SCORE II

Suivi des **C**onsommations et **O**ptimisation des **R**atios **E**nergétiques

version **II**

PARTIE 2

Quelques éléments d'informations sur l'interprétation et l'analyse des données.

Sommaire

Les unités 4

Les unités de conversion 4
Les multiples et sous multiples de l'unité 5
Petit glossaire 5

L'énergie 6

L'énergie, une grandeur physique qui exprime un travail 6
Le facteur temps pour effectuer un travail 6
La puissance d'une machine 7
La transformation de l'énergie 7
Les unités 8

La maîtrise de l'énergie 9

La sobriété énergétique 9
L'efficacité énergétique 9
L'utilisation rationnelle de l'énergie 9
La maîtrise de l'énergie 10
Comment agir ? Par quoi commencer ? Quoi faire ? 12
Connaître son patrimoine 12
Supprimer les gaspillages - La programmation 13
Agir sur les besoins - Les changements d'équipements 14

Les Degrés Jours Unifiés 15

Définition 15
Un exemple de courbe de DJU et de TEMj 16
Evolution des DJU saisonniers 17
Le calcul des consommation de chauffage 18

La signature énergétique 19

Interprétation de la signature énergétique 20
Les principales causes d'une surconsommation 25
Les principales raisons d'une économie 25

L'isolation thermique 26

Pourquoi ? 26
Un exemple 27
Comment agir ? 28

Les certificats d'économie d'énergie 29

La nécessité d'économiser l'énergie 29
Un gisement d'économie d'énergie méconnu et important 29
Le principe des obligations et des CEE 30
Un exemple d'action envisageable 31
La réglementation relative à la mise en oeuvre des CEE 31

Les opération standardisées **32**
Un exemple : Isolation des combles **33**
Les zones climatiques **34**

L'éclairage public 35

La durée de l'éclairage public **35**
Le code tarif des factures EDF **36**
Le taux d'utilisation de la puissance souscrite TU% **37**

La tarification EDF 38

Généralités **38**
Le rôle de la puissance **38**
Le contrôle de la puissance **39**
Le choix du tarif **39**
Le tarif bleu (Base ou à 2 classes tarifaires) **40**
Le tarif jaune (4 classes ou 5 classes tarifaires) **42**
Le tarif vert (5 classes tarifaires) **44**
Méthodologie d'analyse des factures EDF - tarif bleu **46**
Méthodologie d'analyse des factures EDF - tarif jaune **47**
Méthodologie d'analyse des factures EDF - tarif vert **48**
Calcul des pertes joule **49**
Calcul des pertes fer **49**
calcul de la valeur tgt.ϕ **49**
calcul de la facturation de l'énergie réactive consommée **49**

Les unités

L'unité communément admise pour exprimer une quantité d'énergie, consommée ou produite, est le kiloWattheure (en abrégé kWh). C'est l'unité des électriciens.

Ainsi, 1 kWh correspond à la consommation d'énergie d'un équipement dont la puissance est 1 kW (ou 1000 Watts) ayant fonctionné pendant 1 heure.

On écrit : **1 kWh = 1 kW x 1 h** (ou bien : 0,5 kW x 2 h)

Cependant, quand on consomme une autre énergie que l'électricité, qui est comptabilisée en kWh, comme par exemple le fioul, le gaz, le propane, le bois, etc... ces dernières ne sont pas comptabilisées en kWh, mais respectivement en litres de fioul, en m3 de gaz, en kg de propane, en stère de bois, etc.

Il convient donc de convertir les unités de livraison en kWh.

Les unités de conversion

Le tableau ci-après donne les équivalences énergétiques :

Energie	Unité de livraison	Equivalent kWh	Equivalent tep
Fioul	Litres	10 kWh	1 tep = 11600 kWh 1 tep = 1200 litres
Gaz naturel	m3	11,6 kWh PCI	11,75 m3
Propane	kg	12,8 kWh	920 kg
Charbon	kg	7,8 kWh	1600 kg
Bois	kg	4 à 5 kWh	2500 kg
Bois	Stère	1400 kWh	8 stères

Les multiples et sous multiples de l'unité

Quand on manipule des données dont les quantités exprimées sont importantes, l'habitude a été prise d'utiliser des multiples (ou des sous-multiples) de l'unité.

Ceux-ci sont rappeler ci-après :

Multiple	**10**	**10^2**	**10^3**	**10^6**	**10^9**	**10^{12}**
Nom	déca	hecto	kilo	méga	giga	téra
Abrégé	da	h	k	M	G	T
Sous multiple	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}
Nom	déci	centi	milli	micro	nano	pico
Abrégé	d	c	m	u	n	p

Petit glossaire

Un bâtiment perd de l'énergie à travers les parois, c'est une évidence. Il y a des besoins à satisfaire ...

Le paramètre qui permet d'évaluer les déperditions thermiques à travers une paroi est le :

Coefficient de déperditions thermique U (en W/m2K)

L'ensemble des déperditions (par les parois et par renouvellement d'air) est représenté par le coefficient suivant :

Coefficient de déperditions volumiques GV (en W/K) où V représente le volume (en m3)

L'ensemble des consommations d'énergie (tous usages confondus), ramené à 1 m3 de volume et à 1 degré d'écart entre l'intérieur du bâtiment et l'extérieur, est représenté par le coefficient suivant :

Coefficient de consommation volumique C (en W/m3K).

L'énergie

L'énergie, une grandeur physique qui exprime un travail

Dans le langage de la vie quotidienne, la notion « d'énergie » est indissociable de la vitalité, du dynamisme, de l'action, du confort, de la performance, etc.

L'énergie est un sujet de préoccupation majeur de nos sociétés à bien des points de vue : de l'économie à l'écologie en passant par le développement. A tel point que, pour certains, il n'est pas envisageable de réduire la consommation d'énergie ni même d'arrêter ou de ralentir sa croissance tant l'énergie est considérée comme un facteur vital.

La notion d'énergie est restée longtemps mystérieuse, même pour les scientifiques.

Pourtant, un enfant sait très tôt que l'énergie peut se transformer en chaleur dans un four à micro-ondes, ou encore que l'énergie peut se transformer en énergie électrique dans une pile.

La notion d'énergie est associée à l'idée de transformation. Jusqu'à la fin du 18ème siècle, la distinction entre chaleur et température demeure confuse.

En 1798, Benjamin Thompson, Comte de Rumford, surveille le forage de tubes à canon en cuivre à l'arsenal de Munich. Il constate que lorsqu'on utilise une mèche mal affûtée, l'échauffement est beaucoup plus important alors que la pénétration de l'outil est insignifiante. Il en déduit que cette source de chaleur ne peut provenir de la matière elle même mais du travail mécanique fourni.

En 1842, Julius Robert Mayer, médecin allemand, établit une corrélation entre chaleur et travail mécanique, deux formes de l'énergie. Il est le premier à proposer une loi de conservation de l'énergie.

En 1843, James Prescott Joule, brasseur anglais, mesure l'augmentation de température produite par l'agitation mécanique de l'eau et en déduit une équivalence entre travail mécanique et chaleur.

L'énergie est définie comme une grandeur physique (elle peut se mesurer, s'évaluer) qui exprime un travail : travail effectué, travail possible, travail en réserve.

Quand on dit qu'une usine produit de l'énergie électrique, on exprime qu'elle produit de l'électricité, grâce à laquelle on peut obtenir du travail. C'est donc en définitive en se référant à du travail mécanique qu'on évalue l'énergie.

Le facteur temps pour effectuer un travail

La première notion de travail mécanique nous est perceptible par l'effet de déplacement d'une masse pesante (une masse se pèse à la balance) sous l'action d'une force (attraction terrestre, câble tracteur, poussée du vent, etc.).

Cette notion pratique de travail est très ancienne; dans un temps où la rapidité d'exécution était d'ordre secondaire, c'était seul le travail qui était rémunéré.

L'argent était un équivalent, économique cette fois, de l'énergie.

Cependant, un facteur économique de plus en plus important, a été introduit par le développement du machinisme : le facteur temps.

Le temps intervient dans la mécanique sous forme de facteur de vitesse. Cette notion de vitesse est très importante et concerne autant l'étude des mouvements linéaires (vitesse linéaire), que les mouvements de rotation (vitesse angulaire), et les débits de toutes sortes : débit de travail ou de puissance, débit d'électricité ou intensité, débit de chaleur, débit de fluide, etc.

Une vitesse est susceptible de changer dans le temps. La vitesse de changement de la vitesse s'appelle l'accélération.

La terre attire les corps à sa surface en leur donnant un mouvement dont l'accélération est une constante équivalente à un changement de vitesse de 9,8 $m.s^{-2}$ par seconde. On dit que l'accélération de la pesanteur est g = 9,8 $m.s^{-2}$.

La puissance d'une machine

Si je hisse, à l'aide d'une poulie, un sac de 25 kg (masse de 25 kg) au dernier étage d'une maison, à une hauteur de 30 m, j'ai dépensé un travail de W = (25 kg x 9,8) x 30 m = 7 350 Joules.

Une masse d'eau de 10 tonnes, faisant une chute de 25 m dans une usine hydroélectrique peut donner une énergie de (10 000 kg x 9,8) x 25 m = 2 450 000 Joules ou 2 450 kJ.

Ainsi donc, avec l'avènement du machinisme, la vitesse du travail effectué est devenue un élément important de l'économie du travail.

La puissance d'une machine est exprimée par le quotient du travail qu'elle effectue par le temps mis pour faire ce travail :

$$P = W/T$$

Ainsi, l'usine hydroélectrique, si elle utilise les 10 tonnes d'eau en 20 secondes, dispose d'une puissance de 2 450 000 / 20 s = 122 500 W ou 122,5 kW.

La transformation de l'énergie

L'énergie, plus encore que la matière, se conserve. C'est une Loi très générale de la physique. Cependant, elle se transforme.

James Prescott Joule, dans une expérience célèbre, a montré que lorsqu'un système perdait de l'énergie mécanique, il gagnait de la chaleur et inversement. Il montra que, pour une quantité de travail dépensé, déterminée, on avait toujours le même gain de chaleur. Pour cela, il actionnait des ailettes qui, en tournant, échauffaient l'eau d'un calorimètre (appareil à mesurer les quantités de chaleur) ; la force motrice était fournie par des poids qui, en tombant lentement (minimum de pertes par frottement et absence d'énergie cinétique à l'arrivée) actionnaient la poulie dont l'axe portait les ailettes.

Il trouva ainsi l'équivalent mécanique de la calorie. C'est pourquoi on a donné son nom à l'unité de travail mécanique.

Une petite calorie, quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'un gramme d'eau de 1°C, est l'équivalent de 4,18 Joules.

Cette expérience établissait le pont entre deux formes d'énergie apparemment incompatibles : l'énergie mécanique et la chaleur. On sait maintenant, non seulement connaître les équivalences énergétiques de phénomènes très divers, mais encore utiliser ces phénomènes pour produire de l'énergie.

En plus de l'énergie mécanique et de l'énergie thermique (centrales thermiques), les principales sources d'énergie sont :

- L'énergie chimique qui sert pour la combustion, et, par la chaleur de combustion, pour alimenter les moteurs thermiques.
- L'énergie électrique qui sert surtout de transition pour le transport et l'utilisation commode de l'énergie mécanique (groupes électrogènes des centrales électriques).
- L'énergie énorme constituée par la matière, et que l'on sait partiellement utiliser grâce aux centrales nucléaires.
- L'énergie de rayonnement, et en particulier du rayonnement solaire.

Les unités

Un litre d'eau, représente une masse de 1 kg. La force avec laquelle cette masse est attirée par la terre représente 9,8 unités ou Newtons (N).

Un Newton (unité de force) qui déplace une masse de 1 kg de 1 m sous l'effet de la pesanteur effectue donc un travail de 9,8 Joules (unité de travail).

La puissance d'une machine qui effectue un Joule par seconde vaut 1 Watt.

Le joule est l'unité d'énergie du système international d'unités (unité SI). Cette unité a été nommée en l'honneur de James Prescott Joule, physicien britannique du 19è siècle, qui détermina l'équivalent mécanique de la calorie au cours de ses expériences. Cet équivalent fut nommé en son honneur.

Le watt est l'unité SI pour la puissance. Il correspond à la dissipation ou à la consommation d'une énergie d'un joule par seconde. Cette unité est nommée en l'honneur de James Watt, ingénieur écossais qui vécut de 1736 à 1819. En plus d'étudier les propriétés de la vapeur d'eau, Watt a grandement contribué au développement de la machine à vapeur.

Le kWh est particulièrement utilisé pour mesurer la consommation d'énergie électrique. Un kilowatt-heure correspond à l'énergie consommée en une heure par un dispositif dissipant une puissance de 1 kW, soit $3,6 \times 10^6$ J.

La maîtrise de l'énergie

Voilà un concept, développé il y a déjà de nombreuses années, qui aujourd'hui revêt une importance capitale.

Que signifie ce concept ?

Notre soif d'énergie fait que non seulement nous pouvons satisfaire nos besoins essentiels, mais également nos besoins superflus que certains qualifient de gaspillage d'énergie.

En effet, nous consommons de l'énergie parce que nous avons des besoins essentiels à satisfaire. Ces besoins sont le chauffage (confort thermique), la production d'eau chaude sanitaire (confort hygiénique), l'éclairage (confort lumineux), le froid (conservation des aliments, confort d'été), etc.

La sobriété énergétique

Sommes-nous en mesure d'affirmer que nous satisfaisons uniquement nos besoins et pas plus que nos besoins ?

A quelle température chauffons-nous nos bâtiments ? A quelle température produisons-nous notre eau chaude sanitaire ? Avec quel niveau d'éclairement nous éclairons-nous ?

Nous l'avons bien compris, la maîtrise de l'énergie passe d'abord par la connaissance des besoins à satisfaire. Quel niveau de température maintenir ? Quel niveau d'éclairement maintenir ? Etc.

La connaissance des besoins à satisfaire porte un nom, c'est la **sobriété énergétique** (ou **juste ce qu'il faut** !).

L'efficacité énergétique

Connaître ses besoins réels n'est pas suffisant.

Il faut les satisfaire avec des comportements rationnels ou économes, avec des équipements efficaces. En effet je peux satisfaire un besoin d'éclairement d'éclairement de 200 lux avec une lampe halogène de 500 W ou bien avec une lampe basse consommation de 20 W.

Pour un niveau d'éclairement équivalent, la comparaison des puissances électriques (et par là les consommations d'électricité) montre rapidement l'équipement le plus efficace d'un point de vue énergétique.

C'est l'**efficacité énergétique** (ou **pas plus qu'il ne faut** !).

L'utilisation rationnelle de l'énergie

L'utilisation rationnelle de l'énergie n'est rien d'ordre qu'entreprendre une démarche de connaissance de ses besoins et les satisfaire avec des équipement efficaces.

Cependant, quand bien même l'équipement choisi est efficace, ce dernier de pourra satisfaire notre besoin que si lui même est alimenté en énergie.

Dans ce cas deux options s'offrent à nous en terme de choix. Soit alimenter l'équipement en énergie fossile, soit alimenter l'équipement en énergie renouvelable.

La maîtrise de l'énergie

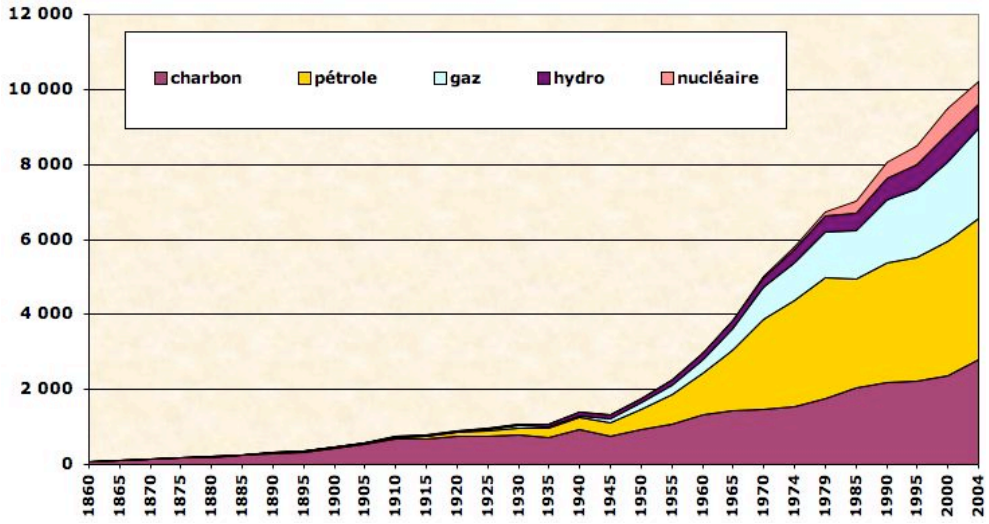
La maîtrise de l'énergie s'est faire appel à des sources d'énergie renouvelables plutôt qu'à des énergies fossiles dont on sait aujourd'hui que les réserves ne sont pas inépuisables (et de plus, leur combustion émet des gaz à effet de serre).

Autant il est facile de chauffer un bâtiment "passoire" avec du fioul, autant cela pose beaucoup de difficulté pour chauffer ce même bâtiment avec l'énergie solaire.

Alors qu'on est maître de la puissance avec l'énergie fioul, comme avec le gaz et le charbon, il en est tout autrement avec l'énergie solaire, car on n'est pas maître de sa puissance. On est contraint de s'adapter à la ressource solaire (100 W/m2 en moyenne) et par voie de conséquence on est contraint d'agir sur nos besoins.

Les énergies fossiles (charbon, fioul et gaz) vont coûter de plus en plus chère.

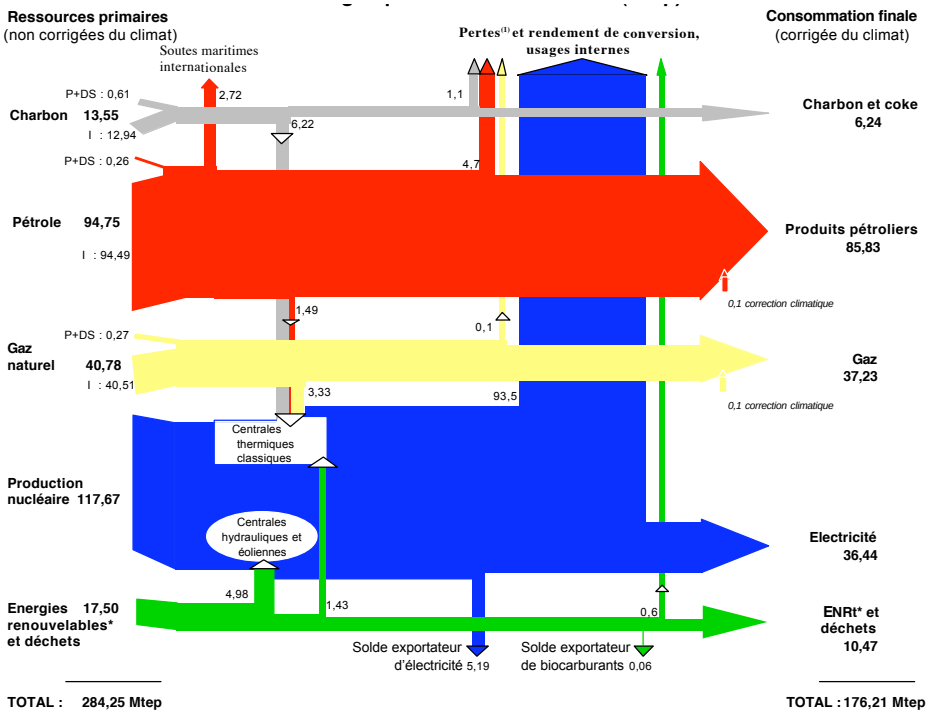
Au niveau mondial, ces trois énergies fossiles satisfont 90% de nos besoins en énergie primaire comme on peut le voir sur le graphique ci-après :



En l'espace de trente ans, la consommation d'énergie primaire mondiale est passée de 6034 millions de tep (Mtep) en 1973, date du premier choc pétrolier, à un peu plus de 10 230 millions de tep en 2004. Soit une augmentation de près de 70%.

La plupart des scénarios prospectifs sur l'évolution de la consommation mondiale d'énergie primaire convergent vers une augmentation de la consommation pour les trente prochaines années de l'ordre de 60%, passant ainsi d'une consommation de 10 230 millions de tep en 2004 à 16 300 millions de tep en 2030.

En France 71% de nos besoins en énergie finale (valeurs 2004) sont satisfaits par des énergies fossiles. C'est l'essentiel de nos émissions de gaz à effet de serre.



Il est urgent, face aux besoins grandissants en énergie fossiles des pays émergents (Chine, Inde, ...) d'agir. Des signes inquiétants de changements climatiques apparaissent.

Comment agir ? Par quoi commencer ? Quoi faire ?

Certains préconisent de "tout raser" et de reconstruire selon le concept "bâtiment à énergie positive". Ce n'est pas très réaliste.

Des potentiels importants d'économies d'énergie existent, parfois rentables très rapidement. De plus, les usages de l'énergie dans les bâtiments sont loin d'être optimisés. De nombreuses techniques existent pour permettre une utilisation plus économique de l'énergie. Elles sont rarement mises en oeuvre spontanément.

Ci-après, quelques solutions d'amélioration qui font rimer économies d'énergie, protection de l'environnement et réduction des dépenses :

- L'isolation de la toiture : de 10 à 20%
- L'isolation des murs : de 10 à 15%
- L'installation d'un thermostat d'ambiance programmable : environ 7%
- La pose de vitrages isolants : environ 7%
- Une chaudière efficace : de l'ordre de 15%
- L'installation d'un chauffe-eau solaire individuel ou d'une pompe à chaleur jusqu'à 70% de la consommation d'énergie liée à la production d'eau chaude.

Alors dans l'immédiat par quoi commencer pour s'inscrire dans une véritable action de maîtrise de l'énergie et de lutte contre les gaz à effet de serre ?

Connaître son patrimoine

D'abord, bien connaître son patrimoine pour agir efficacement (surface, volume, programme d'utilisation des locaux, puissance installée en chauffage, équipements de gestion, type énergie, factures d'énergie, ...).

A partir de cette connaissance, il devient alors possible d'étudier systématiquement les diverses solutions d'améliorations envisageables par ordre de coût d'investissement généralement croissant, en tenant compte des économies engendrées par les moins chères pour juger la rentabilité des solutions plus chères.

Suivant cet ordre de coût d'investissement croissant (en général), on peut classer les solutions d'améliorations en cinq grandes familles :

La gestion de l'énergie — LE JUSTE PRIX

A - la tarification de l'énergie
B - la maintenance des installations
C - le tableau de bord énergie (logiciel SCORE II)

La programmation — PAS QUAND C'EST INUTILE

Ces améliorations sont généralement les moins coûteuses et les plus efficaces dans les établissements à usage discontinu. Elles réclament en général que des horloges, voire une action manuelle.

Elles concernent;

A - électricité (écrêtage, épointage, inutiles, etc...)

B - ventilation (les 8 fonctions: combustion (excès d'air, CO2), sanitaire-respiration (7l/s.pers ou 30m3/h.pers), extraction (0,5 m/s), surpression, calovecteur chaud (3Vh/h), calovecteur froid (5Vh/h), déshumidification humidification).

C - chaleur (chauffage et eau chaude sanitaire)

La régulation

PAS PLUS QU'UTILE

Elles se distinguent des programmations en mettant en oeuvre une notion de quantité au lieu de la notion de temps. Elles restent relativement peu coûteuses et peuvent concerner ici;

A - électricité (éclairage, divers)
B - ventilations
C - chaleur (chauffage et eau chaude sanitaire)

La suppression des fuites

RENTABLE OU PAS ?

Elles sont de quatre types;

A - fluides (eau, vapeur, air comprimé et électricité)
B - calfeutrement, fuites d'air bâtiment
C - calorifuges conduites thermiques
D - isolation parois

Les changements d'équipements

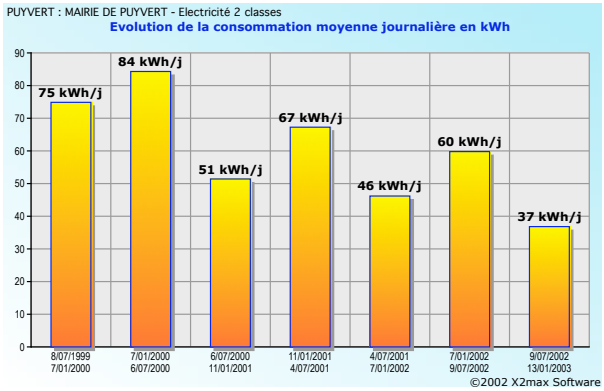
RENTABLE OU PAS ?

il s'agit ici de tout changer ou de remanier profondément les installations, ce qui peut concerner;

A - éclairage et électricité (ampoules LBC, écrans LCD, ...)
B - conditionnement d'air (chauffage et climatisation)
C - eau chaude sanitaire solaire

Supprimer les gaspillages - La programmation

Parce qu'on connaît bien son patrimoine, on a repéré les gaspillages ... Et on agit.

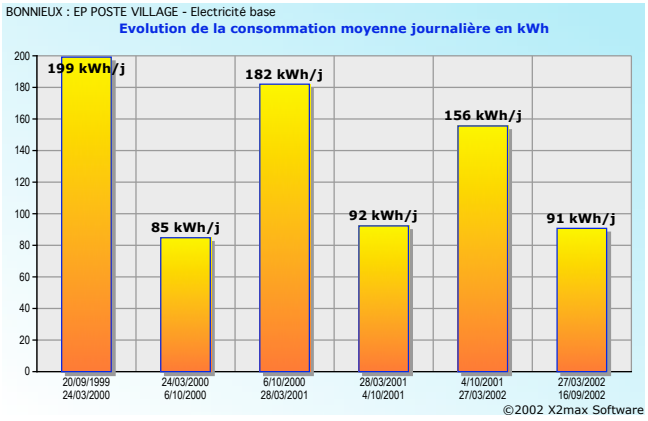


Voilà une commune qui, suite à la mise en place d'horloges sur le chauffage électrique et l'éclairage de salles ouvertes aux associations, voit la consommation d'énergie diminuer.

Agir sur les besoins - Les changements d'équipements

C'est agir à la fois :

☑ Sur les besoins d'éclairage et les usages spécifiques de l'électricité (lampes LBC, écrans LCD, ...)



Voilà une commune qui remplace au fur et à mesure ses lampes d'éclairage public, par des SHP de meilleure efficacité et qui voit la consommation diminuer.

☑ Sur la production d'eau chaude sanitaire (le solaire, ça marche ! Il ne faut pas hésiter)

☑ Sur les besoins de chauffage

- **Connaître les degrés jours unifiés ou DJU**
- **Etablir la signature énergétique - La régulation**
- **L'isolation thermique - La suppression des fuites**
- **Les certificats d'économie d'énergie**

Les Degrés Jours Unifiés

Définition

Au sens du "*Cahier des Clauses Techniques Générales applicables aux marchés d'exploitation de chauffage avec petit entretien des installations, passés au nom de l'Etat*", on entend par degré-jour de bas x (DJx) la valeur moyenne sur la journée considérée, de l'écart positif entre la température extérieure et la valeur x exprimée en degrés Celsius.

Les degrés-jours unifiés (DLU) sont définis comme étant les degrés-jours calculés pour la base x = 18°C.

Le COSTIC (Comité Scientifique et Technique des Industries du Chauffage, de la Ventilation et du Conditionnement d'Air)est l'organisme référencé au cahier des clauses techniques générales (CCTG) - Marchés d'exploitation de chauffage - Brochure n° 2008 du JO.

La méthode de calcul du COSTIC se distingue des autres méthodes en appliquant les règles suivantes :

1 - Tmax < 18°C : cas fréquent en hiver

$$DJU = 18 - \frac{Tmin + Tmax}{2}$$

2 - Tmin > 18°C : cas exceptionnel de début ou fin de saison de chauffe

$$DJU = 0$$

3 - Tmin < 18°C < Tmax : cas possible en début ou fin de saison de chauffe

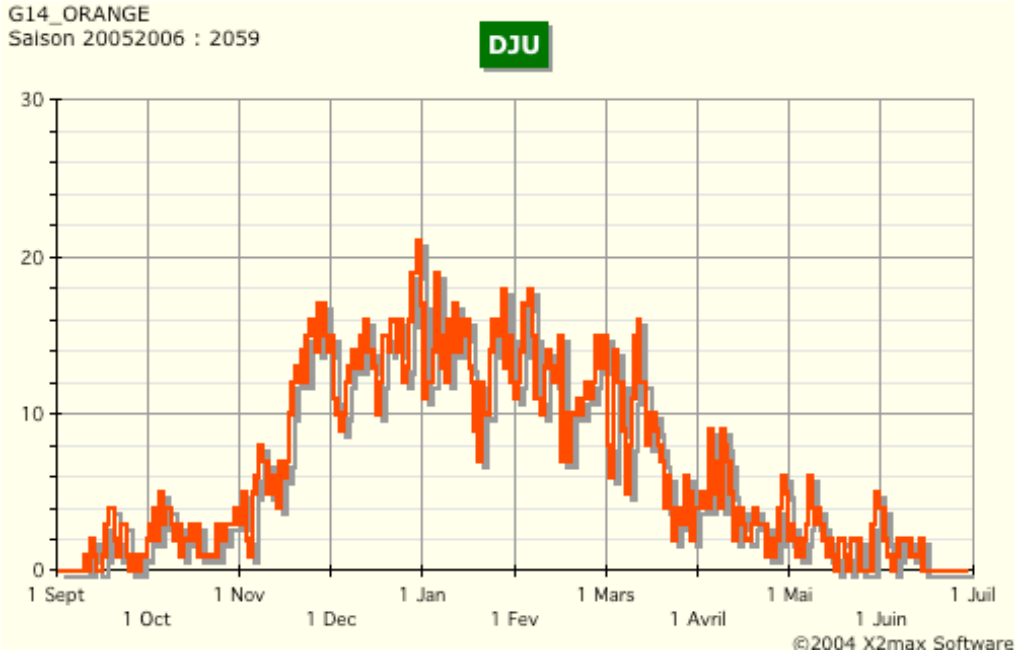
$$DJU = a * b * (0{,}08 + 0{,}42 \cdot b)$$

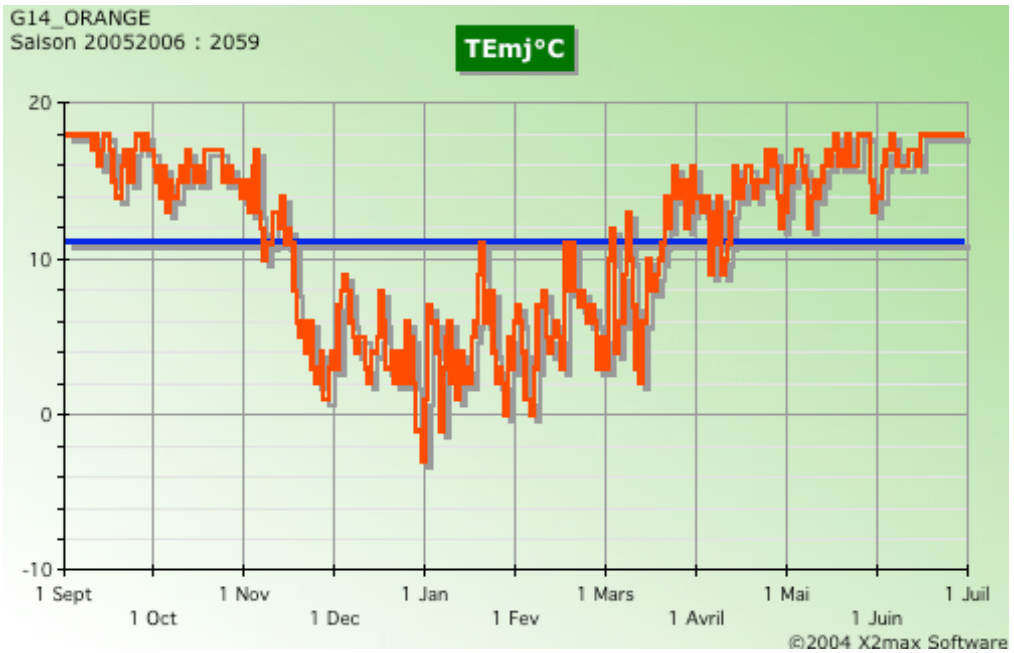
avec

$$a = Tmax - Tmin$$

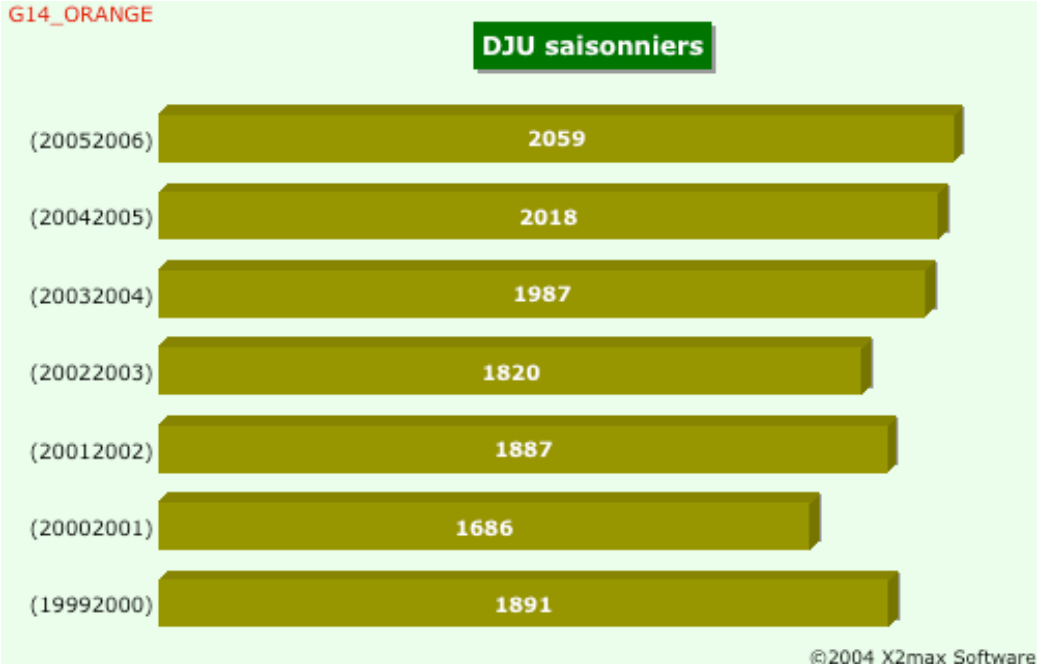
$$b = \frac{18 - Tmin}{Tmax - Tmin}$$

Un exemple de courbe de DJU et de TEMj





Evolution des DJU saisonniers



Le calcul des consommation de chauffage

La technique la plus courante du calcul des consommations de chauffage repose sur l'utilisation, comme caractéristiques climatique, des degrés-jours.

Sur le calcul des consommations d'énergie liées à la satisfaction des besoins de chauffage, il y a généralement deux aspects dont il faut tenir compte :

d'une part, ce ce qu'on appelle les besoins terminaux, ou besoins de base, c'est-à-dire ce que l'installation de chauffage doit fournir aux locaux, exprimé en kilowattheures par an (kWh/ an),

d'autre part, ce qu'on appelle les besoins primaires, au niveau de la production de chaleur, faisant souvent apparaître une suite de rendements (rendement émission, rendement distribution, rendement production).

La consommation d'énergie (pour le chauffage) d'un bâtiment représente les besoins primaires.

La méthode la plus classique, à partir des degrés-jours traditionnels, pour évaluer des besoins de base est :

G.V.DJU.0,024 (kWh/an)

dans laquelle :

G est le coefficient de déperdition volumiques (W/m3K)

V est le volume chauffé (m3)

DJU sont les degrés-jours base 18°C

Les degrés-jours base 18 (DJU) correspondent à des températures intérieures traditionnelles de 21°C environ.

La signature énergétique

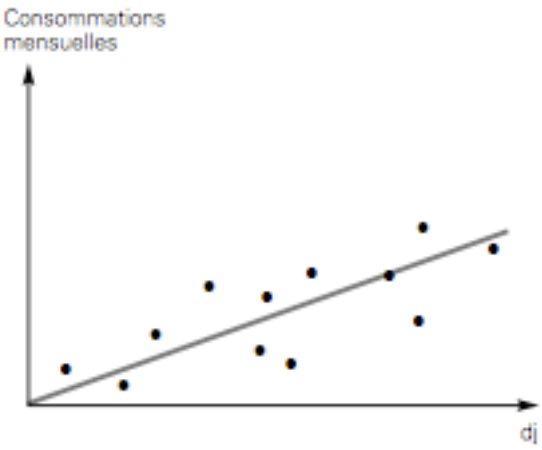
Nous constatons tous que plus il fait froid, plus nous consommons d'énergie pour satisfaire nos besoins de chauffage.

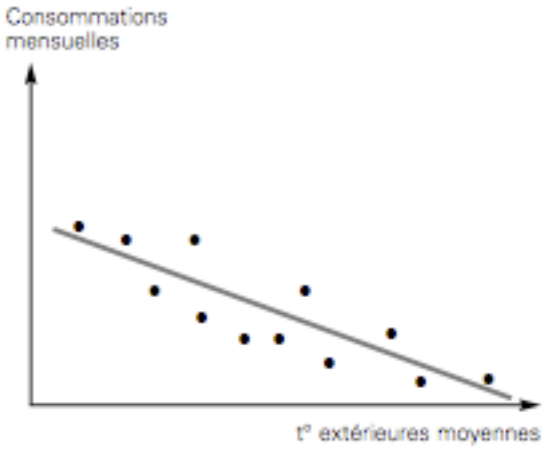
Nous calculons tous, en faisant le plein de carburant, la consommation moyenne de notre véhicule pour 100 km. C'est un indicateur reconnu et appliqué qui nous permet de connaître les conséquences de notre manière de conduire.

Quel est l'indicateur le plus pertinent pour mesurer notre consommation d'énergie de chauffage ?

La signature énergétique est une droite qui établit la consommation de chauffage d'un bâtiment en fonction du climat représenté par la grandeur DJU (Degrés jours unifiés). Cette méthode se base sur un postulat simple : la consommation de chauffage d'un bâtiment est une fonction linéaire croissante de la rigueur climatique (ou décroissante en fonction de la température extérieure).

Après une période d'observation suffisante, la variation moyenne des consommations en fonction du climat est définie. Elle est établie par régression du 1er degré à partir des consommations et des rigueurs climatiques (degrés jours unifiés ou températures extérieures moyennes) pour les périodes d'observation correspondantes (semaines, mois, ...)





Le couple de valeurs relevé pour chaque période permet de déterminer un point sur un diagramme. L'énergie consommée est portée en ordonnée tandis que les degrés-jours ou températures moyennes extérieures sont indiquées en abscisse.

Toutes conditions d'occupation étant inchangées, il sera lors possible :

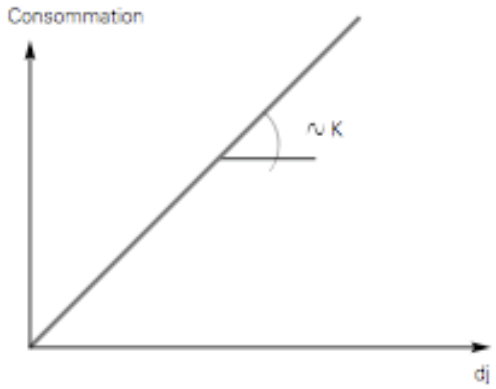
- ☑ d'établir un diagnostic de consommation,
- ☑ d'analyser les éventuelles dérives
- ☑ de repérer des dysfonctionnement dus à l'enveloppe du bâtiments, aux systèmes eux-mêmes, ou à la maintenance et au pilotage de ceux-ci
- ☑ de connaître ou prédire les consommations normalisées (en année climatique normale)
- ☑ de mesurer l'impact de rénovations énergétiques du bâtiment (isolation thermique) ou des systèmes (régulation, équipement efficace).

Interprétation de la signature énergétique

Pour l'interprétation de la signature énergétique, l'observation porte sur les points suivants :

- la position des points d'observation autour de la signature énergétique.
- la pente de la signature énergétique.
- l'origine de la signature énergétique.
- l'évolution de la signature énergétique, au fil du temps, par rapport à une signature de référence préalablement établie.

La signature énergétique représente donc la relation linéaire entre les déperditions de l'enveloppe (consommation de chauffage) du bâtiment et la rigueur climatique.

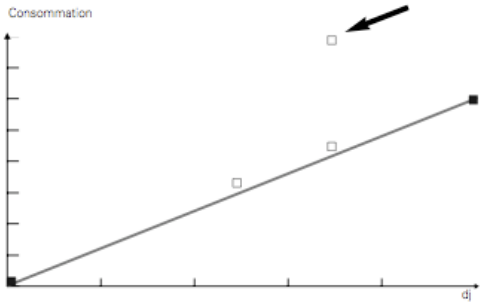


La pente de la droite est donc proportionnelle au coefficient de déperditions du bâtiment et représente la sensibilité du bâtiment aux rigueurs climatiques.

Plus la pente de la droite est élevée, plus le bâtiment est sensible aux rigueurs climatiques, soit par défaut d'isolation, soit par défaut d'étanchéité à l'air.

Tout écart brusque d'un point par rapport à la signature énergétique doit être interprétée comme :

- Une erreur de relevé (jauge de fioul, index compteur, ...)
- Une dérive subite des consommations dont il convient de rechercher la cause.

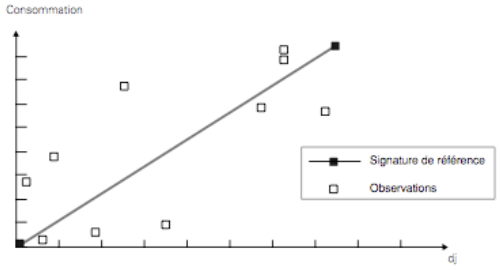


La signature énergétique permet au gestionnaire de tirer des informations sur :

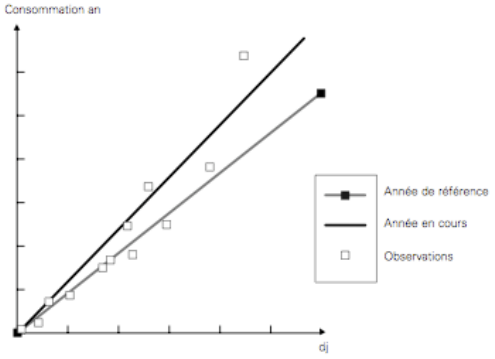
- ☑ Le fonctionnement général de l'installation de chauffage et du système de régulation.
- ☑ La puissance nécessaire pour chauffer le bâtiment.
- ☑ La valeur de l'indice de dépense d'énergie du bâtiment.
- ☑ L'efficacité réelle des mesures prises pour économiser l'énergie.
- ☑ L'apparition soudaine d'une anomalie dans le fonctionnement de l'installation de chauffage

On pourra par exemple mettre en évidence des défauts de régulation, des insuffisances graves de l'enveloppe thermique du bâtiment ou, dans certains cas, l'apport gratuit de soleil ou une déperdition due à un fort vent.

Une faible dispersion du nuage de points est significative de la bonne performance de la régulation. C'est la fonction même de la régulation que d'adapter le fonctionnement du système de chauffage aux stricts besoins du bâtiment, lesquels sont notamment déterminés par les conditions climatiques.



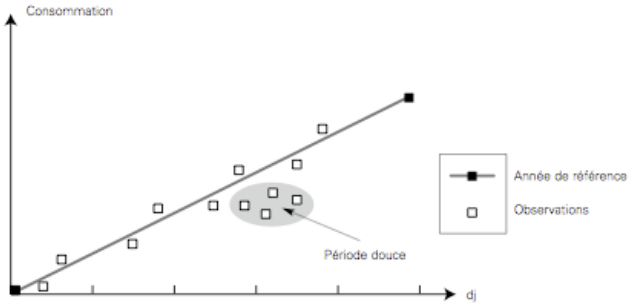
Une forte dispersion des points du diagramme, comme ci-dessus, montre donc un fonctionnement aléatoire de la régulation (absence, défaillance, ...).



L'augmentation de la pente de la signature énergétique indique une augmentation de la consommation, indépendamment des rigueurs climatiques. Cela peut correspondre :

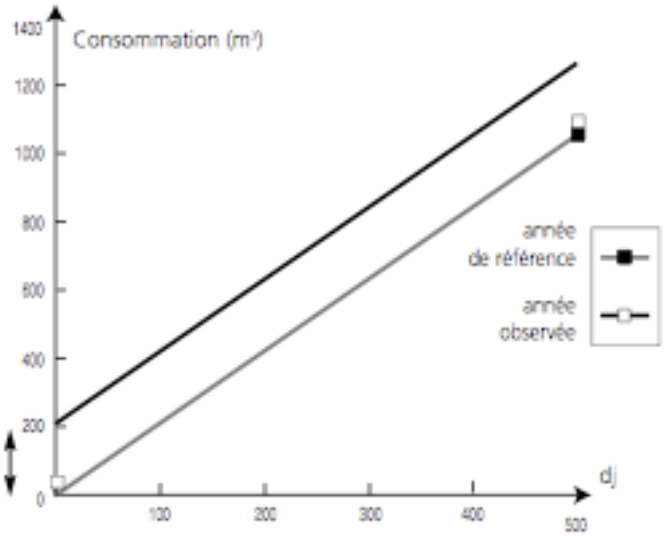
- ☑ à une surchauffe du bâtiment,
- ☑ au déréglage des courbes de chauffe,
- ☑ à un défaut d'étanchéité de l'enveloppe,
- ☑ à l'encrassement de la chaudière,
- ☑ au déréglage du brûleur.

Les consommations observées, dans des conditions climatiques particulières, sont moindres que celles attendues, soit par un ensoleillement particulièrement important et inhabituel en saison de chauffe, soit par un apport gratuit de chaleur du fait des activités humaines extraordinaires qui se seraient déroulées dans les lieux.
Cela est vrai si une sonde d'ambiance intègrent ces apports gratuits. Les points correspondants aux relevés en période douce se rassemblent sous la signature énergétique.



La consommation observée à 0 degré jour unifié peut ne pas être égale à 0. Cela est du à l'existence d'une consommation pour un autre besoin que le chauffage (par exemple : la production d'ECS, ou les pertes à l'arrêt, ...).

L'existence d'une consommation à 0 degré jour unifié peut aussi révéler un défaut de pilotage ou de régulation. Le chauffage fonctionne alors que les besoins sont nuls.



Lorsque les données sont fiables et précises, on peut alors envisager d'établir une régression du second degré.

La signature énergétique se présente alors sous la forme d'une courbe (et non plus d'une droite) dont les caractéristiques peuvent apporter quelques informations complémentaires par rapport à une régression du premier degré.

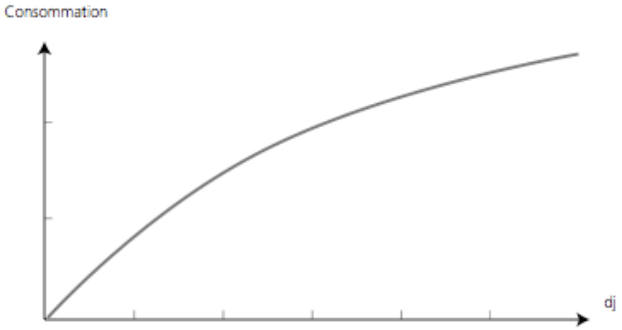
Pour l'interprétation de la signature énergétique du second degré, l'observation porte également sur les éléments suivants :

- ☑ la position des points d'observation autour de la signature énergétique,
- ☑ la pente de la signature énergétique,
- ☑ l'origine de la signature énergétique,
- ☑ l'évolution de la signature énergétique, au fil du temps.

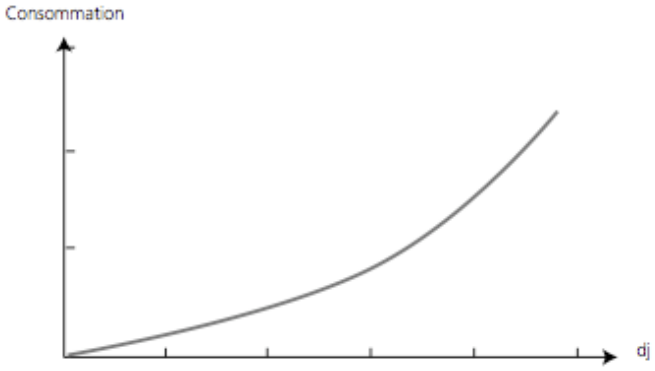
On peut ajouter un paramètre important

- ☑ la concavité de la courbe de la signature énergétique.

Dans le cas d'une concavité orientée vers le bas, le rendement moyen de l'installation augmente avec la charge de la chaudière. La concavité de la signature énergétique doit normalement être tournée vers le bas. Les signatures énergétiques dont la concavité est tournée vers le haut sont donc , à priori, suspectes.



Les signatures dont la concavité est tournée vers le haut peuvent s'expliquer par le choix d'une courbe de régulation inadéquate donnant lieu à des surchauffes lorsque les températures extérieures sont basses.

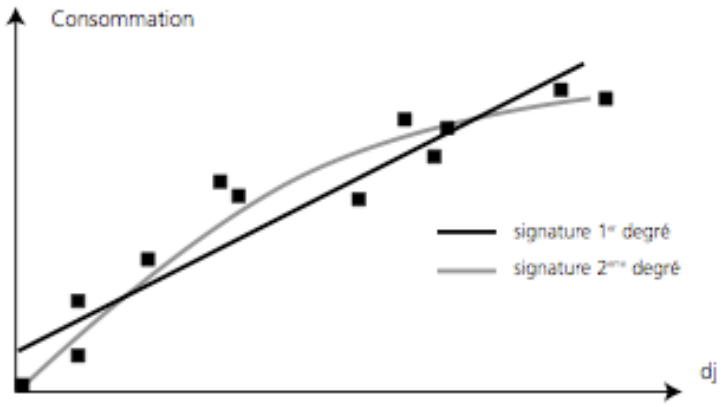


On a vu, plus haut, que la présence de consommations d'énergie à 0 degré jour pouvait conduire aux hypothèses suivantes :

- ☑ existence de consommations pour un autre besoin que le chauffage des locaux,
- ☑ défaut de mise à l'arrêt du chauffage en période de non chauffe,
- ☑ imprécision de la signature énergétique du 1er degré.

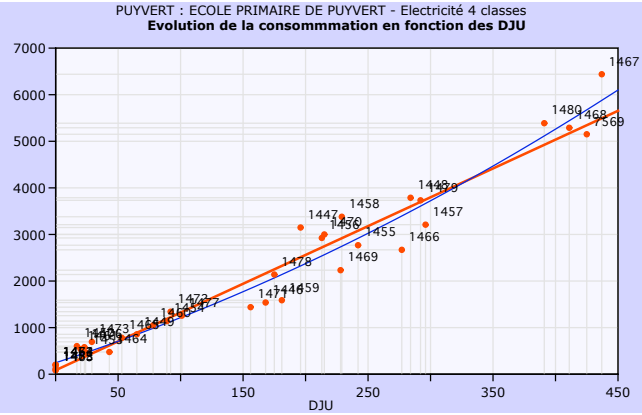
Dans l'exemple ci-dessous, le nuage de points "tire" la signature énergétique du 1er degré de telle sorte que l'origine de la droite ne passe pas par l'origine du graphique. Ce qui peut laisser penser à l'existence de consommations autres que le chauffage.

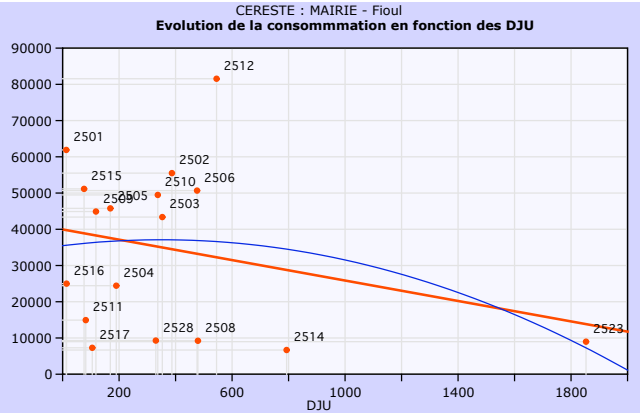
Par contre, on observe que la courbe qui représente la signature énergétique du second degré, pour la même période de consommation, ne présente pas cet écart à l'origine.



La signature énergétique du 1er degré peut donc conduire à une analyse erronée. Cette erreur peut être évitée grâce au calcul de la régression du second degré.

On peut imaginer procéder à l'établissement d'une signature énergétique du premier degré dans tous les cas et, en guise de contrôle, procéder à l'établissement d'une signature énergétique du second degré dans le cas où l'on douterait de l'interprétation à donner au graphe.





Les principales causes d'une surconsommation

Les principales causes d'une surconsommation d'énergie pendant la période de chauffage sont :

- Un brûleur déréglé,
- L'influence du vent (les façades exposées subissent un refroidissement plus rapide, le renouvellement d'air à l'intérieur est accéléré),
- Un réglage de la régulation inadéquate,
- Des changements des paramètres de la régulation
- Un dysfonctionnement au niveau de la ventilation

Les principales raisons d'une économie

Les principales raisons d'une économie d'énergie pendant la période de chauffage sont :

- Des apports dus à l'ensoleillement (c'est un apport gratuit de chaleur).
- Des apports internes (occupants, éclairage).
- Des améliorations au niveau de la régulation.

Un dernier point qu'il ne faut pas oublier, parce qu'il est essentiel :

- L'isolation thermique.

L'isolation thermique

Pourquoi ?

C'est assurément l'opération la plus efficace en terme de diminution des besoins. De plus, l'isolation thermique d'une paroi réduit considérablement l'effet de paroi froide et améliore donc les conditions de confort thermique.

Jusqu'à présent on s'est peu soucié de la qualité thermique de l'enveloppe des bâtiments. Le prix des énergies étaient faibles, on s'en souciait guère et les principales actions entreprises relevaient de l'amélioration des systèmes de chauffage (remplacement de la chaudière, du brûleur, éventuellement changement d'énergie).

Les économies générées étaient uniquement dues aux performances des équipements de chauffage. En aucune manière, elles étaient dues à des actions de maîtrise des besoins, donc à des actions sur l'enveloppe du bâtiment (isolation thermique).

Aujourd'hui, le prix des énergies augmentent et compte tenu de la raréfaction à termes des sources d'énergies principalement utilisées pour satisfaire nos besoins (fioul et gaz) et de la demande de plus en plus grande en énergie des pays émergents, le prix des énergies de diminuera plus.

Si on ne veut pas supporter l'augmentation du prix des énergies, il faut donc diminuer la consommation d'énergie des bâtiments.

En effet, une facture d'énergie est le produit de deux facteurs, à savoir la consommation et le prix de l'énergie utilisée.

En agissant sur la consommation (et non plus uniquement sur le prix), c'est-à-dire en agissant sur les besoins par des actions d'isolation thermique, on réduit considérablement la facture d'énergie.

Il va de soi qu'une telle action, qui relève de la suppression des fuites, n'est entreprise qu'après avoir entrepris les actions relevant de la gestion de l'énergie (le juste prix), de la programmation (juste quand il faut) et de la régulation (juste ce qu'il faut).

On peut légitimement se demander si une action d'isolation thermique est rentable.

Devant l'augmentation du prix des énergies, face au changement climatique, et surtout face à nos responsabilité en tant qu'émetteur direct et indirect de gaz à effet de serre, alors une telle action est rentable.

De plus en agissant sur les besoins, on réduit la puissance de base du chauffage et on ouvre ainsi la porte aux énergies renouvelables.

Avec les énergies fossiles on peut chauffer un "bâtiment passoire", pas avec les énergies renouvelables?

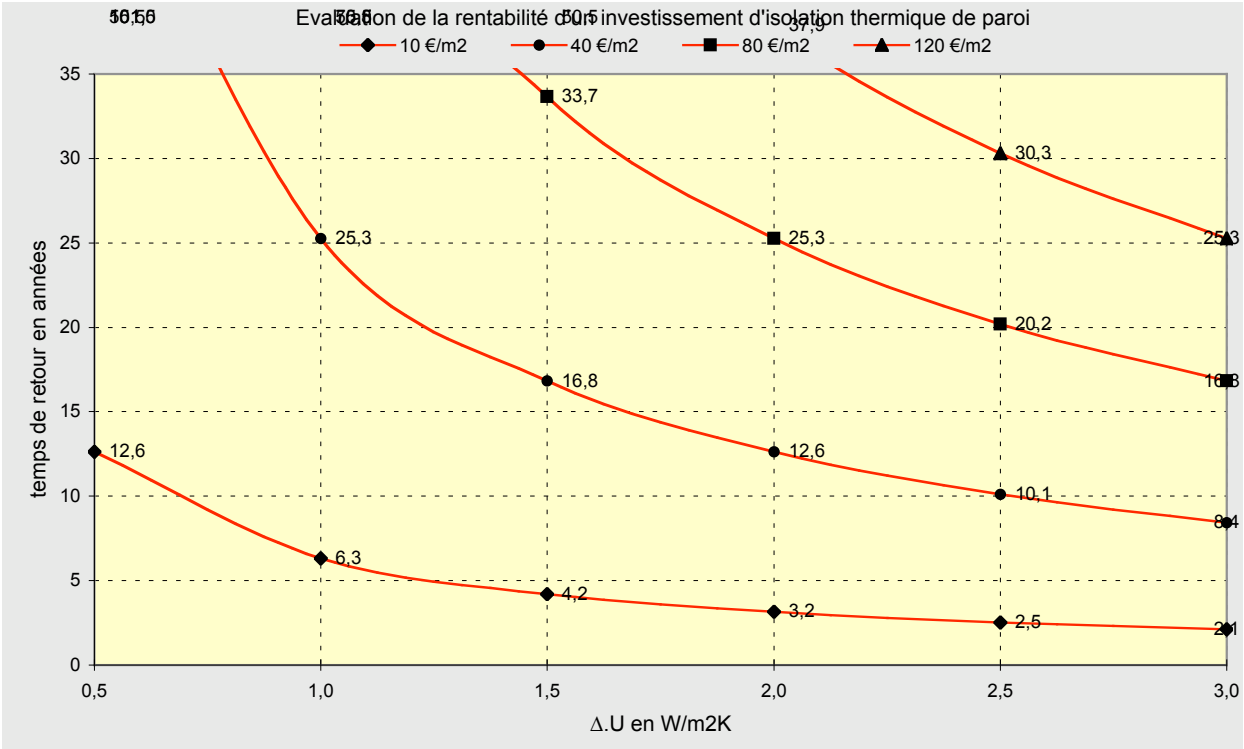
Un exemple

Evaluation de la rentabilité d'un investissement d'isolation thermique de paroi

coefficient U $_{initial}$ de la paroi :	2,00 W/m2K		perte	52,8 kWh/m2.an	3,17 €/m2.an
coefficient U $_{futur}$ de la paroi :	0,18 W/m2K		perte	4,8 kWh/m2.an	0,29 €/m2.an
soit Δ.U W/m2K :	1,82 W/m2K		gain	48,0 kWh/m2.an	2,88 €/m2.an
soit isolant avec R $_{ACERMI}$:	5,06 m2K/W	λ =	0,040 W/mK	épaisseur =	20,222 cm

DJU $_{18°C}$ de la sation de référence :	2200						
durée de la saison de chauffage :	2544 heures/an	date	du ...	15/10	au ...	15/5	212 jours
nombre d'heures de chauffage par jour :	12,0 heures/jour				coefficient d'intermittence		0,50
température intérieure de chauffage :	18 °C				base corrigée à :		212 jours
température extérieure moyenne corrigée :	7,6 °C				écart moyen de température :		10,38 °C

coût isolation € TTC/m2 :	30 € TTC/m2	économie en € TTC/m2.an :	2,88 €/m2.an
prix de l'énergie utile :	0,06 € TTC/kWh	temps de retour d'investissement :	10,41 ans

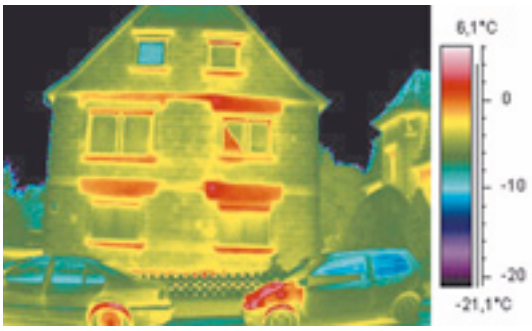


Ainsi, sur un bâtiment chauffé à 18°C, utilisant le fioul (0,06 €/kWh) et chauffé environ 12 heures par jour, une action d'isolation thermique (20 cm de laine de verre) à 30 €/m2 est amortie au bout de 10,41 ans.

Et si le bâtiment est chauffé plus longtemps, et si la température intérieure est plus haute, et si le prix de l'énergie est plus élevé, ... La collectivité sera d'autant plus gagnante.

Comment agir ?

Nul besoin de calcul savant, nul besoin d'expert ... Il suffit d'observer.



Points thermiques sur la façade d'une maison (Source : Flir System)

Fenêtre à simple vitrage parmi des fenêtres à double vitrage (Source : Flir System)

Les certificats d'économie d'énergie

La loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique retient comme premier axe de cette politique la maîtrise de la demande d'énergie (article 3) et crée un nouvel outil au service de cette maîtrise, les certificats d'économie d'énergie (chapitre 1er du Titre II).

Le dispositif des certificats repose sur la création :

- **d'une demande de certificats** : des obligations d'économies d'énergies sont imposées aux vendeurs d'énergie présents dans le secteur résidentiel et tertiaire (chauffage, isolation, eau chaude, éclairage, ...). Ils s'en acquittent en restituant un nombre équivalents de certificats;
- **d'une offre de certificats** : les actions permettant des économies d'énergie donnent lieu à l'attribution de certificats.

La nécessité d'économiser l'énergie

La France va être confrontée dans les années à venir à de grands enjeux énergétiques : maîtriser sa consommation énergétique globale, sécuriser ses approvisionnements face à des ressources fossiles qui ne sont pas illimitées et diviser par un facteur de 4 à 5 d'ici 2050 ses émissions de CO 2 pour limiter les risques de changement climatique.

Pour atteindre de tels objectifs, une relance vigoureuse et immédiate des économies d'énergie devient impérative, notamment dans les secteurs relevant des usages quotidiens (logements, bureaux, commerces et transport) aujourd'hui en forte croissance et qui recèlent d'importants gisements d'économie. La loi de programme du 13 juillet 2005 fixant les orientations de la politique énergétique impose de réduire de 2 % par an d'ici à 2015 et de 2,5 % d'ici à 2030 l'intensité énergétique finale , c'est-à-dire le rapport entre la consommation d'énergie et la croissance économique.

Un gisement d'économie d'énergie méconnu et important

Des potentiels importants d'économies existent, parfois rentables très rapidement mais, par manque de sensibilisation sur les enjeux, d'information sur les moyens de réaliser ces économies et notamment sur les incitations financières, les Français hésitent à passer à l'acte.

Les usages de l'énergie dans le logement, le bâtiment et les transports sont loin d'être optimisés. De nombreuses techniques existent aujourd'hui pour permettre une utilisation plus économique de l'énergie. Mais elles sont peu connues et rarement mises en œuvre spontanément. Une information ciblée et des actions motivantes promues par les acteurs même du marché de l'énergie devraient inciter plus facilement le consommateur à faire rimer économies d'énergie, protection de l'environnement et réduction de ses dépenses. Quelques exemples :

- des appareils électroménagers efficaces (réfrigérateurs et machines à laver de classe A ou B) consomment jusqu'à deux fois moins d'énergie ;
- la pose de vitrage isolant permet d'économiser 7 % de l'énergie de chauffage;
- une chaudière efficace 15 %,
- l'isolation des murs de 10 à 15 %,
- l'isolation de la toiture de 10 à 20 %,

- l'installation d'un thermostat d'ambiance programmable environ 7 %,
- l'installation d'un chauffe-eau solaire individuel ou d'une pompe à chaleur jusqu'à 70 % de la consommation d'énergie liée à la production d'eau chaude,

Le principe des obligations et des CEE

Le rôle essentiel des fournisseurs d'énergie : le principe des certificats d'économie d'énergie repose sur une obligation de réalisation d'économies d'énergie imposée par les Pouvoirs publics sur une période donnée aux vendeurs d'énergie (électricité, gaz, chaleur, froid et fioul domestique) comme EDF, Gaz de France, les réseaux de chaleur tels CPCU.

Un objectif réaliste de 54 TWh pour la période allant du 1er juillet 2006 au 30 juin 2009 : mais si les vendeurs d'énergie ne parviennent pas à remplir leurs obligations dans le temps imparti, ils devront s'acquitter d'une pénalité libératoire à verser au Trésor public dont le montant ne pourra excéder 2 c€/kWh.

Un champ d'actions très ouvert : liberté et créativité sont laissées aux vendeurs d'énergie pour choisir les actions qu'ils vont entreprendre afin d'atteindre leurs obligations. Ils peuvent amener leurs clients à réaliser des économies d'énergie en leur apportant des informations sur les moyens à mettre en œuvre, avec des incitations financières en relation avec des industriels ou des distributeurs : prime pour l'acquisition d'un équipement, aides aux travaux, service de préfinancement, diagnostic gratuit. Le champ des initiatives s'avère large et ouvert.
Tout ce qui permet de réaliser des économies de manière démontrable pourrait a priori entrer dans le champ des certificats, lorsque le dispositif sera totalement en place : éclairage, chauffage, isolation, etc. Enfin, le bénéfice du dispositif est élargi aux énergies renouvelables pour le chauffage dans les bâtiments, sous certaines conditions spécifiques, lorsqu'elles viennent se substituer aux énergies fossiles. Les actions engagées depuis le 1er janvier 2006 seront prises en compte.

Des listes d'opérations standardisées rendues publiques : afin de mettre à disposition des différents acteurs des documents pour faciliter le montage d'opérations et le calcul des économies d'énergie attendues, les Pouvoirs publics ont prévu la validation d'opérations standardisées dont la liste a été rendue publique et pour être enrichie progressivement. Les opérations standardisées concernent les secteurs : bâtiment résidentiel, bâtiment tertiaire, réseaux (chaleur-froid, éclairage), industriel, transport.

L'octroi de certificats aux vendeurs d'énergie : en contre partie du constat des investissements effectués par les consommateurs grâce à ces actions, les vendeurs d'énergie reçoivent des certificats sur la base de forfaits en kWh calculés par type d'action. Ils ont également la possibilité de réaliser des économies d'énergie dans leurs propres bâtiments et installations, à condition que ces sites ne soient pas déjà soumis à des exigences au titre de la réglementation sur les quotas d'émission de gaz à effet de serre.
Pour obtenir des certificats d'économie d'énergie, un dossier est à adresser par le demandeur au Préfet de son département. La liste des pièces composant le dossier de demande de certificats d'économie d'énergie est en cours de finalisation.

La possibilité d'échanges des certificats avec les collectivités publiques et territoriales : l'activation d'un marché : les vendeurs d'énergie peuvent cependant choisir d'acheter, si cela s'avère moins coûteux, des certificats d'économies d'énergie auprès d'autres acteurs comme les collectivités publiques et territoriales, les entreprises industrielles ou de services qui pourront, dans certaines conditions, obtenir elles aussi des certificats.

Une mise en œuvre progressive du dispositif : la mise en place du dispositif global sera progressive. Une première période expérimentale de 3 ans a été décidée de manière à laisser à tous les acteurs un temps « d'apprentissage ». A l'issue des 3 ans, comme le prévoit la loi, un rapport analysant les résultats sera publié.

L'émergence d'actions diffuses et les plus rentables : ce dispositif permet de financer des économies d'énergie très diffuses, notamment celles réalisées par les particuliers dans leur habitat. Ces actions sont, en règle générale, difficiles à provoquer sur une grande échelle et, dans ce cas, difficiles à financer.

Ce marché de certificats doit permettre la réalisation des actions au moindre coût pour les vendeurs d'énergie et donc pour les consommateurs, les premiers ayant tout intérêt à réaliser les actions les moins coûteuses puisque ce sont eux qui les financent. En outre, ils pourront utiliser la relation privilégiée qui les lie à leurs clients pour les convaincre d'agir et de modifier leurs comportements.

Un exemple d'action envisageable

Une commune ou une communauté de communes décide d'engager un programme de réhabilitation énergétique d'une partie des écoles primaires. Après un diagnostic énergétique, la commune finance le renforcement de l'isolation de dix écoles et obtient les certificats d'économie d'énergie correspondants en présentant les factures. En plus des économies sur les coûts de chauffage de ces écoles, elle peut compenser une partie de ses coûts d'investissements en revendant ces certificats à son fournisseur de gaz avec qui elle s'était mis d'accord dés l'origine sur un prix.

La réglementation relative à la mise en oeuvre des CEE

Date texte	Articles loi	Titres des textes publiés au J.O. (par ordre inverse chronologique)	Date J.O.
19 juin 2006	15	Arrêté du 19 juin 2006 définissant les opérations standardisées d'économies d'énergie	7 juillet 2006
19 juin 2006	15	Arrêté du 19 juin 2006 fixant la liste des pièces d'un dossier de demande de certificats d'économies d'énergie	7 juillet 2006
30 mai 2006	14, 15 90	Arrêté du 30 mai 2006 relatif aux modalités d'application du dispositif de certificats d'économies d'énergie.	1 juin 2006
23 mai 2006	14, 15	Décret n° 2006-603 du 23 mai 2006 relatif aux certificats d'économies d'énergie	27 mai 2006
23 mai 2006	14, 90	Décret n° 2006-600 du 23 mai 2006 relatif aux obligations d'économies d'énergie dans le cadre du dispositif des certificats d'économies d'énergie	27 mai 2006
23 mai 2006	16	Décret n° 2006-604 du 23 mai 2006 relatif à la tenue du registre national des certificats d'économie d'énergie	27 mai 2006

Les opération standardisées

Dénomination de l'opération standardisée	N° de référence de l'opération
Bâtiment tertiaire	
Enveloppe	
Isolation de combles ou de toitures	BAT-EN-01
Isolation des murs par l'intérieur	BAT-EN-02
Isolation d'un plancher	BAT-EN-03
Thermique	
Chaudière de type Basse température	BAT-TH-01
Chaudière de type Condensation	BAT-TH-02
Plancher chauffant à eau basse température	BAT-TH-03
Robinet thermostatique	BAT-TH-04
Radiateur à chaleur douce pour un chauffage central à combustible	BAT-TH-05
Isolation d'un réseau hydraulique de chauffage	BAT-TH-06
Chaufferie biomasse	BAT-TH-07
Programmateur d'intermittence pour un chauffage central à combustible	BAT-TH-08
Optimiseur de relance pour un chauffage central à combustible	BAT-TH-09
Récupérateur de chaleur à condensation	BAT-TH-10
Chauffe- eau solaire collectif	BAT-TH-11
Système de variation électronique sur un moteur	BAT-TH-12
Pompe à chaleur de type eau/ eau	BAT-TH-13
Pompe à chaleur de type air/ eau	BAT-TH-14
Climatiseur de classe A (DOM)	BAT-TH-15
Equipement	
Luminaire pour tube fluorescent T5	BAT-EQ 01
Horloge sur un dispositif d'éclairage	BAT-EQ 02
Détecteur de présence sur un dispositif d'éclairage	BAT-EQ 03
Luminaire avec ballast électronique et système de gradation sur un dispositif d'éclairage	BAT-EQ 04
Tube fluorescent haut rendement T8 sur un dispositif d'éclairage	BAT-EQ 05
Luminaire avec ballast électronique sur un dispositif d'éclairage	BAT-EQ 06

Un exemple : Isolation des combles

1. Secteur d'application

Bâtiment tertiaire : locaux du secteur tertiaire existants réservés à une utilisation professionnelle, de surface totale inférieure à 5000 m^2.

2. Dénomination

Mise en place d'une isolation thermique de résistance thermique R ≥ 2,5 m^2K/W en comble ou en toiture.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

Les isolants ont une certification ACERMI ou des caractéristiques de performance et de qualité équivalentes établies par un mode de preuve légal dans un Etat membre de l'Union Européenne ou un Etat partie à l'accord instituant l'Espace Economique Européen ou en Turquie.

Les isolants doivent être mis en œuvre conformément aux règles en vigueur ou au cahier des prestations techniques (CPT) d'isolation des combles.

Mise en place réalisée par un professionnel.

4. Durée de vie conventionnelle

35 ans.

5. Montant de certificats en kWh cumac

Montant en **kWh cumac / m² d'isolant**					
2,5 $m^2K/W \leq R < 5$ m^2K/W			R ≥ 5 m^2K/W		
Zone climatique	Energie de chauffage		Zone climatique	Energie de chauffage	
	Electricité	Combustible		Electricité	Combustible
H1	**1 100**	**1 700**	H1	**2 400**	**3 800**
H2	**900**	**1 400**	H2	**2 000**	**3 100**
H3	**600**	**900**	H3	**1 300**	**2 100**

X

Secteur d'activité	Facteur thermique
Bureaux	**0,5**
Enseignement Commerces Hôtellerie - Restauration	**0,6**
Santé	**1,1**

Sur l'exemple précédent (Cf. tableau Excel pour l'évaluation de la rentabilité d'un investissement d'isolation thermique de paroi), on note que l'économie réalisée (dans les conditions du calcul) est de 48 kWh/m2.an.

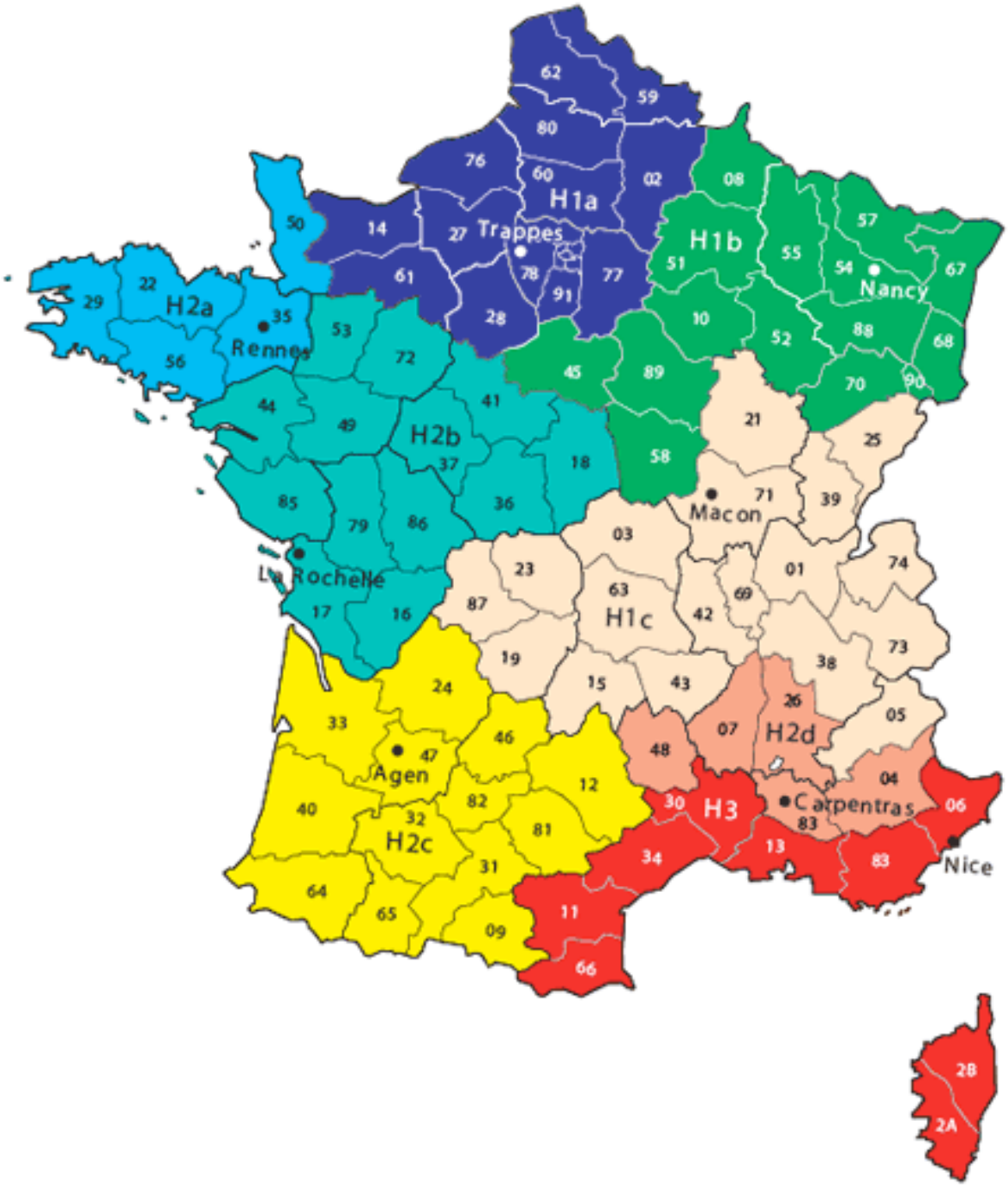
Soit une économie cumulée sur 35 ans, de 1680 kWh cumac/m2.

L'opération standardisée (zone H2) admet un montant de certificats de 3100 x 0,5 (si Bureaux) = 1550 kWh cumac/m2 qui peut être revendu au fournisseur d'énergie (après son accord).

Les zones climatiques

Après le choc pétrolier de 1973, la réglementation thermiques des logements neufs a défini trois zones climatiques (A, B et C) par département et, le cas échéant par canton.

En 1982, une nouvelle réglementation a établi les trois zones climatiques d'hiver (H1, H2 et H3) en vigueur aujourd'hui. Ce zonage dépend du département et de l'altitude.



L'éclairage public

La durée de l'éclairage public

La durée astronomique du jour s'obtient par différence entre l'heure du lever et l'heure du coucher du soleil, selon la formule :

durée du jour, $S = (2/15) \times \arccos(-\text{tgt}\ \varphi \times \text{tgt}\ \delta)$

où : φ = latitude du lieu,
δ = déclinaison du soleil

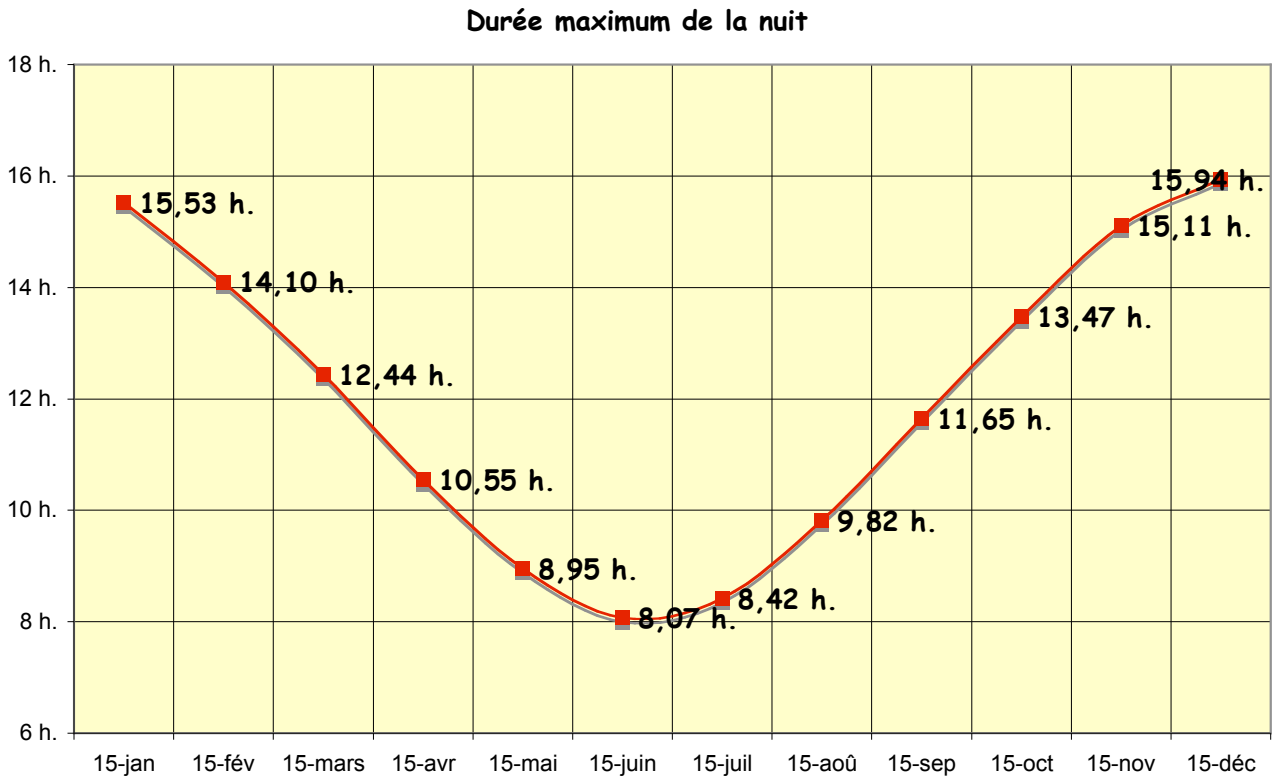
et la durée astronomique de la nuit s'obtient donc par différence avec le cycle quotidien de 24 heures.

Cependant, on reconnaît qu'une demie heures après le coucher du soleil et qu'une demie-heure avant le lever du soleil, la lumière est suffisante pour se passer d'éclairage artificiel extérieur.

Ainsi, la durée de fonctionnement de l'éclairage public par cycle quotidien est de :

durée nuit = 24h - durée du jour - 1h

Dès lors, la durée annuelle de fonctionnement de l'éclairage public et de 4015 heures/an, soit en moyenne 11 heures de nuit par cycle quotidien de 24 heures.



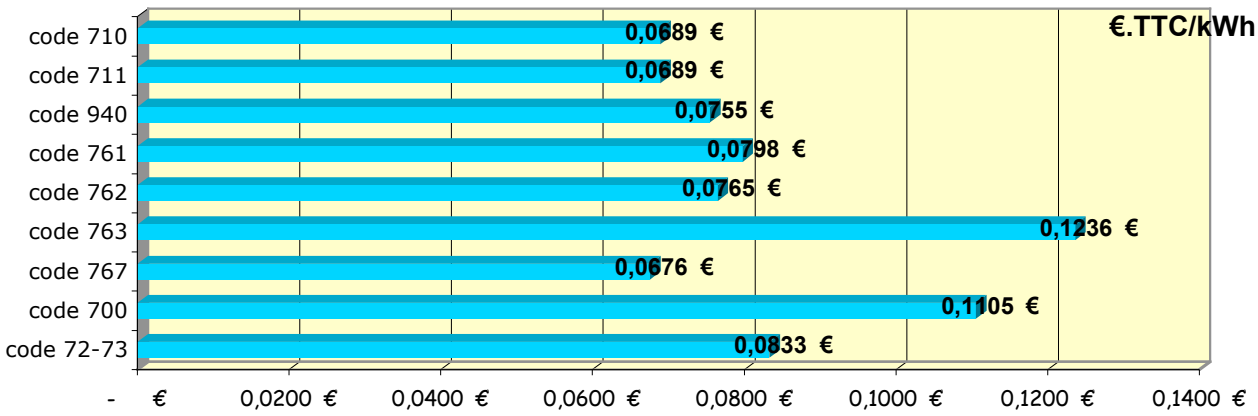
Le code tarif des factures EDF

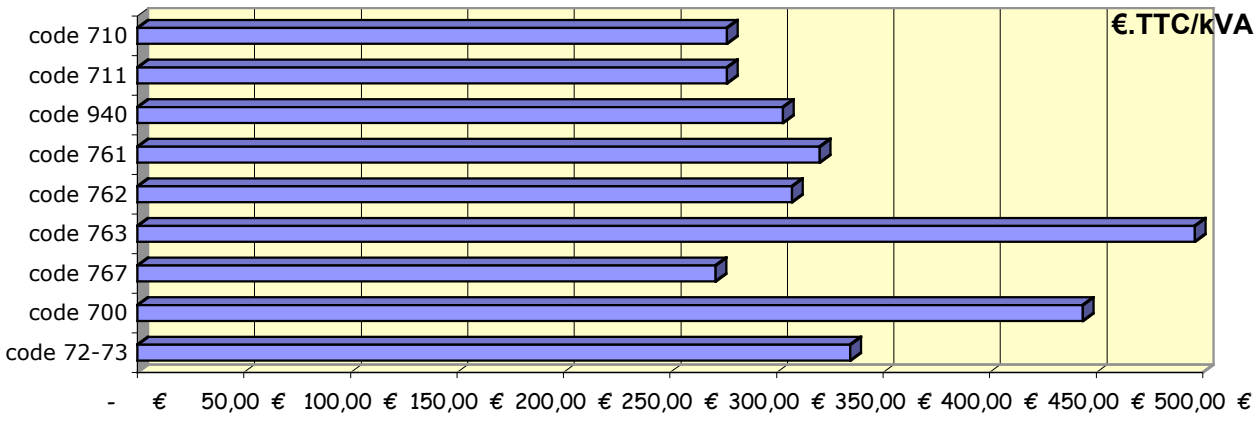
Depuis 1987, le code tarif applicable à l'éclairage public, selon la codification EDF, est le code tarif 710 ou plus simplement dit "le nouveau tarif bleu éclairage public".

Il existe, chez EDF, bien d'autres versions tarifaires pour l'éclairage public. Ainsi, il existe :

éclairage public (4015 h/an) *1/01/2004*	code tarif	abonnement €.an/kVA	énergie consommée €/kWh HP	€/kWh HC	TVA	coût total moyen annuel €.TTC/kWh	€.TTC/kVA
tarif bleu EP avec comptage	**le 710**	106,68 €	0,0342 €	0,0342 €	0,0082 €	0,0689 €	276,77 €
tarif bleu EP sans comptage	de 711	106,68 €	0,0342 €	0,0342 €	0,0082 €	0,0689 €	276,77 €
tarif bleu EP avec comptage	de 940	74,64 €	0,0467 €	0,0467 €	0,0102 €	0,0755 €	303,00 €
EP matin & soir sans comptage	de 761	85,56 €	0,0479 €	0,0479 €	0,0106 €	0,0798 €	320,28 €
EP soir seul sans comptage	de 762	73,08 €	0,0479 €	0,0479 €	0,0104 €	0,0765 €	307,11 €
feux signalisation sans comptage	de 763	252,48 €	0,0479 €	0,0479 €	0,0128 €	0,1236 €	496,38 €
illuminations été sans comptage	de 767	39,24 €	0,0479 €	0,0479 €	0,0099 €	0,0676 €	271,41 €
EP simple tarif avec comptage	de 700	24,60 €	0,0870 €	0,0870 €	0,0174 €	0,1105 €	443,72 €
EP double tarif avec comptage	72-73	30,72 €	0,0870 €	0,0479 €	0,0122 €	0,0833 €	334,64 €

Sur la base d'une durée annuelle de l'éclairage public, de 4000 heures par an, cela donne un prix moyen en € TTC du kWh et du kVA souscrit différent selon la version tarifaire souscrite :





Le taux d'utilisation de la puissance souscrite TU%

Si la puissance souscrite est égale à la puissance installée, alors la consommation électrique enregistrée au poste EP au cours d'une année (4000 heures) est bien le produit de la puissance souscrite par 4000 heures.

Autrement dit, le rapport (consommation annuelle en kWh) / (Puissance souscrite en kVA x 4000 heures) = proche de 100%.

Mais attention, la puissance installée n'est pas la seule somme des puissances unitaires des lampes (kW). Il faut tenir compte aussi de la puissance des ballasts. Cette puissance réellement installée est exprimée en kVA. D'où l'intéret de prendre en compte le facteur de puissance de l'installation et faire qu'il soit le plus proche de l'unité.

- Si le TU% est > 100%, alors la puissance souscrite est inférieure à la puissance installée, ... Et dans ce cas, il faut ajuster à la hausse la puissance souscrite.
- Si le TU% est < 100%, alors la puissance souscrite est supérieure à la puissance installée, ... Et dans ce cas, il faut ajuster à la baisse la puissance souscrite.

La tarification EDF

Généralités

le système tarifaire d'EDF est fondé sur la puissance souscrite par le client.

le tableau ci-après présente la structure générale de la tarification EDF:

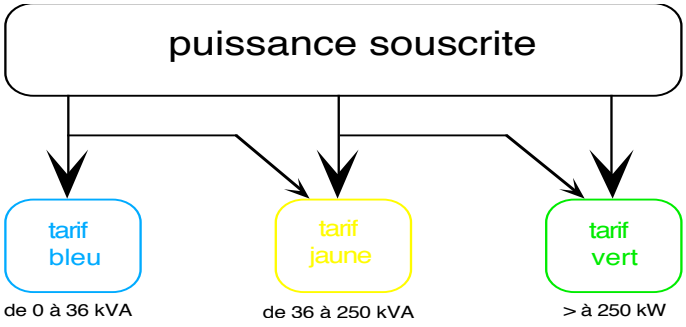
tarif	base / option	taille client	tension alimentation	poste horo-saisonnier
bleu	petite fourniture	3 kVA	BT	1
	* option de base	de 6 à 36 kVA	BT	1
	* option heures creuses	de 6 à 36 kVA	BT	2
	option EJP	de 12 à 36 kVA	BT	2
	option saisonnalisée	de 9 à 36 kVA	BT	4
jaune	* option de base	de 36 à 250 kVA	BT	4
	option EJP	de 36 à 250 kVA	BT	4
vert A5	* option de base	de 250 à 10000 kW	MT - HT	5
	option EJP	de 250 à 10000 kW	MT - HT	4
vert A8	option de base	de 250 à 10000 kW	MT - HT	8
	option EJP	de 250 à 10000 kW	MT - HT	6
vert B	option de base	de 10000 à 40000 kW	MT - HT	8
	option EJP	de 10000 à 40000 kW	MT - HT	6
vert C	option de base	plus de 40000 kW	HT - THT	8
	option EJP	plus de 40000 kW	HT - THT	6

dans la gamme tarifaire proposée par EDF, nous examinerons ci-après les seuls tarifs suivants:

- tarif bleu: option de base (simple tarif)
  option heures creuses (double tarif)
- tarif jaune: option de base
- tarif vert: option de base.

Le rôle de la puissance

Le client dont la puissance est inférieure à 36 kVA est du ressort du tarif bleu. La tranche de puissance comprise entre 36 kVA et 250 kVA correspond au tarif jaune. Au dessus de 250 kW c'est le tarif vert.



les fournitures au tarif bleu et au tarif jaune sont livrées en basse tension. Au tarif vert, les clients sont classées selon la puissance souscrite. Le tarif vert est un système tarifaire où chaque client doit financer son propre poste de transformation.

Le contrôle de la puissance

- Au tarif bleu, la puissance souscrite est contrôlée par un disjoncteur. Il n'y a donc pas de possibilité de dépassement de la puissance souscrite.

- Au tarif jaune, la puissance peut, au choix du client, être contrôlée soit par un disjoncteur, soit par un contrôleur de puissance qui autorise le dépassement de la puissance souscrite en indiquant le niveau de puissance atteint et le temps de dépassement. C'est ce temps de dépassement, exprimé en heures, qui est facturé au client s'il a choisi l'option contrôleur de puissance. Dans le cas contraire, le dépassement n'est pas possible.

- Au tarif vert le dépassement de puissance est actuellement basé sur la puissance maximale atteinte au cours de la période de facturation, et ce quel que soit le temps de dépassement de la puissance souscrite. Il est prévu à court terme, une facturation des dépassements qui tienne compte non seulement de leur amplitude, mais également de leur fréquence afin de mieux cerner le caractère plus ou moins coûteux de la fourniture.

Le choix du tarif

Le choix se fait donc entre ces trois types de tarifs: bleu, jaune ou vert.

Par ailleurs, à l'intérieur de ces trois tarifs, la gamme tarifaire proposée par EDF est composée d'un certain nombre de versions tarifaires qui comportent chacune une règle du jeu (poids relatif de la prime fixe et du prix du kWh, découpage horo-saisonnier, régime des dépassements de puissance, etc...). Il appartient donc au client de tirer le meilleur parti possible de la tarification en choisissant la version tarifaire dont la règle du jeu lui est la plus favorable compte tenu de la structure de ses consommations et surtout de ses besoins dans le temps en puissance souscrite.

Dès lors, les critères à prendre en considération pour le bon choix tarifaire sont les suivants:

- La puissance, à déterminer en tenant compte du foisonnement, sachant qu'en règle générale les appareils électriques ne fonctionnent pas tous en même temps.
  . **c'est l'analyse du taux d'utilisation**

- Le régime de fonctionnement des appareils, à savoir jour et nuit, jour ou nuit seulement, possibilité de décalage en fonction de la tarification et notamment des heures de pointe, etc...
  . **c'est l'analyse des périodes horaires**

- La durée d'utilisation de la puissance maximum souscrite, qui permet d'opter pour la version tarifaire la plus intéressante.
  . **c'est l'analyse de la version tarifaire**

- La catégorie du client, notamment pour le tarif bleu qui fait encore la distinction entre les clients domestiques et agricoles, les clients professionnels et les clients communes.
  . **c'est l'analyse du code tarif bleu**

Le tarif bleu (Base ou à 2 classes tarifaires)

La version tarifaire de base ou simple tarif (ST) comporte un prix de l'énergie et une prime fixe fonction de la puissance souscrite. L'option heures creuses ou double tarif (DT), dont la durée en heures creuses est de 8 heures par jour, comporte deux prix de l'énergie (un prix heures pleines HP et un prix heures creuses HC) et une prime fixe en fonction de la puissance souscrite.

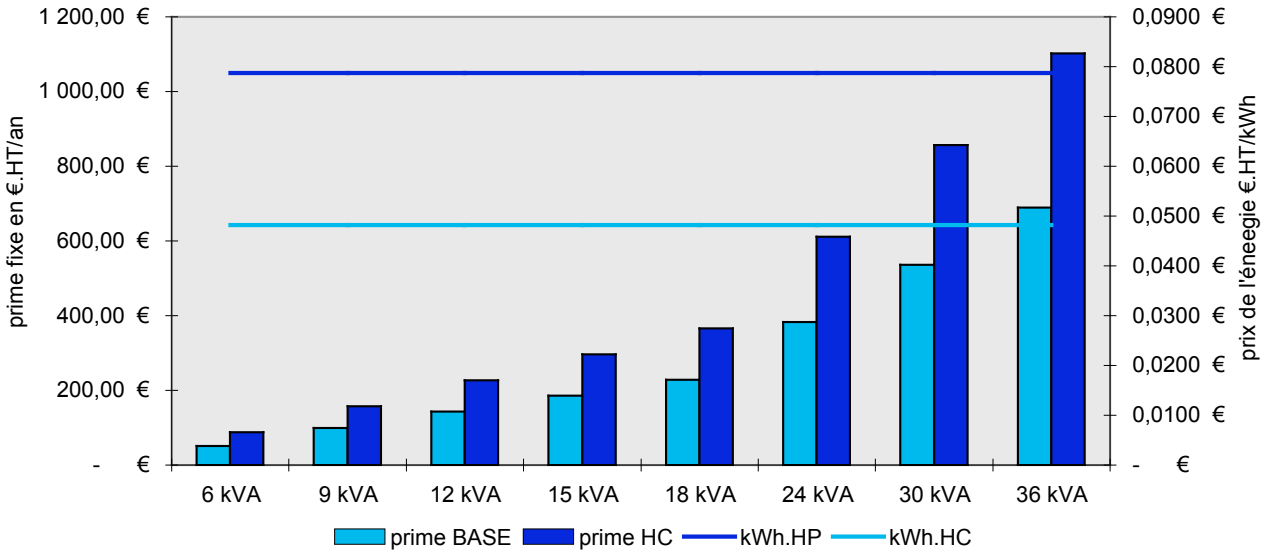
Le tarif bleu distingue une seule période saisonnière et deux périodes horaires, soit au total deux périodes tarifaires (HP et HC), c'est-à-dire:

- une période saisonnière: année, du 1er janvier au 31 décembre (12 mois)

- deux périodes horaires: heures pleines, 16 heures par jour, 7 jours par semaine
  heures creuses, 8 heures par jour, 7 jours par semaine

soit donc, deux périodes tarifaires: simple tarif ST HP 5840 heures
double tarif DT HC 2920 heures

comme on peut le voir sur le graphique suivant:

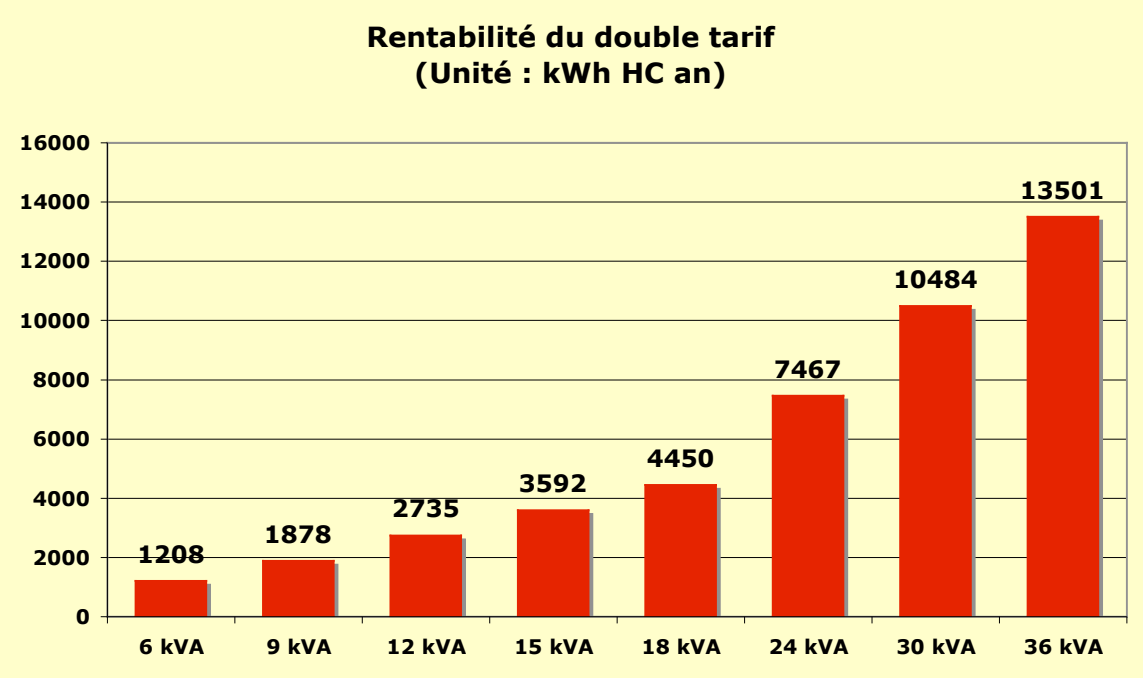


Il existe encore à ce jour un grande diversité tarifaire.

cependant, deux contraintes sont imposées au prix de l'énergie dans ces deux versions simple tarif (ST) et double tarif (DT), à savoir:

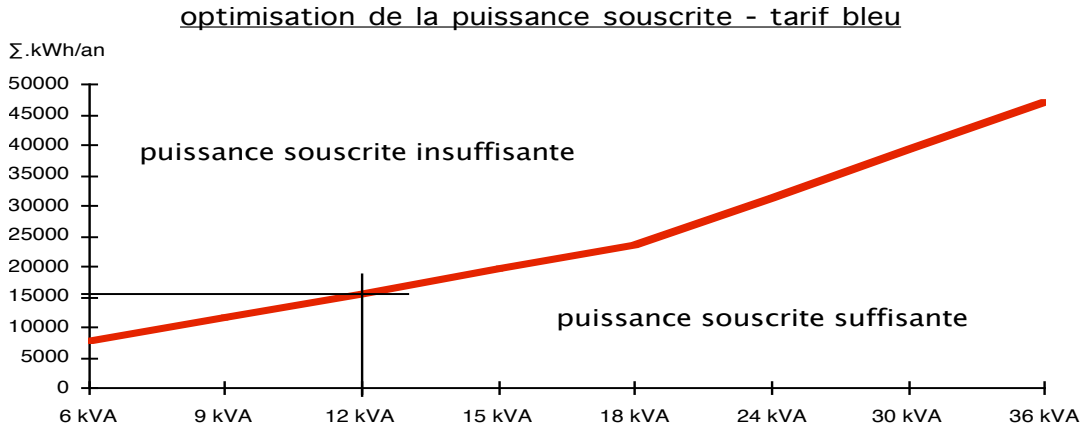
- La première est l'unicité du prix de l'énergie du tarif de base et du prix d'heures pleines HP de l'option heures creuses HC du double tarif. Ainsi, le client peut-il choisir l'option heures creuses (option DT) sur la seule base de sa consommation en heures creuses.

d'où sur le graphique ci-après le seuil de rentabilité de l'option heures creuses en fonction de la puissance souscrite.



- La deuxième est l'unicité des prix de l'énergie pour les différents niveaux de puissance souscrite. Le client est donc plus sensible au coût de la puissance souscrite d'autant plus qu'en tarif bleu le dépassement de puissance n'est pas possible.

d'où sur le graphique ci-après, la valeur optimale de la consommation annuelle d'énergie pour le choix de la puissance souscrite:



Pour le tarif bleu la souscription de puissance s'effectue en puissance apparente, c'est-à-dire en kVA et non en kW. Cette puissance en kVA tient donc compte du facteur de puissance de l'installation et il n'y a donc pas, de ce fait, de facturation de l'énergie réactive.

Le client a donc tout intérêt à maintenir son facteur de puissance dans des limites raisonnables afin d'éviter une souscription trop importante de puissance apparente sur laquelle repose le calcul de la prime fixe.

Le tarif jaune (4 classes ou 5 classes tarifaires)

le tarif jaune distingue deux périodes saisonnières (hiver H et été E) et deux périodes horaires (heures pleines HP et heures creuses HC) soit au total donc quatre périodes tarifaires (HPH, HCH et HPE, HCE), c'est-à-dire:

- deux périodes saisonnières: hiver du 1er novembre au 31 mars (5 mois)
  été du 1er avril au 31 octobre (7 mois)

- deux périodes horaires: heures pleines HP 16 heures par jour, 7 jours par semaine
  heures creuses HC 8 heures par jour, 7 jours par semaine

soit donc, quatre périodes tarifaires:

heures pleines d'hiver	HPH	2416 heures
heures creuses dhiver	HCH	1208 heures
heures pleines d'été	HPE	3424 heures
heures creuses d'été	HCE	1712 heures

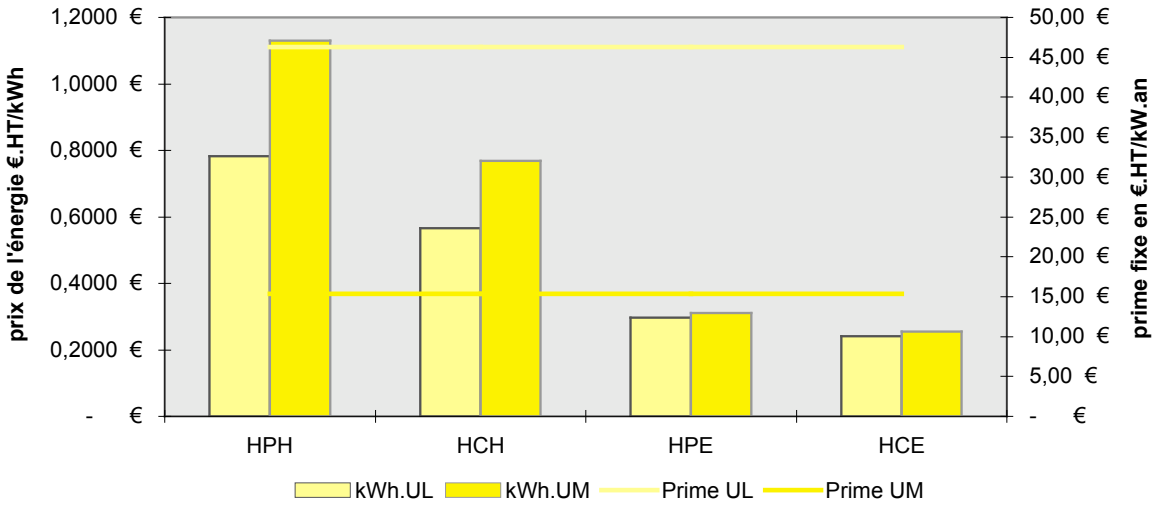
ainsi que le montre la grille horo-saisonnière ci-après:

Le tarif jaune comprend deux versions tarifaires selon la durée d'utilisation de la puissance maximale souscrite souscrite.

- une version utilisation moyenne UM qui comprend quatre périodes horo-saisonnières pour une durée d'utilisation de la puissance maximale inférieure à 2000 heures par an,
- une version utilisation longue UL (durée d'utilisation de la puissance maximale souscrite supérieure à 2000 heures par an) faisant intervenir quatre périodes horo-saisonnières pour les clients ayant la possibilité de moduler leur consommation entre l'hiver et l'été et ainsi souscrire un dénivelé de puissance.

Dès lors chaque version tarifaire comprend un prix de l'énergie fonction de la période tarifaire et une prime fixe fonction de la puissance souscrite selon la version choisie UM ou UL.

Comme on peut le voir sur le graphique suivant:

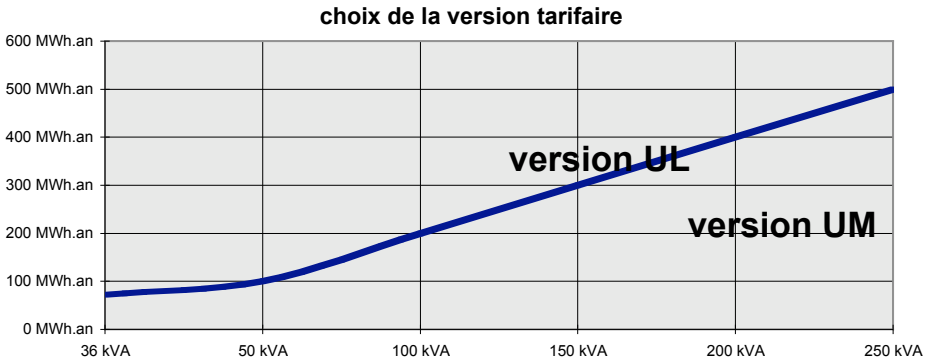


En tarif jaune la puissance souscrite peut être contrôlée par un disjoncteur. Il n'y a pas de possibilité de dépassement de la puissance souscrite, sauf avec les nouveaux compteurs (disponible en option). Le dépassement de puissance est alors facturé sur la base du temps de dépassement.

Comme en tarif bleu, la souscription de puissance s'effectue en puissance apparente, c'est-à-dire en kVA et non en kW. Cette puissance en kVA tient donc compte du facteur de puissance de l'installation et il n'y a donc pas, de ce fait, de facturation de l'énergie réactive. Le client a donc tout intérêt à maintenir son facteur de puissance dans des limites raisonnables afin d'éviter une souscription trop importante de puissance apparente sur laquelle repose le calcul de la prime fixe.

Par ailleurs, parmi les versions tarifaires proposées, le choix de la version optimale est fonction du nombre d'heures d'utilisation annuelle de la puissance maximum souscrite (le seuil étant de 2000 heures par an), c'est-à-dire du rapport entre toutes les consommations annuelles dans toutes les périodes tarifaires et la puissance maximum souscrite.

D'où sur le graphique ci-après, la valeur optimale de la consommation annuelle d'énergie pour le choix de la version tarifaire:



Le tarif vert (5 classes tarifaires)

le tarif vert distingue deux périodes saisonnières (hiver H et été E) et trois périodes horaires (heures de pointe HPTE, heures pleines HP et heures creuses HC), soit donc au total cinq périodes tarifaires (HPTE, HPH, HCH et HPE, HCE), c'est-à-dire:

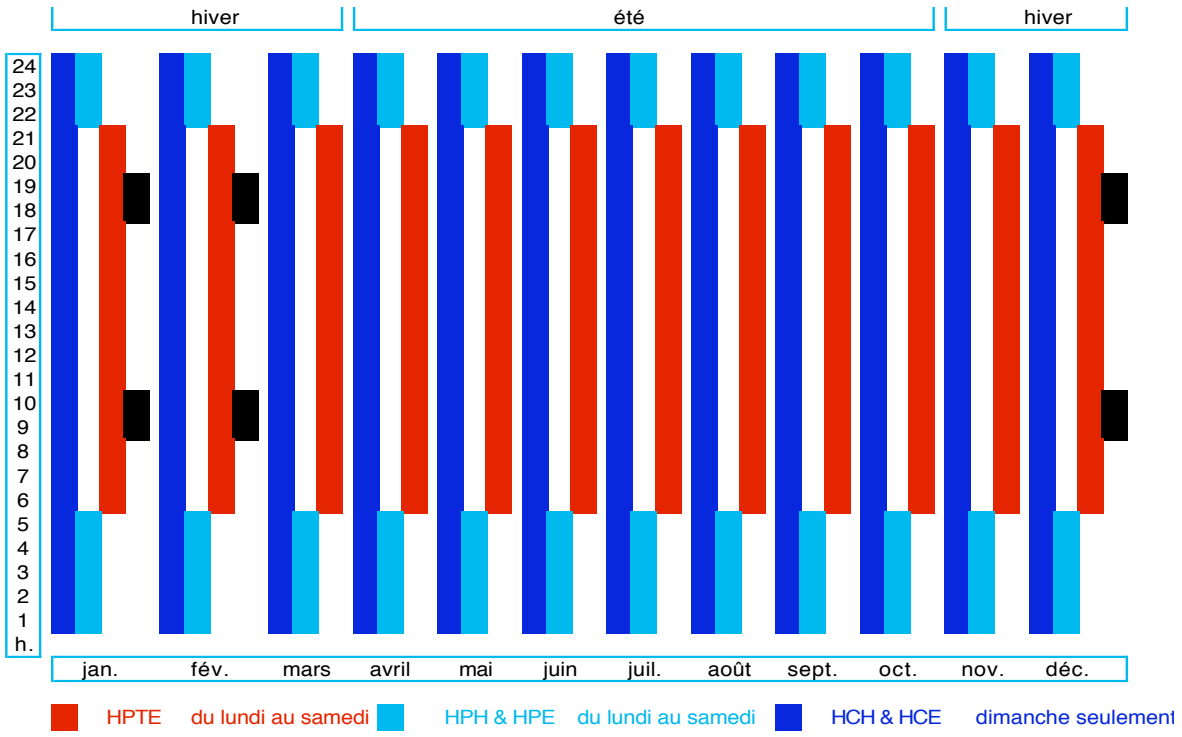
- deux périodes saisonnières: hiver du 1er novembre au 31 mars (5 mois)
  été du 1er avril au 31 octobre (7 mois)

- trois périodes horaires: heures de pointe HPTE 4 h. par jour du lundi au samedi, inclus en janvier, février et déc.
  heures pleines HP 8 heures par jour du lundi au samedi
  heures creuses HC toutes les autres heures et le dimanche entier

soit donc, cinq périodes tarifaires:

heures de pointe	HPTE	309 heures
heures pleines d'hiver	HPH	1762 heures
heures creuses dhiver	HCH	1552 heures
heures pleines d'été	HPE	2905 heures
heures creuses d'été	HCE	2201 heures

ainsi que le montre la grille horo-saisonnière ci-après:

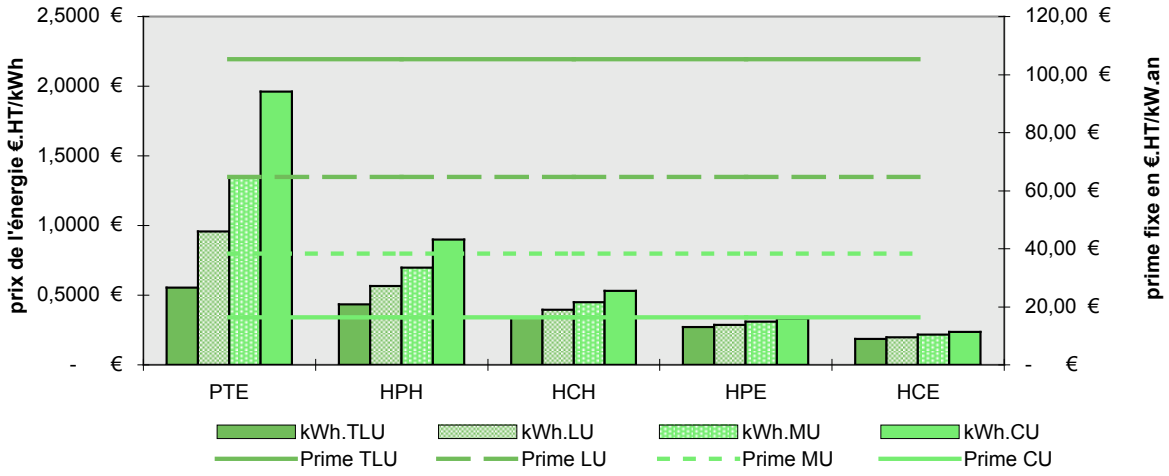


le tarif vert comprend quatre version starifaires selon la durée d'utilisation de la puissance maximale souscrite, à savoir:

- une version courte utilisation CU de 0 à 2000 heures par an,
- une version moyenne utilisation MU de 2000 à 3500 heures par an,
- une version longue utilisation de 3500 à 6300 heures par an,
- une version très longue utilisation au delà de 6300 heures par an.

Dès lors, chaque version tarifaire comprend un prix de l'énergie fonction de la période tarifaire et une prime fixe fonction de la puissance souscrite selon la version choisie TLU, LU, MU ou CU. Dans ce tarif, le client peut moduler sa souscription de puissance selon les périodes tarifaires pour bénéficier d'un rabais sur la prime fixe, notamment en heures de pointe et en heures pleines.

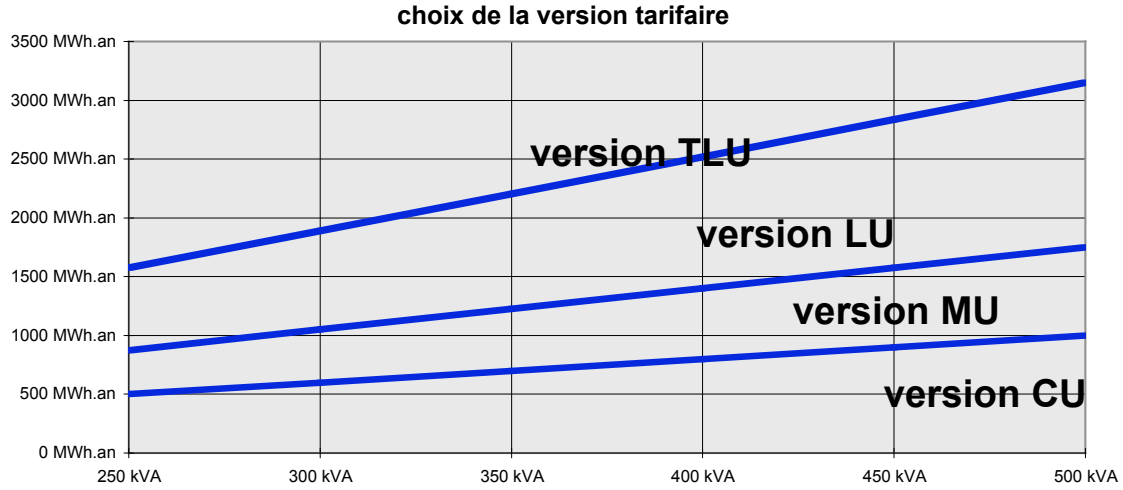
Comme on peut le voir sur le gaphique suivant:



Cependant, l'installation ne comportant pas de disjoncteur, les dépassements de puissance, qui sont tolérés, donnent lieu au paiement d'une prime complémentaire de dépassement. La facturation du dépassement repose actuellement sur la puissance maximale atteinte.

Par ailleurs, parmi les versions tarifaires proposées, le choix de la version est fonction du nombre d'heures d'utilisation annuelle de la puissane maximum souscrite (le seuil est variable selon la version tarifaire choisie), c'est-à-dire du rapport entre toutes les consommations annuelles dans toutes les périodes tarifaires et la puissance maximum souscrite.

D'où sur le graphique ci-après, la valeur optimale pour le choix de la version tarifaire



Méthodologie d'analyse des factures EDF - tarif bleu

Un certain nombre de vérifications sont à faire afin de contrôler la bonne facturation, c'est-à-dire en fait contrôler le prix moyen du kWh électrique consommé. L'objectif est bien sur de rapprocher le prix moyen du kWh consommé (prix tout compris) du prix plancher du tarif EDF.

- La première consiste à vérifier le bon choix de la valeur de la puissance souscrite.

Pour cela, il faut calculer le taux d'utilisation moyen annuel de la puissance souscrite qui vaut :

TU % = [(Σ.kWh.an) / (Puissance souscrite x 8760)]

Pour une bonne valeur de la puissance souscrite, adaptée aux besoins, il faut 10% < TU% < 15%.

Si le TU% < 10%, alors la puissance souscrite est élevée, et si TU% > 15%, alors la puissance souscrite est faible (risque de disjoncter).

Une bonne puissance souscrite

- La suivante est la vérification de la bonne application du code tarif à l'usage qu'il est fait de la fourniture de l'électricité.

Le bon code tarif

- En fin la dernière vérification consiste à contrôler le choix du double tarif heures creuses.

Pour cela, la consommation d'électricité pendant les heures creuses doit être supérieure à un certain seuil dit seuil de rentabilité du double tarif.

ainsi,

seuil de rentabilité DT (en kWh) > [(prime fixe DT - prime fixe ST) / (prix kWh.HP - prix kWh.HC)]

Un double tarif rentable

Méthodologie d'analyse des factures EDF - tarif jaune

Un certain nombre de vérification sont à faire afin de contrôler la bonne facturation, c'est-à-dire en fait contrôler le prix moyen du kWh électrique consommé. L'objectif est bien sur de rapprocher le prix moyen du kWh consommé (prix tout compris) du prix plancher du tarif EDF.

- La première vérification consiste à contrôler le bon choix de la valeur de la puissance souscrite dans chaque période tarifaire et sur l'année, en privilégiant toutefois cette dernière.

Pour cela, il faut calculer le taux d'utilisation moyen annuel de la puissance souscrite qui vaut :

TU % = [(Σ.kWh.an) / (Puissance souscrite x 8760)]

Pour une bonne valeur de la puissance souscrite, sur l'année et sur chaque période tarifaire, adaptée aux besoins, il faut 10% < TU% < 15%.

Si TU% < 10%, alors la puissance souscrite est élevée, et si TU% > 15%, alors la puissance souscrite est faible (risque de disjoncter ou de pénalités selon le type de comptage).

En sachant toutefois qu'en tarif jaune, un dénivelé de puissance est possible dans la version tarifaire UL. Ainsi, il est possible de choisir une valeur de la puissance souscrite en hiver différente de celle souscrite en été, cette dernière étant toujours supérieure à celle souscrite en hiver.

Une bonne puissance souscrite

- Dès lors, la deuxième vérification consiste à contrôler le bon choix de la version tarifaire, à savoir entre version longue utilisation UL et version utilisation moyenne UM.

Le choix est déterminé à partir de la durée d'utilisation de la puissance souscrite maximum. La durée vaut:

durée (en heures.an) = [Σ.kWh.an / puissance maximale souscrite]

Si la durée est supérieure à 2000 heures par an, alors le bon choix est la version UL. Dans le cas contraire c'est la version UM.

Une bonne version tarifaire

Méthodologie d'analyse des factures EDF - tarif vert

Un certain nombre de vérification sont à faire afin de contrôler la bonne facturation, c'est-à-dire en fait contrôler le prix moyen du kWh électrique consommé. L'objectif est bien sur de rapprocher le prix moyen du kWh consommé (prix tout compris) du prix plancher du tarif EDF.

- La première vérification consiste à contrôler le bon choix de la valeur de la puissance souscrite dans chaque période tarifaire et sur l'année, en privilégiant toutefois cette dernière.

Pour cela, il faut calculer le taux d'utilisation moyen annuel de la puissance souscrite qui vaut :

TU % = [(Σ.kWh.an) / (Puissance souscrite x 8760)]

Pour une bonne valeur de la puissance souscrite, sur l'année et sur chaque période tarifaire, adaptée aux besoins, il faut 10% < TU% < 15%.

Si TU% < 10%, alors la puissance souscrite est élevée, et si TU% > 15%, alors la puissance souscrite est faible (risque de pénalités). La lecture de la valeur des puissances atteintes au cours des périodes horaires est une aide au bon choix de la valeur de la puissance souscrite.

En sachant toutefois qu'en tarif vert, un dénivelé de puissance est possible dans chaque période tarifaire. Ainsi, il est possible de choisir une valeur de la puissance souscrite différente pour chaque période tarifaire. Cependant, les puissance souscrites doivent être constantes ou croître de l'hiver à l'été.

Une bonne puissance souscrite

- Dès lors, la deuxième vérification consiste à contrôler le bon choix de la version tarifaire, à savoir entre version très longue utilisation TLU, version longue utilisation LU, version moyenne utilisation MU et version courte utilisation CU.

le choix est déterminé à partir de la durée d'utilisation de la puissance souscrite maximum. La durée vaut:

durée (en heures.an) = [Σ.kWh.an / puissance maximale souscrite]

si la durée est inférieure à 2000 heures par an, alors le bon choix est la version CU, si la durée est comprise entre 2000 et 3500 heures par an environ, alors le bon choix est la version MU, si la durée est comprise entre 3500 et 6300 heures par an environ, alors le bon choix est la version LU. Si la durée est supérieure à 6300 heures par an, le bon choix est la version TLU.

Une bonne version tarifaire

- La vérification suivante est relative à la valeur des pertes joule et des pertes fer facturées.

Dans la plupart des cas, la mesure des puissances et des énergies active et réactive est effectuée en basse tension. Les puissances et l'énergie active mesurées par les appareillages de comptage sont alors majorées des pertes joule et des pertes fer (ou pertes à vide) du transformateur MT/BT.

Ces pertes joule et pertes fer sont fonction de la puissance du transformateur, leur valeur figurent aux conditions particulières du contrat EDF.

la procédure de calcul des pertes joule et des pertes fer est la suivante (chez EDF):

Calcul des pertes joule

1 - indication du coefficient des pertes joule sur le contrat EDF,
il est généralement compris entre 1 et 3%.
2 - calcul des pertes joule,
consommation d'énergie active relevée au compteur x coefficient de pertes joule.

Calcul des pertes fer

1 - indication de la valeur des pertes fer du transformateur de puissance sur le contrat EDF,
elle est généralement comprise entre 0,10 et 2 kW par heure de mise sous tension du transformateur,
elle dépend de la puissance du transformateur de puissance,
et la durée de mise sous tension est contrôlée par un compteur horaire.
2 - calcul des pertes fer,
nombre d'heures de mise sous tension du transformateur x valeur des pertes fer.

Une minimisation et un contrôle des pertes

Enfin, la dernière vérification est relative à l'énergie réactive qui est facturée jusqu'à concurrence de 40% (tgt.ϕ = 0,40) de l'énergie active consommée pendant les heures de pointe HPTE et les heures pleines HP d'hiver.

La procédure de calcul de la consommation en énergie réactive est la suivante (chez EDF):

calcul de la valeur tgt.ϕ

1 - relevé de la consommation en énergie active pendant les heures HPTE et HP d'hiver,
soit relevé de la consommation Ca (valeur lue sur compteur EDF).
2 - relevé de la consommation en énergie réactive pendant les heures de pointe HPTE et HP d'hiver,
soit relevé de la consommation Cr (valeur lue sur compteur EDF).
3 - calcul de la valeur de la tangente ϕ au secondaire,
soit calcul de tgt.ϕ (au secondaire en basse tension) = Cr / Ca.
4 - calcul de la valeur de la tangente ϕ au primaire pour tenir compte des pertes à vide du transformateur de puissance,
soit calcul de tgt.ϕ (au primaire en moyenne tension) = tgt.ϕ = tgt.ϕ (secondaire) + 0,09.

calcul de la facturation de l'énergie réactive consommée

5 - calcul de la consommation d'énergie active pendant les heures HPTE et HP d'hiver avec les pertes,
soit calcul de Wa = (Ca x n) + (H x f)
avec n = coefficient de perte joule (valeur selon le contrat EDF),
H = nombre d'heures de mise sous tension,
f = perte fer du transformateur de puissance (valeur selon le contrat EDF).
6 - calcul de la consommation d'énergie réactive,
soit calcul de Wr = tgt.ϕ x Wa.
7 - calcul de la quantité d'énergie réactive non facturée (en franchise),
soit calcul de Wr (franchise) = 0,40 x Wa.
8 - calcul de la facturation d'énergie réactive consommée,
si Wr - Wr (franchise) > 0 en kvarh, alors facturation sur la base de 0,03 €TTC/ kvarh.

Un bon facteur de puissance

Dès lors, comment déterminer la puissance réactive de la batterie de condensateur à installer afin de compenser l'énergie réactive, en fait les pénalités?

L'objectif est donc de réduire les consommations d'énergie réactive de sorte que tgt.ϕ = 0,31 (ce qui correspond à tgt.ϕ égale à 0,40 en amont du transformateur dans le cas d'un comptage sur la basse tension, soit 0,40 = 0,31 + 0,09).

Ainsi, si l'équipement en place appelant dans certaines conditions d'utilisation une puissance active de valeur P exprimée en kW a une tgt.ϕ' supérieure à tgt.ϕ, il convient d'installer une batterie de condensateurs d'une puissance totale équivalente à:

$P_{condensateur}$ = P. (tgt.ϕ' - tgt.ϕ) en kvar.