

30 ans de chauffage électrique : histoire d'une innovation mouvmentée

EDF

Introduction

Au sortir de la 2nde guerre mondiale, les bâtiments français n'étaient pas tous chauffés. Les systèmes de chauffage existants n'étaient pas de type « organisé », mais « réparti ». Les pièces qui étaient chauffées avaient donc chacune un équipement dédié. 2 énergies cohabitaient dans le logement : le bois avec les cheminées (sans insert !) et les poêles pour le charbon.

Dans les décennies 1950 et 1960, le « chauffage central », premier mode de chauffage « organisé », apparaît. La production de chaleur – essentiellement des chaudières au fuel – est centralisée, les pièces sont chauffées par des émetteurs à eau chaude (les radiateurs). Une régulation centralisée est possible. Le niveau de confort s'améliore considérablement.

Les années 1970 sont marquées par les premières crises énergétiques et les débuts du chauffage électrique. Après le bois, le charbon, et le pétrole, l'électricité devient une énergie de chauffage. Avec celle-ci arrivent le concept du CEI (Chauffage Electrique Intégré) qui allie isolation thermique, ventilation mécanique contrôlée et régulation pièce par pièce.

Les décennies suivantes seront marquées par l'arrivée de l'énergie gaz pour le chauffage central. Le gaz et l'électricité deviennent en 30 ans les énergies dominantes des logements français. Sur la période, les exigences de performance énergétique minimales pour les bâtiments neufs augmentent considérablement.

Aujourd'hui, sur les 25 millions de résidences principales françaises (pour un total de 29 millions de logements), près de 7 millions sont chauffées à l'électricité. Cela représente une consommation de 35 à 40 TWh/an d'énergie finale (suivant les estimations et les années de consommation), soit 9% de la consommation nationale d'électricité, et environ 2% des consommations nationales d'énergie finale.

Bien qu'il soit une singularité française, le chauffage électrique s'est également développé dans d'autres pays - au climat souvent plus rigoureux que celui de la France - comme le Canada et la Norvège.

Après 30 ans d'histoire du chauffage électrique, on peut donc se poser plusieurs questions :

- Pourquoi le chauffage électrique s'est-il développé en France dans les années 1970 ?
- Des innovations ont-elles été nécessaires ?
- Quel a été le rôle de la recherche ?
- Quelles ont été les modalités de ce développement ?
- Quels enseignements peut-on en tirer aujourd'hui ?

Lexique

CEI :	Chauffage Electrique Intégré
CMI :	Constructeurs de Maisons Individuelles
ECS :	Eau Chaude Sanitaire
EnR :	Énergies Renouvelables
Insert :	foyer fermé d'une cheminée permettant de distribuer l'air chauffé à d'autres pièces
MDE :	Maîtrise de la Demande en Energie
GES :	Gaz à Effet de Serre
HEE :	programme Haute Efficacité Energétique
HPE :	label Haute Performance Energétique
PAC :	Pompe à Chaleur
PERCHE :	Pompe à Chaleur en Relève de Chaudière)
RT :	Réglementation Thermique
VMC :	Ventilation Mécanique Contrôlée
TWh :	$10^{12} \text{ Wh} = 10^9 \text{ kWh} = 1 \text{ milliard de kWh}$. La France consomme environ 440 TWh/an d'électricité et 1880 TWh/an d'énergie finale (toutes énergies confondues)

Sommaire

Introduction	2
I Contexte, motivations et contraintes autour de la naissance du CEI : le Chauffage Electrique Intégré.....	4
A/ Les aspects stratégiques	4
B/ Le défi économique	5
C/ Les réponses techniques	6
II Zoom sur quelques innovations associées au chauffage électrique	9
A/ Des innovations technologiques issues de partenariats entre les équipementiers et la R&D d'EDF	9
1/ Des émetteurs de chauffage de nature très variée.....	9
2/ Un chauffage électrique différent : la Pompe à Chaleur	11
3/ D'autres innovations techniques ont accompagné le CEI	12
B/ Les autres dimensions de l'innovation	13
1/ Le pari de la qualité passe par la participation active à l'élaboration des normes et réglementations	14
2/ Des partenariats indispensables avec la filière	14
3/ La dimension marketing et commerciale.....	15
III 30 ans de chauffage électrique : retour d'expérience et perspectives	16
A/ De l'essor aux premières difficultés.....	16
1/ 1973 – 1982 : le CEI était là au « bon moment ».....	16
2/ 1982 – 1989 : relâchement du suivi par EDF de la qualité des installations de CEI et début des problèmes liés aux logements existants.	17
3/ 1989 – 1995 : la qualité des CEI n'est plus contrôlée, le différentiel de coût gaz-électricité augmente, le marché du CE se dégrade.....	18
B/ Après 1995 : un renouveau souffle grâce à « Vivrélec »	18
1/ Les premières offres.....	18
2/ La situation actuelle	20
C/ Demain : de nouveaux enjeux à satisfaire	20
Conclusion	22
Bibliographie et contacts	23
Annexes	24
Annexe A : Les 3 familles d'émetteurs : Air, Eau, Matière	24
Annexe B : Les 3 familles de PAC : capteurs air, eau, sol	25
Annexe C : Quelques exemples de réalisations	26
Annexe D : Consommations d'électricité en France.....	27
Annexe E : Utilisation pédagogique	28

I Contexte, motivations et contraintes autour de la naissance du CEI : le Chauffage Electrique Intégré

Avec une trentaine d'années de recul, « l'invention » du chauffage électrique peut être vue comme un élément d'optimisation du système énergétique national sous une triple contrainte stratégique, économique et technique :

- **Stratégique** car l'invention s'est rapidement inscrite dans un contexte de recherche d'indépendance énergétique qui a débouché sur l'intensification du programme de production électronucléaire.
- **Economique** car l'énergie électrique est une énergie « secondaire », qui n'existe pas dans la nature, et qu'il faut donc fabriquer. C'est donc un produit industriel, certes de grande consommation, mais dont le coût unitaire est fatalement plus élevé que celui d'énergies primaires (n'ayant subi aucune transformation) et directement exploitables pour le chauffage des bâtiments (à l'époque fioul, charbon et progressivement gaz naturel).
- **Technique** car la transformation de l'énergie en confort est une question complexe, aux ramifications technologiques nombreuses et dont l'optimisation constitue aujourd'hui encore un sujet de recherche traité dans le monde entier. De plus, l'électricité et les techniques associées présentent des spécificités sur ce point qui ont motivé - et motivent encore - de nombreuses innovations.

A/ Les aspects stratégiques

Dans les années 1960, la volonté d'indépendance énergétique nationale s'est traduite - entre autres - par le choix de maîtriser la production d'électricité par voie nucléaire. Il n'a cependant été décidé de donner une ampleur nationale au programme électronucléaire qu'après le premier choc pétrolier de 1973.

Dès lors, la substitution de consommation d'énergies fossiles par de l'électricité favorisait la politique d'indépendance énergétique nationale. La promotion des usages thermiques de l'électricité allait dans ce sens. C'était l'époque du coefficient « gamma » qui permettait d'évaluer les tonnes de pétrole substituées.

Le chauffage représentait déjà à l'époque le poste le plus important de la consommation d'énergie des bâtiments, poste entièrement assuré par des énergies fossiles. Dans un tel contexte, une solution technique rendant possible le chauffage électrique des locaux devait logiquement être accueillie favorablement.

Le chauffage électrique existait avant la généralisation de la production d'électricité par voie nucléaire. Néanmoins, les premiers chocs pétroliers ont favorisé son développement rapide :

- en déclenchant le choix d'un recours massif au nucléaire : cela a permis la production de masse d'un kWh électrique moins cher que les modes de production traditionnels (utilisation d'énergies fossiles), et donc, économiquement compatible avec un chauffage électrique. Ce dernier a donc pu devenir une opportunité de développement commercial pour EDF¹.
- en créant un contexte favorable aux usages thermiques de l'énergie efficaces et n'ayant pas recours aux énergies fossiles.

Les pouvoirs publics n'étaient pas toujours favorables au chauffage électrique. Son essor était jugé « trop rapide dans un contexte de crise énergétique ». L'énergie électrique, énergie « secondaire », était considérée comme une énergie « noble » et chère, complexe à transformer,

¹ Le développement du chauffage électrique dans d'autres pays est - comme en France - en partie lié au faible coût du kWh (d'origine nucléaire, mais également hydraulique : 50% pour le Canada, 100% pour la Norvège).

et qui ne devait pas être utilisée pour des usages réalisables directement par des énergies primaires. Beaucoup de textes réglementaires défavorisaient le chauffage électrique².

Le contexte n'était donc initialement pas aussi favorable qu'on pourrait le croire, mais il l'est devenu rapidement en raison de la demande d'un confort « moderne », de la performance économique du chauffage électrique (kWh nucléaire + efficacité énergétique du système choisi), et de sa capacité à éviter des consommations d'énergie fossile dans un contexte tendu sur ces énergies.

Le CEI – Chauffage Electrique Intégré - est donc plutôt une innovation de type « push » - donc issue de l'innovation technique de la R&D - qui a, quelques années plus tard, rencontré un contexte très « pull » qui a considérablement accéléré son émergence.

« **Push** » : l'innovation applicable à un secteur donné permet le développement du secteur en question (ex : le téléphone mobile)

« **Pull** » : l'essor d'un secteur favorise les innovations dédiées au secteur (ex : la nécessité d'isoler les logements français donne naissance à un produit inédit : la « plaque isolante », plaque de plâtre cartonnée sur laquelle est collée un doublage thermiquement isolant).

B/ Le défi économique

Il se posait à 2 niveaux :

- **celui de l'industriel (EDF)** : l'électricité se stocke mal, c'est l'un de ses principaux inconvénients. Le réseau doit être équilibré. A tout instant, la production doit être égale à la demande. Le parc de production est dimensionné pour la demande maximale prévisible, ce que l'on appelle « la pointe »³. Le chauffage étant un usage saisonnier, le chauffage électrique risquait d'augmenter la pointe hivernale. Il fallait limiter cet effet.
- **celui de l'utilisateur** : la question posée était, et est toujours aujourd'hui : « Comment assurer, dans des conditions économiques acceptables pour le client, un chauffage performant avec une énergie dont le coût unitaire (par kWh facturé au client) est notablement plus élevé que celui des autres énergies ? ».

A l'échelle de la production nationale, la réponse fut un système de chauffage « décentralisé » pièce par pièce et non « centralisé » comme le sont les systèmes à énergie fossile (chaudière + distribution d'eau chaude).

A celle de l'utilisateur, la réponse fut la construction d'un modèle économique du chauffage électrique permettant de ne pas dépasser le coût de fonctionnement d'un chauffage à énergie fossile (en particulier du chauffage au gaz quand celui-ci est devenu une énergie de chauffage majeure). Bien que le client utilisateur ne raisonne pas de cette façon⁴ et que la démarche soit transparente pour lui, obtenir un coût de fonctionnement plus faible impliquait un raisonnement en **coût global** basé sur 2 composantes :

- le coût d'investissement en équipements,

² Cette situation a perduré de façon officielle jusqu'à il y a moins d'un an avec la diffusion en 2004 d'une circulaire du ministère de l'équipement sur la « neutralité vis à vis des énergies ».

³ Les kWh produits en période de pointe sont plus chers à fabriquer car ils font appel à des modes de production plus coûteux à base d'énergie fossile. Même si c'est plus complexe que cela, on peut dire en première approximation que « plus les consommations sont élevées, plus le coût « marginal » - et dans une moindre mesure « moyen » - de l'électricité est élevé ».

⁴ Le client du secteur résidentiel est d'abord sensible au coût de fonctionnement (très visible et revenant souvent), puis au coût d'investissement (plus élevé, mais unique), mais il additionne rarement les 2 pour raisonner en « coût global ». Le « temps de retour sur investissement » n'est pratiquement jamais calculé pour ce marché. Il a fallu attendre la fin des années 1990 et les marchés du logement social pour qu'un vrai raisonnement en coût global intéresse les décideurs puisque les bailleurs de logements sociaux ont la double préoccupation d'investisseur et de gestionnaire. Pourtant, même si le client final n'y était pas sensible, c'était bien un raisonnement en coût global qui était fait dans les calculs de comparaison de performance économiques des systèmes de chauffage électrique et à énergie fossile.

- le coût de fonctionnement, qui est lui-même fonction :
 - du nombre de kWh consommés,
 - du coût unitaire du kWh consommé.

Si on compare un chauffage électrique « classique » (émetteurs à effet Joule et isolation thermique standard) et un chauffage à énergie fossile :

- le coût unitaire du kWh électrique est plus élevé que celui des énergies fossiles,
- le coût d'investissement est plus faible⁵.

Pour obtenir un coût de fonctionnement du chauffage électrique inférieur à celui d'un chauffage à énergie fossile, la seule solution était d'utiliser le différentiel de coût d'investissement pour financer des équipements destinés à limiter le volume de kWh consommés par le chauffage électrique.

Coût global d'un chauffage à énergie fossile :



Coût global du CEI :



Le bilan économique dépend de la capacité de l'investissement supplémentaire à rapporter des économies en nombre de kWh consommés sans que le coût global ne dépasse celui du système concurrent.

Ainsi, en dépit de la cherté relative du kWh d'électricité par rapport au kWh concurrent, il a été possible de construire une application de chauffage électrique économiquement viable grâce à la faiblesse du coût d'installation et à la performance du système en exploitation. Ce modèle constitue un cahier des charges économique sur lequel s'est fondé le développement technique du chauffage électrique.

C/ Les réponses techniques

Au moment de l'invention du chauffage électrique, le seul concept de chauffage existant était le **chauffage central**. Son principe reposait sur une production centralisée de chaleur cédée à une boucle d'eau distribuée dans les locaux à chauffer.

Le même concept peut être décliné pour l'énergie électrique, ce qui a donné naissance à la chaudière électrique, mais il présente deux inconvénients majeurs :

- le coût d'investissement de ce système est fatalement très proche de celui des autres systèmes de chauffage. Il n'apporte donc pas d'avantage économique au chauffage électrique.
- il nécessite une puissance installée très importante (aggravée par les pertes de chaleur de la chaudière et du circuit de distribution d'eau chaude) et génère des profils de consommation avec des pointes de forte puissance, en contradiction avec l'objectif de limiter l'impact sur la pointe hivernale.

⁵ La variété des équipements de CEI étant très forte (cf. seconde partie du document), le raisonnement n'est pas valable pour tous les équipements de chauffage électrique, en particulier pour les Pompes à Chaleur. Les convecteurs étant les équipements du CEI de l'époque, la question se posait bien de cette façon là en 1970.

Il a donc fallu inventer un nouveau concept de chauffage.

La réponse technique a été de proposer une logique « **système** » en rupture avec la logique « **produit** » des modes de chauffage de l'époque.

Le CEI est donc un **système de chauffage complet** optimisé en « **coût global** » sur le plan économique et assurant un **confort satisfaisant** sur le plan technique.

Il repose sur 3 composantes :

- **un chauffage et une régulation décentralisés (pièce par pièce)**. La chaleur est créée là où il y a le besoin de chauffage. Le système est géré pièce par pièce pour limiter les puissances installées grâce au fonctionnement en cascade d'émetteurs de chaleur répartis dans les locaux (on chauffe « là où il faut et quand il faut »),
- **une isolation thermique du bâtiment performante**,
- **une ventilation contrôlée** car on a amélioré l'étanchéité du bâtiment, il faut donc être certain que la ventilation se fait correctement.

La logique et le lien entre ces 3 composantes vont être détaillées maintenant. Des compléments techniques sont donnés dans la 2nde partie.

Une nouvelle famille d'émetteurs de chauffage décentralisé et à faible coût d'investissement a donc été mise au point. Il s'agit des **convecteurs** qui chauffent directement l'air intérieur par effet Joule, grâce à un simple branchement sur le circuit électrique.

Les convecteurs permettent d'assurer 2 des conditions du succès du système CEI : le faible **coût d'investissement** et le **chauffage décentralisé**.

Effet Joule

Sous l'effet du passage du courant électrique, un matériau conducteur de l'électricité dissipe une partie de l'énergie qui le traverse sous forme de chaleur. Ce phénomène a été nommé « effet Joule » du nom du célèbre physicien. Les convecteurs électriques contiennent des résistances qui chauffent l'air par effet Joule.

Mais, pour fournir des conditions de **confort** satisfaisantes, les parois des locaux chauffés par convecteur doivent être bien isolées (cf. encarts). Il se trouve que cette nécessaire adaptation sur le plan « technique » s'avère également fort utile - voire indispensable - sur le plan économique. La rentabilité du chauffage électrique passe par la notion de **coût global** (investissement + coût de fonctionnement). Le principe est simple : pour être économiquement performant sans pouvoir diminuer le coût unitaire du kWh, il faut consommer moins de kWh... Les convecteurs ayant un coût d'investissement moins élevé que celui des chauffages à énergie fossile (convecteurs contre chaudière et radiateurs), on dégage une capacité d'investissement dans d'autres équipements qui

Le chauffage par convection : un confort spécifique

C'est le mode de propagation de la chaleur des convecteurs qui en est la cause principale. Les convecteurs transfèrent majoritairement la chaleur par **convection**, c'est à dire qu'ils chauffent l'**air** de la pièce. En comparaison, un radiateur à eau chaude transmet plus de chaleur par **rayonnement** qu'un convecteur. Il chauffe donc plus les **personnes**. Le convecteur qui chauffe l'air est plus en compétition avec un mur mal isolé qui perd de la chaleur, et donc refroidit l'air de la pièce, qu'un radiateur à eau chaude. Ce phénomène est aggravé par l'inertie des murs qui sont longs à réchauffer car ils représentent une masse importante. Un chauffage par convection doit donc s'accompagner de parois thermiquement bien isolées.

augmentent la performance énergétique du système et font qu'il consomme moins de kWh. En premier lieu, **l'isolation thermique** a joué un rôle-clé dans le développement du CEI. Elle limite les déperditions du bâtiment et permet ainsi de consommer moins de kWh pour un même niveau de température intérieure. Si elle ne présente pas un coût d'investissement trop élevé

(ce qui est le cas des bâtiments neufs, par exemple), elle contribue efficacement à l'optimum technico-économique permettant de développer le concept de chauffage électrique. C'est ainsi qu'a débuté au début des années 70 l'histoire commune de l'isolation thermique du bâtiment et

Les conditions techniques du confort électrique

Pour fournir des conditions de confort satisfaisantes, les parois des locaux chauffés par convecteur doivent être bien isolées. Dans le cas contraire, les faces intérieures des murs sont trop froides et provoque un effet de « paroi froide » inconfortable. Ce phénomène existe pour tous les types de chauffage, mais il est plus pénalisant dans le cas du chauffage électrique car l'air chauffé par les convecteurs se refroidit à leur contact et ne parvient pas à réchauffer les locaux.

Ainsi - et pour la première fois dans l'histoire du chauffage - il a fallu adapter le bâtiment à son chauffage en renforçant son isolation thermique. Cette contrainte a obligé à réfléchir le chauffage comme un « système énergétique » incluant le bâti et non uniquement les équipements de production et de distribution de chaleur. Ceci a donné naissance au concept de Chauffage Electrique Intégré, une appellation qui signifiait qu'il ne s'agissait pas seulement d'un système de chauffage, mais d'un concept de bâtiments destinés à être chauffés par de l'électricité

celle du CEI. Pendant près de 10 ans, les seuls logements équipés de doubles vitrages et intégrant des isolants dans leurs parois ont été les logements chauffés électriquement. Le chauffage électrique a donc permis avant l'heure de « faire de l'efficacité énergétique dans les bâtiments » avec le lancement d'une industrie nouvelle pour ce secteur : celle développant les produits destinés à renforcer la performance thermique de l'enveloppe des bâtiments.

Mais si la qualité thermique de l'enveloppe des bâtiments est la principale source de sa performance énergétique, elle n'est pas la seule. La recherche de la performance maximale a suivi plusieurs chemins qui ont tous été exploités - et qui le sont encore - pour développer un CEI

confortable et économiquement viable. Le surcoût imposé par ces investissements supplémentaires était moindre pour les bâtiments neufs, c'est pourquoi le CEI visait d'abord les logements neufs. 3 sources de performances complémentaires ont été développées :

- **la gestion énergétique du bâtiment.** Un système de gestion permet de ne délivrer que la bonne quantité d'énergie, au bon moment et au bon endroit. L'électricité, par sa souplesse d'utilisation, présente des atouts pour ce type de gestion. Dès l'origine, le CEI a intégré un système de gestion de la production de chaleur permettant tout à la fois de limiter les puissances de consommation instantanée et d'adapter la production de chaleur aux besoins des occupants (limitation de la consigne de chauffage en cas d'absence, gestion différenciée suivant les pièces de jour et de nuit, etc...). C'est la gestion « spatio-temporelle » du chauffage.
- **la maîtrise du renouvellement d'air.** En l'absence de dispositif particulier pour assurer le renouvellement d'air d'un bâtiment, celui-ci s'effectue de façon aléatoire et dans des conditions énergétiques déplorables. En effet, un bâtiment chauffé est toujours en dépression par rapport à l'extérieur. Mais si rien ne régule cette dépression, elle sera d'autant plus forte que la température extérieure sera froide. Ainsi, plus il fera froid plus l'air extérieur rentrera dans les locaux chauffés. Cette source de consommation supplémentaire et inutile du point de vue de la qualité d'air intérieure a été maîtrisée par la création de la Ventilation Mécanique Contrôlée (VMC) dont les solutions sont détaillées dans la 2nde partie de ce document.
- **le rendement de l'installation de chauffage.** Le chauffage électrique bénéficie d'un avantage important : la production de chaleur par effet Joule a un rendement très proche de 100%. Mais dès la fin des années 70, les chercheurs ont développé des systèmes de production nouveaux permettant d'aller au delà de cet idéal en utilisant la chaleur gratuite et renouvelable contenue dans l'environnement extérieur. Il s'agit des PAC (Pompes à Chaleur) dont le principe est développé dans la 2nde partie.

Le CEI est un concept global de chauffage et un système énergétique à part entière. Il est entièrement tourné vers la performance énergétique globale du système. Le kWh électrique étant plus cher, chaque kWh économisé en exploitation rapporte plus en économie sur la facture du client. L'intérêt d'investir dans la performance est donc plus fort pour le chauffage électrique que pour tous les autres modes de chauffage.

Le fonctionnement technique du système de chauffage électrique et le modèle économique aboutissent à la même conclusion : il faut minimiser le nombre de kWh consommés, la performance énergétique doit donc être maximale. On sait aujourd'hui que la meilleure façon d'optimiser les consommations de chauffage est de raisonner en système. Le CEI a donc été un précurseur dans le domaine car il a été le premier à être conçu comme un système. Les innovations technologiques suscitées par la recherche de performance énergétique pour le chauffage électrique ont bénéficié aux autres modes et énergies de chauffage.

II Zoom sur quelques innovations associées au chauffage électrique

L'essor du chauffage électrique a nécessité de nombreux développements techniques dont nous avons listé les différentes familles plus haut. Parmi elles, la variété des émetteurs de chauffage illustre à elle seule les différentes formes de confort offertes par le chauffage électrique.

A/ Des innovations technologiques issues de partenariats entre les équipementiers et la R&D d'EDF

1/ Des émetteurs de chauffage de nature très variée

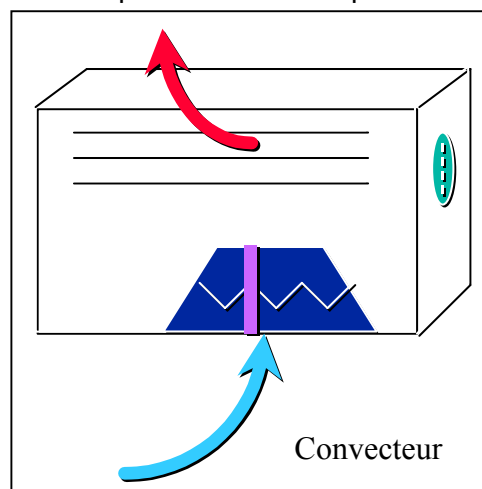
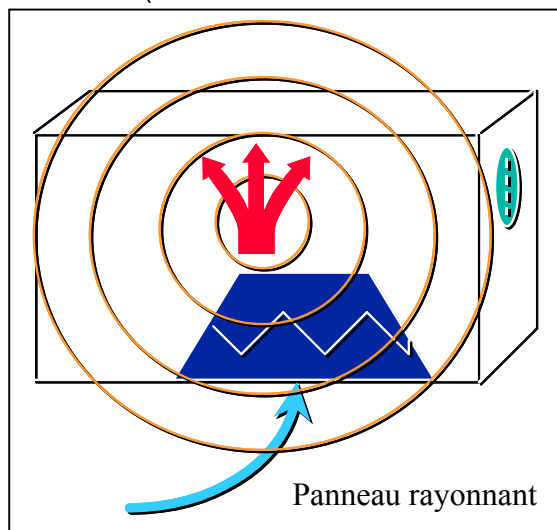
A la différence du gaz ou du fioul, les systèmes de chauffage électrique classiques sont décentralisés. Le chauffage est assuré par des appareils indépendants. L'offre technique se décline sous forme d'un trio dont chaque élément correspond à une sensation de chaleur :

- l'**air** pour les appareils utilisant l'air comme vecteur de chauffage,
- le **soleil** pour les appareils rayonnants,
- la **matière** pour les appareils de type radiateurs (point chaud rayonnant avec de la masse, donc de l'inertie thermique).

Les premiers à s'être développés ont été les **systèmes à air**. Le plus connu et le plus ancien d'entre eux est naturellement le **convecteur électrique**.

Son principe est simple : des résistances électriques, installées dans un caisson métallique partiellement ouvert, permettent de chauffer l'air de la pièce. L'air froid entre par le bas du convecteur, se réchauffe au contact des résistances nues et sort par la partie supérieure. La régulation des résistances est assurée par un thermostat intégré. L'air chaud diffuse dans la pièce par convection naturelle (c'est à dire sans ventilateur). Le mode de transmission principal de la chaleur

(convection) a donné son nom à l'émetteur : *convecteur*.

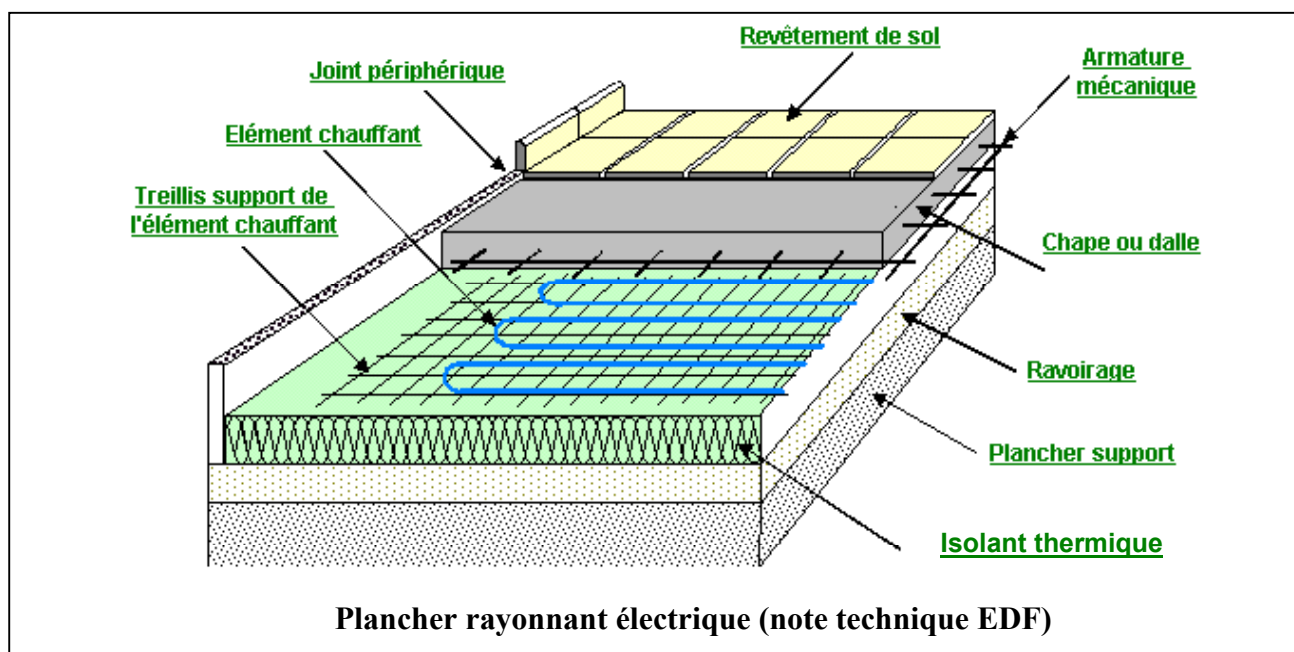


La seconde famille est constituée par les émetteurs rayonnants (d'où la référence au **soleil**). Le plus simple d'entre eux étant le **panneau rayonnant**. Il a été développé après le convecteur. Son principe consiste non pas à réchauffer de l'air qui transite le long de résistances classiques (filiformes), mais à chauffer une résistance en forme de plaque de grande surface qui va « rayonner ». La transmission de la

chaleur sous forme de rayonnement (diffusion à partir d'un point chaud) y est beaucoup plus importante que pour un convecteur classique (sans excéder 30%). Là encore, c'est le mode de transmission de la chaleur favorisé qui a donné son nom à l'émetteur de chauffage.

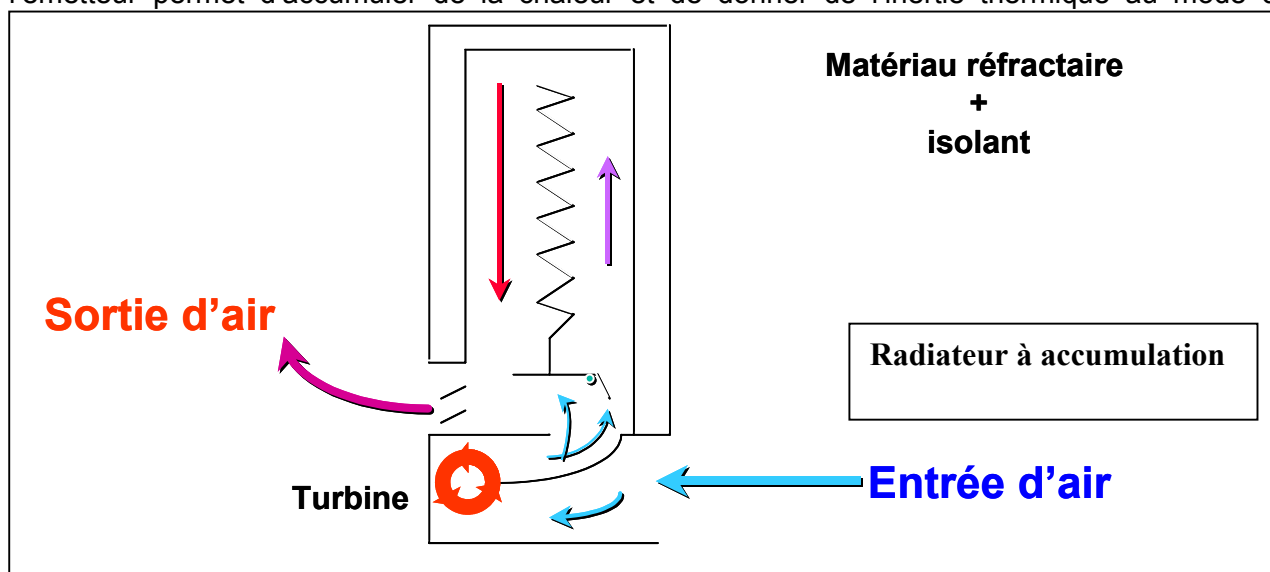
La famille des émetteurs rayonnants est encore plus variée que celle des émetteurs à air car elle a donné naissance aux « **émetteurs intégrés** » au bâti. Il est en effet possible d'intégrer des résistances électriques dans les planchers (câbles noyés dans les dalles) et dans les plafonds (grâce à des films chauffants). Cette génération d'émetteurs constitue une réelle rupture. Elle a permis un confort sensiblement différent car la surface diffusant la chaleur est beaucoup plus grande et les émetteurs sont invisibles puisque intégrés dans les planchers et les murs.

Les planchers chauffants électriques existent depuis longtemps. Si le principe de base n'a pas changé, leur amélioration a été continue. En particulier, des chapes de ciment plus fines



permettent d'envisager aujourd'hui l'installation de tels planchers dans des logements existants. Le chauffage électrique par le sol est aujourd'hui l'un des plus appréciés par les utilisateurs.

La dernière famille fait appel à la « masse », donc à la **matière**. La masse contenue dans l'émetteur permet d'accumuler de la chaleur et de donner de l'inertie thermique au mode de



chauffage. La transmission de chaleur est donc plus régulière et se rapproche du confort assuré par les systèmes centralisés à eau chaude (chaudière + radiateurs). Ce principe a été poussé à l'extrême avec les **radiateurs à accumulation**. Le but est de diminuer la facture du client en assurant son chauffage le jour grâce à des kWh moins chers car consommés la nuit (heures creuses). La nuit, les résistances - noyées dans un matériau réfractaire (ex : briques) - le réchauffent. Le matériau stocke la chaleur. La journée, les résistances ne fonctionnent plus (donc, il n'y a pas de consommation), mais le matériau réfractaire (souvent équipés d'un ventilateur électrique pour accélérer la dissipation) diffuse lentement la chaleur accumulée. Ce mode de chauffage, très doux, est également très apprécié des utilisateurs. Sur le plan économique, il concilie les intérêts du client qui recherche un coût de fonctionnement bas⁶ (réduction de la facture grâce à des consommations de kWh en heure creuse), et ceux de l'industriel car il limite les pointes de consommation liées au chauffage en reportant les consommations sur la nuit.

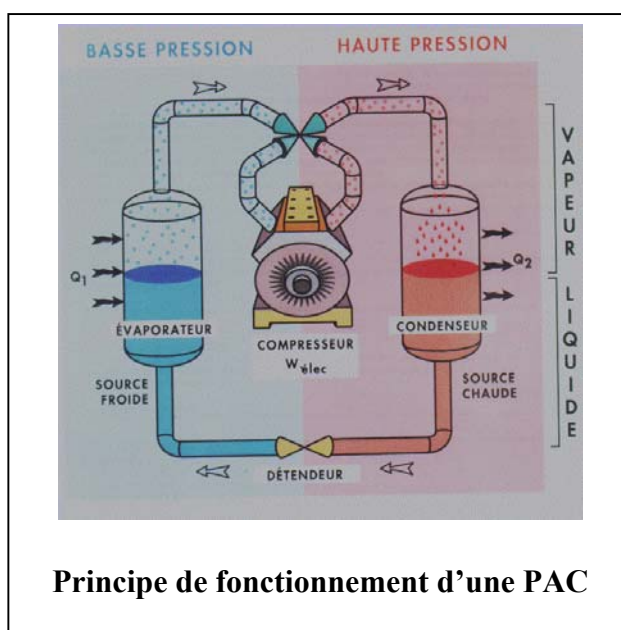
Ces quelques exemples ne donnent qu'un aperçu de la variété des émetteurs de chauffage électrique. Leur développement a été jalonné de nombreux dépôts de brevets. Leurs caractéristiques sont développées en Annexe A.

Parmi eux, il faut accorder une mention particulière aux émetteurs « multi-fonctions » comme les sèche-serviettes qui répondent à des besoins particuliers en associant plusieurs modes de chauffage (convection forcée avec soufflage pour chauffer la pièce pendant les périodes courtes où elle est utilisée, et conduction pour sécher les serviettes entre 2 utilisations).

2/ Un chauffage électrique différent : la Pompe à Chaleur

Les PAC fonctionnent sur un principe radicalement différent de l'effet Joule. Elles permettent d'utiliser l'énergie thermique contenue dans notre environnement. L'air, le sol et l'eau souterraine emmagasinent une grande quantité d'énergie thermique sans cesse renouvelée grâce au rayonnement solaire et aux pluies. En utilisant cette énergie renouvelable et gratuite, les PAC permettent de se chauffer à un coût très économique grâce à un rendement énergétique inégalé (pour 1 kWh d'électricité consommé, on obtient environ 3 kWh de chaleur pour se chauffer).

Le secret du fonctionnement des PAC réside dans leur capacité à prélever de la chaleur dans un environnement froid à l'extérieur en hiver (ce qui le rend encore plus froid) pour la transférer à l'intérieur du logement à chauffer avec des niveaux de température jugés confortables. Cela est rendu possible grâce aux propriétés du fluide frigorigène (qui véhicule froid ou chaleur) circulant entre les capteurs de chaleur situés à l'extérieur du logement et les émetteurs de chaleur situés à l'intérieur du logement. Comme pour un réfrigérateur, c'est lorsque le fluide frigorigène « change de phase » (c'est à dire passe de l'état liquide à l'état gazeux ou l'inverse) qu'il libère ou « prend » de la chaleur. Il faut bien choisir les caractéristiques physiques (température, pression) du fluide pour qu'il soit capable de prélever de la chaleur dans un milieu déjà « frais » (quelques °C en hiver) pour la restituer dans la (les) pièce(s) à réchauffer. Le conditionnement du fluide frigorigène aux niveaux de pression et température adéquats nécessite le travail d'un compresseur électrique assisté d'un circulateur ou d'un ventilateur, d'où les consommations d'électricité.



⁶ En revanche, le coût d'investissement est plus élevé que pour les 2 autres familles d'émetteurs et le calcul en coût global doit être soigneusement fait.

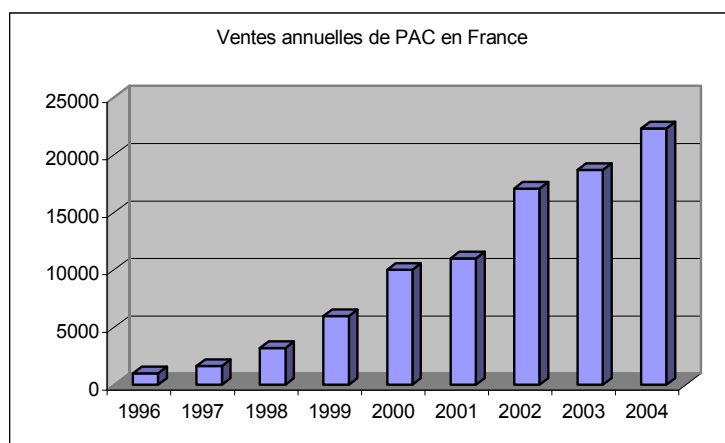
Quand une pompe à chaleur fonctionne « à l'envers », elle permet de prélever du froid dans un milieu chaud (et donc de le réchauffer encore plus) pour le transférer dans une pièce à rafraîchir. La PAC fonctionne alors comme un réfrigérateur, c'est un groupe froid. Les PAC et les groupes froids sont des machines distinctes. Quand une même machine permet de transférer, soit de la chaleur, soit du froid, on dit que c'est une PAC « réversible ».

La génération des PAC actuelles s'est développée à partir de 1997. Depuis, le développement est rapide même si les chiffres de ventes français sont très en deçà de ceux de pays comme la Suisse ou la Suède.

PERCHE : une histoire mouvementée

La première utilisation des PAC découle directement du premier choc pétrolier de 1973-1974. Les premières PAC étaient exclusivement destinées au chauffage. Elles ne pouvaient pas fonctionner lorsque les températures extérieures étaient trop basses. Elles devaient donc être couplées avec une chaudière au gaz ou au fioul. Cette caractéristique a donné son nom au programme, PERCHE (pompe à chaleur en relève de chaudière). Ce dernier connaît un certain succès commercial en raison de la hausse importante du prix des énergies fossiles, notamment du pétrole (entre septembre 1973 et août 1974, le fioul domestique augmente de 188 % contre 22 % pour l'électricité). Mais la qualité n'est pas au rendez-vous. En raison de coûts d'investissement consentis trop faibles et d'une défaillance de la filière d'installation, les contre-performances se multiplient. Le contre-choc pétrolier de 1985, entraînant une chute importante des ventes PERCHE, confirme le déclin du programme. L'histoire de PERCHE a mis en lumière l'importance de la qualité dans la mise en œuvre d'un produit performant. Le produit était techniquement au point, le marché était porteur, mais les performances ne furent pas au rendez-vous. Le retour d'expérience acquis avec PERCHE a montré la nécessité de partenariats performants tout au long de la vie du produit (fabrication, mise en œuvre, maintenance).

Il existe 3 familles de PAC que l'on peut classer en fonction de la nature du milieu auquel elles prélèvent de la chaleur : air, eau et sol. Elles sont décrites en Annexe B.



Pour les logements neufs, les PAC sont le plus souvent couplées à des planchers à eau qui sont donc des « émetteurs intégrés au bâti ». Pour les opérations de rénovation, les PAC viennent se substituer aux chaudières à énergie fossile (le plus souvent fuel) tout en conservant les émetteurs du logement, c'est à dire les radiateurs à eau chaude classique. Le fait de conserver des émetteurs traditionnels oblige les PAC destinées à la rénovation

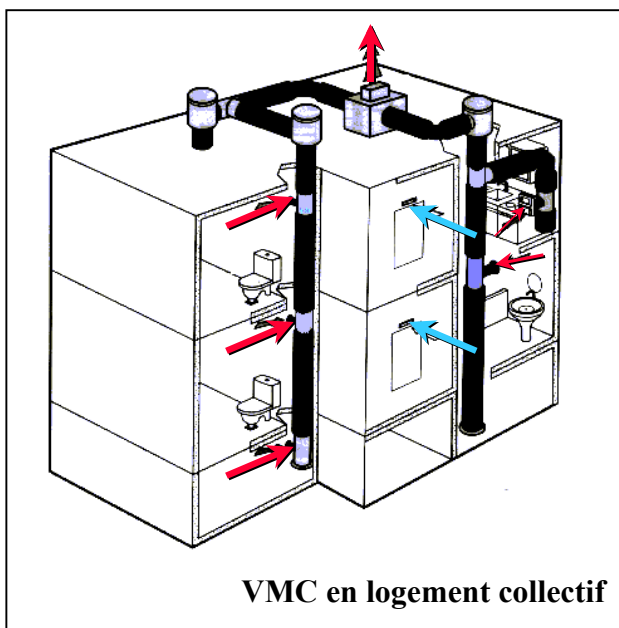
à produire une eau de circulation plus chaude. Il s'agit donc d'une nouvelle génération de PAC dite « PAC haute température » qui permet d'accéder à un marché naissant en France.

3/ D'autres innovations techniques ont accompagné le CEI

Comme nous l'avons vu plus haut, le CEI a nécessité (ou a favorisé) bien d'autres innovations techniques car le concept était inédit. L'isolation thermique des logements n'existait pas, la ventilation était « naturelle », donc non contrôlée. Faute de place dans un document de synthèse, nous ne donnerons qu'un exemple, celui de la VMC : **la Ventilation Mécanique Contrôlée**. C'est probablement l'élément le moins connu du CEI dont il est pourtant une composante essentielle.

Le principe repose sur le contrôle du débit de renouvellement d'air des locaux par un ventilateur centralisé qui rejette l'air intérieur vers l'extérieur à un rythme fixé, et sur l'installation dans les pièces de vie de bouches d'entrée d'air calibrées et conçues de façon à diriger l'air frais entrant vers le plafond des locaux afin qu'il s'y réchauffe avant de pénétrer dans les zones basses où vivent les occupants.

Initialement créée pour éviter les aléas de la ventilation naturelle, la VMC s'est finalement révélée un allié précieux du confort thermique et de l'efficacité énergétique des bâtiments. En effet, avant la VMC, le renouvellement d'air était aléatoire, plus ou moins organisé par des ouvertures pratiquées en façade mais qui, suivant les effets du vent ou de la température extérieure se transformaient parfois en entrées d'air et parfois en bouches d'extraction d'air. En pratique, faute d'un dimensionnement adapté, la ventilation résultait essentiellement des défauts d'étanchéité des façades. En hiver, les occupants vivaient dans les courants d'air froid provenant de ces défauts. En prenant en charge la fonction ventilation, la VMC a permis la construction de bâtiments dont l'enveloppe pouvait être très étanche et dont les ouvertures vers l'extérieur étaient spécifiquement calibrées et conçues pour permettre un juste renouvellement d'air, quelles que soient les conditions climatiques, et sans inconfort pour les occupants.



VMC en logement collectif

Mais en outre, la création de la VMC a ouvert la voie à un nouveau champ technique dans le bâtiment : celui du traitement de l'air intérieur. En maîtrisant la circulation d'air à l'intérieur des locaux, il est devenu imaginable de la gérer et de la traiter au profit du confort et de la performance énergétique. Simple système contrôlé d'extraction d'air au début, la VMC se décline aujourd'hui en une multitude de concepts. Certains modulent le débit d'extraction en fonction d'un critère de qualité d'air intérieur ou d'un critère d'occupation des locaux (ex : humidité). D'autres permettent de récupérer la chaleur contenue dans l'air extrait pour la réinjecter dans l'air entrant. D'autres enfin insèrent une PAC dans le système de ventilation pour préchauffer ou rafraîchir, selon les besoins, l'air neuf pénétrant dans les locaux.

Mais en outre, la création de la VMC a ouvert la voie à un nouveau champ technique dans le bâtiment : celui du traitement de l'air intérieur. En maîtrisant la circulation d'air à l'intérieur des locaux, il est devenu imaginable de la gérer et de la traiter au profit du confort et de la performance énergétique. Simple système contrôlé d'extraction d'air au début, la VMC se décline aujourd'hui en une multitude de concepts. Certains modulent le débit d'extraction en fonction d'un critère de qualité d'air intérieur ou d'un critère d'occupation des locaux (ex : humidité). D'autres permettent de récupérer la chaleur contenue dans l'air extrait pour la réinjecter dans l'air entrant. D'autres enfin insèrent une PAC dans le système de ventilation pour préchauffer ou rafraîchir, selon les besoins, l'air neuf pénétrant dans les locaux.

Allant plus loin dans cette logique d'intégration du traitement de l'air dans la conception énergétique des bâtiments, certains systèmes, dits paroi-dynamiques, associent l'enveloppe et la ventilation : l'air entrant dans les locaux passe d'abord au travers des parois extérieures où il récupère une partie des déperditions de chaleur pour les renvoyer à l'intérieur.

Toutes ces innovations techniques, mises au point dans les trente dernières années, sont des héritières de la VMC. Aujourd'hui, la simple problématique de gestion du renouvellement d'air laisse la place à la question beaucoup plus complexe et globale de la qualité de l'air intérieur. Dans les pays industrialisés, les individus passent plus de 80% de leur temps à l'intérieur d'un bâtiment. La qualité de l'air qu'ils y respirent devient une question sanitaire de première importance. La ventilation, et notamment toutes les déclinaisons possibles de la VMC, sera inévitablement l'outil permettant de respecter ces nouvelles exigences.

B/ Les autres dimensions de l'innovation

Comme l'a montré l'histoire de PERCHE, disposer d'un produit performant est loin d'être suffisant pour assurer sa réussite commerciale. Le développement du chauffage électrique a donc d'abord reposé sur de nombreuses actions non techniques qui n'ont pas été menées avec la même

intensité tout au long de l'histoire du CEI, ce qui explique en partie, comme on le verra dans la 3^{ème} partie, certains déboires commerciaux du chauffage électrique.

1/ Le pari de la qualité passe par la participation active à l'élaboration des normes et réglementations

Comme nous l'avons vu plus haut, EDF ne pouvait (et ne voulait) développer seule les équipements liés au CEI. Les développements effectués par EDF ont donc toujours été des co-développements encadrés par des contrats, et faisant donc l'objet de cahiers des charges. De nombreux brevets témoignent de la forte innovation qui a caractérisé cette période de développement.

Par la suite, les offres EDF seront toujours constituées de produits techniques répondant à des labels de qualité choisis ou définis par l'entreprise de façon à certifier la qualité de l'installation.

EDF participe depuis longtemps à l'élaboration des versions successives de la Réglementation Thermique française qui fixe le niveau de qualité énergétique des logements neufs, et à terme des logements rénovés. L'objectif était double :

- veiller à ce que les performances demandées au bâti soient suffisamment fortes pour que le chauffage électrique ne soit pas installé dans de mauvaises conditions économiques,
- éviter que les équipements du chauffage électrique ne soient défavorisés par rapport aux équipements liés aux autres énergies.

De même, EDF a été active dans la veille sur les normes relatives au confort et aux produits électriques. Elle a même participé directement à l'élaboration des normes de qualité de certains émetteurs dans le but de s'assurer que le niveau de qualité serait suffisant et que les produits électriques ne soient pas défavorisés.

2/ Des partenariats indispensables avec la filière

Si personne ne conteste que EDF est à l'origine du chauffage électrique, il est également évident que l'entreprise n'aurait pu seule mener à bien son développement.

L'aspect « système » du CEI fait que la filière concernée implique des métiers et des acteurs très variés. Assurer tous ces métiers au sein d'une seule entreprise n'était pas possible et n'aurait de toute façon pas été efficace. De plus, le principe de spécialité empêchait EDF d'envisager d'assurer elle-même ne serait-ce qu'une seule des fonctions de la filière du CEI.

L'entreprise a donc développé des partenariats avec 2 grandes familles d'acteurs : naturellement ceux de l'électricité - mais aussi, compte tenu de l'importance forte du bâti dans ce CEI - ceux du bâtiment.

Le principe de spécialité

Le monopole de la commercialisation de l'électricité avait une contrepartie exprimée par le « principe de spécialité » qui interdisait à l'entreprise de commercialiser autre chose que de l'électricité. En clair, EDF ne pouvait ni fabriquer ni vendre des appareils de chauffage électrique, ni les installer ou en assurer la maintenance. Une raison supplémentaire pour EDF de s'associer avec des partenaires pour assurer le développement du CEI.

Nous avons déjà évoqué les partenariats avec les **fabricants d'équipements** (matériels et matériaux). Le développement du CEI a également nécessité des partenariats avec les **prescripteurs** et les **installateurs**.

Les prescripteurs partenaires d'EDF appartiennent le plus souvent au monde du bâtiment (bureaux d'études, promotion et construction immobilière, artisans chauffagistes et plombiers), et à celui de l'électricité (artisans électriciens).

Les promoteurs de la construction neuve sont des prescripteurs pour les opérations pour lesquelles le choix de l'énergie de chauffage n'est pas fait par l'utilisateur.

Les installateurs sont des prescripteurs auprès des utilisateurs qui maîtrisent le choix de leur chauffage, mais également pour l'installation et la maintenance des systèmes. Ils se répartissent entre les 2 mondes : artisans chauffagistes et plombiers, artisans électriciens et climaticiens.

Des réseaux sont animés à l'échelle locale, une coordination nationale est assurée.

Deux types de prescripteurs ont nécessité des partenariats spécifiques :

- les **organismes certificateurs** pour assurer la qualité des produits distribués et éviter que les équipements électriques ne soient défavorisés par les réglementations,
- les **bureaux d'études** réalisant les études préliminaires pour des opérations complexes (tertiaire et logements collectifs) car les outils de dimensionnement de ces nouvelles techniques qu'étaient les techniques du chauffage électrique n'existaient pas. Il a donc fallu les développer.

Toutes ces dimensions partenariales, qui se sont révélées fort complexes (le plaquiste est autant concerné que l'électricien par un plafond rayonnant), ont dû être prises en compte dans les actions de développement du chauffage électrique menées par EDF.

3/ La dimension marketing et commerciale

La naissance du chauffage électrique a plutôt été de type « push », donc, très portée par des innovations techniques. La dimension marketing des offres n'est apparue que plus tard sous le double thème de l'amélioration du confort et de la facture énergétique du client.

Elle a pris une réelle ampleur avec la relance des offres de chauffage électrique en 1991 et l'apparition de la marque Vivrélec en Décembre 1996. Depuis 2003, la marque Vivrélec fédère les offres de confort électrique du marché « grand public » (Habitat neuf et Rénovation).

La première campagne de communication en faveur du chauffage électrique date de 1971. Deux ans plus tard, en pleine crise énergétique, la publicité sur les énergies est interdite. EDF ne recommencera à communiquer sur le chauffage électrique qu'en 1990, à la levée de l'interdiction. Les diverses campagnes ont été axées sur la sérénité apportée par le chauffage électrique (Le bonze, 1990), la variété des aspects du confort électrique (Marie Amélie, 1997, lancement de Vivrélec), puis son faible coût (Le rameur, 2001).

La mobilisation du réseau commercial du marché « grand public » de l'entreprise a été très importante lors de la relance du chauffage électrique en 1996. L'offre recouvrant une quantité variée de produits techniques, les forces commerciales sont réparties en 2 groupes :

- les négociateurs, commerciaux « purs » du marché « grand public » (marché d'affaire et marché diffus),
- soutenus par les EPE (« Experts Produits Electricité », plus spécialisés dans l'aspect technologique des offres et qui interviennent dans les opérations les plus complexes sur le plan technique.

Au delà des réseaux commerciaux, un retour d'expérience est organisé, des mesures sur le terrain sont réalisées pour vérifier la performance réelle des offres. Des témoignages de clients sont recueillis. Ceci permet de présenter des données « terrain » pour montrer factuellement la compétitivité économique et le confort apportés par les nouvelles versions du chauffage électrique. Quelques exemples de réalisations concrètes incluant les coûts de fonctionnement des installations sont donnés en Annexe C.

III 30 ans de chauffage électrique : retour d'expérience et perspectives

Le chauffage électrique a aujourd'hui plus de trente ans, on peut donc effectuer un bilan et tenter de dégager quelques perspectives.

A/ De l'essor aux premières difficultés

1/ 1973 – 1982 : le CEI était là au « bon moment ».

En 1971, dans le cadre de la recherche de nouveaux usages de l'électricité, les équipes de EDF R&D inventent le concept du CEI. C'est à l'origine, un concept « très technique » (certains diront « un produit d'ingénieur ») basé sur les 4 points déjà cités :

- des convecteurs électriques, émetteurs de chauffage à rendement énergétique élevé (95%),
- l'isolation thermique du bâti,
- la gestion spatio-temporelle du chauffage,
- un système de renouvellement d'air contrôlé.

Dans un premier temps, les 2 premiers points sont prépondérants. C'est la première fois en France qu'il est proposé d'isoler des logements (toiture 15 cm, murs 7,5 cm, sols 4 cm). A cette époque, l'industrie de l'isolation thermique n'existe pratiquement pas dans notre pays.

Le vrai décollage du CEI date cependant de 1973. Le succès est rapide. Plusieurs points expliquent ce décollage intensif :

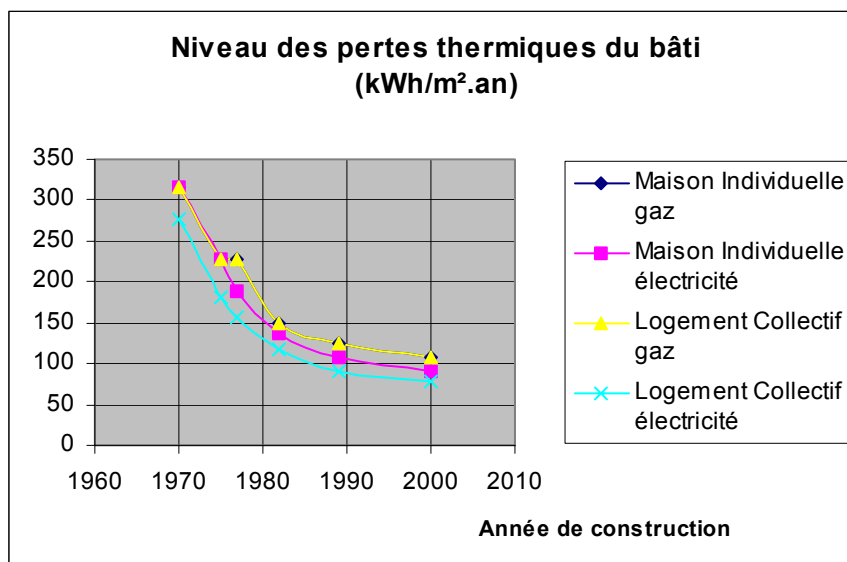
- le CEI est un concept surtout destiné aux logements neufs, et on est à l'aube d'une croissance très forte de la construction neuve en France. En 1973, il n'y avait que 17,3 millions de résidences principales contre près de 25 millions en 2005.
- c'est un système de chauffage souple et simple à utiliser. Il paraît très moderne à une époque où 46% des 17,3 millions de résidences principales n'avaient pas de système de chauffage organisé (et où celles qui en bénéficiaient utilisaient uniquement un chauffage collectif approximatif). De plus, le chauffage était à base d'énergies fossiles peu faciles à « manier » avec les équipements de l'époque : le fioul, le charbon et le bois. Le fioul était l'énergie la plus répandue en logement neuf.
- enfin, à partir du 6 octobre 1973, le premier choc pétrolier a changé le contexte énergétique et économique en créant la première contrainte forte sur les énergies fossiles, donc, sur le chauffage des logements. Le recours à l'énergie électrique pour le chauffage devenait encore plus économique d'autant que le CEI était à l'époque le seul concept de chauffage basé sur la performance énergétique. Cela lui conférait un atout supplémentaire dans un contexte où aucune performance énergétique minimale n'était obligatoire, mais où les autorités s'apprêtaient à lancer une première réglementation thermique (logements neufs : 1974, 1^{ère} étape de la RT ⁷).

De plus, l'implication d'EDF est conséquente, avec en particulier la mobilisation du réseau des « ATA », Assistance Technique sur les Applications (de l'électricité).

Pourtant, comme nous l'avons vu plus haut, les pouvoirs publics ne seront pas toujours favorables à l'essor du chauffage électrique. Cette opposition se traduira, entre autres, dans les diverses

⁷ La première « réglementation thermique » (RT) apparaît en 1974 au lendemain du premier choc pétrolier. Elle impose aux logements neufs un minimum d'isolation thermique afin de limiter le besoin énergétique en chauffage, d'où son nom de « réglementation thermique ». Par la suite, elle s'élargira à d'autres usages que celui du chauffage et aux bâtiments non résidentiels avec des versions successives (1976, 1982, 1988, 2000, 2005). Mais elle continue à ne s'appliquer qu'aux bâtiments neufs jusqu'à aujourd'hui puisque la première obligation faite aux logements existants en France sera l'affichage des consommations fin 2005.

évolutions de la RT dont les exigences de performance pour le chauffage électrique, en particulier pour l'isolation thermique des bâtis associés, seront toujours plus fortes pour l'électricité que pour les autres énergies. Le schéma ci-dessous montre l'évolution des exigences de la RT en matière d'isolation thermique des logements neufs : les pertes thermiques maximales autorisées aux logements chauffés à l'électricité sont toujours plus faibles que pour les logements chauffés au gaz.



2/ 1982 – 1989 : relâchement du suivi par EDF de la qualité des installations de CEI et début des problèmes liés aux logements existants.

Le CEI a été lancé à un moment où aucune réglementation thermique n'était imposée au secteur du bâtiment. Pour que le chauffage électrique puisse correctement fonctionner, EDF a donc dû développer ses propres règles de qualité incluant une exigence de performance thermique. Une sorte de « labellisation » avant l'heure.

En 1982, les exigences d'EDF sont reprises dans la réglementation thermique (2nde étape de la RT qui n'est cependant toujours applicable qu'aux seuls bâtiments neufs). Tous les logements neufs doivent donc avoir un niveau de performance que seul jusqu'ici EDF préconisait, le suivi commercial d'EDF devient moins intensif.

Pourtant, jusqu'en 1989, les incitations des pouvoirs publics à faire mieux que la RT sont fortes (programme HEE 85, labels HPE), et EDF les soutient. Le niveau de performance des chauffages électriques continue donc de progresser. Mais le relais réglementaire supposé de la RT continue à inciter au relâchement du suivi d'EDF. Ce « relâchement » s'explique également par le fait que le CEI est un produit qui se place très bien à cette période (70% des installations neuves dans un flux de construction d'environ 300 000 logements/an en moyenne) et que la RT continue d'exiger que les installations de chauffage électrique soient plus performantes que celles utilisant des énergies fossiles.

Mais les exigences de la RT ne concernent toujours que les logements neufs, or, à cette époque, un grand nombre de résidences anciennes s'équipent de systèmes de chauffage organisés. Durant cette période, il y a eu autant de placements du chauffage électrique dans le neuf que dans l'existant.

Du fait de la faiblesse du coût d'investissement lié aux convecteurs électriques, beaucoup s'équipent de chauffage électrique, mais sans adapter le bâtiment à ce mode de chauffage (c'est à dire sans isolation thermique). Ce mouvement est particulièrement net dans le secteur du locatif

privé où les coûts d'investissement et de fonctionnement ne sont pas supportés par les mêmes acteurs. Les propriétaires qui font les travaux négligent la partie élevée de l'investissement que représente l'isolation thermique et laissent les futurs locataires assumer les coûts d'exploitation élevés qui en découlent. Les premiers utilisateurs mécontents de leur facture de chauffage électrique apparaissent. Parallèlement, des problèmes de qualité apparaissent sur les convecteurs. La structure de l'offre a en effet beaucoup évolué depuis les débuts du CEI :

- en 1975, il y avait une dynamique d'innovation forte et 38 constructeurs de convecteurs existaient. De nombreux brevets ont été déposés.
- en 1989, les produits sont techniquement matures, on est dans une phase de guerre des prix et seulement 3 groupes industriels subsistent.

3/ 1989 – 1995 : la qualité des CEI n'est plus contrôlée, le différentiel de coût gaz-électricité augmente, le marché du CE se dégrade.

Dans le neuf comme dans l'existant, il n'y a plus de contrôle de la qualité du CEI par EDF. Le CEI devient un simple « CE ». Dans le même temps, le prix du gaz et du fioul a baissé de près de 30% par rapport à 1985. Le différentiel de coût « fossile-électricité » devient très favorable au fioul et au gaz. Allié à la mauvaise isolation thermique de certains logements chauffés à l'électricité, la relative cherté du kWh électrique dégrade encore la performance économique du chauffage électrique.

Les contre références se multiplient. L'image du CE devient mauvaise en termes de performance (énergétique et économique) et de confort. Les parts de marché du chauffage électrique dans la construction neuve se dégradent dès 1987.

La chute a été rapide. Les anciens locataires qui accèdent à la propriété et qui ont connu le chauffage électrique précédemment n'en veulent surtout pas. La réglementation thermique n'est plus suffisamment exigeante pour le chauffage électrique pour compenser la différence de coût entre l'électricité et le gaz. Avec un prix des énergies fossiles aussi bas, il faudrait un niveau plus élevé d'exigence pour respecter l'équation économique du chauffage électrique.

Dans l'existant, le placement de chauffages électriques de mauvaise qualité continue sa progression et EDF n'a pas de label permettant de l'encadrer.

B/ Après 1995 : un nouveau souffle grâce à « Vivrélec »

1/ Les premières offres

L'entreprise décide, non seulement de ne pas abandonner le marché du chauffage électrique, mais de reconquérir la première place dans les énergies de chauffage du logement neuf et de limiter les conversions de CE en chauffage gaz dans l'existant.

Le début de la réaction vise le marché de la rénovation sur lequel EDF entreprend l'accompagnement de programmes de rénovation de chauffage à l'aide du label « rénovation ».

Mais la reprise en main du marché décidée par l'entreprise ne devient visible qu'en 1996 avec l'arrivée de l'offre EDF "Vivrélec" destinée au logement neuf. En 1998 l'offre "Rénovation", adaptée à la rénovation des chauffages électriques vient la compléter.

L'offre Vivrélec est voulue comme une offre globale essentiellement technique :

- bâti et VMC,
- émetteurs,
- régulation,
- conseil.

Le niveau de performance de l'isolation thermique du bâti permettant de bénéficier des offres Vivrélec et des labels associés devient de nouveau supérieur aux exigences de la RT en vigueur à l'époque (et qui date de 1989). Vivrélec se décline en 3 niveaux de performance du bâti : avec des pertes thermiques inférieures aux exigences de la RT de -10%, -15% et -20%. La meilleure isolation thermique des bâtiments chauffés à l'électricité permet de diminuer les consommations et d'équilibrer le différentiel de coût unitaire entre l'électricité et le gaz. Des aides à l'investissement sont proposées par EDF aux utilisateurs et aux prescripteurs. Toujours dans l'optique d'améliorer la performance du CE par rapport aux autres énergies, leur montant augmente avec le niveau de performance du bâti choisi. La promotion commerciale de Vivrélec devient intense. La revalorisation de l'image du chauffage électrique est une priorité de l'entreprise.

Sur le plan du confort, l'offre technique liée au chauffage électrique a considérablement évolué depuis 1971. Les émetteurs sont passés des convecteurs aux panneaux rayonnants, puis aux radiateurs électriques à accumulation ou à fluide caloporteur. Les planchers chauffants sont moins épais, donc moins inertes et mieux régulés donc, plus confortables. Les films chauffants ont permis d'intégrer les émetteurs aux plafonds. Aujourd'hui, les Pompes à Chaleur nouvelle génération allient de faibles coûts de fonctionnement au confort associé aux émetteurs à vecteur eau (planchers et radiateurs). Vivrélec reflète cette évolution et propose 3 gammes d'émetteurs : convecteurs et panneaux rayonnants, émetteurs électriques intégrés au bâti, Pompes à Chaleur réversibles assurant un confort actif 4 saisons (chauffage et climatisation) avec des performances énergétiques élevées

La gamme a évolué en partie sous l'impulsion d'EDF. Des partenariats de développement technique ont été construits avec des constructeurs pour que l'offre se diversifie et monte en gamme. Une action continue a été menée sur le plan de la normalisation et de la certification pour que l'offre technique recommandée par EDF soit de qualité.

Pour mener à bien son programme de relance commerciale du CEI, EDF a ré-intensifié les partenariats avec les acteurs de la « filière chauffage électrique ». Outre les constructeurs et la participation aux actions de normalisation-certification, EDF a ré-actualisé :

- les contrats avec les constructeurs de logements neufs (en particulier les C-Mistes (Constructeurs de Maisons individuelles), les promoteurs et les bailleurs de logements sociaux),
- la collaboration avec les installateurs : chauffagistes, climaticiens et électriciens.

Des opérations de démonstration ont été menées, un fichier de références a été constitué, les premiers clients satisfaits témoignent.

La mobilisation de l'entreprise est générale : les forces commerciales sont naturellement en première ligne et la R&D en soutien immédiat, mais les personnels non immédiatement concernés par les actions commerciales sont également sensibilisés pour devenir des « ambassadeurs » du « nouveau chauffage électrique ».

Entre 1999 et 2000, la chute du chauffage électrique dans les logements neufs est stoppée. En 2001, EDF peut de nouveau afficher des références positives sur le chauffage électrique. 54 % des logements neufs sont équipés en CEI, 48 % (140 000) le sont dans le cadre de l'offre Vivrélec. Les prescripteurs sont de nouveau convaincus de l'intérêt de l'offre, le terrain est donc prêt pour que l'image du chauffage électrique puisse de nouveau s'améliorer dans le grand public.

Depuis 1998, l'offre Vivrélec se décline aussi dans une version « existant » et s'adresse aux clients désireux de rénover leur chauffage électrique, et ce, dans un sens très élargi : les 4 composants du CEI, mais également l'eau chaude sanitaire, la ventilation et le réseau électrique intérieur. En 2000, 50 000 opérations de rénovation ont ainsi été réalisées.

2/ La situation actuelle

Les offres ont connu plusieurs évolutions sur la période pour aboutir en 2003 à une marque unique « Vivrélec » sous laquelle sont désormais déclinées les offres grand public « Vivrélec neuf » et « Vivrélec rénovation ». L'objectif n'est plus uniquement la promotion du chauffage électrique, mais le confort électrique dans son ensemble. Le « placement » du chauffage électrique est moins une priorité que la fidélisation des clients résidentiels à EDF dans la perspective de l'ouverture des marchés aux particuliers. L'accompagnement commercial évolue également :

- le conseil se renforce : diagnostic, aide à l'estimation des consommations, site « Ma Maison », diagnostic personnalisé par téléphone,
- le financement se transforme : les primes commerciales sont moins directes et évoluent vers la proposition de prêts bonifiés,
- la visite anniversaire vient compléter le dispositif : bilan au bout d'un an de fonctionnement,
- la relation clientèle se modernise : relevés, modes de paiement, gestion via Internet.

Face au renouveau commercial du chauffage électrique, les offres concurrentes doivent améliorer leur performance, d'autant plus que le contexte réglementaire a de nouveau évolué, et que depuis 2000, la RT rejoint les exigences de l'offre Vivrélec en matière de performance thermique du bâti⁸.

Fin 2002, Gaz de France lance la marque « Dolce vita » pour fédérer ses offres grand public. Gaz de France propose des solutions personnalisées pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et la cuisson, dans le neuf et l'existant. La gamme de services associés est proche des déclinaisons de Vivrélec (du conseil au financement). Les partenariats associés concernent la promotion immobilière et la filière des chauffagistes. La structure des offres est donc très proche de la philosophie « Vivrélec ».

C/ Demain : de nouveaux enjeux à satisfaire

L'offre Vivrélec va continuer d'évoluer avec en toile de fond un double contexte :

- sur le plan commercial avec l'ouverture à la concurrence du marché des particuliers, qui en France est prévue pour le 1^{er} Juillet 2007.
- sur le plan énergétique avec le renforcement de la prise en compte et des politiques de Maîtrise de la Demande en Energie (MDE).

L'ouverture à la concurrence a un double impact sur l'évolution des offres Vivrélec :

- la concurrence se déplace des « autres » énergies vers les autres « fournisseurs d'énergie ». L'objectif de fidélisation des clients à la marque EDF se renforce.
- EDF n'est plus le seul bénéficiaire des retombées en consommation d'électricité du renouveau du chauffage électrique. Il ne peut donc plus supporter seul les développements commerciaux associés. L'ensemble de la filière doit investir le sujet si l'on souhaite que l'effort continue avec la même intensité.

Ces évolutions nationales se déroulent sur fond de contexte énergétique européen et mondial en pleine mutation.

La politique énergétique européenne est basée sur les deux axes que sont l'indépendance énergétique de l'Europe et la prévention du changement climatique. Le secteur des bâtiments, en particulier celui du logement, est appelé à jouer un rôle primordial dans les politiques énergétiques associées.

⁸ L'offre Vivrélec ne présente donc plus de surcoût à l'investissement sur le bâti par rapport aux autres énergies de chauffage. En revanche, les installations de chauffage réalisées « hors Vivrélec » - qu'elles soient électriques ou au gaz - doivent améliorer leur niveau de performance. Pour encourager les professionnels et les clients à investir dans des chauffages électriques « Vivrélec » de nouveau associés à des bâtis plus performants que les exigences de la RT, EDF propose des solutions de financement aux utilisateurs. Leur niveau est lié à la performance énergétique du système.

Le secteur des bâtiments est le premier consommateur d'énergie finale en Europe (40%). Toujours à l'échelle de l'Europe, c'est également le premier⁹ émetteur de Gaz à Effet de Serre (GES) : 35%¹⁰.

Mais les bâtiments sont également le secteur qui recèle les volumes d'économies d'énergie les plus importants et les plus accessibles à moyen terme. La généralisation des techniques de chauffage performantes permettrait par exemple de diviser par 2 les consommations de chauffage du parc de logements français.

Les freins restent cependant très nombreux (accessibilité économique, filières professionnelles adaptées). La R&D associée doit donc être consacrée à lever ces freins, et plus spécialement pour la rénovation du parc de bâtiments existants. Les bâtiments – en particulier les logements – présentent la caractéristique d'un renouvellement très lent (< 1%/an). L'essentiel de l'effort d'amélioration des performances énergétiques du parc de logement doit donc être réalisé via la rénovation des bâtiments existants.

C'est l'objet de plusieurs initiatives publiques (programme de R&D pluriannuel « Prebat » consacré à l'efficacité énergétique dans les bâtiments), privées (Comité Isolons la terre) et mixtes (Fondation « Bâtiments et énergie »¹¹). L'expérience acquise depuis 30 ans par EDF sur l'efficacité énergétique dans les bâtiments – en raison des recherches dédiées à la promotion du CEI – lui permet de participer à plusieurs de ces programmes et de s'assurer une place importante parmi les acteurs de l'efficacité énergétique. A l'échelle européenne, EDF participe à la « European Construction Technology Platform », organe de réflexion et de promotion des actes de R&D prioritaires pour le secteur de la construction. Le thème de l'efficacité énergétique dans les bâtiments y est un thème important soutenu par EDF.

Le bâtiment peut participer de plusieurs façons à l'effort de maîtrise des consommations d'énergie et à celui de réduction des émissions de CO₂ :

- au stade de l'énergie utile en améliorant l'isolation thermique des bâtiments.
- au stade de l'énergie finale, en intégrant des équipements énergétiques efficaces,
- au stade de l'énergie primaire en produisant des Energies renouvelables sur site en particulier via son bâti (solaire thermique et photovoltaïque).

Pour les techniques du confort électrique, ces 3 niveaux ont également un impact :

- toute amélioration de l'isolation thermique du bâti favorise la rentabilité économique du chauffage électrique. Poussée à l'extrême dans les maisons « passives », la baisse des besoins de chauffage conduit à l'utilisation d'effet Joule (intégré ou pas au bâti) - et de Pompes à Chaleur - préchauffant l'air destiné au renouvellement d'air.
- au stade de la conversion « énergie finale/énergie utile », la technique électrique affichent les meilleurs rendements aujourd'hui disponibles, avec en particulier, la famille des Pompes à Chaleur. De plus, les PAC sont une des techniques possédant le plus fort potentiel d'amélioration de rendement.
- enfin, l'effet Joule reste souvent le complément idéal¹² des EnR (Énergies Renouvelables) locales, en particulier pour la production d'ECS solaire.

⁹ En France, le classement est différent en raison du poids de l'électricité dans les consommations des bâtiments. L'électricité étant d'origine majoritairement nucléaire, donc, à faible teneur en CO₂, ce sont les transports qui arrivent en tête pour le émissions de GES. En revanche, le classement est le même pour les consommations d'énergie : le bâtiment arrive en tête en France et en Europe.

¹⁰ Si les émissions des filières de production d'énergies sont imputées aux secteurs consommateurs. Dans le cas contraire, c'est la production d'énergie qui est le premier secteur émetteur européen. Le poids des bâtiments est de 35% des GES si l'on ne compte que l'impact direct (construction, durée de vie, démolition), et environ 50% si l'on inclut l'impact des matériaux.

¹¹ EDF est, avec Gaz de France, l'une des 4 entreprises-fondatrices.

¹² Souplesse d'utilisation et rapport investissement/consommations à fournir favorable.

Les techniques du confort électrique ont donc toute leur place dans un avenir énergétique efficace.

Conclusion

Bien qu'une telle affirmation sonne aujourd'hui comme une évidence, l'histoire du CEI illustre combien la réussite d'une innovation ne dépend pas uniquement de la qualité de l'idée initiale. L'adéquation au contexte du moment et la pertinence de l'accompagnement commercial au sens large sont également des conditions nécessaires de réussite.

Le développement du CEI n'a pas échappé à cette règle. Ce point a même été renforcé en raison des spécificités de l'électricité – qui est un produit industriel particulier – et de celles de la filière électrique, dont les acteurs sont nombreux et variés. De plus, l'impossibilité faite à EDF d'agir directement sur le plan commercial, a amené l'entreprise à développer des solutions très complètes autour de la promotion du chauffage électrique. Au centre de ces dispositifs, on retiendra le rôle clé des partenariats, dont la réussite est probablement le premier facteur de succès.

Aujourd'hui, la MDE (Maîtrise de la Demande en Energie) re-devient - mais pour des raisons différentes de celles des années 1970 - une composante incontournable du paysage énergétique. La connaissance de la consommation d'énergie et des acteurs qui y sont associés est alors un atout pour la réussite des politiques énergétiques et celle des entreprises concernées. L'histoire du CEI a donné un aperçu de la complexité de la demande en énergie. Comprendre les conditions de ses succès et de ses échecs permettra de mieux appréhender les défis qui nous attendent à court terme en matière d'efficacité énergétique.



Ce document a été réalisé conjointement par :

Jean Fretellière – professeur de Sciences économiques et sociales. jean.fretelliere@wanadoo.fr

Thierry Duforestel – EDF R&D

Marie Hélène Laurent – EDF R&D

Avec l'aide de Michel Gonord – EDF Branche Commerce

Bibliographie et contacts

- Histoire du chauffage électrique – Relations Elec - Août 2001
- Dossier Vivrélec Habitat neuf - Direct Résidentiel - Mars 2005
- Dossier Vivrélec Rénovation : Quoi de neuf ? - Direct Résidentiel – Janvier 2004
- Les évolutions du prêt Vivrélec Habitat neuf (PVHN) - Direct Résidentiel – Avril 2003
- Dossier Le confort par la rénovation - Direct Résidentiel – Février 2003
- La saga Vivrélec - Direct Résidentiel – Octobre 2002
- Vivrélec 1997 – 2001 : une progression tout en douceur - Direct Résidentiel - Octobre 2002
- L'offre Vivrélec : Bilan à la fin 1999 - Direct Résidentiel - 2000
- L'offre Vivrélec : Bilan à la mi 1998 - Direct Résidentiel - Mars 2005
- Plaquettes commerciales EDF disponible sur edf.fr
 - fiche nationale EDF « Améliorez le confort de votre logement avec les conseils et services Vivrélec Rénovation »
 - conseil confort Vivrélec « Accroître son confort et diminuer sa consommation d'énergie »
 - Vivrélec « Découvrez une réalisation concrète »

Institut de l'entreprise : www.institut-entreprise.fr

EDF : www.edf.fr

EDF-R&D : www.retd.edf.fr

Direct Résidentiel www.direct-residentiel.com

Annexes

Annexe A : Les 3 familles d'émetteurs : Air, Eau, Matière

La sensation air

Type d'appareil	Fonction Climatisation	Discrétion de l'émetteur	Entretien	Utilisation conseillée	Complément d'information
Soufflant pour salle de bains	Non	Apparent	Réduit	Salle de bains	Peut sécher les serviettes
Convecteur	Non	Apparent	Réduit	Pièce de volume moyen	Nombreux formats et dimensions
Split/multisplit	Oui	Apparent	Annuel	Split : pour une pièce, multisplits : pour plusieurs	Filtration de l'air
Ventilo-convecteur	Oui	Apparent	Annuel	Toutes les pièces	Filtration de l'air
Système centralisé à air	Oui	Discret	Annuel	Toutes les pièces	Filtration de l'air

La sensation soleil

Type d'appareil	Fonction Climatisation	Discrétion de l'émetteur	Entretien	Utilisation conseillée	Complément d'information
Panneau rayonnant	Non	Apparent	Réduit	Toutes les pièces	Nombreux formats, dimensions et matériaux différents
Plancher rayonnant électrique	Non	Invisible	Inutile	Toutes les pièces	Douceur du contact au sol
Plafond rayonnant	Non	Invisible	Inutile	Pièces de jour	Permet d'atteindre rapidement le confort souhaité
Plancher chauffant/rafraîchissant	Oui	Invisible	Annuel	Toutes les pièces	Douceur du contact au sol

La sensation matière

Type d'appareil	Fonction Climatisation	Discrétion de l'émetteur	Entretien	Utilisation conseillée	Complément d'information
Radiateur électrique à fluide caloporteur	Non	Apparent	Réduit	Pièces de jour	Nombreux formats, dimensions et matériaux différents
Radiateur sèche serviettes	Non	Apparent	Réduit	Salle de bains, cuisine	Nombreux formats, dimensions et coloris différents
Radiateur à accumulation	Non	Apparent	Réduit	Pièces de jour	

Annexe B : Les 3 familles de PAC : capteurs air, eau, sol

3 types de capteurs de chaleur, installés à l'extérieur du logement permettent de récupérer de l'énergie thermique dans l'environnement du logement.

- Récupération de la chaleur dans l'air extérieur

La PAC prélève la chaleur dans l'air extérieur et la transfère à un niveau de température plus élevé dans l'air ambiant du logement ou dans le circuit d'eau chaude de l'installation de chauffage. Suivant les modèles, la pompe à chaleur peut être installée à l'intérieur ou à l'extérieur de l'habitation. Un appoint électrique est généralement prévu au moment de l'installation pour fournir un complément de chauffage à la PAC. Cette solution est simple à mettre en œuvre.

- Récupération de la chaleur dans le sol à l'aide :

- Soit d'un capteur horizontal composé d'un réseau de tubes enterré dans le sol à faible profondeur (de 0.6m à 1.2m). Pour cela, le client doit disposer d'une surface de terrain d'environ 1.5 fois la surface à chauffer sur laquelle aucune plantation avec des racines profondes ne pourra être réalisée.
- Soit d'un capteur vertical composé de sondes qui peuvent atteindre une profondeur d'environ 100 mètres. En effet, en France, il est interdit d'aller plus loin. Par ailleurs, l'installation des sondes verticales est soumise, selon la région, à déclaration ou à autorisation préalables

La PAC prélève la chaleur dans le sol et la transfère à un niveau de température plus élevé dans le circuit d'eau chaude de l'installation du chauffage. Elle s'installe généralement à l'intérieur de l'habitation (cave, buanderie, garage). Très performant, cet appareil peut chauffer l'ensemble du logement.

- Récupération de la chaleur dans l'eau d'une nappe phréatique, un lac ou un cours d'eau.

La PAC prélève la chaleur dans l'eau et la transfère à un niveau de température plus élevé dans le circuit d'eau chaude de l'installation de chauffage. Comme dans le cas précédent, elle s'installe généralement à l'intérieur du logement dont elle peut chauffer l'ensemble de la surface.

o o o

5 types d'émetteurs de chaleur, installés à l'intérieur du logement peuvent être couplés avec une PAC :

- **des planchers chauffants** à circulation d'eau (et rafraîchissants si la PAC est réversible). C'est le système le plus courant en habitat individuel neuf.
- **un système centralisé de distribution d'air.**
- **des splits** (multisplit) qui fonctionnent également sur le principe du vecteur air,
- **des ventilo-convecteurs** qui vont aussi diffuser de l'air chaud ou frais dans les pièces,
- **des radiateurs à eau chaude traditionnels** dans le cas de la substitution d'une chaudière à énergie fossile par une PAC haute température (rénovation).

Annexe C : Quelques exemples de réalisations

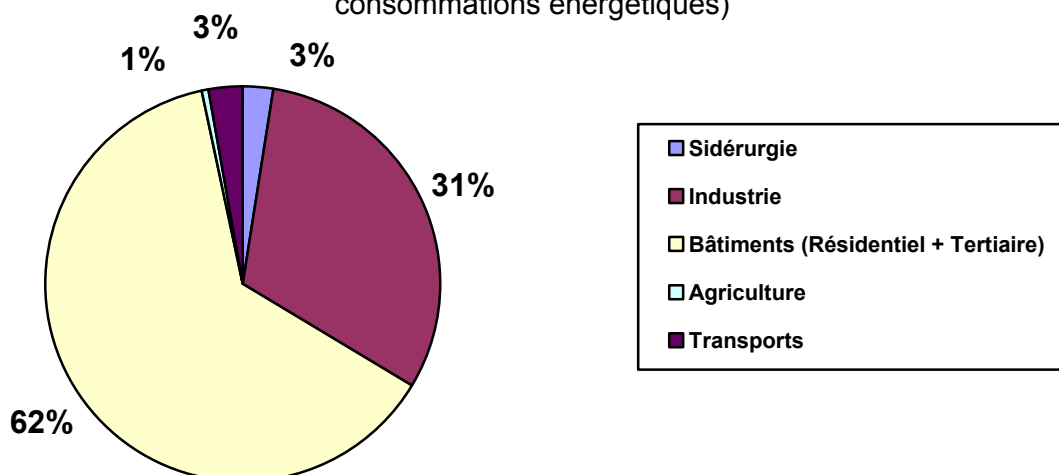
Les cinq cas présentés ici, sous forme d'un tableau, proviennent de fiches techniques élaborées par l'entreprise EDF grâce à des enquêtes auprès de ménages. Les logements décrits sont tous ici des maisons individuelles construites entre 2000 et 2002.

Département	Surface en m ²	Nombre d'occupants	Solution de chauffage	Coût annuel du chauffage hors abonnement	Dépense annuelle totale d'électricité
Ain	104	4	Plancher rayonnant électrique dans les pièces de jour. Panneaux rayonnants dans les chambres. Sèche- serviettes en complément dans la salle de bain	546 €	1190 €
Bouches du Rhône	104	4	Plancher chauffant rafraîchissant alimenté par une pompe à chaleur réversible air/eau Sèche- serviettes en complément dans la salle de bain	269 €	1428 €
Charente-Maritime	110	3	Plancher rayonnant électrique dans les pièces de jour. Panneaux rayonnants dans les chambres. Sèche- serviettes en complément dans la salle de bain	524 €	1198 €
Corrèze	106	2	Plancher rayonnant électrique dans toutes les pièces	467 €	1293 €
Indre-et-Loire	106	4	Panneaux rayonnants électriques dans le salon / séjour. Convecteurs dans les autres pièces.	529 €	1211 €

Annexe D : Consommations d'électricité en France

Consommations nationales d'électricité : 408 TWh en 2002

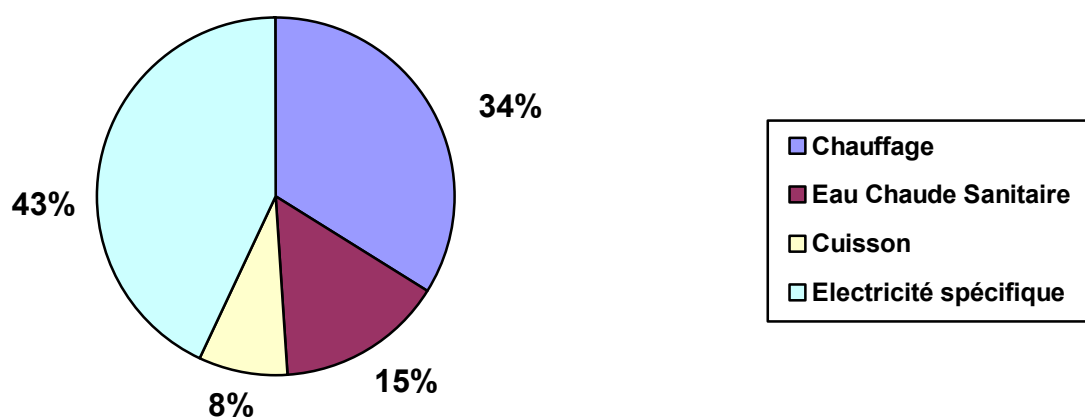
(source : Observatoire de l'énergie - données corrigées du climat - hors consommations énergétiques)



Consommations nationales d'électricité du secteur Résidentiel :

130 TWh en 2002

(source : CEREN - données corrigées du climat)



Annexe E : Utilisation pédagogique

Ce dossier peut servir d' « exemple » de travail personnel encadré (T.P.E.) Histoire Géographie / Sciences économiques et sociales. (S.E.S.). Il est aussi possible de l'utiliser -au moins partiellement – pour travailler la question de l'innovation. en S.E.S. Ce thème se retrouve dans les programmes des 3 niveaux où cette matière est enseignée.

En classe de Seconde il est évoqué à propos des « gains de productivité dans l'entreprise ».

En Première, il est intégrée dans le cadre de l'étude de « La stratégie des entreprises »..

En Terminale, il apparaît 2 fois.

- Au début du programme, c'est une notion « essentielle » du chapitre : « Accumulation du capital, progrès technique et croissance ».

- Vers la fin, le concept de « différenciation des produits » constitue également une notion « essentielle » du chapitre « Stratégies internationales des entreprises ».

Le travail pédagogique qui suit comporte un certain nombre de questions précises sur une partie du dossier puis une question de synthèse. On peut les poser à partir de la Seconde. Pour les plus difficiles, le niveau conseillé est indiqué entre parenthèses.

Questions ponctuelles sur le texte

Titre

Donnez la signification des termes « invention » et « innovation »

Il ne faut pas les confondre.

- L'invention c'est la découverte de quelque chose de nouveau, le feu ainsi fut une des premières grandes inventions de l'homme.

- L'innovation correspond à l'utilisation de cette invention : il a permis à nos ancêtres de se réchauffer, de cuire leurs aliments et d'éloigner les bêtes féroces

De même, si le principe de l'électricité a été découvert au seizième siècle, il faut attendre la fin du dix-neuvième pour qu'elle éclaire les rues ou les bâtiments et les années 1970 pour qu'elle chauffe les logements

Introduction

1 Précisez la différence entre un chauffage de type « organisé » et un chauffage de type « réparti »

Chauffage de type « organisé » : une chaudière alimente des radiateurs dispersés dans le ou les logements ; d'où le concept de « chauffage central »

Chauffage de type « réparti » : chaque pièce possède un équipement indépendant.

2 Quelles sont les matières premières utilisées pour le chauffage dans l'immédiat après-guerre et actuellement ?

Bois (pour les cheminées), charbon (pour les poêles) durant la première période. Aujourd'hui, on utilise essentiellement le gaz, l'électricité et le fuel. Le bois intervient le plus souvent en complément d'une autre énergie. En revanche, le charbon a pratiquement disparu.

3 Comment peut-on expliquer - d'un point de vue économique et social - l'amélioration des systèmes de chauffage entre 1945 et aujourd'hui ? (à partir de la Première)

On peut mettre en avant 2 éléments principaux :

- Le progrès technique qui améliore l'offre à destination des ménages : chauffage central par exemple.
- La croissance économique- notamment les 30 glorieuses analysées par Jean Fourastié cf. « Madère et Cessac » - qui augmente le niveau de vie des ménages et accroît donc la demande. Il est possible d'ajouter, en particulier à partir de 1973, la volonté d'économiser l'énergie. Cet aspect sera développé ultérieurement.

4 Quel est le pourcentage des résidences principales chauffées à l'électricité ?

$(7 \text{ millions} / 25 \text{ millions}) \times 100 = 28\%$ soit plus d'une sur quatre.

5 Le chauffage électrique des résidences principales représente en France actuellement 9% de la consommation totale d'électricité. Traduisez ce résultat sous forme d'une fraction simple puis, en utilisant l'annexe D indiquez à quoi servent les 91% restants.

$9\% = 1/11$ soit un peu moins d'1/10.

Le reste est consommé dans d'autres secteurs (industrie - y compris sidérurgie - , tertiaire, transports, agriculture) cf premier graphique circulaire et pour d'autres usages énergétiques du secteur résidentiel (autres que le chauffage) cf le second cercle :

- électricité spécifique, autrement dit : éclairage et fonctionnement de divers appareils dans les logements : réfrigérateur, T.V., ordinateurs,
- production d'eau chaude sanitaire,
- cuisson.

I Contexte, motivations et contraintes autour de la naissance du C.E.I.

1 Recherchez la signification des expressions suivantes : indépendance énergétique, premier choc pétrolier, énergie fossile, coût marginal et coût moyen (à partir de la Première)

Indépendance énergétique : à partir des années 1960, la production et la consommation de charbon diminuent en France. Inversement, le pétrole est de plus en plus utilisé notamment pour le chauffage. Mais, comme la France n'en produit pratiquement pas, il faut l'importer ce qui rend notre pays dépendant de l'étranger notamment du Moyen-Orient et peut entraîner un déséquilibre du commerce extérieur. Pour faire face à cette situation, les pouvoirs publics vont encourager E.D.F. à développer la production d'électricité par voie nucléaire.

Premier choc pétrolier : durant l'hiver 1973-74 le prix du pétrole, autrefois bon marché, est multiplié par 4 ce qui entraîne de graves difficultés économiques notamment en Europe et au Japon.

Energies fossiles : celles qui se trouvent dans le sol ; essentiellement le pétrole, le gaz, et le charbon.

Coût marginal : coût lié à la production de la dernière unité.

Coût moyen : coût total / quantités produites.

2 D'après le schéma du I A/ , montrez que, pour le consommateur, le coût global du chauffage se divise en 2 catégories dont on précisera les modalités.

L'investissement qui correspond à l'achat et à l'installation des appareils de chauffage et constitue un coût fixe.

Le fonctionnement qui correspond aux dépenses d'énergie (gaz, électricité, fuel.....) Il s'agit d'un coût variable.

3 Pour quelles raisons, l'isolation du logement est-elle indispensable quand on utilise l'électricité ?

- Pour éviter d'avoir une consommation trop importante, il faut isoler correctement l'habitation.
- Par ailleurs, si les murs ne sont pas isolés, l'air chauffé par les convecteurs (équivalent du radiateur pour le chauffage électrique) se refroidit à leur contact et ne parvient pas à réchauffer les pièces.

4 Montrez qu'en isolant, on accroît le coût fixe afin de diminuer le coût variable (à partir de la Première).

L'isolation constitue un investissement (coût fixe) vite rentabilisé grâce à une baisse de la dépense énergétique (coût variable).

5 Commentez la dernière phrase du A/ : « Le C.E.I.....accélére son émergence » (à partir de la Première).

La création du chauffage électrique va développer l'activité d'E.D.F., des équipementiers et des installateurs (phase « push »). Très rapidement une bonne isolation va s'avérer indispensable d'où, le lancement d'une industrie du bâtiment nouvelle développant des produits destinés à renforcer la performance thermique des murs notamment le « placoplâtre » avec doublage isolant : plaque de carton, de plâtre et d'isolant thermique (phase « pull »).

II Une large gamme d'innovations

1 Indiquez les 3 catégories d'émetteurs en donnant à chaque fois un exemple.

- Les systèmes à air : l'appareil le plus ancien et le plus connu étant le convecteur.
- Les appareils rayonnants : panneau rayonnant et, parmi ceux qu'on peut intégrer au bâti, le planchers chauffant/rafraîchissant.
- Les équipements développant une sensation de type « matière » comme le radiateur à accumulation.

2 Montrez que grâce à des innovations successives, on peut améliorer les produits existants et élargir la gamme.

On peut citer 2 exemples

- Le plancher électrique de nouvelle génération dont la température de surface est plus réduite et plus homogène ce qui supprime la sensation de « jambes lourdes ».
- Les appareils les plus récents permettent non seulement de chauffer mais également de rafraîchir. Cette fonction nouvelle de climatisation est de plus en plus appréciée, en particulier dans le Midi et l'Est de la France.

3 Expliquez le principe des « heures creuses » (avant dernière phrase du A/) et effectuez un lien avec le contenu de la note de bas de page numéro 1 (I A/) (à partir de Première).

Le prix de l'électricité payée par les ménages est plus faible la nuit que le jour. En effet, la nuit la consommation française d'électricité est relativement réduite. Il est donc possible de n'utiliser que les centrales nucléaires les plus modernes et ainsi de produire de l'énergie électrique à un coût relativement faible. En revanche durant la journée, en particulier l'hiver, la consommation est beaucoup plus importante. E.D.F. doit donc mettre en route des centrales utilisant de l'énergie fossile. Le KWh produit est plus coûteux. Le client va donc payer plus cher.

4 Quel est le principal intérêt des pompes à chaleur (PAC) ?

Quand on les utilise, la consommation d'énergie est plus faible car « pour 1 KWh d'électricité consommé, on obtient environ 3 KWh de chaleur pour se chauffer ». Ainsi la facture du client est réduite et de l'énergie renouvelable - intéressante du point de vue écologique - est utilisée. En effet, comme le montre l'annexe B, la chaleur provient pour les 2/3 environ de l'air extérieur, du sol ou de l'eau.

5 Précisez quelles sont les 2 générations PAC .

- La première qui date de 1973-74, elles sont destinées uniquement au chauffage et - en raison de performances technique limitées - doivent être associées à une chaudière gaz ou fioul.
- La seconde, qui se développe à partir de 1997, remplace une chaudière ou un chauffage électrique classiques et possède parfois une fonction de « rafraîchissement » (fonctionnement « réversible »).

6 Calculez le coefficient multiplicateur puis le taux de variation du nombre de P.A.C. entre 1996 et 2004 puis commentez le résultat obtenu.

- En 1996 environ 1000 PAC sont vendues contre 22 000 en 2004. Le coefficient multiplicateur est donc de 22 et le taux de variation 2100% ce qui est considérable ;
On peut cependant nuancer ce premier constat car d'un point de vue absolu, les chiffres sont faibles : environ 100 000 P.A.C. commercialisées en 9 ans

7 Quel lien peut-on effectuer entre le coût des énergies fossiles – notamment le pétrole - et l'utilisation des PAC ?

C'est la hausse du prix du pétrole durant l'hiver 1973-74 qui a incité certains consommateurs à se doter de PAC. Inversement, le contre-choc pétrolier de 1985 (baisse du prix de cette énergie) entraîne une diminution importante des ventes de pompes. Enfin, le nouveau renchérissement du prix constaté depuis quelques années a accru les achats de pompes comme le montrent le diagramme en bâton du document et le calcul effectué plus haut.

III Retour d'expérience et perspectives

1 Quelles sont les raisons du succès du chauffage électrique intégré (CEI) de 1973 à 1982 ?

Le document les indique précisément

- C'est un concept destiné principalement aux logements neufs. Or, le parc résidentiel augmente rapidement durant cette période.
- Il apparaît comme beaucoup plus pratique, moderne que les chauffages qui existent à l'époque au charbon, au bois ou au fioul.
- Le premier choc pétrolier accroît le prix du fioul rendant l'électricité beaucoup plus compétitive notamment dans un logement isolé. Or, l'isolation des logements neufs devient obligatoire à partir de 1974 (notion de « réglementation thermique » ou R.T.) et par la suite, de plus en plus contraignante cf. note 4.

2 Grâce à la courbe, comparez le niveau maximum des pertes thermiques tolérées dans les bâtiments neufs en 1970 et en 2000.

- En 1970 : 275 kWh/m².an contre seulement 80 en 2000 soit une baisse de 71%.

3 Pour quelles raisons, la situation va-t-elle se dégrader à partir de 1982 ?

Elles sont nombreuses, on peut dégager les principales.

- La R.T. ne concerne que les logements neufs. Or, du fait du faible prix des convecteurs, beaucoup s'équipent de chauffage électrique sans isoler correctement le bâtiment. Cette situation est particulièrement nette dans le secteur du locatif privé car le propriétaire désire limiter son investissement. Le locataire va donc payer des factures importantes et, s'il accède à la propriété, il va se détourner de ce mode de chauffage.

- Comme pour les PAC, la baisse du coût du pétrole accroît le prix relatif de l'électricité par rapport à celui des énergies fossiles.

4 Comment, à partir de 1995, l'entreprise redressera la situation ?

- E.D.F. lance en 1996 une offre Vivrélec pour le neuf et en 1998 pour la rénovation. Il s'agit d'une offre complète qui intègre : les conseils techniques, le financement et le suivi commercial avec un bilan au bout d'un an de fonctionnement.

- Les partenariats avec les acteurs de la « filière chauffage électrique » : fabricants de maisons individuelles, bailleurs de logements, chauffagistes sont réactivés.

Au final en 2001, 140 000 logements neufs, soit près de la moitié, bénéficient de l'offre Vivrélec.

- Les émetteurs sont plus confortables et les PAC sont plus performantes ce qui accroît le confort et diminue le coût d'utilisation du chauffage électrique.

5 Quel est actuellement le principal concurrent d'EDF. en matière de chauffage ?

GDF avec le programme « Dolce vita ». Il est à noter que si, autrefois, les 2 entreprises étaient associées cf. EDF-GDF, elles sont devenues concurrentes.

6 Pourquoi peut-on dire que la question du chauffage s'insère dans un environnement plus large ?

Elle fait partie intégrante de la politique énergétique. Autrefois traitée principalement à l'échelon français, elle est actuellement européenne même si les réponses nationales sont souvent différentes d'un pays à l'autre. Deux axes sont essentiels : l'indépendance énergétique et la prévention du changement climatique cf. l'effet de serre.

Au niveau mondial, on peut faire référence aux conférences de Rio de Janeiro (1992), Kyoto (1997) et Johannesburg (2002) ainsi qu'à la notion de « développement durable » (du moins dans son acception environnementale).

Question de synthèse

Montrer que le choix du chauffage électrique (C.E) est à la fois de nature microéconomique (au niveau des ménages ou des promoteurs) et macroéconomique (une orientation stratégique pour E.D.F. et dans une certaine mesure pour les pouvoirs publics).

On présentera ici quelques pistes de réflexion qu'on pourra approfondir en utilisant les réponses aux questions précédentes.

Historiquement et actuellement, il existe plusieurs modes de chauffage (charbon, bois, fuel, gaz et électricité) d'où la notion de choix.

I Au niveau microéconomique, ce dernier tient compte principalement de 3 éléments

A/ Le prix relatif des différentes énergies

Le C.E. progresse quand le prix du pétrole et, dans une moindre mesure, du gaz augmente. On retrouve cette situation de 1974 à 1982 et depuis quelques années. Inversement, il régresse dans la deuxième partie des années 80 à la suite du contre-choc pétrolier. Il s'agit donc d'une bonne illustration du concept d'élasticité de la demande par rapport au prix. Cependant, le lien entre prix relatif et modification du mode de chauffage est assez complexe. En effet, pour un propriétaire,

changer son mode de chauffage suppose un investissement important. Il faut donc plusieurs années pour le rentabiliser. Quant au locataire, il ne peut pas le faire s'il reste dans le même logement.

B/ Le confort et qualité de vie qui en résulte

Au départ, le chauffage électrique était considéré comme « moderne » notamment par rapport au fuel. L'absence d'isolation thermique l'a rendu inconfortable dans certaines réalisations, en particulier dans les années 80. Aujourd'hui, l'amélioration de l'offre (technique et commerciale) lui a permis de renouer avec le confort. De plus, il peut être associé à un système de rafraîchissement. Il nécessite une bonne isolation qui est obligatoire pour les logements neufs (cf. la RT) mais dont le coût est faible. Pour les opérations de rénovation, ce coût est relativement élevé mais justifié par l'amélioration du confort et de la valeur patrimoniale du logement.

C/ La fiabilité de l'offre marketing et commerciale

Le client éprouve souvent le besoin d'être conseillé, accompagnée notamment dans les domaines techniques, financiers voire fiscaux (déduction éventuelle d'impôts). De ce point de vue l'offre Vivrélec est un succès car elle intègre ces différents éléments.

II Au niveau macroéconomique, on peut développer 2 aspects.

A / Le premier concerne directement EDF

Le chauffage électrique permet à EDF d'accroître son chiffre d'affaires et de dynamiser ses équipes commerciales dans un secteur où, de fait, le monopole n'existe pas. En effet, ce mode de chauffage est concurrencé par d'autres cf. l'offre Vivrélec (EDF) en compétition avec « Dolce vita (GDF). On peut considérer que cette « culture commerciale » sera indispensable quand il faudra affronter la concurrence des autres fournisseurs d'électricité sur le marché des particuliers à partir du 1/7/2007

B/ Le second est lié à l'action des pouvoirs publics

A son lancement, le CE s'intégrait dans le cadre d'une réflexion plus globale de la part de l'Etat autour de l'indépendance énergétique française. A la demande du gouvernement, EDF (entreprise publique depuis 1945, dont le Président était nommé par l'Etat) a mis en place depuis la fin des années 60, un programme de production d'électricité d'origine nucléaire. Le « combustible » nucléaire était jugé d'un approvisionnement plus sûr que le pétrole. Il permettait la production d'un kWh électrique moins cher que celui produit à base de pétrole. Enfin, son coût était moins sensible aux variations du combustible que le kWh produit par des centrales électriques consommant des énergies fossiles. A partir du premier choc pétrolier, le programme électronucléaire a été accéléré, permettant la production de masse d'un kWh électrique moins cher, et donc compatible avec un développement important du chauffage électrique.

Ce développement a été favorisé dans les années 70 par l'augmentation des prix du pétrole. Son usage permettait alors de baisser la facture énergétique française. Aujourd'hui, même si son développement est contesté par les mouvements écologistes, le chauffage électrique continue de limiter l'usage des énergies fossiles, émettrices de gaz à effet de serre (dont on a pris conscience des effets négatifs à partir de la conférence de Rio) et génératrices de dépendance énergétique.

Au final la question du C.E. est loin d'être uniquement technique et microéconomique, elle a des répercussions de nature macroéconomique et environnementale.