

8 **Comparaison de solutions techniques de chauffage**

Une maison de 145 m² habitable a des besoins annuels en chauffage et en production d'eau chaude sanitaire de l'ordre de 11 000 kW.h, on souhaite comparer les performances énergétiques de 3 systèmes permettant de couvrir ces besoins : une chaudière gaz à condensation, une chaudière à granule de bois et une pompe à chaleur eau/eau géothermique (voir tableau).

La consommation des auxiliaires électriques (pompes) est estimée à : 440 kW.h.

Le rendement global de la production centralisée d'électricité : 38,7 %.

Les consommations en énergie électrique hors chauffage sont de 3 500 kW.h.

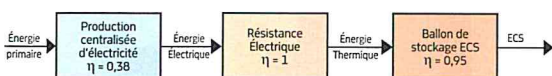
- Déterminer les besoins locaux en énergie finale exprimés en kW.h de chaque solution.
- Déterminer les besoins locaux en énergie primaire exprimés en TEP de chaque solution.
- Déterminer les émissions en CO₂, ainsi que le coût annuel en énergie de chaque solution.
- En déduire le ratio énergétique de cette maison en kW.hep/m² (voir tableau).

	Chauffage au gaz naturel	Chauffage au granule de bois	Chauffage par PAC
Rendement moyen annuel	95,1 %/PCI	80 %/PCI	COP = 3
Ratio $E_{\text{Primaire}}/E_{\text{finale}}$	1,11	1,08	2,58
Ratio CO ₂ non renouvelable/ E_{Finale}	206 gCO ₂ /kW.h	0 gCO ₂ /kW.h	180 gCO ₂ /kW.h
Coût approximatif €/kW.h E_{Finale}	0,053	0,04	0,11

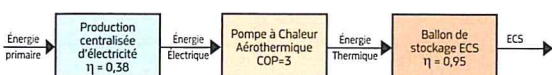
9 **Efficacité énergétique d'un chauffe-eau**

On souhaite produire de l'eau chaude sanitaire pour couvrir des besoins énergétiques de 2500 kW.h/an. Plusieurs systèmes s'offrent à nous :

un chauffe eau électrique



un chauffe eau thermodynamique



un chauffe associé à une chaudière Gaz



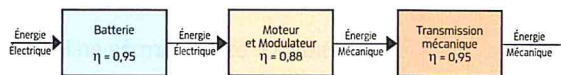
À partir des chaînes d'énergie présentée ci-dessous et des rendements fournis pour chaque composant, déterminer l'efficacité énergétique de chacune d'entre elle.

10 **Efficacité énergétique d'un moteur de véhicule automobile**

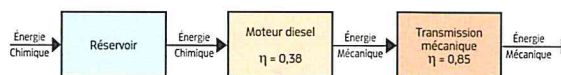
On souhaite comparer les performances énergétiques de deux chaînes d'énergie permettant de motoriser un véhicule automobile citadin. Les besoins énergétiques de ce véhicule en cycle urbain sont estimés à 60 W.h/km.

Les schémas qui suivent présentent les chaînes d'énergies embarquées par le véhicule dans le deux cas, et les valeurs moyennes des rendements de chaque constituant de ces chaînes.

Moteur électrique



Moteur thermique diesel



- Déterminer les consommations moyennes en énergie de ces deux motorisations pour un kilomètre parcouru en cycle urbain.

2. Efficacité

L'énergie électrique n'étant pas une énergie primaire, on donne le rendement moyen des chaînes d'énergies permettant de produire de manière centralisée l'énergie électrique à partir d'énergie dite primaire :

$\text{prod}_{\text{centralisée}} = 0,38$

On considérera que l'énergie chimique déterminée à l'entrée du moteur diesel est une énergie primaire.

En déduire les consommations en énergie primaire de chaque solution.

3. Réversibilité

Le moteur électrique et son modulateur sont capables de récupérer de l'énergie lors des phases de freinage, on récupère ainsi 23 % de l'énergie primaire nécessaire.

Déterminer les consommations en énergie primaire du véhicule électrique dans ce cas.

Conclure quant à l'efficacité de chacune des chaînes d'énergie.

ÉNERGIES

Objectifs

- Être capable d'identifier les activités humaines qui consomment le plus d'énergie et les paramètres à l'origine de ces consommations
- Être capable d'identifier les besoins réels en énergie
- Caractériser la demande d'un point de vue temporel

12 BESOINS ÉNERGÉTIQUES

1 Besoins en énergie finale – État des lieux

L'énergie finale est ici l'énergie dont l'utilisateur va se servir pour répondre à ses besoins.

C'est l'énergie qui va alimenter la chaîne d'énergie locale, celle qu'il paye et qui est mise à disposition par les chaînes de production.

On l'appellera aussi dans ce chapitre énergie finale absorbée.

a Quelle est l'énergie finale la plus consommée ?

Les besoins en énergie des activités humaines s'expriment au travers de la consommation en énergie finale.

La figure 1 montre que nous avons aujourd'hui essentiellement recours aux produits pétroliers.

Cette tendance est confirmée en France avec près de 46 % de l'énergie finale consommée, sur un total de 165,5 MTEP en 2008.

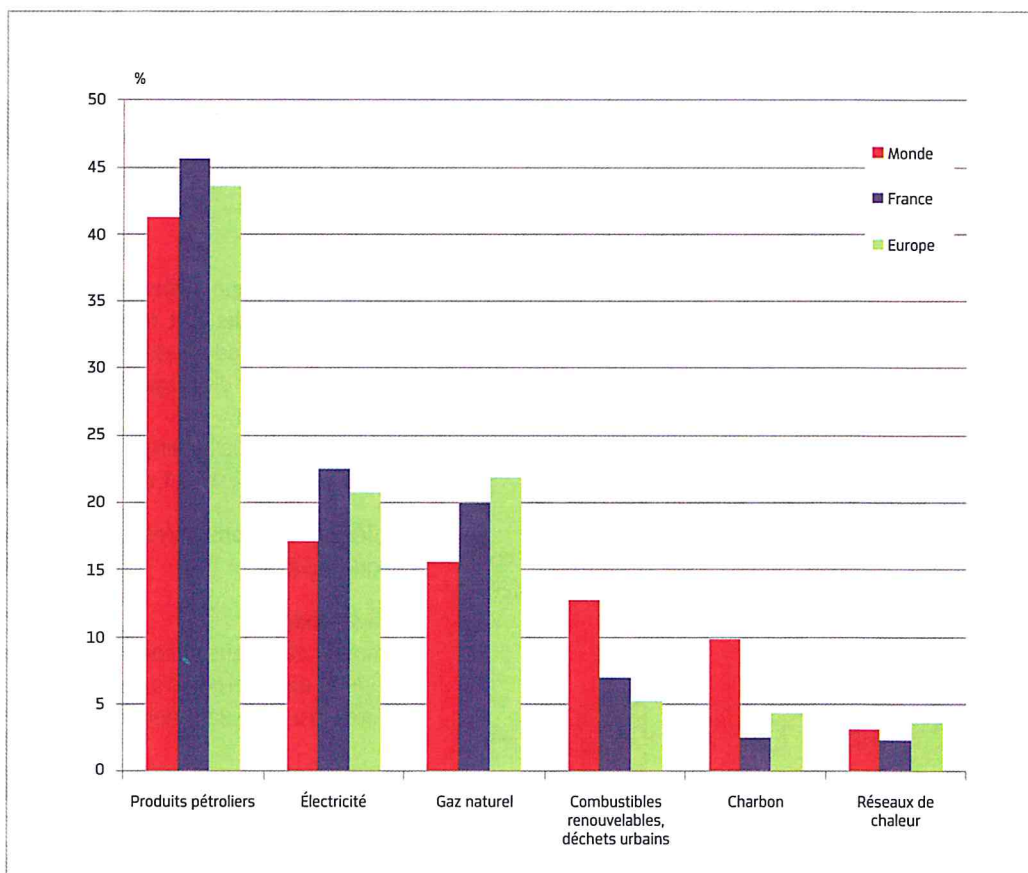


Fig. 1 Répartition des consommations en énergie finale

b Quels usages sont les plus énergivores ?

La répartition des consommations en énergie finale se fait principalement sur trois secteurs : les transports (marchandises et personnes), l'habitat et l'industrie. La figure 2 nous montre qu'en France l'habitat et les transports représentent plus de 50 % des consommations d'énergie finale.

Les secteurs de l'habitat et du tertiaire représentent en France, et en Europe, plus du tiers de la consommation en énergie finale.

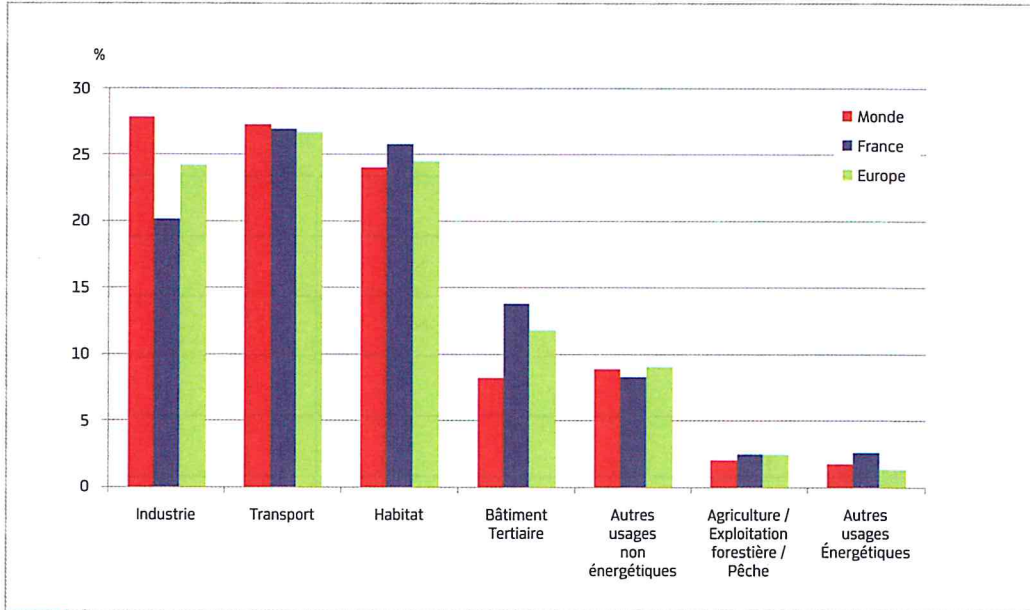


Fig. 2 Répartition des consommations en énergie finale par usage

c Quelles énergies finales pour quels secteurs d'activité ?

Il apparaît clairement sur la figure 3 que le secteur du transport est principalement centré sur l'usage des produits pétroliers, alors que l'habitat et le bâtiment tertiaire répartissent leurs besoins sur plusieurs pôles. Nous pouvons observer enfin que mise à part la valorisation des déchets urbains et celle de combustibles renouvelables issus de la biomasse tel que le bois, les ressources en énergies renouvelables ne sont que très peu valorisées aujourd'hui.

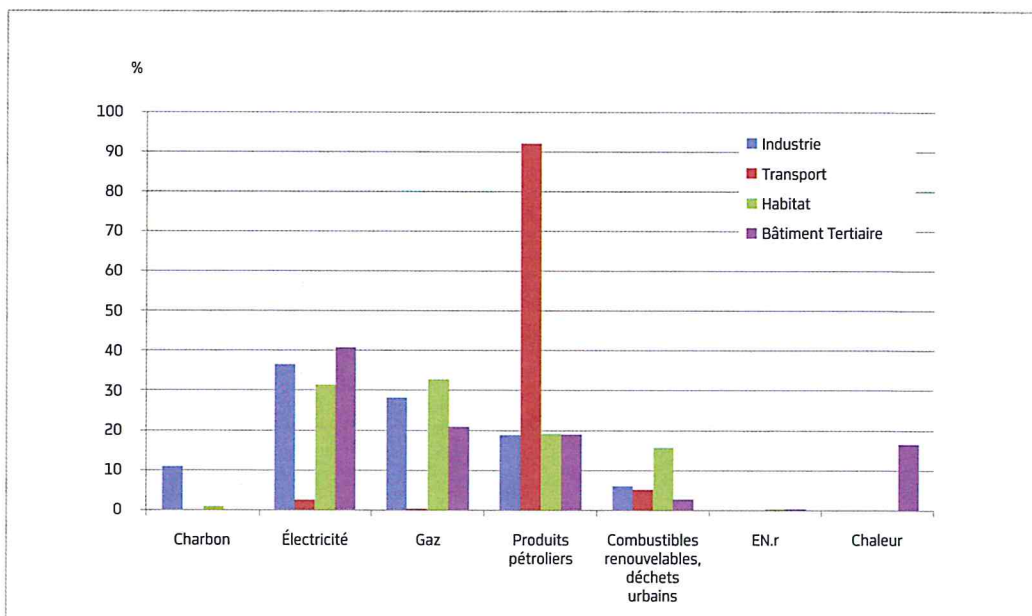


Fig. 3 Répartition de l'énergie finale pour les secteurs les plus énergivores en France

2 Besoins énergétiques liés au bâtiment et aux transports

Les besoins énergétiques liés au secteur du bâtiment et de l'habitat sont associés à des besoins vitaux de l'être humain qui sont : se protéger des rigueurs de l'environnement, se maintenir en bonne santé, se nourrir et communiquer... Les besoins énergétiques liés aux transports répondent à la nécessité de se déplacer et de déplacer des marchandises (nourriture, produits manufacturés...).

Le tableau ci-dessous identifie de manière non exhaustive les applications actuelles qui répondent à ces besoins et dont les impacts énergétiques sont non négligeables. Il fait apparaître en regard les énergies finales utiles, les énergies secondaires produites et les énergies finales absorbées, ce qui doit laisser présager de la relative complexité de la chaîne d'énergie locale.

Besoins	Applications techniques actuelles	Énergies finales absorbées		En.R valorisables localement		Énergie secondaires produites				Énergies finales utiles					
		Ch	El	Th	Ray	Méc	Ray	Th	Fl	Ch	Méc	Th	Ray	Fl	
Habitat	Se chauffer	Air	X	X	X	X	X	X	X			X			
		Eau	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X		
		Électrique		X			X					X			
	Ventiler	Ventilation Mécanique Contrôlée		X			X			X				X	
		Ventilation Naturelle			X					X				X	
	(Se) Laver	Système de production d'ECS	X	X	X	X			X			X			
	Préparer et conserver des produits alimentaires	Systèmes de cuisson et conservation des aliments	Four, plaque de cuisson	X	X	X				X			X		
			Réfrigérateur, Congélateur		X	X				X			X		
			Petit électroménager cuisine		X					X			X		
S'éclairer	Système d'éclairage		X					X			X				
Communiquer	Système de communication (Téléphonie, TV, Informatique,...)							X							
Se déplacer	Transport	Véhicule Électrique		X					X				X		
		Véhicule Hybride	X	X					X			X		X	
		Véhicule Thermique	X											X	

sens de lecture

Ch = Chimique / Ray = Rayonnante / El = Électrique / Th = Thermique / Méc = Mécanique / Fl = Fluidique

EXEMPLE

Production d'ECS

Produire de l'ECS aujourd'hui peut se faire à partir d'énergie électrique et/ou chimique (combustion d'un combustible). Il sera possible de valoriser une source d'énergie thermique produite localement (cogénération, process, géothermie) ou le rayonnement de l'énergie solaire. L'objectif étant uniquement au final de chauffer de l'eau et donc de lui apporter de l'énergie thermique.

3 Caractérisation des besoins énergétiques d'un habitat

Les besoins énergétiques d'un habitat sont liés aux besoins en confort (thermique et lumineux) et en hygiène de ses occupants.

Ils se traduisent par des besoins en chauffage, en eau chaude sanitaire, en éclairage artificiel et éventuellement en climatisation.

Ils sont fonctions des comportements :

- ▶ des occupants ;
- ▶ du bâtiment ;
- ▶ des équipements techniques permettant d'assurer le confort ;
- ▶ de l'environnement climatique dans lequel est plongé le bâtiment.

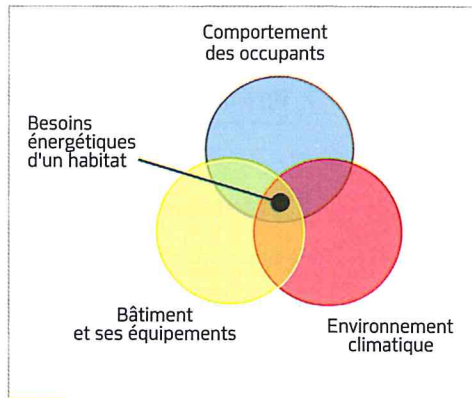


Fig. 4 Besoins énergétiques d'un habitat

a Comment évaluer les besoins en chauffage ?

Il s'agit d'évaluer les différents termes du bilan énergétique du bâtiment de la figure 5.

Ce bilan fait apparaître des pertes de chaleur :

- ▶ pertes par **transmission thermique au travers des parois** de l'enveloppe du bâtiment ;
- ▶ pertes liées aux circulations d'air volontaires (**ventilation**) et involontaires (**infiltration**) au travers de l'enveloppe du bâtiment ;
- ▶ pertes par transmission thermique au travers de défauts d'isolation liés à la liaison mécanique des planchers et des murs par exemple. Ces points particuliers sont appelés les **ponts thermiques**.

Toutes les pertes sont proportionnelles à l'écart de température maintenu entre l'intérieur du bâtiment et l'extérieur. La puissance perdue peut donc s'écrire :

$$\Phi = H \cdot (T_{int} - T_{ext}) \cdot W \text{ avec } H \text{ en } W/^\circ C$$

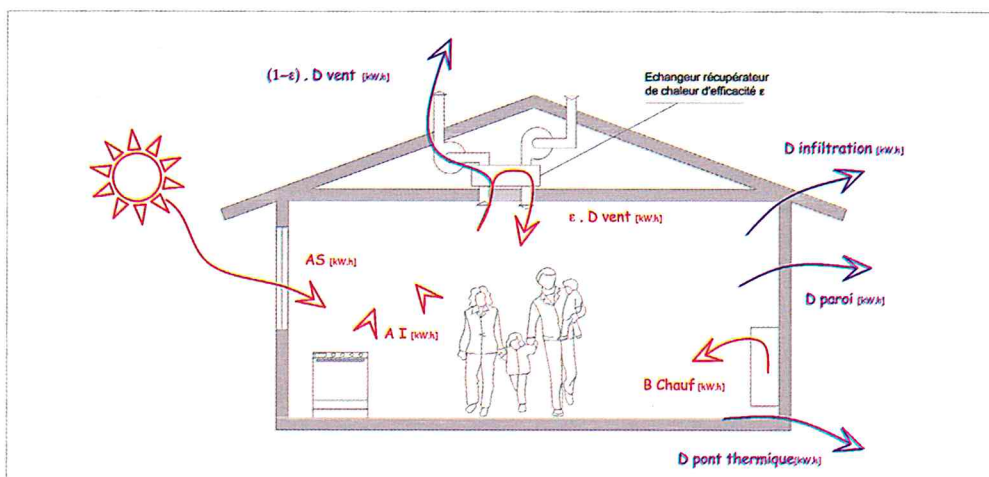


Fig. 5 Bilan énergétique d'un bâtiment

EXEMPLE

Pertes par les parois

On donne : $H_{\text{paroi}} = 70 \text{ W/}^\circ\text{C}$.

On souhaite maintenir une température intérieure de $19 \text{ }^\circ\text{C}$, lorsque la température extérieure sous abri est de $-5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Déterminons les pertes par les parois : $\Phi = 70 \times (19 - (-5)) = 1\,680 \text{ W}$.

En imaginant que la température de $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ soit mesurée 6 heures pendant la saison de chauffe, on peut calculer l'énergie perdue au travers des parois, telle que :

$$D = \Phi \cdot N_h \text{ ou encore, } D = H \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) \cdot N_h$$

avec N_h le nombre d'heure d'occurrence.

On a donc : $D = 1\,680 \times 6 = 10\,080 \text{ W.h} = 10,1 \text{ kW.h}$.

b Notion de degré heure

La température extérieure varie constamment.

Si l'on trace sur la base de relevés horaires un histogramme de ces températures comme sur la figure 6, on pourra alors déterminer le nombre d'heures d'occurrence d'une température extérieure.

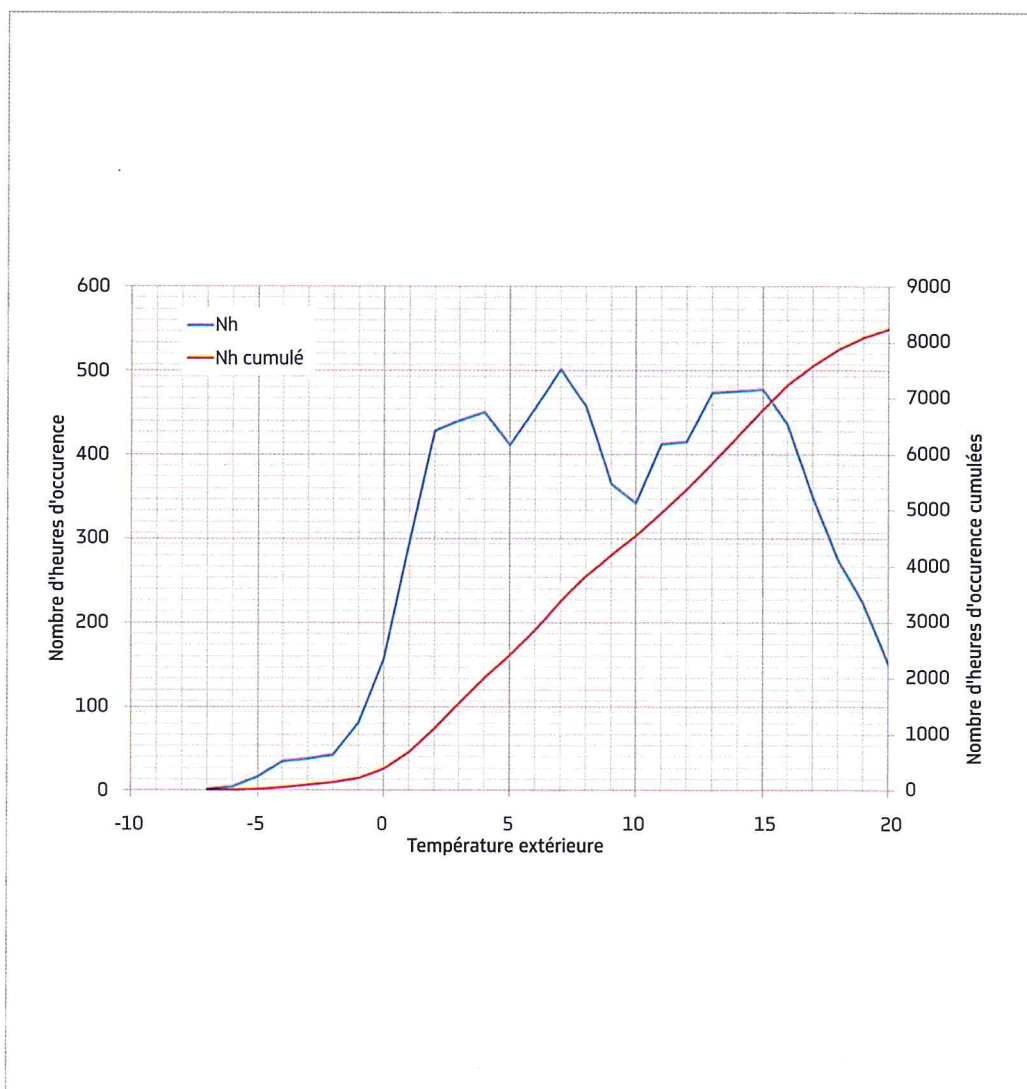


Fig. 6 Température extérieure moyenne horaire (Trappes, 78)

EXEMPLE

Nh(-5 °C) = 6 heures.

Connaissant la valeur de la température intérieure à maintenir dans l'habitat, on déterminera alors le nombre de degré heure noté Dh pour ces températures, tel que :

$$Dh = Nh(T_{ext}) \cdot [T_{int} - T_{ext}] \text{ °C.h}$$

Les pertes d'énergie peuvent donc se calculer par la formule suivante : $D = H \cdot Dh \text{ W.h}$.

EXEMPLE

On donne pour la station météo de Trappes (78) et pour la saison de chauffe :

Dh(18 °C) = 71 503 °C.h.

Le coefficient H correspondant à l'ensemble des déperditions est estimé à 120 W/°C.

Déterminons l'énergie permettant de compenser ces besoins en chaleurs :

$$B_{\text{chaleur}} = D = H \cdot Dh = 120 \times 71\,503 = 8\,580\,360 \text{ W.h, ou encore } B_{\text{chaleur}} = 8\,580 \text{ kW.h}$$

Le bilan thermique d'un bâtiment fait également apparaître des apports en chaleur :

- ▶ apports solaires au travers de parois vitrées ;

Type de verre	Orientation	Nord	Ouest/Est	Sud	Unité
Verre simple	Gains nets sur une saison de chauffe en région parisienne	-230	-153	-48	kW.h/m ²
Verre double 4/12/4		-72	-8	80	kW.h/m ²
Verre double 4/12/4 faible émissivité		-9	46	121	kW.h/m ²

- ▶ apports internes liés aux occupants (une personne au repos apporte une puissance d'environ 100 W) ;
- ▶ apports internes liés aux équipements qui consomment de l'énergie et dissipent de la chaleur au sein du bâtiment ;
- ▶ récupération d'énergie sur le débit d'air extrait en ventilation grâce à un échangeur de chaleur.

Tous les apports sont très variables dans le temps.

Ils dépendent de la capacité de l'enveloppe et des systèmes à les récupérer (conception bioclimatique du bâtiment).

Ils dépendent également des conditions climatiques (apports solaires) et du comportement des occupants (scénarii d'occupation et d'exploitation des équipements).

parois vitrées
it générer un effet
serre. Cet effet utile
contrecarré par
pertes par trans-
sion de ces mêmes
ois vitrées. Aussi
-il nécessaire que
parois vitrées
ont convenablement
ntées pour capter
apportement solaire.
ableau suivant
ntre l'impact
'orientation pour
érents vitrages.

évaluation des
oins en chauffage
ide de méthode
uelle est possible,
s les contraintes
performance impos-
s par le contexte
ementaire et
rgétique imposent
urd'hui d'avoir
ours à la simulation
érique.

ÉNERGIES

EXEMPLE

Comparaison de bilans énergétiques

Imaginons trois maisons identiques du point de vue de leur forme générale, et des apports internes dont elles disposent. La première a été construite avant la réglementation thermique de l'année 2000 (RT 2000), la seconde après la RT 2005 avec l'obtention d'un « label bâtiment basse consommation », et la dernière construite afin de répondre aux exigences de la RT 2012.

Ces maisons sont de géométrie parallélépipédique, tel que : $H = 2,4 \text{ m}$; $L = 13,5 \text{ m}$; $l = 8 \text{ m}$.

Les apports internes sont pour chaque maison évalués sur la base d'une occupation de 4 personnes de type habitat (éclairage, appareils électroménagers, cuisson, TV...).

Elles sont toutes situées en région parisienne (zone H1).

Seule leur conception « bioclimatique » change :

Type de Maison	Niveau d'isolation épaisseur d'isolant en cm			Ventilation		Niveau d'infiltration sous 4 pascals	Surface vitrée orientée au Sud
	Plancher	Murs	Toiture	Type	Efficacité %	l4 m ³ /h/m ²	m ²
Avant RT 2000	0	6	15	VMC simple flux	0	1,2	5,8
RT 2005 BBC	10	16	30	VMC double flux	75	0,6	21,6
RT 2012	10	25	40	VMC double flux	90	0,2	21,6

Maison	Unités	Avant RT 2000	RT 2005 BBC	RT 2012
AI	kW.h	1 880	1 880	1 880
H paroi	W/°C	139,8	70,1	53,3
H ventil	W/°C	38,3	9,6	3,8
H infiltration	W/°C	86,4	43,2	14,3
H total	W/°C	264,4	122,8	71,4
Dh	°C.h	79 357	79 357	79 357
B chaleur	kW.h	20 979	9 748	5 667
Sv/Sh*	%	13,7	22,1	22,1
Sv Sud	m ²	5,76	21,6	21,6
B chauffage	kW.h	12 099	4 151	2 094
AS	kW.h	7 000	3 154	1 693
Durée de chauffe	h	5 465	3 685	2 456

* Ratio surface vitrée sur surface habitable

On observe au travers de cet exemple qu'il est possible de couvrir les mêmes besoins en confort thermique en réduisant les énergies mobilisées par près de 5.

Les points clés de la réussite sont dans l'amélioration de l'isolation, l'amélioration de l'étanchéité de l'enveloppe, ainsi que dans la mise en place de système de récupération de chaleur efficace tel que l'échangeur sur la VMC double flux.

c Comment évaluer les besoins en ECS ?

Ce besoin s'exprime au travers de l'usage de l'eau chaude pour l'hygiène corporelle et le lavage essentiellement.

On peut considérer qu'une personne consomme en France dans le secteur de l'habitat environs 50 litres d'eau à 60 °C chaque jour.

Au-delà de la simple consommation d'eau, il mobilise une énergie considérable liée à la valeur forte de la chaleur massique de l'eau.

EXEMPLE

Énergie et puissance nécessaires à une douche

Une douche est un événement court qui se traduit en moyenne par le puisage d'une eau chaude sanitaire à 38 °C, avec un débit de l'ordre de 0,2 l/s pendant une durée de 6 minutes.

Les besoins en énergie sont alors de l'ordre de : $E_{ECS} = 2,32 \text{ kW.h}$.

La puissance à développer pour assurer cette production au fil de l'eau : $P_{ECS} = 23,2 \text{ kW}$.

d Variabilité temporelle des besoins en ECS

Il est possible de définir un profil de puisage journalier représentatif pour chaque application.

La figure 7 présente le profil moyen d'une famille de quatre personnes. On observe sur celui-ci deux « pointes » de puisage au début et en fin de journée. Ces « pointes » mettent en œuvre des volumes importants d'eau chaude sanitaire pendant des périodes très courtes. Elles sont essentiellement liées à la toilette corporelle (douche, bain...). Entre ces deux pointes les volumes prélevés sont beaucoup plus faibles. Enfin, la période nocturne est une période hors puisage.

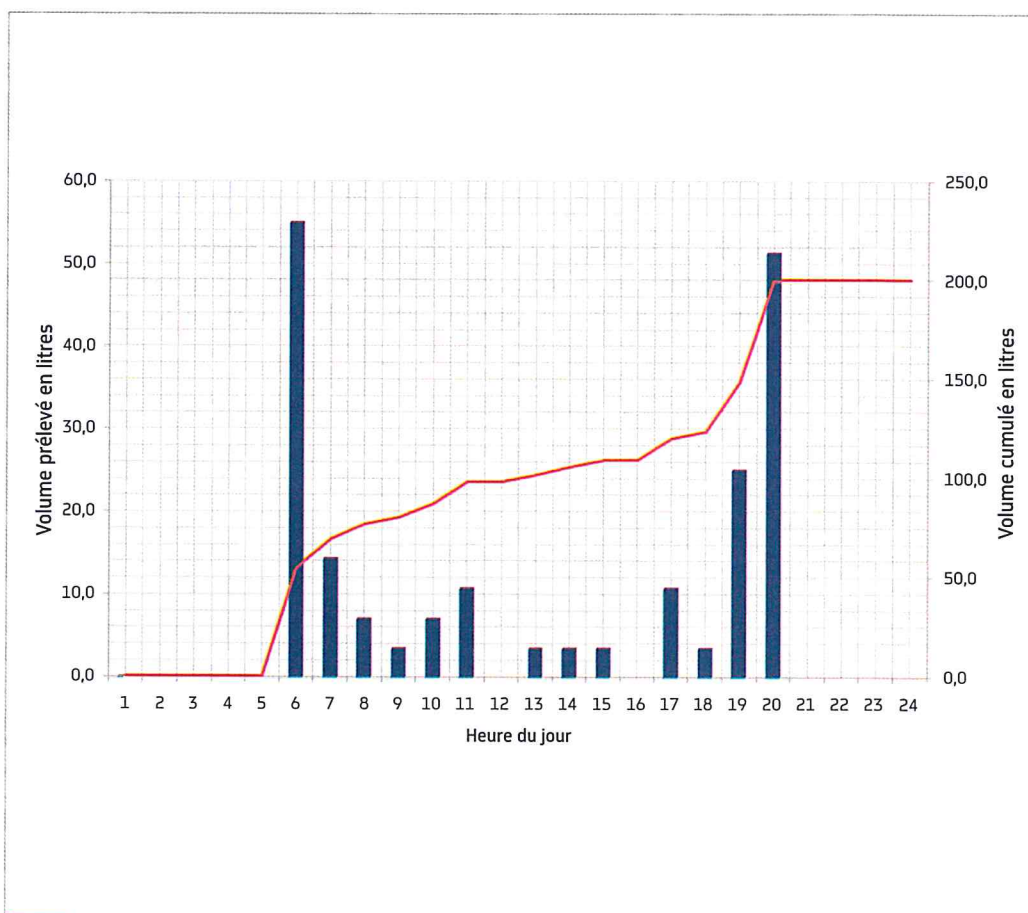


Fig. 7 Profil moyen de puisage en eau chaude sanitaire d'une famille de quatre personnes (le volume est exprimé en litre d'eau chaude à une température de 60 °C)

Le Lux est le flux d'énergie lumineuse reçue par une surface. Il est égal à une intensité lumineuse de 1 lumen sur une surface de 1 m².

e Comment évaluer les besoins en éclairage ?

L'éclairage d'une surface se mesure en Lux.

Quelques ordres de grandeur de cet éclairage dans diverses situations :

Situation d'éclairage	Niveau d'éclairage en Lux
Nuit de pleine lune	0,5
Local de vie	100 - 200
Appartement bien éclairé	200 - 400
Local de travail	200 - 3 000
Extérieur par ciel couvert	25 000
Extérieur en plein soleil	50 000 à 100 000

On observe que l'œil humain s'adapte facilement à des niveaux d'éclairage très variables. Cependant, pour que le rendu des couleurs soit meilleur et pour limiter la fatigue des yeux, la réglementation du Code du travail (R.232-7) impose les valeurs suivantes :

Domaine d'application	Niveau minimum d'éclairage en Lux
Rues, routes et autoroutes	15 à 50
Mécanique moyenne, travail de bureau	200
Mécanique fine, dessins	400
Mécanique de précision, électronique	600
Tâches difficiles, laboratoires	800

4 Caractérisation des besoins énergétiques d'un véhicule

Un véhicule pour se déplacer doit lutter contre un certain nombre de forces (figure 8). Ces forces sont dues aux frottements : fluide/solide, solide/solide. Elles sont également le fruit des **accélération**s. Tous ces efforts sont des charges qui détermineront les consommations énergétiques du véhicule.

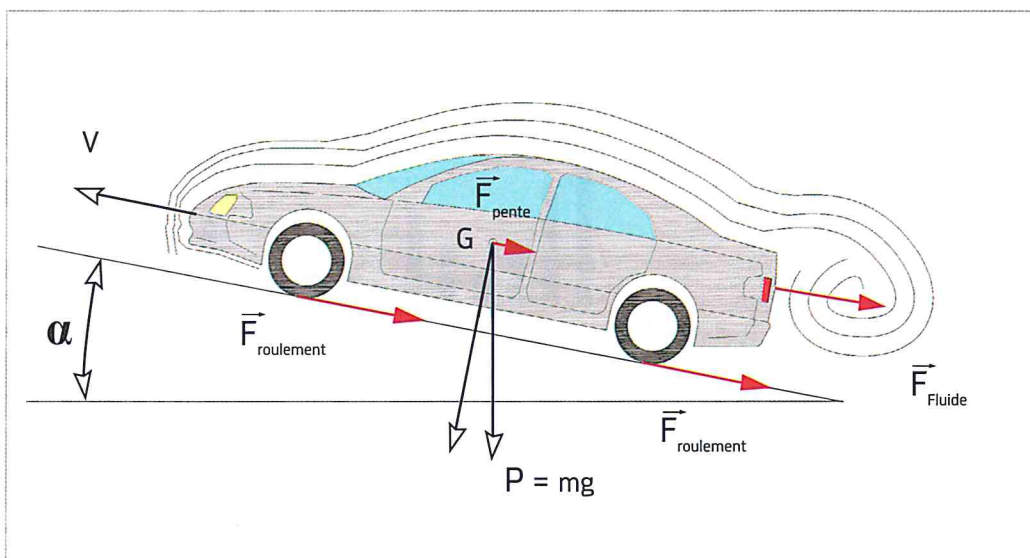


Fig. 8 Efforts s'opposant au déplacement d'un véhicule

Détermination des charges mécaniques appliquées à un véhicule		
Pertes par frottement Solide/Roues		
Force de frottement de roulement	$F_{\text{roulement}} = C_r \cdot m \cdot g$	N
Puissance dissipée par frottement de roulement	$P_{\text{roulement}} = F_{\text{roulement}} \cdot v = C_r \cdot m \cdot g \cdot v$	W
Pertes par frottement Fluide aérodynamisme		
Force de frottement aérodynamique	$F_{\text{fluide}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot C_x \cdot S_f$	N
Puissance dissipée par frottement aérodynamique	$P_{\text{fluide}} = F_{\text{fluide}} \cdot v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot C_x \cdot S_f$	W
Charge liée à une pente		
Résistance liée à la pente	$F_{\text{pente}} = \sin(\alpha) \cdot m \cdot g$	N
Puissance dissipée par la pente	$F_{\text{pente}} = \sin(\alpha) \cdot m \cdot g \cdot v$	W
Charge liée à une accélération		
Force liée à une accélération constante	$F_{\text{accélération}} = m \cdot \gamma$	N
Puissance liée à une accélération constante	$F_{\text{accélération}} = m \cdot \gamma \cdot v$	W
Notations		
<p>m est la masse du véhicule kg C_r est un coefficient de frottement de roulement γ l'accélération m.s⁻² g l'accélération de la pesanteur m.s⁻² ρ est la masse volumique du fluide kg.m⁻³</p> <p>α est l'angle de la pente C_x est le coefficient aérodynamique de traînée S_f est la surface correspondant à la projection du véhicule sur un plan perpendiculaire au mouvement par rapport au fluide. On l'appelle aussi maître couple</p>		

EXEMPLE

Puissance liée aux frottements

Un véhicule automobile d'une masse de 1 500 kg roule à une vitesse de 50 km/h sur le plat. On donne $C_r = 10^{-2}$ et $C_x = 0,26$; $S_f = 1,8 \text{ m}^2$; $\rho = 1,24 \text{ kg/m}^3$. Déterminons les besoins en puissance mécanique : $P_r = 1\,500 \times 10^{-2} \times 9,81 \times 50 \cdot 10^3 / 3\,600 = 2\,043,75 \text{ W}$.
 $P_f = 0,5 \times 1,24 \times 0,26 \times 1,8 \times (50 \cdot 10^3 / 3\,600)^3 = 777,39 \text{ W}$.

ACTIVITÉ

1 Puissance liée aux frottements

Un tramway d'une masse de 65 tonnes roule à une vitesse de 50 km/h sur le plat. On donne $C_r = 2 \cdot 10^{-4}$ et $C_x = 0,28$; $S_f = 8 \text{ m}^2$; $\rho = 1,24 \text{ kg/m}^3$. Déterminer les besoins en puissance mécanique.

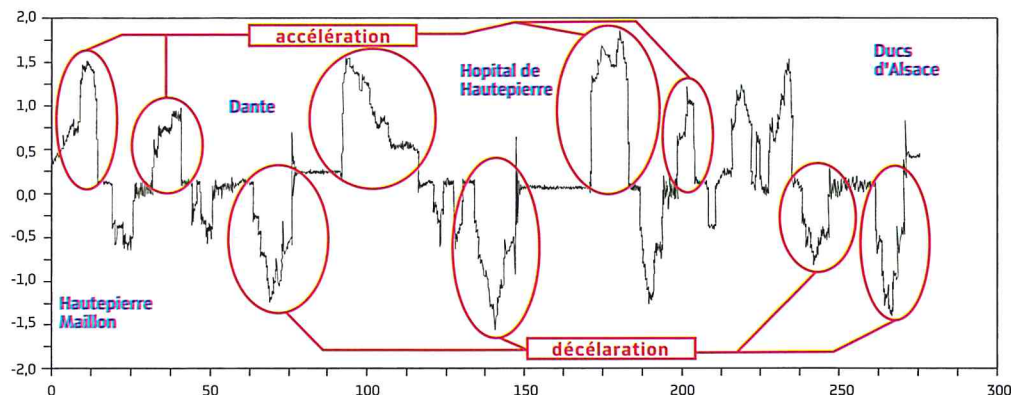
a Comment déterminer les besoins en énergie d'un véhicule ?

Sur un trajet, les paramètres vitesse, accélération ne cessent de varier. Pour déterminer les besoins en énergie, il faut savoir comment varient ces paramètres dans le temps.

EXEMPLE

Variabilité temporelle de l'accélération sur un parcours

L'enregistrement de l'accélération sur un véhicule de transport en commun type tramway donne le graphique suivant :



On observe que les accélérations et décélérations sont modérées pour des raisons de confort, et restent inférieures en valeur absolue à $1,8 \text{ m.s}^{-2}$.

Les phases de décélération sont des phases où le véhicule doit déstocker de l'énergie cinétique. Ceci peut se faire de manière mécanique à l'aide de freins qui transformeront l'énergie mécanique en chaleur par frottement. Dans le cas d'une motorisation réversible telle que celle d'un tramway, ce sont des phases où le convertisseur électromécanique peut fonctionner en générateur d'énergie électrique.

b Étude d'un cycle urbain simplifié

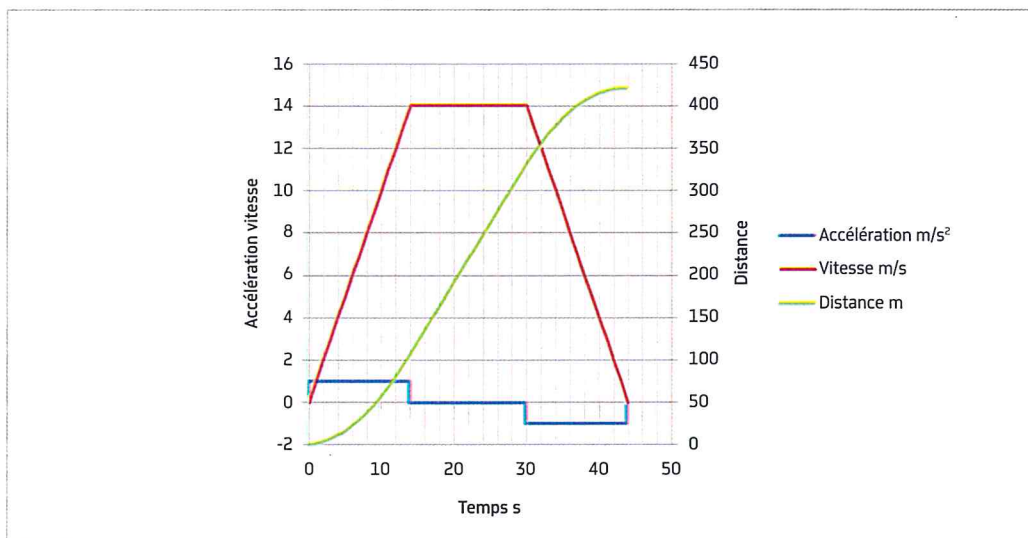


Fig. 9 Cycle urbain simplifié

Imaginons un véhicule automobile d'une masse de $1\,500 \text{ kg}$ circulant en ville et suivant le cycle représenté sur la figure 9. On donne : $C_r = 10^{-2}$ et $C_x = 0,26$; $S_f = 1,8 \text{ m}^2$; $\rho = 1,24 \text{ kg/m}^3$.

On peut déterminer les forces à la fin de la phase d'accélération :

$$F_{\text{roulement}} = 1\,500 \times 10^{-2} \times 9,81 ; F_{\text{roulement}} = 147,15 \text{ N} ; F_{\text{accélération}} = 1\,500 \times 1 = 1\,500 \text{ N}$$

$$F_{\text{fluide}} = 0,5 \times 1,24 \times 14^2 \times 0,26 \times 1,8 = 56,87 \text{ N}$$

Les puissances à la fin de la phase d'accélération sont :

$$P_{\text{roulement}} = 147,5 \times 14 = 2\,065 \text{ W} ; P_{\text{accélération}} = 1\,500 \times 1 \times 14 = 21\,000 \text{ W}$$

$$P_{\text{fluide}} = 0,5 \times 1,24 \times 0,26 \times 1,8 \times 14^3 = 796 \text{ W}$$

La puissance totale à développer est alors de $23\,861 \text{ W}$.

Cette puissance est essentiellement liée à l'accélération. La figure 10 montre l'évolution de la puissance (en bleu), de l'énergie (en rouge) à fournir à ce véhicule pour suivre le cycle défini avec un système de freinage traditionnel. La valeur de l'énergie nécessaire à ce cycle est de l'ordre de 60 W.h. Elle montre également la valeur de l'énergie (en vert) à fournir à ce véhicule pour suivre le cycle défini avec un système de freinage permettant de récupérer intégralement l'énergie emmagasinée sous forme cinétique. La valeur de l'énergie nécessaire à ce cycle est de l'ordre de 16,5 W.h.

On voit bien ici l'intérêt qu'il peut y avoir à récupérer cette énergie en utilisant la réversibilité de moteurs électriques.

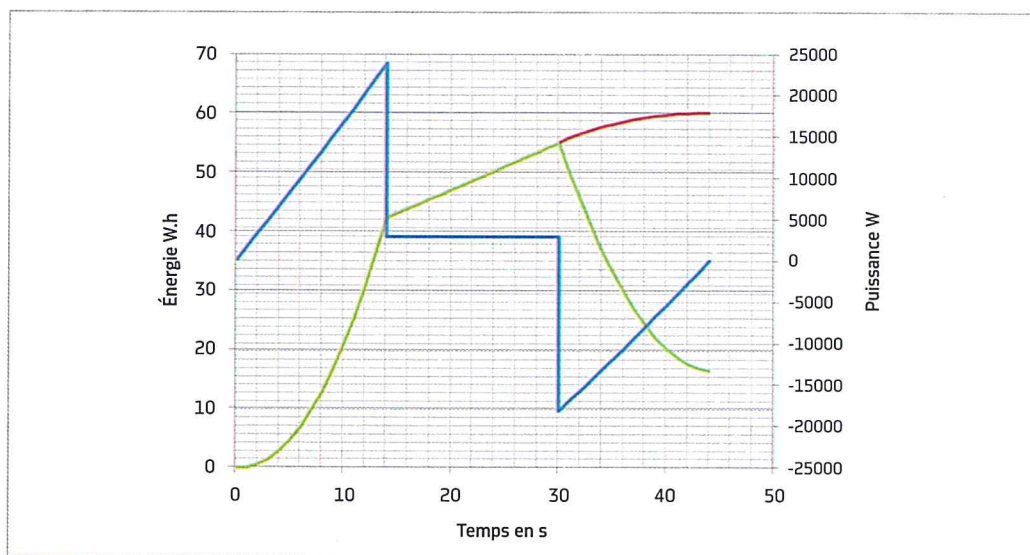


Fig. 10 Évolution de la puissance et de l'énergie

Sur ce véhicule on peut déterminer la valeur des couples qui doivent être fournis aux roues sur ce cycle. On rappelle que le couple est ici le produit de la force et du rayon des roues. Le rayon des roues étant de 0,3 m, on observe sur la figure 11 que le couple résistant lié au roulement est constant. Le couple résistant aérodynamique est d'autant plus important que la vitesse augmente. Il est en réalité proportionnel au carré de la vitesse, on le qualifie de « quadratique ». Le couple lié à l'accélération est également constant, c'est aussi le plus important des trois.

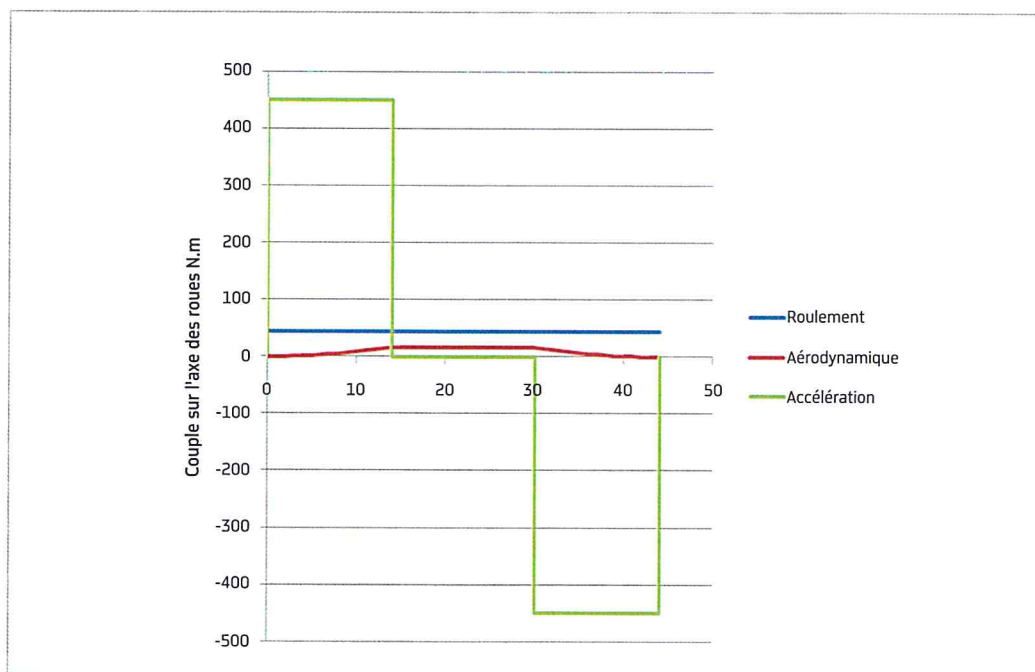


Fig. 11 Évolution des couples résistants

C Couples résistants

De manière générale, les couples résistants auxquels les moteurs doivent faire face peuvent varier en fonction de la fréquence de rotation. La figure 12 représente les différents types de couples élémentaires que l'on peut rencontrer. Le couple résistant d'un système réel étant une combinaison de ces couples élémentaires.

1. Couple constant. Ce comportement est lié à une accélération constante : exemple pesanteur.
2. Couple quadratique. Ce comportement est lié à un frottement fluide : exemple frottement aérodynamique.
3. Couple décroissant avec la vitesse. Ce comportement est lié à l'inertie mécanique d'une charge à entraîner : exemple essoreuse.

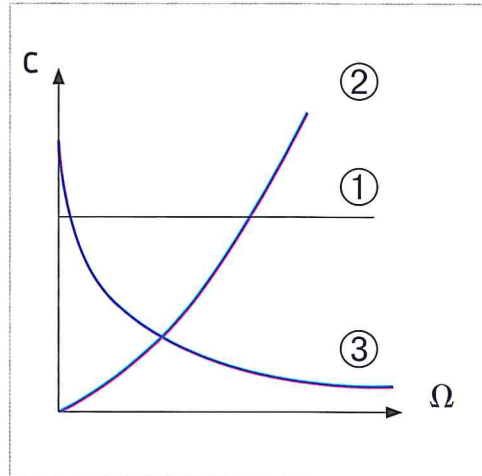


Fig. 12 Couples élémentaires

SYNTHÈSE

Pour consommer moins d'énergie primaire d'origine fossile, nos sociétés doivent travailler sur l'efficacité énergétique et en particulier dans les domaines du bâtiment et des transports qui sont les plus gourmands en énergie.

Pour ce faire, il est possible de travailler sur tous (dans l'ordre) :

- ▶ les systèmes techniques ;
- ▶ le comportement des usagers ;
- ▶ l'efficacité des chaînes d'énergies ;
- ▶ la valorisation locale d'énergies renouvelables et ou gratuites.

Domaine		Système technique	Comportement des usagers	Chaînes d'énergies	Valorisation locale d'une EnR
Habitat	Chauffage	Améliorer la valorisation des apports gratuits : solaire, interne Diminuer les pertes thermiques	Optimiser les usages	Améliorer les performances énergétiques des chaînes d'énergie Simplifier les chaînes, moduler, augmenter les rendements	Substituer partiellement l'énergie primaire fossile, nucléaire, par une énergie renouvelable locale
	ECS	Valoriser l'énergie thermique après usage de l'ECS	Limiter les débits et volumes d'eau consommée		
	Éclairage	Améliorer la valorisation de l'éclairage naturel : surface vitrée, diffusion de la lumière...	Programmation, détection présence...		
Transport		Diminuer les masses, améliorer les performances aérodynamiques, diminuer les frottements de roulement	Limiter les déplacements énergivores et les accélérations		Valoriser ou récupérer l'énergie liée au freinage