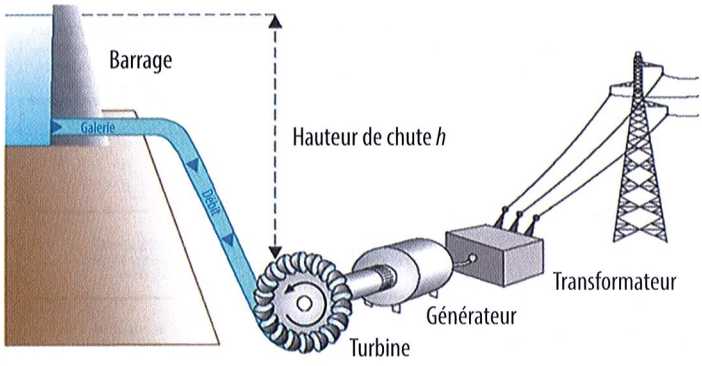


2.1 Chaîne d'énergie

La **chaîne d'énergie** d'une centrale hydroélectrique est la suivante.



2.2 Puissance fournie



La puissance P_H disponible sur la turbine se calcule à l'aide de la formule :

$$P_H = Q \times \rho \times g \times h$$

avec : Q : débit de la chute d'eau en m^3/s
ρ : masse volumique de l'eau en kg/m^3
g : accélération de la pesanteur en m/s^2
h : hauteur de la chute d'eau en m

Une puissance importante implique donc un produit $Q \times H$ élevé. L'idéal est donc d'avoir un grand débit sur une grande hauteur de chute.

2.3 Les différents types de centrales

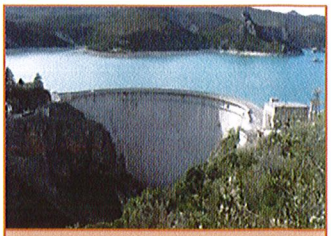
Il existe trois types de centrales qui dépendent de la géographie du site.



Les installations « **au fil de l'eau** » que l'on trouve en zone de plaine sur de grands fleuves. La hauteur de chute est faible, le débit est correct et pratiquement constant.



Les installations fonctionnant « **en éclusées** » localisées en moyenne montagne. La hauteur de chute est faible, le débit est correct et pratiquement constant.



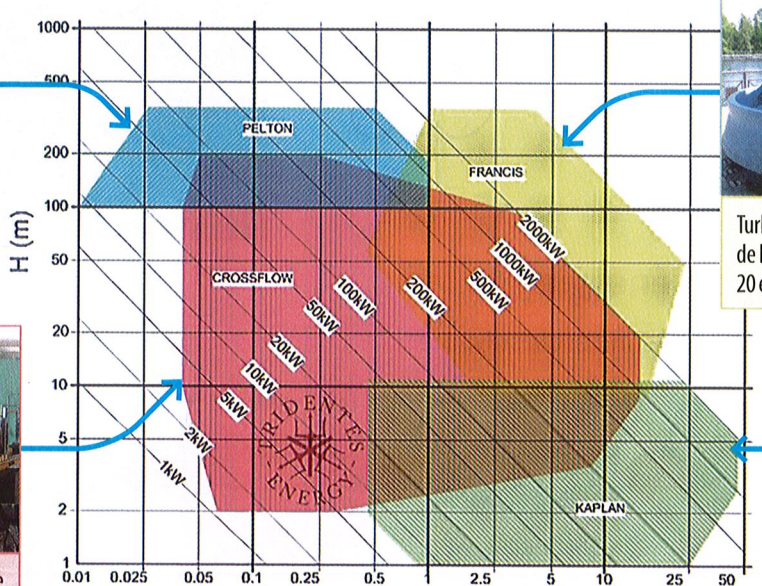
Les **centrales de lac** placées au pied d'un barrage de moyenne et haute montagne retenant un lac artificiel de grande superficie. La hauteur est importante et le débit contrôlable.

2.4 Les différents types de turbines

Il existe **quatre types de turbines** dont la puissance fournie dépend de la hauteur de chute et du débit.



Turbine utilisée pour les applications haute chute à débit variable.





Turbine utilisée pour les applications de hauteur de chute comprise entre 20 et 250 m et les débits importants.



Turbine utilisée pour une très large plage d'applications.



Turbine utilisée pour les applications de faible hauteur de chute. Elles sont peu sensibles aux variations de débit.

APPLICATION 1

Une centrale dont la hauteur de chute est de 50 m nécessite la mise en place d'une turbine devant développer une puissance de 100 kW.

1. Quel type de turbine faut-il utiliser ? .....
2. Quel débit faut-il prévoir pour assurer cette puissance ? .....

2.5 Alternateur

L'**alternateur** transforme l'énergie mécanique en énergie électrique alternative.

Énergie mécanique →  → **Énergie électrique**

La fréquence f du signal électrique sortant de l'alternateur dépend de la vitesse de rotation N de celui-ci :

$$f = p \times N$$ avec p nombre de paires de pôles lié au type d'alternateur et N en tr/s

Dans la centrale, il faudra donc adapter la vitesse de rotation de l'alternateur pour obtenir la fréquence du réseau français (50 Hz).

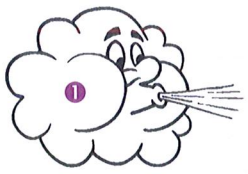
2.6 Transformateur

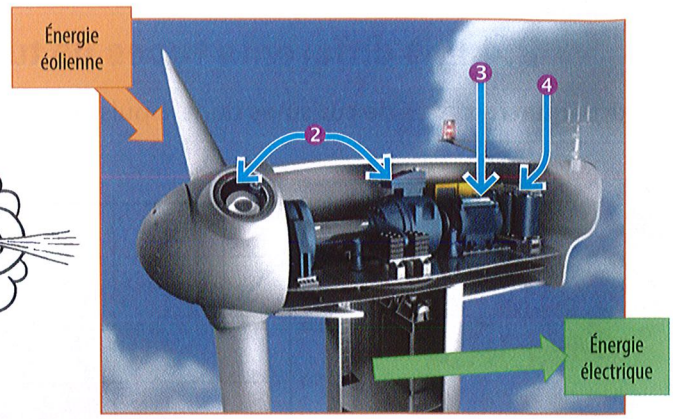
Le **transformateur** permet d'augmenter la valeur de la tension produite par l'alternateur en une haute ou très haute tension (400 kV) nécessaire à son transport avec des pertes minimales.

Son rendement est au minimum de 99 %.

3 Production éolienne

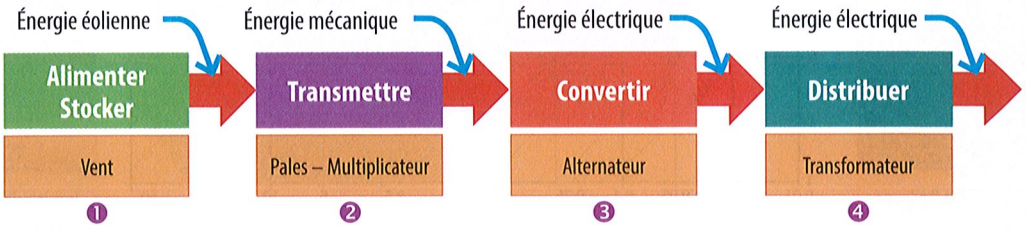
Les éoliennes permettent de **transformer l'énergie éolienne en énergie électrique**.





3.1 Chaîne d'énergie

La **chaîne d'énergie** d'une éolienne est la suivante.



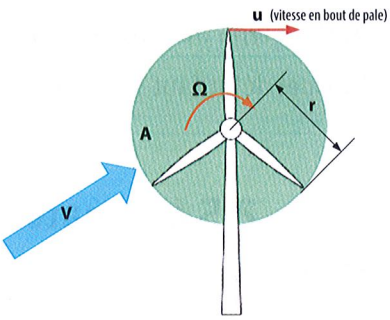
Les pales transmettent la puissance éolienne *Pv* à l'arbre de l'alternateur sous la forme d'une puissance mécanique (*Pméca* = couple fourni à l'arbre × vitesse angulaire de l'arbre). L'alternateur transforme *Pméca* en puissance électrique *Pélec*.

3.2 Puissance fournie

La **puissance *Pv*** fournie par le vent se calcule à l'aide de la formule :

$$Pv = \tfrac{1}{2} A \times \rho \times v^3$$

avec :
A : surface apparente balayée par les pales en m^2
ρ : masse volumique de l'air en kg/m^3 (1,225 kg/m^3 pour de l'air sec)
v : vitesse du vent en m/s



Pour des raisons de pertes aérodynamiques, *Pv* ne peut pas être entièrement transmise à l'arbre du convertisseur.

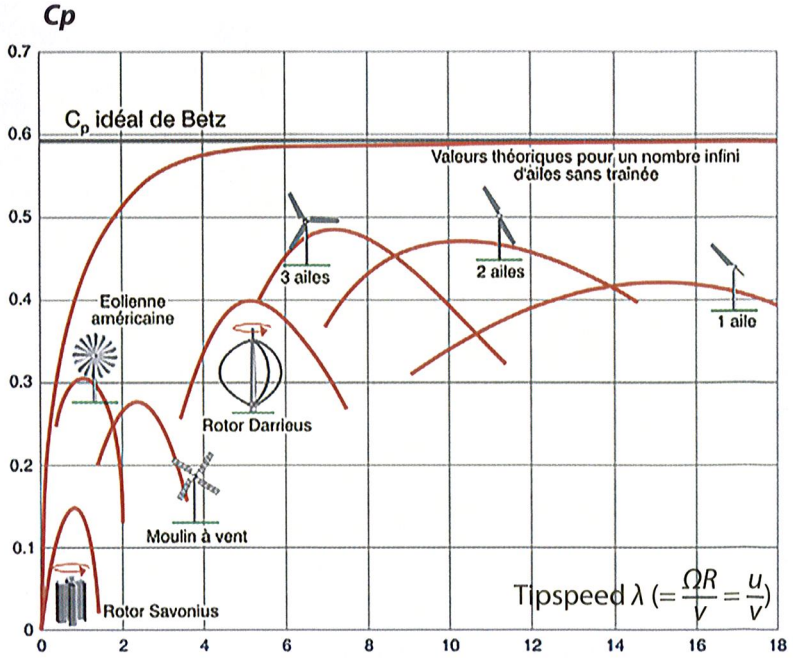
Le **coefficient de performance *Cp*** prend en compte ces pertes : $Cp = \dfrac{Pméca}{Pv}$
avec *Pméca* = puissance mécanique sur l'arbre.

Pméca se calcule donc à l'aide de la formule :

$$Pméca = \tfrac{1}{2} A \times \rho \times v^3 \times Cp$$

La valeur maximale de *Cp* est de 16/27 (limite de Betz).

Le graphe ci-contre donne les variations de *Cp* en fonction des différents types d'éoliennes avec $\Omega = 2\pi N/60$ en rad/s.



APPLICATION 2

Une éolienne tripale doit fournir une puissance mécanique de 1,8 MW pour un vent de 36 km/h avec $\lambda = 10$.

1. À l'aide de la courbe $Cp = f(\lambda)$ de la page précédente, donner le coefficient de performance maximal de cette éolienne. .....

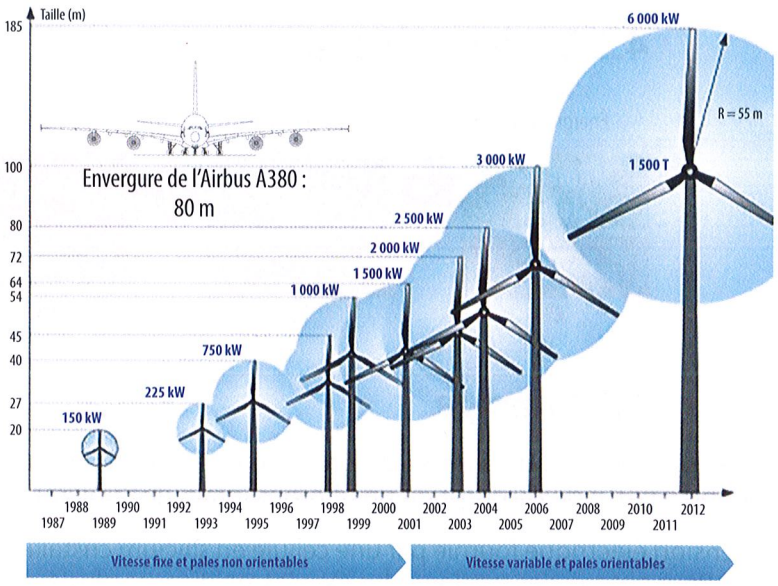
2. Calculer la surface A que doivent balayer les pales. .....

3. En déduire le diamètre de l'éolienne. .....

Pour obtenir une puissance importante, il faut un produit $A \times v^3$ élevé.

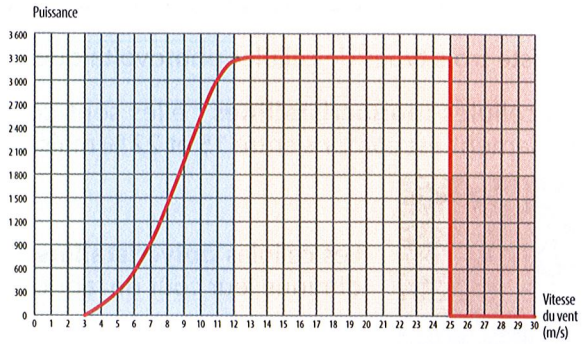
Plus l'altitude augmente et plus la vitesse du vent est grande. Donc pour augmenter la puissance fournie, il faut des éoliennes de plus grandes envergures (A) et plus hautes (v).

La vitesse de rotation du rotor de 12 à 15 tr/min doit être augmentée par le **multiplicateur** pour atteindre 1 500 ou 3 000 tr/min, vitesse de rotation de l'alternateur.



Les domaines de fonctionnement d'une éolienne sont :

- **$v < 3$ m/s** : vent trop faible
- **$3 < v < 12$ m/s** : augmentation de la production
- **$12 < v < 25$ m/s** : production optimale
- **$v > 25$ m/s** : l'éolienne s'arrête grâce à des freins mécaniques ou aérodynamiques. Par grand vent le système de sécurité modifie l'inclinaison des pales et actionne un frein sur le rotor pour stopper le fonctionnement de l'ensemble.



3.3 Les éoliennes en mer

L'installation d'éoliennes en mer (**offshore**) est en continuel développement. Les installations (ferme ou parc éolien) utilisent de 20 à 50 machines de 2 à 7 MW.

Ces éoliennes sont de plus grande taille que les éoliennes terrestres et profitent de vents plus réguliers.



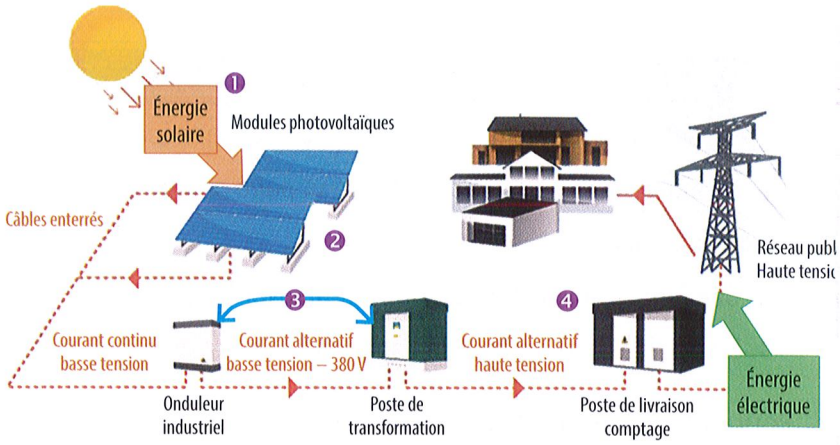


3.4 Les hydroliennes

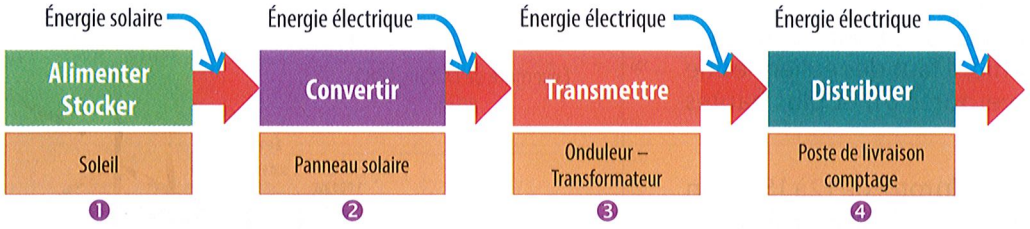
Le principe de fonctionnement d'une **hydrolienne** est identique à celui d'une éolienne mais ce sont les courants marins qui fournissent l'énergie cinétique. Elles produisent plus d'énergie électrique que les éoliennes car la masse volumique de l'eau est beaucoup plus importante que celle de l'air, ce qui compense largement la vitesse plus faible des courants océaniques. La production est régulière.

4 Production solaire photovoltaïque

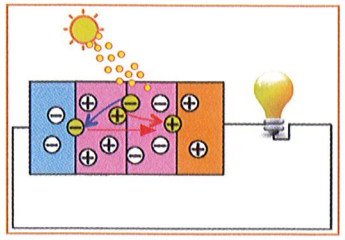
Une centrale solaire photovoltaïque permet de **transformer l'énergie solaire en énergie électrique**.



4.1 Chaîne d'énergie



4.2 Principe



L'effet photovoltaïque permet de produire une énergie électrique en courant continu à partir de l'absorption de photons (grain de lumière).

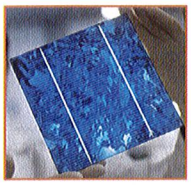
La tension électrique fournie par une cellule en silicium cristallin est de l'ordre de 0,5 V. Pour obtenir des tensions plus élevées, on dispose plusieurs cellules en série.

4.3 Les différentes technologies

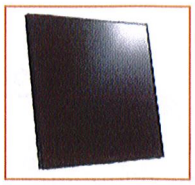
Il existe trois types de cellules photovoltaïques :



Les cellules **monocristallines** : elles sont constituées de deux couches de silicium, leur rendement est compris entre 15 et 22 % mais leur fabrication est couteuse.



Les cellules **polycristallines** : elles sont constituées de plusieurs cristaux de silicium, ce qui diminue leur coût de fabrication, leur rendement est compris entre 10 et 13 %.



Les cellules **amorphes** : lors de la transformation du silicium, un gaz est produit et projeté sur une feuille de verre, leur coût de fabrication est donc très faible, mais leur rendement n'est que de 5 à 10 %.

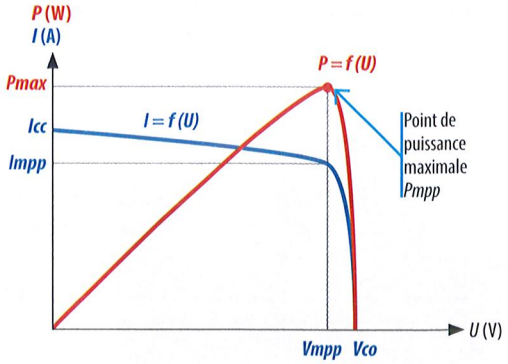
4.4 Caractéristiques d'un panneau photovoltaïque

Pour choisir un panneau photovoltaïque, il faut connaître sa caractéristique courant-tension. On peut en déduire la caractéristique puissance-tension car $P = U \times I$.

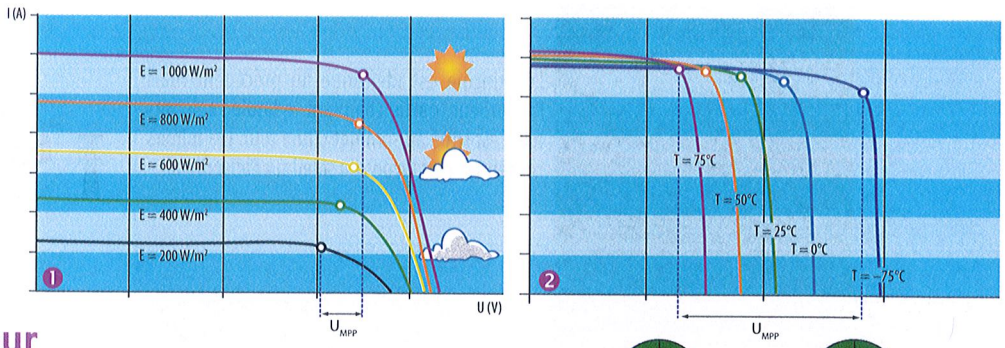
Données essentielles : courant de court-circuit I_{cc} ; tension à vide V_{co} ; courant et tension donnant la puissance maximale I_{mpp} et V_{mpp}

Ces caractéristiques sont tracées dans des conditions standardisées : ensoleillement = 1 000 W/m² ; température des cellules = 25 °C.

Dans ces conditions P_{max} s'appelle la **puissance crête** et se note ***Wc***.

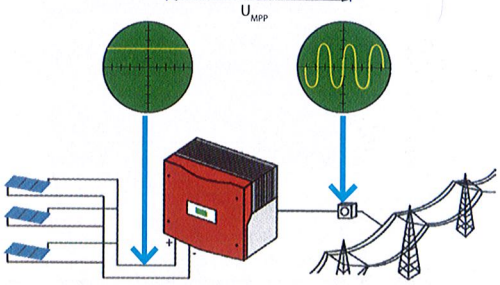


Les caractéristiques courant-tension dépendent du niveau d'éclairement ❶ et de la température des cellules ❷.



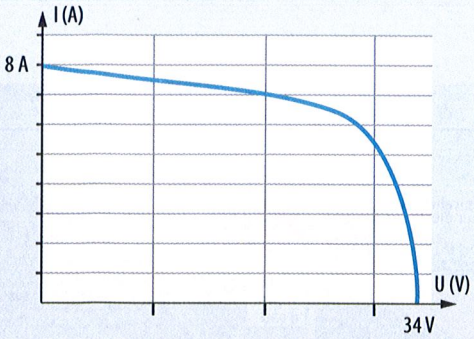
4.5 Onduleur

Le courant et la tension continus produits par les modules photovoltaïques sont transformés, via l'**onduleur**, en un courant et une tension alternatifs compatibles avec le réseau.



APPLICATION 3

Soit un module photovoltaïque de Wc = 230 W aux bornes duquel est branchée une résistance de 6,5 Ω. La caractéristique tension courant à 1 000 W/m² à 50 °C est la suivante.



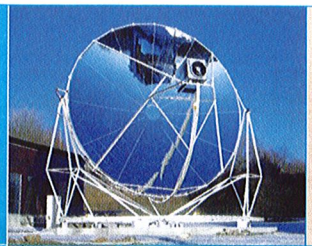
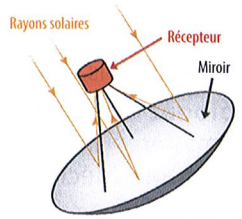
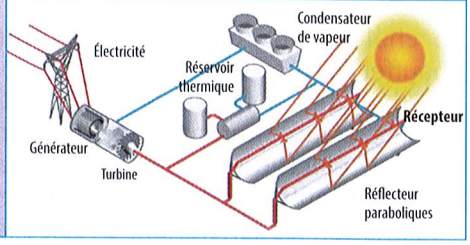
1. Donner, pour le module, les valeurs de :
   V_{CO} = ... I_{CC} = ...
2. Tracer sur la courbe ci-contre, la caractéristique de la résistance ($U = R \times I$).
3. En déduire le point de fonctionnement de l'installation.
   I = ... U = ...
4. Calculer la puissance fournie par le module à la résistance.
   .....

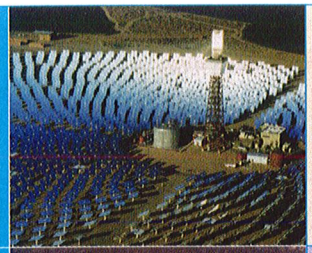
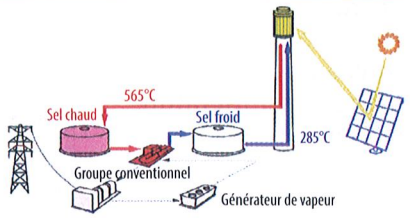
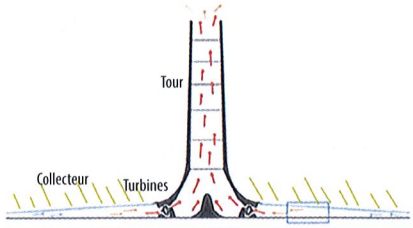
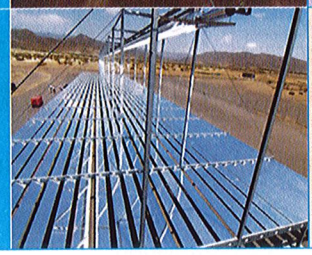
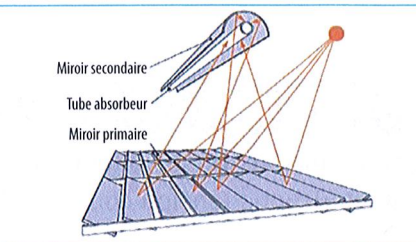
5. Production solaire thermique

Une centrale solaire thermique produit de l'**électricité** à partir d'une **source de chaleur**.

5.1 Centrale solaire thermique

Il en existe 5 sortes.

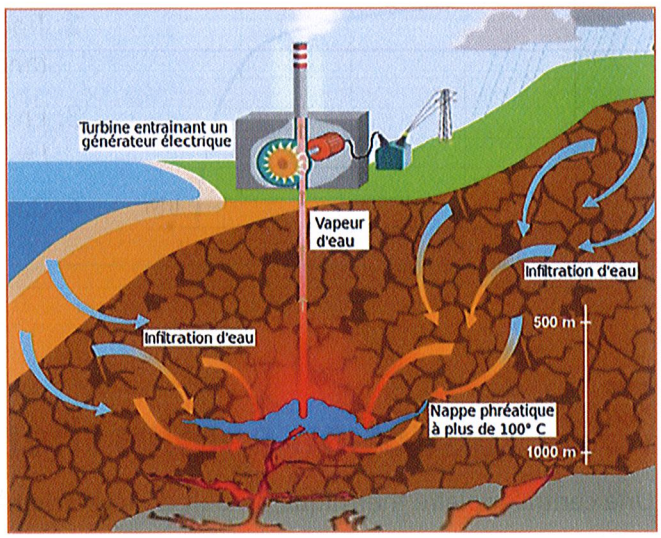
Centrales à capteur parabolique		Le miroir concentre les rayons du soleil vers le récepteur qui monte en température. Le récepteur (un moteur Stirling) convertit l'énergie thermique en énergie mécanique puis en énergie électrique.	
Centrales cylindro-parabolique		De longs miroirs en demi-cercle dirigent les rayons du soleil vers un liquide caloporteur. Ce liquide porté à 500 °C chauffe de l'eau dont la vapeur met en rotation une turbine qui produit de l'énergie électrique.	

Tours solaires		Le principe est identique au précédent mais l'absorbeur (partie chauffant le liquide caloporteur) est situé au sommet d'une tour. Les miroirs concentrent les rayons du soleil sur l'absorbeur.	
Centrales à effet de cheminée		Elles sont composées d'une tour immense autour de laquelle est disposée une serre. Cette serre chauffe l'air à l'aide des rayons du soleil. L'air chaud est dirigé vers la cheminée et fait tourner des turbines placées à sa base.	
Centrales à miroirs de Fresnel		Le principe est le même que les centrales cylindro-paraboliques. Par contre les miroirs sont plats et dirigent les rayons du soleil vers un tube contenant le liquide caloporteur. Le tube est lui-même surmonté d'un miroir secondaire permettant de bien rediriger les rayons.	

5.2 Centrale géothermique

Une **centrale géothermique** produit de l'électricité grâce à la chaleur de la terre.

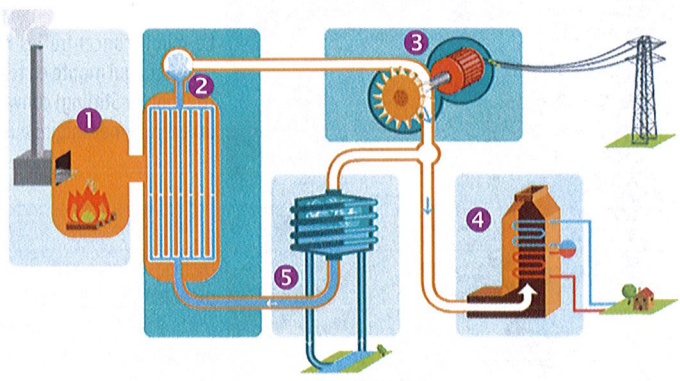
- L'eau de pluie ou de mer s'infiltre dans les fractures de la croûte terrestre et constitue un réservoir (nappe aquifère) à haute pression et haute température (150 à 350 °C).
- Grâce à un forage, l'eau est pompée. Pendant sa remontée, elle perd de la pression et se transforme en vapeur.
- La pression de cette vapeur fait tourner une turbine entraînant un alternateur qui produit de l'énergie électrique.



5.3 Centrale biomasse

La **biomasse** est l'énergie récupérable des matières organiques d'origine animale ou végétale. Deux procédés sont utilisés :

- la **bioénergie** : combustion de la matière (résidus de bois, paille, canne à sucre, ...) ;
- le **biogaz** (méthanisation) : fermentation des matières organiques pour en collecter le **méthane** (décharge, déchets organiques, ...).



La chaleur produite par la combustion ❶ va chauffer un réservoir d'eau ❷. La vapeur produite est dégagée à haute pression entraînant une turbine et un alternateur ❸. Ce dernier produit l'énergie électrique. Ensuite, soit la vapeur encore chaude chauffe de l'eau qui servira au chauffage d'habitation (cogénération) ❹, soit elle est refroidie et réinjectée ❺.

6 Stockage

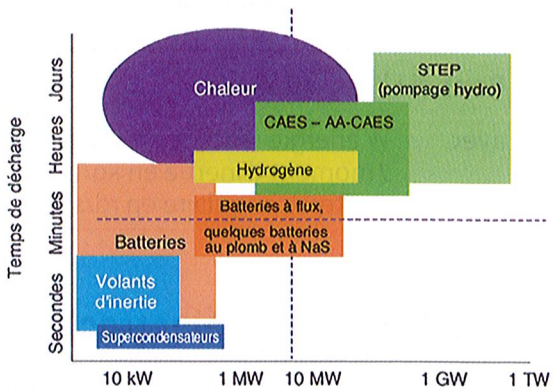
6.1 Le stockage de l'énergie

Le stockage de l'énergie concerne principalement les énergies électrique et thermique. Ce stockage permet de récupérer la surproduction, de palier à une production intermittente (solaire, éolien…) et de répondre aux pics de consommation.

6.2 Les technologies actuelles

Il existe 4 catégories de stockage massif en fonction du type d'énergie :

- **Énergie mécanique** (potentielle ou cinétique) : stockage gravitaire par pompage (STEP) ; stockage par air comprimé (CAES) ; volant d'inertie.
- **Énergies électrochimique et électrostatique** : batterie ; supercondensateur (voir leçon 12).
- **Énergies thermique et thermochimique :** chaleur sensible ; chaleur latente.
- **Énergie chimique :** hydrogène ; méthanisation …



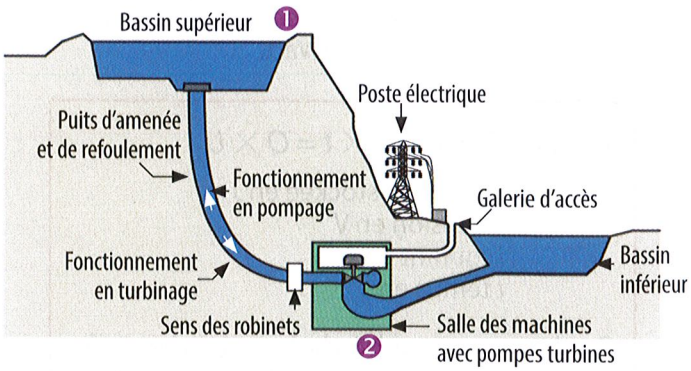
Différentes technologies de stockage en fonction de leur puissance de stockage (capacité) et du temps de décharge (autonomie)

6.3 Stockage mécanique de l'énergie par pompage (STEP)

Dans une **STEP (Station de Transfert d'Énergie par pompage)**, lors d'excès de production d'électricité, l'eau du bassin inférieur est pompée vers le bassin supérieur ❶ qui va donc stocker de l'énergie potentielle.

Lorsque la demande d'énergie le nécessite, l'eau du bassin supérieur est lâchée et il y a production d'énergie électrique ❷.

Cette technologie nécessite des installations conséquentes et un contexte géographique spécifique.



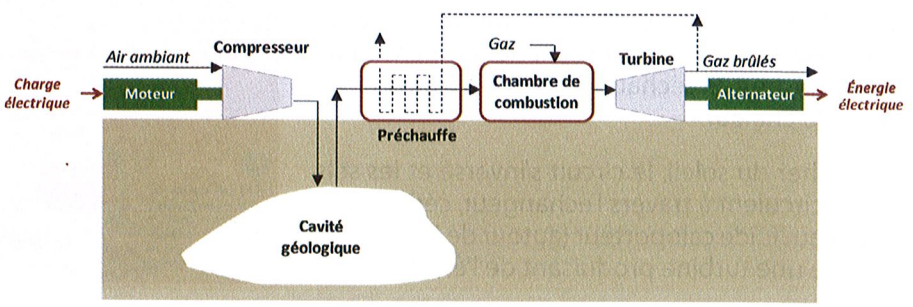
D'autres approches géographiques sont également à l'étude comme l'installation de STEP en bord de mer avec un réservoir positionné au-dessus d'une falaise, la création d'îles ou de digues artificielles en offshore.

6.4 Stockage mécanique de l'énergie par air comprimé (CAES)

Le **CAES (Compressed Air Energy Storage)** est un mode de stockage d'énergie potentielle par air comprimé.

Pour comprimer l'air, le système utilise de l'énergie électrique (surproduction, heures creuses). L'air comprimé est stocké dans des réservoirs tels que des cavités souterraines.

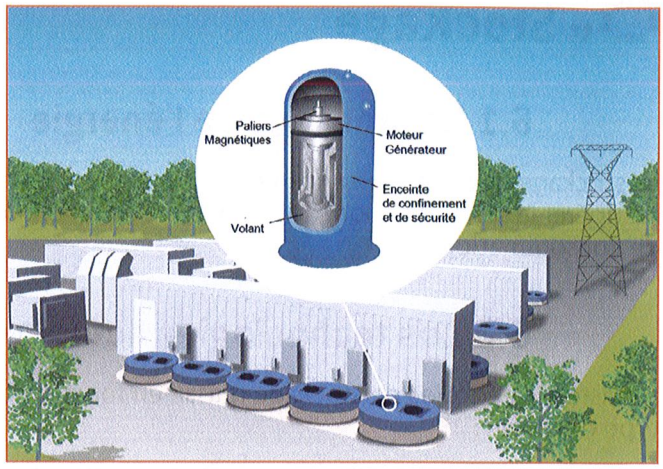
Lors d'une forte demande en énergie électrique, l'air comprimé est déstocké vers la chambre de combustion. Le mélange en sortie entraîne une turbine et un alternateur produisant de l'énergie électrique.



6.5 Stockage mécanique par volant d'inertie

Ce système emmagasine de l'**énergie cinétique** en faisant tourner à très grande vitesse (de 8 000 à 25 000 tr/min) une masse (jusqu'à 1 000 kg) autour d'un axe. Le **volant d'inertie** est accéléré ou freiné par un moteur-générateur électrique qui permet ainsi d'effectuer les charges et décharges du système.

Les volants d'inertie sont principalement utilisés dans le stockage stationnaire pour répondre à des demandes de puissance importantes sur de courtes durées.



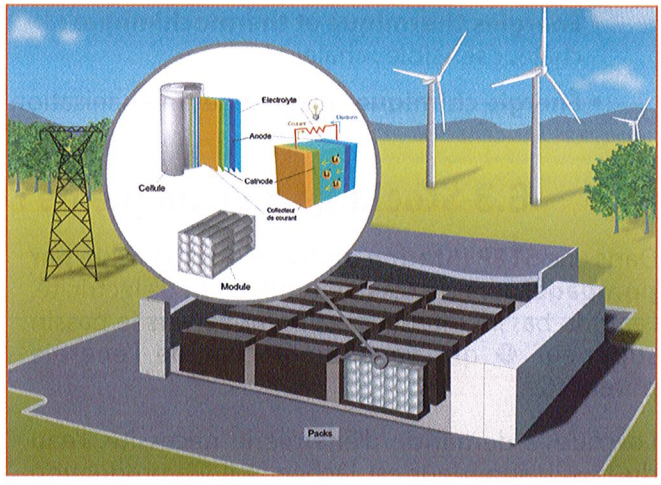
Rappel : $W = ½\, J \times \Omega^2$

avec W énergie stockée en Joule
J moment d'inertie en kg/m²
Ω vitesse angulaire en rd/s

6.6 Stockage électrochimique de l'énergie

Le principe de ce stockage repose sur la conversion de l'énergie électrique en **énergie chimique**. Les **batteries** utilisées comme réserve massive d'énergie peuvent délivrer une puissance pendant quelques heures ou sur plusieurs jours et résister à un certain nombre de cycles de charge/décharge.

Actuellement, des batteries sodium-souffre, lithium-ion ou batteries à flux sont testées pour permettre des stockage de l'ordre du MégaWatt.



Rappel : $W = U \times I \times t = Q \times U$

avec W énergie stockée en J
U tension en V
I courant en A
t temps en s

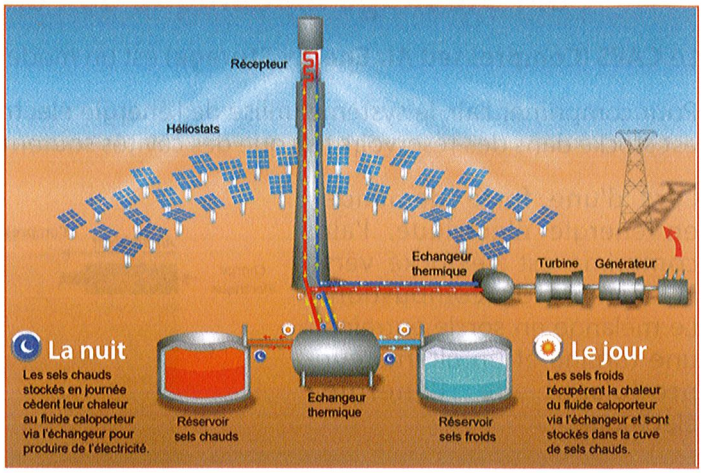
$Q = I \times t$ = capacité de la batterie en As

6.7 Stockage thermique de l'énergie par chaleur sensible

La **chaleur sensible** est une quantité d'énergie échangée entre deux corps sans changement d'état mais avec changement de température.

Dans le cas d'une **centrale thermodynamique**, il s'agit de stocker la chaleur emmagasinée au cours de la journée d'ensoleillement. Le fluide caloporteur circule dans un échangeur thermique, ce qui permet de réchauffer des sels froids et de stocker la chaleur.

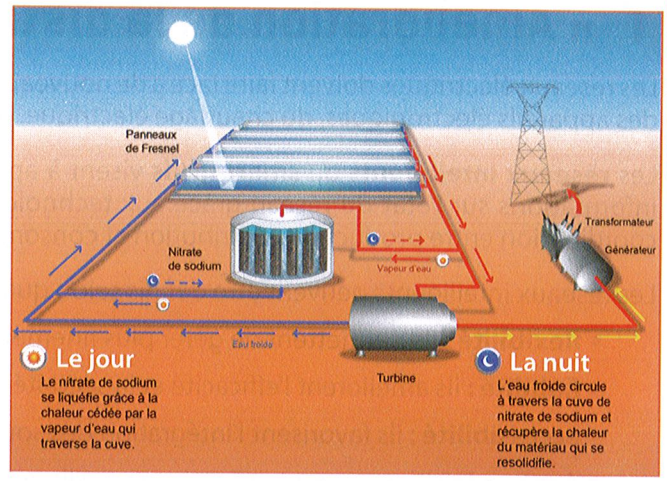
Au coucher du soleil, le circuit s'inverse et les sels chauds circulent à travers l'échangeur, cédant leur chaleur au fluide caloporteur (autour de 500 °C) qui alimente une turbine produisant de l'électricité.



6.8 Stockage thermique de l'énergie par chaleur latente

Les **matériaux à changement de phase (MCP)** sont des matériaux qui absorbent ou restituent une quantité d'énergie importante (**chaleur latente**) lors de leur **changement d'état** (passage des états solide à liquide et de liquide à gazeux). Cet apport d'énergie est utilisé pour chauffer un **liquide caloporteur**. Les matériaux utilisés sont certains métaux, certains acides gras ou paraffines ou certains sels hydratés.

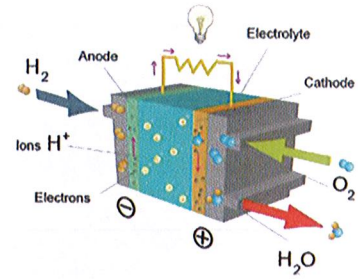
Une installation classique consiste à mettre le MCP dans un grand réservoir au milieu duquel passent des tubes pour transporter le fluide caloporteur.



6.9 Stockage de l'énergie chimique

Les systèmes de stockage d'énergie basés sur l'**hydrogène** utilisent un électrolyseur fonctionnant pendant les périodes de faible consommation d'énergie électrique. Il décompose l'eau en oxygène et en hydrogène. Ce dernier est ensuite comprimé, liquéfié et stocké.

On réutilise ensuite cet hydrogène afin de réinjecter de l'énergie électrique sur le réseau (pile à combustible, centrale à gaz).



6.10 Synthèse des technologies de stockage massif d'énergie

	Puissance (MW)	Capacité (MWh)	Temps de décharge (h)	Efficacité (%)	Nombre de cycles	Durée de vie (années)	Investissement (€/kWh)
STEP	30 – 2 000	1 000 – 20 000	6 – 24	70 – 85	> 13 000	> 40	50 à 150
CAES	10 – 300	120 – 1 800	5 – 24	50 – 70	> 13 000	> 35	50 à 150
Volant d'inertie	10			85 – 95			
Batteries Li-ion	1 – 50	< 100	0,2 – 4	85 – 95	10 000		500 à 1 500
Batteries à flux	0,2 – 5	< 200	10 s à 5 h	70 – 80	14 000	10 à 20	100 à 500
Chaleur sensible	4 – 100	40 000	6 – 12	75	> 10 000		50 à 150
Chaleur latente	10	100		85		> 15	
Hydrogène	10 – 1 000	10 – 10 000	Quelques heures	40		25	< 1 000

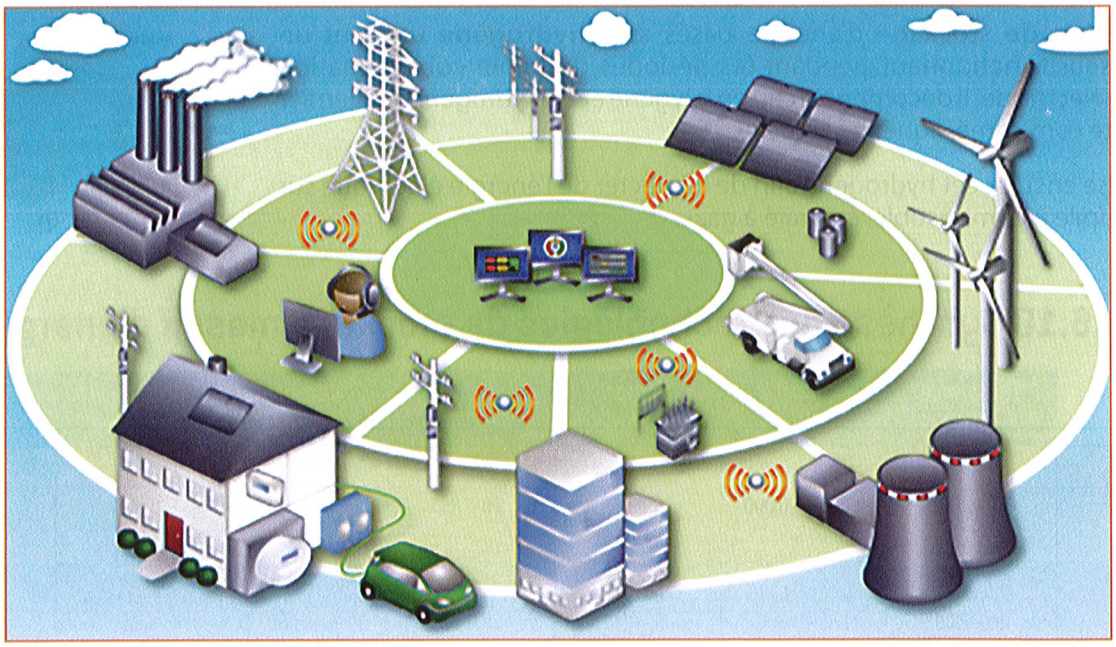
Amélioration de la distribution : les smart grids

Les réseaux électriques doivent faire face à de nouveaux besoins en énergie (développement de la climatisation, des appareils électroniques, du chauffage électrique, de la voiture électrique ou des pompes à chaleur ...).

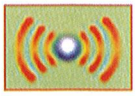
Les **réseaux intelligents** ou **smart grids** visent à apporter une réponse à ces contraintes. En collectant des informations sur l'état du réseau grâce aux technologies numériques, ils contribuent à l'amélioration de la coordination entre production, distribution et consommation.

Les réseaux intelligents peuvent être définis selon quatre caractéristiques en matière de :

- **flexibilité :** ils permettent de gérer plus finement l'équilibre entre production et consommation ;
- **fiabilité :** ils améliorent l'efficacité et la sécurité des réseaux ;
- **accessibilité :** ils favorisent l'intégration des sources d'énergies renouvelables sur l'ensemble du réseau ;
- **économie :** ils apportent, grâce à une meilleure gestion du système, des économies d'énergie et une diminution des coûts (à la production comme à la consommation).



Un smart-grid permet :



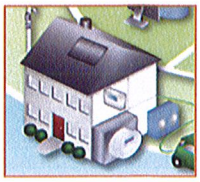
Un contrôle des flux en temps réel : des capteurs installés sur l'ensemble du réseau indiquent instantanément les flux électriques et les niveaux de consommation.



L'interopérabilité des réseaux : par l'échange instantané d'informations, les smart grids favorisent une interopérabilité entre les gestionnaires du réseau de transport et ceux du réseau de distribution.



L'intégration des énergies renouvelables au réseau : les réseaux intelligents reposent sur un système d'information qui permet de prévoir à court et à long terme le niveau de production et de consommation. Les énergies renouvelables qui fonctionnent souvent par intermittence et de façon peu prévisible peuvent ainsi être mieux gérées.



Une gestion plus responsable des consommations individuelle : les compteurs communicants sont les premières versions d'application du réseau intelligent. Installés chez les consommateurs, ils fournissent des informations sur les prix, les heures de pointe de consommation, la qualité et le niveau de consommation d'électricité du foyer. De leur côté, les opérateurs du réseau peuvent détecter plus vite les pannes.

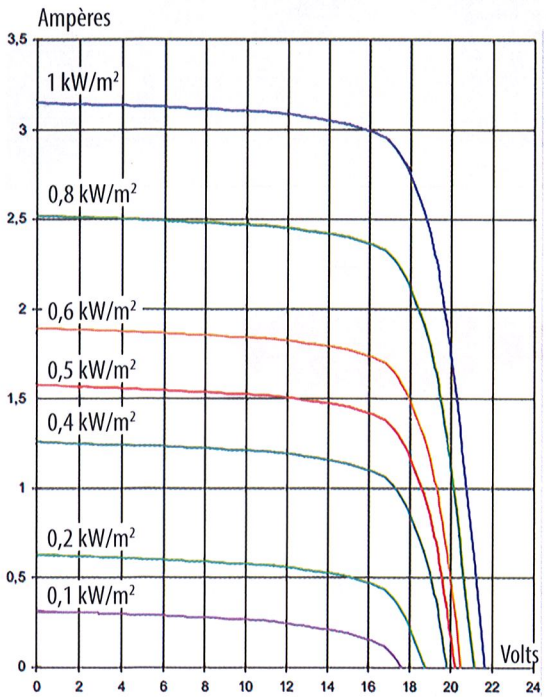
Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 14 TD

PRODUCTION ET STOCKAGE DE L'ÉNERGIE

Activité 1. Centrale photovoltaïque

On désire réaliser une centrale photovoltaïque fournissant un courant de 28 A sous une tension de 120 V. La documentation des panneaux photovoltaïques utilisés est donnée ci-dessous (dimensions des panneaux 1 042 x 462 mm).



1. Donner les valeurs des tension et courant pour une puissance maximale du panneau pour une irradiance solaire de 1 000 W/m².

.....

2. Pour augmenter la tension, il faut :

☐ câbler des panneaux en série,

☐ câbler des panneaux en parallèle.

3. Pour augmenter le courant, il faut :

☐ câbler des panneaux en série,

☐ câbler des panneaux en parallèle.

4. Combien faut-il de panneaux en série pour satisfaire aux exigences de la centrale ?

.....

5. Combien faut-il de panneaux en parallèle pour satisfaire aux exigences de la centrale ?

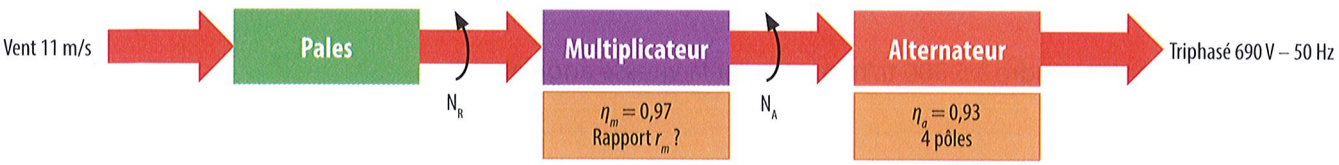
.....

6. Combien de panneaux faut-il au total pour réaliser la centrale ? .....

7. Quelle surface vont occuper les panneaux ? .....

Activité 2. Étude d'une éolienne

Une éolienne tripale de diamètre 100 m est soumise à un vent v de 11 m/s. Elle présente un coefficient de performance Cp de 0,47. Le schéma bloc de cette éolienne est le suivant.



1. En utilisant la courbe $Cp = f(\lambda)$ du cours, donner la valeur λ de cette éolienne. .....

2. Calculer la vitesse de rotation N_R des pales. .....

3. Quelle doit être la vitesse de rotation N_A de l'alternateur ? .....

4. En déduire le rapport r_m du multiplicateur. .....

5. Calculer la surface A balayée par l'éolienne. .....

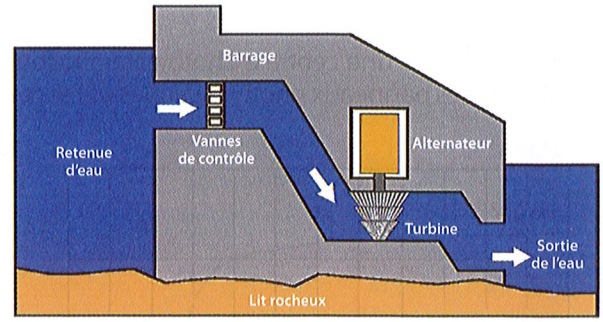
6. Calculer la puissance mécanique $P_{méca}$ sur le rotor. .....

.....

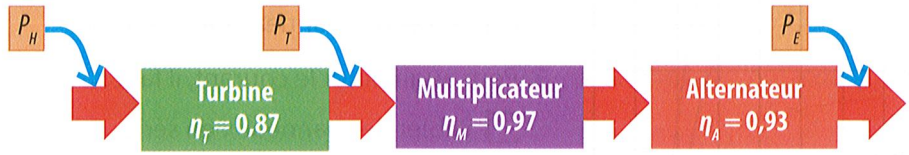
7. Calculer la puissance électrique en sortie de l'éolienne. .....

Activité 3 - Centrale hydraulique

Une centrale hydroélectrique a une hauteur de chute d'eau de 200 m et fournit une puissance électrique P_E de 450 kW.



Le schéma bloc est le suivant.



1. Calculer la puissance P_T que doit fournir la turbine. .....

2. Calculer la puissance hydraulique P_H nécessaire. .....

3. À l'aide du cours et de la valeur de P_T, choisir le type de turbine à utiliser et donner son débit.

.....

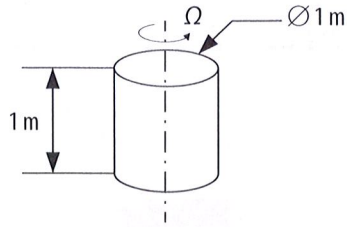
4. Un lâché de 5 000 m³ est réalisé. Calculer le temps en h que dure ce lâché. .....

.....

5. Quelle est, dans ces conditions, l'énergie fournie par la centrale ? .....

Activité 4 - Volant d'inertie

Pour réaliser un volant d'inertie, on utilise un cylindre plein en acier (masse volumique $\rho = 7\,850$ kg/m³) représenté ci-contre.



1. Calculer la masse m du cylindre. .....

.....

2. On fait tourner le cylindre à 5 300 tr/min, calculer la vitesse angulaire Ω.

.....

3. Calculer la valeur du moment d'inertie du cylindre (rappel : $J = ½\ m \times r^2$).

.....

4. Calculer l'énergie emmagasinée par le volant d'inertie en Joule et en kWh.

.....

5. Calculer la densité énergétique en Wh/kg de ce système. .....

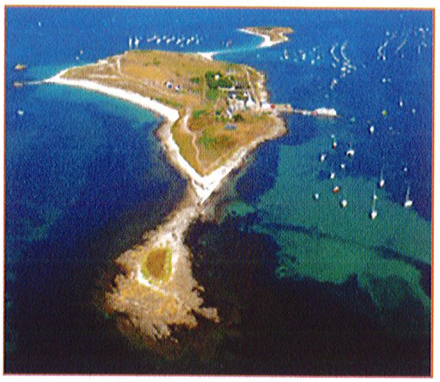
Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 14 ÉTUDE DE CAS

AUTONOMIE ÉNERGÉTIQUE D'UNE ÎLE

Problématique : Suivre les transferts d'énergie, au long d'une journée type, dans un système hybride d'alimentation d'un site isolé. Vérifier l'autonomie énergétique du site.

1. Présentation générale



Une île de l'Atlantique, habitée uniquement l'été, est un paradis pour les touristes. Son infrastructure d'accueil est composée de deux restaurants, d'un hôtel et d'un club de plongée.

Un système de pompage et de désalinisation de l'eau de mer permet d'avoir de l'eau douce.

Afin de préserver l'écosystème, la production d'énergie est réalisée à partir d'un système hybride (éolien, solaire, diesel).

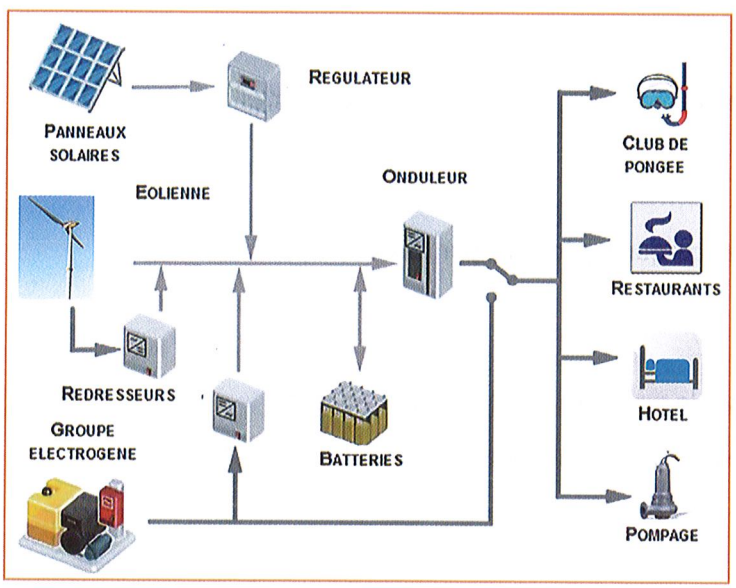
Données climatiques moyennes pour une journée type du mois d'août

Heure	Ensoleillement en W/m²	Vitesse du vent en m/s
1	0	6,3
2	0	6,1
3	0	5,9
4	0	7,1
5	0	8,3
6	12	7,3
7	151	5,9
8	315	6,6
9	484	6,1
10	603	6,8
11	743	7
12	809	7,5

Heure	Ensoleillement en W/m²	Vitesse du vent en m/s
13	833	8,3
14	805	9
15	725	7,8
16	603	7,8
17	450	6,8
18	280	8
19	119	7,2
20	5	6,6
21	0	5,5
22	0	4,9
23	0	4
24	0	3

Synoptique de l'installation

- Sur le synoptique ci-dessous, tracer en **bleu** les liaisons parcourues par un courant alternatif et en **vert** les liaisons parcourues par un courant continu.



2. Étude de l'éolienne

L'installation est composée d'une éolienne dont les caractéristiques sont données ci-dessous.

Grandeurs	Valeurs
Performances	
Puissance nominale	15 kW
Vitesse du vent de démarrage	4,5 m/s
Vitesse du vent pour la puissance nominale	7 m/s
Vitesse du vent maximal de service	60 m/s
Rotor	
Nombre de pales	2
Diamètre	10 m
Vitesse de rotation	140 tr/min
Multiplicateur	
Rapport	10,7
Rendement	0,92
Générateur	
Type	Asynchrone tri
Vitesse de rotation	1500 tr/min
Tension	400 V tri 50 Hz
Rendement	0,97

2.1 Justification du type d'éolienne utilisé

1. Calculer la vitesse spécifique (tip-speed) λ de l'éolienne pour son fonctionnement nominal.

.....

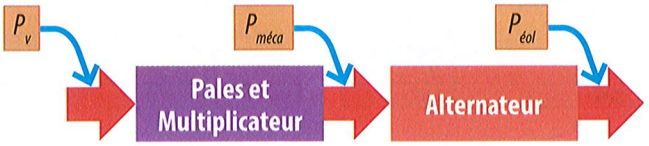
.....

2. En utilisant la courbe $Cp = f(\lambda)$ du cours, donner la valeur de Cp et justifier le choix du nombre de pales de l'éolienne.

.....

.....

2.2 Calcul de la production



1. Calculer la puissance P_v fournie par le vent à 11 h.

.....

.....

2. Calculer la puissance mécanique $P_{méca}$ fournie à l'axe du rotor.

.....

.....

3. Calculer la puissance électrique $P_{éol}$ fournie par l'éolienne.

.....

.....

4. Vérifier votre résultat sur le **graphique 1** de la page suivante.

5. Pourquoi l'éolienne ne produit-elle aucune énergie à 23 et 24 h ?

.....

.....

3. Étude des panneaux solaires

L'installation solaire comporte 200 modules de 75 Wc à 1 000 W/m² d'ensoleillement.

1. Calculer la puissance P_{sol} fournie par les panneaux solaires à 11 h.

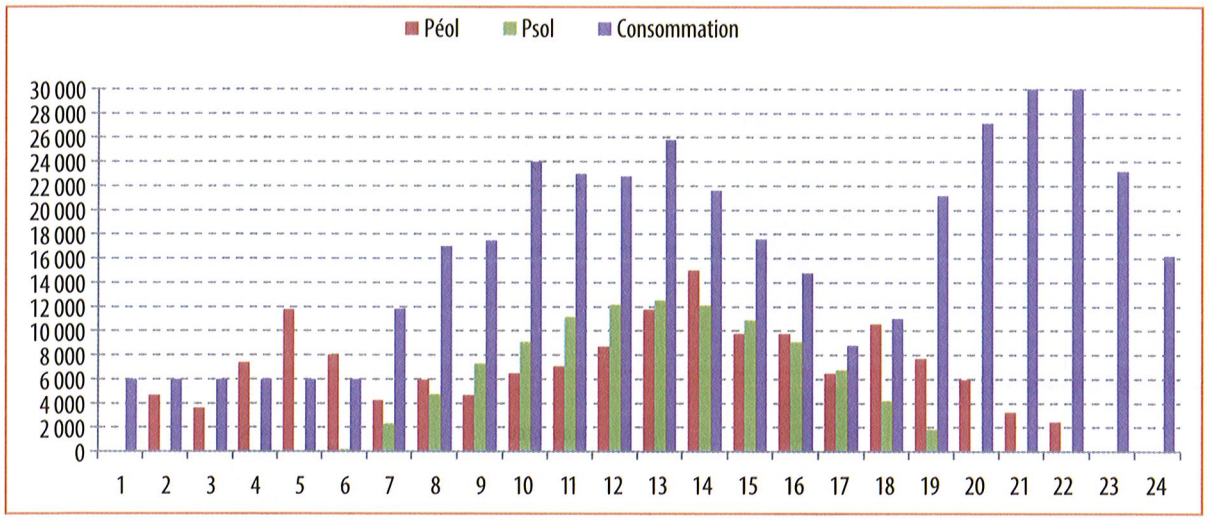
.....

.....

.....

2. Vérifier votre résultat sur le **graphique 1** ci-dessous.

Graphique 1 : Bilan des puissances produites et consommées



4. Étude des batteries

Le bilan des puissances produites et consommées sur une journée est donné ci-dessous (valeur > 0 ⇒ production > consommation ; valeur < 0 ⇒ production < consommation).

Les batteries au plomb ont une capacité de 1 500 Ah sous 240 V. Leur taux de décharge est de 80 %.

Heures	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Bilan (W)	- 6 000	- 1 325	- 2 383	1 371	5 776	2 192	- 5 305	- 6 354	- 5 565	- 8 479	- 4 791	0
Courant batterie (A)												

Heures	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Bilan (W)	- 1 529	5 489	3 049	4 019	4 426	3 745	- 11 728	- 21 204	- 29 957	- 30 777	- 23 200	- 16 200
Courant batterie (A)												

1. Compléter le tableau en donnant pour chaque heure le courant de charge (portant un signe +) ou de décharge (portant un signe -) des batteries.

2. Calculer la capacité restante de la batterie en Ah en fin de journée.

.....

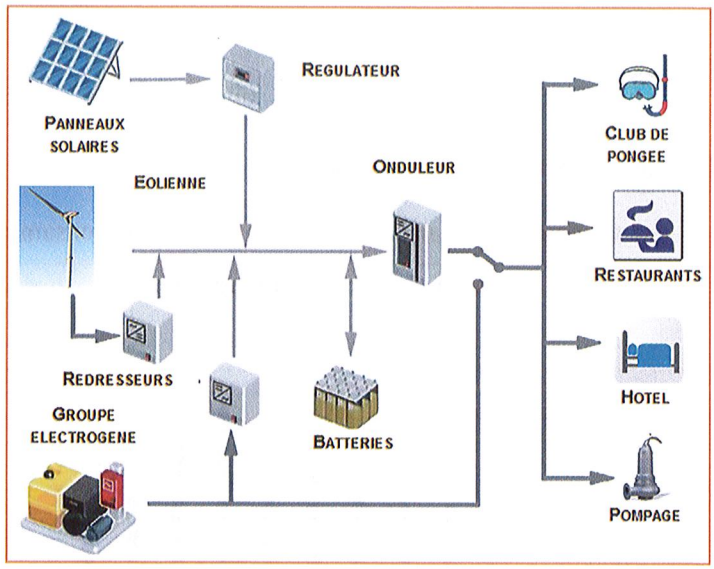
.....

.....

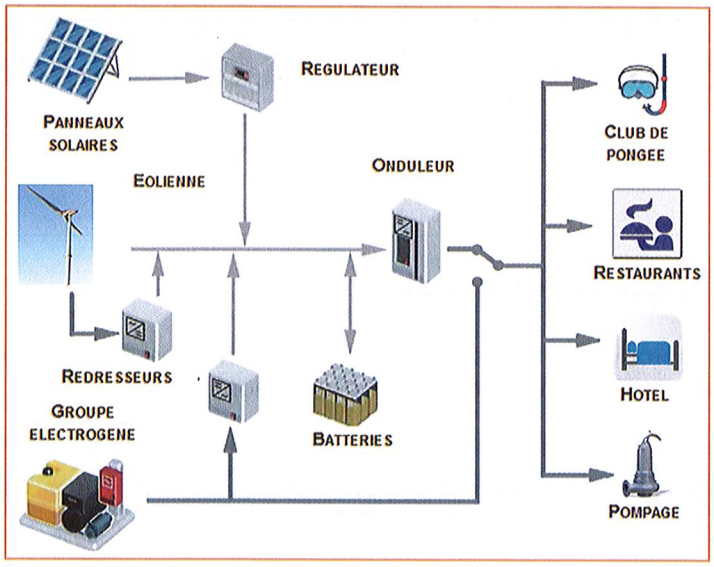
5. Trajets des énergies renouvelables

- À l'aide du **graphique 1** et du **tableau précédent**, tracer en **rouge** sur les synoptiques suivants, les trajets des énergies à 5 h, 12 h et 20 h.

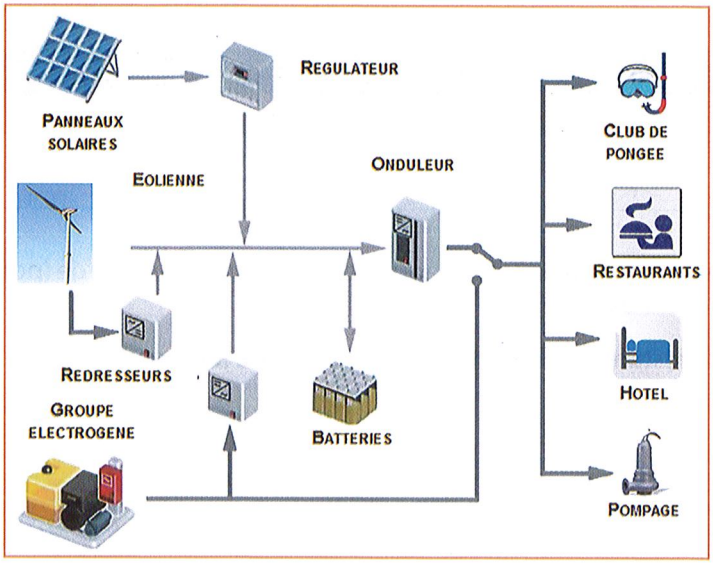
Trajets des énergies à 5 h



Trajets des énergies à 12 h



Trajets des énergies à 20 h



6. Analyse du fonctionnement

6.1 Fonctionnement en situation moyenne

1. À la vue des résultats obtenus au point **4.** l'installation peut-elle alimenter l'île sur plusieurs jours ? Justifier votre réponse.

.....

.....

2. Dans quel état de capacité devraient se trouver les batteries en fin de journée pour que l'installation soit viable ?

.....

.....

6.2 Aléas climatiques

Durant le mois concerné, certains jours, le vent n'a pas soufflé assez pour permettre un fonctionnement de l'éolienne. Dans ces conditions, l'énergie à fournir à l'installation en fin de journée s'élève à 1 300 Ah.

1. Quel élément fournit cette énergie ?

.....

2. Est-ce possible ? Justifier votre réponse

.....

.....

3. Quel autre aléa météorologique mettrait l'autonomie énergétique en péril ?

.....

6.3 Groupe électrogène

Pour pallier ces déconvenues, il est décidé de mettre en fonctionnement le groupe électrogène pendant les heures de faible consommation afin de recharger les batteries.

Un système de régulation gère le temps de fonctionnement du groupe électrogène qui ne peut excéder 6 heures.

Les batteries ont un rendement η_{bat} de 90 % ce qui se traduit par : $\eta_{bat} = \dfrac{\text{Énergie délivrée}}{\text{Énergie de recharge}}$

1. Quelles sont les heures les plus appropriées pour mettre en service le groupe électrogène ? Justifier votre réponse.

.....

.....

2. Quelle est l'énergie maximale (*Weg*) en kWh que doivent recevoir les batteries pour une charge à 1 200 Ah?

.....

.....

3. En considérant le redresseur comme parfait, et en partant sur 6 heures de fonctionnement, quelle doit être la puissance du groupe électrogène pour assurer la charge des batteries ?

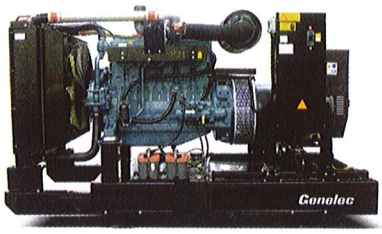
.....

.....

La relation liant la puissance apparente S en VA et la puissance active P en W est :

$$P = S \times \cos\varphi$$

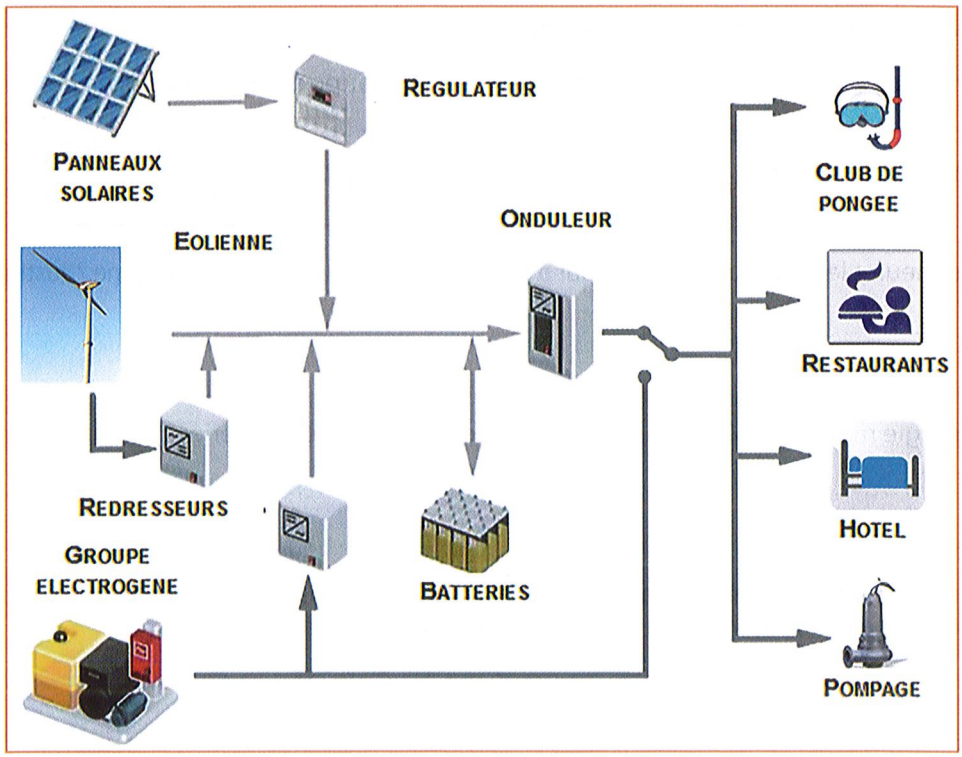
4. À l'aide de la documentation ci-dessous, donner la référence du groupe électrogène pouvant convenir pour cette installation.



Model	Engine	Power (KVA) 50 Hz S	Power (KVA) 60 Hz S	Dimensions (mm) Length	Width	Height	Weight Empty (Kg)	Tank (L)
GE NEF 45M	NEF 45 AM1A	45		2280	1100	1455	850	180
GE NEF 60 M	NEF 45 SM2A	60		2280	1100	1455	890	180
GE NEF 75 M	NEF 45 SM2A	75		2280	1100	1455	900	180
GE NEF 85 M	NEF 45 TM2A	85	100	2280	1100	1530	1080	180
GE NEF 100 M	NEF 45 TM2A	100	110	2280	1100	1530	1160	180
GE NEF 130 M	NEF 67 TM3A	130	145	2850	1170	1700	1300	330
GE NEF 160 M	NEF 67 TM3A	160	170	2850	1170	1700	1340	330
GE NEF 200 E	NEF 60 TE2A	200	225	2850	1170	1700	1470	330
GE CURSOR 250 ED	CURSOR 87 TE1D	250	270	3125	1280	1890	1950	500
GE CURSOR 300 ED	CURSOR 10 TE1D	300	330	3535	1280	1890	1970	500
GE CURSOR 350 EA	CURSOR 13 TE2A	350	380	3535	1280	1968	2650	500
GE CURSOR 400 EA	CURSOR 13 TE3A	400	420	3535	1280	1968	2780	500
GE VECTOR 720 E	VECTOR 8	720	800	3535	1490	2294	4160	500

$$\cos\varphi = 0{,}8$$

5. Sur le synoptique suivant, tracer en **rouge** les trajets des énergies entre 1 h et 6 h.

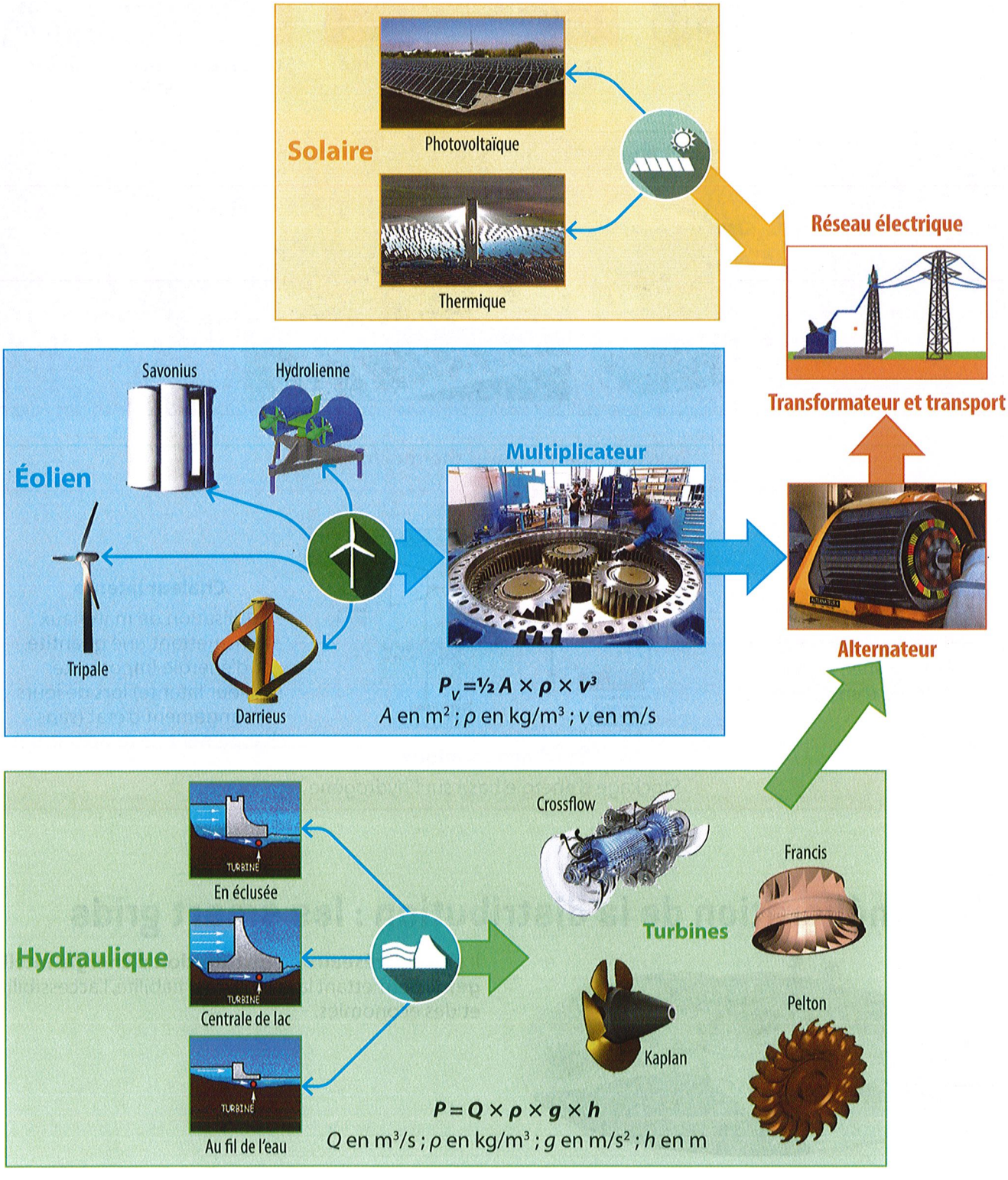


SÉQUENCE 14 SYNTHÈSE

CE QU'IL FAUT RETENIR DE LA SÉQUENCE

Le mix énergétique électrique basé sur les énergies renouvelables comprend les éléments suivants.

1. La production



2. Le stockage

Le stockage permet de récupérer la surproduction, de palier à une production intermittente (solaire, éolien…), de répondre aux pics de consommation.

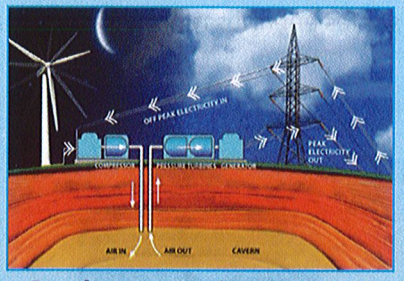
Stockage mécanique

Stockage par volant d'inertie

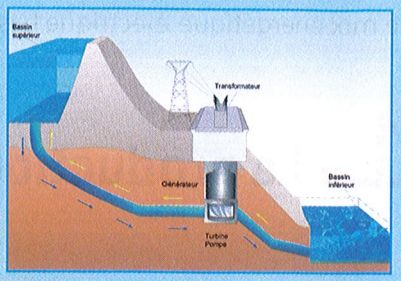
$W = ½ J \times \Omega^2$

W en J ; J en kg/m² ; Ω en rd/s





Stockage par air comprimé CAES



Station de transfert d'énergie STEP

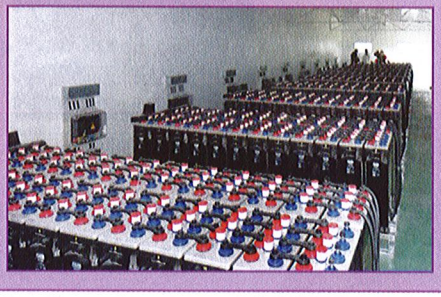
Stockage électrochimique et électrostatique

Supercondensateur

$W = ½ C \times U^2$

W en J ; C en F ; U en V





Batterie

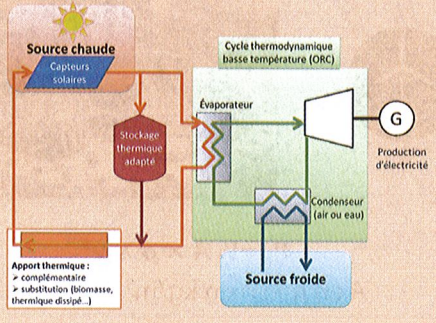
$W = U \times I \times t = Q \times U$

W en Wh ; U en V ; I en A ; t en h ; Q en Ah

Stockage thermique et thermochimique

Chaleur sensible

Stockage de la chaleur emmagasinée au cours de la journée d'ensoleillement



Chaleur latente

Utilisation de matériaux transmettant une quantité d'énergie importante (chaleur latente) lors de leurs changement d'état (sans changement de température)

Stockage chimique

Stockage d'énergie basé sur l'hydrogène

3. Amélioration de la distribution : les smart grids



Il s'agit de **réseaux de distribution d'énergie intelligents** permettant la flexibilité, la fiabilité, l'accessibilité et des économies.

SÉQUENCE 15 LEÇON

RÉSEAUX INFORMATIQUES

LIAISON RÉFÉRENTIEL

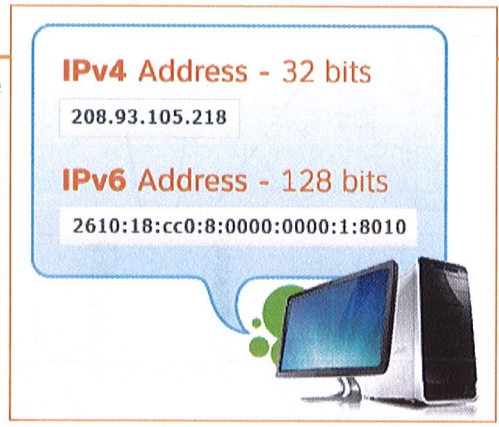
2.2.2 Représentations symboliques – Encapsulation des données ;

3.2.4 Transmission de l'information, réseaux et Internet : Transmissions de l'information (modulations) ; Modèle en couches des réseaux, protocoles et encapsulation des données ; Adresse physique (MAC) du protocole Ethernet et adresse logique (IP) du protocole IP ; lien adresse MAC/IP protocole ARP ; Architecture client serveur : protocoles FTP et HTTP ; Gestion d'un nœud de réseau.

1. Situation déclenchante

DOC. IPv4 contre IPv6

Une adresse IPv4 prend la forme de quatre nombres (allant de 0 à 255) séparés par des points. En 1998, l'IPv6, protocole destiné à remplacer à terme l'IPv4, a été adopté comme nouveau standard. Plus long, mêlant chiffres et lettres de A à F (*exemple* : 2a01 : eac1 : 2e18 : 5587 : 5add : 35ff : fe72 : a70e), l'IPv6 permet d'avoir bien plus d'adresses IP – et donc d'appareils – connectés à Internet en même temps.



Le protocole IPv4 permettait d'avoir un peu plus de 4 milliards d'adresses pouvant être attribuées simultanément, contre 340 milliards de milliards d'adresses avec le protocole IPv6. Aujourd'hui, il y a plus de 15 milliards d'appareils connectés à Internet, ce qui est possible grâce notamment aux box qui économisent les adresses IP, en donnant la même adresse à tous les appareils connectés du foyer. Or, selon le géant américain des réseaux informatiques Cisco, il y aura en 2020 de l'ordre de 50 milliards d'appareils connectés à Internet (téléphones, montres, voitures, etc.). L'IPv6 permettra donc d'avoir un nombre quasi infini d'adresses, dont on n'est pas prêt de voir la pénurie.

Trois phases obligées

Les deux protocoles IPv4 et IPv6 sont incompatibles entre eux. En d'autres termes, un site hébergé sur un serveur configuré uniquement en IPv6 ne sera pas accessible aux ordinateurs configurés en IPv4, c'est-à-dire à l'immense majorité des ordinateurs. Donc, si la migration peut avoir lieu, ce n'est qu'en passant par trois phases : le tout IPv4 ; un système mixte IPv4 et IPv6 ; le tout IPv6. L'internaute lambda, lui, n'y verra que du feu, son utilisation d'Internet n'en sera pas sensiblement modifiée. Il n'aura certainement même pas à changer de box, car la plupart sont déjà prêtes à accueillir l'IPv6 et seront mises à jour à distance.

Le passage à l'IPv6 devrait être vraiment bénéfique pour l'utilisateur final car il rendra possible l'ouverture à la concurrence du marché d'Internet avec de bien meilleurs performances sur les transferts.

1. Calculer le nombre potentiel exact d'adresses en IPV4.

.....

2. Calculer le nombre potentiel exact d'adresses en IPV6.

.....

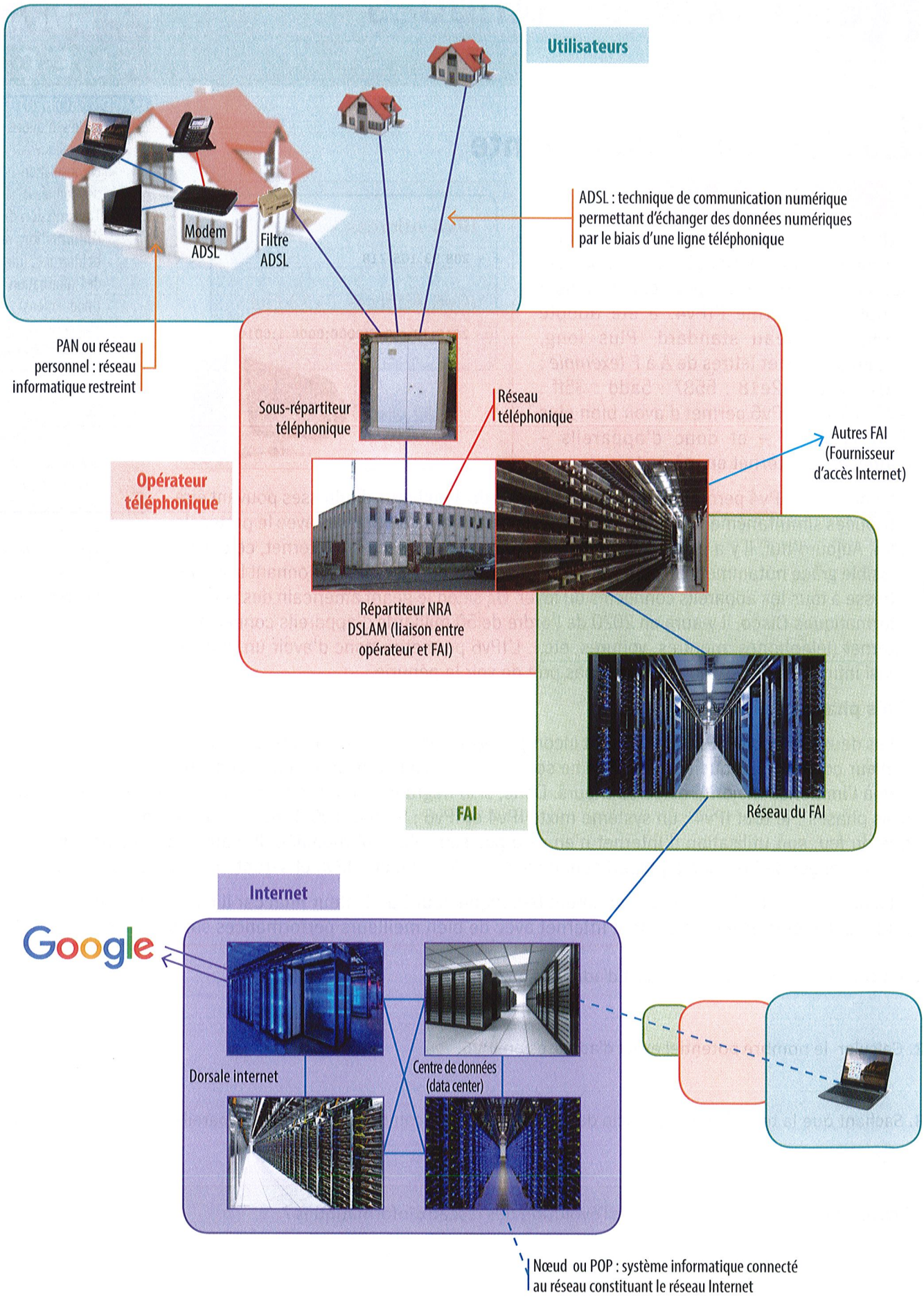
3. Sachant que la terre à une superficie de 510 100 000 km², combien cela fait-il d'appareils connectés à Internet par m² ? .....

Conclusion : Que pensez-vous de l'évolution des réseaux informatiques ?

.....

.....

2. Structure globale du réseau



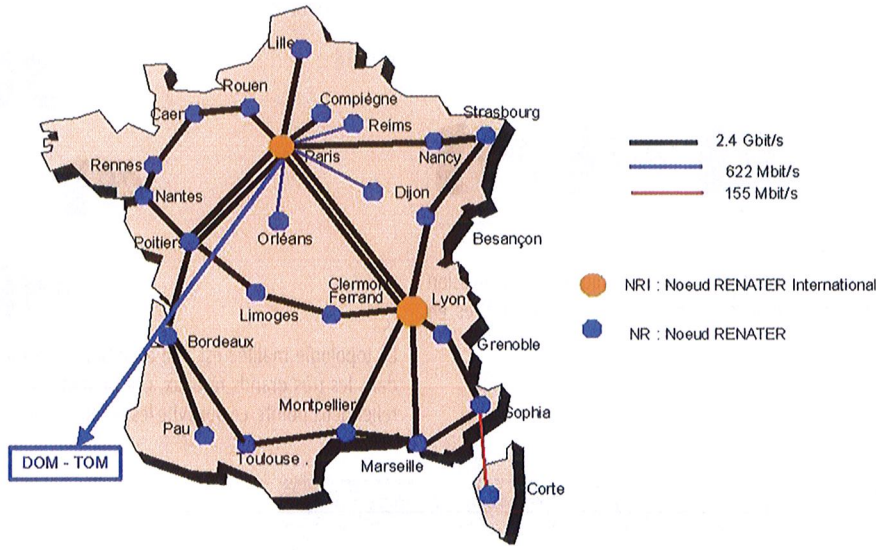
Définition des différents constituants :

DSLAM ou **Multiplexeur d'accès DSL** : appareil permettant d'assurer un service DSL sur une ligne téléphonique.

Centre de données ou Data center : site physique où sont regroupés des équipements informatiques permettant de traiter les données d'une entreprise.

Dorsale ou **backbone** : réseau informatique longue distance à très haut débit.

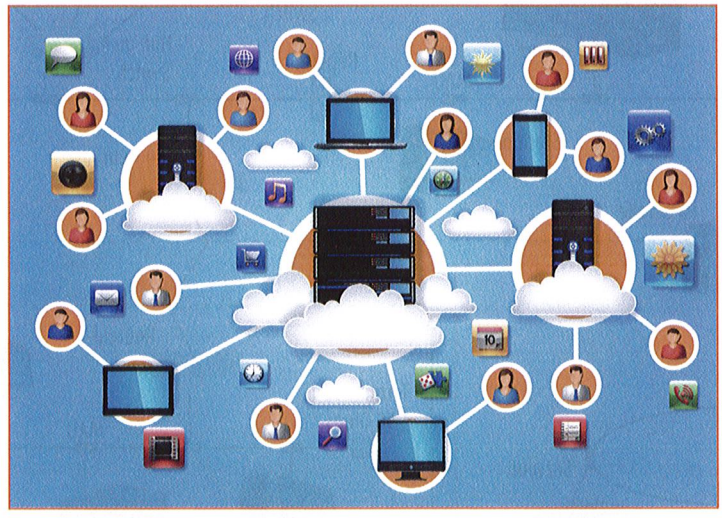
Exemple : le réseau Renater est un réseau informatique reliant les différentes universités françaises et centres de recherche. Il est relié à Internet et connecté à d'autres réseaux européens ou mondiaux.



3. Organisation des réseaux locaux

3.1 Définition

Un **réseau informatique** (computer network) regroupe un ensemble d'ordinateurs et de périphériques qui sont reliés par des supports de transmission et qui échangent des informations numériques.



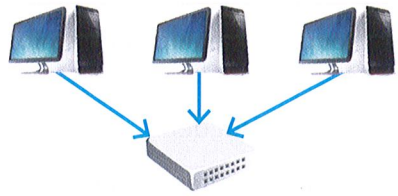
Les échanges sont régis par des **protocoles de communication** qui définissent un ensemble de règles et de procédures permettant de faire communiquer des équipements n'ayant pas les mêmes systèmes d'exploitation.

Le réseau doit permettre :

- Le partage des ressources (fichiers, applications, documents, imprimantes,...).
- La connexion avec Internet.

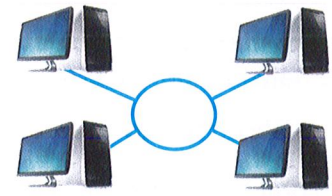
3.2 Principales topologies physiques des réseaux locaux

Étoile



Tous les équipements du réseau sont reliés à un nœud central (switch, routeur) qui assure la communication entre tous les matériels.

Anneau



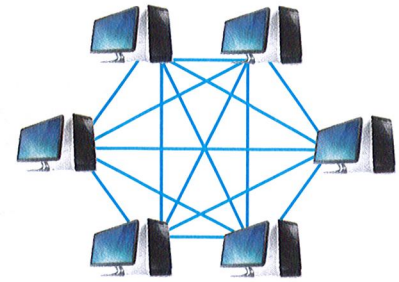
Tous les ordinateurs du réseau sont situés sur une boucle et communiquent chacun à leur tour.

Bus



Tous les équipements du réseau sont reliés à une même ligne de transmission appelée bus. Simple et facile à mettre en œuvre, ils sont très utilisés en domotique et dans les réseaux.

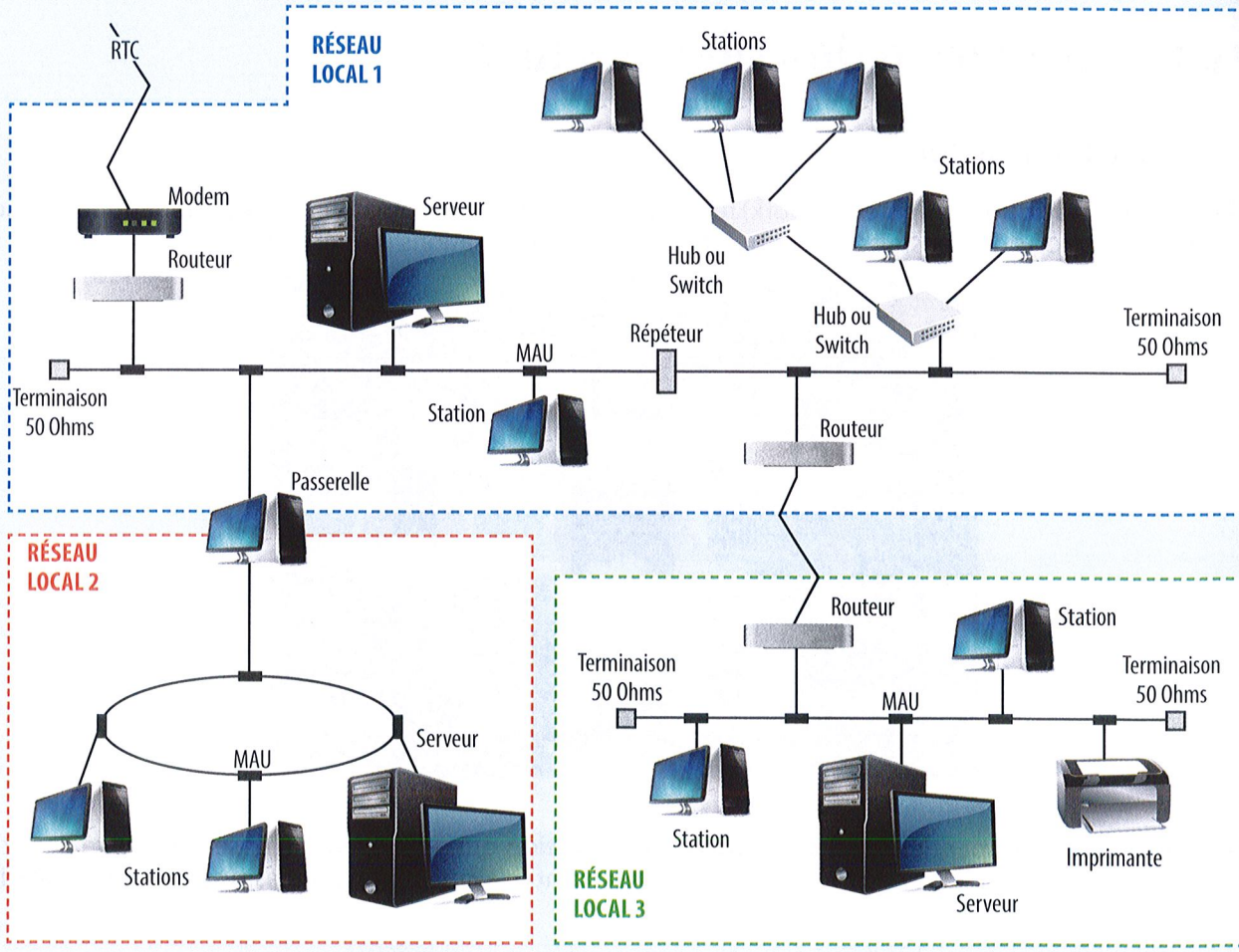
Maillé



La topologie maillée est une évolution de la topologie en étoile. Très utilisée dans les très grands réseaux, elle permet d'offrir des chemins différents pour relier deux points, ce qui évite les problèmes en cas de rupture d'une liaison.

APPLICATION 1

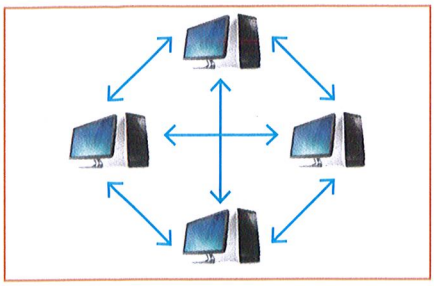
1. Identifier les principales topologies de réseaux présentes sur le schéma suivant : en **rouge**, les réseaux en étoile ; en **vert**, les réseaux par bus ; en **bleu**, les réseaux en anneaux.



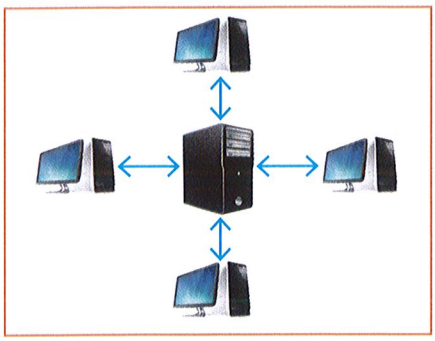
2. Ce réseau hybride est-il maillé ? ☐ Oui ☐ Non

3.3 Modes de fonctionnement

Au sein d'un réseau local, on distingue deux modes de fonctionnement.



Liaison point à point (peer to peer) : Ce mode est adapté pour les **liaisons simples** qui transportent des paquets entre deux matériels homologues. La liaison point à point permet un fonctionnement bidirectionnel simultané et une livraison des paquets dans l'ordre.



Liaison client-serveur : La liaison client-serveur désigne un mode de communication à travers un réseau entre un **client** (logiciel implanté sur un ordinateur) qui envoie des **requêtes** et un **serveur** qui attend les requêtes et y répond.

Le client correspond à la machine (ordinateur, tablette, téléphone) sur laquelle est utilisé le logiciel (navigateur web, messagerie,...). Les serveurs sont des ordinateurs ayant des performances supérieures et dédiés à **une seule fonction** (serveur web, serveur de messagerie, serveur de données,...). Ils peuvent gérer un grand nombre de requêtes simultanément.

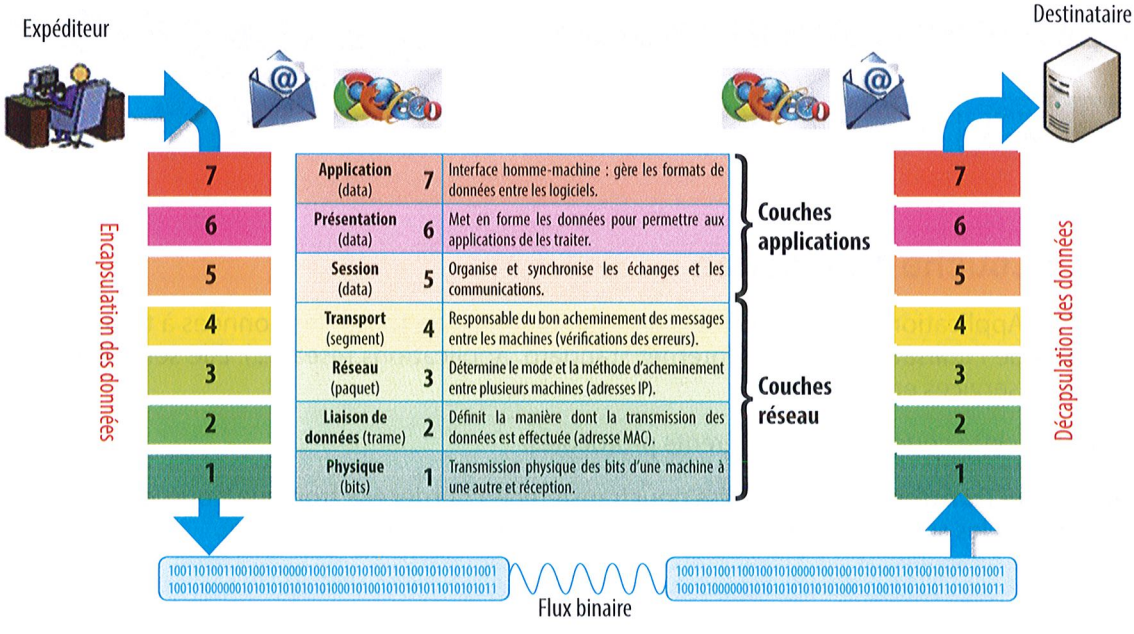
4. Communication dans un réseau local

4.1 Modèle OSI

Le modèle **OSI (Open Systems Interconnection)** gère les différentes étapes qui permettent de convertir les données issues de l'application utilisée (demande de page web, mail, ...) en séries de 0 et 1 transmis sur les réseaux.

Ce modèle est constitué de sept couches dont chacune correspond à une fonctionnalité particulière d'un réseau.

- Les trois premières couches, dites hautes ou **couches applications**, permettent le dialogue entre applications. Ce sont les couches utilisées par les internautes.
- Les quatre dernières couches, dites basses ou **couches réseau**, assurent l'acheminement des données entre équipements situés sur un même réseau ou sur des réseaux différents.

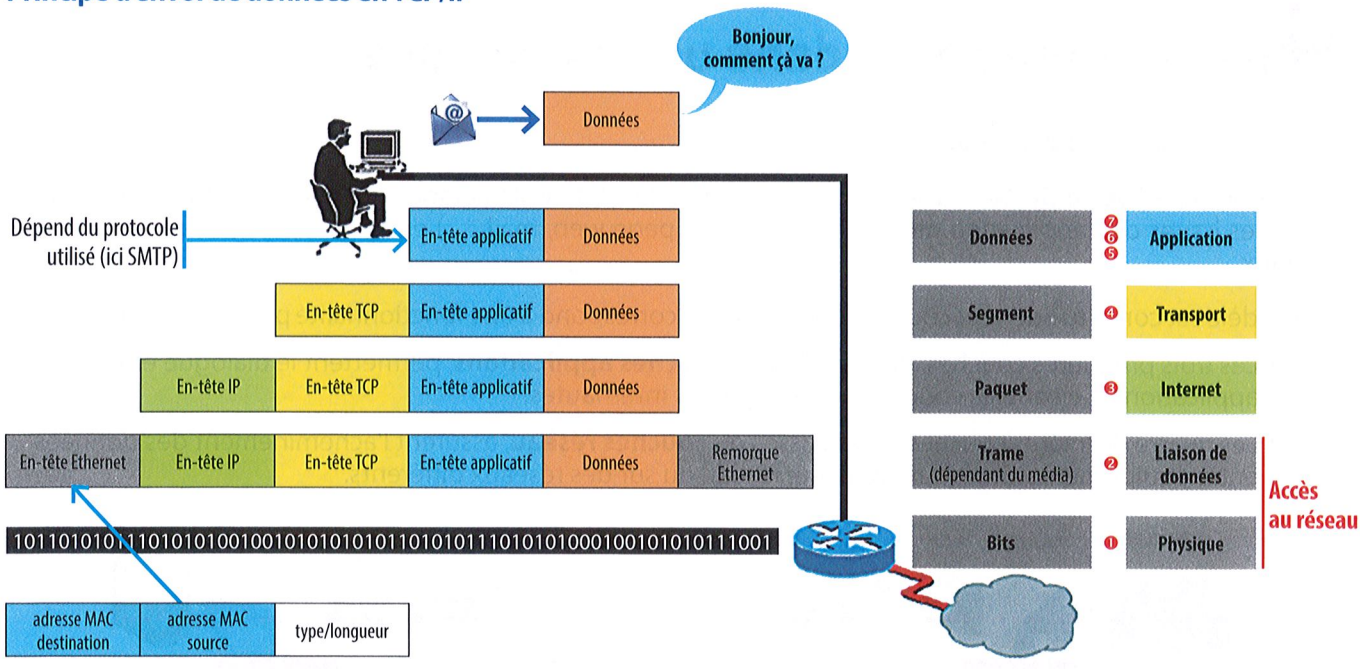


4.2 Protocole TCP/IP

Le protocole TCP/IP reprend le système OSI mais ne comporte plus que quatre couches. C'est le modèle le plus utilisé en pratique pour le transfert des données sur Internet.

Modèle OSI	Modèle TCP/IP	Fonctions assurées	Principaux protocoles utilisés
Application Présentation Session	Application	Fonctionnement des applications Web, messagerie, stockage de fichiers,....	SMTP, HTTP, DNS , DHCP, FTP, ...
Transport	Transport	Transport et intégrité des données (mise en paquets)	TCP, ...
Réseau	Internet	Routage des paquets de données	IP, ARP
Liaison de données Physique	Accès au Réseau	Mise en trames des données et contrôle du flux Codage des bits	Ethernet, ...

Principe d'envoi de données en TCP/IP



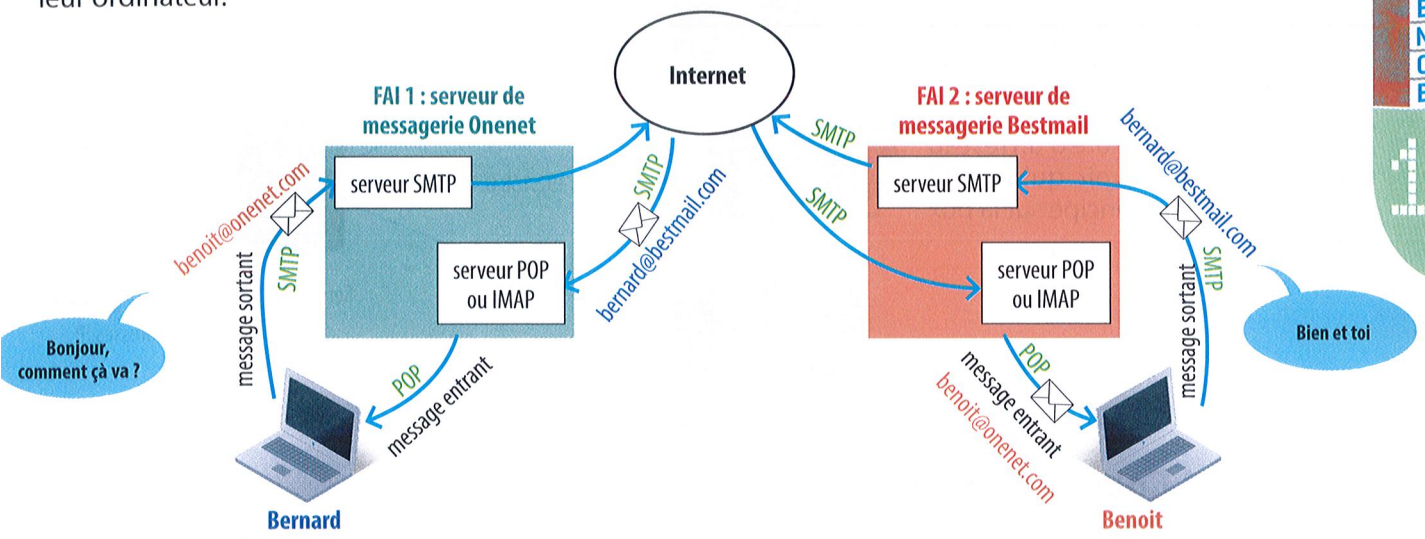
4.3 Couche Application

Rôle : La couche Application est la source et la destination finale de toutes les données à transporter. Elle gère les programmes de l'utilisateur (services Internet standard, applications réseau,...). Elle sert d'interaction entre l'utilisateur et les services en réseaux.

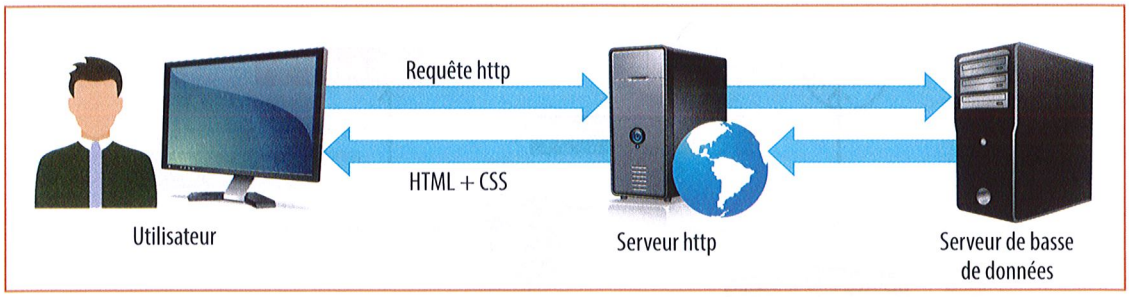
Pour fonctionner cette couche utilise différents protocoles.

SMTP *(Simple Mail Transfer Protocol)* : utilisé pour transférer le courrier électronique (courriel) depuis l'ordinateur de l'expéditeur vers les serveurs de messagerie (de l'expéditeur puis du destinataire).

POP *(Post Office Protocol)* : permet aux utilisateurs de télécharger leurs courriers électroniques, du serveur jusqu'à leur ordinateur.

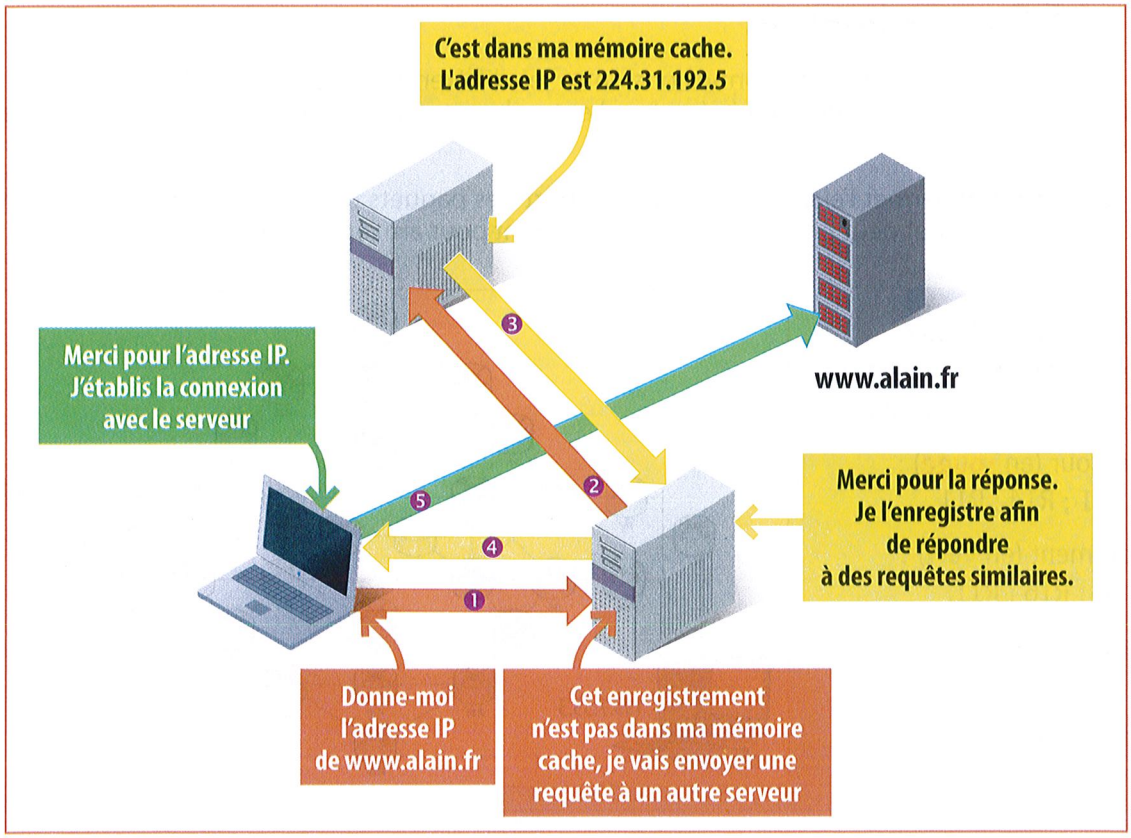


HTTP *(HyperText Transfer Protocol)* : est utilisé lors de transfert de documents ou de consultation de pages Web. La communication se fait entre la machine qui envoie des requêtes (client) et un serveur Web hébergeant des sites Internet.



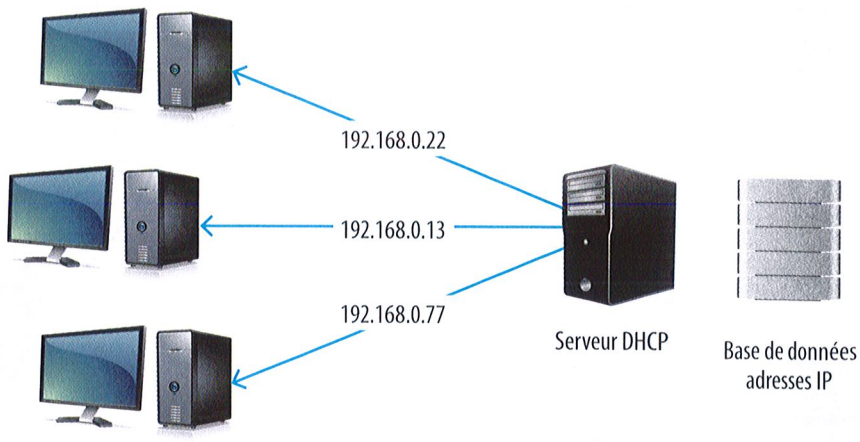
DNS *(Domain Name System)* : permet de traduire un nom de domaine en adresses IP de la machine portant ce nom.

Exemple : www.alain.fr = 224.31.192.5



DHCP *(Dynamic Host Configuration Protocol)* : assure la configuration réseau d'un appareil en lui affectant automatiquement une adresse IP et un masque de sous-réseau.

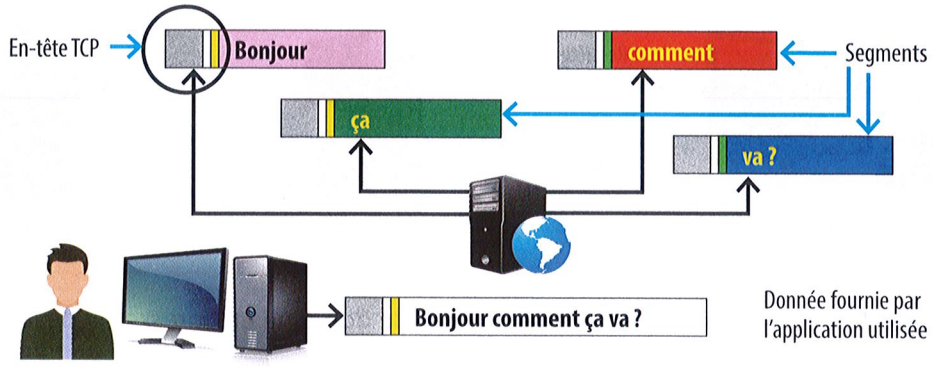
Attention ! dans le cadre d'un réseau Lan, il ne doit y avoir qu'un seul serveur DHCP (en principe sur la box routeur).



4.4 Couche Transport

Rôle : La couche Transport garantit que les données reçues sont celles qui ont été envoyées. Si une connexion est interrompue, c'est cette couche qui décide de réinitialiser la connexion et de reprendre le transfert.

TCP : Découpe les données en unités plus petites (segmentation), vérifie la réception de tous les paquets, redemande les paquets manquants, assemble les paquets reçus.



4.5 Couche Internet

a) Rôle : La couche Internet gère les connexions entre les différents nœuds (appareils) du réseau. Elle sert à acheminer les données, trouver un chemin (routage) entre deux machines qui ne sont pas sur le même support physique.

b) IP : Le **protocole IP** permet l'élaboration et le transport des paquets de données indépendamment les uns des autres. Chaque paquet peut prendre un chemin différent pour arriver à destination.

APPLICATION 2

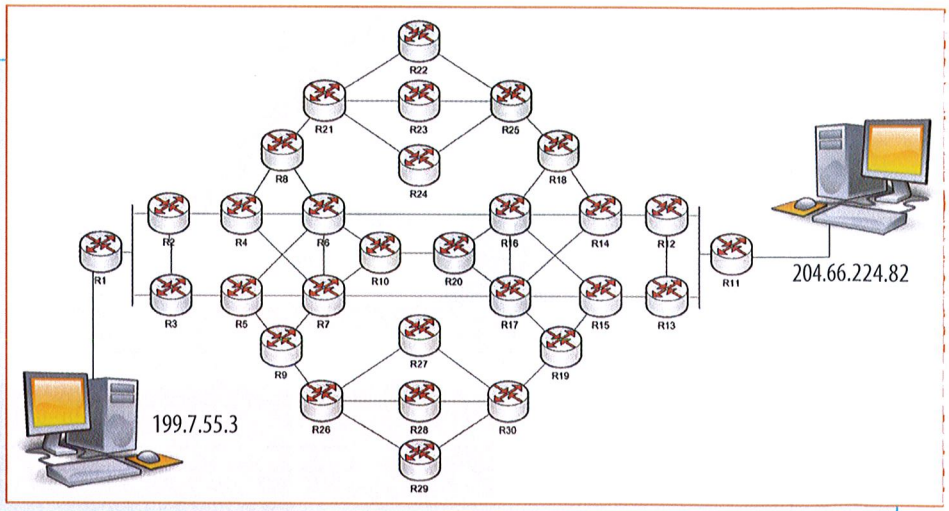
- Tracer les différents chemins pris par les paquets suivants.

  a) Bonjour (en **rouge**) :
  R1 ; R21 ; R14 ; R11.

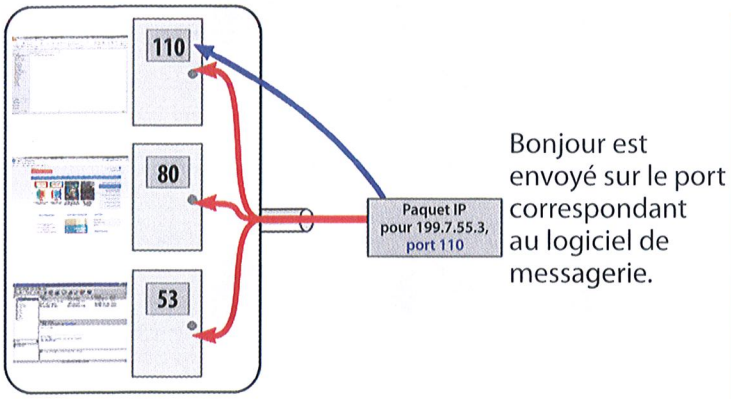
  b) comment (en **vert**) :
  R1 ; R6 ; R16 ; R11.

  c) ça (en **bleu**) :
  R1 ; R7 ; R17 ; R11.

  d) va ? (en **noir**) :
  R1 ; R29 ; R11.



c) Ports : Si plusieurs programmes (navigateur, logiciel d'email, ...) fonctionnent en même temps sur un même ordinateur, il faut que lorsqu'un paquet IP arrive, il sache à quel logiciel l'adresser. Il faut donc indiquer en en-tête du paquet le port logiciel concerné.



Bonjour est envoyé sur le port correspondant au logiciel de messagerie.

TCP : ports standards

N° port	Mot-clé	Description
20	FTP-DATA	File Transfer (Default Data)
21	FTP	File Transfer (control)
23	TELNET	Telnet
25	SMTP	Simple Mail Transfer
37	TIME	Time
42	NAMESERVER	Host Name Server
43	NICNAME	Who Is
53	DOMAIN	Domain Name Server
79	FINGER	Finger
80	HTTP	www
110	POP3	Post Office Protocol – Version 3
111	SUNRPC	SUN Remote Procedure Call

d) Adressage IP (voir Leçon 7) : Tous les ordinateurs d'un réseau doivent pouvoir communiquer entre eux, mais également avec des ordinateurs situés sur d'autres réseaux. Pour cela, chacun possède une adresse IP (unique sur son propre réseau).

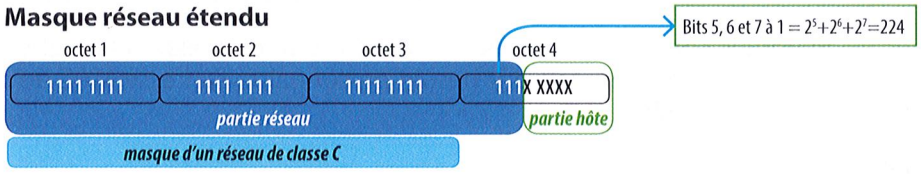
L'adresse IPv4 comporte 32 bits que l'on représente sous la forme de 4 nombres décimaux (0 à 255). Suivant la classe du réseau, on distingue deux parties dans l'adresse IP.

ID de réseau (en anglais **net-ID**) : partie des nombres situés à gauche (désigne le réseau)	**ID d'hôte** (en anglais **host-ID**) : partie des nombres de droite (désigne les ordinateurs du réseau)

Dans un réseau local (LAN), les 3 premiers chiffres caractérisent le réseau, le dernier permet de distinguer l'ordinateur dans le réseau. Le masque 255.255.255.0 isole les 3 premiers chiffres d'une adresse IP et permet de savoir si l'ordinateur fait partie du réseau.

e) Découpage en sous-réseaux d'un LAN : Dans un LAN (192.168.1.0 par exemple), le masque réseau est par défaut 255.255.255.0. Le nombre d'hôtes maximum de ce réseau est de 254.

Si l'on considère que pour un seul réseau ce nombre est trop important, il est possible de découper la plage d'adressage. Pour cela, on **réserve** 3 bits supplémentaires du 4e octet du masque réseau. De cette façon, on augmente la partie réseau de l'adresse IP et on diminue la partie hôte.

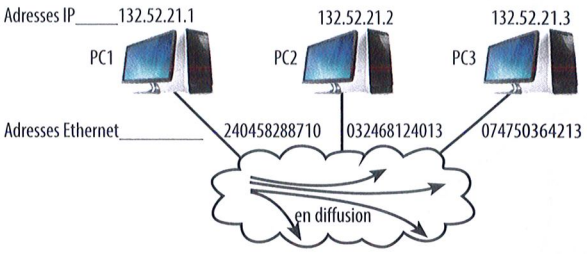


Avec les 3 bits réservés, il est possible de faire 8 combinaisons qui correspondent à 8 sous-réseaux. Avec les 5 bits restant il est possible de faire 32 combinaisons. 00000 servant déjà pour l'adresse du sous-réseau et 11111 servant pour le **broadcast** (envoi à toutes les stations du réseau), il reste donc 30 adresses d'hôtes possible par sous-réseau.

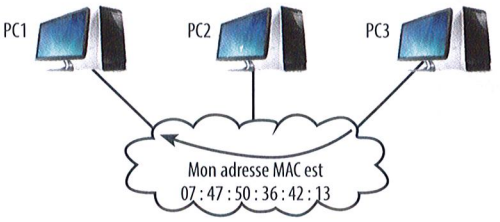
Masque	État des 3 bits	Sous-réseau	Adresse sous-réseau	Plage d'adresses	Adresse broadcast
255.255.255.224	000	Sous-réseau 0	192.168.1.0	192.168.1.1 - 192.168.1.30	192.168.1.31
	001	Sous-réseau 1	192.168.1.32	192.168.1.33 - 192.168.1.62	192.168.1.63
	010	Sous-réseau 2	192.168.1.64	192.168.1.65 - 192.168.1.94	192.168.1.95
	011	Sous-réseau 3	192.168.1.96	192.168.1.97 - 192.168.1.126	192.168.1.127
	100	Sous-réseau 4	192.168.1.128	192.168.1.129 - 192.168.1.158	192.168.1.159
	101	Sous-réseau 5	192.168.1.160	192.168.1.161 - 192.168.1.190	192.168.1.191
	110	Sous-réseau 6	192.168.1.192	192.168.1.193 - 192.168.1.222	192.168.1.223
	111	Sous-réseau 7	192.168.1.224	192.168.1.225 - 192.168.1.254	192.168.1.255

f) Protocole ARP *(Address Resolution Protocol)* : permet de connaître l'adresse matériel (MAC) d'une carte réseau correspondant à une adresse physique IP.

Le PC1 recherche l'adresse physique de la station qui possède l'adresse IP 132.52.21.3



Le PC3 répond et donne son adresse physique 07 : 47 : 50 : 36 : 42 : 13



Le **protocole ARP** interroge les machines du réseau pour connaître leur adresse matériel, puis crée une table de correspondance entre les **adresses IP** et les **adresses MAC** dans une mémoire cache.

Lorsqu'une machine connectée à un réseau doit communiquer avec une machine placée dans le même sous-réseau :

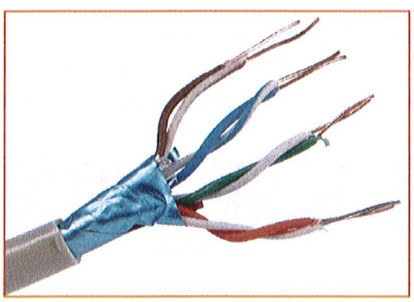
- Elle met son émission en attente.
- Elle consulte sa table de correspondance.
- Si l'adresse demandée ne se trouve pas dans sa table, elle émet une requête ARP en broadcast.
- Toutes les machines du réseau reçoivent cette requête.
- La machine qui possède la bonne adresse IP émet une réponse ARP et informe l'émetteur qu'elle possède l'adresse IP demandée et que son adresse MAC est …
- L'émetteur met à jour sa table de correspondance et la communication va alors pouvoir avoir lieu.

4.6 Couche Accès au réseau

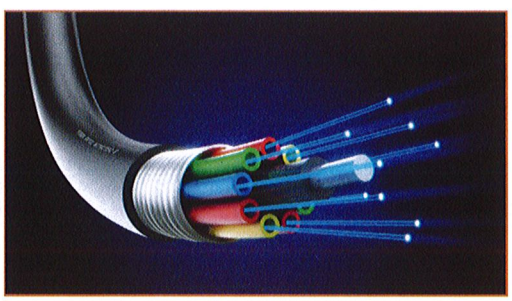
Rôle : La couche Accès au réseau définit la forme sous laquelle les données doivent être acheminées, quel que soit le type de réseau utilisé. Ethernet est le standard de transmission de données le plus utilisé.

Adresse MAC : tous les matériels connectés au réseau disposent d'une adresse matériel unique au monde : l'adresse MAC. Pour communiquer ces matériels ont besoin de connaître l'adresse MAC de destination. Cette adresse est fournie par le protocole ARP.

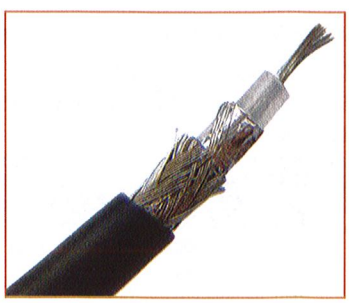
Supports physiques :



Paire torsadée



Fibre optique



Câble coaxial

5. Modes de transmission des données

Il existe deux modes de transmission utilisés en informatique : la transmission en **bande de base** et la transmission en **large bande**.

5.1 Transmission en bande de base

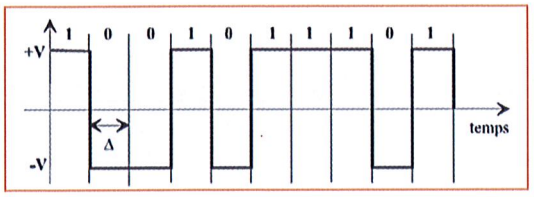
Les signaux numériques (électrique ou lumineux) émis à fréquence unique sont envoyés directement sur le média après codage. Cette technique n'est valable que sur de courtes distances.

Principaux codages

Codage NRZ : No Return to Zero

Les niveaux « 0 » sont codés par une tension –V.
Les niveaux « 1 » sont codés par une tension +V.

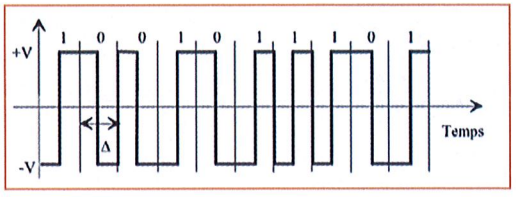
Exemple : 1001011101



Codage Manchester :

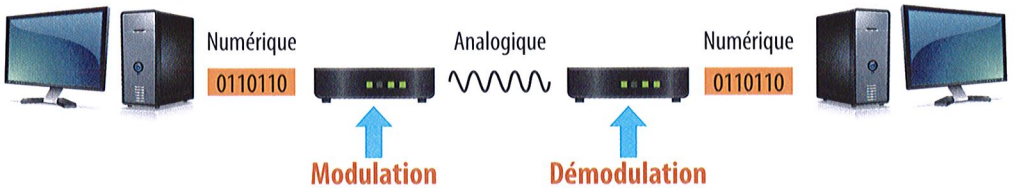
Le niveau logique « 0 » provoque le passage de +V à –V au milieu du moment élémentaire.
Le niveau logique « 1 » provoque le passage de –V à +V au milieu du moment élémentaire.

Exemple : 1001011101



5.2 Transmission en large bande

Les signaux numériques sont transformés en signaux analogiques par **modulation**. Cette technique permet de transporter plusieurs signaux simultanément en utilisant des fréquences différentes **(multiplexage)**.



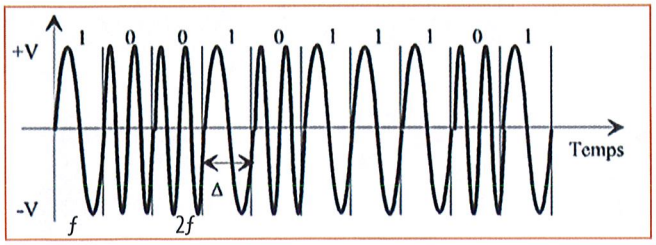
Il existe deux types de multiplexage :

- Le **multiplexage fréquentiel** qui consiste à diviser la bande passante en plusieurs bandes de plus faible largeur. La réception se fait à l'aide de filtres passe-bandes.
- Le **multiplexage temporel** qui consiste à partager dans le temps la voie entre plusieurs transmissions.

Principales modulations

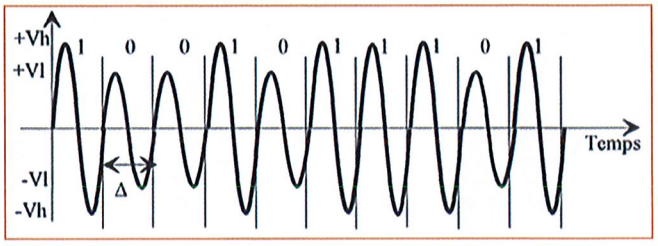
Modulation de fréquence :

Cette modulation est obtenue en jouant sur la valeur *f* :
une valeur *2f* pour un niveau logique « 0 »
une valeur *f* pour un niveau logique « 1 ».

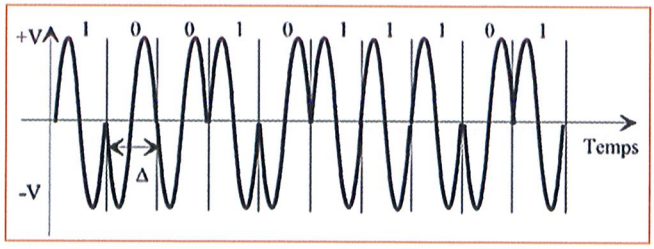


Modulation d'amplitude :

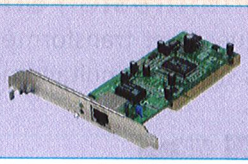
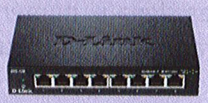
Cette modulation est obtenue en jouant sur la valeur V :
une valeur Vl (Vlow) pour un niveau logique « 0 »
une valeur Vh (Vhigh) pour un niveau logique « 1 ».



Modulation de phase :
Cette modulation est obtenue en jouant sur la valeur Φ :
une valeur Φ0 pour un niveau logique « 0 »
une valeur Φ1 pour un niveau logique « 1 ».

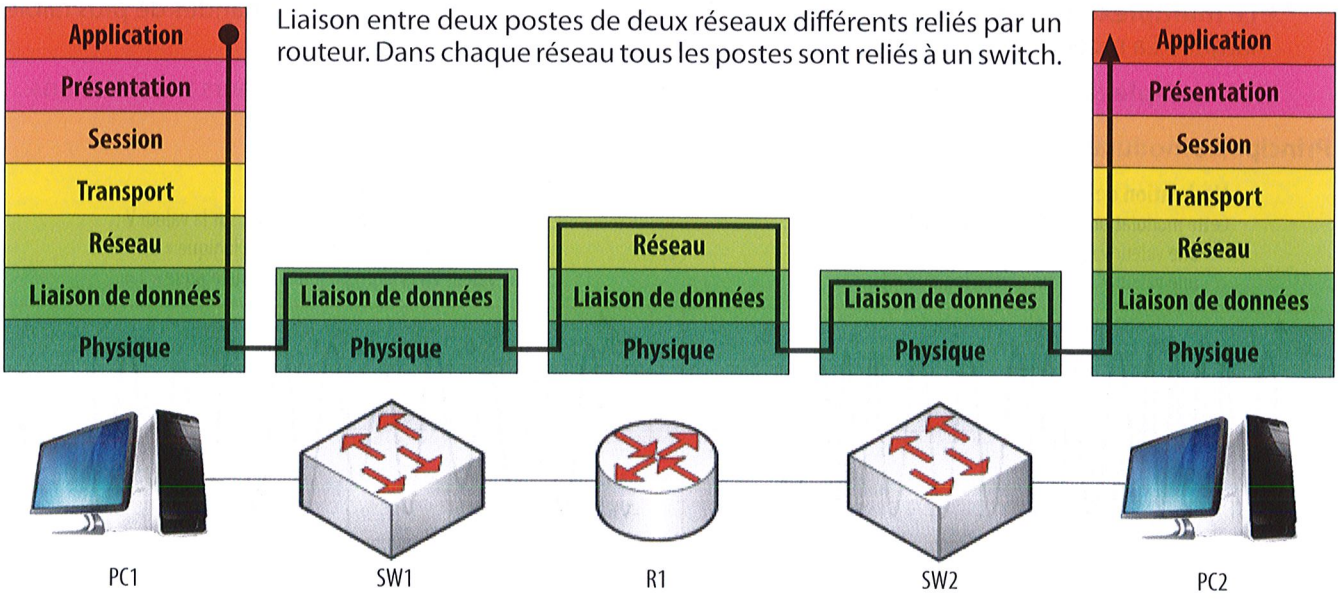


6. Les différents matériels utilisés par couche

Application (suivant protocole applicatif)	Niveau logiciels Protocoles applicatifs (HTTP, DNS, DHCP, FTP. . . .)
Transport (TCP)	Passerelle NAT (dispose de plusieurs adresses IP privées et d'une seule adresse IP publique visible depuis Internet ; elle peut être remplacée par un routeur NAT) Pare-feu
Réseau (Adresses IP)	Routeurs (assure le routage des paquets d'une interface réseau vers une autre) 
Accès réseau (adresses MAC)	Commutateur, ponts Cartes réseaux   Connecteurs Câbles

7. Synthèse

Liaison entre deux postes de deux réseaux différents reliés par un routeur. Dans chaque réseau tous les postes sont reliés à un switch.



Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 15 TD

RÉSEAU INFORMATIQUE

Activité 1. Station météo

Une station météo reliée à un PC envoie la trame suivante :

d7 10 2f 0d 06 0c 0a 91 22 01 1b 14 80 52 8a 02

Le premier octet donne le type d'information transmise : [d3] vent, [d4] pluie, [d5] UV, [d6] Baromètre, [d7] Température/humidité, [d8] Statut de la station.



La trame est structurée de la manière suivante (valeurs en hexadécimal).

Trame	Identifiant de trame	Longueur de trame	Heure	Date	Tendance	N° de capteur	Température	Humidité	Point de rosée	Index de température	Checksum
Octet	01	02	03 04	05 06 07	08		09 10	11	12 13	14	15 16
Format			hh:mm	jj-mm-aa							
Valeur	d7	10	0d:2f	06-0c-0a	9	1	0122	1b	8014	52	028a

1. Quel type d'information principale est transmise ? .....

2. Quel est le numéro du capteur concerné ? .....

Cette information est décodée de la manière suivante : **Signe** = poids fort de l'octet (09) : + si 0, - si 8 ; **Valeur** = signe × (((poids faible de l'octet (09)*256) + octet(10))/10).

3. Quelle est la valeur du capteur concerné ? .....

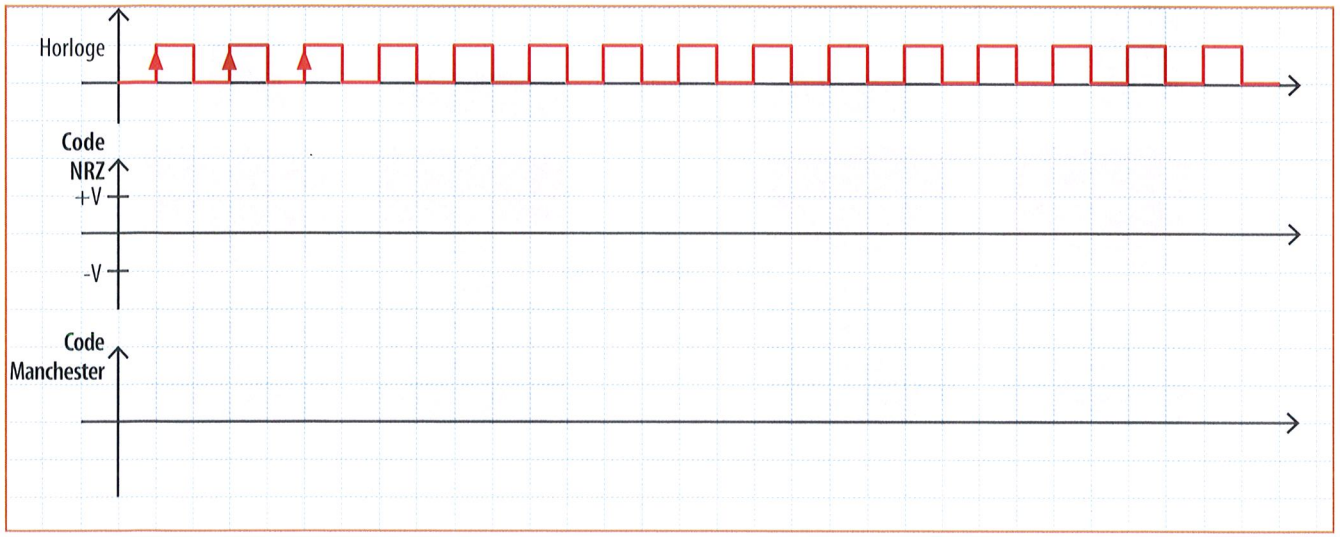
4. a) Quelle est la signification de l'octet (11) ? .....

b) Quelle est sa valeur (résultat obtenu en %) ? .....

5. Quelles sont l'heure et la date ? .....

Activité 2. Codages NRZ et Manchester

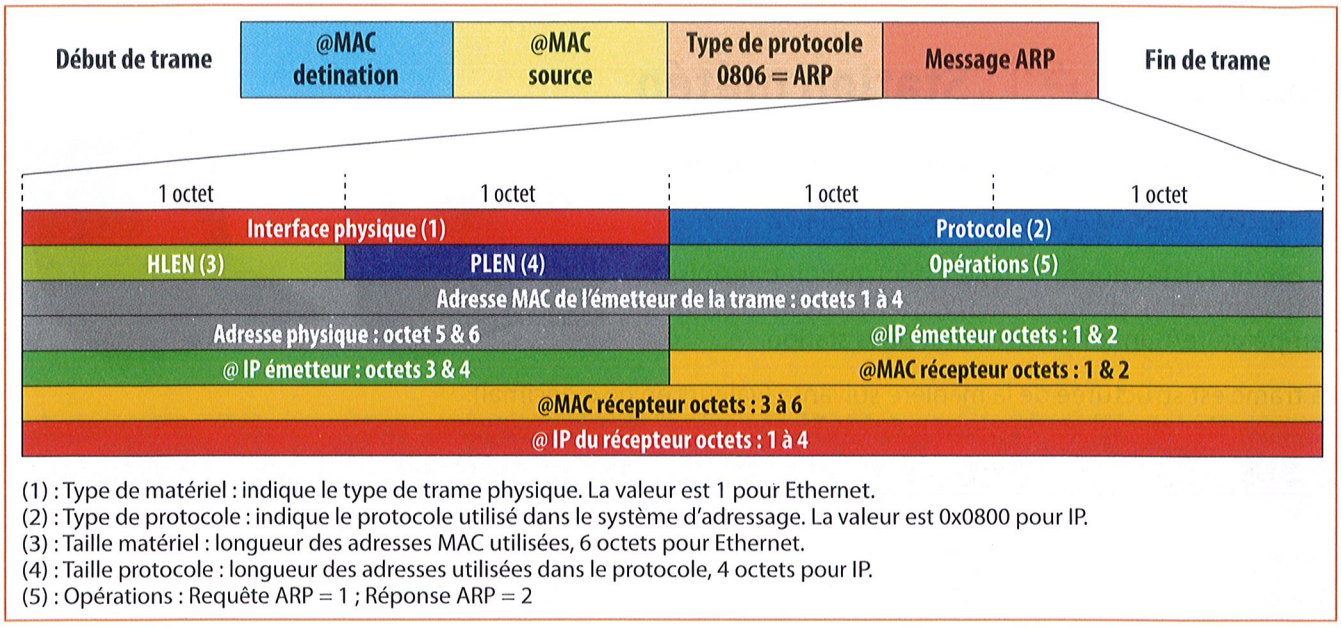
- Représenter sur les graphes suivant le code binaire 0110101001100011. Les changements d'état se font à chaque front montant d'horloge et l'émission s'effectue de gauche à droite (du LSB au MSB).



Activité 3. Requête ARP

La trame suivante est adressée à tout le réseau afin de rechercher la présence d'une machine :
FF FF FF FF FF FF - 08 00 20 02 45 9E - 08 06 - 00 01 - 08 00 - 06 - 04 - 00 01 - 08 00 20 02 45 9E - 81 68 FE 05 - 00 00 00 00 00 00 - 81 68 FE 04

Voici l'organisation d'une requête ARP :

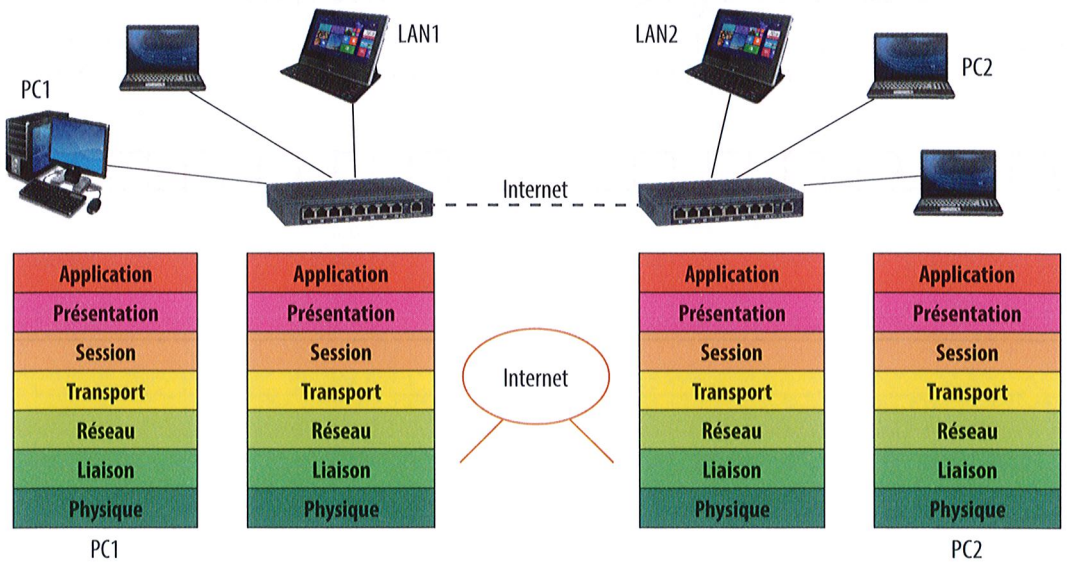


(1) : Type de matériel : indique le type de trame physique. La valeur est 1 pour Ethernet.
(2) : Type de protocole : indique le protocole utilisé dans le système d'adressage. La valeur est 0x0800 pour IP.
(3) : Taille matériel : longueur des adresses MAC utilisées, 6 octets pour Ethernet.
(4) : Taille protocole : longueur des adresses utilisées dans le protocole, 4 octets pour IP.
(5) : Opérations : Requête ARP = 1 ; Réponse ARP = 2

1. Surligner les 4 parties de la trame, de la même couleur que dans le schéma ci-dessus.
2. Quelle est l'adresse MAC de destination ? .....
3. Quelle est l'adresse MAC source ? .....
4. Quelle est l'IP du récepteur ? .....
5. Pourquoi y a-t-il FF.FF.FF.FF.FF.FF au début ? .....
6. Pourquoi y a-t-il 00.00.00.00.00.00 en avant-dernier ? .....

Activité 4. Architecture OSI

- Le PC1 du LAN1 communique avec le PC2 du LAN 2. Retracer le parcours sur les couches OSI suivantes.



Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

SÉQUENCE 15 — ÉTUDE DE CAS

L'ÉNERGIE DES DATA CENTERS

Problématique : Faire le point sur la consommation énergétique des data centers.

Un data center est un bâtiment de plusieurs centaines ou milliers de mètres carrés qui concentre un nombre très important d'équipements informatiques. Il permet d'échanger, de traiter et de stocker les données d'entreprises clientes qui peuvent être situées n'importe où dans le monde.

Ces centres sont très énergivores. Selon les officiels américains, les data centers consomment aujourd'hui près de **3% de l'énergie mondiale**.



Un des data centers de Google

1. La consommation électrique mondiale s'élève à 21 538 TWh. Calculer la consommation des data centers.

.....

2. a) Donner la liste des pays dont la consommation totale est équivalente à celle des data centers.

.....

.....

b) Conclure.

.....

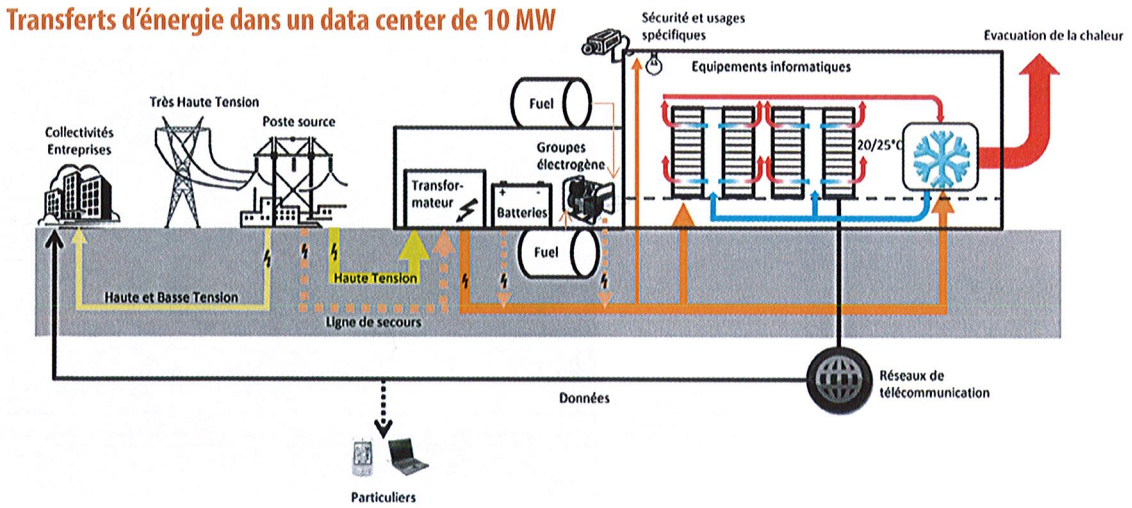
.....

Pays	Électricité – consommation (milliards kWh)
Chine	5 322
États-Unis	3 886
Russie	1 038
Japon	860
Inde	699
Allemagne	583
Canada	500
France	463
Brésil	456
Corée du Sud	450
Royaume-Uni	323
Italie	307
Espagne	250

3. La grande crainte des opérateurs de data center est la non-disponibilité, voire la perte, des applications et des données qu'ils hébergent, suite à une panne, une coupure de courant, un incendie, etc. Le taux de disponibilité (temps de fonctionnement) peut aller jusqu'à 99,995%. Calculer (en minutes) le temps d'indisponibilité du système sur un an.

.....

4. a) Entourer sur le schéma de principe ci-dessous, en **bleu** l'(es) alimentation(s) issue(s) du réseau, en **vert** le(s) stockage(s) d'énergie et en **rouge** l'(es) alimentation(s) issue(s) d'une énergie primaire.



b) Pourquoi utilise-t-on plusieurs alimentations? .....

.....

Un indicateur phare est utilisé par les opérateurs de data centers pour décrire leur efficacité énergétique : le **PUE** ou **P**ower **U**sage **E**ffectiveness. Il se calcule comme suit et sa valeur doit être la plus proche possible de 1.

$$PUE = \frac{\text{Énergie totale consommée par le data center}}{\text{Énergie consommée par les équipements informatiques}}$$

5. a) En utilisant les données ci-contre, calculer l'énergie consommée par les serveurs de ce data center de 10 MW.

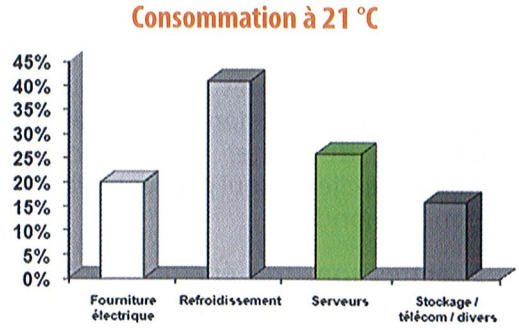
.....

b) Calculer le PUE de ce data center.

.....

c) Quel est le pôle le plus énergivore ?

.....



6. a) Pour maintenir la température du data center à 21 °C, le groupe de refroidissement consomme 45 % de la puissance d'entrée du site. Quelle puissance consomme-t-il ?

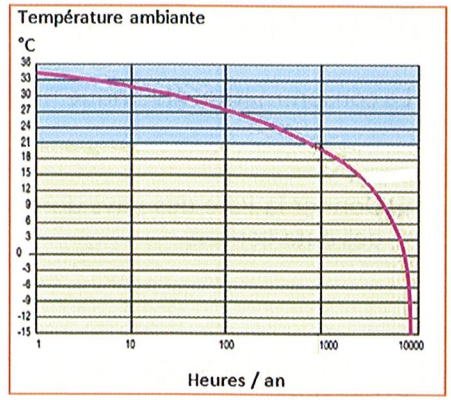
.....

b) Quelle est sa durée de fonctionnement (en h) ?

.....

c) Pour maintenir la température à 24 °C, quelle sera la durée de fonctionnement du refroidisseur (en h) ?

.....



7. Quelle sera la nouvelle énergie consommée alors par le refroidisseur?

.....

8. Quelle sera la nouvelle valeur de l'énergie en entrée du data center ?

.....

.....

9. a) Sachant que l'énergie consommée par les serveurs est la même, calculer la nouvelle valeur du PUE.

.....

b) Conclure. .....

.....

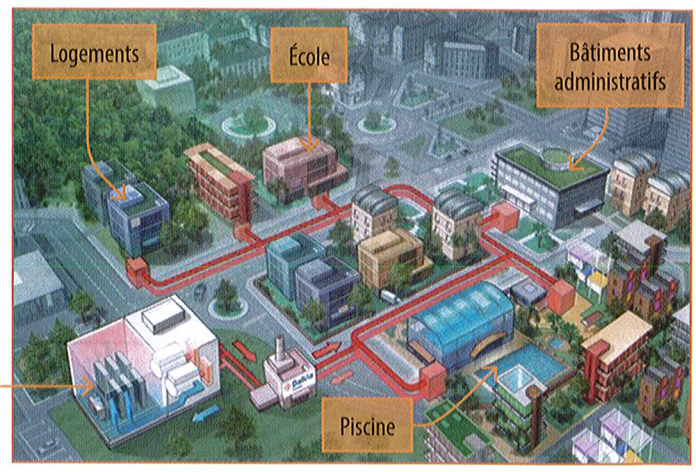
10. À l'aide de la photo ci-contre, expliquer comment peut être utilisée cette énergie.

.....

.....

.....

.....

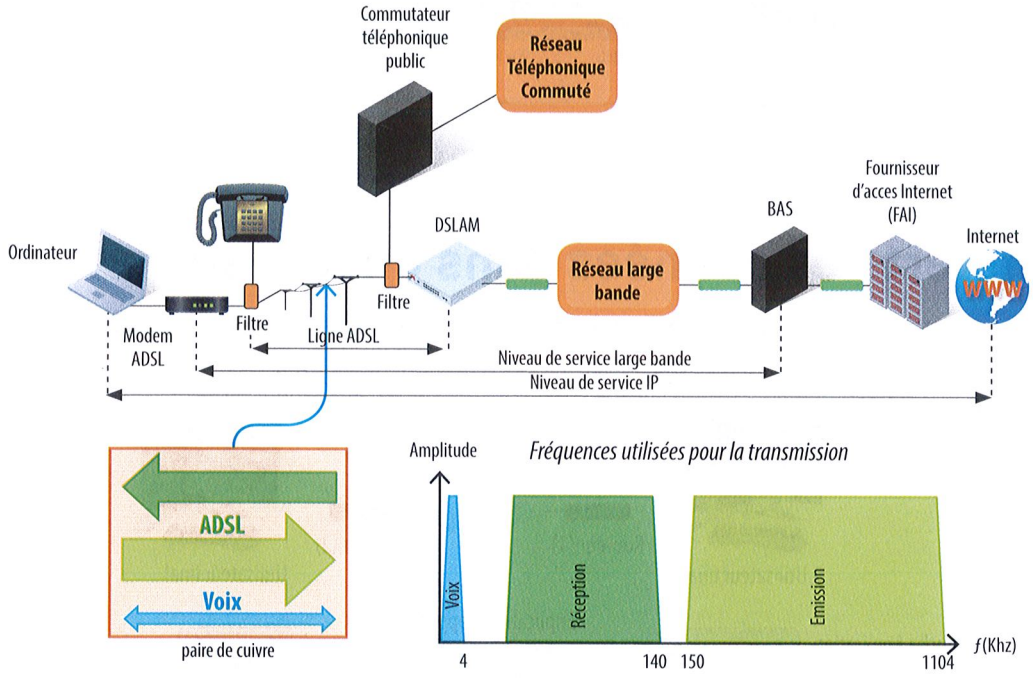


CE QU'IL FAUT RETENIR DE LA SÉQUENCE

SÉQUENCE 15 SYNTHÈSE

1. Réseau d'accès à Internet

L'**ADSL** est une technologie mise en place pour réaliser le transport numérique de l'information sur une simple ligne de raccordement téléphonique (paire torsadée en cuivre). Cette technique permet de faire transiter sur une même ligne les signaux numériques d'émission et de réception ainsi qu'un canal de téléphonie.



- Le DSLAM réalise la séparation de la bande de fréquences téléphoniques et de la bande de fréquences des données. Il sert d'interface entre les lignes ADSL et le réseau d'accès du FAI.
- Le BAS réalise le routage des données vers les différents fournisseurs d'accès.

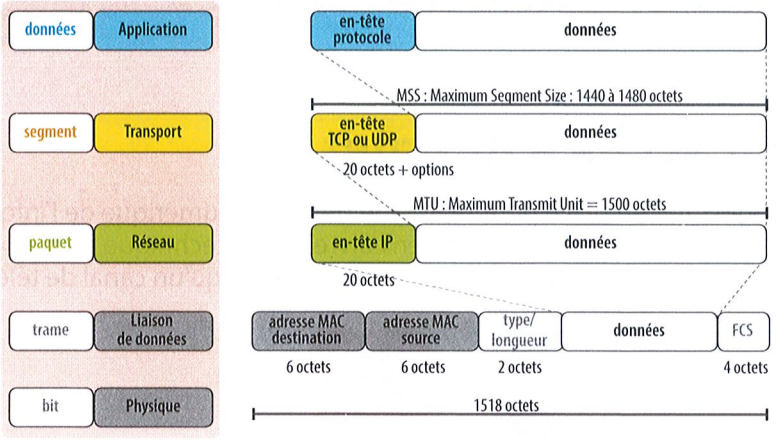
2. Communication dans un réseau local

Le modèle OSI définit les différentes étapes de conversion des données de l'application en 0 et 1 transmis sur la ligne. Le modèle TCP/IP issu du modèle OSI est le plus utilisé pour l'accès à Internet.

	Modèle OSI	Périphérique/Description	Modèle TCP/IP		Principaux protocole
7	Application	Interface homme-machine : gère les formats de données entre les logiciels.	Application	4	HMTP, HTTP, DNS, DHCP, FTP, ...
6	Présentation	Met en forme les données pour permettre aux applications de les traiter.			
5	Session	Organise et synchronise les échanges et les communications.			
4	Transport	Responsable du bon acheminement des messages entre les machines (vérifications des erreurs).	Transport	3	TCP, ...
3	Réseau	Détermine le mode et la méthode d'acheminement entre plusieurs machines (adresses IP).	Internet	2	IP, ARP ...
2	Liaison de données	Définit la manière dont la transmission des données est effectuée (adresse MAC).	Accès au Réseau	1	Ethernet
1	Physique	Transmission physique des bits d'une machine à une autre et réception.			

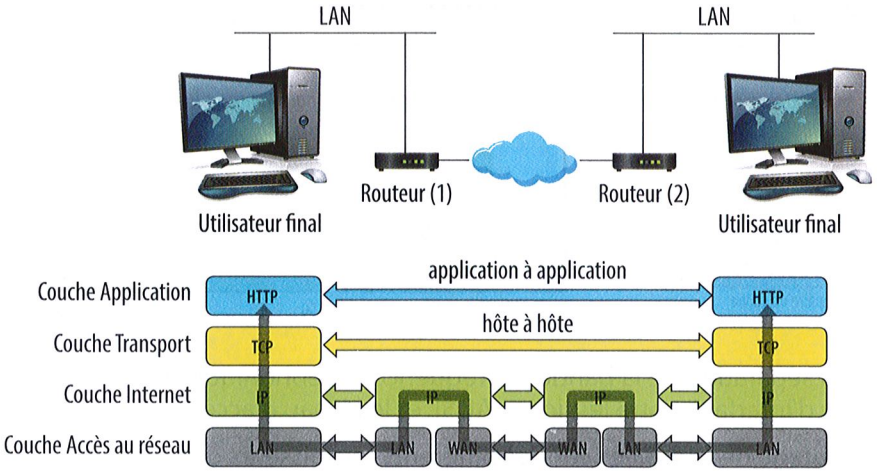
3. Encapsulation des données

L'encapsulation consiste à encadrer une donnée pour pouvoir l'identifier. Lors d'un transfert de données, chaque protocole encapsule ce qu'il reçoit de la couche supérieure.



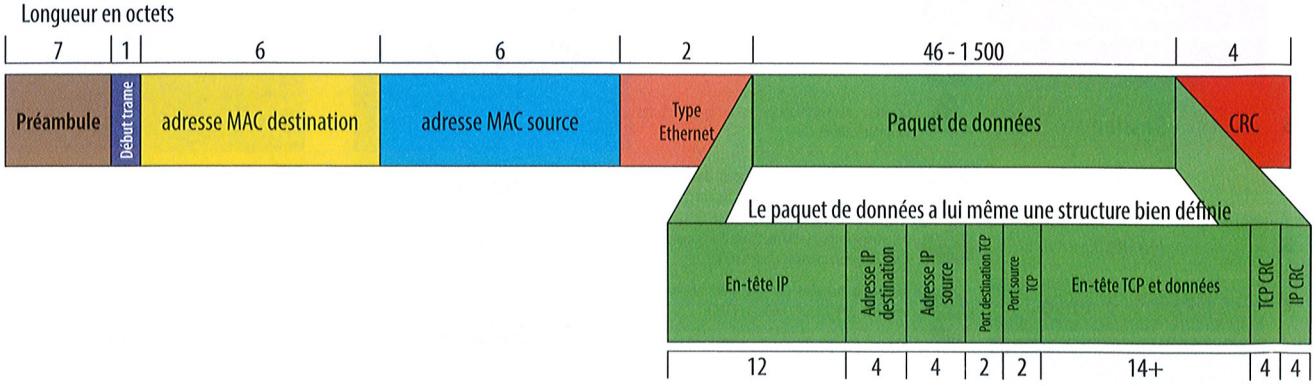
4. Transfert des données dans un réseau

Les adresses IP permettent d'aiguiller les paquets de données à travers les différents réseaux.



5. Trame Ethernet

Dans le protocole TCP/IP, l'accès au réseau s'effectue à l'aide du protocole Ethernet. Les données transmises sur les supports physiques (paire torsadée, fibre optique,...) sont encapsulées dans une trame Ethernet dont la structure est la suivante.



Aubin IMPRIMEUR Ligugé, D.L. : mai 2016 / Impr. : 1603.0430