

Labellisation énergétique des engins de transport sous température dirigée

Bernard COMMERE, Directeur du GIE Cemafrroid
BP 134, 92185 ANTONY CEDEX
Tél 01 40 96 61 21
e-mail : bernard.commere@cemafrroid.fr

Introduction

Les schémas de labellisation énergétique ont permis de réduire la consommation d'énergie d'équipements comme les réfrigérateurs ménagers ou les meubles frigorifiques de vente. Sans créer de contrainte sur la circulation des produits, ils se limitent à l'obligation, pour le producteur, de fournir une information fiable sur l'efficacité énergétique des produits mis sur le marché. Ils ont ainsi un double effet : dans un premier temps, ils fournissent aux utilisateurs une information permettant de choisir les équipements les plus efficaces du point de vue énergétique ; dans un deuxième temps, ils incitent les producteurs à améliorer les équipements mis sur le marché. C'est le cas en Europe, depuis une directive européenne de 1994¹, pour les équipements ménagers comme les réfrigérateurs lave-linge et sèche linge.

En ce qui concerne les engins de transport sous température dirigée, les normes techniques internationales en vigueur n'abordent pas la question de la consommation énergétique de l'équipement frigorifique de façon globale.

Afin d'élaborer des propositions dans ce domaine, un projet de recherche européen² a été conduit entre 1996 et 1999 par le Cemagref – Unité Génie de procédés frigorifiques (Antony, France), le TNO – Institute of Environmental Sciences (Appledorn, Hollande) et le CNR – Istituto per la Technica del Freddo (Padova, Italie).

Cet article rappelle quelques données économiques du transport sous température dirigée et résume les principales conclusions de ce projet.

Les enjeux économiques

Bien que peu de statistiques fiables existent concernant le parc d'engins de transport dans le

¹ Directive 94/2/CE du 21 janvier 1994, concernant la labellisation énergétique de réfrigérateurs et congélateurs domestiques

² Van Gerwen R.J.M., Van der Sluis S.M., Schipouwer H., Bennahmias R., David D., Guilpart J., Slama T., Panozzo G., Energy labelling of refrigerated transport equipment, Commission of the European Communities, Directorate general for energy, SAVE program, contract n° XVII/4.1031/Z/96-019 - Final report, Février 1999.

monde, on estime le parc mondial des engins autonomes à 1 million de véhicules routiers autonomes et 400 000 conteneurs maritimes³. Le transport par route représente entre 70% et 95% du transport des denrées périssables, selon les régions. La consommation d'énergie de l'équipement frigorifique représente jusqu'à 40 % de la consommation d'énergie totale du véhicule.

Pour l'Europe, il est estimé à 450 000 unités⁴ réparties en :

- 234 000 véhicules utilitaires légers, de charge utile inférieures à 3,5 tonnes
- 99 000 camions porteurs frigorifiques
- 117 000 remorques et semi-remorques

En France, on estime que plus de 95 % du transport de denrées alimentaires est effectué par des véhicules routiers. En 2002, les immatriculations de véhicules frigorifiques de plus de 1,5 tonnes ont atteint près de 9000 engins, dont 3640 véhicules utilitaires légers, 2803 véhicules industriels, et 2470 remorques et semi-remorques. Ce chiffre étaient de 5500 en 1993 (respectivement 2018, 2128, et 1343)

La durée d'utilisation moyenne d'un engin frigorifique est de 9 ans environ, ce qui conduit à une estimation du parc de 65 000 engins en circulation.

Le ratio est environ de 1 engin pour 1000 habitants en France et en Europe, et 1 engin pour 5000 habitants pour l'ensemble du monde.

Enjeux énergétiques

Il est impossible d'estimer précisément la consommation d'énergie nécessaire pour ces engins. Un calcul d'ordre de grandeur peut toutefois être fait sur le scénario suivant :

- la surface moyenne de la caisse de l'engin de 50 m²
- température moyenne extérieure 20°C
- utilisation de 5000 heures par an

en appliquant la formule : $W = K.S.(T_i - T_e)$ dans la quelle les symboles ont la signification suivante :

- W : puissance frigorifique instantanée. Nous faisons l'hypothèse simplificatrice qu'elle est égale à la puissance consommée, compte tenu du rendement du moteur thermique d'une part et du coefficient de performance du groupe frigorifique d'autre part.

³ Billiard F., Quoi de neuf en transport frigorifique ?, Int. J. Refrigeration 25 (2002), p 501-503.

⁴ Guilpart J., Le transport frigorifique en Europe, Revue générale du froid (2003)

- K : coefficient global de transmission thermique. Nous retenons en moyenne les valeurs limites fixées par la réglementation ($0,4 \text{ W}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}$ pour le surgelé, $0,7 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$). Les engins neufs peuvent être plus performants. En vieillissant les coefficients augmentent et peuvent dépasser ces valeurs, comme en attestent certains résultats d'essais réalisés au Cemafroid sur des engins de plus de 12 ans d'âge.
- T_i : température intérieure, soit $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ pour des produits surgelés, 0°C pour des produits réfrigérés.
- T_e : température extérieure : nous retenons 20°C en moyenne. Les pays les plus chauds sont aussi ceux qui ont le plus de possibilités de développer l'énergie solaire.

Pour un engin transportant du surgelé, la puissance instantanée est donc :

$$W_s = 0,4 \times 50 \times 40 = 800 \text{ Watts}$$

Pour un engin transportant du frais, la puissance instantanée est de :

$$W_f = 0,7 \times 50 \times 20 = 700 \text{ Watts}$$

En supposant que le parc transport du surgelé pour 20 % et du frais pour 80 %, nous obtenons donc une puissance de :

$$65\,000 \times (800 \times 0,2 + 700 \times 0,8) = 47 \text{ MW}$$

soit une consommation annuelle de 235 GWh ou encore 20 000 tonnes équivalent pétrole.

Aux niveaux européen et mondial, la consommation annuelle calculée selon le même scénario serait respectivement de 125 000 tep et 310 000 tep.

Considérations générales

L'efficacité énergétique est à distinguer de la consommation d'énergie. Elle prend en compte le type d'utilisation de l'engin, et ne s'attache à comparer que des engins ayant des utilisations comparables

Les marquages existants en Europe sont homogènes et leur cohérence commence à être perçue par le public.

Les secteurs prioritaires sont les équipements ménagers et les équipements des étapes immédiatement en amont, à savoir la distribution et le transport.

Deux voies sont possibles pour développer la labellisation énergétique :

- l'adoption de directives politiques de l'union européenne, par la voie réglementaire,
- les schémas de labellisation volontaires, décidés d'un commun accord par les acteurs du marché : dans la pratique, de tels schémas peuvent éviter l'adoption de directives européennes contraignantes.

Propositions pour la labellisation

Bien qu'il n'existe pas de norme européenne sur les mesures de performances des caisses isothermes et des groupes frigorifiques des engins de transport, l'ATP (accord sur le transport international de denrées périssables), signé par 38 pays, dont l'ensemble des pays européens, joue un rôle équivalent.

Il définit des méthodes de mesures pour les caractéristiques suivantes :

- dimensions des caisses isothermes,
- coefficient global de transmission thermique K,
- puissance frigorifique du groupe de production de froid,
- consommation d'énergie (gasoil ou électricité) du groupe.

Afin de préserver l'acceptabilité d'un programme de labellisation, il faut s'assurer que les coûts générés par les essais restent bas. Il est pour cela proposé de s'appuyer largement sur les méthodes de mesure définies par l'ATP, et de limiter les propositions aux engins qui représentent la plus grande partie des moyens de transport utilisés, à savoir les engins composés d'une caisse isotherme et d'un dispositif mécanique de production de froid.

La numérotation ci-dessous reprend la numérotation du rapport final du projet.

3. Les classes d'équipements frigorifiques pour le transport

3.1 Objectifs de la classification

La comparaison des performances n'a de sens que pour une utilisation similaire. Par analogie avec les équipements domestiques, on ne peut pas comparer la consommation d'un simple réfrigérateur avec celle d'un congélateur.

L'objectif de la classification est de définir les classes d'utilisation au sein desquelles il est possible de comparer les consommations énergétiques.

3.2 Classification des caisses isothermes

Les principaux critères à prendre en compte sont définis ci-dessous.

Il est proposé de s'appuyer sur les deux classes définies par l'ATP en fonction de la valeur du coefficient global de transfert thermique K :

- "isothermes renforcés" pour le transport de produits surgelés : $K < 0,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- "isothermes normal" pour le transport de produits frais à température positive $K < 0,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

La taille de l'engin peut varier de la camionnette au conteneur maritime de 40 pieds. Même si les technologies de fabrication de la caisse isotherme varient selon la taille, la valeur du coefficient K reste le critère de comparaison.

D'autres critères ont été étudiés et n'ont pu être retenus pour des raisons pratiques :

- la plage de température de transport (surgelés ou réfrigérés à température positive) : si un engin destiné au surgelé peut transporter des produits réfrigérés, l'inverse n'est pas toujours possible,
- les dimensions de la caisse,
- le nombre de compartiments.

3.3 Classification des groupes de production de froid

Les différents types de dispositifs de production de froid sont les suivants :

- cycle de compression mécanique (condensation/évaporation)
- cycles à absorption
- glace hydrique ou glace carbonique
- gaz liquéfiés
- plaques eutectiques.

Il est proposé de se limiter dans un premier temps à la première catégorie, qui représente la plus grande partie des cas rencontrés. Pour cette catégorie, les critères retenus sont les suivants

- Le types de groupes frigorifiques :
 - o mono évaporateur
 - o multi évaporateur et multi température, pour le transport simultané de surgelés et de frais
- La plage de température du groupe
 - o groupes pour produits frais et surgelés (pouvant maintenir jusqu'à -20°C)
 - o groupes pour produits frais uniquement (pouvant maintenir jusqu'à 0°C)
- La source d'énergie du groupe de production de froid :
 - o un moteur diesel autonome :
 - o entraîne directement le compresseur, par courroie, chaîne ou autre)
 - o entraîne un alternateur alimentant un moteur électrique
 - o le moteur servant à déplacer l'engin :
 - o produit l'énergie électrique qui alimente un moteur électrique
 - o entraîne une pompe hydraulique qui entraîne un moteur hydraulique
 - o entraîne le compresseur directement par une courroie

D'autres critères ont été étudiés mais n'ont pu être retenus pour des raisons pratiques, même s'ils peuvent avoir une incidence énergétique :

- le type de circuit logistique : longue distance, ou tournée de distribution avec de multiples ouvertures de portes,
- la puissance du groupe frigorifique, du fait qu'elle est liée aux dimensions de l'engin,
- le nombre de compartiments de l'engin : mono ou multi compartiments.

Les catégories retenues pour les groupes frigorifiques sont définies dans le tableau 1:

Tableau 1

Catégorie	Type d'entraînement du compresseur	Type d'énergie	Energie Mesurée
1A 1B (ME) 1C (CO)	Direct par moteur diesel autonome	Gasoil (moteur du compresseur)	Gasoil
2A 2B (ME) 2C (CO)	Direct par moteur diesel autonome ou moteur électrique	Gasoil Electricité (secteur)	Electricité (secteur)
3A 3B (ME) 3C (CO)	Moteur diesel entraînant un générateur électrique	Gasoil Electricité générée	Electricité (générateur)
4A 4B (ME) 4C (CO)	Générateur entraîné par le moteur du véhicule	Gasoil Electricité générée	Electricité (générateur)
5A 5B (ME) 5C (CO)	Moteur hydraulique alimenté par une pompe hydraulique entraînée par le moteur du véhicule	Gasoil	Gasoil
6A 6B (ME) 6C (CO)	Entraînement direct (par courroie) par le moteur du véhicule	Gasoil	Gasoil

ME

Multi évaporateur

CO

Unités à température positive

3.5 Conclusion

En conclusion et pour tenir compte des différents cas, le critère essentiel commun aux différents groupes est le COSP du groupe frigorifique.

On considère la consommation d'électricité, plus homogène que la consommation de diesel (qui dépend de la qualité du diesel, sauf dans le cas d'entraînement direct par le moteur, que le dispositif de production de froid soit autonome ou non autonome.

4. Le modèle de référence

Dans l'esprit des directives européennes publiées jusqu'ici, la labellisation est placée sous la responsabilité du producteur, qui doit réaliser les essais nécessaires pour fournir l'information nécessaire à la labellisation.

Dans le cas de production en petites séries, les coûts des essais peuvent devenir rédhibitoires pour la faisabilité d'un programme de labellisation. Or dans le transport, la production de petites séries d'engins conçus sur mesure pour un type de circuit logistique donnée est la règle. C'est pourquoi il a été élaboré un modèle de référence.

Pour utiliser le concept de modèle de référence, le fabricant doit identifier les différents groupes de modèles d'engins selon leur efficacité énergétique. Pour chacun de ces groupes, il pourra se contenter de tester le modèle qui a la moins bonne efficacité énergétique, et qui servira de référence pour l'ensemble du groupe.

5. Méthodes de mesures

5.1 Proposition

En l'absence de normes européennes, et afin de ne pas augmenter les coûts des essais, il est proposé de s'appuyer sur les méthodes d'essais définies dans l'ATP. Tous les pays membres de l'Europe étant signataires de l'ATP, on peut considérer que les méthodes d'essais et critères définis dans l'ATP ont valeur de norme européenne.

Il est donc proposé de retenir, parmi les méthodes de mesure définies dans l'ATP :

- pour le coefficient K, la méthode du chauffage intérieur,
- pour la puissance frigorifique des groupes : la méthode calorimétrique ou la méthode de l'enthalpie du réfrigérant
- pour la consommation énergétique des groupes, la mesure est faite à la consigne maximale et à la charge maximale du groupe. Les comparaisons seront basées sur les mesures définies dans la dernière colonne du tableau 1.

6. Labellisation des caisses, groupes frigorifiques et engins complets

Le marché impose la séparation de la labellisation du groupe et de la caisse. En effet, en pratique, le client achète souvent séparément la caisse et le groupe frigorifique.

Par ailleurs, les données quantitatives définies ci-dessus ne permettent pas de tenir compte de la variété des situations rencontrées. C'est pourquoi il est proposé d'adopter des ajustements basés sur une évaluation des caractéristiques du produit déterminées par examen visuel et analyse de la documentation.

Le tableau 2 illustre le type de règles d'ajustement à appliquer.

Tableau 2 : illustration des ajustements

Résultat de l'évaluation du critère	Ajustement de l'efficacité énergétique
Mini	- 10 %
Moyen	Pas d'ajustement
Maxi	+ 10 %

Les critères définis pour la labellisation doivent :

- correspondre à l'utilisation
- permettre une classification dont le milieu correspond à la moyenne du marché.

Sur ces bases, le projet de recherche a étudié en détail les critères, et les a calibrés à partir d'une analyse statistique menée sur un échantillon de 1100 engins testés en France, Italie et Pays Bas.

Cette analyse, disponible dans la version complète du rapport final du projet, ne sera pas reproduite ici.

Les conclusions sont résumées ci-dessous

7. Définition des classes pour les caisses isothermes

La valeur du coefficient K est ajustée selon les caractéristiques de l'engin :

- étanchéité à l'air : la méthode de mesure est proposée est basée sur la correspondance une surpression imposée à l'intérieur et le débit d'air nécessaire pour la maintenir. Elle est définie dans la norme ISO 1496/II⁵. Il est proposé d'apporter un ajustement de 0,018 W/m².K au coefficient K lorsque la perte thermique due au débit d'air est supérieure à 5% et inférieure à 10% des pertes maximales de la caisse.
- Couleur et état de surface de la caisse : le coefficient K est ajusté par multiplication par 1,15 lorsque la surface n'est pas lisse, blanche et propre.
- Distribution d'air : ajustement à la baisse du coefficient K de 5% lorsque l'engin est équipé de conduits de distribution d'air, et de 10% lorsqu'il est équipé de rails d'arrimage ajourés.

⁵ ISO 1496/II. Series 2 freight containers. Specifications and testing – Part II – Thermal containers.

Tableau 3 : classification des caisses

Classe	Caisses isothermes normales	Caisses isothermes renforcées
A	$K_{\text{ajusté}} \leq 0,40$	$K_{\text{ajusté}} \leq 0,20$
B	$0,40 \leq K_{\text{ajusté}} < 0,43$	$0,20 \leq K_{\text{ajusté}} < 0,24$
C	$0,43 \leq K_{\text{ajusté}} < 0,46$	$0,24 \leq K_{\text{ajusté}} < 0,29$
D	$0,46 \leq K_{\text{ajusté}} < 0,50$	$0,29 \leq K_{\text{ajusté}} < 0,33$
E	$0,50 \leq K_{\text{ajusté}} < 0,60$	$0,33 \leq K_{\text{ajusté}} < 0,36$
F	$0,60 \leq K_{\text{ajusté}} < 0,70$	$0,36 \leq K_{\text{ajusté}} < 0,40$
G	$K_{\text{ajusté}} \geq 0,70$	$K_{\text{ajusté}} \geq 0,40$

8. Pour les groupes frigorifiques

Le critère de l'efficacité des groupes frigorifiques est basé sur le coefficient de performance COSP, défini de la façon suivante :

$$\text{COSP} = \text{puissance frigorifique} / \text{puissance consommée (totale)}$$

Cette valeur est mesurée selon la méthode décrite dans l'ATP. Les principaux fabricants de groupes disposent des installations leur permettant de réaliser les mesures.

Pour pouvoir être utilisée pour la labellisation, cette valeur nécessite des ajustements pour tenir compte des différentes configurations d'utilisation des groupes.

a) charge partielle ou totale

Plusieurs techniques permettent de contrôler la capacité frigorifique des groupes :

- des systèmes intermittents
 - o la commande de compresseur on/off
 - o un « by-pass » on/off
 - o une valve de régulation
 - o plusieurs régimes moteurs possibles (par exemple deux vitesses pour les moteurs électriques)
- des systèmes de contrôle continu
 - o contrôle de la pression d'aspiration
 - o régulation de vitesse du moteur entraînant le compresseur
 - o régulation du « by-pass » des gaz chauds

En dehors des cas où la régulation est en tout ou rien, pour lesquels aucun ajustement ne peut être retenu, il est proposé que les constructeurs fournissent, sur une base volontaire, les informations sur les performances du groupe en charge partielle, dans les limites de 40 à 60 % de la charge maximale. Dans le cas où le constructeur souhaite bénéficier de cette possibilité, il doit préciser

les conditions d'utilisation de l'équipement pour lesquelles il prétend à cet ajustement.

b) Fonctionnalité

La notion de fonctionnalité correspond aux services rendus par l'équipement. L'étude propose une définition de la fonctionnalité basée sur la bande de température à l'intérieur de laquelle s'effectue la régulation. L'analyse montre alors que les systèmes régulés ont une efficacité de 40 % supérieure aux systèmes fonctionnant en tout ou rien (on/off). Il est proposé d'appliquer un ajustement de 40 % sur le COSP pour un système régulé.

c) Autres critères étudiés qui n'ont pu être pris en compte :

- la puissance du groupe frigorifique : elle n'a pas d'effet significatif sur le COSP,
- les systèmes de dégivrage : ils ont une influence négligeable par eux-mêmes, leur efficacité étant essentiellement liée aux conditions dans lesquelles ils sont utilisés,
- la valeur du débit d'air : bien qu'elle ne puisse pas être prise en compte dans la classification des engins, elle peut avoir une influence sur le COSP et devrait figurer sur l'information relative à la labellisation énergétique,
- le mode de chauffage : le manque d'informations sur les caractéristiques correspondantes des engins étudiés n'a pas permis de proposer de prendre en compte cet aspect. Il conviendra donc de préciser que la labellisation ne porte que sur la production de froid.

Les classes ont été définies sur la base d'une analyse statistique de résultats d'essais pour les différents types de fluides, de façon à ce que la moyenne du marché corresponde aux classes D et E. Pour information le tableau 4 indique le nombre d'engins pris en compte dans cette étude statistique.

Tableau 4 : nombre d'engins étudiés

Fluide frigorigène	Nombre d'engins testés
R12	154
R134a	78
R22	43
Autres fluides	110

Sur la base de l'étude statistique ci-dessus, les classes proposées pour les groupes frigorifiques sont définies dans les tableaux ci-dessous qui distinguent groupes à moteur diesel et groupes à entraînement électrique.

Tableau 5 : classification des groupes à entraînement diesel

Classe	Groupes pour transport réfrigéré (0°C)	Groupes pour transport réfrigéré et surgelé (0°C , -20°C)
A	$\text{COSP ajusté} \geq 1,32$	$\text{COSP ajusté} \geq 1,04$
B	$1,14 \leq \text{COSP ajusté} < 1,32$	$0,90 \leq \text{COSP ajusté} < 1,04$
C	$0,97 \leq \text{COSP ajusté} < 1,14$	$0,76 \leq \text{COSP ajusté} < 0,90$
D	$0,88 \leq \text{COSP ajusté} < 0,97$	$0,69 \leq \text{COSP ajusté} < 0,76$
E	$0,79 \leq \text{COSP ajusté} < 0,88$	$0,62 \leq \text{COSP ajusté} < 0,69$
F	$0,70 \leq \text{COSP ajusté} < 0,79$	$0,55 \leq \text{COSP ajusté} < 0,62$
G	$\text{COSP ajusté} < 0,70$	$\text{COSP ajusté} < 0,55$

Tableau 6 : classification des groupes à entraînement électrique

Classe	Groupes pour transport réfrigéré (0°C)	Groupes pour transport réfrigéré et surgelé (0°C , -20°C)
A	$\text{COSP ajusté} \geq 1,64$	$\text{COSP ajusté} \geq 1,31$
B	$1,42 \leq \text{COSP ajusté} < 1,64$	$1,13 \leq \text{COSP ajusté} < 1,31$
C	$1,20 \leq \text{COSP ajusté} < 1,42$	$0,96 \leq \text{COSP ajusté} < 1,13$
D	$1,09 \leq \text{COSP ajusté} < 1,20$	$0,87 \leq \text{COSP ajusté} < 0,96$
E	$0,98 \leq \text{COSP ajusté} < 1,09$	$0,78 \leq \text{COSP ajusté} < 0,87$
F	$0,87 \leq \text{COSP ajusté} < 0,98$	$0,70 \leq \text{COSP ajusté} < 0,78$
G	$\text{COSP ajusté} < 0,87$	$\text{COSP ajusté} < 0,70$

Conclusions

Ces propositions concernent le choix de l'équipement frigorifique une fois le modèle de transport choisi.

Il appartient aux industriels de décider de mettre en place une telle labellisation sur une base volontaire, et, le cas échéant, aux pouvoirs publics de définir les mécanismes d'incitation fiscale à mettre en place pour favoriser les équipements les plus efficaces.

La labellisation proposée a pour but de permettre le choix d'un équipement par rapport à un équipement comparable en fonctionnalités.

Elle n'exclut pas de lancer un débat à un niveau plus global, qui reste à aborder : le choix du type de circuit logistique et du type d'équipement. Une telle étude devrait se baser sur une analyse globale du TEWI, en incluant la récupération des équipements en fin de vie, et les investissements en infrastructures comme les chambres froides de stockage. Ainsi par exemple il serait utile de comparer un choix logistique basé sur des petits conteneurs d'un volume inférieur à 2 m³ et un circuit logistique basé sur des engins de transport multi température livrant des magasins équipés de quais de déchargement réfrigérés.