UNIVERSITÉ DE GENÈVE
CENTRE UNIVERSITAIRE D'ÉTUDE
DES PROBLÈMES DE L'ÉNERGIE

LE FROID POUR L'ALIMENTATION ET LA SANTE : QUELS ENJEUX ?

Actes
de la 16ème Journée du Cuepe
Colloque du cycle de formation du Cuepe 2005-2006

édités par
Ayman Abu Alkhair,
Pierre Hollmuller, Bernard Lachal

Avril 2006

Actes
de la 16ème Journée du Cuepe
Colloque du cycle de formation du Cuepe 2005-2006

LE FROID POUR L'ALIMENTATION ET LA SANTE : QUELS ENJEUX ?

édités par
Ayman Abu Alkhair,
Pierre Hollmuller, Bernard Lachal

Avril 2006

Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie (CUEPE)
Batttelle – Bâtiment A
Route de Drize 7, CH – 1227 Carouge / GE
Tel : 022 379 0661, Fax : 022 379 0639
www.cuepe.ch

TABLE DES MATIERES

Avant propos
Remerciements

Santé et environnement : les deux défis du 21e siècle 1
D. Coulomb, Institut international du froid, Paris

Anthropologie du froid domestique : le frigo et ses utilisateurs 13
M.-C. Zelem, Université de Toulouse

Magnetic heating and refrigeration : a new technology of heat and cold production 37
P. Egolf, Ecole d'ingénieur, Yverdon

Amélioration des performances énergétiques des équipements de froid domestique : étiquettes, normes de performances et accords volontaires 63
P. Menanteau, LEPII-EPE, Université de Grenoble

Société de gares frigorifiques et ports francs de Genève 69
P.-A. Frossard, Société de gares frigorifiques et ports francs de Genève

La modélisation des procédés frigorifiques: un défi de maîtrise de la qualité et de la sûreté des produits alimentaires 77
G. Alvarez, CEMAGREF, Paris

Refrigeration : the case of the electric sector in Palestine 85
A. AbuAlkhair, Université de Genève

The ICRC Cold Chain 103
G.A. Mc Guire, ICRC, Genève

Programme de la Journée

Liste des participants

AVANT PROPOS

Les pertes de produits alimentaires périssables représentent environ 25 à 30% au niveau mondial, et certainement beaucoup plus dans les pays en développement, certaines estimations allant jusqu'à 40%. Pourtant, dans ces mêmes régions, une partie de la population souffre de malnutrition.

Aujourd'hui, sur une production agricole mondiale de 4'500 millions de tonnes, environ 350 millions sont réfrigérés ou congelés. Comme pour beaucoup d'autres points, une grande disparité est observée entre les pays du Nord, où 40% de la nourriture consommée est réfrigérée, et les pays du Sud, où la proportion est beaucoup plus faible et où pourtant les besoins sont les plus marqués pour des raisons sanitaires, de transport et de climat. De même, le manque de réfrigération pose d'énormes problèmes, notamment au niveau sanitaire, en situation d'urgence, et dans des conditions de climat chaud.

En amont de la réfrigération, il ne faut pas oublier l'importance des infrastructures énergétiques, principalement l'électricité, qui reste indispensable au bon fonctionnement de la chaîne de froid. Toute rupture de cette chaîne a des répercussions négatives aussi bien sur la santé que sur l'économie, si on songe par exemple aux activités basées sur l'élevage ou la pêche.

Par ailleurs, une fraction importante de la réfrigération est liée au transport international de nourriture, basé sur une énergie abondante et bon marché, avec des conséquences au niveau économique, sociale et environnemental.

Ce colloque d'une journée abordera le thème de la réfrigération principalement pour les besoins alimentaires et sanitaires, en relation avec les questions de l'énergie et du développement. Le matin sera consacré à une revue générale de la situation et des problèmes, l'après-midi à des études de cas.

REMERCIEMENTS

Les éditeurs remercient les membres du Cuepe pour les aides diverses à l'organisation de ce colloque, et tout particulièrement Sofield Kunzi et Carla Anderegg pour l'organisation logistique, ainsi que Jean-Luc Bertholet pour la mise en page de ces actes.

Santé et environnement : les deux défis du XXIe siècle

Didier Coulomb
Institut international du froid
Paris
e-mail : dcoulomb@iifiir.org

Introduction

Le froid est un secteur économique majeur, bien que peu visible, car paradoxalement, il est intégré dans la vie de tous les jours et dans beaucoup d'activités variées de l'industrie, du bâtiment, des équipements et des transports. Ainsi, par exemple, pour 6,4 milliards d'habitants, on dispose dans le monde de 1 milliard de réfrigérateurs et congélateurs domestiques, avec un doublement en 12 ans ; il existe plus de 300 millions de m^3 d'entrepôts frigorifiques et environ 1 million de camions frigorifiques…

Le froid est bien sûr indispensable pour l'alimentation, mais celle-ci ne constitue plus aujourd'hui qu'une partie de son utilisation (environ 40-50 %). Les technologies du froid permettent aussi le conditionnement d'air, en pleine expansion (bureaux, usines, habitations, véhicules). Elles sont aussi utilisées dans le secteur de la santé (conservation de vaccins, de tissus biologiques, en cryochirurgie et cryopréservation), dans le secteur de l'énergie (gaz naturel ou hydrogène liquéfiés), des technologies de l'espace, de l'information, des nanotechnologies…

Ce secteur en croissance continue est soumis à deux défis majeurs : la santé et l'environnement. L'Institut International du Froid (IIF) est un organisme intergouvernemental de 61 pays (sans compter ses membres collectifs et individuels), presque centenaire, mais dont les missions d'échanges scientifiques et techniques et de diffusion de l'information se trouvent ainsi renouvelées.

Je m'attacherai ici plus particulièrement au problème alimentaire, mais les questions environnementales ne peuvent être dissociées des autres applications du froid.

1. Défi de la santé

1.1. Les besoins alimentaires

La première fonction du froid est de conserver les aliments, sous forme plus ou moins élaborée, et donc de limiter les pertes pendant la transformation, le stockage, le transport et la commercialisation des denrées. Il est essentiel pour garantir à chacun une quantité alimentaire suffisante. Celle-ci est loin d'être assurée, même si la situation est, proportionnellement à la croissance de la population mondiale, plutôt en voie d'amélioration progressive. Cette situation est très variable d'un continent à l'autre et d'un pays à l'autre.

Tab. 1 : POPULATION SOUS-ALIMENTEE PAR REGION, 2000-2002 (Source FAO)

Régions	**en millions d'habitants**
Pays développés à économie de marché	9
Pays en transition	28
Proche-Orient et Afrique du Nord	39
Amérique Latine et Caraïbes	53
Afrique subsaharienne	204
Asie et Pacifique	519
Total de la population sous-alimentée	**852**

Tab. 2 : INDICATEURS DE L'ALIMENTATION ET DE LA FAIM, PAR REGION (Source FAO)

	Asie de l'Est	Amérique latine et Caraïbes	Proche-Orient et Afrique du Nord	Asie du Sud	Afrique subsaha-rienne	Pays en dévelop-pement
Consommation alimentaire par habitant (kcal/personne/jour) :						
1964-66	1957	2393	2290	2017	2058	2054
2000-02	2874	2848	2975	2397	2247	2659
Millions de personnes sous-alimentées :						
1990-92	275	59	25	291	166	817
2000-02	152	53	39	301	204	815
Millions de personnes vivant dans la pauvreté (1 €/jour) :						
1990	472	49	6	462	227	1218
2001	271	50	7	431	313	1089

Tab. 3 : SECURITE ALIMENTAIRE ET NUTRITION (Source FAO)

	Nombre de personnes sous-alimentées		**Part de personnes sous-alimentées dans le total de la population**		**Disponibilité énergétique alimentaire**		
	(Millions)		**(%)**		**(Kcal/personne/jour)**		**Crois-sance annuelle moyenne**
	1990-92	**2000-02**	**1990-92**	**2000-02**	**1990-92**	**2000-02**	**1990-2002**
Monde	–	–	–	–	2708	2803	0,28
Asie et Pacifique	569,2	519	20	16	2521	2674	0,53
Amérique latine et Caraïbes	59,5	52,9	13	10	2705	2848	0,49
Proche-Orient et Afrique du Nord	24,8	39,2	8	10	3070	3106	0,17
Afrique subsaharienne	170,4	203,5	36	33	2175	2254	0,40
Economies de marché développées (Europe de l'Ouest, Japon, USA, Canada, Austra-lie, Nouvelle-Zélande)	–	–	–	–	3332	3491	0,42
Pays en transition (Europe de l'Est et ex-URSS)	**1993-95** 23,3	**2000-02** 28,3	**1993-95** 6	**2000-02** 7	**1993-95** 2950	**2000-02** 2939	**1993-2002** –0,04

Les extrêmes en 2000-02 :

Erythrée 1524 kcal/personne/jour
les USA 3795 kcal/personne/jour

De nombreux aliments requièrent le froid pour être préservés : fruits et légumes, produits laitiers, viande, produits de la mer…, soit près du tiers de la quantité agricole et de pêche produite. En fait, moins de 10 % est effectivement conservée au froid. Le froid permettrait de limiter en partie les pertes après récolte, qui s'élèvent à près de 30 % de la production totale.

Le problème de la chaîne du froid se pose donc d'abord en terme de quantité alimentaire disponible : l'accroissement de la population dans les villes, notamment dans le Tiers-Monde, augmente fortement sans que les infrastructures s'adaptent toujours au même rythme.

Aujourd'hui, la moitié de la population mondiale vit en ville. Ce sera le cas de plus de 60 % de la population en 2030, avec un quasi-doublement dans les pays en développement.

Tab. 4 : POPULATION
(Source Nations Unies)

Répartition de la population	**Population (milliards d'hab.) 1955**	**Population (milliards d'hab.) 1980**	**Population (milliards d'hab.) 2005**	**Population (milliards d'hab.) 2030**
Pays développés	0,9	1,1	1,2	1,2
dont villes	0,5	0,7	0,9	1,0
Pays en développement	1,9	3,3	5,2	7,0
dont villes	0,4	1,0	2,3	4,0
Total	2,8	4,4	6,4	8,2
dont villes	0,9	1,7	3,2	5,0

2. La sécurité sanitaire

Le froid ne permet pas seulement de préserver les denrées alimentaires du point de vue quantitatif, il permet aussi de préserver leurs qualités organoleptiques (goût, texture, couleur) et sanitaires (prévention contre la croissance bactérienne, source de maladies mortelles). Cette préoccupation ne concerne pas seulement les pays développés, mais aussi, de plus en plus, les pays en développement, dont les citadins en particulier adoptent les modes de vie et les exigences.

On doit faire face à une demande croissante de plats préparés, réfrigérés ou congelés, de bonne qualité. Alors que, paradoxalement, le consommateur (y compris dans les pays développés) est relativement peu attentif à la qualité de son propre transport et de la conservation de ses aliments, les Pouvoirs Publics demandent toujours davantage de garanties de qualité et de traçabilité des produits tout au long de la chaîne du froid.

Les exigences réglementaires et normatives à l'égard des fabricants, des transporteurs, des entreposeurs et des commerçants s'accroissent. Les équipements frigorifiques doivent davantage être fiables, intégrer des capteurs de mesure et d'enregistrement de la température, de l'humidité, aisément nettoyables, etc.

Cela nécessite à la fois une optimisation de la chaîne, mais aussi des améliorations techniques continues, notamment en matière d'instruments de mesure.

Cela implique bien évidemment que l'ensemble des équipements frigorifiques continuera à augmenter dans le monde entier, pour répondre à la fois à l'augmentation de la population dans les pays en développement (cf. tableau 4) et à l'amélioration de son alimentation individuelle, quantitativement et qualitativement. C'est là qu'apparaît de façon d'autant plus délicate la question environnementale.

2. Le défi environnemental

2.1. Les frigorigènes

L'essentiel des équipements frigorifiques actuels est fondé sur le principe de la compression et de la détente d'un fluide. Ceci produit alors du froid et du chaud selon les lois de la thermodynamique. L'efficacité du système et son application à la température du froid souhaitée dépendent étroitement des caractéristiques thermophysiques du fluide considéré. De nombreux fluides différents ont été et sont utilisés dans le monde, répondant à différentes applications, pour des coûts (investissement et fonctionnement) variables.

Pour des raisons d'efficacité et de commodité, les fluides frigorigènes dominants ont été, jusque dans les années 1980, les CFC (chlorofluorocarbures). Ceux-ci sont apparus toutefois comme les responsables de la destruction de la couche d'ozone stratosphérique et du réchauffement climatique (gaz à effet de serre), dès lors que leur confinement et leur récupération après usage ne sont pas correctement assurés. Il faut en effet savoir que des pertes de plus de 15 % par an du frigorigène dans les installations de froid commercial ne sont pas rares, avec des taux de pertes extrêmement variables d'un système à l'autre (tableau 5).

Tab. : 5 EMISSIONS ET STOCKS DE CFC, HCFC et HFC (Source PNUE)

2002	**Emissions annuelles (Mt éqCO_2/an)**						
	Réfrigéra-tion (a)	Climatisa-tion fixe (b)	Climatisa-tion mobile (c)	Divers (d)	Sous-produit HFC-23	Autres (e)	Total
CFC	726	99	641	186	—	0	1 652
HCFC	232	164	15	32,1	—	6	447
HFC	102	9	93	10	195	25	434
Total	**1 060**	**272**	**749**	**228**	**195**	**31**	**2 532**
Scénario de pour-suite des activités jusqu' en 2015							
CFC	136	50	49	102	—	0	337
HCFC	570	210	19	20	—	9	828
HFC	391	109	247	45	332	27	1 151
Total	**1 097**	**369**	**315**	**167**	**332**	**37**	**2 316**

(suite)

2002	**Stocks (Mt éqCO_2/an)**						
	Réfrigéra-tion (a)	Climatisation fixe (b)	Climatisa-tion mobile (c)	Divers (d)	Sous-produit HFC-23	Autres (e)	Total
CFC	3 423	631	1 600	10 095	—	0	15 49
HCFC	810	1 755	36	1 234	—	6	3 841
HFC	518	123	350	87	—	25	1 103
Total	**4 751**	**2 509**	**1 986**	**11 416**	**—**	**31**	**20 693**
Scénario de pou-suite des activités jusqu' en 2015							
CFC	653	208	138	7 303	—	0	8 302
HCFC	1 582	1 536	42	1 702	—	9	4 871
HFC	1 922	1 488	896	893	—	27	5 226
Total	**4 157**	**3 232**	**1 076**	**9 898**	**—**	**36**	**18 400**

(a) Regroupe les systèmes de refroidissement résidentiels, commerciaux et industriels, notamment dans l'agroalimentaire et le stockage du froid, ainsi que dans les transports.
(b) Regroupe les systèmes de chauffage et de climatisation résidentiels et commerciaux.
(c) S'applique aux systèmes de climatisation des véhicules automobiles, bus et cabines de camions.
(d) Regroupe les mousses, les aérosols médicaux et la protection contre l'incendie.
(e) Regroupe les aérosols non médicaux et les solvants.

Ils ont progressivement été remplacés par les HCFC (hydrochlorofluorocarbures), dont l'effet sur le couche d'ozone et le réchauffement climatique demeure mais de façon moindre.

CFC et HCFC sont appelés à disparaître du fait du Protocole de Montréal (cf. tableau 6, Fig. 7, 8) : les CFC sont déjà interdits dans les pays développés et le seront d'ici 2010 dans les pays en développement. Les HCFC doivent être arrêtés respectivement en 2030 et 2040, mais l'Europe prévoit de les supprimer au plus tard en 2015, et peut-être dès 2012. Ces contraintes de délai ne peuvent que s'accentuer, d'autant que le Protocole de Kyoto est maintenant aussi en vigueur. Or, la grande majorité des équipements frigorifiques dans les pays en développement fonctionnent aux CFC ou HCFC, et leur remplacement par d'autres fluides nécessite des investissements importants.

Ces autres fluides sont les HFC (hydrofluorocarbures), qui n'ont un impact que sur l'effet de serre (cf. tableau. 9), et les fluides naturels (ammoniac, CO2, hydrocarbures), dont l'impact est nul ou négligeable.

D'autres technologies de production de froid que la compression d'un fluide frigorigène peuvent aussi être utilisées : froid magnétique, absorption/adsorption, froid solaire…).

Quoi qu'il en soit, cela implique des investissements en matière de confinement et de sécurité, et une maintenance accrue avec une meilleure qualification. Mais tous ces changements n'ont d'intérêt que s'ils sont couplés à des économies d'énergie.

Tab. 6 : PRESCRIPTIONS DU PROTOCOLE DE MONTREAL POUR LES PAYS EN DEVELOPPEMENT (Source PNUE)

Années	**Substances**		
	CFC (production et consommation)	**HCFC (consommation)**	**HCFC (production)**
1999	Limitation		
2000			
2001			
2002			
2003			
2004			
2005	–50%		
2006			
2007	–85%		
2008			
2009			
2010	–100% (arrêt)		
2011			
2012			
2013			
2014			
2015			
2016		Limitation	Limitation
2040		–100% (arrêt)	

Fig. 7 : Production and Consumption trends

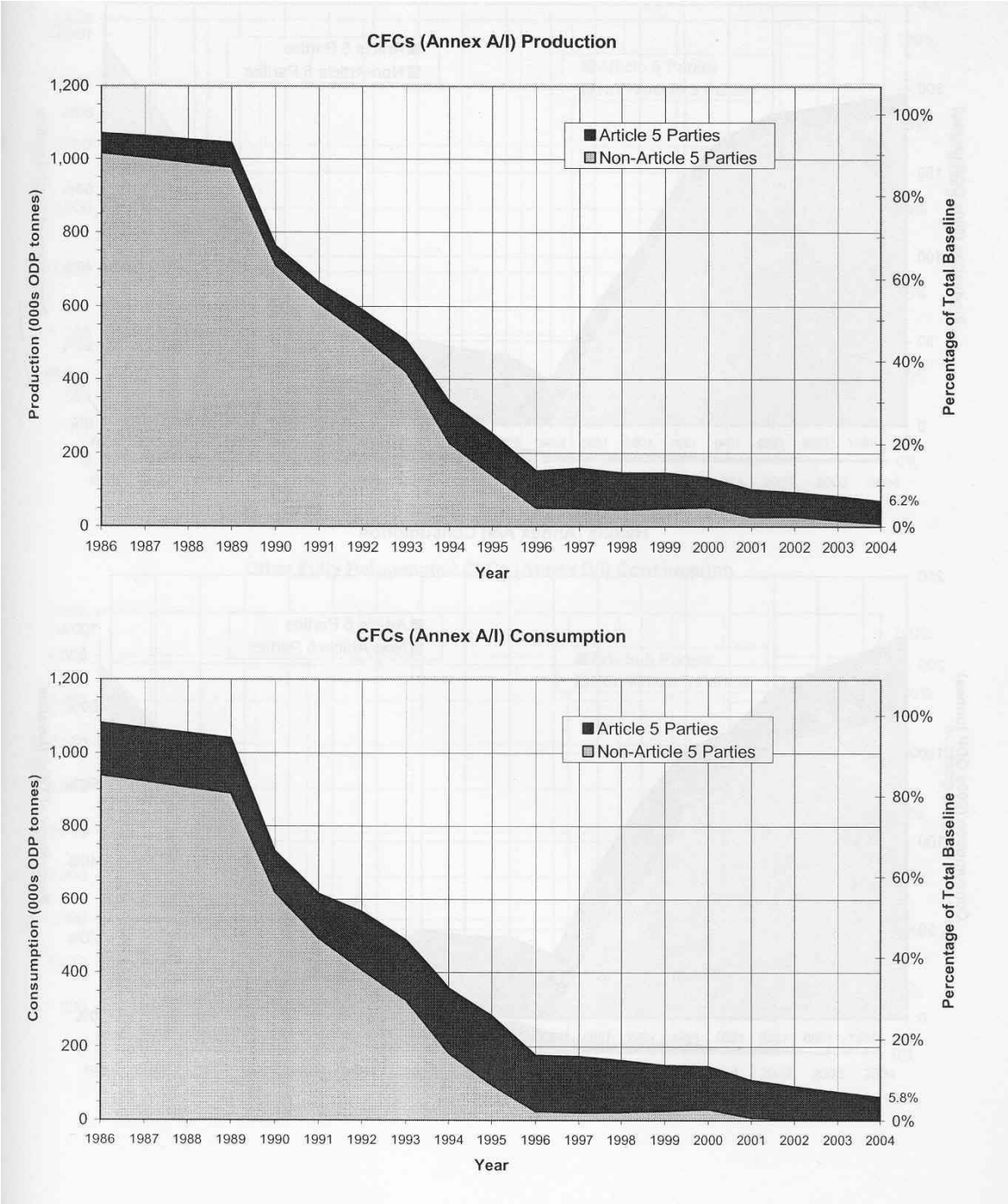
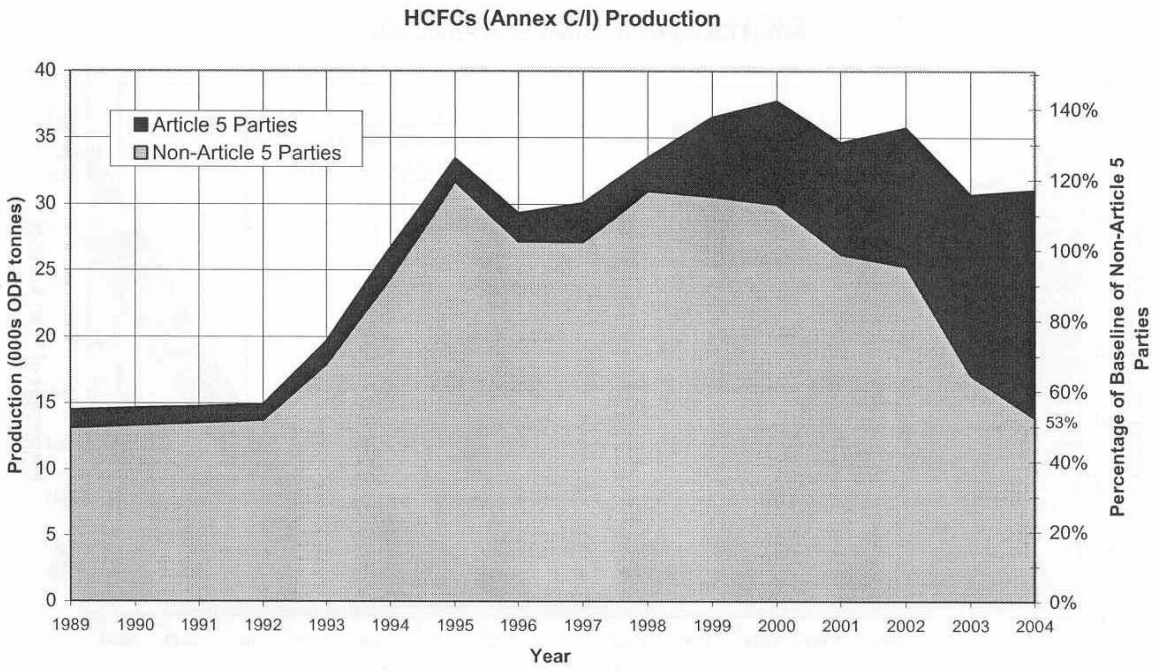
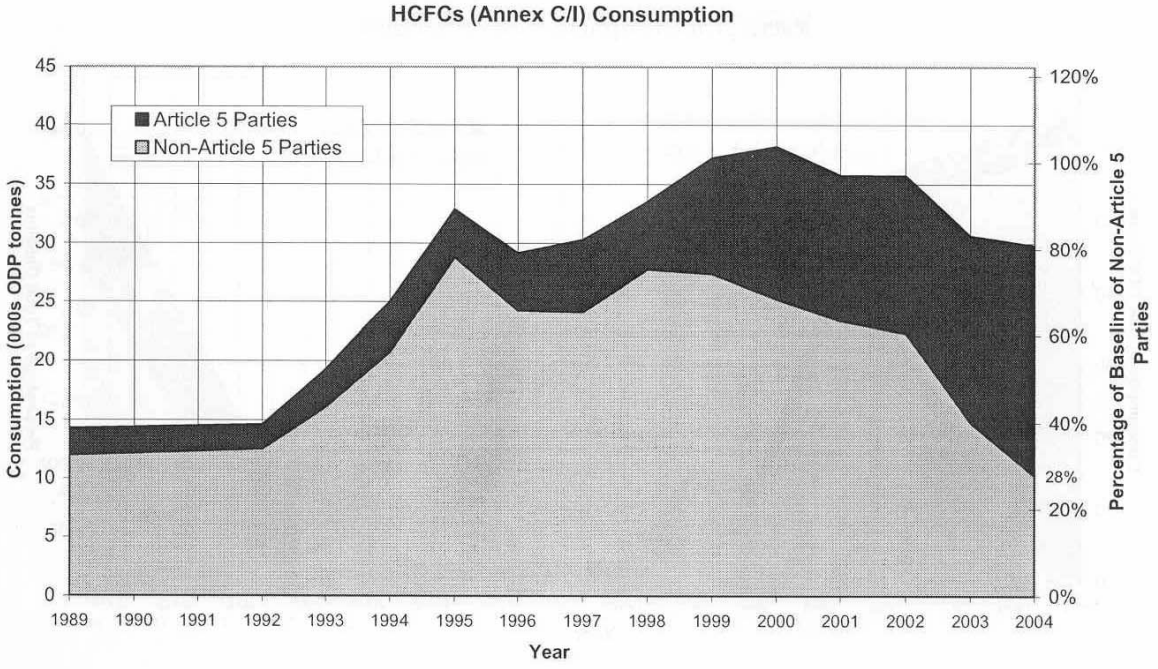


Fig. 8 : Production and Consumption trends (suite)





Tab. 9 : EFFETS POTENTIELS DES CFC, HCFC ET HFC (Source : PNUE)

Gaz (a)	PRG, forçage radiatif direct (b)	PRG, forçage radiatif indirect (c) (émissions en 2005)	Durée de vie (années)	PRP CCNUCC (d)
CFC				
CFC-12	10 720 ± 3 750	–1 920 ± 1 630	100	n.d.
CFC-114	9 880 ± 3 460	Non disponible	300	n.d.
CFC-115	7 250 ± 2 540	Non disponible	1 700	n.d.
CFC-113	6 030 ± 2 110	–2 250 ± 1 890	85	n.d.
CFC-11	4 680 ± 1 640	–3 420 ± 2 710	45	n.d.
HCFC				
HCFC-142b	2 270 ± 800	–337 ± 237	17,9	n.d.
HCFC-22	1 780 ± 620	–269 ± 183	12,0	n.d.
HCFC-141b	713 ± 250	–631 ± 424	9,3	n.d.
HCFC-124	599 ± 210	–114 ± 76	5,8	n.d.
HCFC-225cb	586 ± 205	–148 ± 98	5,8	n.d.
HCFC-225ca	120 ± 42	–91 ± 60	1,9	n.d.
HCFC-123	76 ± 27	–82 ± 55	1,3	n.d.
HFC				
HFC-23	14 310 ± 5 000	~0	270,0	11 700
HFC-143a	4 400 ± 1 540	~0	52,0	3 800
HFC-125	3 450 ± 1 210	~0	29,0	2 800
HFC-227ea	3 140 ± 1 100	~0	34,2	2 900
HFC-43-10mee	1 610 ± 560	~0	15,9	1 300
HFC-134a	1 410 ± 490	~0	14,0	1 300
HFC-245fa	1 020 ± 360	~0	7,6	—(e)
HFC-365mfc	782 ± 270	~0	8,6	—(e)
HFC-32	670 ± 240	~0	4,9	650
HFC-152a	122 ± 43	~0	1,4	140

(a) Les CFC et HCFC relèvent du Protocole de Montréal et les HFC de la CCNUCC (Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques).

(b) Les incertitudes entourant le PRG (Potentiel de réchauffement global), pour le forçage positif direct, sont estimées à ±35 % (2 écarts types) (GIEC, 2001).

(c) Les incertitudes entourant le PRG, pour le forçage négatif indirect, tiennent compte de l'incertitude estimée quant à la durée de reconstitution de la couche d'ozone et de l'incertitude visant le forçage négatif dû à l'appauvrissement de la couche d'ozone.

(d) Les directives générales de notification de la CCNUCC prescrivent d'utiliser les valeurs du PRP (Potentiel de réchauffement planétaire) présentées dans le 2e rapport d'évaluation du GIEC.

(e) Le 2e Rapport d'évaluation du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) ne donne pas d'indice de PRG pour le HFC-245fa et le HFC-365mfc. Cependant les directives de la CCNUCC

renferment des dispositions quant à la notification de tous les gaz à effet de serre pour lesquels de tels indices ont été évalués par le GIEC.

<u>A noter</u> : PRG = GWP (Global Warming Potential), beaucoup plus utilisé.

2.2. L'énergie

80 % de l'effet de serre dû aux équipements frigorifiques est dû à leur consommation d'énergie et non aux fuites de frigorigène. Le froid consomme en effet près de 15 % de l'électricité mondiale, laquelle est majoritairement produite grâce à des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz). Les réductions de la consommation énergétique des équipements frigorifiques doit donc devenir la première priorité environnementale du secteur. Elle est d'autant plus nécessaire que le prix de l'énergie est appelé à continuer à croître fortement à l'avenir, du fait de la raréfaction du pétrole.

Le défi pour les pays en développement se présente aussi sous la forme de la recherche de nouvelles énergies, parfois mieux adaptées à certains contextes. Ainsi, dans bien des endroits de l'Afrique rurale, il n'existe pas de réseau de distribution d'électricité, d'où des recherches, par exemple, pour optimiser l'utilisation de l'énergie solaire afin de faire fonctionner des équipements.

Conclusion

Le froid pour la préservation de l'alimentation est d'abord un problème quantitatif, en particulier pour les pays en développement. Il faut davantage d'entrepôts et de moyens de transport frigorifique, davantage d'équipements tout au long de la chaîne du froid, de la production végétale, animale et halieutique, jusqu'au consommateur inclus. C'est une nécessité face à l'accroissement de la population dans ces pays, à leur besoin nutritionnel et pour la qualité de leur santé.

Le parc d'équipements frigorifiques continuera à croître fortement. Il doit aussi s'adapter dès maintenant aux contraintes environnementales posées par les protocoles de Montréal et de Kyoto, et au renchérissement du coût de l'énergie. La pression sur les pays en développement pour utiliser de nouveaux systèmes frigorifiques nécessitera toutefois une aide financière et technique.

Cela passe d'abord par un bilan de l'existant, encore mal connu dans nombre de pays, ensuite par des progrès scientifiques et techniques adaptés aux conditions des différents pays.

C'est un défi pour le monde et aussi, plus modestement, pour l'IIF.

Anthropologie du froid domestique : le frigo et ses utilisateurs

Marie-Christine Zelem
Laboratoire CERTOP-CNRS
Université de Toulouse-Le Mirail
e-mail: zelem@univ-tlse2.fr

Note

Le texte présenté ci-après est en grande partie tiré d'une étude réalisée dans le cadre de l'Action de Recherche Coordonnée (ARC-Ecodif) créée par le programme Ecodev du CNRS. Cette étude a donné lieu à une publication collective transdisciplinaire :

"Le froid domestique. Etiquetage et efficacité énergétique". Les Cahiers du CLIP (Club d'Ingénierie Prospective Energie et Environnement), N° 11, décembre 1999, 90 p.

ainsi qu'à plusieurs rapports spécifiques parmi lesquels :

M.-C. ZELEM, S. NOGUES, E. PIDOUX « Le réfrigérateur : un objet pratique », CERTOP/ARC ECODIF-CNRS, juin 1998, 110 p.

M.-C. ZELEM, C. BESLAY, F. COCHOY, «La difficile insertion sociale d'une mesure publique. L'étiquetage énergétique des réfrigérateurs», Toulouse, Rapport au Conseil Régional Midi-Pyrénées, octobre 1999, tome 1 : « L'appropriation de l'étiquette », 119 p ; tome 2 : « Les usages sociaux du réfrigérateur », 49 p.

Introduction

Dans le contexte de la mise en place de la Directive Européenne d'étiquetage énergétique des appareils électroménagers amorcée en 1995, l'objectif visé par l'ARC-Ecodif du CNRS était de contribuer à définir des politiques de transformation du marché plus efficaces en s'appuyant notamment sur une meilleure compréhension des comportements et des stratégies des acteurs. C'est ainsi que, pour ce qui concerne le réfrigérateur, nous nous sommes intéressés dans un premier temps, à sa place dans les foyers, aux représentations que s'en font les ménages, ainsi qu'aux usages dont il fait l'objet. Dans un second temps, nous avons enquêté sur les lieux de vente pour identifier les modes de perception de l'étiquette énergie ainsi que pour caractériser ce qui motive les achats des consommateurs.

1. L'évolution de la fonction froid, les modes d'utilisation et les attentes des utilisateurs

Bien que commercialisé dès 1927, le réfrigérateur mettra plus de trente ans avant de trouver sa place dans les foyers français. Longtemps resté un objet de rêve, réservé aux foyers aisés, il n'équipait qu'un pour cent des ménages au lendemain de la Seconde Guerre Mondiale. Les niveaux de vie s'améliorant, son propre prix à l'achat baissant, sa diffusion dans les années cinquante a été rapide : la part des ménages équipés a augmenté de 80 points entre 1954 et 1974. Le réfrigérateur, symbole de modernité, devient alors un bien de consommation essentiel au confort ménager.

Si le taux d'équipement varie peu d'une catégorie de ménage à une autre, le mode d'équipement est conditionné par un certain nombre de paramètres tels la taille, l'âge moyen et la composition du ménage, son mode de résidence (appartement/maison individuelle), son lieu de résidence (ville/campagne) et ses revenus. Les pratiques alimentaires dépendent également de la structure des emplois du temps à l'intérieur des ménages : « *celui qui dispose de son temps n'a ni le même mode de consommation alimentaire, ni le même mode de préparation des repas que celui dont le temps est étroitement compté* »[1]. De fait, il n'a pas non plus les mêmes manières de s'approvisionner[2] et d'utiliser son réfrigérateur.

Au cours des cinquante dernières années, la modification des modes de vie, l'urbanisation, l'industrialisation, la professionnalisation des femmes, le développement des loisirs ont modifié les modes de restauration. L'alimentation traditionnelle a « quitté le foyer »[3] pour être remplacée par de nouvelles façons de s'alimenter qui s'accompagnent de la multiplication des produits industriels : conserves, produits congelés, purées instantanées dans les années soixante-dix ; plats cuisinés et « aides culinaires » (sauces prêtes à l'emploi, fonds de sauce, fumets de poisson...) dans les années quatre-vingt ; technique du sous-vide, hamburger et pizzas dans les années quatre-vingt-dix auront une incidence notable sur l'utilisation du réfrigérateur.

Paradoxalement, le réfrigérateur devient de plus en plus indispensable à la vie quotidienne mais sa présence reste peu marquée. Est-ce sa durabilité (un réfrigérateur a une durée de vie moyenne de l'ordre de 12 ans) qui lui confère ce caractère discret ? Le fait est que le réfrigérateur, quoi que plutôt encombrant, s'oublie parfois au point de faire partie des meubles. Néanmoins, il a sa propre identité. Comme tout objet technique, il n'est pas purement instrumental mais contient aussi du « social incorporé »[4] : il trône en un emplacement réservé, on lui attribue des fonctions, il supporte une variété d'autres objets, ...

Cette appropriation sociale transparaît à travers les gestes les plus quotidiens et les actions les plus répétitives. Après une incursion rapide sous forme de rétrospective sur la diffusion du réfrigérateur et l'évolution des habitudes alimentaires, ainsi que sur les pratiques sociales qui les accompagnent, il s'agira de faire apparaître les modalités de cette insertion sociale. L'analyse s'attache à apprécier et caractériser les usages sociaux du réfrigérateur compte tenu des représentations sociales que chacun se fait tant de l'appareil que de son mode de fonctionnement. Elle s'intéresse aux usages dérivés de l'appareil de manière à mettre en évidence les attentes que ces types d'usages révèlent.

1.1. L'évolution de l'usage du froid domestique et la place du réfrigérateur dans le foyer

En France, les Trente Glorieuses (1945-1975 : années de l'abondance et de la prospérité) caractérisent une période de profondes mutations au cours de laquelle le progrès technique se diffuse largement. Cela se traduit notamment par une « technicisation » du confort. Cette période jette les bases d'une « démocratie du standing »[5] qui rend ce confort accessible à une

---

[1] P. FAVRE « La différenciation sociale des pratiques alimentaires et des pratiques de sociabilité », Revue Française de Sociologie (21), 1980, p. 630.

[2] CEREBE-CNRS, Annexe du rapport d'activité, 1972. cité par N. HERPIN, « Comportements alimentaires et contraintes sur les emplois du temps », Revue Française de Sociologie (21), 1980, p. 600.

[3] J.-L. FLANDRIN, M. MONTANARI**,** (dirs.), Histoire de l'alimentation, Paris, Fayard, 1996, p. 868.

[4] [4] B. ROQUEPLO, Penser la technique, Paris, Le Seuil, 1983.

[5] J. BAUDRILLARD, La société de consommation. Paris, Le point de la question, 1970, p. 88.

large population. Le confort entre dans les modes de vie. Il n'est plus uniquement un luxe. Il devient « confort d'usage »,[6] confort utile.

Le changement profond qui s'opère alors dans les modes de vie s'accompagne de nouveaux comportements en matière de consommation. Les biens de consommation durables jusque là réservés à un univers de privilégiés vont se multiplier et devenir accessibles à la majorité de la société. On parlera plus tard du développement de la « consommation de masse ». Grâce à une hausse de leur pouvoir d'achat[7], et par la pratique toute nouvelle du crédit, la plupart des ménages peuvent alors s'équiper d'un certain nombre d'appareils dont les appareils électroménagers qui vont perdre peu à peu leur caractère de luxe.

A partir des années 1954-58[8], on observe un net accroissement des taux d'équipement de certains appareils électroménagers tels que la machine à laver, les appareils de cuisson (la gazinière), l'aspirateur et le réfrigérateur. La diffusion se poursuit ensuite de manière régulière, stimulée dans le cas des réfrigérateurs par le développement des systèmes de chauffage qui posent de nouveaux problèmes de conservation. Elle sera encore renforcée quelques années plus tard avec l'apparition et l'essor des supermarchés, puis des hypermarchés, qui modifieront considérablement les conditions d'approvisionnement des français.

Aujourd'hui, on observe nombre de transformations de l'organisation sociale qui s'accompagnent de changements dans les comportements alimentaires et par conséquent dans les modes d'approvisionnement : « *travail des femmes, pratique de la journée continue, redéfinition des rôles sociaux de sexe, industrialisation de la sphère alimentaire, baisse de la part de l'alimentation dans le budget des ménages* »[9]. Les pratiques alimentaires se déstructurent ce qui se traduit pas de nouvelles manières de solliciter les réfrigérateurs.

1.1.1 Une forme de confort ménager : pouvoir conserver et stocker

L'aspirateur remplace le balai, la machine à laver la lessiveuse. Médiateurs du confort, ces objets diminuent la pénibilité de l'acte (balayer, laver...), et permettent de dégager du temps qui pourra être consacré aux loisirs ou du moins à d'autres activités que l'activité ménagère. De la même manière, l'introduction du réfrigérateur dans les foyers va contribuer à faciliter l'organisation de la vie quotidienne : plus besoin de faire le marché tous les jours pour s'approvisionner en produits frais, d'entreposer dans le garde-manger les produits périssables, de mettre en oeuvre des méthodes de conservation laborieuses (salaisons, conserves...).

Le réfrigérateur permet de passer de l'immédiat (chassé-mangé, cueilli-mangé ou préparé-mangé) au différé (manger plus tard). Il permet de conserver, mais également de stocker dans de bonnes conditions d'hygiéne. Il est devenu un auxiliaire indispensable, à tel point que l'absence de réfrigérateur renvoie à une situation d'inconfort.

1.1.2 De nouveaux modes alimentaires

Lors de son arrivée dans les ménages ; le réfrigérateur a modifié sensiblement les pratiques alimentaires de la plupart des familles : les habitudes alimentaires (types d'aliments, composition des repas et composition des plats) mais aussi la fréquence (de quotidiennes, les

---

[6] O. LE GOFF, L'invention du confort. Naissance d'une forme sociale. Lyon, PUL, 1994, p. 61.

[7] G. ABRAMOVICI, « La consommation des ménages depuis 1959 », Données Sociales, Paris, INSEE, 1996, p. 384.

[8] O. LE GOFF, Op. Cit., p. 98.

[9] J.-P. POULAIN, « La modernité alimentaire : pathologie ou mutation sociale ? » Cahiers de nutrition et de diététique (33), 6, 1998, p. 351.

courses peuvent devenir hebdomadaires) et les modes d'approvisionnement (il n'est plus nécessaire d'avoir un potager ou une cave où entreposer les produits périssables)[10] On abandonne le bloc de saindoux, le sel, la fumure, et dans une moindre mesure la conserve. On adopte le frais, le surgelé. Plus besoin non plus de poules, ni de jardin pour disposer d'oeufs ou de légumes frais. Boire du lait, manger du beurre, du fromage blanc ou des yaourts ne sont plus des actes occasionnels ou saisonniers.

Quelques décennies plus tard, les profondes mutations sociales que sont la multiplication des familles nucléaires[11], l'arrivée des familles monoparentales, l'accroissement du nombre des « seniors »[12], le développement du travail féminin, la disparition des petits commerces de proximité au profit des centres commerciaux et des hypermarchés... auront des répercussions en terme de déstructuration, fractionnement et déritualisation des repas. De sorte que si, dans un premier temps, l'introduction du réfrigérateur a considérablement changé les modes et pratiques alimentaires des ménages, les transformations de l'organisation et de la structure sociales auront en retour des incidences importantes sur la manière de l'utiliser (contenu, sollicitation et fréquence de remplissage).

L'alimentation contemporaine subit l'emprise de l'univers du travail et des loisirs. Le nombre de repas pris à la maison diminue alors que la restauration hors domicile (cantine, restaurant, fast-food, sandwicherie...) se développe. Les courses quotidiennes sont peu à peu remplacées par un type d'approvisionnement hebdomadaire. Notre société est passée du commensalisme alimentaire (« *système de prises alimentaires centré sur des repas structurés pris en commun selon des formes fortement ritualisées* »[13]) au vagabondage alimentaire *(« mode d'alimenation plus fractionné qui peut comprendre des repas conviviaux structurés, mais qui repose surtout sur des prises alimentaires individualisées tout au long de la journée* »). Parallèlement, la part consacrée à l'alimentation diminue dans les budgets-temps[14] : l'industrie alimentaire offre des produits prêts à l'emploi, prêts à manger (« aliments-services » ou « convenience foods ») qui nécessitent moins de préparation ménagère. Se développe une nouvelle culture alimentaire qui s'accompagne d'une multiplication des sollicitations (ouverture-fermeture) du réfrigérateur.

1.1.3 Un nouveau rapport au temps

Si les usages du réfrigérateur se calent sur les rythmes et les habitudes des familles, en revanche, son arrivée dans les familles a pour effet de modifier leur rapport au temps. A l'inverse de la plupart des objets techniques (vidéo, téléphone, fax, ordinateur, avion, automobile...) qui jouent sur le temps en l'accélérant[15], le réfrigérateur joue sur le temps en le prolongeant[16]. Le fait de pouvoir stocker des denrées fraîches allonge leur temps d'usage. Le réfrigérateur ralentit la dégradation des aliments et permet de différer les temps

---

[10] Seuls les agriculteurs ont adopté cet appareil tout en conservant leurs habitudes (autoconsommation sans réfrigération, continuation des conserves, confits et salaisons...). Ils l'ont adapté, intégré à leur mode de vie plutôt qu'ils se sont adaptés à lui (cf. R. BAGES, A. RIEU; « Spécificité du mode d'approvisionnement alimentaire des agriculteurs », Ethnologie Française (18), 4, 1988, p. 363).

[11] Unité familiale élémentaire, composée des parents et des enfants.

[12] J.-P POULAIN, « Les jeunes seniors et leur alimentation. Représentations, mutations et permanences », Cahiers de l'OCHA (9), 1998,. 110 p.

[13] J.-P. POULAIN, « Mutations et modes alimentaires » in : « Le mangeur et l'animal : mutations de l'élevage et de la consommation », Autrement (172), juin 1997, p. 115.

[14] C. FISCHLER**,** L'homnivore, Paris, Seuil, 1993, p. 209.

[15] A. GRAS, B. JOERGES, V. SCARDIGLI, « Sociologie des techniques de la vie quotidienne », Paris, L'Harmattan, 1992.

[16] En jouant le rôle « d'organizer » intra-familial (messages, post-it, etc.), le réfrigérateur permet aussi de gagner du temps. Le réfrigérateur devient médiateur (cf. infra).

d'approvisionnement. De même, il facilite l'organisation des temps des repas en permettant d'anticiper leur préparation.

1.1.4 Le rôle social du réfrigérateur (ou « réfrigér-acteur »)

Se servir d'un réfrigérateur est un acte social, mais le réfrigérateur peut également jouer un rôle social entre les individus. Il a un rôle d'acteur dans l'organisation ménagère. Objet officiellement asexué (utilisable par tous), le réfrigérateur est cependant au centre du partage des tâches sexuées[17]. Il reste une affaire de femme qui le remplit et qui s'en sert pour la confection des repas, qui le nettoie et l'entretient.

Plus qu'un simple outil qui « sert à faire du froid », le réfrigérateur est aussi un support de socialisation : on y appose toutes sortes de consignes qui peuvent rappeler certaines règles (alimentaires quand il s'agit du catalogue des calories, organisationnelles quand il s'agit de respecter des horaires...).

Outil technique par définition, le réfrigérateur n'est pas neutre socialement. Il peut devenir objet de distinction sociale. Pour les uns, l'objet technique renvoie à l'esthétique, au caractère distinctif, pour les autres il renvoie à l'utile et au fonctionnel. On retrouve ici l'opposition classique entre « goûts de luxe » et « goûts de nécessité »[18]. « *Dis moi comment tu t'équipes, je te dirai qui tu es* » : par exemple, s'équiper d'un réfrigérateur de couleur ou de type américain permet de participer au rêve du même nom, mais cela permet aussi de sortir de l'ordinaire et d'afficher cette différence.

1.2. Les représentations sociales du réfrigérateur

Son fort taux d'équipement conforte le réfrigérateur dans sa place de leader sur le marché de l'électro-domestique. De manière générale, c'est son caractère « indispensable » qui décrit le mieux cet appareil.

1.2.1 La banalisation du réfrigérateur

Utilisé de manière quotidienne, plusieurs fois par jour, le réfrigérateur ne s'allume pas, ne s'éteint pas[19]. Il est invisible, inodore, voire dans le meilleur des cas inaudible. C'est un objet discret.

Comparé aux autres appareils électroménagers, il est quelque peu atypique ; l'évolution technologique qui est parfaitement perceptible pour nombre d'appareils électriques (four à électrolyse, à induction, plaques vitrocéramiques, four à micro-ondes, sèche-linge, par exemple) l'est beaucoup moins pour le réfrigérateur. Hormis l'encombrement, l'équipement intérieur, le design, qui soulignent des différences, les gammes disponibles sont relativement étroites. Cette uniformisation fait du réfrigérateur un produit peu attractif, qui ne suscite pas d'intérêt particulier : on a recours à cet appareil sans y penser, d'autant que son usage ne suppose pas de compétences ou de connaissances particulières.

On parle alors de banalisation dans le sens où les individus évacuent l'aspect technique et les éventuelles innovations qui ont touché cet appareil. Le réfrigérateur apparaît comme détechnicisé. Accessible aux enfants il devient un élément pour toute la famille ; avec un

---

[17] D. CHABAUD-RYCHTER (dir) « Genre et techniques domestiques » Cahiers du GEDISST (20), 1997.

[18] P. BOURDIEU, « La distinction : critique sociale du jugement », Paris, Les Editions de Minuit, coll : le sens commun, 1979.

[19] « Anatomie de la vie quotidienne » Sciences Humaines (88), 1998, pp. 19-29.

usage, une utilisation, un maniement qui ne sont pas réservés exclusivement à l'autorité parentale, comparativement au lave-linge, au lave vaisselle ou au four dont l'utilisation est réservée aux adultes en général, et aux femmes en particulier.

Le développement des cuisines intégrées a participé au renforcement de ce phénomène de banalisation. Dans certaines, le réfrigérateur est masqué et ne se distingue plus des portes de placards, contrairement aux autres appareils électroménagers qui conservent des fonctions de commandes apparentes. Le réfrigérateur perd ainsi son statut d'appareil électroménager au profit d'un statut de simple meuble.

1.2.2 Un réfrigérateur pour la vie ?

Cette banalisation s'exprime par ailleurs dans son mode d'acquisition. Contrairement aux autres appareils électroménagers qui ont un taux de renouvellement plus rapide (si ce n'est dans les statistiques, du moins dans les représentations), le réfrigérateur (son mode d'acquisition, mais aussi sa contenance, sa présentation...) semble suivre le cycle de vie des individus[20].

Notre enquête[21] montre que plus d'un quart des possesseurs de réfrigérateurs n'a pas acheté son réfrigérateur neuf. Pour près d'un quart d'entre eux, celui-ci résulte d'un don (récupération, transmission) ou bien il fait partie intégrante du logement habité. Cela concerne plus particulièrement la classe des 20-29 ans. Au delà de 40 ans, le réfrigérateur est presque toujours acheté neuf. Entre ces deux classes (30-39 ans), le mode d'acquisition se traduit encore pour un tiers par la récupération d'un appareil d'occasion. Le réfrigérateur se transmet d'une génération à l'autre en attendant d'acheter le sien neuf, une fois installé dans la vie (constitution d'une nouvelle famille notamment). L'achat du réfrigérateur, signe d'installation, fonctionne comme un marqueur symbolique d'entrée dans la vie.

1.3. Les usages sociaux du réfrigérateur[22]

L'utilisation d'un réfrigérateur découle d'un apprentissage par imitation : on imite ses parents, on copie et reproduit les usages qu'ils en font. Par ailleurs, la simple possession d'un réfrigérateur suppose la capacité d'en faire « bon usage ». La faible technicité apparente du réfrigérateur ne paraît pas devoir justifier un apprentissage de l'usage particulier, et notamment une lecture attentive du mode d'emploi. Du fait de son utilisation habituelle du réfrigérateur et d'une certaine « conscience pratique », l'individu pense qu'il a adopté la façon optimale d'employer cet appareil. Les actes récurrents du quotidien, leur facilité

---

[20] « Du congélateur au déménagement. Pratiques de consommation familiale » Terrain (12), 1989.

[21] Les données présentées ci-après résultent d'une enquête sociologique réalisée en 1998 ayant mobilisé deux types de techniques : la technique de l'observation (approche qualitative) et l'enquête par questionnaires (approche quantitative).

* La première approche a consisté à analyser in situ plus de cent soixante réfrigérateurs dans près de cent cinquante foyers différents. Journaux d'observation et photographies à l'appui, il s'agissait de rendre compte des divers contextes (l'espace, la place du réfrigérateur dans cet espace, le décor...), de spécifier les temporalités en lien avec les usages du réfrigérateur (durée d'utilisation, fréquence, horaires...), de caractériser les façons d'utiliser ces appareils ainsi que les comportements des usagers (actions, attitudes, types de pratiques...), d'observer les interactions au sein du ménage en lien avec le réfrigérateur (interactions verbales ou non, directes ou indirectes...) enfin de repérer en quoi les pratiques traduisent des attentes en terme de fonctionnalités.

* L'enquête par questionnaires visait à caractériser les représentations sociales qu'un échantillon de trois cents personnes se faisait de l'objet réfrigérateur (ses fonctions, ses dépenses énergétiques, ses qualités...). Elle visait également à mieux spécifier les usages et les pratiques sociales associées à cet appareil. Enfin, elle consistait à repérer l'expression de quelques attentes envers cet objet technique (du point de vue fonctionnel, du point de vue physique, du point de vue technique...).

[22] Cette partie s'inspire largement du document suivant : M.-C. ZELEM, E. PIDOUX, S. NOGUES, *« Le réfrigérateur un objet pratique ? »* ARC-ECODIF - Université Toulouse le Mirail, juin 1998, ronéo, 89 p + annexes.

d'exécution n'invitent pas à s'inscrire dans un processus de réflexion qui mettrait en cause des habitudes.

Objet technique en premier lieu, le réfrigérateur est devenu un objet pratique qui revêt des fonctions nouvelles. Ces fonctions ont été progressivement inventées par les consommateurs pour satisfaire des besoins auxquels le réfrigérateur classique ne répondait pas. C'est ainsi qu'au cours des enquêtes, nous avons observé une série d'usages inattendus qui dérogent au mode d'emploi standard et renvoient aux caractères sociaux du réfrigérateur.

Il n'y a donc pas un usage du réfrigérateur, mais des usages qui diffèrent selon les individus, leurs représentations, leur culture et le contexte social dans lequel ils évoluent[23]. On n'a pas le même type de réfrigérateur, on n'en fait pas les mêmes utilisations selon que l'on vit seul ou en famille, selon que l'on travaille ou pas, selon que l'on vit à la campagne ou à la ville, selon que l'on habite un appartement ou une maison, selon qu'il s'agit de la résidence principale ou secondaire, etc.

1.3.1 Des façons diverses de le remplir

Les modalités de remplissage du réfrigérateur (fréquence, caractéristiques et volume des courses à réfrigérer) varient en fonction de la composition du ménage et de la structure des emplois du temps[24]. Les personnes très présentes et relativement disponibles n'utilisent pas leur réfrigérateur de la même façon, en termes de fréquence, de volume et de contenu, que de jeunes actifs, par exemple. On distingue ainsi trois catégories de réfrigérateurs : les « pleins à craquer » (réfrigérateurs boulimiques qui doivent rester et restent pleins), les « désespérément vides » (réfrigérateurs anorexiques qui contiennent le minimum vital) et les « dynamiques » (réfrigérateurs qui sont en alternance vidés puis remplis).

Si la moitié des personnes interrogées possède un réfrigérateur de type dynamique, on peut en revanche considérer que l'autre moitié ne possède pas un réfrigérateur adéquat ; celui-ci est ou trop grand ou pas assez. Cela traduit deux choses : d'une part, bien que le renouvellement du réfrigérateur tende à être fonction du cycle de vie de l'individu, on observe un décalage le concernant, comme s'il fallait du temps pour se rendre compte du caractère inadapté de l'équipement. D'autre part, le réfrigérateur est un appareil que l'on ne remplace pas aisément.

1.3.2 Des usages dérivés du réfrigérateur

Les usages dérivés désignent tous les usages ajoutés à la fonction première de l'appareil. Ils désignent aussi tous les usages qui diffèrent de l'usage standard attendu, décrit dans le mode d'emploi. « *Du point de vue d'un concepteur qui cherche à rapporter l'objet à des fonctionnalités et à l'inscrire dans une utilisation normale, la diversité des usages ouvre sur un espace (...) « privé », le lieu de toutes les perversions, là où les objets sont détournés de leur utilisation normale. (...) Contrairement à ce que suppose la modélisation comme choix rationnel des moyens optimaux, l'agent se trouve dans la situation de devoir faire avec des objets déjà là, au prix d'arrangements* »[25].

C'est ainsi que nous avons pu observer toute une série d'usages qui renvoient au réfrigérateur comme simple meuble de rangement dont la fonction froid n'a plus réellement d'utilité : le *réfrigérateur-pharmacie* (médicaments, vaccins, produits de beauté), le *réfrigérateur coffre-*

---

[23] B. LAHIRE, L'homme pluriel. Les ressorts de l'action. Paris, Nathan, 1998.

[24] N. HERPIN, « Comportements alimentaires et contraintes sur les emplois du temps », Revue Française de Sociologie (21), 1980, p. 613.

[25] L. THEVENOT, « Essai sur les objets usuels. Propriétés, fonctions, usages », Raisons Pratiques (4), 1993, p. 102.

fort (sucreries ou à l'inverse produits toxiques), le réfrigérateur de seconde main utilisé comme *cave à vins* ou *le réfrigérateur armoire* (boîtes de conserve, pellicules photos, ...)

De la même manière, le réfrigérateur peut être utilisé comme simple support, sa fonction réfrigérante étant détournée au profit d'une fonction médiatrice : *réfrigérateur pense-bête* ou *agenda* (emplois du temps professionnels ou scolaires, rendez-vous, programmes de spectacles... sont épinglés su la porte ou sur le flanc), *réfrigérateur-décoration* (support de dessins d'enfants, d'autocollants, photos, cartes postales...), et *réfrigérateur-étagère* (support de radio, télévisions, pendules, fours, ou objets de toutes sortes).

Cet inventaire des usages dérivés montre que le réfrigérateur n'est pas un appareil électroménager comme les autres. Il fait l'objet d'une réappropriation qui n'existe pas aussi fortement pour les autres appareils électro-domestiques. C'est un objet que l'on peut dévier de sa fonction primaire, personnaliser, et grâce auquel on communique. Ces détournements masquent quelque peu le coté technique du réfrigérateur et tendent à faire passer au second plan la fonction première de l'appareil.

1.4. Les attentes des consommateurs

Au delà de la capacité d'un réfrigérateur à assurer dans de bonnes conditions sa fonction première (produire du froid et conserver les aliments), les consommateurs expriment dans leurs pratiques des attentes implicites par rapport à cet objet technique qui relèvent d'améliorations technologiques, fonctionnelles ou esthétiques. Il nous a semblé intéressant de rappeler ici quelques uns des souhaits exprimés par des utilisateurs lors de nos entretiens qui pourraient éventuellement constituer des pistes de développement de nouveaux produits pour les industriels du froid même si certains d'entre eux peuvent parfois apparaître comme anecdotiques[26].

1.4.1 Des attentes fonctionnelles

Les attentes fonctionnelles concernent la fonction et le fonctionnement du réfrigérateur. Indépendamment des problèmes de fiabilité, elles renvoient souvent à l'existence de défaillances constatées dans la régulation et la répartition des températures intérieures. On accuse alors la technique de dysfonctionner même si la plupart du temps ce sont les pratiques sociales qui sont en cause (mode de remplissage, introduction de plats chauds, ouvertures répétées...).

Les consommateurs souhaitent également des réfrigérateurs plus spacieux, plus silencieux et autodégivrants qui sont déjà présents sur le marché. Ceci confirme le faible intérêt que les consommateurs attachent aux évolutions technologiques dans le domaine du froid domestique alors qu'ils paraissent par ailleurs bien informés des progrès réalisés dans le domaine de la télévision ou de la micro-informatique.

1.4.2 Des attentes en terme d'équipement

La difficulté à gérer les éventuels écarts de température à l'intérieur du réfrigérateur ou les variations liées aux ouvertures répétées conduisent certains utilisateurs, en majorité des femmes, a envisager un appareil muni de plusieurs portes ou dont le volume intérieur serait

[26] L'idée de porte transparente a par exemple été exprimée par certains de nos interlocuteurs ; cette idée a été reprise par le constructeur Coréen Daewoo qui propose un réfrigérateur dont la porte transparente permet d'en visualiser le contenu sans l'ouvrir.

divisé en différents compartiments hermétiques et indépendants possédant chacun son propre thermostat. Pourraient ainsi cohabiter plusieurs degrés de température correspondant aux différentes sensibilités des aliments, sans que l'ouverture d'un des compartiments n'ait d'incidence sur le niveau de température du reste de l'appareil.

1.4.3 Des attentes plus « pratiques »

Ces attentes renvoient à une volonté d'améliorer certaines caractéristiques de l'appareil de façon à rendre son utilisation plus pratique. Ainsi, quelques utilisateurs et un très grand nombre d'utilisatrices souhaitent l'apparition de réfrigérateurs auto nettoyant, comme certains fours de cuisson, pour limiter la tâche de nettoyage généralement perçue comme une corvée. Dans le même ordre d'idée que les compartiments indépendants, certains utilisateurs suggèrent d'équiper les réfrigérateurs de compartiments adaptés, sortes de casiers séparés pour mieux ordonnancer les produits et faciliter les recherches. Porte qui ferme mal, porte qui reste ouverte trop longtemps par inattention ou porte que l'on ne peut pas fermer ayant les bras trop chargés, toutes ces raisons conduisent des utilisateurs à préconiser l'installation de portes qui se fermeraient automatiquement. D'autres souhaiteraient avoir la possibilité de voir le contenu du réfrigérateur sans ouvrir la porte et proposent de développer des portes transparentes qui limiteraient les temps d'ouverture du réfrigérateur.

Cette dernière suggestion est apparemment motivée par le souci de ne pas gaspiller inutilement de l'énergie en laissant la porte du réfrigérateur ouverte. De même on peut penser que les motivations pour souhaiter l'apparition d'un système de fermeture automatique des portes ne sont pas uniquement liées à l'effort physique qu'elle nécessite. Et pourtant, les utilisateurs ayant spontanément évoqué la question de la consommation énergétique des réfrigérateurs lors de nos entretiens sont très peu nombreux. Quelques uns ont souhaité que les réfrigérateurs soient munis d'un système permettant d'estimer de manière continue la consommation d'énergie. Mais de manière générale, cette préoccupation est loin d'être répandue.

1.4.4 Des attentes « gadgets »

Enfin, certaines attentes que nous qualifions de « gadgets» concernent des améliorations mineures dont les utilisateurs souhaiteraient pouvoir disposer pour rendre l'utilisation du réfrigérateur plus agréable. Ces gadgets renvoient tout autant à l'univers du confort qu'à celui de l'utilité. L'idée du réfrigérateur équipé d'un support d'écriture destiné à faciliter la fonction de communication de l'appareil relève de ces attentes gadgets. Cette attente vient d'ailleurs peut être satisfaite par Electrolux qui propose un réfrigérateur avec écran d'ordinateur intégré à la porte : « *Le screenfridge gère les stocks qu'il contient, prévient des dates de péremption des aliments, suggère des recettes pour accommoder les restes, permet de laisser des messages à toute la maisonnée et peut même se brancher sur internet...* »[27].

1.5. Conclusion

Le réfrigérateur est devenu aujourd'hui un objet indispensable et fonctionnel auquel on prête paradoxalement peu attention en tant qu'objet technique (fonctionnement en continu sans intervention de l'utilisateur, faible taux de panne, absence de signes d'usure, longévité importante, ...). Son statut est-il d'ailleurs encore celui d'un objet technique, au même titre que la machine à laver, l'aspirateur ou la télévision ? On peut en douter en observant les

[27] *Le Monde* 7/8 mars 1999

multiples usages et réappropriations auxquels il donne lieu (appareil destiné au rangement autant qu'à la conservation, support de communication, étagère, etc.). Bref, d'appareil électrique, le réfrigérateur semble s'être progressivement transformé en meuble de cuisine.

Ce statut intermédiaire du réfrigérateur, entre appareil électrique et meuble de cuisine, a pu contribuer au manque de sensibilité des consommateurs à la consommation d'électricité de cet équipement. Dans leur grande majorité, les consommateurs ne se posent pas la question de savoir combien leur réfrigérateur peut consommer et sont généralement surpris, mais pas toujours préoccupés, lorsqu'on les informe de l'ordre de grandeur de la consommation électrique annuelle.

Les enquêtes sociologiques soulignent clairement que la consommation énergétique des réfrigérateurs ne figure pas parmi les premières préoccupations des consommateurs. Leurs attentes concernent plutôt des améliorations visant à faciliter l'utilisation du réfrigérateur (dégivrage, porte transparente, systèmes de rangement intérieur), à étendre ses fonctions (extension du volume intérieur, ordinateur communiquant, production de glace à travers la porte, etc...) ou à le rendre plus attrayants (couleur, design, forme). Ces caractéristiques liées à la fonctionnalité de l'appareil apparaissent logiquement au premier plan des préoccupations des consommateurs, par ailleurs peu incités à s'intéresser à la performance énergétique des équipements de froid en raison du peu d'information de la part des fabricants ou des distributeurs sur ce sujet[28].

2. Les comportements d'achat des consommateurs

L'introduction d'une étiquette énergie sur les appareils électroménagers pose la question centrale de la modification éventuelle des comportements d'achat des consommateurs, et, au-delà, de leurs pratiques en matière d'économie d'énergie.

Avant tout, il importe de conserver présent à l'esprit que l'appareil électroménager est destiné à rendre un service spécifique et que c'est cette aptitude à la fonction qui va motiver le consommateur, pas la capacité à économiser de l'énergie. Un réfrigérateur doit d'abord être capable de conserver les aliments dans de bonnes conditions. Ensuite, l'acheteur prend en compte différents paramètres tels que l'encombrement, le volume, la facilité d'entretien, la marque, le service après-vente et bien sûr le prix[29], paramètres dont l'importance peut varier selon les individus. Tel consommateur sera attiré par une esthétique particulière ou des aménagements intérieurs spécifiques (porte galbée ou bombée, clayette verre, métal ou plastique, bords arrondis...), alors que tel autre sera plus sensible au prix ou à la qualité du service après-vente. Mais, de façon générale, les consommateurs français semblent encore peu sensibles aux coûts de fonctionnement de ces équipements, et de ce fait, apparemment peu intéressés par la performance énergétique des appareils ménagers.

Il importait donc de caractériser les comportements d'achat des consommateurs en matière d'électroménager et en particulier d'estimer la place qui est faite à la performance énergétique dans les critères de choix. Ce travail a été réalisé à une période charnière de l'introduction de l'étiquetage énergétique sur les réfrigérateurs et il a permis d'analyser l'influence de ce nouvel élément d'information sur la décision des consommateurs. Il montre notamment que

---

[28] Rappelons que ces entretiens ont été réalisés avant l'introduction massive de l'étiquetage sur les produits du froid et que la sensibilité des consommateurs a pu évoluer depuis.

[29] « Réfrigérateur/congélateur. Un marché en froid avec son identité », Confortique Magazine (61), juin-juillet 1994, pp.50-62.

l'impact direct de l'étiquetage resterait limité sans un relais actif de la part des forces de vente.

2.1 - Les comportements d'achat et les critères de choix des équipements de froid

> « *La structure familiale a une influence considérable sur les décisions d'achat, donc directement sur la diffusion des différents types d'appareils... [Cette] évolution ne dépend pas seulement des innovations techniques, des intérêts des fabricants ou des lois du marché mais aussi de la famille elle-même* »[30].

Même si les dépenses du ménage sont supposées être décidées en commun, des enquêtes montrent qu'elles restent marquées par une structure des rôles féminins/masculins. Ainsi, la femme sera plus encline à prendre des décisions d'achat concernant les tâches ménagères telles que la lessive (lave-linge, sèche-linge), la vaisselle (lave-vaisselle) ou le ménage (aspirateur) alors que l'homme conservera un pouvoir décisionnel sur les achats à caractères techniques et de loisirs (T.V., hi-fi, vidéo..., par exemple). Le réfrigérateur fait toutefois exception à cette règle en apparaissant moins « sexué » que les autres appareils ménagers. L'achat d'un réfrigérateur entraîne, de ce fait, à l'intérieur des ménages des formes de négociation plus complexes que celles que l'on observe lors de l'achat d'un appareil plus « sexué ». Les usages et représentations sociales du frigo renvoient à une sphère où se côtoient de multiples rationalités, parmi lesquelles la rationalité économique intervient certainement, mais pas de manière prédominante.

2.1.1. Ce que l'on sait de l'univers de la consommation des appareils électroménagers

2.1.1.1 Des stratégies d'achat à caractère défensif[31]

Le gros électroménager représente des investissements financiers relativement importants et occupe de ce fait une position particulière dans le budget des ménages français. Ce poste de dépense est particulièrement réactif à la baisse des revenus, les achats dans ce secteur étant particulièrement sensibles à une évolution à la baisse des revenus. Par ailleurs, pour une majorité de ménages, les achats d'électroménager sont guidés par un souci de minimiser la dépense (caractère défensif), contrairement à ce que l'on peut observer pour l'électronique grand public, par exemple.

Parmi les grandes tendances régissant les comportements d'achat on observe notamment :

- la pratique du report d'achat (report du renouvellement d'un équipement vieilli ou mal adapté) : 68 % des ménages évitent de remplacer un appareil avant qu'il ne soit totalement hors d'usage.

- le refus de l'achat impulsif pour les produits blancs-froid : l'achat d'un réfrigérateur est un acte qui se veut réfléchi et qui nécessite prudence et raison. Les consommateurs disent rechercher des informations précises pour mieux choisir mais ils apparaissent aussi paradoxalement très sensibles aux offres promotionnelles.

2.1.1.2 Le réfrigérateur : « une simple grosse boite à faire du froid [32]

---

[30] S. MEYER et E. SCHULZE, « Le téléviseur contre la machine à laver ou l'influence du sexe sur l'évolution de la technique » in : 'Sociologie des techniques de la vie quotidienne'. Paris, l'Harmattan, 1992

[31] Résultats de l'enquête STAR CONSO réalisée par le BIPE Conseil en 1995

De l'avis des constructeurs, si le réfrigérateur détient le taux d'équipement le plus important de l'univers électroménager (98 %), les ménages français restent peu sensibles aux multiples innovations techniques qui ont permis de mettre sur le marché des appareils de plus en plus performants.

Le prix et la taille restent toujours des critères déterminants qui relèguent en partie au second plan les efforts des constructeurs pour se différencier sur le plan technologique. Le consommateur français ne cherche pas à monter en gamme lors du renouvellement, contrairement à ce que l'on observe pour d'autres appareils[33]. Il demande avant tout à son réfrigérateur de produire du froid et considère les autres fonctions comme secondaires. Tout en exigeant que l'appareil acheté soit robuste et peu cher, le consommateur qui renouvelle son réfrigérateur tendra plutôt à s'équiper à l'identique.

2.1.1.3 Le consommateur se réfugie derrière les modèles basiques

Certaines innovations introduisant une valeur ajoutée par rapport aux réfrigérateurs standards ont été boudées par les consommateurs : le compartiment fraîcheur (la zone O° introduite vers 1988), le froid ventilé, l'efficacité énergétique, par exemple, ont eu relativement peu de succès. De manière générale, les consommateurs privilégient les modèles standards et ne consentent à des dépenses supplémentaires que dans quelques rares cas : l'introduction du dégivrage automatique par exemple, ou plus simplement pour l'acquisition de modèles plus volumineux.

Soucieux de cette difficulté à s'engager dans l'adoption d'appareils plus sophistiqués, les observateurs spécialisés[34] dans le marché de l'électroménager accusent une information déficiente. L'information a été utilisée par les constructeurs pour tenter de modifier les conditions d'utilisation des appareils de froid[35], en s'appuyant sur les modes d'emploi, mais plus rarement en amont de la vente, pour faire apparaître l'évolution des performances des appareils disponibles sur le marché.

2.1.2. Ce que montre la sociologie, ou l'envers du discours

2.1.2.1 Des consommateurs aux pratiques diversifiées

Les enquêtes sociologiques montrent que les comportements des ménages s'avèrent moins mécaniques et moins rationnels qu'il n'y paraît (il n'existe pas de véritables modèles de comportement d'achat qui reposeraient sur la seule logique du consommateur-economicus)[36]. De même les consommateurs n'appartiennent pas tous à une seule et même catégorie qui serait relativement homogène. Le comportement d'achat varie notamment en fonction de certains profils qui ne se réduisent pas aux catégories « jeune ménage » et « ménage plus âgé ».

---

[32] C. JOLY, «Une génération qui fait preuve de froideur» Cuisiner (40), juil-Aoùt 1996, p. 30.

[33] « Réfrigérateur/congélateurs : un marché en froid avec son identité », Confortique Magazine (61), 1994, p. 50.

[34] idem, p. 52.

[35] Cf les actions du GIFAM en direction des fabricants pour tout ce qui concerne la maîtrise des règles d'hygiène et des conditions de stockage.

[36] *« Les pratiques des acteurs n'obéissent pas au seul calcul rationnel, à une analyse en termes bénéfice-coût (par exemple, mieux se chauffer à un coût moindre). Elles sont aussi structurées par des valeurs, des croyances* et des habitudes ». in : V. BEILLAN « Innovation technologique et pratiques domestiques : une analyse d'une expérience domotique » Sociétés Contemporaines (17), 1994, p. 100.

Les jeunes ménages manifestent généralement un intérêt plus marqué pour les produits basiques, accordent une grande importance au prix de vente et pratiquent le report d'achat, mais leurs comportements peuvent varier en fonction de leur niveau socio-économique, de leur lieu de résidence ou de leur nombre d'enfants. De même, les ménages plus âgés ont tendance à acheter des produits plus sophistiqués, attachent une relative importance à la qualité et à la technicité des appareils et tendent à renouveler plus régulièrement leur équipement électroménager, mais leurs comportements d'achat sont également conditionnés par certaines variables socio-démographiques telles que la taille du ménage, la catégorie socioprofessionnelle, le niveau socioculturel, le niveau de revenu, ...

Le travail des femmes est aussi une variable importante qui conditionne la taille de l'appareil, ses caractéristiques (la place accordée à la partie congélation) et les services qu'on attend de lui (volume et commodité d'utilisation notamment). De la même manière, la multiplication des foyers éclatés et le nombre croissant de mono-ménages[37] jouent en faveur d'équipements moins volumineux privilégiant la partie congélation. Ces « mangeurs solitaires », ainsi que l'accroissement du nombre des jeunes seniors[38], sont à l'origine d'un regain d'intérêt des consommateurs pour des réfrigérateurs de plus petite taille.

Méthodologie

La méthodologie adoptée a combiné des entretiens semi-directifs approfondis et une enquête quantitative par questionnaires. L'enquête s'est déroulée en région Midi-Pyrénées à deux niveaux : une série d'entretiens qualitatifs réalisés au cours de l'année 1996, puis la passation d'un questionnaire au cours de l'année 1997.[39]

1) Des entretiens qualitatifs (année 1996)

Les observations préalables, la sélection des personnes interrogées et l'enquête par entretiens se sont déroulés dans les hypermarchés et Grandes Surfaces Spécialisées de la région Midi-Pyrénées[40].

A) Les consommateurs non-acheteurs

Quelques entretiens semi-directifs réalisés auprès d'une population de consommateurs n'ayant pas l'intention d'acheter un réfrigérateur visaient à évaluer le degré de connaissance de l'étiquette, sa visibilité et le mode de lecture que ces personnes pouvaient en avoir. En quelques questions, il s'agissait d'abord de savoir si la personne interrogée avait pris connaissance de l'étiquette, et par quel moyen (presse, télévision, sur un lieu de vente...). Dans le cas où l'étiquette était inconnue, nous la présentions. Nous avons ensuite cherché à connaître l'opinion de l'enquêté sur cette étiquette, sa perception, la compréhension qu'il en avait et l'intérêt qu'il pouvait lui accorder. Ensuite, nous nous sommes informés sur ses critères de choix d'un réfrigérateur et plus particulièrement sur les paramètres intervenant dans ce choix. Les dernières questions étaient consacrées à sa conscience du niveau de consommation d'énergie de ce genre d'appareil et aux conditions d'un éventuel changement de réfrigérateur.

---

[37] M. RIGALLEAU, « Le mangeur solitaire » in : « Nourritures » Autrement (108), sept. 1989, p. 193.

[38] J.-P. POULAIN, « Les jeunes seniors et leur alimentation » in : Cahiers de l'OCHA (9), 1998, p. 7.

[39] C. BESLAY, F. COCHOY, M.-C. ZELEM et la participation de l'IUP SAIII, « Le vendeur clandestin du rayon froid : affichage énergétique et logiques d'acteurs dans l'électroménager «éco-protecteur », Toulouse CERTOP-CNRS-PIR-ECOTECH, décembre 1996, 120 p.

C. BESLAY, N. GOLOVTCHENKO, M.-C. ZELEM et la participation de l'IUP SAII, « Le réfrigérateur, sa consommation d'énergie, ses usages », Toulouse UTM-CERTOP-CNRS-Conseil Régional, Toulouse, décembre 1997, 60 p.

[40] Carrefour de Portet-sur-Garonne et de Labège, Mammouth de Grammont, Leclerc de Saint-Orens, Géant Casino de Roques-sur-Garonne et de Carcassonne, L'Univers de Carcassonne, Darty à Toulouse et Perpignan, Hypermédia à Portet-sur-Garonne, Conforama à Rodez et Toulouse, Salon Electroménager à Rodez et enfin Moret Electroménager à Albi

B) Les consommateurs acheteurs et/ou acheteurs potentiels

Une cinquantaine d'entretiens ont été réalisés dans les rayons des divers lieux de vente.

Après s'être assurés que l'interviewé avait bien pris connaissance de l'étiquette (soit par lui-même, soit par le biais de l'enquêteur), il s'agissait de déterminer le niveau de perception de cette étiquette, puis d'analyser la traduction qui en était donnée et chercher à identifier quelle perception le consommateur pouvait avoir de la consommation d'énergie des réfrigérateurs. Nous observions alors comment l'enquêté s'appropriait l'étiquette pour l'intégrer, ou non, dans sa démarche d'achat.

2) Une enquête par questionnaires (année 1997)

Après une première approche qualitative, il convenait de mesurer l'importance des phénomènes observés par une investigation de type quantitatif. Le questionnaire construit à cet effet portait sur les représentations des appareils électroménagers en général, le réfrigérateur en particulier, le rapport à l'électricité et à l'écologie, la traduction de l'étiquette.

L'enquête réalisée en région Midi-Pyrénées a porté sur un échantillon de 400 personnes, échantillon construit selon la méthode des quotas[41].

L'administration des questionnaires s'est faite sur le mode du face à face. L'utilisation de supports visuels, tels que l'étiquette, et certaines réponses à choix multiples, légitimaient ce choix.

Le traitement statistique de l'enquête par questionnaires a été réalisé grâce au logiciel de traitement de données S.D.T. (Social Data Traitement) de l'UFR de sciences sociales, « Raymond Ledrut » de l'Université Toulouse Le Mirail.

2.1.2.2 Motivations et conditions d'achat d'un réfrigérateur

Schématiquement nous avons pu observer que l'achat du réfrigérateur est lié à quatre cas de figure principaux :

- installation dans un nouveau logement qui contraint à changer d'équipement, ou en offre l'occasion ou impose un premier achat ;
- substitution par un appareil neuf d'un réfrigérateur existant et devenu mal adapté aux besoins du foyer ; le nouvel appareil est alors généralement plus grand et comprend un compartiment congélation plus important, mais l'inverse peut également se produire avec le départ des enfants, par exemple ;
- une défaillance du réfrigérateur en place impose son remplacement ; l'achat est alors très rapide sans que l'acheteur ait le temps de s'informer et de comparer l'offre disponible ;
- enfin, l'achat peut être motivé par l'anticipation d'une défaillance lorsque le réfrigérateur en place semble atteindre la limite de sa durée de vie probable ; le fonctionnement de l'appareil n'est généralement pas en cause, mais les objets techniques n'étant pas éternel, son remplacement apparaît inéluctable à plus ou moins brève échéance. La sensibilité aux offres promotionnelles est alors particulièrement forte.

En raison de sa robustesse et de sa longévité, on change toutefois rarement de réfrigérateur. Le réfrigérateur suit le cycle de vie des individus : la première acquisition intervient lors du

[41] L'échantillon a été construit à partir des critères suivants : sexe, âge, catégorie socioprofessionnelles, lieu d'habitation, situation familiale...

départ du domicile familial d'origine ; il n'est ensuite remplacé que lorsque le cercle familial s'élargit (couple, enfants) puis cédé lors du départ du premier enfant qui le garde lui-même souvent jusqu'à l'usure. Ainsi, le changement d'un réfrigérateur défectueux caractérise généralement une population plus âgée : « *On a acheté notre frigo il y a 20 ans pour notre mariage!...il commence à se faire vieux...il risque de tomber en panne.* »

2.1.2.3 Le paradoxe du processus de décision : entre calcul économique et « coup de coeur »

Le choix d'un réfrigérateur n'est pas un choix individuel mais intervient le plus souvent dans un cadre familial. Le consommateur prend le temps de s'informer et de comparer les produits sur les lieux de vente. Son choix est en partie arrêté avant l'intervention du vendeur. Enfin, la personne qui « tient les cordons de la bourse » intervient fortement dans le choix de l'appareil.

Ce comportement est confirmé par une enquête sur les acheteurs de produits blancs[42] qui montre que la majorité des personnes déclarent se renseigner assez précisément pour bien choisir. L'acte d'achat résulte d'un processus de décision relativement long (plusieurs mois souvent) auquel le vendeur ne participe qu'en « avant dernier », comme pour confirmer un choix souvent déjà bien arrêté (le dernier intervenant est en fait celui qui doit régler la facture). Ce processus de décision se construit à partir des visites sur des lieux de vente, des comparaisons entre appareils, de la consultation des prix et des conseils familiaux. Cette tendance caractérise un comportement réfléchi qui nécessite un certain mûrissement. De cette façon, le consommateur se construit une image du réfrigérateur, non pas idéal mais qui correspond au modèle de réfrigérateur qui lui conviendrait le mieux (compte tenu de son budget, de son mode de vie et de l'usage qu'il imagine en faire) : « *On a commencé à se renseigner, à regarder, on s'était fixés sur un frigo... bon, on s'est dit, on va continuer à faire le tour, et si on ne trouve rien de mieux demain, on prend celui-là.* »

Si ce type de comportement réfléchi prédomine[43], il existe aussi des attitudes spontanées, plus subjectives[44], des acheteurs qui fonctionnent plutôt au « feeling » : « *Il faut que ça fasse tilt, ..., il faut que j'aie le coup de coeur pour l'achat* ». Ce dernier comportement se réfère plutôt à l'esthétisme, voire à la fantaisie : « *Il faut dire avant tout que je cherche un modèle des années cinquante* ».

Certaines « bonnes occasions » (promotions, par exemple) ou l'envie de « se faire plaisir » tendent à précipiter l'achat et à réduire à néant tout le raisonnement économique et que l'on voulait rationnel qui présidait à la démarche d'acquisition du futur appareil.

---

[42] STAR CONSO , BIPE Conseil, 1995

[43] Selon l'enquête du BIPE conseil « star conso », plus de la moitié des personnes interrogées refusent l'achat impulsif et déclarent agir avec prudence, économie et raison.

[44] D. DESJEUX (dir.) Anthropologie de l'électricité. Les objets électriques dans la vie quotidienne en France. Paris, L'Harmattan, 1996, pp. 54-55.

2.1.2.4 Le prix et la contenance de l'appareil prédominent dans le choix

Les critères révélateurs de l'importance accordée à l'économie budgétaire, à la confiance liée à l'image de marque - qui dans le produit blanc froid a valeur de label - ont été confirmés par ailleurs : « *Une marque est plus que le label employé pour différencier les* produits ».[45]

L'enquête sociologique le confirme : dans le choix d'un appareil électroménager, notamment du réfrigérateur, les acheteurs privilégient le critère « prix » (ils font très attention aux promotions) et la marque. Viennent ensuite les critères de fonctionnalité tels que l'encombrement, la taille ou la facilité d'utilisation ; les considérations de technicité et d'aménagement intérieur étant les moins prises en compte. De manière générale, les personnes interrogées ne sont pas du tout sensibles à la consommation d'énergie de leur réfrigérateur, du moins ce critère n'apparaît-il pas spontanément lors de l'entretien.

La tendance à rechercher des informations comparatives, le temps de réflexion, l'importance accordée au prix et à l'aspect fonctionnel de l'appareil résultent du fait qu'un réfrigérateur est un produit qui doit durer longtemps. En ce sens, le consommateur accorde une attention particulière au prix d'achat. Compte tenu de la robustesse et de la durée de vie supposée de l'appareil convoité, un certain surcoût peut être accepté par rapport à la dépense envisagée initialement, mais celui-ci reste limité. Le raisonnement économique de la majorité des acheteurs s'arrête le plus souvent à la somme dépensée lors de l'achat, abstraction faite des dépenses auxquelles il faudra consentir sur la durée de vie de l'appareil.

Toutefois, les arguments évoqués par le vendeur, sur la fiabilité et la sobriété de tel ou tel modèle, associés à la possibilité d'un achat à crédit peuvent inciter l'acheteur à consentir à un surcoût. L'étiquette « énergie » peut intervenir à ce niveau ; elle complète les informations dont dispose l'acheteur et apporte un élément de calcul du coût global de l'appareil (coût à l'achat plus coûts de fonctionnement) qui risque de peser dans le processus de décision, du moins dans le cas de personnes attachées à respecter un certain budget de départ.

2.1.2.5 Des consommations d'énergie qui passent inaperçues

<u>La consommation d'énergie est une entité abstraite et méconnue</u>

Nombre de personnes, et plus particulièrement les femmes, ne font pas de lien entre consommation d'électricité et dépense financière. Le réfrigérateur est un objet indispensable, dont la consommation électrique apparaît comme une contrainte nécessaire et incontournable puisque aucune alternative énergétique n'est disponible pour ce type d'appareil. La facturation EDF étant globalisée, il est de plus impossible d'établir le lien entre un appareil électrique ou un usage et une dépense. Enfin, l'électricité est une sorte de variable « discrète » (au sens où le courant électrique est invisible, non matérialisé)[46] , et bien qu'elle soit utilisée au quotidien, l'électricité reste une entité virtuelle. Sa « facilité d'accès » vient parasiter toute logique économique.

<u>Les dépenses d'énergie, une dimension occultée</u>

Consciemment ou pas, les consommateurs savent que leur réfrigérateur consomme de l'électricité, mais la majorité d'entre eux n'y prête pas attention. Interpellés sur cette consommation, ils considèrent de façon générale qu'elle est nécessaire et que cela ne nécessite pas d'intervention particulière de leur part. Confortés dans l'idée que d'autres feront les efforts nécessaires et assurés de ne pas y être contraints par ailleurs, ils tendent à se

---

[45] B. BURLEIGH, GARDNER et S. J. LEVY, « Le produit et la marque », Harvard business review , Mars-avril 1955.
[46] D. DESJEUX et alii, Anthropologie de l'électricité. Paris, L'Harmattan, coll : Logiques sociales, 1996.

contenter de « profiter » du bénéfice de l'agrégation des actions individuelles[47] (environnement préservé, réduction de la facture énergétique...) sans avoir besoin de s'engager personnellement dans une démarche plus « éco-citoyenne ».

Seule une faible partie des consommateurs paraît consciente de la consommation d'électricité qu'impose le fonctionnement d'un réfrigérateur ; les trois quarts des individus interrogés perçoivent le réfrigérateur comme un appareil peu consommateur d'énergie et le moins « énergivore » de tous les gros appareils électroménagers. Le four est généralement considéré comme l'appareil le plus consommateur, suivi du lave-linge, du lave-vaisselle et du congélateur, le réfrigérateur arrivant en dernière position. En fait, en terme de perception, le froid renvoie à une notion de « peu » ; le four, au contraire, lors de sa mise en marche crée de la chaleur perceptible par l'utilisateur, il symbolise le feu et par là même, représente une propension plus importante à consommer de l'énergie.

Tenir compte de la consommation d'énergie pour le choix d'un réfrigérateur ?

Un très faible nombre de consommateurs seraient prêts à anticiper sur le renouvellement de leur réfrigérateur sous le prétexte que ce dernier est trop consommateur. Pourquoi changer un appareil qui fonctionne toujours ? Faut-il s'inquiéter d'une consommation d'électricité certes mal connue mais probablement négligeable ? Est-il raisonnable d'envisager dépenser plusieurs milliers de francs pour gagner quelques dizaines de francs sur la consommation d'électricité ? Une information sur la consommation réelle d'un réfrigérateur peut amener le consommateur à réfléchir, rarement à anticiper un achat.

En revanche, l'information pourra influer sur le choix du nouveau modèle lors du renouvellement de l'appareil. Un consommateur sensibilisé à la consommation d'électricité pourra alors opter pour un nouveau réfrigérateur plus performant mais sous certaines contraintes. En particulier, le prix à l'achat de l'appareil devra être identique ou faiblement supérieur au prix des appareils dit « normaux », c'est à dire peu économes. La qualité du réfrigérateur importe pour les consommateurs mais la part du budget à y consacrer est tout aussi importante.

Le réfrigérateur est considéré comme un achat coûteux qu'on imagine ne pas pouvoir amortir dans le temps autrement que par l'extension de la durée d'usage. Faire des économies au quotidien sur ce type d'appareil est un argument qui n'apparaît pas suffisamment crédible. En fait deux représentations ressortent systématiquement des entretiens :

- l'idée d'appareil économe est associée à l'idée de réfrigérateur plus coûteux à l'achat;
- des appareils qui consomment peu ne peuvent être que des appareils expérimentaux ; les présenter comme novateurs les distingue des autres et les caractérise de suite comme n'ayant pas encore fait leurs preuves.

Ces deux idées préconçues accentuent la réticence des consommateurs par rapport aux réfrigérateurs peu consommateurs, considérés comme de nouveaux produits encore immatures. On retrouve là les difficultés généralement rencontrées lorsqu'il s'agit de faire accepter socialement un nouveau produit, une nouvelle technique, teintés d'innovation. Dans un premier temps, l'innovation technique suscite de la curiosité et des craintes. Son insertion sociale se heurte à l'imaginaire du progrès (représentation de ses conséquences fastes et néfastes)[48]. Il est alors nécessaire de faire intervenir des médiateurs. Dans le cas des réfrigérateurs économes en énergie, l'information sur les consommations effectives ne suffit

[47] M. OLSON, The logic of collective action, Cambridge, Mass. Harvard University Presse, 1965.
[48] V. SCARDIGLI, Les sens de la technique. Paris, PUF, 1992, p. 15.

pas. L'étiquette apparaît comme le support du message, mais elle doit s'accompagner d'une traduction et de mesures incitatives pour que l'équation coûts (du changement)-bénéfices (du changement) devienne attractive.

2.2. L'acheteur confronté à l'étiquette

Lors de la réalisation de notre enquête (fin 1996-début 1997), nous avons observé que, quel que soit le type de magasin, l'étiquette « économie d'énergie » était fréquemment absente, parfois en noir et blanc, ou incomplète, voire manuscrite[49]. Nous l'avons parfois trouvée collée sur la façade au bas du réfrigérateur, et quelques fois à l'intérieur de l'appareil ; elle était ainsi rendue moins visible que les étiquettes habituelles. Cette étiquette paraissait donc être en concurrence avec les autres (notamment celle qui indique le prix), souvent plus larges, plus en vue.

2.2.1. En 1997 : une étiquette passée quasiment inaperçue

Les réfrigérateurs et les congélateurs sont des produits de consommation courante, mais on ne change pas son frigo comme on change sa chaîne hi-fi. Ce type d'appareil relève plus du besoin que du plaisir et les occasions d'en acquérir un neuf ne sont pas fréquentes. Le consommateur n'a pas accès quotidiennement à des informations concernant ce type d'appareil. Lorsque l'opportunité se présente de procéder à un achat, soit il s'agit du premier achat, soit le dernier achat de ce type d'appareil date de plusieurs années[50]. Dans les deux situations, le consommateur découvre les informations disponibles et la manière dont constructeurs et distributeurs communiquent sur ce type d'appareils lors de sa démarche.

Lorsqu'on parle d'étiquette en 1997, plusieurs types d'étiquettes viennent à l'esprit des consommateurs : celle du prix, celle des caractéristiques techniques du constructeur. Certaines ne sont pas facilement accessibles au consommateur qui ne leur accorde de ce fait qu'une attention limitée : « *on ne sait pas les lire* », « *c'est trop technique* » ou « *on ne comprend pas les indications* ». On constate alors une forme de désintérêt lié tout autant à l'absence de communication sur les objectifs de la politique d'étiquetage qu'à l'impression paradoxale qu'ont les individus d'être submergés d'informations destinées « à faire vendre ».

Trois personnes sur quatre ne sont pas capables d'indiquer sur quel type d'appareil l'étiquette énergie a été apposée et elles ne savent par ailleurs pas à qui il faut attribuer l'origine de ce nouvel étiquetage : les constructeurs, les magasins ou les associations de consommateurs. Ces observations traduisent le faible intérêt porté à l'étiquette pendant la période d'introduction de la réglementation. L'étiquette est trop rapidement consultée, quand elle l'est. Un relais d'information apparaît alors nécessaire, que les vendeurs pourraient assurer. Mais, paradoxalement les consommateurs y ont peu recours, et les forces de vente sont peu sensibles à l'intérêt de cette mesure d'étiquetage obligatoire.

---

[49] Rappelons que ces observations ont eu lieu en 1996, soit peu de temps après que l'étiquette fût rendue obligatoire pour tous les appareils vendus en France depuis le premier octobre 1995. A cette date, seuls 25 à 30 % des appareils vendus sur le marché étaient étiquetés.

[50] C. JOLY, «Une génération qui fait preuve de froideur» Cuisiner (40), juil-Aoùt 1996, p. 34.

2.2.2. Deux niveaux de lisibilité : des couleurs ...au texte.

L'étiquette étant conçue pour permettre une lecture rapide de la part des consommateurs, il convenait de mettre en évidence la nature des informations retenues par ces derniers lorsqu'ils sont mis en présence de l'étiquette.

2.2.2.1 Le code couleur : un signal d'appel efficace

Paradoxalement, les consommateurs n'associent pas immédiatement l'étiquette à la consommation d'énergie[51], bien que le terme soit repris sur l'étiquette et figure implicitement dans les qualificatifs « économe/peu économe ». Une lecture trop rapide de l'étiquette ne suffit pas à comprendre systématiquement de quoi elle traite ; le regard a filtré l'information pour n'en retenir qu'une partie. De plus l'existence d'étiquettes « concurrentes » peut créer un brouillage qui disperse l'attention du consommateur et ne facilite pas la perception des informations .

Toutefois, les flèches colorées ont un impact visuel considérable et accentuent sensiblement la visibilité et la lisibilité de l'étiquette apposée sur un fond blanc (la porte de l'appareil). Ce sont elles qui attirent l'attention du consommateur et suscitent sa curiosité. Le côté « image » de l'étiquette fonctionne davantage que le contenu (les classes d'efficacité, la consommation en kWh, le niveau de bruit,...). Ce code couleur représente un signal d'appel efficace en jouant le rôle d'intermédiaire entre les informations figurant sur l'étiquette et le consommateur qui passe dans le linéaire. Ainsi, la couleur rouge peut intervenir comme un gendarme dans le processus de choix : « *Je me rappelle qu'au début mon ami m'avait fait remarquer un frigo qui avait l'air intéressant, à un prix raisonnable, et en rigolant, je lui avais dit : non on ne le prend pas, regarde, il est dans le rouge* ». Le code couleur semble donc se suffire à lui-même. Les autres informations qui nécessitent plus d'attention, ont alors davantage de probabilités d'être remarquées.

2.2.2.2 Un texte plus difficile d'accès

Dans un second temps, le consommateur se focalise sur l'étiquette elle-même, d'un point de vue global, puis sur les informations qu'elle apporte. La grande masse d'informations secondaires libellées en petits caractères semble perturber la lecture et la décourage parfois. Si l'information principale sur l'efficacité énergétique apparaît de façon assez claire dans le code couleur, l'indication de la consommation en kWh paraît beaucoup moins compréhensible et accessible aux consommateurs. Malgré une structuration des informations sur plusieurs niveaux, l'étiquette est perçue comme « peu explicite », « compliquée à lire », « maladroite dans l'ensemble ». Seules quelques personnes, ayant plutôt un niveau d'études supérieur, comprennent relativement bien les informations données et sont capables d'associer le terme « économe » à l'énergie et à la consommation électrique. Pour les autres, l'étiquette apparaît dans l'ensemble trop technique et le message pas assez simple et direct. Dans le contexte informationnel surchargé des points de vente, le code couleur attire le regard mais le message n'est pas vu, lu et assimilé de façon instantanée.

[51] Lors de notre enquête, moins d'une personne sur dix observe que l'étiquette traite de la consommation énergétique.

2.2.2.3 Des problèmes de crédibilité

Enfin, certains consommateurs comprennent le message transmis par l'étiquette mais mettent en doute sa fiabilité ; n'ayant pas d'informations sur les conditions dans lesquelles les mesures ont été effectuées et le classement réalisé, ils en contestent la validité. Ils restent très réservés, méfiants vis à vis des informations affichées et s'en tiennent à leur propre sensibilité pour décider de ce qu'il convient de retenir comme critère de choix : « *C'est comme pour les essais de voitures, ça ne veut pas dire grand chose parce que la consommation annoncée de la voiture est celle du banc d'essai ou à vitesse constante ; on ne peut donc pas s'y fier...* »

On observe ainsi que l'étiquette seule ne fonctionne pas toujours dans le sens souhaité, et qu'elle nécessite l'intervention d'un tiers qui pourra aider le consommateur à comprendre et interpréter les informations qu'elle contient. Du fait de son rôle d'intermédiaire au moment de la vente, le vendeur apparaît comme la personne clé pour relayer le message de l'étiquette.

2.3. Le vendeur, un médiateur ni convaincu ni convaincant

Le rôle du vendeur dans l'acte d'achat est sensiblement différent selon le type de magasin. Dans les grandes surfaces non spécialisées visitées, l'intervention du vendeur est rarement systématique auprès des acheteurs potentiels. Ceux-ci établissent leur choix de manière autonome en comparant les modèles présentés et en recherchant le « meilleur rapport qualité/prix ». Toutefois, l'avis d'une tierce personne est souvent sollicité avant la décision finale, comme s'il s'agissait de confirmer le caractère raisonnable du choix effectué. Le recours au vendeur intervient à ce moment là et en tout dernier lieu, lors de l'achat proprement dit de l'appareil. Dans les grandes surfaces ou magasins spécialisés en électroménager, les vendeurs interviennent plus systématiquement. Le consommateur est alors accompagné, et progressivement (ré)orienté dans son choix en fonction de ce que le vendeur croit comprendre des principaux critères de choix de l'acheteur.

2.3.1. L'attitude du vendeur : entre stratégie d'occultation et stratégie d'intégration[52]

L'attitude du vendeur est conditionnée par sa perception de l'étiquette, ses impératifs de vente et les représentations des attentes des clients. Les contraintes de sa profession et son propre intérêt ne sont pas nécessairement compatibles avec la promotion de l'étiquette et vont influer sur l'utilisation qu'il pourra faire de l'étiquette énergie dans son argumentaire de vente .

- Certains vendeurs optent pour une intégration de l'étiquette à l'argumentaire de vente. Dans la plupart des cas, ils en font un argument de comparaison entre les différents appareils et se servent de l'étiquette pour disqualifier les appareils les moins performants. Mais d'autres optent pour une stratégie d'occultation. Il s'agit souvent de vendeurs mal (in)formés sur les enjeux de l'étiquetage, qui s'appuient sur l'argument du manque de fiabilité (supposé) des mesures ou une représentation erronée des consommations énergétiques des appareils de réfrigération et minimisent l'intérêt de l'étiquetage et plus généralement l'importance du critère énergétique dans le choix des appareils.

Dans tous les cas, l'étiquette semble ne pas se suffire à elle-même, et les vendeurs doivent apporter des explications sur les normes de calcul utilisées pour aboutir à la classification proposée. L'étiquette se fait remarquer et appelle un complément d'information. Elle conduit

[52] Trois grandes surfaces spécialisées, trois grandes surfaces généralistes, quatre grandes surfaces multispécialistes et quatre grands magasins traditionnels de proximité ont été enquêtés en région Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon. Le guide d'entretien utilisé portait sur la perception et l'intégration de l'étiquette ainsi que sur le déroulement de la vente.

le consommateur à solliciter le vendeur et elle engendre pour les vendeurs, chez les petits distributeurs ou dans les grandes surfaces spécialisées, un surcroît de travail notamment pour établir un lien entre la consommation en kWh et la dépense associée.

Plus encore, l'étiquetage peut compliquer voire perturber le travail du vendeur, et dans certains cas être perçu par ce dernier comme une remise en question de son métier. En effet, l'étiquette est disponible même lorsque le vendeur n'est pas présent mais surtout elle peut réduire sa marge de manoeuvre pour orienter le choix du client et éventuellement l'obliger à développer de nouveaux arguments qu'il maîtrise plus ou moins bien et avec lesquels il ne sera pas à l'aise. Ces observations renforcent donc l'idée d'une formation initiale adaptée en direction des forces de vente en accompagnement de la mise en place de l'étiquetage de façon à ce que les vendeurs puissent au minimum en maîtriser le contenu et choisir s'ils le souhaitent d'en relayer le message.

2.3.2. L'attitude du consommateur : les modalités du recours au vendeur

De manière générale, les consommateurs, sauf lorsqu'ils sollicitent d'emblée l'intervention du vendeur, semblent éprouver à son égard une certain méfiance. Ils ne lui reconnaissent pas nécessairement d'importantes compétences techniques et se méfient par ailleurs de ses conseils attribués à des objectifs de vente sur des produits cibles. Ces préoccupations apparaissent aussi bien chez les hommes qui s'intéressent à des aspects techniques particuliers que chez les femmes qui redoutent de se laisser influencer dans leur choix.

Une intervention spontanée du vendeur est ainsi ressentie comme une forme d'intrusion dans le processus de choix, qui vient troubler le consommateur dans sa démarche. Cette intervention apparaît d'autant moins justifiée que le réfrigérateur est apparemment un produit peu technique sur lequel les consommateurs s'estiment capables d'effectuer un choix autonome. Le dialogue sera par contre plus facile à engager si le vendeur est à même d'apporter des compléments d'information ou des éléments techniques spécifiques.

L'étiquette énergie peut fournir l'occasion d'une intervention opportune du vendeur. Elle lui permet de montrer que l'absence de diversité technologique entre les produits n'est qu'apparente : les écarts de performance énergétique entre des produits apparemment semblables attestent de réelles différences technologiques. Le vendeur peut ainsi affirmer une compétence technique que ne lui reconnaît pas spontanément l'acheteur. A l'inverse, le manque de clarté et d'informations concrètes sur l'étiquetage de la part de certains vendeurs peut frustrer le consommateur. Des réponses vagues, incomplètes ou trop imprécises, lui donneront l'impression que le vendeur cherche à minimiser l'importance d'une source d'information non cohérente avec son propre discours : « je vous recommande cet appareil d'excellente qualité ; ne vous inquiétez pas de son mauvais classement énergétique, ce paramètre n'a qu'une importance très secondaire... ». Potentiellement, l'étiquette peut se trouver en contradiction avec le discours tenu par le vendeur.

Dès qu'elle est apposée sur la porte d'un réfrigérateur, cette affichette tient un discours à distance, sans contrôle humain et peut donc court-circuiter le vendeur. D'une certaine façon elle agit comme un « vendeur clandestin » en affichant des arguments de vente qui s'imposent d'eux-mêmes. Elle devient acteur de la situation sociale qu'est la vente et transforme le couple vendeur-client en trio client-étiquette-vendeur.

2.4. Conclusion

Pour le consommateur, la nécessité d'une information spécifique sur la consommation énergétique des réfrigérateurs n'apparaît pas de façon évidente ; à l'inverse de la majorité des appareils électroménagers, le fonctionnement du réfrigérateur ne nécessite pas d'actionner un interrupteur ce qui conduit à occulter en partie l'idée d'une consommation d'électricité. L'absence d'émission de chaleur n'incite pas non plus le consommateur à être attentif à la consommation d'électricité de l'appareil, de même que l'impossibilité d'estimer sa contribution à la facture d'électricité. Avec, la faible sensibilité des consommateurs français à la maîtrise de l'énergie, le contexte n'est pas particulièrement favorable pour que l'étiquette rencontre un intérêt immédiat auprès des consommateurs.

A l'inverse, on peut considérer que la démarche d'achat d'un réfrigérateur se prête relativement bien à l'introduction de l'étiquetage dans la mesure où l'acheteur-type est quelqu'un qui se dit réfléchi, qui cherche à s'informer et qui compare les modèles avant d'acheter. Certes la décision finale peut être influencée par un élément plus subjectif, un « coup de coeur », ou une promotion commerciale, mais l'étiquette permet aussi de répondre au besoin d'information et de préparation de la décision qui semble caractériser le choix d'un nouvel équipement de froid domestique .

Néanmoins, la mise en place de la réglementation relative à l'étiquetage n'a pas eu un impact immédiat sur les consommateurs en raison de sa relative complexité qui nécessite l'intervention d'un médiateur, le vendeur, lequel peut décider ou non de relayer le message de l'étiquette.

Dans la première phase de diffusion de l'étiquette, les distributeurs tendaient à ne pas appliquer la réglementation (un faible pourcentage des appareils étaient correctement étiquetés) notamment parce qu'ils avaient été peu associés à sa préparation, mal informés et peu sensibilisés. L'absence de contrôle de la part des pouvoirs publics n'incitait pas à le faire (rappelons que notre analyse porte sur la période qui a suivi immédiatement l'instauration de la réglementation et donc avant la réalisation des campagnes nationales d'accompagnement de l'étiquetage). Ainsi, les étiquettes étant peu présentes dans les rayonnages, elles ont relativement peu influencé les consommateurs.

En l'absence de campagnes de formation ou d'information spécifiques, les vendeurs ont de leur coté réagi de différentes façons. Certains ont perçu l'étiquette comme un « vendeur clandestin » . En apportant une information objective et standardisée, l'étiquette autorise la comparaison entre les divers appareils proposés à la vente et peut de ce fait se substituer au vendeur humain. Celui-ci peut alors se sentir dévalorisé dans sa fonction d'information du consommateur ; plus encore, il peut être gêné pour orienter le choix du consommateur voire mis en contradiction par les informations figurant sur l'étiquette.

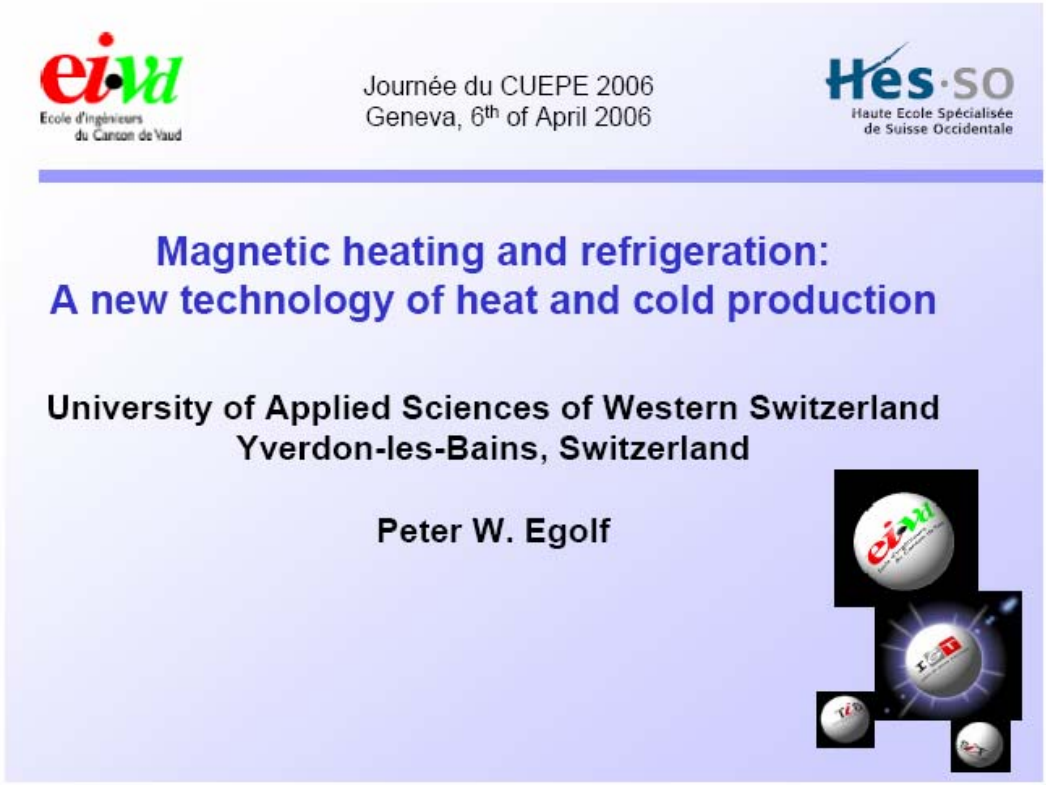
En revanche, certains vendeurs ont saisi l'opportunité offerte par l'étiquette pour engager un dialogue avec le consommateur : sur la consommation d'électricité des réfrigérateurs, sur la comparaison des performances entre les différents modèles, ou sur le lien entre les kWh figurant sur l'étiquette et les dépenses en francs, par exemple. L'étiquette a alors été utilisée comme un outil de dialogue favorisant l'intervention du vendeur et comme un support objectif à un discours commercial que refusent certains consommateurs.

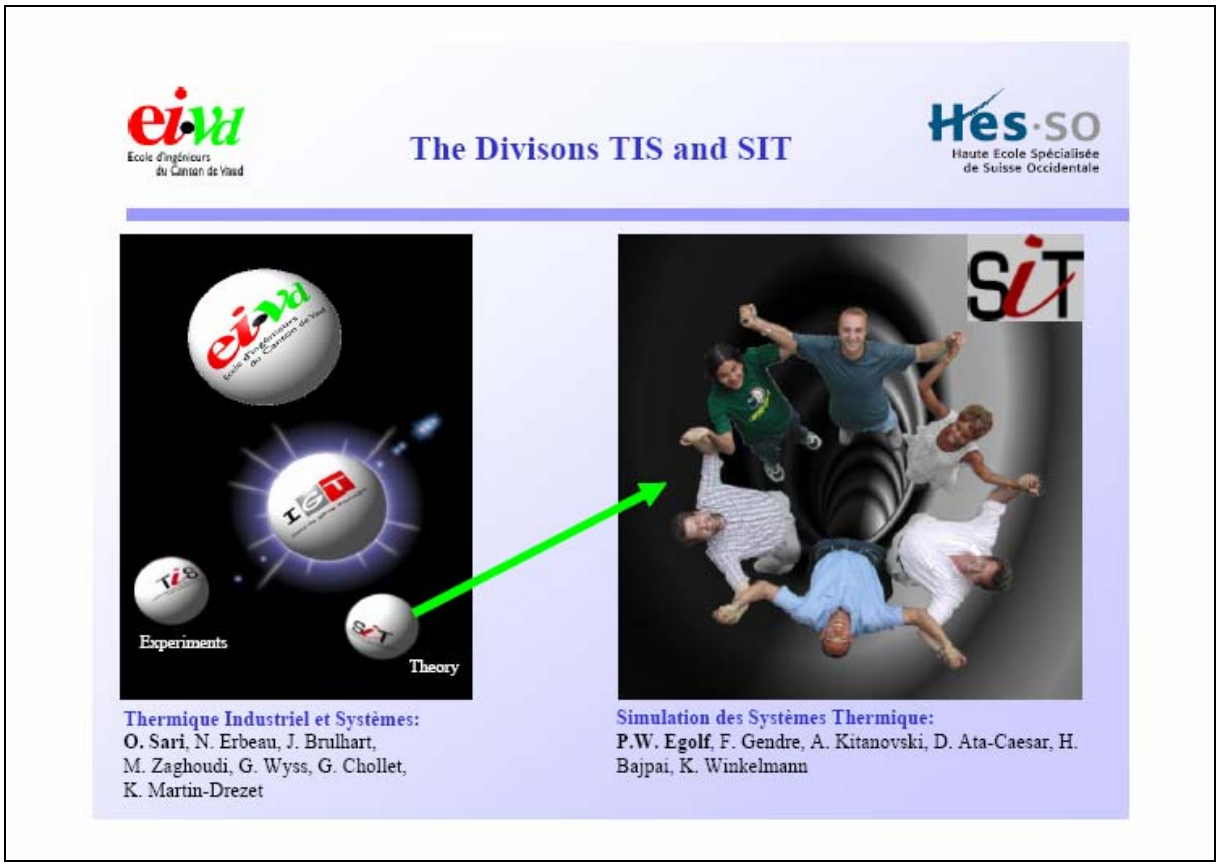
Cette démarche montre que si l'étiquette n'est pas immédiatement utilisable par le consommateur, elle peut dans certains cas se révéler un instrument utile et efficace en situation de vente. Elle est tout particulièrement efficace lorsque le vendeur possède une bonne maîtrise des objectifs et du contenu de l'étiquette énergie, et que la gamme des produits

qu'il propose est cohérente avec la classification des produits instaurée par l'étiquette. L'appropriation de l'étiquette par le vendeur et son intégration dans l'argumentaire commercial peuvent alors avoir un réel impact sur le choix du consommateur.

Magnetic heating and refrigeration : a new technology of heat and cold production

Peter Egolf
Laboratoire de Modélisation Numérique - SIT
peter.egolf@heig-vd.ch




The Divisons TIS and SIT
Experiments
Theory
Thermique Industriel et Systèmes:
O. Sari, N. Erbeau, J. Brulhart,
M. Zaghoudi, G. Wyss, G. Chollet,
K. Martin-Drezet
Simulation des Systèmes Thermique:
P.W. Egolf, F. Gendre, A. Kitanovski, D. Ata-Caesar, H.
Bajpai, K. Winkelmann

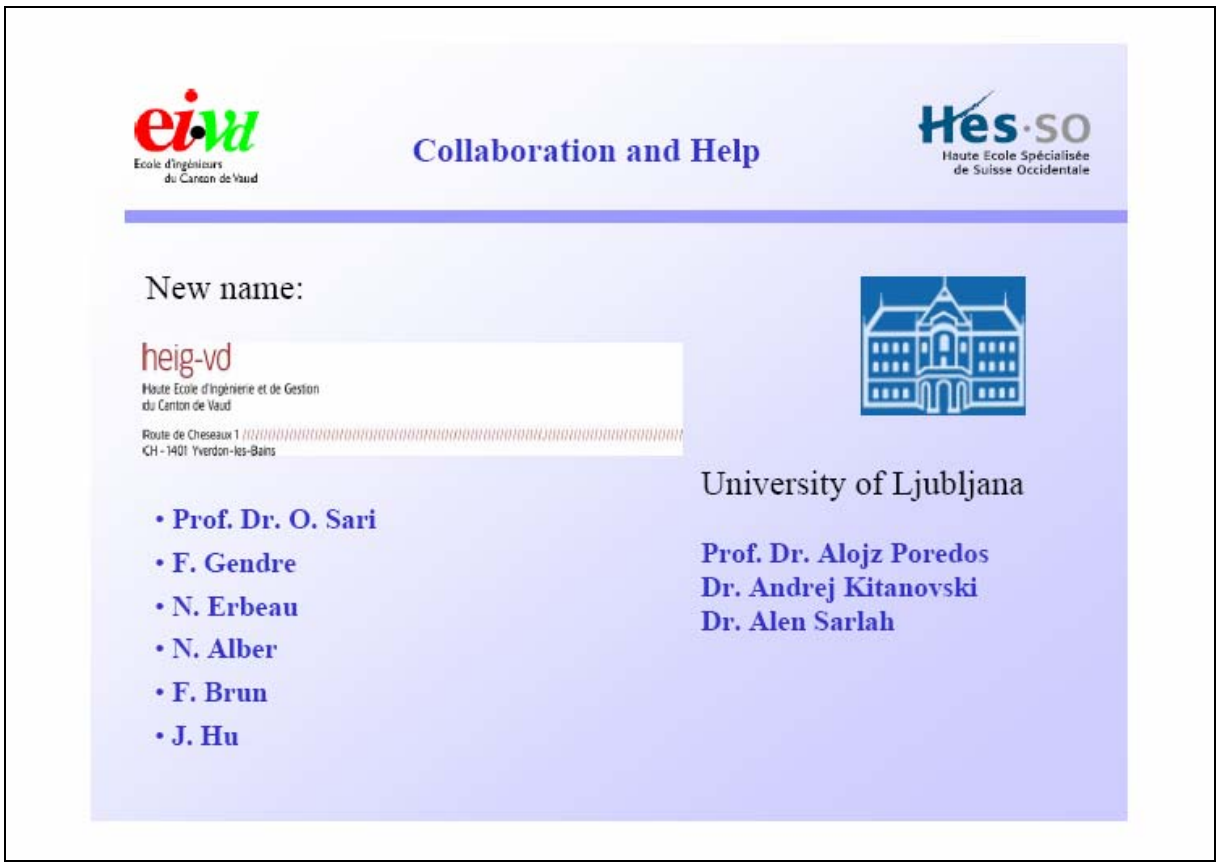

Collaboration and Help
New name:
heig-vd
Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion
du Canton de Vaud
Route de Cheseaux 1
CH - 1401 Yverdon-les-Bains
• Prof. Dr. O. Sari
• F. Gendre
• N. Erbeau
• N. Alber
• F. Brun
• J. Hu
University of Ljubljana
Prof. Dr. Alojz Poredos
Dr. Andrej Kitanovski
Dr. Alen Sarlah

Table of contents

- Brief history of magnetocaloric materials and systems
- The magnetocaloric effect
- Magnetic heating and refrigeration at room temperature
- Existing prototypes
- Magnetic forces and thermodynamic potentials
- Possible systems
- Porous rotary magnetic refrigerators
- Thermodynamic cycles, cascades, regeneration
- Numerical method and simulations
- Alternative machines
- Magnetic heat pumps for Switzerland?
- International activities
- Conclusions and outlook

„Giant" magnetocaloric effect

New materials ... may bring practical magnetocaloric cooling a step closer. A large magnetic entropy change has been found to occur in $MnFeP_{0.45}As_{0.55}$ at room temperature, making it an attractive candidate for commercial applications in magnetic refrigeration.

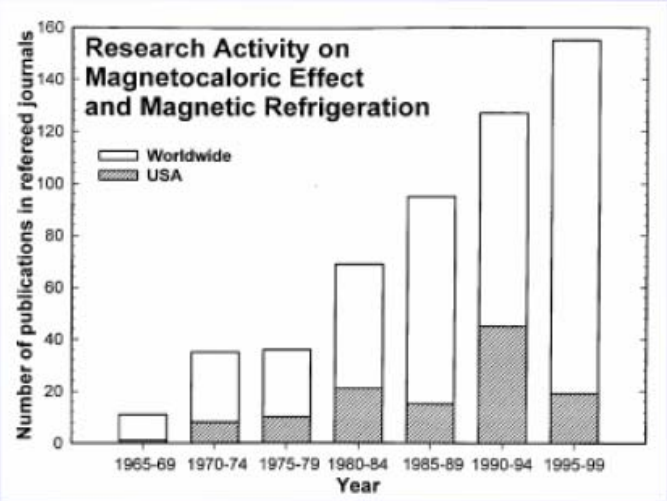
Nature Highlights
10 th of January 2002

„Giant" magnetocaloric effect

In an article published in the journal *Nature* last month, scientists at the University of Amsterdam reported that they had created an iron-based compound that also exhibits a large warming effect in a magnetic field. Iron and other ingredients in the compound are considerable less expensive than gadolinium.

The New York Times
9 th of February 2002

„Giant" magnetocaloric effect



Brief history of magnetocaloric materials and systems

- 1881 : Warburg discovers the magnetocaloric effect in iron
- 1926 : Debye proposes the first practical application at low temperatures. The process is named adiabatic magnetization/demagnetization
- 1927 : Giauque proposes the same process independently of Debye
- Since 1930 : Application of magnetic cooling becomes standard in low temperature physics (T<<1 K)
- At present : Discovery of magnetocaloric materials with Currie temperatures T_C around room temperature
- Development of new magnetic cooling systems operating at room temperature: **Promising new technology !**

The magnetocaloric effect

For the entropy of rare earth alloys (no electron phonon interactions) a superposition of the partial entropies is possible (Tishin, 2003):

$$S(H,T)=S_e(T)+S_l(T)+S_m(H,T)$$

The entropy of the electronic (e) and the lattice (l) subsystems show no dependence on the magnetic field! Then:

$$ds(H,T)=\frac{ds_e}{dT}(T)dT+\frac{ds_l}{dT}(T)dT+\left(\frac{\partial s_m}{\partial H}\right)_T(H,T)dH+\left(\frac{\partial s_m}{\partial T}\right)_H(H,T)dT$$

Some basic thermodynamic relations and definitions:

$$\delta q=Tds \qquad c_\chi=\left(\frac{\delta q}{\partial T}\right)_\chi \qquad c_\chi=T\left(\frac{\delta s}{\partial T}\right)_\chi$$

The magnetocaloric effect

Combining these equations:

$$ds(H,T)=\frac{c_e(T)}{T}dT+\frac{c_l(T)}{T}dT+\left.\frac{c_m(H,T)}{T}\right|_H dT+\left(\frac{\partial s_m}{\partial H}\right)_T(H,T)dH$$

With the Mayxwell relation (e.g. Kitanovski & Egolf, Int. J. Refr. **29**, 3-21, 2006:

$$\left(\frac{\delta s}{\partial H}\right)_T=-\mu_0\left(\frac{\delta M}{\partial T}\right)_H \qquad \text{because:} \qquad \left(\frac{\delta s_m}{\partial H}\right)_T=\left(\frac{\delta s}{\partial H}\right)_T$$

The magnetocaloric effect

and:

$$c_H=c_e+c_l+c_m$$

In an adiabatic magnetization or demagnetization process:

$$ds=0$$

Therefore, it follows that:

$$\frac{c_H}{T}dT-\mu_0\left(\frac{\delta M}{\partial T}\right)_H=0 \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{\frac{dT}{T}=\frac{\mu_0}{c_H}\left(\frac{\delta M}{\partial T}\right)_H dH}$$

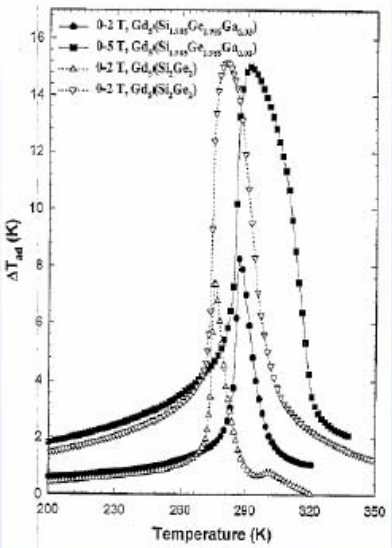
Moving magnetocaloric material into (out of) a magnetic field increases (decreases) the magnetisation and the temperature.

The magnetocaloric effect

The magnetocaloric effect occurs at a phase transition between different magnetic states.

The temperature of phase change is the Curie temperature.

The magnetocaloric effect

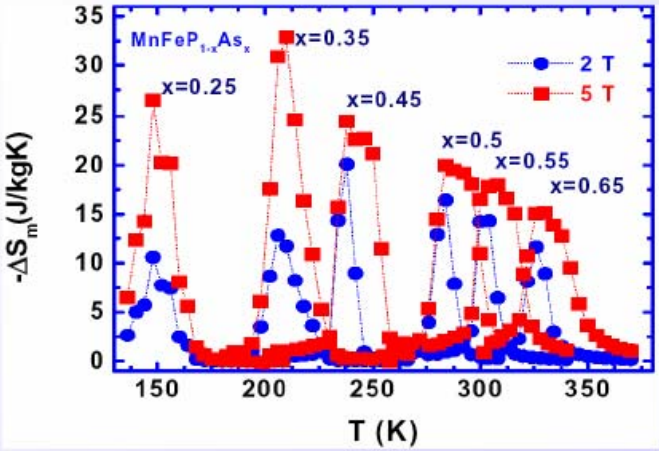


Data from:

Pecharsky VK, Gschneidner KA Jr. *Tunable magnetic regenerator alloys with a giant magnetocaloric effect for magnetic refrigeration from ~ 20 to ~ 290 K.* Applied Physics Letters 1997; 70 (24): 3299-3301.

Still limited temperature differences!

Magnetic heating and refrigeration at room temperature



Tegus, PhD thesis

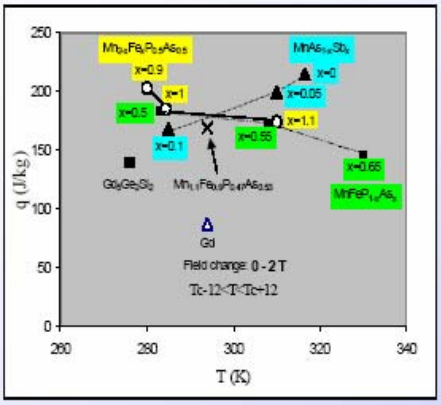
Van der Waals-Zeemann Institute

University of Amsterdam

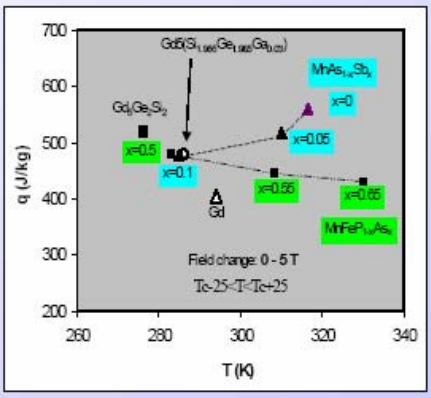
2003

Magnetic heating and refrigeration at room temperature

Heating and refrigeration „capacities“:



Tegus et al., 2002



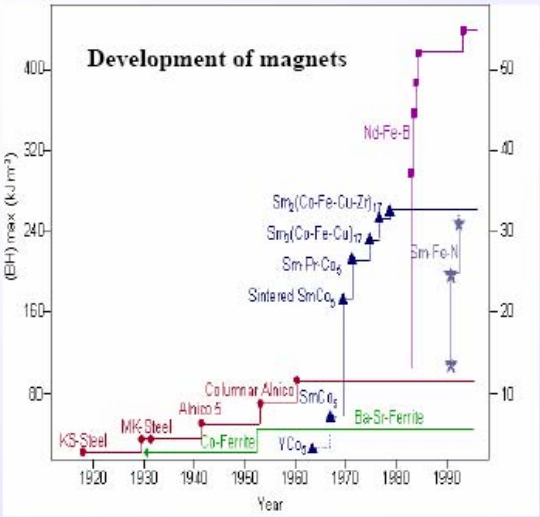
Zimm et al., 2001

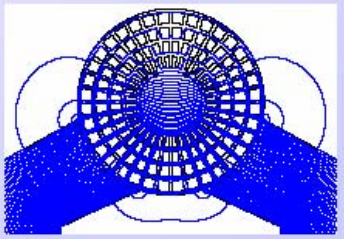
Magnetic heating and refrigeration at room temperature

Magnetocaloric materials should (partly by Yu et al., 2003):

- Modest Debye temperature (a high temperature makes the fraction of lattice entropy small correspondingly at a high temperature)
- High temperature difference at phase transition
- Large width of transition
- No magnetic hysteresis (irreversibility of cycle)
- Small specific heat and large thermal conductivity to guarantee fast heat exchange
- Large electric resistance to avoid the eddy current loss
- Fine molding and processing must be possible
- No poison substances (arsenic, etc.) for direct contact applications

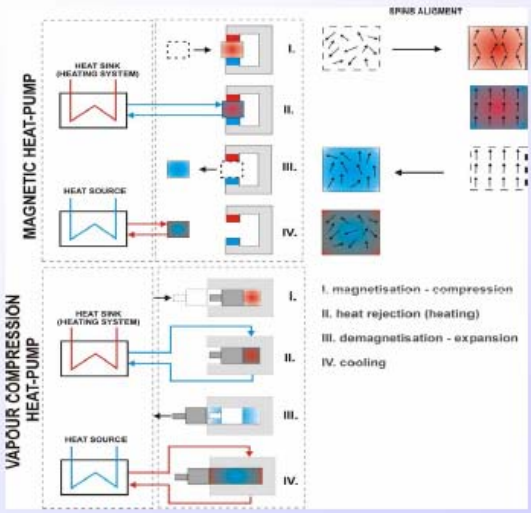
Magnetic heating and refrigeration at room temperature





High flux line density

Magnetic heating and refrigeration at room temperature



Four stage process each:

A) Magnetic heat pump:

1) Increase of magnetic flux density
2) Rejection of heat for heating purpose at high temperature level
3) Decrease of magnetic flux density
4) Injection of heat at low level to the heat pump

B) Conventional heat pump:

1) Compression (Increase of pressure)
2) Rejection of heat for heating purpose at high temperature level
3) Expansion (decrease of pressure)
4) Injection of heat at low level to the heat pump

Magnetic heating and refrigeration at room temperature

Advantages:

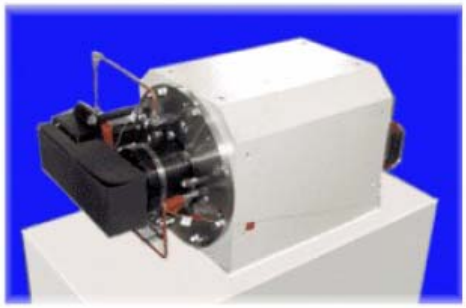
- Green technology (no use of conventional refrigerants)
- Noise-less technology (no compressor)
- Very high thermodynamic efficiency (20-30% higher than in conventional cycles due to the reversibility of the magnetocaloric effect)
- Lower energy consumption
- Simple construction
- Low maintenance costs
- Low pressures (operation at atmospheric pressure, advantage e.g. for air-conditioning applications and refrigeration systems in automobiles)

Magnetic heating and refrigeration at room temperature

Disadvantages:

- Strong magnetic fields with not completely known influences on living creatures
- Protections to avoid disturbances of electronic components
- The field strengths of permanent magnets are still limited, superconducting magnets are too expensive
- The temperature differences are still not so high
- In moving material applications the precision of the machine must be high (small gap between magnet and magnetocaloric material)

Existing prototypes

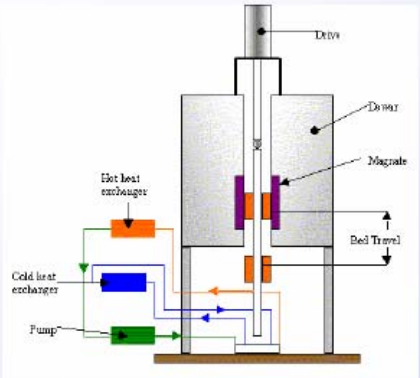


A development in Japan

Chubu – Toshiba (2000)

This machine consists of a cascade with three pistons of different magnetocaloric materials. A low magnetic field of B=0.7 T is induced by permanent magnets.

Existing prototypes



Development in the USA

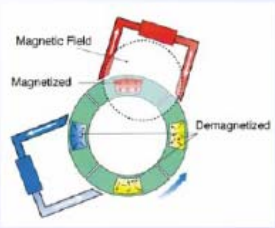
AMES Laboratory - 1997

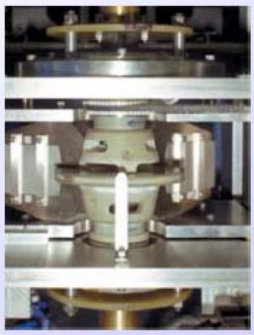
The kernel are two pistons of packed beds of gadolinium spheres. A superconducting magnet with a high magnetic field is applied.

Existing prototypes

Development in the USA

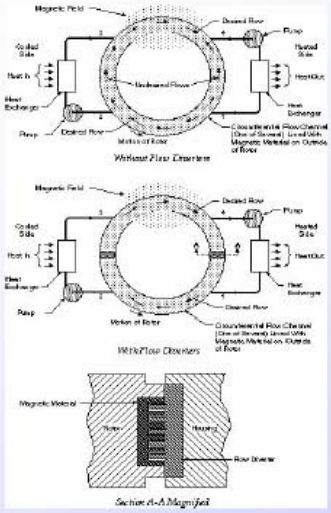
AMES Laboratory - 2001





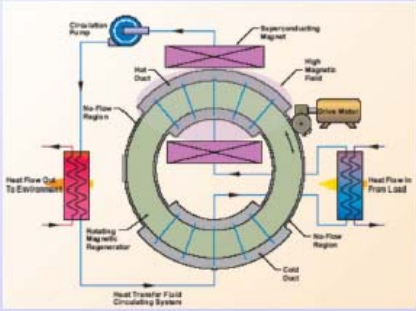
Rotary magnetic refrigerator with permanent magnets
(with complicated fluid switches)

Existing prototypes

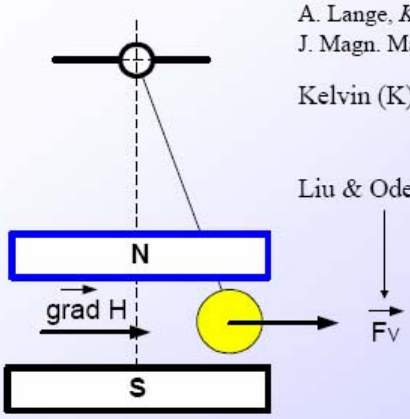


Developments in the USA

University of Victoria



Magnetic forces and thermodynamic potentials



A. Lange, *Kelvin force in a layer of magnetic fluid*. J. Magn. Mat. 2001; 241: 327-329:

Kelvin (K): $\vec{F}_K = \mu_0 \int_\Gamma M_i \nabla H_i \, dV$

Liu & Odenbach (V): $\vec{F}_V = \mu_0 \int_\Gamma M_i \nabla B_i \, dV$

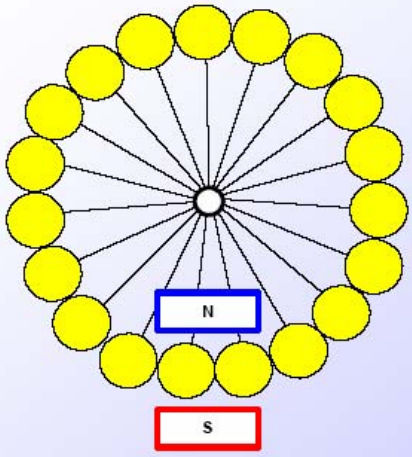
extensive vector analytical treatment

$$\vec{F}_V = \mu_0 \int_\Gamma H_{0i} \nabla M_i \, dV$$

Kitanovski & Egolf, 2005 (in print)

Dilute limite only (ferrofluids)!

Magnetic forces and thermodynamic potentials



What is the difference?

We still may have the external work:

$$dw_1^{(ext)} = -\mu_0 H_0 dM$$

But now additionally a flux of magnetisation occurs. Its infinitesimal change is:

$$dw_1^{(abs)} = -\mu_0 d(H_0 M)$$

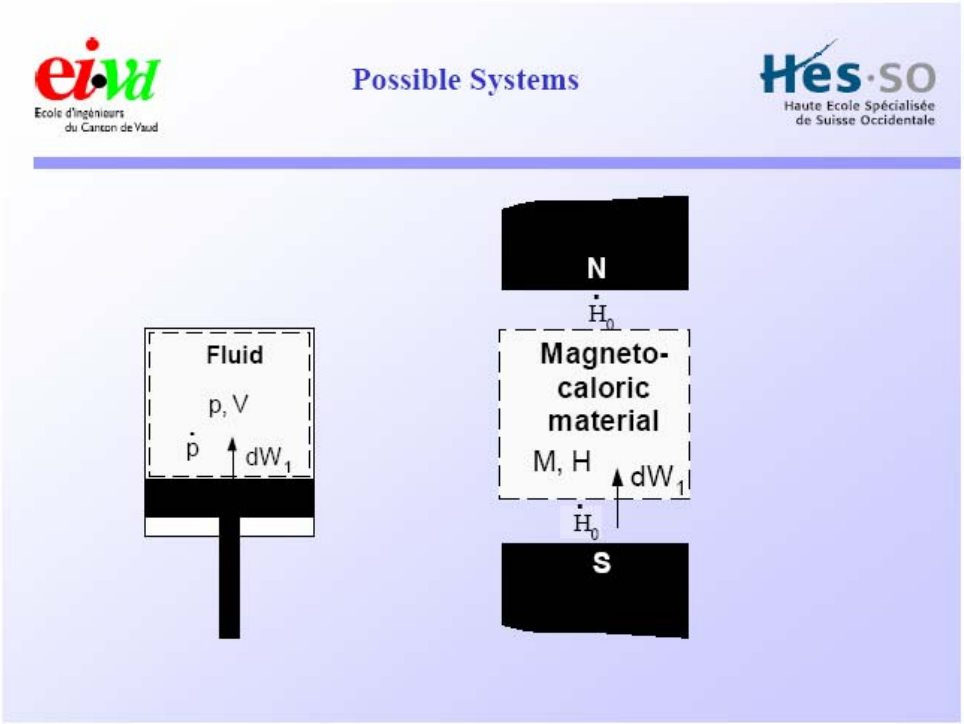
Then the technical work is:

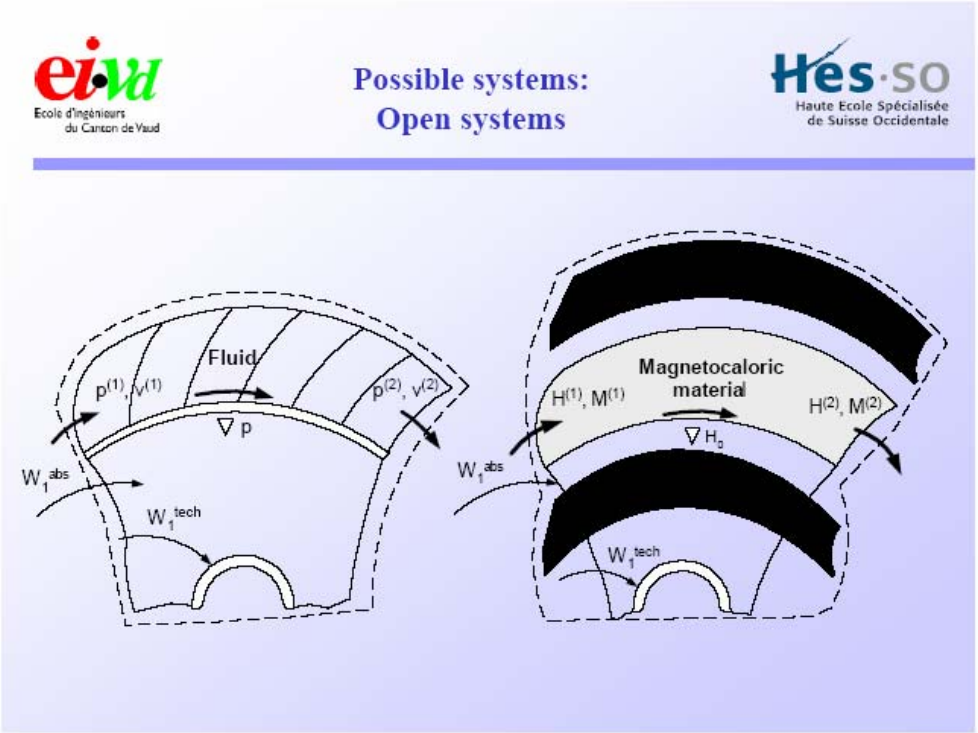
$$dw_1^{(tech)} = -\left(dw_1^{(abs)} - dw_1^{(ext)}\right) = \mu_0 M dH_0$$

In turbo machinery this work is also named shaft work

Magnetic forces and thermodynamic potentials

Quantity	Gas thermodynamics	Magneto-thermodynamics
Driving "force" (stress parameter)	Pressure p	Field H_0
Order parameter (reaction of system)	Specific volume v	Magnetization M (orientation of spins)
External work (closed system)	$dw_1^{(ext)} = -pdv$	$dw_1^{(ext)} = -\mu_0 H_0 dM$ (related to force of Liu)
Technical work (open system)	$dw_1^{(tech)} = vdp$	$dw_1^{(tech)} = \mu_0 M dH_0$ (related to Kelvin force)


Possible Systems
Fluid
p, V
$\dot{p}$
dW_1
N
$\dot{H}_0$
Magneto-caloric material
M, H
dW_1
$\dot{H}_0$
S

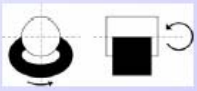

Possible systems:
Open systems
Fluid
$p^{(1)}, v^{(1)}$
$p^{(2)}, v^{(2)}$
∇p
W_1^{abs}
W_1^{tech}
Magnetocaloric material
$H^{(1)}, M^{(1)}$
$H^{(2)}, M^{(2)}$
∇H_0
W_1^{abs}
W_1^{tech}

Possible systems

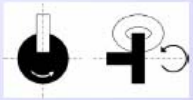
1) **Static system with two storage blocks and valves**
2) **Linear movement**
3) **Rotational movement**

Solution A:
Rotary wheel, magnet fixed, axial current.

Solution B:
Wheel fixed, rotating magnet, axial current.

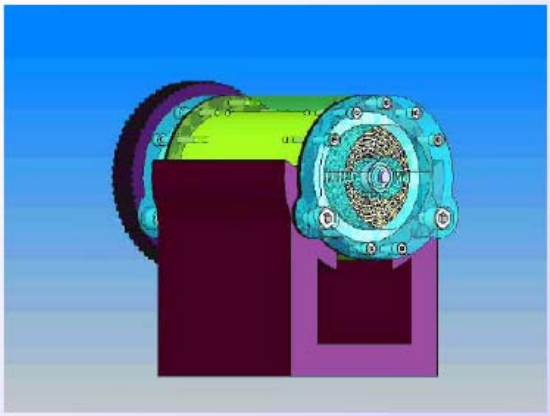


Solution C:
Rotary wheel, fixed magnet, radial current.



Solution D:
Fixed wheel, rotary magnet, radial current.

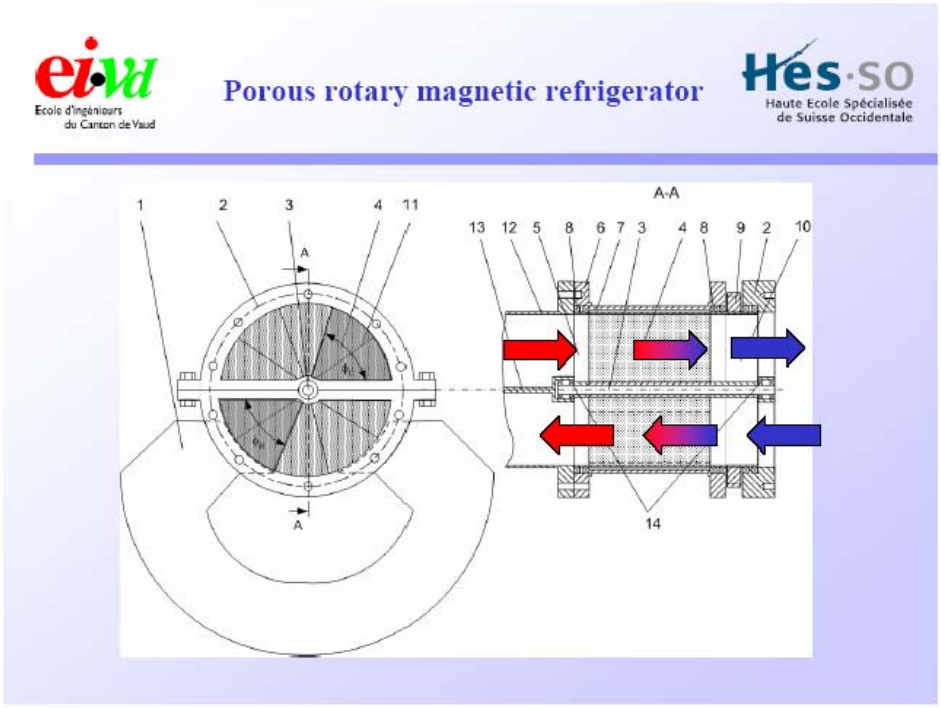
Porous rotary magnetic refrigerator

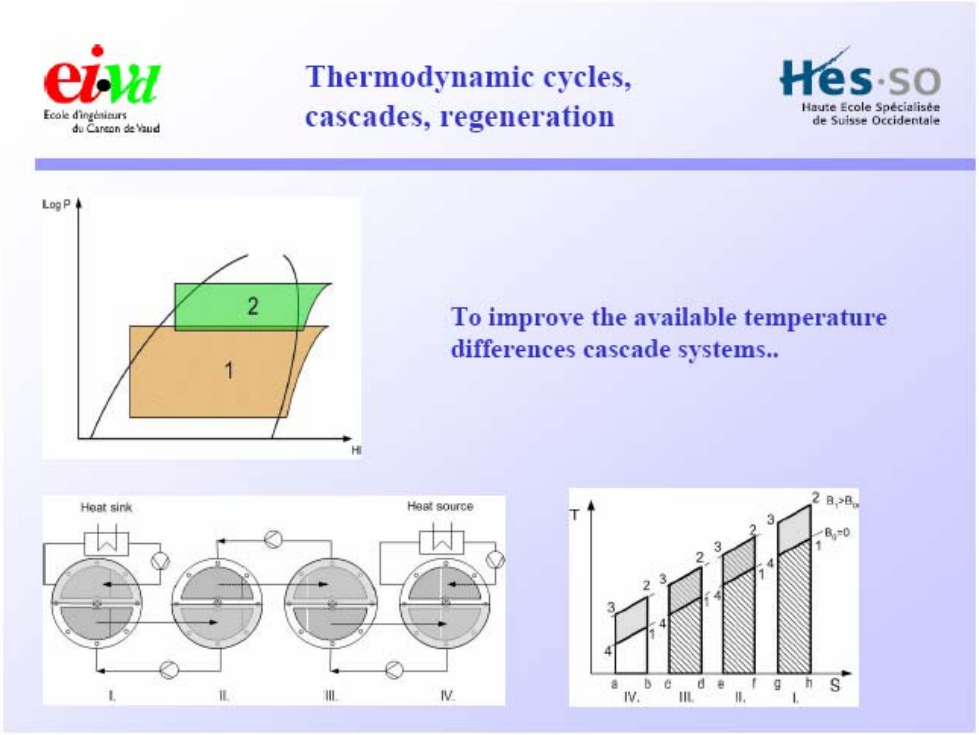


A. Kitanovski, P. W. Egolf, O. Sari, 2003.
Procédé et dispositif pour generer en continue du froid et de la chaleur par effet magnetique.

PCT BR – 10'463 - IN

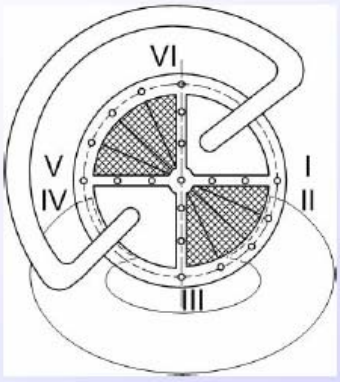
Four functions are realized in a very simple manner!

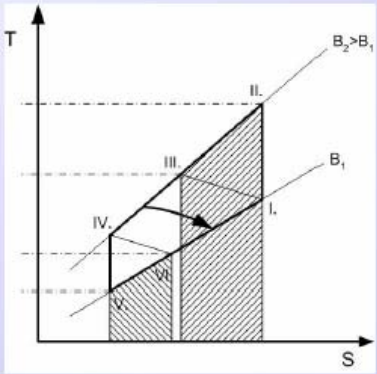

Porous rotary magnetic refrigerator
A-A
1
2
3
4
11
13
12
5
8
6
7
3
4
8
9
2
10
A
A
14


Thermodynamic cycles, cascades, regeneration
Log P
2
1
Hi
To improve the available temperature differences cascade systems..
Heat sink
Heat source
I.
II.
III.
IV.
T
S
a
b
c
d
e
f
g
h
IV.
III.
II.
I.

Thermodynamic cycles, cascades, regeneration

...or regeneration systems are required!





Numerical method and simulations

Energy conservation: $\rho\left(\frac{\partial\Lambda}{\partial t}+\omega\frac{\partial\Lambda}{\partial\phi}+v\frac{\partial\Lambda}{\partial z}\right)+\frac{1}{r}\frac{\sum_{i=1}^{n}\dot{q}\chi_{\phi}^{(i)}}{\partial\phi}+\frac{\sum_{i=1}^{n}\dot{q}\chi_{z}^{(i)}}{\partial z}$

Mapping of a cylinder to a square: Thermal inertia and conductivities negligible!

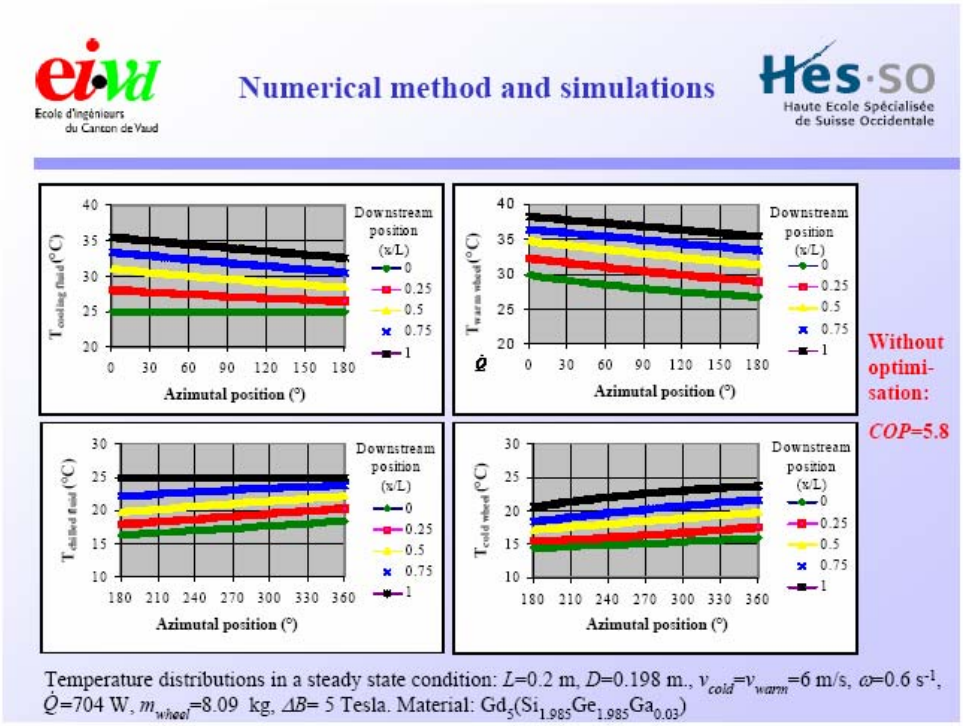
$$\rho_F\, v\, c_p\frac{\partial T_F}{\partial z}+\frac{\alpha\,\xi}{L}\left(T_F-T_R\right)=0$$

$$\rho_R\omega\, c_H\frac{\partial T_R}{\partial\phi}\,\psi+\frac{\alpha}{\delta}\left(T_R-T_F\right)=0$$

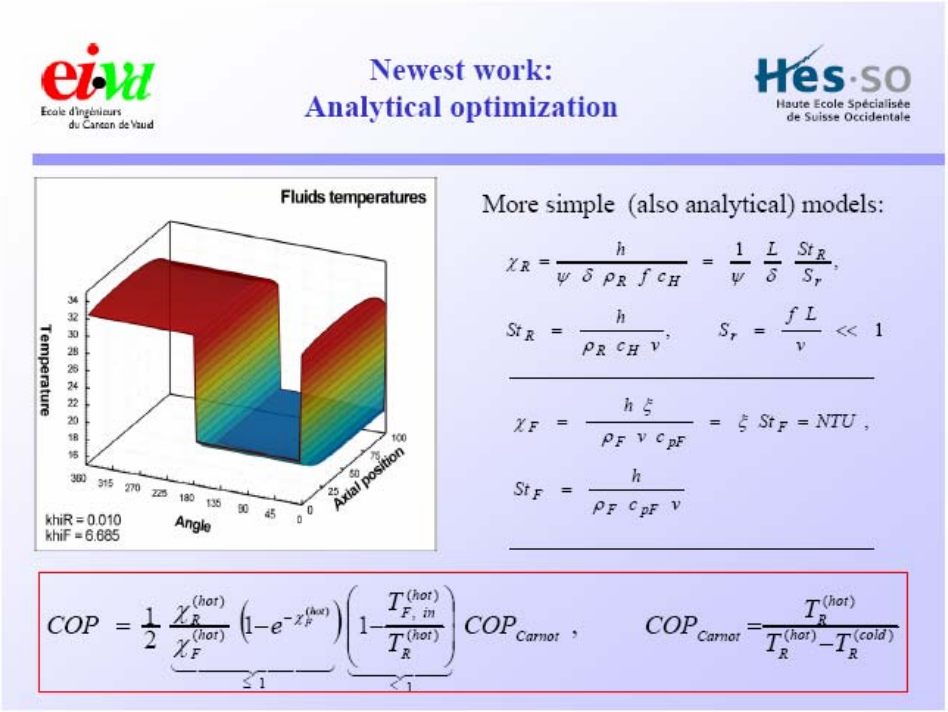
$TF(\phi,L)=TF_{in}^{(hot)}$, $TR(\phi,L)=TR_{in}^{(hot)}+\Delta T^{(hot)}$, $\pi < \phi \le 2\pi$

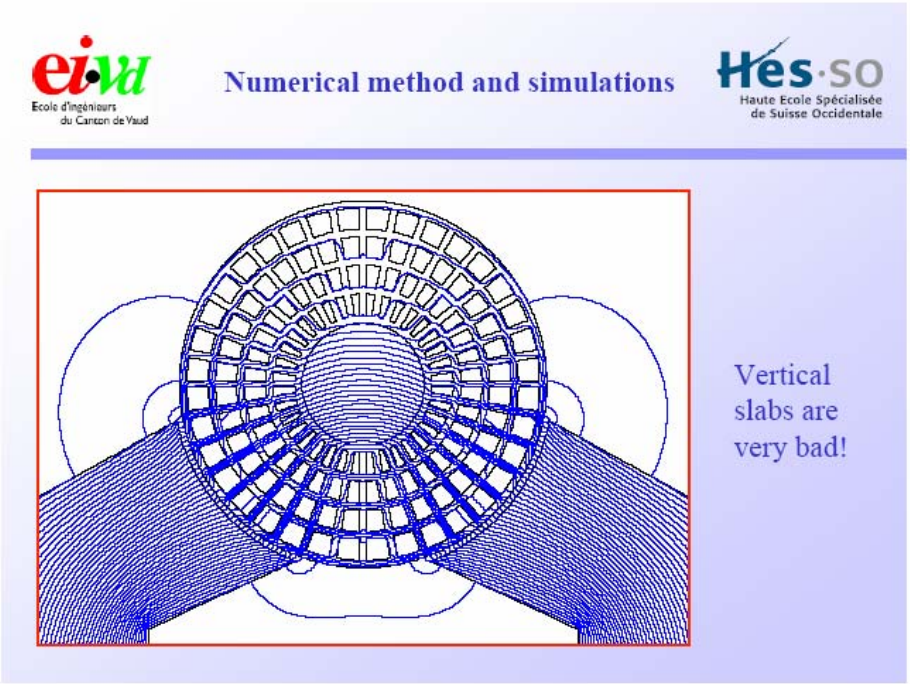
$TF(\phi,0)=TF_{in}^{(cold)}$, $TR(\phi,0)=TR_{in}^{(cold)}+\Delta T^{(cold)}$, $0 < \phi \le \pi$

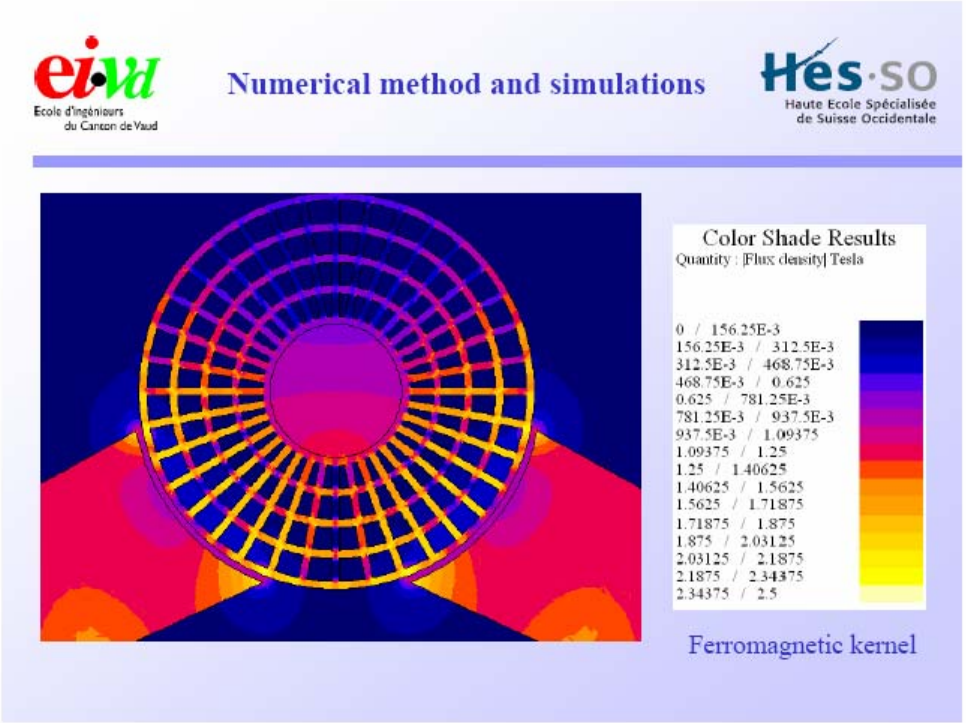
$TR(2\pi,z)=TR(0,z)$, $0 \le z \le L$ (Periodicity condition)

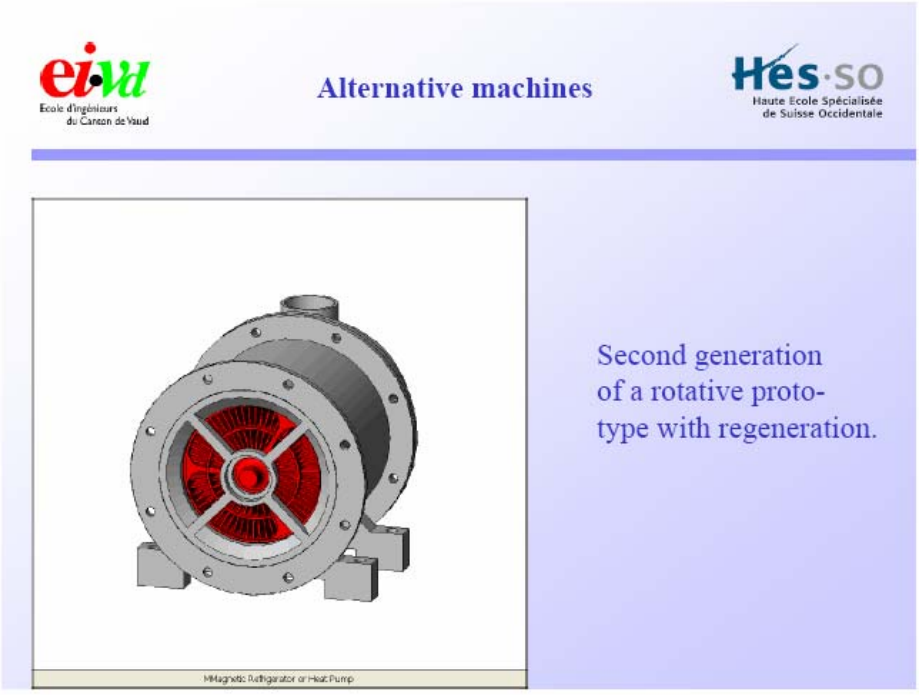


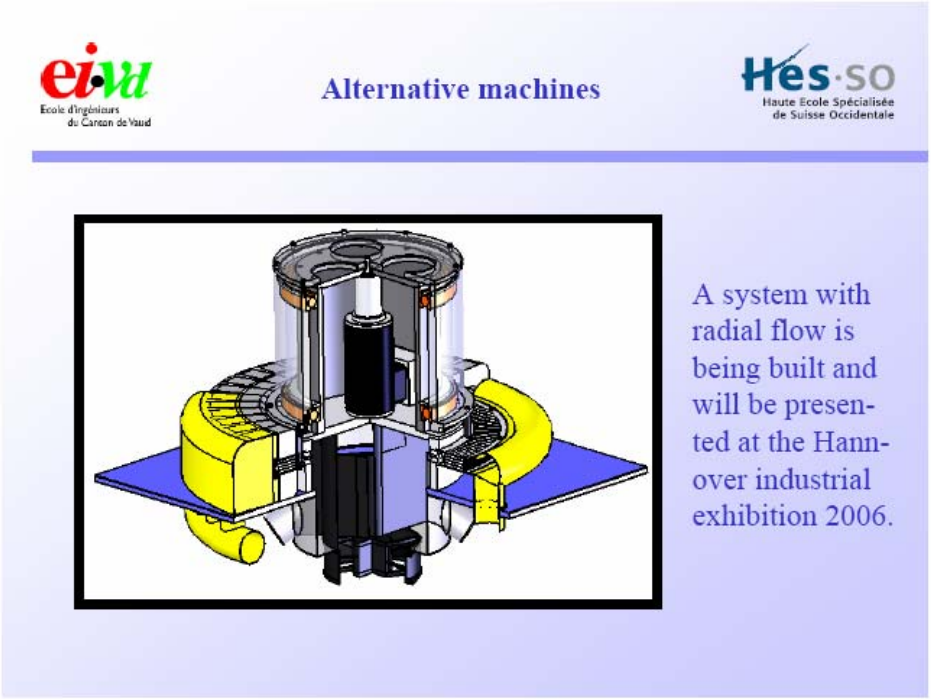
Temperature distributions in a steady state condition: L=0.2 m, D=0.198 m., v_{cold}=v_{warm}=6 m/s, ω=0.6 s^{-1}, $\dot{Q}$=704 W, m_{wheel}=8.09 kg, ΔB= 5 Tesla. Material: $Gd_5(Si_{1.985}Ge_{1.985}Ga_{0.03})$




Numerical method and simulations
Vertical slabs are very bad!


Numerical method and simulations
Color Shade Results
Quantity : |Flux density| Tesla
0 / 156.25E-3
156.25E-3 / 312.5E-3
312.5E-3 / 468.75E-3
468.75E-3 / 0.625
0.625 / 781.25E-3
781.25E-3 / 937.5E-3
937.5E-3 / 1.09375
1.09375 / 1.25
1.25 / 1.40625
1.40625 / 1.5625
1.5625 / 1.71875
1.71875 / 1.875
1.875 / 2.03125
2.03125 / 2.1875
2.1875 / 2.34375
2.34375 / 2.5
Ferromagnetic kernel


Alternative machines
Second generation of a rotative prototype with regeneration.
MMagnetic Refrigerator or Heat Pump


Alternative machines
A system with radial flow is being built and will be presented at the Hannover industrial exhibition 2006.

Magnetic heat pumps for Switzerland?

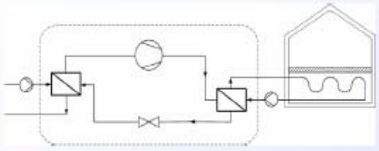
Heat pumps for new buildings with floor heating

Fluids:	Brine/water (brine: 25 % ethylen-glycol)
Temperature primary side:	0 °C (e.g. water of a river)
Temperature secondary side:	35 °C
Power:	8 kW

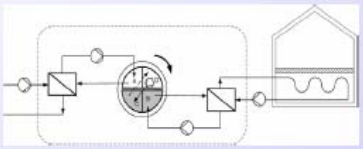
Renovation building with radiator heating

Fluids:	Air/water
Temperature primary side :	-7 °C
Temperature secondary side :	50 °C
Power:	15 kW.

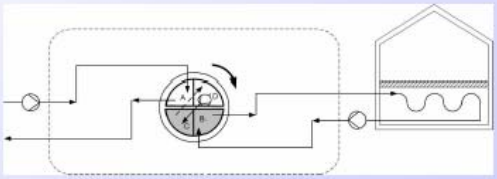
Magnetic heat pumps for Switzerland: New building with floor heating



Conventional heat pump application

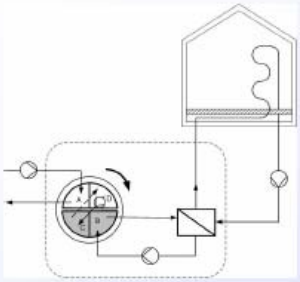


Analogous design of a magnetic heat pump

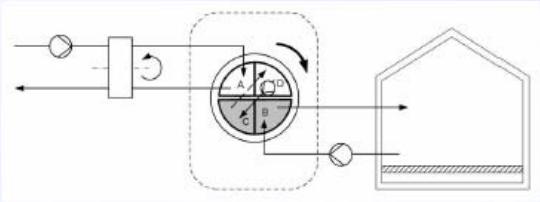


Simple magnetic heat pump system with only two pumps. A requirement is identical fluids in the two circuits, e.g. water/glycol.

Magnetic heat pumps for Switzerland: Renovation building with radiator heating

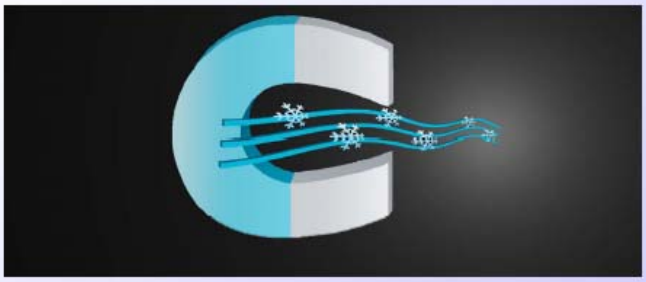


The system shows an air/water heat exchanger, a pump in the small heating cicuit and two air ventilators.



Schematic drawing of a complete heating system with a magnetic heat pump. By the heat recovery system the required temperature difference becomes smaller and a magnetic heat pump appplication becomes realistic.

New IIR Working Party on Magnetic Refrigeration



See on the web:
www.iifiir.iifiir.org

First Int. Conf. on Magnetic Refrigeration at Room Temperature

27-30. September 2005
in Montreux Switzerland

Interested:
Coca Cola, Néstle,
Daewoo, Danfoss,
Peugeot, Citroen,
Axima, Arcelik,…

Next conference:
Protorosz, Slovenia
11-13 April 2007

Swiss Technology Award 2006 First prize

Conclusions and Outlook

- Magnetic refrigerators at room temperature have been designed (and several patents for different systems submitted)
- The basic theory has been established, but will be further prepared
- First numerical simulations results have been made available
- Experimental validation is planned to be performed
- Optimisation calculations are very important to reach high COP values and are still missing
- More powerful systems as cascades and systems with regeneration must be designed, their behaviour measured and modeled.

Thank you for your attention!

Magnetic cooling at room temperature:

A future major evolution in refrigeration?

Amélioration des performances énergétiques des équipements de froid domestique : étiquettes, normes de performances et accords volontaires

Philippe Menanteau
LEPII-EPE
Université de Grenoble
philippe.menanteau@upmf-grenoble.fr

Selon l'Agence Internationale de l'Energie, la consommation énergétique des équipements de froid domestique (réfrigérateurs et congélateurs) a cessé de progresser depuis quelques années dans les pays industrialisés (OECD/IEA, 2003). Le taux d'équipement des ménages est en effet aujourd'hui très proche de la saturation et si la taille des réfrigérateurs continue à croitre c'est de façon beaucoup plus modérée que par le passé. Surtout, l'efficacité énergétique de ces appareils a nettement progressé depuis les années 70. En conséquence, la consommation d'électricité pour la production de froid qui atteignait 335 TWh dans les pays de l'OCDE, en 1990, ne représentait plus que 315 TWh en 2000, soit un recul de 13%[1].

Pour les pays en développement, la situation est totalement différente car les taux d'équipement des ménages y restent encore très inférieurs à ceux des pays industrialisés. Ils augmentent à un rythme soutenu dans les pays émergents, tout particulièrement pour les ménages urbains dont les revenus progressent plus vite. En Chine, par exemple, les taux d'équipement des ménages urbains en appareils électroménagers qui étaient très faibles au début des années 80, atteignaient en 2001, 36% pour les climatiseurs, 82% pour les réfrigérateurs, 92% pour les lave-linge et 121% pour les téléviseurs (Lin, 2002).

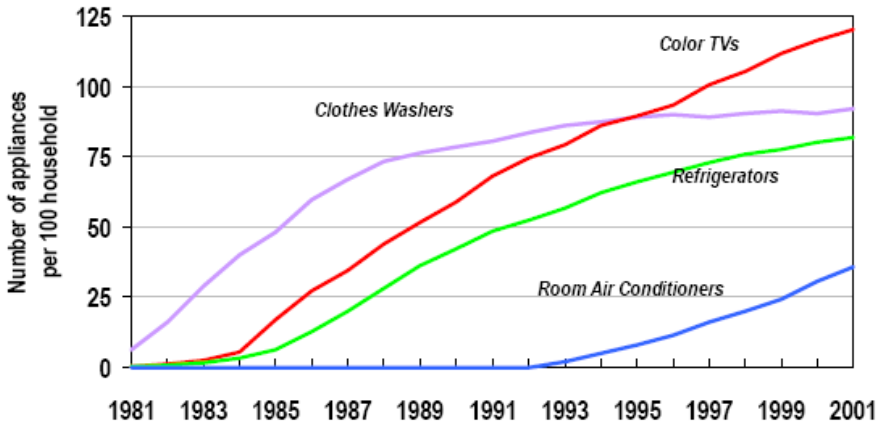


Figure 1 : Taux d'équipement des ménages en Chine (Source : J. Lin, 2002)

[1] L'Agence de l'Energie indique toutefois que les équipements électroménagers restent le second poste de consommation d'électricité pour les pays industrialisés (30% de la production totale d'électricité) et prévoit une croissance continue de la consommation (plus 25% de 2000 à 2020) malgré la mise en place de politiques d'amélioration de l'efficacité énergétique.

La consommation d'électricité des ménages pour les réfrigérateurs / congélateurs devrait donc dans ces pays continuer à croître très rapidement au cours des prochaines années et ce, d'autant plus vite que les performances énergétiques des équipements commercialisés dans les pays en développement sont sensiblement inférieures à celles des pays industrialisés.

La réduction des consommations énergétiques ou au moins le ralentissement de la croissance impose de s'orienter vers des technologies de demande moins consommatrices ; concrètement, cela signifie, stimuler la diffusion des équipements performants aujourd'hui disponibles et en même temps favoriser l'émergence de nouveaux équipements encore plus performants pour demain.

La stratégie suivie par l'Union Européenne dans ce domaine consiste à accélérer la diffusion de nouveaux équipements plus performants en associant un instrument d'information, l'étiquetage énergétique, et un instrument réglementaire, les seuils minimums de performance. L'affichage des consommations énergétiques des équipements de froid domestique a ainsi été rendu obligatoire dans tous les Etats membres de l'Union Européenne en 1995, puis complété en 1999 par des seuils minimums de performance (normes) destinés à faire disparaître les appareils les plus consommateurs (Waide, 2004).

Labels et étiquettes Energie

Le manque d'information du consommateur est généralement considéré comme une des raisons du manque d'intérêt apparent des consommateurs pour les appareils plus efficaces. L'étiquetage énergétique et le label sont deux moyens de pallier ce manque d'information qui mettent en avant les performances énergétiques de façon à inciter le consommateur à comparer les appareils électroménagers et à choisir les appareils les plus performants dans un même catégorie

L'étiquette énergétique ("comparison label") permet de comparer entre elles les performances énergétiques de tous les produits dans une catégorie donnée (réfrigérateurs/congélateurs, sèche-linge, lave-linge, etc) : ex EnergyGuide aux USA ou l'étiquette Energie en Europe. Les labels ("endorsement label") permettent uniquement de distinguer les appareils les plus performants : ex. Energy Star – USA. Les premiers s'appliquent généralement à l'ensemble des produits disponibles, alors que les seconds relèvent d'une démarche volontaire de la part des industriels.

Figure 2 : Exemples de labels et étiquettes Energie

L'introduction de l'étiquetage en 1995 a certainement permis d'accélérer la diffusion d'équipements de froid plus performants dans l'Union Européenne comme l'atteste la Figure 2 mais son impact spécifique est difficile à isoler. L'analyse des ventes de 1996 à 1999, puis 2003 montre une réelle amélioration de l'efficacité énergétique moyenne par un déplacement progressif des ventes, des classes d'efficacité énergétique les plus consommatrices (E, F et G) vers les classes les plus performantes (A, B et C). Par rapport à la situation du début des années 90, l'amélioration de l'efficacité énergétique moyenne était à la fin de la décennie de l'ordre de 30% (CEC, 2000).

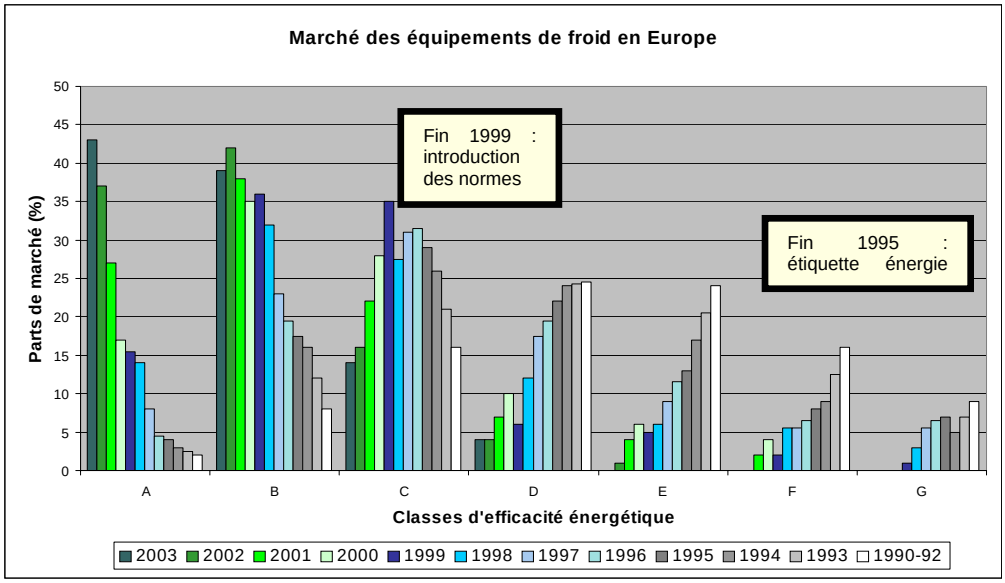


Figure 3 : Transformation du marché des équipements de froid (Source : CEC, 2004)

Cette évolution des ventes résulte d'une modification des préférences des consommateurs mais aussi et surtout de l'évolution de l'offre des fabricants et distributeurs. Concrètement, les fabricants ont supprimé les modèles devenus difficiles à vendre (chers et peu performants sur le plan énergétique), amélioré parfois à la marge les appareils destinés à rester sur le marché5 et, progressivement introduit de nouveaux produits plus performants.

L'étiquetage apparaît ainsi comme un puissant instrument de différenciation des produits, susceptible de stimuler une dynamique d'innovation pour les industriels qui cherchent à améliorer leur position concurrentielle ou à s'imposer sur de nouvelles niches de marché (Menanteau, 2002).

Seuils minimums de performance (normes)

L'étiquetage présente toutefois certaines limites ; ainsi il n'empêche pas les appareils les moins performants de se maintenir sur le marché et les consommateurs de continuer à les acheter. Pour cette raison, des programmes imposant des seuils de performances énergétiques minimum aux équipements électroménagers sont généralement associés aux programmes d'étiquetage.

En Europe, les normes de performance ont été imposées sur les équipements de froid domestique à partir de 1999. Seuls les appareils appartenant aux classes d'efficacité énergétique A, B et C étaient autorisés à la vente au-delà de cette date. L'objectif visé devait

permettre de réaliser une amélioration de 10 à 15% de l'efficacité énergétique moyenne pour les appareils neufs.

Les normes de performance agissent ainsi de façon complémentaire à l'étiquetage en assurant la disparition d'équipements peu performants dont les ventes ont déjà commencé à régresser du fait de l'étiquetage. Les normes seules ne présentent pas la même efficacité car les fabricants se contentent alors de positionner leurs produits au-delà du seuil minimum autorisé sans faire d'efforts d'innovation supplémentaires. Avec l'étiquetage, les fabricants qui le souhaitent ont la possibilité de différencier leurs produits de ceux des concurrents. La recherche de la différenciation stimule donc une dynamique d'innovation qui permettra par la suite de renforcer les normes existantes.

Les accords volontaires ou négociés

L'inconvénient principal des seuils minimums de performance est qu'ils rencontrent généralement une certaine hostilité auprès des milieux industriels et que leur efficacité peut être limitée par des délais importants ou des difficultés de mise en oeuvre.

Les accords négociés entre les industriels et les pouvoirs publics peuvent alors constituer une alternative à une démarche réglementaire jugée trop contraignante. Reflétant la position de certains Etats membres et d'une grande majorité d'industriels, la Commission Européenne montre aujourd'hui un intérêt croissant pour ce type d'accords[2].

Les accords négociés présentent des similitudes importantes avec les seuils minimums de performance : ils prévoient notamment l'élimination progressive des modèles les moins performants. En première analyse, ils ne présentent donc pas d'intérêt particulier pour les industriels par rapport une la démarche réglementaire. En pratique, la négociation introduit toutefois des éléments de flexibilité qui font, pour les industriels, toute la différence. Ainsi, ils ont été autorisés à procéder par étapes dans le cadre des accords négociés sur les machines à laver : élimination rapide des modèles peu performants sur les marchés du nord de l'Europe plus réceptifs sur la question de l'efficacité énergétique et plus progressive sur les marchés du sud où ces modèles occupaient encore des parts de marché significatives. Les accords négociés introduisent donc une certaine flexibilité en différentiant les objectifs assignés aux entreprises selon les marchés, là où une réglementation s'appliquerait de manière identique dans tous les Etats membres avec d'éventuelles conséquences négatives sur certains marchés.

Plus aisées à mettre en oeuvre parce que plus souples et plus flexibles, les accords négociés sont une alternative intéressante à la réglementation, mais sous certaines conditions. La principale concerne l'additionnalité des engagements souscrits par les industriels ; si les objectifs négociés peuvent être atteints sans efforts supplémentaires, dans le cadre d'une démarche de type "business as usual", ils ne présenteront aucune efficacité environnementale. Pour que les accords soient efficaces, des objectifs contraignants doivent pouvoir être imposés par les pouvoirs publics. La perspective d'une future réglementation, si elle constitue une menace réellement crédible, est un moyen pour la puissance publique de disposer d'un réel pouvoir de négociation et de définir des objectifs efficaces sur le plan environnemental.

[2] Des accords ont notamment été signés avec les fabricants de téléviseurs et magnétoscopes, d'une part, et les fabricants de machines à laver, de l'autre, qui visent à l'amélioration des performances énergétiques de ces équipements.

Intérêt pour les pays en développement

De nombreux pays en développement ont mis en place des programme d'étiquetage ou de normes, et notamment, la Corée (1992), la Chine (1989), les Philippines (1993), la Thaïlande (1995), Hong Kong (1995), le Brésil (1986), le Mexique (1995) et l'Iran (1998). L'intérêt de l'étiquetage et des normes y est potentiellement très important car les performances des appareils électroménagers y sont généralement inférieures à celles d'appareils équivalents dans les pays industrialisés. Les réfrigérateurs chinois consomment ainsi en moyenne 2,5 kWh/an/litre contre 1,5 kWh/an/litre pour les réfrigérateurs européens, soit un écart de 250 kWh/an pour un modèle de 250 litres.

L'impact d'un programme d'étiquetage peut être plus limité dans un pays en développement où l'offre d'équipement est généralement moins diversifiée et la contrainte d'investissement plus forte. Les réactions des consommateurs à un même stimulus peuvent aussi être très différentes selon les cultures propres à chaque pays, la structure de l'offre proposée, les critères de choix prioritaires (prix, marque, fonctionnalité), etc. Plusieurs pays en développement ont cependant adapté avec succès des programmes d'étiquetage mis en œuvre initialement dans des pays industrialisés (l'Iran et le Brésil notamment ont repris le schéma européen d'étiquetage).

Conclusion

L'expérience internationale récente montre que certaines politiques et mesures contribuent à l'amélioration de l'efficacité énergétique des équipements électroménagers. Différentes modalités de mise en œuvre sont envisageables mais l'étiquetage comparatif associé à des seuils minimums de performance reste la démarche la plus efficace. Plusieurs pays en développement ont adopté l'étiquetage énergétique et / ou les seuils minimums de performances pour les réfrigérateurs et les climatiseurs d'air, fortement énergivores. La généralisation de cette démarche aux pays voisins situés dans le même espace économique pourrait se justifier pour éviter que les équipements peu performants ne se retrouvent automatiquement sur les marchés des pays n'ayant pas encore adopté de législation comparable.

Bibliographie

Menanteau P., L'étiquetage énergétique pour les appareils électroménagers, Fiche technique Prisme, encartée dans la revue *Liaison Energie Francophone*, Institut de l'Energie et de l'Environnement de la Francophonie, janv. 2002

Menanteau P. 2005, "Efficiency standards versus negotiated agreement in the electrical appliance sector", in *The Handbook of Environmental Voluntary Agreements*, Publisher: Kluwer Academic Publisher Environmental and Policy Series, Editor: Edoardo Croci.

Lin, 2002, "Appliances efficiency standards and labelling programs in China", *Annual Review of Energy and Environment*, vol 27.

Lin, J., *Made for China: Energy efficiency standards and labels for households appliances*, LBNL, China Energy Group, *Sinosphere*, Nov. 2002.

OECD/IEA, 2003, Cool Appliances: policy strategies for energy efficient homes, Paris.

CEC (Commission of the European Communities), COLD II, The revision of energy labelling and minimum energy efficiency standards for domestic refrigeration appliances, contract DG-TREN SAVE, 2000.

Waide, P., 2004, Fedarene workshop "Energy Labels, a tool for energy agencies".

Société de gares frigorifiques et ports francs de Genève

Pierre-Alain Frossard
SGF - Société de gares frigorifiques et ports francs de Genève SA
pierre-alain.frossard@sgflog.com

Présentation de la SGF

Bussigny 55'000 m^3

Satigny 22'000 m^3

Evolution entre 1927-2006

•SATIGNY 1992

•BUSSIGNY 1975-1985-2003

☺ Stockage - 20°C 14'400 pp

☺ Préparation cmd 6'000 m²

☺ Frigos frais +2°C 1'400 m²

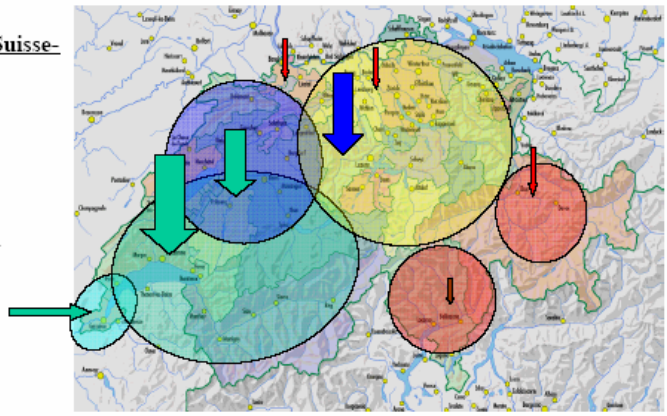
☺ Ensembles routiers 20 + 30 u.

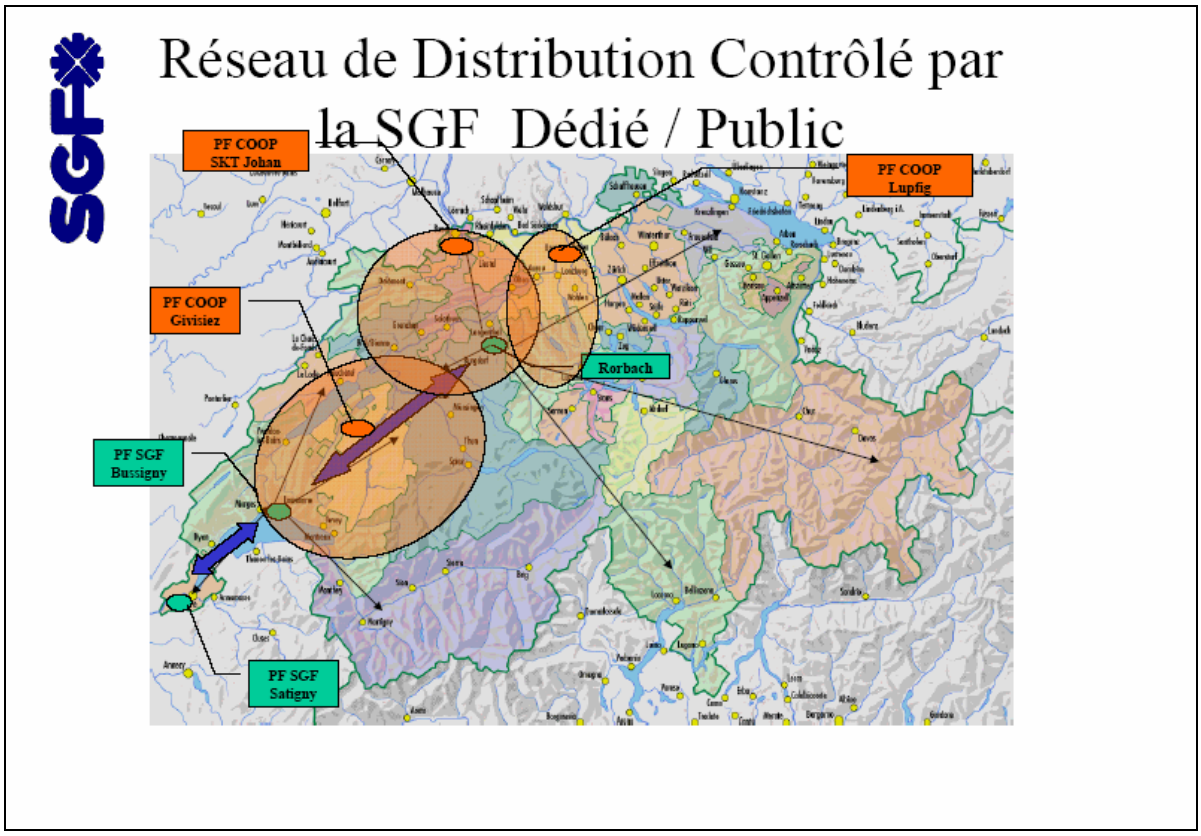
☺ Collaborateurs 52 p.

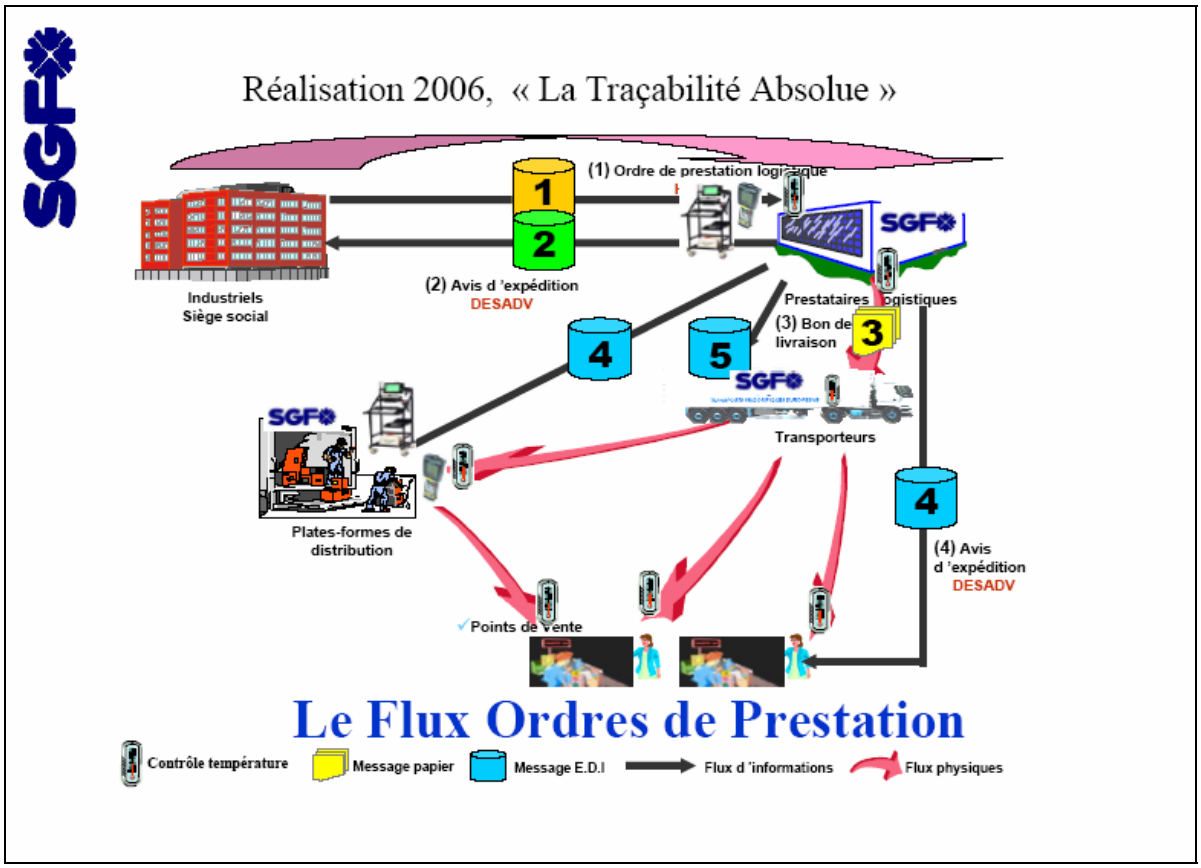
Positionnement Géographique des Plate-formes de Distribution

Bussigny = Coeur de la Suisse-romande

- **Une heure de Genève**
- **Une heure de Fribourg**
- **Une heure de Sion**
- **Une heure de Neuchâtel**
- **90 minutes de Berne**




Réseau de Distribution Contrôlé par la SGF Dédié / Public
PF COOP SKT Johan
PF COOP Lupfig
PF COOP Givisiez
Rorbach
PF SGF Bussigny
PF SGF Satigny


Réalisation 2006, « La Traçabilité Absolue »
(1) Ordre de prestation logistique
(2) Avis d 'expédition
DESADV
Industriels
Siège social
Prestataires logistiques
(3) Bon de livraison
Transporteurs
Plates-formes de distribution
(4) Avis d 'expédition
DESADV
Points de vente
Le Flux Ordres de Prestation
Contrôle température
Message papier
Message E.D.I
Flux d 'informations
Flux physiques

Faits et Chiffres

150'000 palettes manutentionnées par an

6,5 millions de colis distribués /an ou 130'000 livraisons /an

1'000'000 cartons préparés à l'année

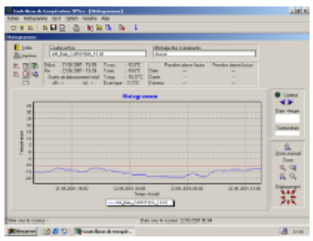
Q – Management

Management certifié selon la norme Iso 9001 depuis 1996

Système de Management Certifié SQS ISO 9001:2000

Camions multi - températures

Surveillance constante des températures en distribution



Processus de livraison contrôlés (colis, température horaires)

SGF

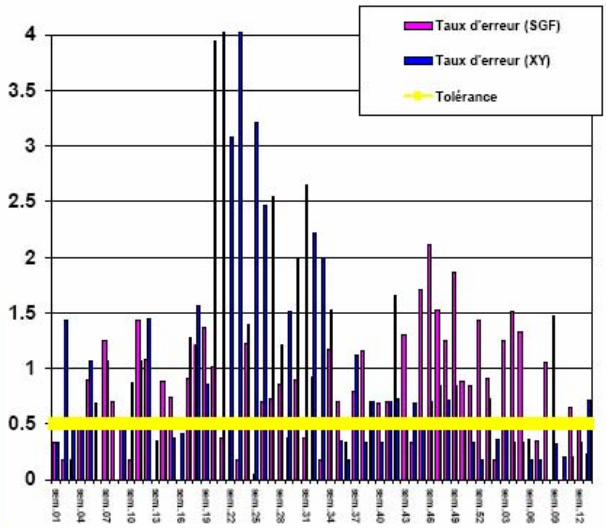
Amélioration constante de la qualité des prestations logistiques

Réclamations du 25/03/06 au 31/03/06

Nombre de livraisons:	417
Nombre de colis:	5866
Non-conf. SGF/Liv:	1 / 417
Réclamation XY/Liv:	3 / 417
%Non-conformité SGF:	**0.23 %**
% Non-conformité XY:	**0.71 %**

Limite qualitative: 0,5%

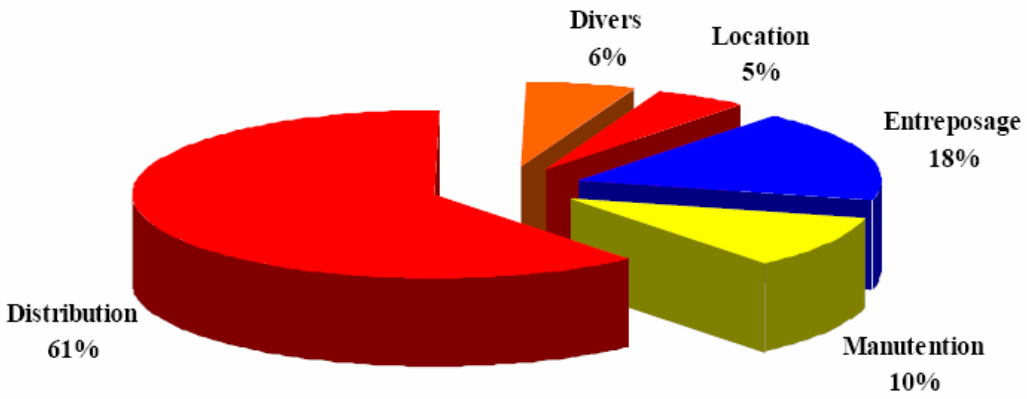
- **Arrivages**
- **Qualité extérieur des produits**
- **Exactitude de la préparation**
- **Respect du plan de distribution**
- **Horaires si définis**
- **Températures de la chaîne logistique**
- **Respect des directives AQ**



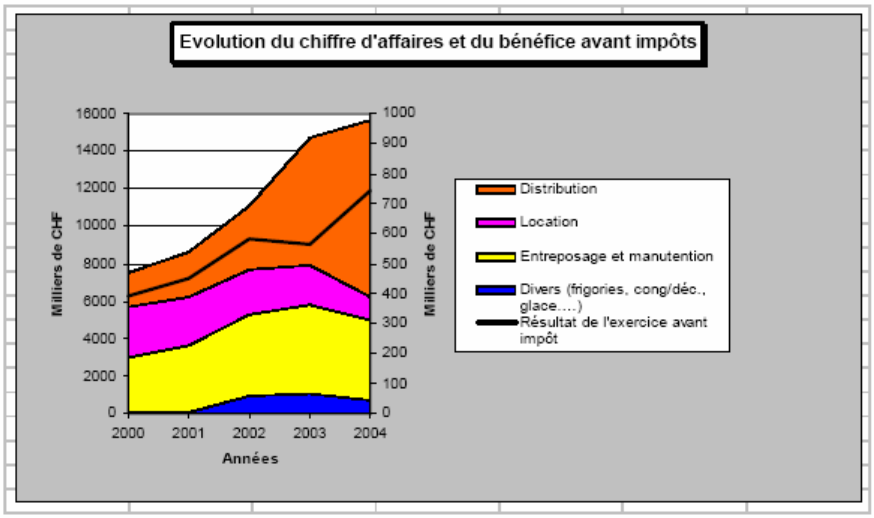
05.04.2006 8

SGF

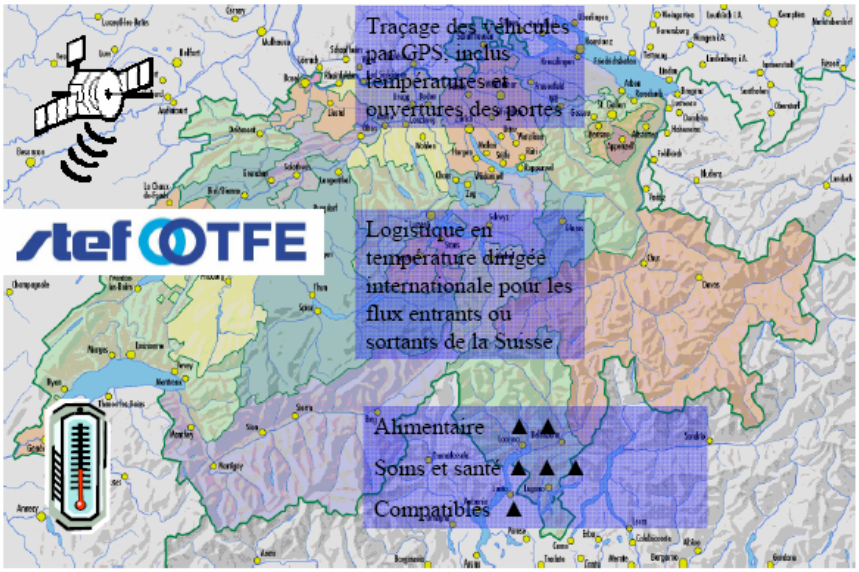
Stucture du chiffre d'affaires



Développement de la rentabilité



Projets 2006-2010



Références

La modélisation des procédés frigorifiques: un défi de maîtrise de la qualité et de la sûreté des produits alimentaires

Graciela Alvarez
Cemagref
Unité de recherche en génie des procédés frigorifiques GPAN
Antony / Paris
graciela.alvarez@cemagref.fr

Au cours des procédés de transformation et/ou de conservation des produits alimentaires, on rencontre entre autres, des opérations unitaires telles que le refroidissement, la congélation et la brumisation. Elles sont effectuées dans le but de stabiliser, de conserver ou de conférer une qualité technologique, nutritionnelle et sanitaire aux aliments solides ou liquides. Cette qualité dépend de l'histoire temps-température-cisaillement au cours du procédé de transformation et /ou de conservation. Cette histoire est intimement liée aux phénomènes de transport de quantité de mouvement, d'énergie et de matière par convection et par diffusion qui sont presque toujours couplés.

Deux problèmes scientifiques et industriels auxquels la modélisation peut apporter des réponses :

1. Le Couplage Ecoulements Transferts au sein de milieux macro-poreux alimentaire, où la *transformation est une conséquence* qui ne modifie pas les écoulements et les transferts
2. Le Couplage Ecoulement et transfert et transformation lors du traitement thermique en continu des produits liquides ou pâteux à transition de phase où *la transformation est une cause* qui génère des modifications importantes des écoulements et des transferts.

Pour résoudre ces problèmes il est nécessaire mettre au point des méthodologies basées sur *l'expérimentation* (à l 'échelle laboratoire, sur des pilotes ou sur des maquettes, et à l'échelle industrielle) et la *modélisation et la simulation numérique*.

Nous confrontons ainsi les résultats obtenus *expérimentalement : mise au point des prototypes et métrologie* (vitesse, turbulence, débit, pression température, flux de chaleur, humidité, comportement à l'écoulement, granulométrie) et ceux obtenus par *modélisation des phénomènes* (transferts convectifs, écoulement turbulent en milieu poreux, refroidissement, gélatinisation), résolution numérique au moyen des codes existants (Fluent) et en développant nos propres codes de calcul, lorsque les codes existants ne peuvent résoudre nos cas.

Les opérations unitaires de transformation des aliments solides telles que la cuisson, le fumage, l'affinage, le refroidissement, la congélation, sont effectuées sur des *ensembles alimentaires* où les produits alimentaires sont conditionnés dans des cagettes, des cartons, des rolls etc.

Ces unités de conditionnement ont des avantages logistiques indéniables, néanmoins ils posent des *problèmes industriels* conséquents. Le principal problème posé par ce type d'arrangement est *l'hétérogénéité des traitements thermiques* du fait de leur configuration géométrique et de la présence, dans la plupart de cas, d'emballages qui génèrent des phénomènes aérauliques et thermiques complexes.

En effet certains produits seront trop chauffés, refroidis ou humidifiés, alors que d'autres le seront insuffisamment. Il s'en suit que la qualité et la sécurité des produits alimentaires, qui sont une conséquence directe des transferts de chaleur et de matière, sont également hétérogènes. Les pertes de produits et les risques sanitaires qui en résultent de cette hétérogénéité peuvent être très importants, or industriellement la conception ainsi que la conduite des procédés traitant des ensembles alimentaires sont basées sur une connaissance empirique des procédés.

L'objectif *scientifique* sur cette thématique est, d'une part, de mettre au point des méthodologies expérimentales permettant de caractériser l'hétérogénéité des transferts thermiques et, d'autre part, d'établir des modèles permettant de prédire les écoulements et les transferts dans des ensembles alimentaires prenant en compte les différents aspects trouvés industriellement (écoulement turbulent en présence de nombreux obstacles, des parois ajourées, avec des géométries qui ne sont pas simples).

L'hétérogénéité de traitements thermiques est due à deux principales raisons: Le réchauffement d'air lors de son passage a travers les produits et aussi à une hétérogénéité des coefficients de transfert. Ce phénomène est généré par la présence de champs de vitesse et de turbulence qui sont très hétérogènes au sein de l'empilement (Alvarez & Flick 1999). Cette référence présente une cartographie de coefficients de transfert, à l'intérieur d'un ensemble alimentaire. Les différences de coefficient de transfert vont du simple au double en deux points de l'empilement.

Pour prendre ne compte cet effet, des corrélations empiriques entre le nombre de Nusselt et le nombre de Reynolds peuvent être utilisées.

Pour répondre à cette problématique nous devons trouver des réponses à des questions scientifiques suivantes: Quelle est l'interaction aérodynamique et thermique entre les produits dans un ensemble alimentaire? Quelle sont les méthodologies expérimentales pour la caractérisation de l'intensité des transferts? Quel est le rôle de l'emballage dans les hétérogénéités de transferts? Quelle est la modélisation la plus adaptée?

Quelle est l'interaction aérodynamique et thermique entre les produits dans un ensemble alimentaire?

Lorsque des objets, soumis à un écoulement, sont rapprochés les uns des autres il se produit des phénomènes aérodynamiques complexes : le blocage de couche limite, l'attachement de couche limite de type « Coanda » ; le développement et la formation des sillages perturbés par les objets en aval.

Le blocage induit par la paroi, d'une part, par l'augmentation de la vitesse liée à la présence de l'objet lui-même, appelé blocage de solide (plusieurs relations ont été publiées pour corriger la vitesse en tenant compte du taux de blocage) et, d'autre part, par des modifications sur le décollement de la couche limite appelées blocage de décollement. Ces modifications conduisent notamment à la coalescence de couches limites cet effet « Coanda ». Entre deux objets, le jet formé s'attache aléatoirement à l'un des deux objets.

Quelle sont les méthodologies expérimentales pour la caractérisation de l'intensité des transferts?

Nous pouvons concevoir des maquettes expérimentales "idéales" où l on peut analyser séparément les effets. Nous pouvons aussi mettre au point des montages qui se rapprochement plus d'un cas industriel, c'est le cas de cette maquette de yoghourt, constituée de cylindres en PVC, instrumentée avec des sondes en aluminium permettant d'effectuer la mesure du coefficient de transfert par la méthode stationnaire (CARNIOL N., KONDJOYAN A., DAUDIN J.D., ALVAREZ G., BIMBENET J.J. (2000)).

Dans ce type de maquette on peut étudier également étudier le taux d'ouverture des emballages. Un exemple typique est le cas d'une palette des produits agricoles.

Encore plus près d'un cas industriel, on peut imaginer d'utiliser une maquette à l'échelle 1. Elle est remplie de billes en plastiques en, représentant d'un point de vue aérodynamique, l'encombrement des produits tels que des pommes, et des oranges

Pour illustrer la démarche que nous avons adoptée pour la caractérisation expérimentale du couplage entre écoulements et transferts dans des ensembles industriels, nous allons utiliser l'exemple sur le refroidissement de fruits conditionnés en palette sur lequel nous avons également travaillé (Alvarez G. 1992, Alvarez G. Flick D 1999a). La démarche présentée reste néanmoins valable pour n'importe quel autre ensemble alimentaire et en particulier pour une palette de yaourts.

Au centre de la maquette, des zones de mesure ont été aménagées pour pouvoir y effectuer des mesures du champ de vitesses et d'intensités de turbulence. Nous avons utilisé un anémomètre à fil chaud monodirectionnel monté sur un système de déplacement manuel bidimensionnel.

Une étude systématique a été effectuée pour obtenir les champs de vitesse et de turbulence à trois profondeurs : juste après la grille qui constitue la paroi ajourée de l'emballage, au niveau de la troisième rangée et de la cinquième rangée ; ceci pour plusieurs vitesses débitantes. Ce travail a fait l'objet d'une publication (Alvarez G. & Flick D. 1999a).

Les cartographies de vitesse et d'intensité de la turbulence montrent des hétérogénéités très importantes. Les zones où la vitesse est très importante correspondent à des interstices entre les sphères situées en amont. Parallèlement nous observons la présence des zones où l'intensité de la turbulence est très importante correspondant à des zones de sillages. Le comportement semble le même pour quelle que soit la vitesse débitante. [1].

Quel est le rôle de l'emballage dans les hétérogénéités de transferts?

Le rôle de l'emballage est présenté par des mesures effectuées juste derrière la paroi perforée simulant la présence de l'emballage. Les profils de vitesse et de turbulence ont été mesurés au niveau d'une fente correspondant à l'ajourage de l'emballage; une mesure a été effectuée tous les millimètres. Nous pouvons constater que quelque soit la vitesse amont, chaque fente génère un « jet » dont la vitesse maximale correspond à environ 11 fois la vitesse débitante.

Les profils de turbulence sont inversés à ceux de la vitesse : au centre de la fente, la turbulence est plus faible, mais derrière la zone non ajourée nous avons des taux de turbulence très importants. En résumé la grille d'emballage joue deux rôles : d'une part, elle

accélère l'écoulement et expose la première rangée de produits à une batterie de jets, d'autre part, elle agit comme une grille génératrice de turbulence.

Une caractérisation des coefficients de transfert selon la position dans l'ensemble peut être effectuée en parallèle aux mesures aérodynamiques. Nous avons utilisé la méthode dite non-stationnaire précédemment décrite pour mesurer le coefficient de transfert thermique.

Nous présentons les principaux résultats de la caractérisation thermique sous la forme de distribution de coefficients de transfert locaux normés par la valeur moyenne de l'ensemble. Une forte hétérogénéité de transferts thermiques a été constatée ainsi que l'apparition de deux points critiques, le point le plus froid (PPF) où le coefficient de transfert est le plus fort et le point le plus chaud où le coefficient de transfert est le plus faible (PPC) [1].

Quelle est la modélisation la plus adaptée?

Pour aborder des nouvelles géométries et des nouveaux emballages nous devons modéliser les écoulements et les transferts au sein et autour des empilements. Nous devons dire qu'un ensemble de produits alimentaires est un «type particulier » de milieux poreux que nous appelons milieu macroporeux.

Ce qui caractérise ce type de milieu poreux est, d'une part la dimension caractéristique des objets est de l'ordre de quelques centimètres. Le rapport entre le diamètre du conteneur et le diamètre de la particule est inférieur à 10 et les zones d'entrée et de sortie ne peuvent pas être négligées.

Nous savons que l'écoulement généré à l'intérieur de l'empilement pendant le refroidissement en convection naturelle est turbulent. Le Reynolds, basé sur le diamètre des pores et la vitesse interstitielle est donc supérieure à 3000, ce qui confirme l'écoulement turbulent.

Nous savons que la turbulence a une influence très importante sur le transfert thermique d'ailleurs très peu de travaux dans la littérature traitent du transport de l'énergie turbulente à l'intérieur du milieu macroporeux (Nakayama & Kuwahara (1999)). Il existe très peu de modèles adaptés au milieu macroporeux; les travaux d'Alvarez et al (2003), présentent le *modèle d'écoulement turbulent en milieu macroporeux*.

Ce modèle est constitué d'un ensemble de 5 équations qui sont résolues de la manière suivante: Les champs de pression et de vitesses sont déterminés par la en utilisant l'équation de continuité et l'équation de quantité de mouvement Darcy Forchheimer qui est utilisée classiquement dans en milieux poreux.

Nous avons une équation originale de transport d'énergie cinétique turbulente, qui comporte un terme de production d'énergie cinétique turbulente et un terme de dissipation de l'énergie cinétique turbulente

Dans ce modèle semi empirique, un certain nombre de paramètres doit être déterminé expérimentalement. Pour identifier des paramètres de l'énergie cinétique turbulente originale, par exemple nous mesurons expérimentalement l'énergie cinétique turbulente en fonction de la profondeur de l'empilement en conditions d'écoulement monodirectionnelles à vitesse constante.

Autres applications de la modélisation des écoulements et des transferts en milieu macroporeux

Notre approche de modélisation concerne différents équipements frigorifiques chambres froides, véhicules à température dirigée, meubles frigorifiques de vente et réfrigérateurs ménagers. A chaque étape plusieurs possibilités d'histoires temps température sont possibles en fonction des conditions limites auxquelles le produit est soumis. Pour avoir une image représentative du devenir des produits, il faut prendre en compte les différentes combinaisons probables des circuits de distribution et de considérer la position du produit dans l'ensemble alimentaire, puisque elle agit très fortement sur l'intensité des transferts thermiques.

Cas du réfrigérateur ménager

Dans certains traitements frigorifiques appliqués aux ensembles alimentaires les échanges se font par la convection naturelle. Dans ces conditions les vitesses et les flux échangés sont faibles et on s'attend à ce que les échanges par conduction ou par rayonnement soient du même ordre de grandeur que ceux par convection. Ces échanges jouent un rôle important dans le maintien de la température des produits dans la chaîne du froid. C'est le cas notamment des empilements de produits dans un réfrigérateur ménager ou d'une palette en attente sur un quai ou dans une chambre froide.

Pour résoudre le problème de la convection naturelle dans des ensembles alimentaires nous pouvons utiliser les méthodologies ainsi que la modélisation mis au point dans le cas de la convection forcée. Bien entendu il faut adapter la modélisation et les méthodes de mesure au cas de la convection naturelle.

Le modèle d'écoulement en milieu macroporeux que nous avons présenté précédemment, a été adapté pour inclure les équations et les phénomènes décrivant l'écoulement d'air et les transferts thermiques en convection naturelle dans un milieu macroporeux. Il tient compte, en plus de la convection entre l'air et les objets, de la conduction au sein et entre deux objets qui se touchent et du phénomène de rayonnement. L'identification des paramètres du modèle a été s'effectuée par expérimentation au laboratoire pour un écoulement unidirectionnel à faible vitesse d'air ($v < 0.30$ m/s) à travers un empilement régulier d'objets inertes thermiquement.

Cas des véhicules à température dirigée

Des synergies fortes entre les diverses compétences en modélisation doivent permettre de résoudre de nouveaux problèmes technologiques. Le problème industriel de l'aéraulique dans les véhicules frigorifiques chargés de palettes ajourées (perméables à l'écoulement) est un exemple.

Dans ces véhicules de l'air froid est injecté au niveau du plafond à l'avant du véhicule en formant un jet pariétal, ce jet diffuse de façon très hétérogène, avant de rejoindre la reprise (aspiration).

Sur le plan aéraulique, les phénomènes sont complexes car il s'agit de considérer :

- Des écoulements turbulents autour des palettes, ces écoulements sont gouvernés par les mécanismes aérodynamiques de diffusion d'un « jet pariétal confiné ».
- Des écoulements laminaires dans les espaces entre les palettes
- Des écoulements localement turbulents au sein des palettes (milieu macroporeux)

Nous devons étudier, d'une part, la stabilité aérodynamique des jets, la localisation et l'importance des passages préférentiels et d'autre part, les écoulements au sein de palettes « milieu macroporeux ». Pour résoudre ce type problème, il est donc intéressant de coupler deux types de modèles et deux méthodologies expérimentales.

L'enjeu scientifique de cette thématique, se situe dans la caractérisation des « lois d'interfaçage » entre les deux types d'écoulement (écoulement libre et en milieu poreux). Qui intervient dans un grand nombre de cas rencontrés industriellement ou finalités industrielles (véhicules avec palettes ajourées, tunnel de refroidissement, chambres froides, etc.).

Nous pouvons caractériser ce type d'écoulement sur une maquette à l'échelle 1/3 d'un véhicule frigorifique. Des expérimentations systématiques peuvent être réalisées dans cette maquette remplie d'obstacles perméables à l'air qui simulent des palettes ajourés remplies des fruits, (milieu macroporeux). L'objectif est de comprendre, maîtriser et prédire les écoulements et les transferts en étudiant l'influence de nombreux paramètres (porosité des empilements de produits, l'ajourage des palettes, palettisation, conditions de soufflage) sur l'homogénéité de la ventilation et la dispersion de température dans un chargement de fruits et légumes. L'étude de la variabilité des traitements frigorifiques appliqués aux ensembles alimentaires et l'intégration des cinétiques de transformation sera la prochaine étape de ce travail.

Une approche intégrée, la chaine du froid

Nos modèles sont capables de prédire les points critiques d'un empilement : le point le plus froid (PPF) et le point le plus chaud (PPC) d'un ensemble. Cependant, les transformations subies par un ensemble alimentaire, ne s'arrêtent pas uniquement à l'atelier de fabrication. En effet les ensembles alimentaires vont subir une histoire temps-température (fluctuations en température) tout le long des circuits logistiques depuis la fabrication jusqu'au consommateur. La maîtrise des écoulements et des transferts permettant le maintien de températures réglementaires, conditionne donc l'histoire des transformations de la qualité et de la sécurité finale obtenue par le consommateur.

Nous pouvons facilement comprendre, que pour rendre compte des répercussions du couplage écoulements et transferts sur les transformations liées à la sécurité alimentaire, il faut introduire des modèles de croissance de microorganismes pathogènes, par exemple les modèles développés dans le cadre de la microbiologie prévisionnelle. Nous considérons en plus qu'il est indispensable d'effectuer une approche stochastique des conditions aux limites autour des produits. Pour cela, des rapprochements importants commencent à se faire avec des laboratoires spécialisés dans la sécurité alimentaire (AFSSA) et l'équipe « Risque Alimentaire » (INRA-INAPG) qui développe des approches d'estimation des risques et la propagation des incertitudes des données faiblement structurées.

Une approche combinée de modèles physiques (écoulements et transferts), microbiologiques (transformation) et statistiques devrait permettre la prise en compte de risques liés au maintien de la température des produits dans les différents maillons de la chaîne du froid.

Notre objectif est de mieux comprendre le couplage écoulement-transferts et d'intégrer les cinétiques de transformations qui sont : soit une conséquence sans effet rétroactif sur les écoulements et transferts, soit couplées aux écoulements et transferts. Ces transformations peuvent être de nature diverse : chimique, biochimique ou biologique et peuvent modifier de manière importante les propriétés physiques (ou propriétés de transport), organoleptiques et sanitaires. Quelques exemples sont : la cristallisation (de l'eau ou des matières grasses), la

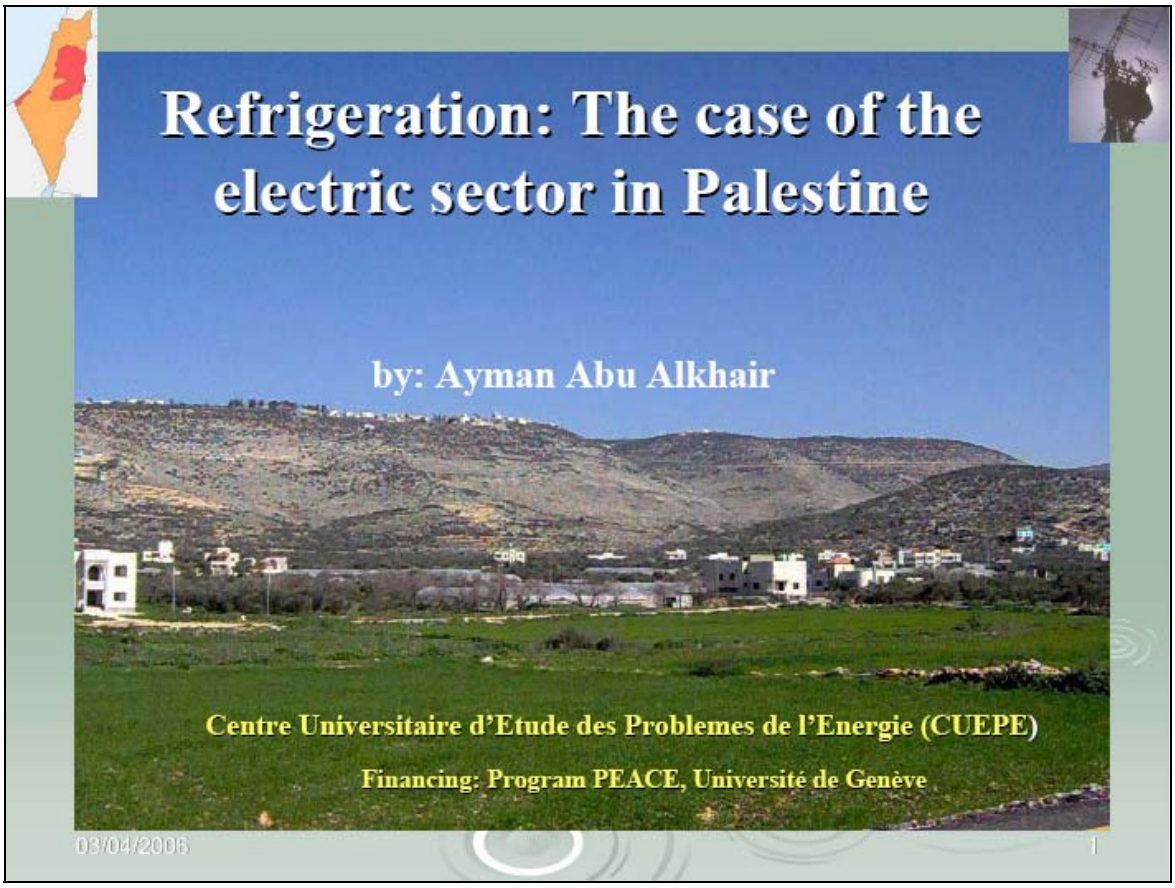
formation ou la destruction de structures, le gonflement des suspensions (gélatinisation), la gélification et la croissance de microorganismes. Toutes ces transformations ont lieu industriellement en présence de forts gradients thermiques et de cisaillement. Une approche multidisciplinaire est nécessaire et nos projets devront s'effectuer en étroite collaboration avec des spécialistes en microbiologie, biochimie, physico-chimie. Des collaborations sont déjà bien engagées avec des laboratoires spécialisés.

Bibliographie

1. ALVAREZ G., TRYSTRAM G., 1995. Description d'une nouvelle stratégie pour le contrôle du procédé de réfrigération : fruits et légumes conditionnés en palette. *Food Control*, vol.6. p.347-355
2. ALVAREZ G., FLICK D., 1999a. Analysis of heterogeneous cooling of agricultural products inside bins. Part I : Aerodynamical Study. *Journal of food engineering,* vol 39. p.227-237.
3. ALVAREZ G., FLICK D., 1999b. Analysis of heterogeneous cooling of agricultural products inside bins. Part II : Thermal Study. *Journal of food engineering*, vol 39. p.239-245.
4. CARNIOL N., KONDJOYAN A., DAUDIN J.D., ALVAREZ G., BIMBENET J.J. (2000). Valeur et répartition des coefficients de transfert dans un ensemble de cylindres de hauteur réduite soumis à un écoulement d'air turbulent. *Entropie* n° 227, 43-52.
5. FLICK D., LESLOUS A., ALVAREZ G., (2003) Modélisation semi-empirique des écoulements et des transferts dans un milieu poreux en écoulement turbulent. *International Journal of Refrigeration*. 26(3) 349-359.
6. ALVAREZ G., FLICK D. (2003) «Two dimensional turbulent flow and heat transfer in macroporous media . *International Journal of Heat and mass Transfer* 46 2459-2469.

Refrigeration : the case of the electric sector in Palestine

Ayman Abu Alkhair
Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie (CUEPE)
Université de Genève
khair221@yahoo.com



Why Refrigeration?

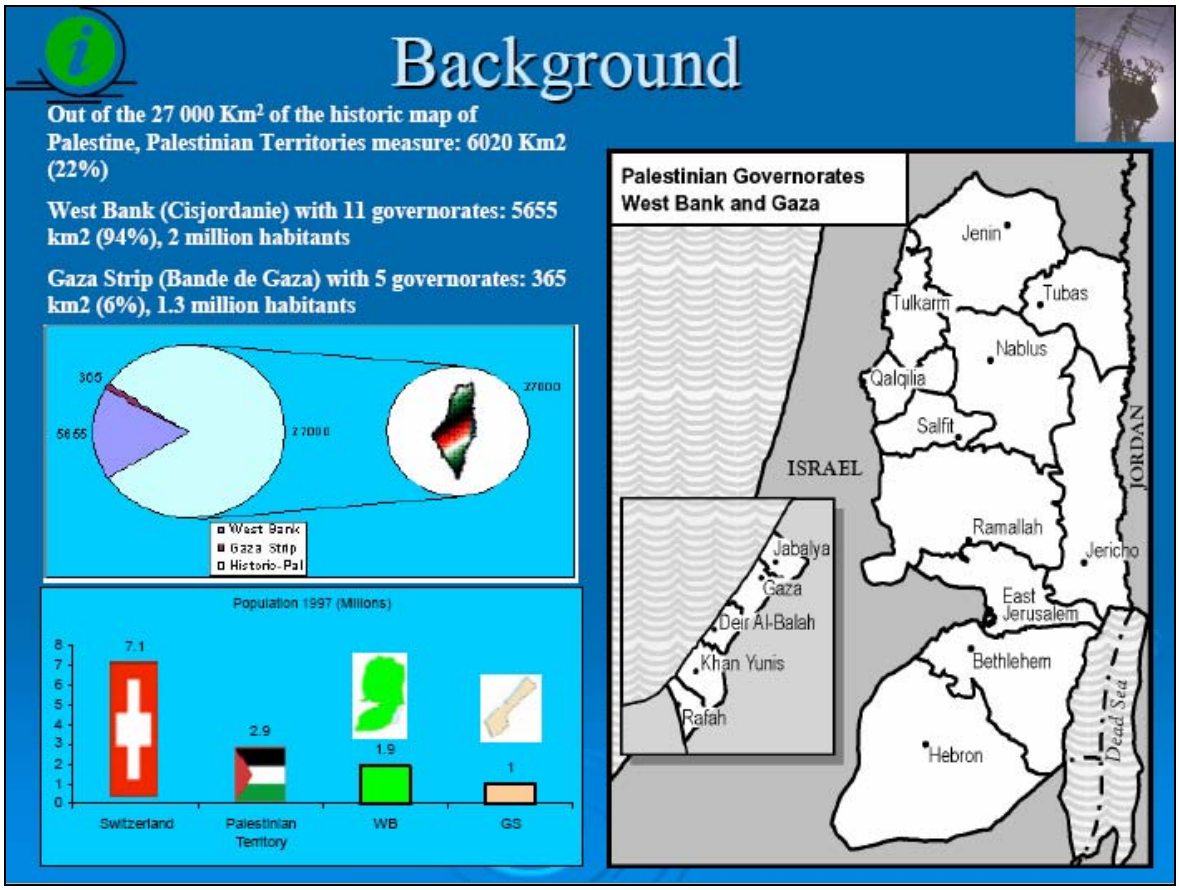
- If vaccine is damaged by excessive heat or excessive cold, the damage can't be made good and children's lives are put in danger (World Health Organisation) (WHO, OMS).
- The World Health Organization estimates that over **five million** children die each year from diseases that can be prevented by immunization.

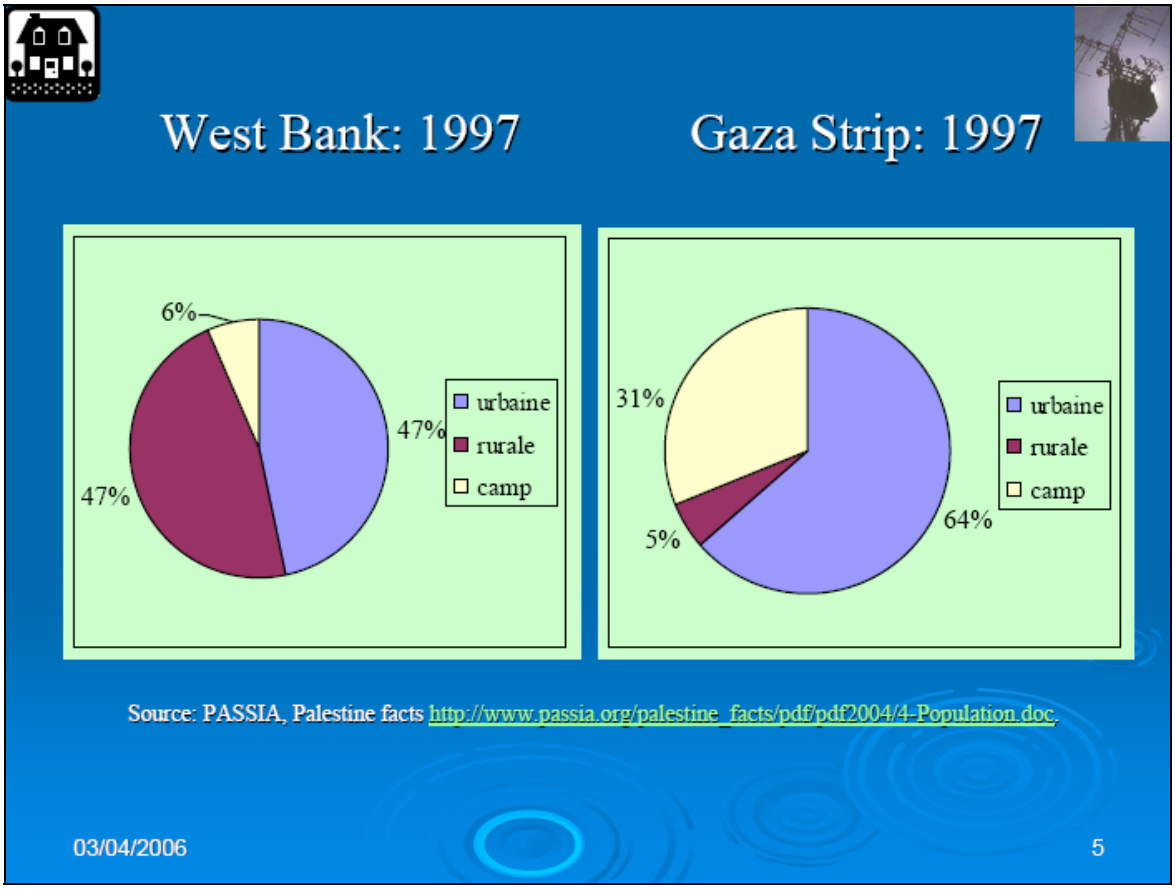
04/04/2006 2

General context

- The partition plan of the UN, adopted by the general assembly resolution (181) in 1947, warrants an equal right of access for both States (Arab and Jewish) and for the City of Jerusalem, on a non-discriminatory basis, to water and power facilities.
- Any destruction by the Occupying Power of real or personal property belonging, individually or collectively, to private persons; or to the State; or to other public authorities; or to social or cooperative organizations; is prohibited (The 4th Geneva convention, art. 53).

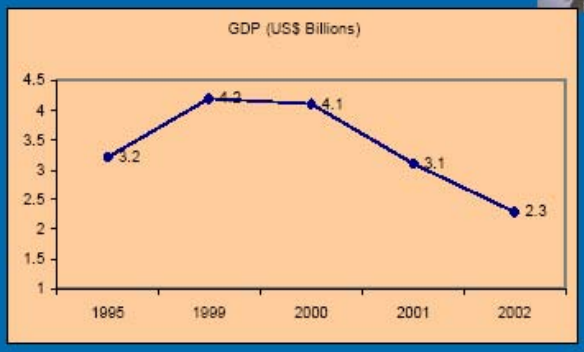
03/04/2006 3


Background
Out of the 27 000 Km² of the historic map of Palestine, Palestinian Territories measure: 6020 Km2 (22%)
West Bank (Cisjordanie) with 11 governorates: 5655 km2 (94%), 2 million habitants
Gaza Strip (Bande de Gaza) with 5 governorates: 365 km2 (6%), 1.3 million habitants
365
5655
27000
27000
West Bank
Gaza Strip
Historic-Pal
Population 1997 (Millions)
7.1
2.9
1.9
1
Switzerland
Palestinian Territory
WB
GS
Palestinian Governorates West Bank and Gaza
Jenin
Tubas
Tulkarm
Nablus
Qalqilia
Salfit
ISRAEL
JORDAN
Ramallah
Jericho
East Jerusalem
Bethlehem
Hebron
Dead Sea
Jabalya
Gaza
Deir Al-Balah
Khan Yunis
Rafah


West Bank: 1997
Gaza Strip: 1997
6%
47%
47%
urbaine
rurale
camp
31%
5%
64%
urbaine
rurale
camp
Source: PASSIA, Palestine facts http://www.passia.org/palestine_facts/pdf/pdf2004/4-Population.doc.
03/04/2006
5

Palestinian economy

- GDP ≈ $4 Billion (1999)
- 30% of the labour force work in services, against 15% in industry
- A very distorted economy (Ex. dependence upon one major trade partner, disappearance of small industries).
- High vulnerability to political shocks.

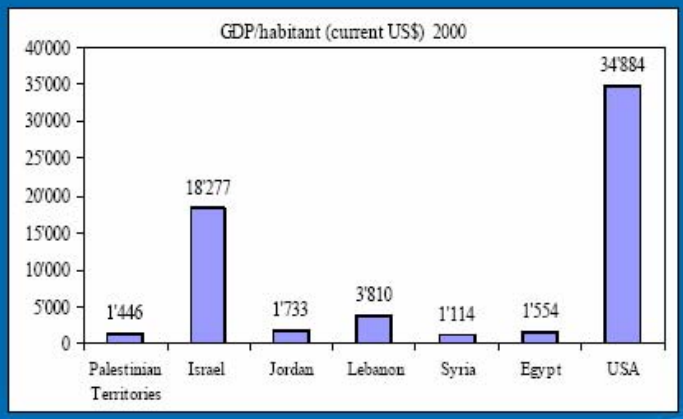


PCBS, National account statistics. www.pcbs.gov.ps.

03/04/2006 6

Palestinian economy

- GDP/habitant ≈ $1400 (1999)
- Against nearly 18 000/habitant in Israel (10 times superior).



Sources: PCBS, statistical abstract of Palestine no. "4", November, 2003 . www.pcbs.gov.ps. Central Bureau of Statistics of Israel. Statistical Abstract of Israel 2004. USA census depat. http://www.census.gov/. Dpt of commerce US, http://www.bea.gov/ , World Bank http://devdata.worldbank.org/. Middle east dierctor http://www.middleeastdirectory.com/.

03/04/2006 7

General energy situation

- Neglected infrastructure half a century.
- Electricity provided by IEC (monopole).
- Petroleum products monopolised by Paz Oil co. and Naphtha Israel Petroleum, (Therefore political weapon).

03/04/2006 8

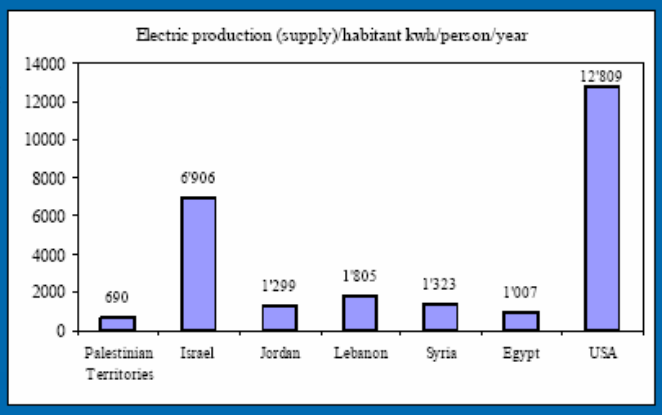
Energetic resources

- December 2000: British Gas (BG) successfully completed drilling a gas well offshore of Gaza.
- Possible reserves estimated at nearly 39.6 Billion m^3.
- BG has a 25-year contract to explore for gas and set up a gas network.
- Gaza power station and other industrial, transport and household consumption estimated at nearly 419 Million m^3/year.
- Solar insolation in Palestine has annual average of 5.4 kWh/m2. day.

03/04/2006 9

Electricity production and supply

- 690 kWh/person, 2000 supplied by IEC except for Palestine Elect. Co at Gaza with 140 MW production capacity.
- Against 6906 kWh/person in Israel (10 times as superior).
- And 1299 kWh/person in Jordan (twice as superior)



source: Eearth Trends http://earthtrends.wri.org/ and National Master http://www.nationmaster.com/, energy statistics. Solar med net http://www.solarmed.net/profile_palestinian.htm, ministry of energy and mineral resources, general indicators, http://www.memr.gov.jo/estatics/general%20inidcators.2.htm, Energy Information Administration, http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/egypt.html, World Energy http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/reports/current_cls/ClsELEC.asp

03/04/2006 10

Power Map

(Actual or planned projects)

- Power station
- Oil refineries
- Planned project for electric cooperation.
- Planned nuclear power station at horizon 2012.
- Wind farm (actual or planned)
- Solar farm (actual or planned)
- Gas well.

Map source: http://www.cia.gov/cia/publications/factbook/geos/is.html.

03/04/ 11

Electricity network

- West Bank
- Gaza Strip

Main IEC Feeders supply to West Bank Map source: (Data source: Palestinian Energy Centre, 1995). (Map source: Geography about Library, CIA).http://geography.about.com/library/cia/blcwestbank.htm

Palestinian Energy Research Centre - Jerusalem, Ministry of planning and International Cooperation Directorate General of Energy Planning, Electrical Energy Status in Gaza Strip, analytical study, Technical department – Electrical Branch, Gaza – January, 1995.
Map Source: http://www.mideastweb.org/mgaza.htm.

03/04/2006 12

Organisation of Electric sector in the Palestinian Territories

- Municipalities as distribution utilities.
- Collect the electric bill from the final consumers.
- Palestinian Energy Authority as regulator (in zones under their control).
- The Jerusalem District Electricity Company (JEDCO) in East Jerusalem and some Palestinian agglomerations around Jerusalem.
- After the Oslo agreement, three distribution companies contemplated:
- 1. Gaza Electric Utility (GEU) ,
- 2. South Electric Company (SELCO),
- 3. North Electricity Utility (NEU).
- The only significant production is in Gaza Strip after the establishment of the Gaza Power Plant with a capacity of 140 MW.

03/04/2006 13

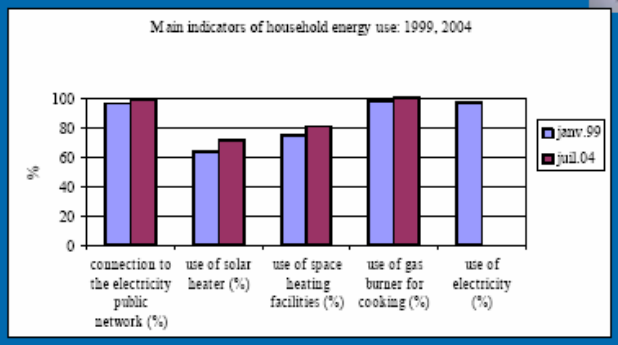
Israel energetic policy in the Palestinian Territories

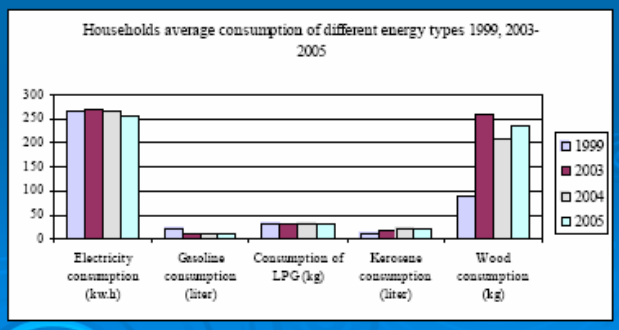
- Service priority given to the Israeli customer first, resulting in a low voltage at the end of feeder lines.
- The radial system of electric main feeders also leads to a low voltage at the end of the transmission lines. Causing electricity to be easily cut off in cases such as grid maintenance.
- IEC supply a limited amount of electrical energy for the Palestinian Territories. In order for the municipalities to increase their electric demand, they have to pay a lot of extra money as fees to the IEC. Otherwise, people who need such a demand increase have to finance such need.
- The generation and transmission costs are very high, while it may be less expensive through a national production.

03/04/2006 14

Socio-economic aspects

- **Water heating (LPG, Electricity)**
- **Lighting (Electricity)**
- **Heating (Gas, kerosene, wood, electricity)**
- **Air conditioning (Electricity)**
- **Cooking (LPG)**
- **Bread-baking (LPG, electricity, wood)**
- Remarkable increase in wood consumption during the *Intifada*.



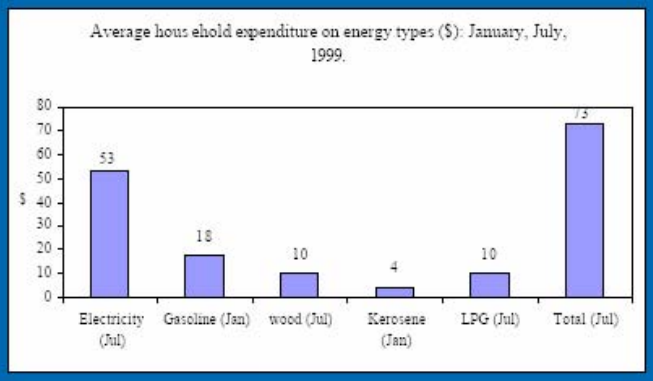


Source: PCBS, Area statistics, Natural resource statistics, energy statistics, household energy. www.pcbs.gov.ps.

03/04/2006 15

The average household energy spending, January 1999, 2003-2005.

- Expenditure on different energy types: $73 (10% of consumption budget), of which, $53 for electricity.

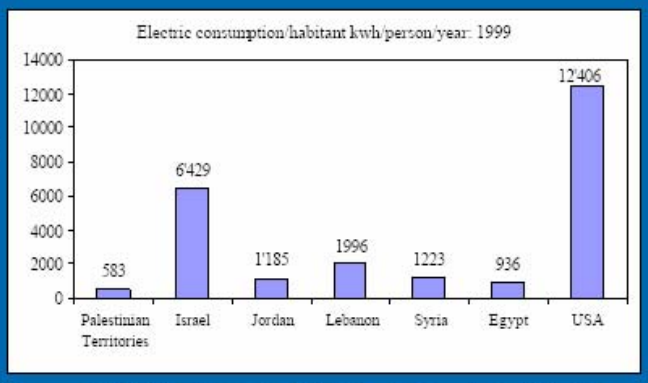


Source: PCBS, Area statistics, Natural resource statistics, energy statistics, household energy. www.pcbs.gov.ps.

04/04/2006 16

Electricity consumption

- **583 kWh/capita consumption (lowest in the region).**
- Vs 6,429 kWh/capita for Israel (11 times as superior).
- And 1,185 kWh/capita for Jordan (twice as superior).
- **Explanations for low consumption include:**
  1. Insufficient capacity of power sources.
  2. High prices of electricity.
  3. Inadequate quality of electrical energy.

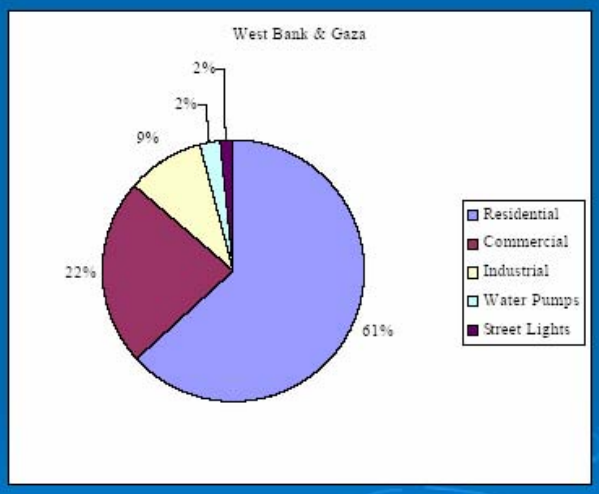


Sources: PCBS, PCBS, statistical abstract of Palestine no. "4", November, 2003. Ramallah - Palestine. 1997 is the base year in US$ million. Data are for 2000. Eearth Trend http://earthtrends.wri.org/. Energy statistics.

04/04/2006 17

Electricity consumption

- **Main consumers of electricity in all sectors:**
  residential (61%).
  Commercial (22%).
  industrial (9%).

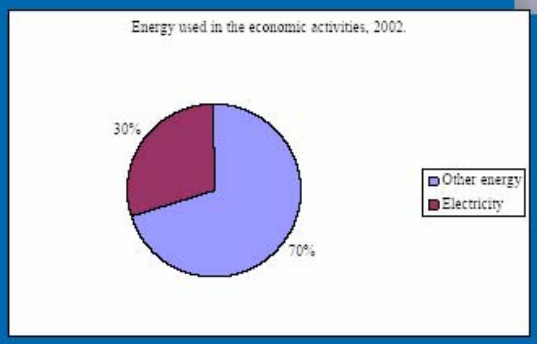


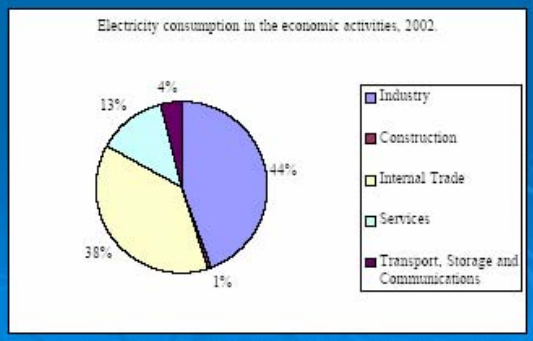
Source: Palestinian Ministry of Energy and Natural Resource.

04/04/2006 18

Electricity consumption by economic activity

- 1/3 of energy used in economic activities comes from electricity.
- industrial sector and internal trade consume more than 80% of the total energy.



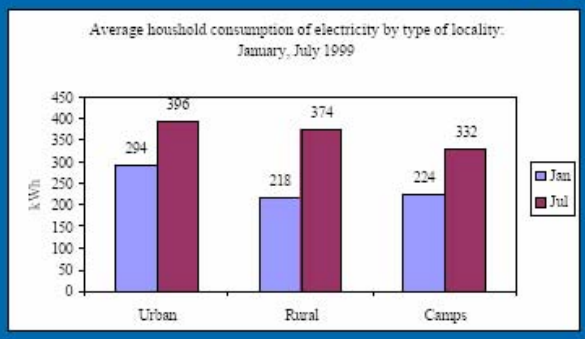


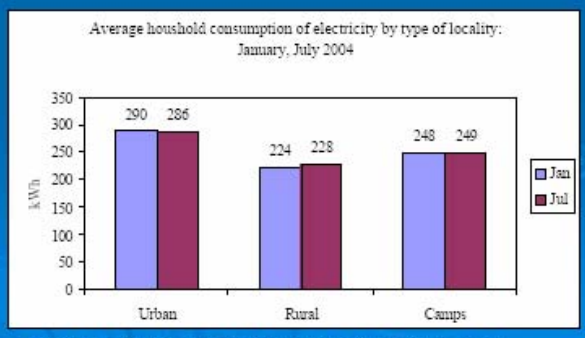
Source: PCBS, Area statistics, natural resource statistics, energy statistics. www.pcbs.gov.ps.

04/04/2006 19

Electricity consumption by locality

- Average consumption higher in urban localities.
- Significant difference between, before and during the current *Intifada,* for the summer season.



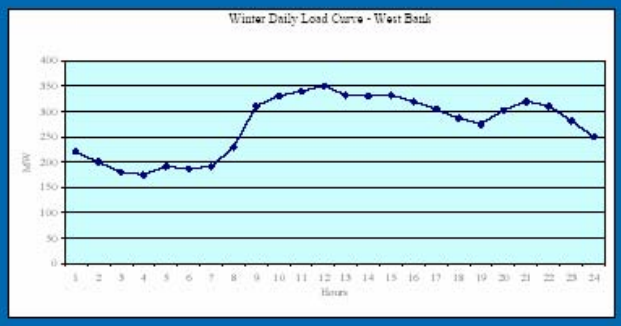


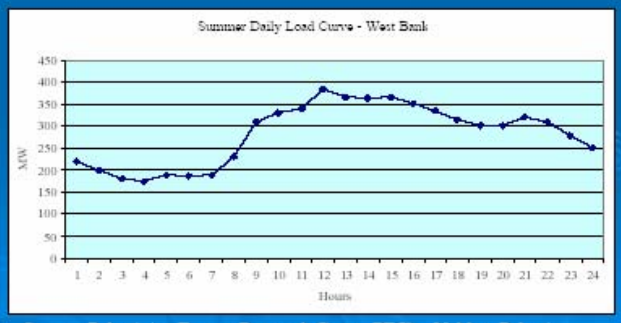
Source: PCBS, Area statistics, Natural resource statistics, energy statistics, household energy. www.pcbs.gov.ps.

04/04/2006 20

Electricity load curves

- The maximum demand in winter time between **12h to 19h.**
- The maximum demand in summer time between **12h to 19h (10% more than winter time)** due to air conditionning and cooling loads



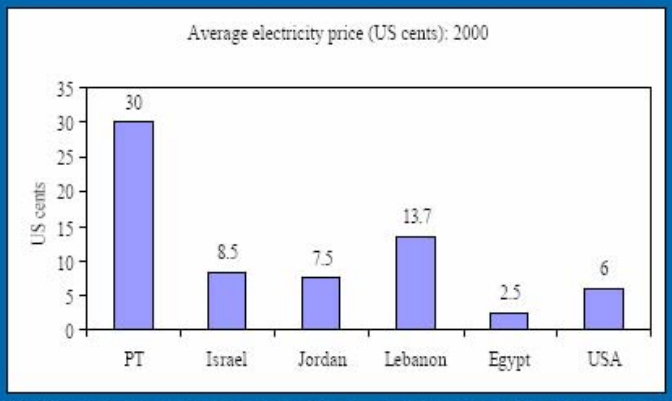


Source: Palestinian Energy Research Centre PEC) – Nablus, Palestine.

04/04/2006 21

Electricity prices

- Average price: $0.30/kwh
- 3 times higher than in Israel and Jordan.
- 5 times higher than in the USA.

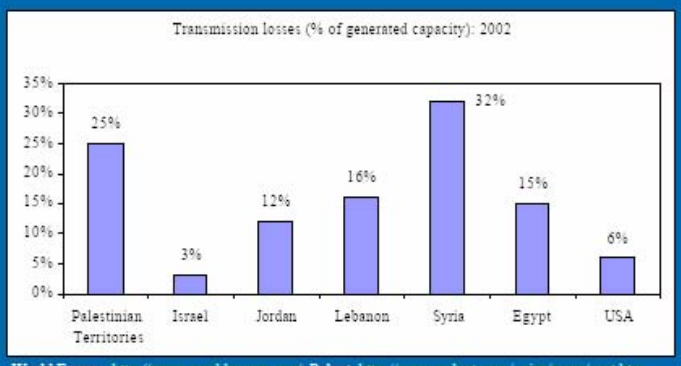


World Energy, http://www.worldenergy.org/, Palnet, http://www.palnet.com/~eigr/menr/cost.htm, solar Buzz, http://www.solarbuzz.com/Solarpricesworld.htm, Energy Information Administration http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/,
Central Bank of Jordan, http://www.cbj.gov.jo/
Palestinian energy research centre (PEC), 1995. The present status of electricity services in the west bank.

04/04/2006 22

Transmission losses

- **Losses:** 25% of electricity injected.
- key source of **technical loss**: low power factors.
- Sources of **non - technical losses**: illegal ways of accessing the network (theft).
- Unpaid bills.

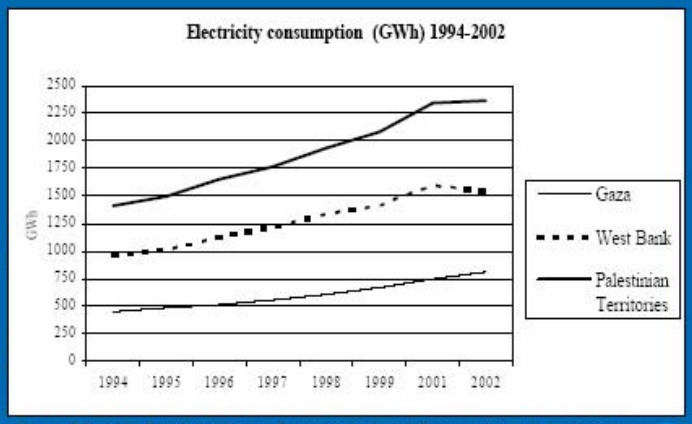


World Energy, http://www.worldenergy.org/, Palnet, http://www.palnet.com/~eigr/menr/cost.htm, solar Buzz, http://www.solarbuzz.com/Solarpricesworld.htm, Energy Information Administration http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/,
Central Bank of Jordan, http://www.cbj.gov.jo/
Palestinian energy research centre (PEC), 1995. The present status of electricity services in the west bank.

04/04/2006 23

Trend for electricity consumption

- **In total**: Increasing rate of consumption for the years prior to the current *Intifada*.
- Remarkable decline in electricity consumption growth since the beginning of the current *Intifada* in September.
- Political instability reduces the **marginal consumption level** (Explanations: Direct destruction by the Israeli army, negative growth rate of the GDP, low level of employment and high level of poverty).

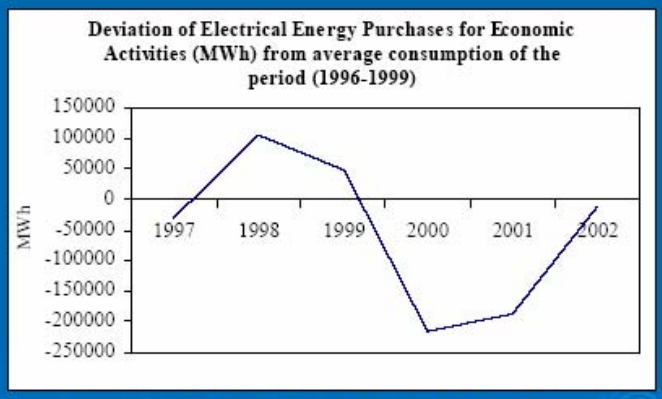


Source: Palestinian Energy and Natural Resources Authority. Energy consumption statistics. www.menr.org.

04/04/2006 24

Conflict and electricity consumption

- **For economic activities**: the level of energy purchases is superior to the average in the period with "no conflict" after the peace agreement, and inferior during the second *Intifada*.
- However, we can observe a recovery trend.



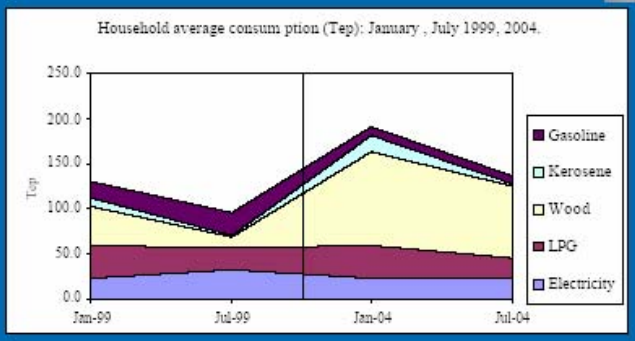
Source: Palestinian Energy and Natural Resources Authority. Energy consumption statistics. www.menr.org.

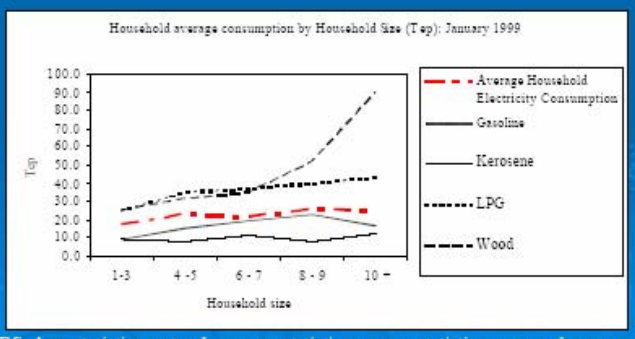
04/04/2006 25

Substitution effect

- Substitution effect:

1. More consumption of wood during the current *Intifada*
2. Wood consumption increases with family size
3. LPG can be considered a substitute for electricity for certain uses.





Source: PCBS, Area statistics, natural resource statistics, energy statistics. www.pcbs.gov.ps

04/04/2006 26

Electricity problems and priorities

Problems

- Very deficient network (high transmission losses).
- Electricity services limited in quantity and quality.
- Lack of investment in the electric sector.
- High prices.

Priorities

- Rehabilitation and development of electricity system.
- A detailed survey will be indispensable to estimate the real needs in the sector.
- Independent local production.
- Scenario building

04/04/2006 27

Cooling and refrigeration

Households acquisition of durable Goods

Available durable goods	Year				
	1997	2000	2001	2002	2004
Private Car	20.4	21.6	22.8	20.2	26.4
Television	84.6	94.0	94.2	92.7	93.2
Video	13.3	17.8	18.8	11.4	20.1
Refrigerator	**80.4**	**92.3**	**92.8**	**90.9**	**92.9**
Cooking Stove	96.9	98.8	99.3	98.9	98.7
Washing machine	73.2	87.5	86.8	85.8	89.6
Solar Boiler	61.2	68.7	74.7	74.3	72.6

PCBS, 2006. Living conditions survey, www.pcbs.org .

- (Our analysis of the availability of durable goods shows) Stagnation or decrease in the acquisition of electrical devices between 2001 and 2002 (*Intifada* period).

04/04/2006 28

Percentage of households using air conditioning facilities by conditioning facility and region, July, 2005

Region	Space Conditioning Facility		
	Electrical conditioner	Fixed fan	Mobile fan
West Bank - North	3.0	44.7	80.7
West Bank - Middle	**12.3**	**36.4**	**82.4**
West Bank - South	1.3	13.2	91.7
Total West Bank	5.5	33.6	84.2
Total Gaza Strip	0.2	71.9	76.3
Palestinian Territory	**3.5**	**47.9**	**81.2**

PCBS, 2006. Area statistics, natural resources, energy statistics, household energy. www.pcbs.org .

04/04/2006 29

Refrigerators

- Forms the largest load in the residential sector as consumption represents **30 - 40%** of the electricity bill of a household.
- High percentage of the Palestinian households use inefficient **second hand refrigerators** (10-15 years old) due to their low initial cost.
- Audit results of the PEC (Palestine Energy Centre) show that the consumption of these old refrigerators is about **1.5 -3 times higher** than the same new types.

04/04/2006 30

Energy conservation

- Palestinian Energy Research Centre (PEC) effectuated an audit of modern energy-efficient cooling technologies in residential and industrial sectors, as well as in public utilities.
- Total conservation potential in these sectors is around 15% of the total energy consumption.
- The associated costs of the investment in this field are relatively low and correspond to a pay back period varying in the range from 6 to 36 months.

04/04/2006 31

Conclusions

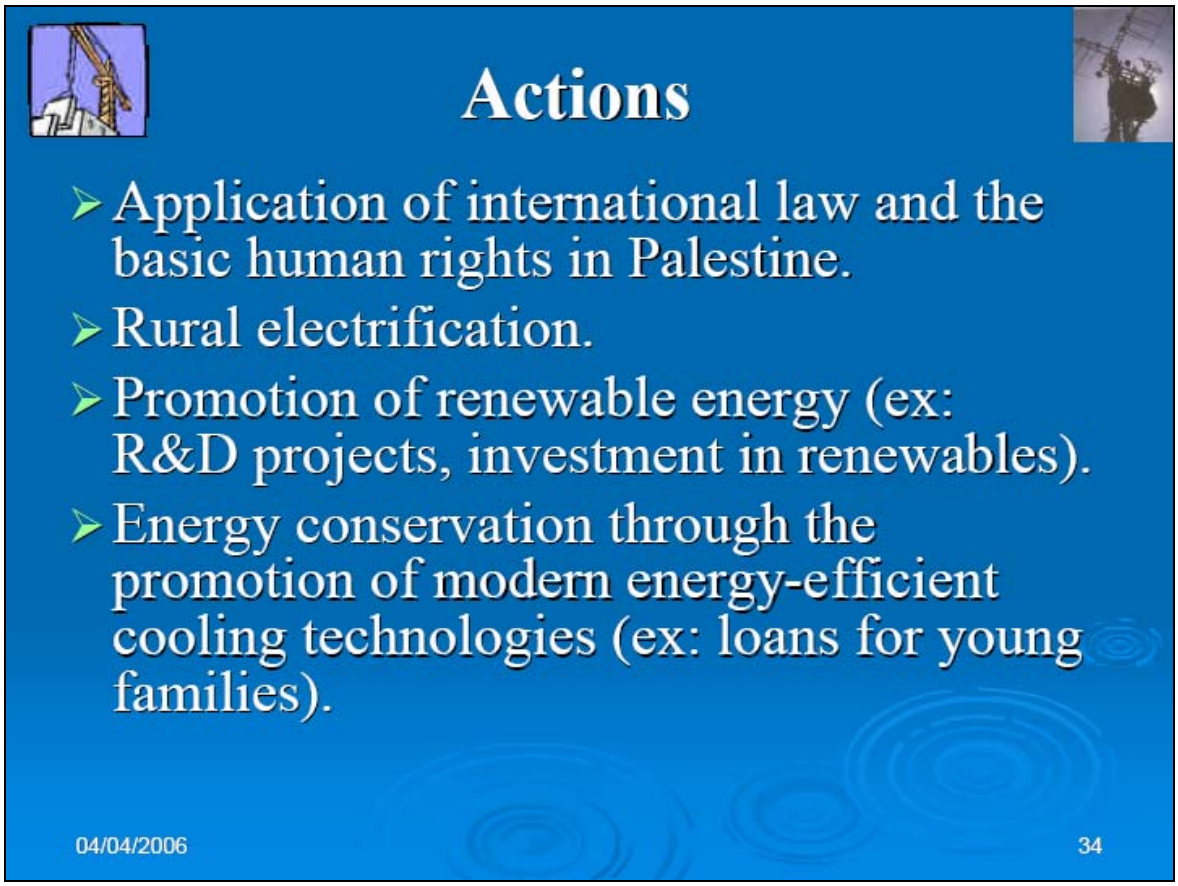
- Palestinian electricity consumption appears to be inelastic.
- The Palestinian electric sector shows a high vulnerability to political shocks.
- Modern energy-efficient cooling technologies are needed for the national energy policy.

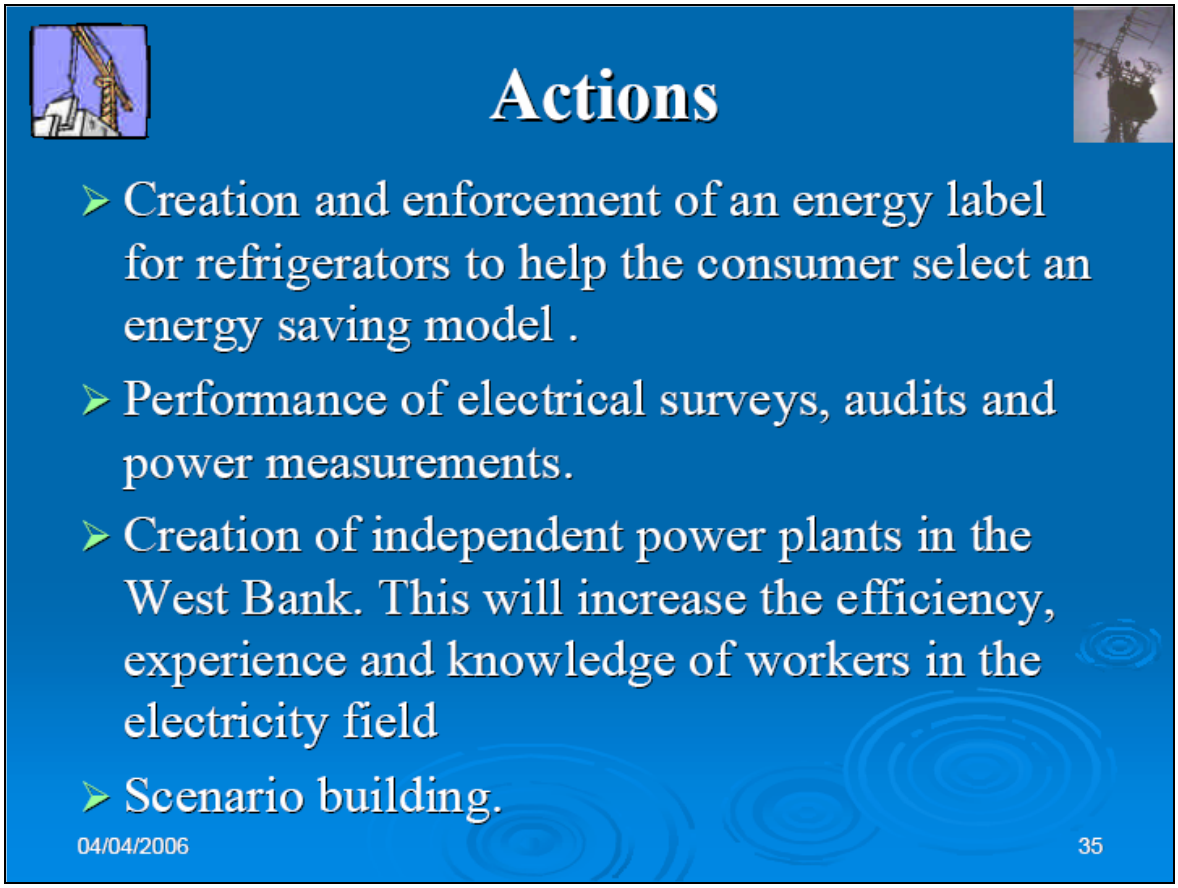
04/04/2006 32

Conclusions

- **The level of electric services provided by the IEC is inadequate:**
- Constituting a handicap for the industrial sector.
- A high economic loss
- And an obstacle for the development of the country.
- **The end of collective punishment policies and a well functioning economy are key factors for healthy electricity services.**

04/04/2006 33


Actions
Application of international law and the basic human rights in Palestine.
Rural electrification.
Promotion of renewable energy (ex: R&D projects, investment in renewables).
Energy conservation through the promotion of modern energy-efficient cooling technologies (ex: loans for young families).
04/04/2006
34


Actions
Creation and enforcement of an energy label for refrigerators to help the consumer select an energy saving model .
Performance of electrical surveys, audits and power measurements.
Creation of independent power plants in the West Bank. This will increase the efficiency, experience and knowledge of workers in the electricity field
Scenario building.
04/04/2006
35

The ICRC Cold Chain

George Anthony MC Guire
International Committee of the Red Cross
e-mail: gmcguire.icrc_gva@icrc.org

The ICRC Cold Chain

- Goods and destinations
- Problems with temperature control
- Cold boxes
- Freeze protection solutions

G. Mc Guire, International Committee of the Red Cross, Geneva

Cold Chain Items

- Vaccines (Tetanus, Hepatitis, Meningitis)
- Diagnostic tests (Hepatitis, HIV)
- Drug products (Insuline, Oxytocin)
- Blood grouping serum

Total value shipped in 2005: CHF 655,000

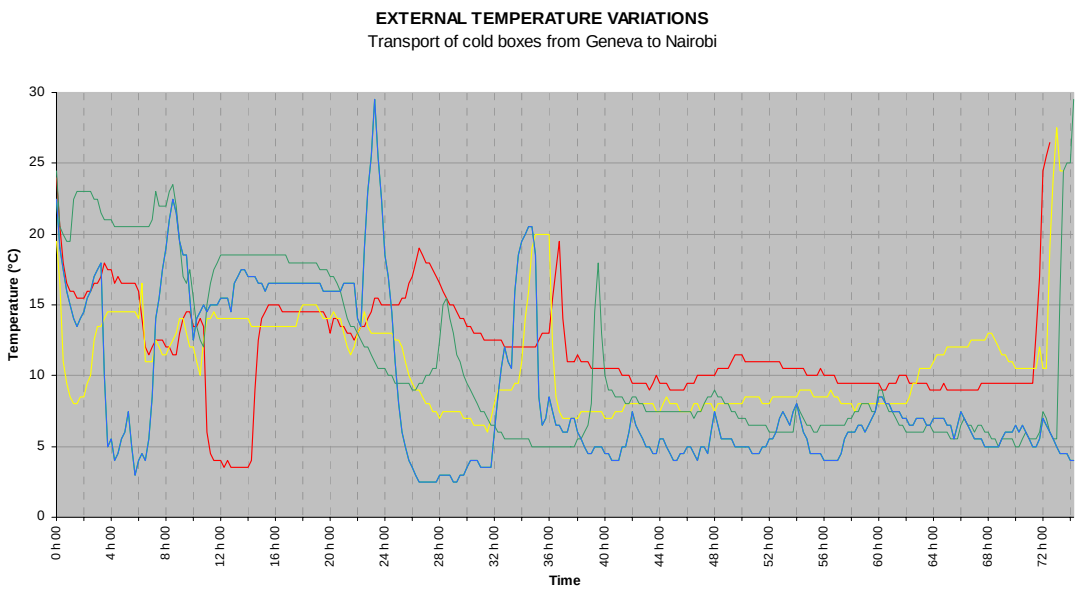
Main Destinations

- Afghanistan
- Logistic Centre Nairobi
- Indonesia
- Sudan
- Uganda
- Liberia
- Eritrea
- Sri Lanka
- Philippines
- Chad
- Nepal

Temperature Gradient

For example 30° C temperature difference between Geneva and Khartoum, Djakarta and Kampala during winter.

Variations in external temperature



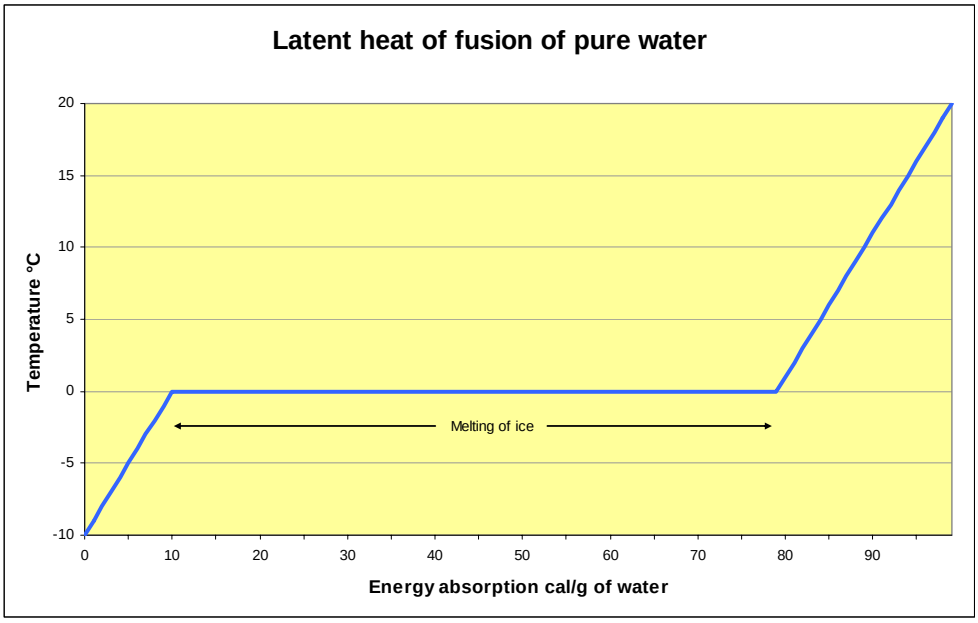
Standard cold boxes

Electrolux RCW25

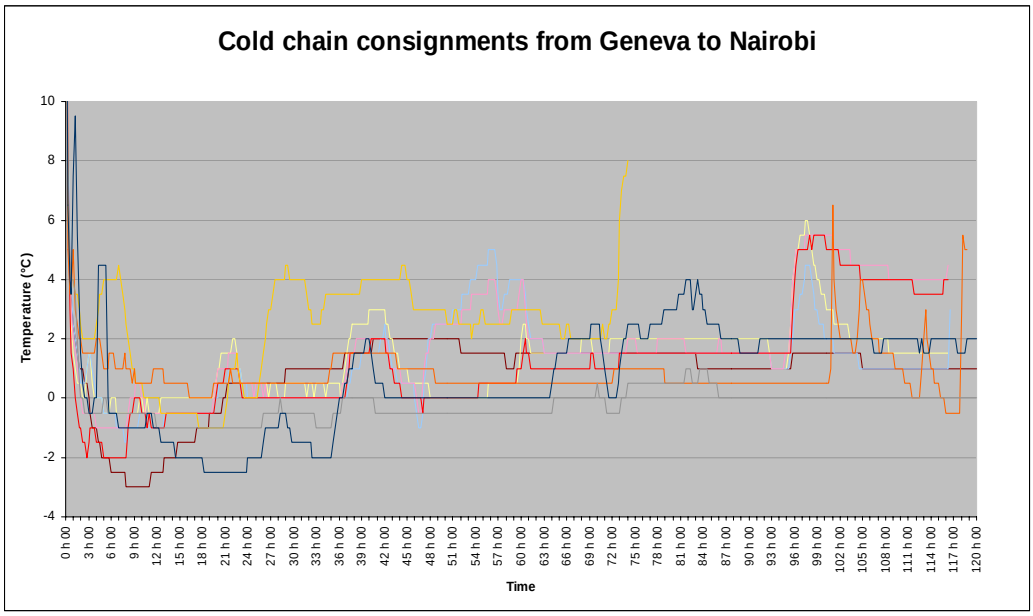
20 litre of vaccines

33 kg with ice packs

Latent heat of fusion of water



Problem of initial temperature drop



PATH Freeze protection research

75% of vaccines in Indonesia exposed to sub-zero temperatures

- Ice packs, ice and water combinations
- Ice-pack conditioning
- Insulating barriers (urethane, polystyrene, fiberglass)
- Thermal mass barriers (water, water gels, phase change materials powder) placed *between* ice packs and payload
- Combinations (insulation with thermal mass)
- Phase change materials (eutectic solutions)

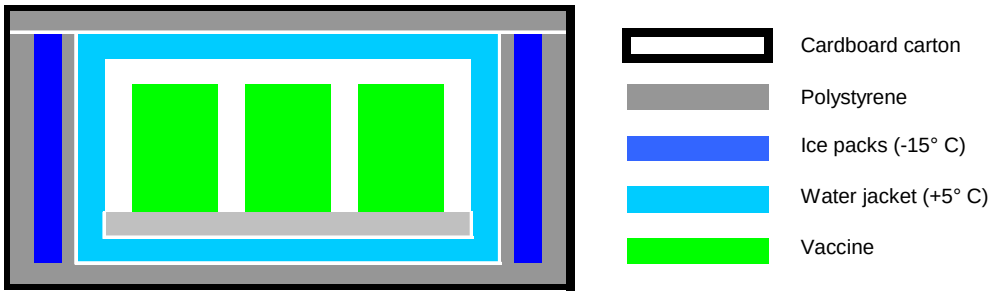
Program for Appropriate Technology in Health (PATH): Approaches to Eliminating Freezing in Vaccine Carriers – Testing report summary (March 16, 2004). www.path.org

PATH Conclusions

- ". . . putting frozen ice packs directly into the vaccine carrier with vaccines was shown to cause significant freezing conditions".
- Ice-pack conditioning eliminates freezing but is not practical.
- Combining frozen and warm water packs prevents freezing but halves cold life.
- Insulation and thermal mass barriers not effective.

Freeze protection with "water jackets"

- Surrounding of cold chain goods with an *uninterrupted* layer of water.
- Water jackets must freeze before interior can freeze.
- 80 cal/g of water have to be absorbed from the ice packs before the water jacket starts freezing
- Principle of a "reverse cold box"



Technical realization

Requirements for a device:

- Disposable
- Simple
- Cheap
- Resistance to breaking and leaking

PROGRAMME

8h30	Accueil
9h00	Bienvenue
9h10	*Santé et environnement : les deux défis du 21e siècle* D. Coulomb, Institut international du froid, Paris
9h50	*Anthropologie du froid domestique : le frigo et ses utilisateurs* M.-C. Zelem, Université de Toulouse
10h30	Pause
11h00	*Technologies de production du froid* P. Egolf, Ecole d'ingénieur, Yverdon
11h40	*Instruments politiques pour la mise en oeuvre des techniques de froid les plus efficaces* P. Menanteau, Université de Grenoble
12h00	Questions
12h30	Repas
14h00	*Société de gares frigorifiques et ports francs de Genève* P.-A. Frossard, Société de gares frigorifiques et ports francs de Genève
14h30	*La modélisation des procédés frigorifiques: un défi de maîtrise de la qualité et de la sûreté des produits alimentaires* G. Alvarez, CEMAGREF, Paris
15h00	*Refrigeration : the case of the electric sector in Palestine* A. AbuAlkhair, Université de Genève
15h30	Pause
15h45	*The ICRC Cold Chain* G.A. Mc Guire, ICRC, Genève
16h15	Table ronde et discussion avec le public
17h00	Vin d'honneur

LISTE DES PARTICIPANTS

ABU ALKHAIR	Ayman	CUEPE	1227 Carouge	abualkh0@etu.unige.ch
ANDEREGG	Carla	CUEPE	1227 Carouge	carla.anderegg@cuepe.unige.ch
ALVAREZ	Graziela	CEMAGREF	F-92163 Antony cedex	alvarez@umr-genial.org
BEAUCHAMP	Hélène	CUEPE	1227 Carouge	beaucha2@etu.unige.ch
BECK	Johanna	CUEPE	1227 Carouge	-
BÉLET	Sylvain	CUEPE	1201 Genève	olalabambel@gmail.com
BERTHOLET	Jean-Luc	CUEPE	1227 Carouge	jean-luc.bertholet@cuepe.unige.ch
BISSON	Yannick	CUEPE	1227 Carouge	-
BOGENMANN	Claudia	CUEPE	1205 Genève	c.bogenmann@gmail.com
BUI-VAN	Thanh	UniGE	1260 Nyon	-
CLÉMENT	Sarah	CUEPE	1003 Lausanne	sarah-clement6@hotmail.com
COULOMB	Didier	Institut Int'l du Froid	F-75017 Paris	dcoulomb@iifiir.org
DEKKERS-GIACOBINO	Frédérique	CUEPE	1205 Genève	dekkersf@postmail.com
DOUBLE	Christian	CUEPE	1213 Onex	double4@etu.unige.ch
EGOLF	Peter	Laboratoire de Modélisation Numérique - SIT	1400 Yverdon	peter.egolf@heig-vd.ch
ELSHIKH	Mouniah	CUEPE	1218 Gd-Saconnex	elsikhm0@hei.unige.ch
FERRAZ	Clarice	CUEPE	1227 Carouge	clarice.ferraz@cuepe.unige.ch
FROSSARD	Pierre-Alain	SGF	1217 Meyrin	pierre-alain.frossard@sgflog.com
GALLINELLI	Peter	CUEPE	1227 Carouge	peter.gallinelli@cuepe.unige.ch
GARBELY	Myriam	CUEPE	1227 Carouge	myriam.garbely@cuepe.unige.ch
GENTAZ	Claude	CUEPE	1227 Carouge	transtec@bluewin.ch
GIRARDI	Antonio	CUEPE	1205 Genève	girardi72@bluewin.ch
HAEFELI	Peter	CUEPE	1227 Carouge	peter.haefeli@cuepe.unige.ch
HOLLMULLER	Pierre	CUEPE	1227 Carouge	pierre.hollmuller@cuepe.unige.ch
INEICHEN	Pierre	CUEPE	1227 Carouge	pierre.ineichen@cuepe.unige.ch
INHOFER	Aline	CUEPE	1203 Genève	inhofer@etu.unige.ch
JAKOB	Michaël	CUEPE	1227 Carouge	michael.jakob@cuepe.unige.ch
KÜNZI-CHAO	Sofield	CUEPE	1213 Petit-Lancy	sofield.kunzi@ip-worldcom.ch
LAB	Delphine	CUEPE	1201 Genève	lab1@etu.unige.ch
LACHAL	Bernard	CUEPE	1227 Carouge	bernard.lachal@cuepe.unige.ch
LAVALLEZ	Catherine	CUEPE	F-01210 Ferney-V.	catherine.lavallez@laposte.net
LAVANCHY	Pierre-François	Ingénieur agronome EPFZ	1413 Orzens	pf-lavanchy@bluewin.ch
McGUIRE	George Anthony	CICR	1202 Genève	gmcguire.icrc_gva@icrc.org
MENANTEAU	Philippe	LEPII-EPE	F-38040 Grenoble	philippe.menanteau@upmf-grenoble.fr

MULLER	Damien	EPFL Labo énergétique industr.	1015 Lausanne	damien.muller@epfl.ch
NGUENE	Gustave	EPFL - CdM - MIR	1015 Lausanne	gustave.nguene@epfl.ch
OSSIPOW	William	Relations internationales UniGE	1211 Genève 4	-
PAMPALONI	Eric	CUEPE	1227 Carouge	eric.pampaloni@cuepe.unige.ch
PASQUIER	Anne	CUEPE	1227 Carouge	anne.pasquier@cuepe.unige.ch
RAPAILLE	Cédric	CUEPE	1205 Genève	rapaille@terre.unige.ch
RIAT	Sara	CUEPE	1203 Genève	riat1@etu.unige.ch
ROMERIO	Franco	CUEPE	1227 Carouge	franco.romerio@cuepe.unige.ch
ROSSELET	André	ADER Lausanne / UNIL Amphipôle	1015 Lausanne	andre.rosselet@unil.ch
ROYER	Jacqueline	CUEPE	1218 Gd-Saconnex	-
ROYER	Jacques	CUEPE	1218 Gd-Saconnex	jacques.royer@cuepe.unige.ch
SCHLESSER	Caroline	CUEPE	1227 Carouge	moicaroline@gmail.com
SCHMID	Gérard	Eau Secours	1216 Cointrin	-
THIEBLEMONT-HAEFELI	Christine	CUEPE	1227 Carouge	christine.thieblemont@enercad.ch
TILLMANNS	Lolvé	CUEPE	1205 Genève	lolvee@hotmail.ch
THOMANN	Pascal	CUEPE	1227 Carouge	pascal.thomann@cuepe.unige.ch
VIQUERAT	Pierre-Alain	CUEPE	1227 Carouge	pierre-alain.viquerat@cuepe.unige.ch
WEBER	Willi	CUEPE	1227 Carouge	willi.weber@cuepe.unige.ch
ZELEM	Marie-Christine	CERTOP-CNRS	F-31058 Toulouse cedex 1	zelem@univ-tlse2.fr
ZGRAGGEN	Jean-Marc	CUEPE	1227 Carouge	jean-marc.zgraggen@cuepe.unige.ch