

**Roger Cadiergues**

**MémoCad nR16.a**

# **DE L'ÉNERGIE AU CYCLE DU CARBONE**

## **SOMMAIRE**

- nR16.1.** La pratique du développement durable
- nR16.2.** Le principal défi du développement durable
- nR16.3.** Le rôle essentiel de la combustion
- nR16.4.** Le critère «consommation»
- nR16.5.** Les autres critères du développement durable
- nR16.6.** La maîtrise de l'effet de serre
- nR16.7.** L'optimisation des choix énergétiques
- nR16.8.** L'évaluation des consommations
- nR16.9.** Des consommations aux dégagements de CO<sub>2</sub>



La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective», et d'autre part que les analyses et courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration «toute reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite».

## nR16.1. LA PRATIQUE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

### AU-DELÀ DES THÉORIES

Les principes du développement durable sont présentés dans le livret :

**nR18. Le nouveau cadre : le développement durable.**

Il s'agit essentiellement :

1. des nouvelles dispositions françaises sur le plan réglementaire,
- 2 des dispositions normatives en la matière, appliquées au plan international.

Sur le plan pratique il est nécessaire de mieux segmenter les actions.

### SEGMENTER LES ACTIONS

Quand on examine les problèmes posés par le développement durable dans le domaine nous concernant, on aboutit aux conclusions pratiques pouvant se résumer de la manière suivante.

1. Assurer, globalement, le caractère durable du site construit, et plus particulièrement :

2. Gérer convenablement et économiser l'eau ;
3. Gérer convenablement et économiser l'énergie ;

tout ceci en assurant :

4. la qualité de l'environnement, surtout intérieur ;

l'ensemble veillant :

5. à prendre en compte l'action de nos choix sur l'atmosphère ;
6. et les conséquences de nos choix quant aux réserves de matériaux et de ressources diverses.

### PREMIÈRE ACTION PRÉDOMINANTE: LA GESTION DE L'ÉNERGIE

En pratique on constate que la majorité des actions, en France ou ailleurs, concerne essentiellement la **gestion énergétique** : d'où notre choix d'y consacrer en grande partie le suite du livret (voir fiche **rK41.2** et la suite).

### DEUXIÈME ACTION PRÉDOMINANTE: LA GESTION DE L'EAU

Au thème majeur de l'énergie il est important d'ajouter le thème de la **gestion de l'eau**. Vous trouverez ce terme traité dans de nombreux livrets de la famille **rS**.

### UNE PREMIÈRE ACTION COMPLÉMENTAIRE

Deux thèmes complémentaires sont traités dans de multiples livrets spécialisés, le premier de ces thèmes étant celui de la **qualité de l'environnement** : c'est une obligation majeure pour ce qui nous concerne, au-delà même des lois et règlements.

### UNE DEUXIÈME ACTION COMPLÉMENTAIRE

A l'action concernant la qualité de l'environnement il faut ajouter celle couvrant la **gestion durable du site et des «milieux» qui lui sont liés** (l'atmosphère, les ressources).

### AU-DELÀ DES LIMITES ACTUELLES

La législation et la réglementation françaises accordent, aujourd'hui, une grande importance au développement durable, mais mettent en jeu des procédures qui souffrent d'un certain nombre de défauts, aussi bien quant au choix des critères que sur l'articulation et la programmation des démarches conseillées. Ce qui a conduit l'auteur à développer un ensemble, moins contraignant et plus performant, classé sous le titre de «**développement dynamique**». Vous en trouverez tous les détails plus loin.

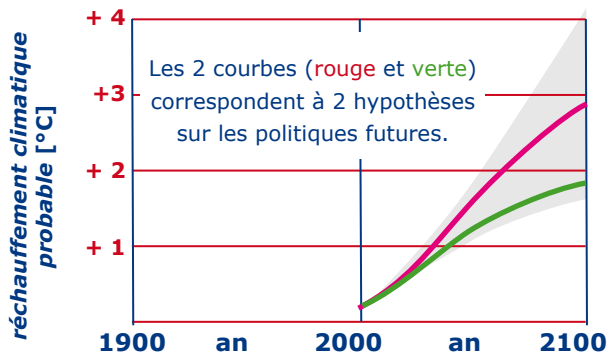
## nR16.2. LE PRINCIPAL DÉFI DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Dans notre secteur le développement durable se heurte à deux défis essentiels : la destruction de *la couche d'ozone* stratosphérique, le *réchauffement climatique* de l'atmosphère.

- . Le premier aspect (la destruction de la couche d'ozone) est traité dans le livret qui sera consacré aux fluides frigorigènes ;
- . Le deuxième aspect (le réchauffement climatique) est traité ci-après.

### LE DÉFI DÉSORMAIS ESSENTIEL : LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Le rayonnement solaire, arrivant directement du soleil ou diffusé par le ciel, est absorbé par le sol, qui - en retour - émet un rayonnement infra-rouge vers l'espace, l'ensemble aboutissant à un certain équilibre des températures atmosphériques. **Cet équilibre est essentiel pour nos climats.** Il se trouve que le rayonnement infra-rouge de la terre renvoyé vers l'espace est en partie absorbé par certains gaz contenus dans l'atmosphère, ce qui provoque ce qu'il est convenu d'appeler «**l'effet de serre**», les gaz en cause étant dénommés «**gaz à effet de serre**». Or ces gaz voient leur concentration, et en conséquence le réchauffement, croître avec le temps. A terme, sauf mesures efficaces, cette augmentation de concentration des gaz à effet de serre devrait provoquer un réchauffement climatique de l'ordre de 3 à 6 [K] au milieu de ce siècle, les prévisions actuelles étant celles du *schéma ci-dessous*.



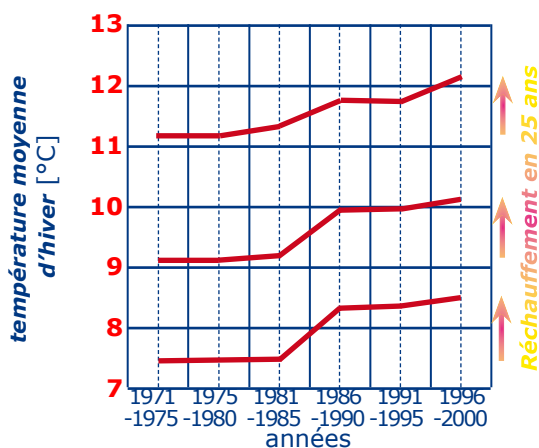
**Réchauffement climatique prévu par l'organisation internationale d'étude sur les climats (GIEC)**

### LES GAZ À EFFET DE SERRE

Les **gaz à effet de serre** sont les suivants :

- . le **dioxyde de carbone** (CO<sub>2</sub>), qui résulte en grande partie des combustions, comme nous allons le voir au paragraphe suivant,
- . le **méthane** (CH<sub>4</sub>). qui résulte de certaines activités, énergétiques ou agricoles,
- . les halocarbones, les **fluides frigorigènes** en fait pour nous, fluides à séquestrer pour de multiples raisons (voir le Guide sur **Le confinement des fluides frigorigènes**),
- . le **protoxyde d'azote** N<sub>2</sub>O, produit dans certaines combustions.

C'est l'accroissement des concentrations atmosphériques de ces gaz qui accélère l'effet de serre et provoque le réchauffement. C'est un phénomène qui est parfois contesté, mais toutes les données dont nous disposons le démontrent (*voir ci-dessous*), même si l'urbanisation croissante en est probablement en partie responsable.



**Evolution des températures moyennes d'hiver** (d'après les degrés-jours calculés chaque année par le COSTIC dans les mêmes observatoires météorologiques)

## nR16.3. LE RÔLE ESSENTIEL DE LA COMBUSTION

### LE RÔLE DE LA COMBUSTION

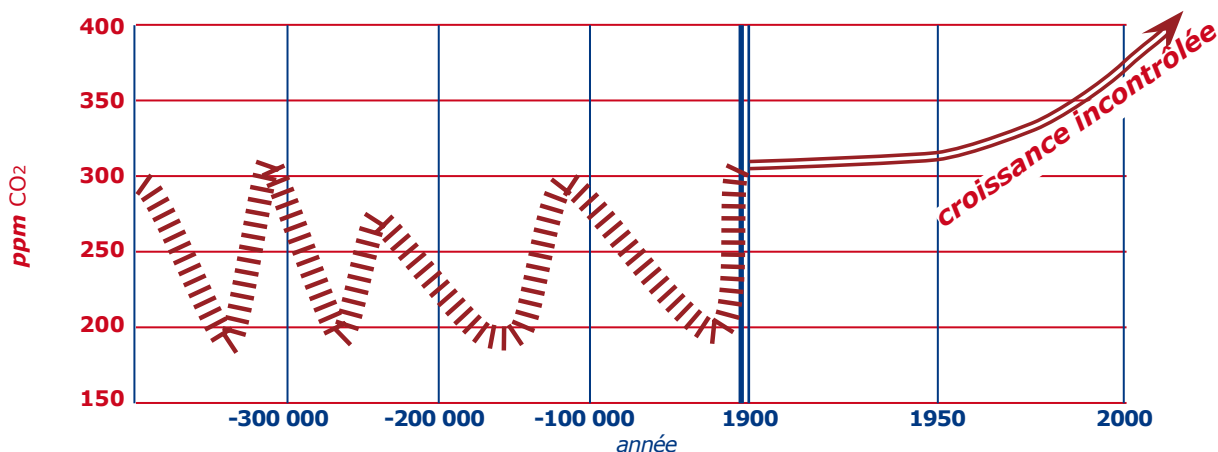
L'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère est due, en grande partie, à la **combustion**. Il s'agit surtout de la combustion des *combustibles classiques* qui rejettent à l'atmosphère des fumées contenant majoritairement du **dioxyde carbone** (CO<sub>2</sub>). De ce fait les politiques énergétiques d'un grand nombre de pays ont désormais un double objectif :

- . se prémunir contre les **risques futurs du manque de ressources énergétiques**,
- . en même temps **lutter contre le développement de l'effet de serre** par réduction des processus de combustion.

Le **premier objectif** (maîtrise de l'énergie) joue partout, en Europe et souvent ailleurs, un rôle généralement majeur, mais le **second objectif** (à travers la réduction des dégagements de CO<sub>2</sub>) est de plus en plus prédominant dans les décisions publiques.

### L'ACCROISSEMENT DE LA TENEUR EN CO<sub>2</sub>

La concentration d'un gaz dans l'air est ici mesurée par sa *fraction volumique* (rapport du nombre de molécules du gaz en cause au nombre total de molécules d'air auxquelles il est mélangé). Lorsque cette fraction est faible on la mesure en «millionnièmes», ou «**ppm**» (partie par million). C'est le mode d'expression que nous allons utiliser pour les gaz (CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub>), le CO<sub>2</sub> étant généralement l'indice principal. Comme l'indiquent les relevés courants le schéma ci-dessous la concentration en dioxyde de carbone est assez longtemps restée comprise entre 180 et 300 ppm, avec une valeur type de 300 ppm en 1940. Depuis lors cette concentration s'est emballée, et continue à croître de façon assez «inexorable», avec une perspective de dépassement rapide des 400 ppm. C'est cet accroissement de la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère provoque l'accroissement de l'effet de serre et le réchauffement climatique.



Perspectives d'évolution des concentrations atmosphériques en CO<sub>2</sub>

### DES DIRECTIVES ET RÈGLEMENTS AUX MESURES LIBRES MAIS EFFICACES

Face au défi que nous venons de décrire un certain nombre de mesures ont déjà été prises au plan gouvernemental. C'est donc d'abord vers les politiques énergétiques qu'il faut se retourner, politiques pilotées :

- . en premier lieu par les *décisions européennes*, au travers de **directives** ou décisions communautaires,
- . en second lieu par les **décisions françaises** issues des différentes lois de 2005 et 2008 fixant les orientations énergétiques, que nous examinerons par la suite,
- . en troisième lieu par les *décisions françaises* issues du «**Grenelle de l'Environnement**» (2007-2008), fixant de nouvelles orientations énergétiques que nous examinerons également dans d'autres livrets.

Nous chercherons, ici, à dépasser ces dispositions réglementaires, en nous appuyant d'abord sur la recherche d'un *véritable développement durable* grâce à une bonne maîtrise de l'effet de serre, c'est-à-dire à une bonne maîtrise de production des deux «polluants» que sont :

- . le **CO<sub>2</sub>**, surtout dégagé lors des combustions,
- . le **CH<sub>4</sub>** aux multiples origines (décharges, etc.).

**Nous ne nous limiterons pas** ici au simple respect des textes réglementaires, que nous considérerons souvent comme des éléments de contrôle plutôt que comme des éléments de décision.

## nR16.4. LE CRITÈRE «CONSOMMATION»

### LA MÉTHODE LA PLUS ÉVIDENTE

C'est celle qui s'articule comme suit :

1. Chercher d'abord à limiter les émissions de CO<sub>2</sub> en réduisant les **combustions de combustibles minéraux** le plus possible, et ce dans des limites qu'il faut chercher à **optimiser** au mieux, ce qui sera finalement l'axe de notre stratégie.

2. Tenir compte, lors des choix précédents, des **bilans CH<sub>4</sub>**, pour l'essentiel en choisissant convenablement nos sources d'énergie.

Avec cette stratégie, les objectifs se résument à la maîtrise raisonnable des consommations, exprimées par exemple en kilowattheures par an [kWh/an].

*Il reste, néanmoins, à définir ce que sont ces consommations, ce qui implique - contrairement à ce qu'on pourrait croire - de sérieuses conventions.*

### LE RECOURS À L'ÉNERGIE PRIMAIRE

Un certain nombre de procédures actuelles, en particulier françaises (RT 2005 par exemple) utilisent systématiquement comme critère de base :

- . non pas la simple *consommation* correspondant au combustible utilisé,
- . mais une consommation exprimée en «**énergie primaire**», cette dernière tenant compte - surtout pour l'électricité - du bilan faisant qu'un kilowatt distribué exige plus d'un kilowatt de combustible si la centrale productrice est thermique.

C'est, **en France**, la convention généralement adoptée jusqu'ici, les consommations étant alors exprimées en kilowattheure d'énergie primaire par an [kWh<sub>ep</sub>/an]. Cette dernière s'obtient en multipliant la **consommation réelle** par un facteur appelé «**coefficient de transformation en énergie primaire**». En France, en septembre 2009, ce coefficient possédait jusqu'ici (arrêté du 24 mai 2006) les valeurs suivantes (très critiquables) :

- . 2,58 pour l'électricité, très erroné dans bien des cas pour la production française ;
- . 1 pour les combustibles courants (hors biomasse).

### LES ÉNERGIES GRISES

Il est tenu compte dans certaines méthodes (ce que nous recommandons), de tenir compte de ce que nous appelons l'**énergie grise**, cette dernière correspondant aux charges énergétiques de préparation et livraison des combustibles. Pour ce faire certains pays utilisent un «**coefficient de transformation en énergie complète**» (*tenant compte de l'énergie grise*), ce coefficient étant supérieur à 1. C'est ainsi qu'en **Grande-Bretagne** on utilise les coefficients de transformation suivants en énergie complète :

- . 1,03 pour le charbon ;
- . 1,07 pour le gaz naturel ;
- . 1,09 pour le fioul ,
- . 1,38 pour les combustibles solides manufacturés,
- . 1,42 pour le gaz de ville ;
- . 3,82 pour l'électricité.

### RETOUR AUX CONVENTIONS FRANÇAISES

En France, dans la méthode adoptée officiellement pour les diagnostics, les consommations sont exprimées en *pouvoir calorifique inférieur* (PCI) avec les coefficients indiqués ci-contre. Il s'agit là d'une convention qui peut souffrir quelques difficultés d'application, mais qui fournit bien des ordres de grandeur assez précis.

*Nous allons voir maintenant (page suivante) que ces critères de consommation ne sont peut-être pas la meilleure solution en matière de développement durable.*

### COEFFICIENTS DE CONSOMMATION (DPE)

- . Bois, plaquettes d'industrie : 2200 kWh/t
- . Bois, plaquettes forestières : 2760 kWh/t
- . Bois, granulés et briquettes : 4600 kWh/t
- . Bûches : 1680 kWh/st
- . Gaz propane : 13800 kWh/t
- . Gaz butane : 12780 kWh/t (6,9 kWh/L)
- . Pétrole brut, gazole, fioul domestique : 9,97 kWh/L
- . Charbon, houille : 7222 kWh/t
- . Charbon, coke de houille : 7778 kWh/t
- . Agglomérés/briquettes de lignite : 8889 kWh/t
- . Lignite/produits de récupération : 4722 kWh/t.

## nR16.5. LES AUTRES CRITÈRES DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

### LE SYSTÈMES DES IDENTIFICATEURS

Dans tous les pays comme au plan international, on se pose de plus en plus la question suivante :  
 . **comment quantifier le développement durable, et quels indicateurs faut-il choisir.**

Les concepts principaux utilisés sont les suivants :

le **coût du carbone**, le **bilan carbone**, la **compensation carbone**, l'**empreinte écologique**.  
 critères revus aux fins suivantes.

### L'APPLICATION AUX CHOIX ÉNERGÉTIQUES

Toute politique énergétique, qu'elle soit nationale ou individuelle, devrait s'appuyer sur une **optimisation économique et environnementale** valable. S'agissant d'une évaluation se voulant économique elle devrait, en plus, s'appuyer :

- . sur une **analyse des coûts** des différentes options envisageables, coût des énergies grises inclus,
- . et sur une **actualisation** des dépenses lorsqu'elles s'échelonnent dans le temps.

Malheureusement le secteur est difficile à quantifier mais deux techniques peuvent être utiles sur ce plan : l'utilisation du «**bilan carbone**» et du «**coût du carbone**» d'une part, l'équilibrage des différentes dépenses grâce à la technique de la «**compensation carbone**» d'autre part.

### LE BILAN CARBONE

*Faire valablement du développement durable c'est **optimiser les choix**.* Cette optimisation peut être purement économique, mais il est souhaitable (dans le domaine qui nous intéresse) de faire intervenir le «**bilan carbone**», traduit par ce qu'on peut appeler le «**coût du carbone**». Ce devrait devenir un élément essentiel de décision dans les projets publics de notre pays. En France le Centre d'analyse stratégique (CAS) a d'ailleurs proposé les valeurs suivantes, que nous adopterons de façon générale, sauf évolution majeure : 100 [€/tco<sub>2</sub>] en 2030, 200 [€/tco<sub>2</sub>] en 2050.

### L'APPLICATION DU BILAN CARBONE

Les valeurs précédentes sont des valeurs de compromis, assez conventionnelles mais très commodes d'emploi. Bien adaptées à l'environnement français (chaque pays possède un peu les siennes), elles aboutissent, lors de l'optimisation, à calculer les valeurs actualisées suivantes :

- . d'abord celle de l'investissement initial,
- . puis celles des consommations futures en énergie,
- . enfin celles des productions futures de carbone.

*Pour ces calculs il faut que nous disposions des données (prévisibles) en matière d'investissements, en matière de consommations d'énergie, et des conclusions en matière de dégagements «de carbone».*

### LA COMPENSATION CARBONE

L'effet du CO<sub>2</sub> émis par chacun, lors de ses activités courantes, peut être pris en compte grâce au système de la «**compensation carbone**». Cette méthode consiste à compenser nos émissions au travers de financements de projets d'énergies renouvelables ou de reforestation dans les pays en voie de développement. La méthode consiste :

- . à calculer ses émissions «personnelles» de CO<sub>2</sub>,
- . à tenter d'abord de les réduire,
- . puis à choisir un «site de compensation», ces sites étant les organisations acceptant de servir d'intermédiaire, avec compensation financière selon le tarif adopté par l'organisation.

*Dans les opérations nous concernant cette méthode de compensation ne peut guère intervenir que très rarement.*

### L'EMPREINTE ÉCOLOGIQUE

Le thème des indicateurs du développement durable a fait l'objet – surtout depuis 1990 - de très nombreux travaux, visant en particulier à définir un indicateur national ou régional valable pour tous les pays. Jusqu'ici on n'a pas abouti à un critère unique accepté par tous, mais il existe un indicateur plus cité que tous les autres, et qui ne date que des années 90 :

**l'empreinte écologique** (*ecological footprint*).

*Il s'agit là de l'indicateur le plus riche, probablement d'avenir mais difficile à quantifier, donnant d'ailleurs lieu à de multiples controverses. Souvent présenté comme le «produit national brut du XXI<sup>e</sup> siècle», ce critère reste difficile à définir quantitativement, même si l'on a proposé une unité. Quand on veut en numériser l'emploi il faut souvent faire intervenir des concepts supplémentaires, et en particulier celui de **biodiversité**,*

## nR16.6. LA MAÎTRISE DE L'EFFET DE SERRE

### LES GAZ À EFFET DE SERRE

L'accroissement de l'effet de serre est dû, pour l'essentiel, à deux gaz :

- . le CO<sub>2</sub> (le dioxyde carbone),
- . et le CH<sub>4</sub> (le méthane),

sans qu'il soit très facile de définir le poids de chacun.

A ces deux gaz principaux il faut ajouter :

- . le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), produit dans certaines combustions, mais généralement moins significatif,
- . l'ozone (O<sub>3</sub>) à traiter pour de multiples raisons, en particulier pour l'action sur la couche d'ozone.

*La suite de ce livret est uniquement consacrée aux sources carbonées (CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub>) et au bilan carbone.*

### MAÎTRISER LE DÉGAGEMENT DE GAZ À EFFET DE SERRE

Sans prendre parti sur l'importance du CO<sub>2</sub> et du CH<sub>4</sub> (dont la rémanence dans l'atmosphère est très différente), en tenant compte de notre situation de fait (nous ne sommes concernés que par les bâtiments) on aboutit aux conclusions suivantes lorsqu'on veut réduire l'effet de serre.

1. **Maîtriser le dégagement de méthane**, dû pour l'essentiel à l'élevage et aux décharges, ce qui - finalement - ne nous concerne pas ici directement.

2. **Maîtriser le dégagement de dioxyde de carbone**, (dû pour un quart aux activités nous concernant : voir table ci-dessous), une tâche qui relève par contre - au moins en grande partie - de nos responsabilités.

Il est bien évident que le développement durable dans les constructions neuves ou existantes ne réglerà pas à lui tout seul les problèmes actuels d'évolution de l'atmosphère, mais cette action est néanmoins essentielle.

### RÉPARTITION DES ÉMISSIONS FRANÇAISES TYPES DE CO<sub>2</sub>

- . **chauffage, éclairage, électro-ménager** : 25 %
- . **voitures particulières** : 12 %
- . **aliments** (y compris composants agricoles : engrais, pesticides, déjections animales) : 20 %
- . **produits de consommation courante** (transports compris) : 35 %
- . **traitement des ordures ménagères** : 3 %

### LE CLASSEMENT FONDAMENTAL DES COMBUSTIBLES

L'accroissement de l'effet de serre, lié à l'accroissement de la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub>, est dû en grande partie aux combustions, mais celles-ci n'ont pas toutes les mêmes répercussions. Ce qui conduit à distinguer :

- . les **combustibles minéraux** (solides, liquides ou gazeux),
- . et les **combustibles végétaux**, utilisés essentiellement à l'état solide (le bois sous toutes ses formes) ou parfois gazeux (biogaz), ces combustibles étant généralement classés dans les «énergies renouvelables» - ce qui n'est valable que dans les conditions suivantes.

### L'UTILISATION DES COMBUSTIBLES VÉGÉTAUX

Les végétaux (si l'on simplifie un peu) réalisent un véritable cycle fermé du carbone :

- (1) absorption du carbone transporté par le CO<sub>2</sub> de l'air assimilé par les végétaux vivants,
- (2) rejet du carbone par production de CO<sub>2</sub> lors de la combustion végétale ultérieure.

C'est un bilan un peu utopiste car il n'est pas totalement équilibré par suite des dépenses énergétiques annexes (les «énergies grises») liées à la récolte, à la préparation et au transport, sans compter les charges de reforestation.

## nR16.7. L'OPTIMISATION DES CHOIX ÉNERGÉTIQUES

### LES PRINCIPES DE BASE

Toute politique énergétique, qu'elle soit nationale ou individuelle, doit s'appuyer sur une **optimisation** économique (et environnementale) correcte.

S'agissant d'une évaluation se voulant économique elle devrait se baser :

- . sur une **analyse des coûts** des différentes options envisageables, coût des énergies grises inclus,
- . et sur une **actualisation** des dépenses lorsqu'elles s'échelonnent dans le temps.

Malheureusement nous sommes là dans un secteur qu'il est difficile de quantifier tant les incertitudes sont grandes. Deux recommandations peuvent néanmoins être utiles (voir plus loin).

1. La première consiste à introduire, dans les calculs, le «**coût du carbone**».
2. La deuxième consiste à équilibrer plus ou moins les différentes dépenses grâce au système dit de la «**compensation carbone**».

### LE COÛT DU CARBONE

*Faire valablement du développement durable c'est **optimiser les choix**.* Cette optimisation peut être purement économique, mais il est souhaitable (dans le domaine qui nous intéresse) de faire intervenir le «**coût en carbone**». Ce devrait devenir un élément essentiel de décision dans les projets publics de notre pays. En France le Centre d'analyse stratégique (CAS) a d'ailleurs proposé les valeurs suivantes, que nous adopterons de façon générale, sauf évolution majeure :

- . 100 [€/tco<sub>2</sub>] en 2030,
- . 200 [€/tco<sub>2</sub>] en 2050.

Bien que ce soient des «prix politiques», rien ne s'oppose à leur généralisation hors décision publique, ce que nous recommanderons systématiquement. Dans le cas où les choix ne sont pas optimaux cette méthode permet, en tous cas, de caractériser l'écart à l'optimum.

### L'APPLICATION DE CE COÛT

Les valeurs précédentes sont des valeurs de compromis, assez conventionnelles mais très commodes d'emploi. Bien adaptées à l'environnement français (chaque pays possède un peu le sien), elles aboutissent, lors de l'optimisation, à calculer les valeurs actualisées suivantes :

- . d'abord celle de l'investissement initial,
- . puis celles des consommations futures en énergie,
- . enfin celles des productions futures de carbone.

*Pour ces calculs il faut que nous disposions :*

- des données en matière d'investissement (probable ou prévu),
- des données et outils nécessaires pour l'évaluation des consommations d'énergie,
- des données et outils nécessaires pour l'évaluation des dégagements «de carbone».

### L'APPLICATION DE CE COÛT

L'effet du CO<sub>2</sub> émis par chacun, lors de ses activités courantes, peut être pris en compte grâce au système de «**compensation carbone**», qui vise à compenser vos émissions au travers de financements de projets d'énergies renouvelables ou de reforestation dans les pays en voie de développement. La méthode consiste :

- . à calculer ses émissions «personnelles» de CO<sub>2</sub> et à tenter d'abord de les réduire,
- . à choisir un «site de compensation», ces sites étant les organisations acceptant de servir d'intermédiaire, opérant grâce à une compensation financière basée sur le tarif adopté par l'organisation.

Dans les opérations nous concernant cette méthode ne peut guère intervenir qu'assez rarement.

## nR16.8. L'ÉVALUATION DES CONSOMMATIONS

*Le développement de l'effet de serre, et le réchauffement climatique associé sont largement dus aux dégagements de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, lesquels dépendent essentiellement des combustions. Nous allons examiner les différentes procédures permettant d'évaluer les actions correspondantes.*

### LES CONSOMMATIONS PRIMAIRES

Un certain nombre de procédures (RT 2005 par exemple) utilisent systématiquement comme critère de base la **consommation d'énergie**. Pour éviter certaines distorsions les consommations sont exprimées en «**énergie primaire**», celle qui est réellement utilisée pour produire l'énergie en cause. En général cette énergie s'obtient en multipliant la **consommation réelle** par un facteur appelé en France «**coefficient de transformation en énergie primaire**». Par convention, **en France**, il possède les valeurs suivantes (arrêté du 24 mai 2006) :

- . 2,58 pour les consommations et les productions d'électricité ;
- . 1 pour les autres consommations.

### LES ÉNERGIES GRISES

Dans certains **pays européens** il est tenu compte de l'**énergie grise** qui traduit les charges énergétiques de préparation et fourniture des combustibles. Ce qui conduit à des résultats assez différents des précédents. C'est ainsi qu'en **Grande-Bretagne** on utilise les valeurs suivantes :

- . 1,03 pour le charbon ;
- . 1,07 pour le gaz naturel ;
- . 1,09 pour le fioul ,
- . 1,38 pour les combustibles solides manufacturés,
- . 1,42 pour le gaz de ville ;
- . 3,82 pour l'électricité.

Ces chiffres démontrent qu'il est difficile de choisir des valeurs «indépendantes». Nous allons voir, maintenant, que ces coefficients de transformation ne sont pas, non plus, indépendants du producteur.

### L'EXEMPLE DE L'ÉLECTRICITÉ

L'écart le plus important dans les évaluations concerne l'**électricité**, où le **coefficient réel** de transformation **diffère des valeurs officielles et varie selon le fournisseur**. Ce deviendra d'autant plus complexe qu'il pourra exister, dans chaque pays, plusieurs distributeurs d'électricité avec des productions faisant plus ou moins appel aux énergies renouvelables ou nucléaires. En voici trois exemples pour la France en 2008.

**Exemple 1 : producteur en développement** . Production en grande partie éolienne, légèrement solaire, plus une utilisation de biomasse en combustion. Dans ce cas le coefficient de transformation vaut (énergie grise **négligée**) :

$$3,4 \times 0,00 = \mathbf{0,00}$$

**Exemple 2 : producteur français traditionnel** . La production électrique se répartit comme suit : pour une production globale annuelle de 545 TWh/an : 419 TWh/an en nucléaire, 71 en renouvelable (hydraulique et éolien surtout), et 55 en combustion, soit 10 % en combustion. D'où le coefficient de transformation suivant (au lieu de 3,4) :

$$3,4 \times 0,10 = \mathbf{0,34}$$

**Exemple 3 : producteur français plus récent** . Dans ce cas la production repose pour 65 % sur l'utilisation de combustibles (essentiellement du gaz), le reste étant hydraulique, nucléaire ou autre renouvelable. Le coefficient de transformation vaut alors :

$$3,4 \times 0,65 = \mathbf{2,21}$$

### LES BASES ADOPTÉES DANS NOS COMPARAISONS

Au lieu d'utiliser ces coefficients de transformation, nous allons simplement partir des consommations (en énergies directes, mais grises comprises) adoptées comme *valeur intermédiaire de référence*. Etant bien entendu qu'il s'agira - pour l'essentiel - non pas de maîtriser les consommations, mais de **maîtriser les dégagements de gaz à effet de serre**.

Il s'agit, alors, de s'exprimer **non pas en consommation** (Wh par an par exemple), mais **en dégagement de CO<sub>2</sub>**. Encore s'agira t'il de prendre quelques précautions. Il est, en effet, possible d'évaluer les dégagements annuels de CO<sub>2</sub> à partir des consommations, mais cette évaluation ne va pas sans quelques conventions que nous allons examiner à la fiche suivante.

## nR16.9. DES CONSOMMATIONS AU DÉGAGEMENT DE CO<sub>2</sub>

### S'EXPRIMER EN CO<sub>2</sub>

Comme référence nous utiliserons, ici, la quantité de CO<sub>2</sub> dégagée par unité d'énergie utilisée. Il existe deux modes de calcul, à ne pas confondre :

- . un mode simple, à base du CO<sub>2</sub> dégagé uniquement par la combustion,
- . un mode plus élaboré (celui que nous choisirons) tenant compte de «**l'énergie grise**» liée à la préparation et l'approvisionnement en combustible ou énergie.

Dans ce dernier cas, en particulier pour la production d'électricité, il faut tenir compte des réalités, et non pas de chiffres a priori et sans références au réel.

### LES VALEURS À PRENDRE EN COMPTE

Pour exprimer la masse de CO<sub>2</sub> dégagée par unité d'énergie utilisée, nous utiliserons (compte-tenu des unités généralement adoptées) le kilogramme de CO<sub>2</sub> par kilowatt-heure [kgCO<sub>2</sub>/kWh], même si d'autres unités sont parfois préférées.

Bien qu'une méthode plus fine soit envisageable vous pouvez utiliser les valeurs indiquées dans la table ci-dessous. Ce ne sont pas les chiffres «officiels» mais des chiffres déduits de nos connaissances actuelles, d'une précision d'ailleurs inévitablement limitée.

#### RATIO DE PRODUCTION DE CO<sub>2</sub>

[kg CO<sub>2</sub>/kWh]

- . électricité
  - . à partir du charbon type : 0,43
  - . à partir du gaz : 0,40
  - . cas général : *selon fournisseur*
- . charbon type : 0,29
- . fioul lourd : 0,26
- . fioul domestique : 0,22
- . gaz propane : 0,19
- . gaz naturel : 0,19

### RETOURNER AUX CONSOMMATIONS

Le développement de l'effet de serre étant lié en grande partie à la croissance du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, ce gaz étant surtout produit lors des combustions, il est naturel que les consommations d'énergie jouent un rôle central sous réserve de se limiter aux consommations génératrices de CO<sub>2</sub>. Dans ces conditions, pour une source d'énergie donnée, **rechercher des consommations aussi faibles qu'il est rationnellement acceptable** constituera souvent le premier objectif, même si la recherche d'économies n'est pas - à proprement parler - l'objectif final. Afin de cibler les efforts il est souhaitable de classer les différentes consommations d'énergie prises ici en compte, celles de construction et d'investissement étant exclues). Ces consommations appartiennent à deux catégories : les **consommations générales**, et les **consommations de processus**, ces dernières étant très variées et liées aux activités professionnelles, y compris dans les bâtiments tertiaires (ex. hôpitaux). Pour évaluer l'importance actuelle des différentes catégories vous pouvez utiliser la table ci-dessous, qui ne vaut que pour 2000-2005 environ.

Cette table explique pourquoi les efforts mis en exergue ne concernent généralement que le chauffage, et accessoirement l'eau chaude dite «sanitaire». Vous verrez à la fiche suivante les raisons qui font qu'il ne faut pas se borner à cette simplification.

#### PARTS ARRONDIES DES CONSOMMATIONS

(Europe 2005, estimé : résidentiel + tertiaire)

- . chauffage : 50 %
- . climatisation (froid) : 5 %
- . eau chaude : 15 %
- . éclairage : 15 %
- . autres usages (cuisine, électronique, etc.) : 15 %