



FICHE PÉDAGOGIQUE PEUT-ON CONCILIER CONFORT ET DÉVELOPPEMENT DURABLE ?

Hassan Dibesse - Professeur de Génie Thermique -

Comment économiser l'énergie ?

Deux définitions parmi d'autres :

«**Le développement durable** est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre

la capacité des générations futures à répondre aux leurs.»
Rapport Brundtland, 1987.

Le confort : Bien être matériel, commodités de la vie quotidienne. Hachette 1988.

Niveau :

Cycle terminal Bac professionnel.
Tronc commun.

Dispositif :

- En sciences :
Thème concernant le confort dans la maison et l'entreprise.
- CME5 : Comment économiser l'énergie.
- Exploitable en technologie de spécialité suivant les référentiels.

Disciplines concernées : Sciences, Technologie de spécialité selon les diplômes préparés (équipements techniques, énergie, fluides, environnement, bâtiment, industrie, domaine maritime...etc.)

Objectifs :

Au cœur de la problématique du développement durable, la question de l'optimisation énergétique nécessite la compréhension de quelques bases de la thermodynamique : énergie, puissance, résistance thermique, rendement, bilan...etc. sont autant de notions importantes à aborder afin d'engager une réflexion raisonnée.

Compétences du socle :

CME5 : Peut-on concilier confort et développement durable ? Comment économiser l'énergie ?

Capacités

- Différencier énergie et puissance.
- Calculer le rendement des appareils et systèmes de chauffage.
- Calculer la résistance thermique d'un matériau.
- Calculer un flux thermique à travers une paroi, la relation étant donnée.

Connaissances

- Savoir que les matériaux ont des pouvoirs isolants ou conducteurs de la chaleur différents.

Exemples d'activités

- Recherche documentaire sur les différents coûts de l'électricité, sur l'isolation thermique, ...
- Calcul du coût de plusieurs modes de chauffage ou d'éclairage.
- Choix d'un mode de chauffage en comparant plusieurs rendements.
- Recherche documentaire sur les différents modes de production d'énergie.
- Mise en évidence expérimentale de la résistance thermique d'une paroi.
- Utilisation d'abaques faisant intervenir le coefficient de conductivité, la résistance thermique et l'épaisseur de la paroi.
- Bilan énergétique d'un appareil électrique ou d'un logement.
- Etude de documents techniques d'isolation utilisés dans les professions du bâtiment.

DÉROULEMENT

Pré-requis :

L'élève doit être capable d'utiliser aisément les unités et conversions basiques du système métrique.
Deux modules du socle doivent déjà avoir été abordés :
CM1- Quelle est la différence entre chaleur et température ? (en classe de seconde).
CM4- Comment chauffer ou se chauffer ? (en classe de première).

Savoirs associés au thème :

La structure proposée du cours, s'appuie sur une progression adaptée. L'élève s'approprié chaque savoir et l'utilise pour aborder une nouvelle étape.

Les 2 lois de la thermodynamique :

- La conservation
- Un français célèbre : Lavoisier

L'entropie :

- Une vision à l'échelle de l'univers ; de l'infiniment petit à l'infiniment grand
- La dégradation, l'irréversibilité... des lois naturelles !
- La vie, une exception extraordinaire !

Transfert de chaleur :

Les 3 modes de transfert :

- Conduction : définition, Loi de Fourier... un autre français célèbre !
- Convection et rayonnement
Le potentiel décroissant de la chaleur, l'équilibre thermique

Energie, chaleur et puissance :

- Résistance thermique
- Analogie électrique, loi d'Ohm
- Point de vue de la réglementation RT2005
- Les conditions du confort thermique

Tentative de réponse à la question : comment économiser de l'énergie ?

Une conception réfléchie, tenant compte de l'environnement et des perturbations, allée à une isolation bien dimensionnée et des matériaux adaptés permet en effet d'économiser de l'énergie.

Outre le respect de la réglementation thermique en vigueur, le choix des isolants peut se porter sur des matériaux naturels. Le chanvre par exemple offre des propriétés thermiques intéressantes.

Une maison bien isolée offre confort et économies d'énergie.

- En hiver : les besoins en chauffage sont réduits, car l'isolation limite les « fuites d'énergie » ou déperditions. La facture liée au chauffage se trouve ainsi allégée.
- En été : l'utilisation éventuelle d'une climatisation, pour des climats chauds, nécessitera moins de dépense énergétique. En effet, les « fuites d'énergie » vers l'intérieur ou apports sont limités par l'isolation. La quantité de chaleur à évacuer n'est pas importante. La maison reste fraîche, se passant parfois de système de climatisation.

Notez que :

Un vitrage ayant une bonne résistance thermique (double vitrage par exemple) permet de limiter les déperditions. Il offre également des apports gratuits par rayonnement solaire, ainsi qu'un confort visuel grâce à la luminosité naturelle. Cependant, le vitrage devient une contrainte par grandes chaleurs. Des rideaux adaptés permettent de palier à ce problème*.

Plus largement, l'optimisation d'un système énergétique nécessite une étude plus poussée. Il s'agira d'une étude technico-économique tenant compte de la réalisation et mise en service, de l'exploitation ainsi que des enjeux environnementaux. Des notions telle que la fiabilité, le rendement, les coûts, l'amortissement s'avèrent nécessaires**.

*vitrage de TARA lors du passage par les régions et mers chaudes. L'effet de serre peut être expliqué à cette occasion.

**des notions traitées en cours d'économie gestion

Réflexion et interdisciplinarité :

Histoire-géographie :

- Quel développement durable dans les pays en développement ?
- Quel développement dans les stratégies de lutte contre la pauvreté ?

Economie gestion :

- Les défis du développement durable : les 3 volets ; économique, social et écologique.

PROLONGEMENT POSSIBLE

Application 1 :

L'isolation thermique de TARA

- Les caractéristiques techniques de TARA sont exploitées
- Coque en aluminium
- Isolation en polyuréthane de 150 mm

CONTENUS

- Transmission de l'énergie par conduction thermique à travers une paroi homogène et isotrope.
- Coefficient de conductivité λ .
- Résistance thermique r .
- Résistance thermique d'une paroi composée.

EXIGENCES

Savoir-faire théoriques :

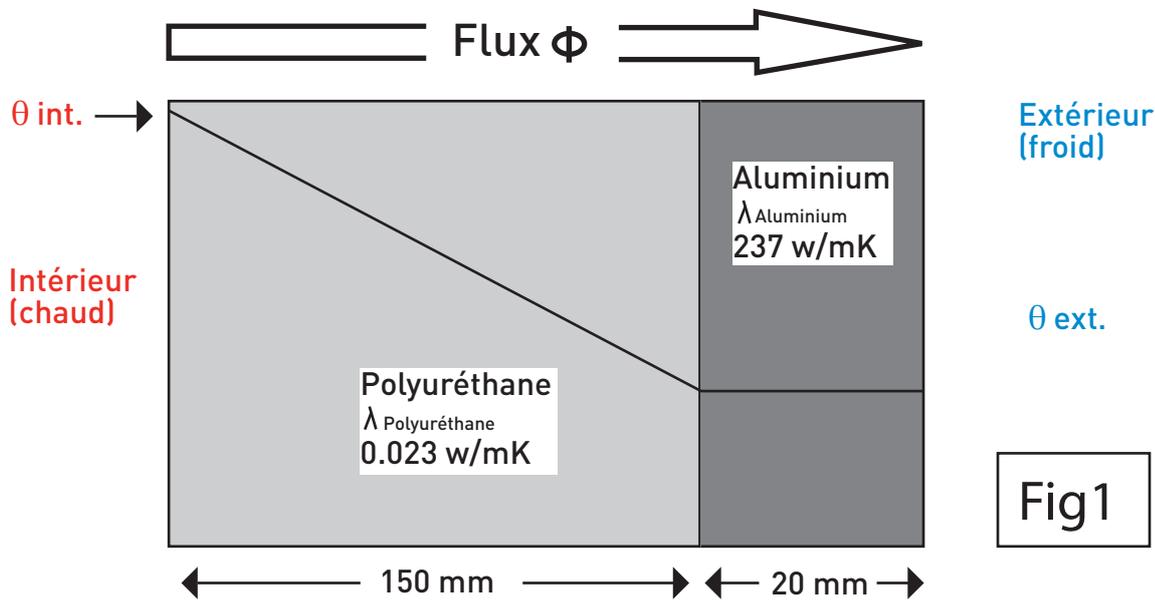
- Calculer le flux thermique à travers une paroi homogène et isotrope.
- Calculer la résistance thermique d'un matériau.
- Utiliser :
 - un tableau de valeurs des coefficients de conductivité;
 - des abaques faisant intervenir le coefficient de conductivité, la résistance thermique et l'épaisseur de la paroi.
- Calculer la résistance thermique d'une paroi composée.

Savoir-faire expérimental :

- Réaliser une expérience montrant le transfert d'énergie par conduction thermique.

Dispositif expérimental :

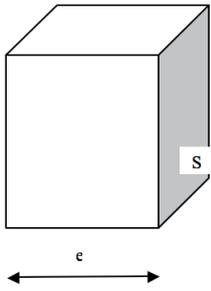
Une plaque d'aluminium de 1 à 20 mm d'épaisseur (selon disponibilité), sur laquelle on colle une plaque de polyuréthane de 150 mm. Un sèche-cheveu apporte le flux de chaleur en chauffant le côté intérieur. On instrumente le dispositif par 3 thermocouples; sur chaque plaque puis entre les deux.



Le dispositif expérimental peut contenir des matériaux, de natures et d'épaisseurs différentes. Plusieurs matériaux peuvent être juxtaposés afin de simuler un mur multicouche de bâtiment.

1- Conduction à travers un mur plan (paroi simple)

Soit un mur plan homogène, d'aire S et d'épaisseur e , constitué par un matériau de conductivité thermique λ . L'une des faces est à la température θ_1 et l'autre à la température θ_2 .



Le flux thermique est une puissance exprimée en watt, on la calcule à l'aide de la loi de Fourier :

$$\phi = \frac{\lambda \cdot S \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{e}$$

La densité de flux thermique est le flux rapporté à l'unité de surface, soit :

$$\varphi = \frac{\lambda \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{e}$$

Expression de la résistance thermique :

$$R = \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{\phi} = \frac{e}{\lambda \cdot S}$$

Analogie électrique - thermique :

ELECTRICITE	THERMIQUE
Loi d'Ohm : $U_1 - U_2 = R \times I$	Loi de Fourier : $\theta_1 - \theta_2 = \varphi \times R$
$U_1 - U_2$: différence de potentiel en volt	$\theta_1 - \theta_2$: différence de température en °C
R : résistance électrique en Ohm	R : résistance thermique en m ² C/w
I : intensité du courant électrique en ampère	$\varphi = \Phi/S$: densité du flux thermique en w/m ²

Exercice 1 :

- Calculer le flux traversant une plaque de polyuréthane de 1 m² de surface et de 150 mm d'épaisseur. La température de la face interne de la plaque est égale à 40°C, celle de la face externe est égale à 20°C
- En déduire la résistance thermique de la plaque de polyuréthane
- Pour les mêmes températures, calculer le flux traversant un m² de paroi d'aluminium de 20 mm d'épaisseur. En déduire la résistance thermique.

2- Résistance thermique d'un mur composé

Chaque paroi est traversée par le même flux thermique Φ (voir Fig.1)

$$\begin{aligned} \text{- Pour la paroi 1 : } & \varphi = \lambda_1 \cdot S/e_1(\theta_1 - \theta_2) & - & (\theta_1 - \theta_2) = \varphi/S \cdot e_1/\lambda_1 \\ \text{- Pour la paroi 2 : } & \varphi = \lambda_2 \cdot S/e_2(\theta_2 - \theta_3) & - & (\theta_2 - \theta_3) = \varphi/S \cdot e_2/\lambda_2 \end{aligned}$$

$$\text{En additionnant membre à membre : } \quad \theta_1 - \theta_3 = \theta/S (e_1/\lambda_1 + e_2/\lambda_2)$$

$$\text{D'où l'expression du flux thermique : } \quad \theta = S \cdot [1/(e_1/\lambda_1 + e_2/\lambda_2)] \cdot (\theta_1 - \theta_3)$$

$$\text{En faisant passer S au dénominateur : } \quad \theta = [1/(e_1/\lambda_1 S + e_2/\lambda_2 S)] \cdot (\theta_1 - \theta_3) = [1/R_1 + R_2] \cdot (\theta_1 - \theta_3)$$

Analogie électrique - thermique :

La résistance équivalente des parois en série est la somme des résistances de chaque paroi.
 $\varphi = (\theta_1 - \theta_3) / R$ avec : $R = R_1 + R_2$

Exercice 2 :

- Calculer le flux traversant l'ensemble (plaque de polyuréthane + paroi d'aluminium) de 1 m² de surface. La température de la face interne de la plaque est égale à 40°C, celle de la face externe est égale à 20°C
- En déduire la résistance thermique de l'ensemble polyuréthane-aluminium
- Analyse et interprétation des résultats.

Applications numériques, éléments de correction :
 Pour un écart de 20°C.

Résistance thermique de l'aluminium	$R_1=e_1/\lambda_1$	0.000084	Très faible, l'aluminium est très bon conducteur de la chaleur
Résistance thermique du polyuréthane	$R_2=e_2/\lambda_2$	6.52	Excellente, c'est l'un des plus performants isolants thermiques
Résistance thermique totale	R_1+R_2	6.52	La résistance de l'isolant est prépondérante, celle de l'aluminium peut être négligée
Flux perdu par la paroi d'aluminium		237 kW	Enorme ! équivalent à 6 chaudières de 40 kW
Flux perdu par la paroi de polyuréthane		3 W	Très faible
Pour un écart de température de 40°C (temps très froid) entre l'intérieur et l'extérieur et pour une surface de 1 m ² , on aura : $\Phi = 6$ w. Un flux de chaleur très faible soit $\Phi = 2$ kW (puissance à installer) pour 300 m ² de mur ! En réalité, il faut beaucoup plus de puissance à cause des diverses déperditions (ponts thermiques, renouvellement d'air...etc.). TARA dispose d'une chaudière de 40 kW			

— L'aluminium est un très bon conducteur thermique (c'est une passoire !), il n'oppose donc aucune résistance aux déperditions thermiques. Pour une même surface et un même écart de température, le flux perdu par la paroi est 79000 fois plus élevé que celui perdu par la paroi de polyuréthane !!!

Avantage d'une coque en aluminium	Inconvénients d'une coque en aluminium
- Rapport poids/solidité	- Très faible résistance thermique
- Longévité	- Condensation, bruit
- Facilité d'entretien	- Electrolyse, corrosion*

Solution : le polyuréthane est un très bon isolant thermique qui présente une bonne résistance à la condensation Pour une bonne isolation phonique, il est associé à des feuilles de plomb**. Le polyuréthane est très utilisé pour l'isolation des bateaux de pêche artisanale.***

* rôle des anodes, voir la fiche pédagogique n°3 : Comment protéger un navire contre la corrosion ?

** source : <http://oceans.taraexpeditions.org/fr>, archives du 7 et 25 mai 2009

*** recommandations de la FAO (organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)

Application 2 :

L'isolation thermique dans le bâtiment :

— Effectuer les mêmes calculs que précédemment pour des murs composés de différents matériaux

Exemples :

- mur en pierre sans isolation, mur en brique avec isolation (comparer en utilisant des isolants et épaisseurs différentes.
 - simple vitrage, double vitrage
- Comparer l'efficacité de chaque solution
- Qualité de l'isolation : Etendre la réflexion aux thèmes de l'efficacité énergétique, prix et influence sur l'environnement.

SIÈCLE DES LUMIÈRES, SIÈCLE DES SAVANTS

Source : Wikipédia



Antoine Lavoisier

Naissance 26 août 1743 à Paris, France

Décès 8 mai 1794 (à 50 ans) à Paris, France

Nationalité : France

Profession(s) Chimiste, philosophe, économiste

Loi de Lavoisier

« Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme. »

La citation exacte est en fait

« ... car rien ne se crée, ni dans les opérations de l'art, ni dans celles de la nature, et l'on peut poser en principe que, dans toute opération, il y a une égale quantité de matière avant et après l'opération ; que la qualité et la quantité des principes est la même, et qu'il n'y a que des changements, des modifications. »

LAVOISIER, Traité élémentaire de chimie (1789), p. 101



Joseph Fourier

Naissance 21 mars 1768 à Auxerre (France)

Décès 16 mai 1830 à Paris (France)

Nationalité : France

Champs mathématicien, physicien

Institution Polytechnique

Diplômé École normale supérieure Célèbre pour Série de Fourier, Transformée de Fourier ainsi que l'étude de la propagation de la chaleur.

Fourier est probablement l'un des premiers à avoir proposé, en 1824, une théorie selon laquelle les gaz de l'atmosphère terrestre augmentent la température à sa surface – c'est une première ébauche de l'effet de serre.



Georg Simon Ohm

Naissance 16 mars 1789 à Erlangen, Allemagne

Décès 6 juillet 1854 à Munich

Nationalité Allemande

Champs Physique Institution Université de Munich Diplômé Université d'Erlangen Célèbre pour Loi d'Ohm

Ohm détermine qu'il y a une relation de proportionnalité directe entre la différence de potentiel et le courant électrique, ce qu'on appelle maintenant la loi d'Ohm. Utilisant ces résultats expérimentaux il détermine les relations fondamentales entre courant, tension et résistance électrique, ce qui constitue le départ de l'analyse des circuits électriques

RESSOURCES

ADEME. Économies d'énergie.

In : ademe [en ligne]. 2009. <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=12616> (Consulté le 28 janvier 2010).

Site de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie. Des données globales et des conseils précis sur le sujet d'économies d'énergie.

CEA. Énergie.

In : cea [en ligne]. 2009. <http://www.cea.fr/energie> (Consulté le 28 janvier 2010).

Actualités et dossiers sur le thème de l'énergie

Économie d'énergie.

In : économie d'énergie [en ligne]. 2009. <http://www.economiedenergie.fr/> (Consulté le 28 janvier 2010).

Site entièrement dédié à l'économie d'énergie : confort intérieur et éco-gestes, le monde de l'énergie, les énergies disponibles...

Ministère de l'écologie, de l'énergie, du Développement Durable et de la Mer. Les économies d'énergie.

In : développement durable.gouv [en ligne]. 2010. http://www.developpement-durable.gouv.fr/energie/developp/econo/f1e_eco.htm (Consulté le 28 janvier 2010).

Dossier du Ministère sur les économies d'énergie

SCIO. La thermodynamique: e-scio [en ligne]. <http://www.e-scio.net/thermo/index.php3> (Consulté le 28 janvier 2010).

Vulgarisation de termes physiques : définition de la thermodynamique, l'énergie, l'entropie.

Energies dans le vent, Thierry Boscheron.

CNDP, 2001, 1 vidéocassette 52 minutes.

Présentation de quelques énergies renouvelables : l'énergie éolienne, le solaire thermique et le photovoltaïque (transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique). Le problème des économies d'énergie est abordé. Mise en débat des aspects économiques liés aux choix faits par les pouvoirs politiques d'utiliser ou non ces énergies renouvelables.

Optimiser les dépenses énergétiques par la mesure.

Technologie 155, avril 2008, p. 59-61.

En quoi la mesure, parce qu'elle fournit des données de référence, est indispensable à la mise en oeuvre et au maintien dans le temps de toute démarche d'optimisation énergétique. Les paramètres influents et les effets sur l'efficacité énergétique.

Limitez vos dépassements.

Technologie 159, janvier 2009, p. 64-67.

Présentation d'une stratégie pédagogique qui permet, grâce aux TICE, d'appliquer le concept d'efficacité énergétique au lycée en plaçant les élèves en situation professionnelle.

Eteints, ils consomment encore de l'électricité.

Science et vie 1025, février 2003, p.61-71.

A l'état de veille, de très nombreux appareils électriques consomment une quantité d'énergie non négligeable. Aucune réglementation n'oblige les constructeurs à lutter contre ce gaspillage, considérable à l'échelle nationale. Un tableau de consommation à l'état de veille des appareils domestiques courants illustre le propos.

2es assises de l'efficacité énergétique : des intentions aux actes.

Technologies 162, mai 2009, p. 62-63.

Le point, en 2009, sur l'avancement de la réflexion des électrotechniciens en matière d'efficacité et d'économie énergétique dans les bâtiments et l'industrie.