

# Rapport sur la production de gaz à effet de serre des systèmes de climatisation et leur impact sur l'écosystème et l'environnement, singulièrement dans les collectivités d'Outre-mer,

en application de l'article 5 de la loi de programmation relative  
à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement du 3 août 2009



Liberté • Égalité • Fraternité  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



Ministère  
de l'Écologie,  
du Développement  
durable,  
des Transports  
et du Logement

Ressources, territoires, habitats et logement  
Énergies et climat  
Prévention des risques  
Développement durable  
Infrastructures, transports et mer

**Présent  
pour  
l'avenir**



# Table des matières

<b>Synthèse</b> .....	<b>3</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>7</b>
<b>I. Diffusion de la climatisation en métropole</b> .....	<b>8</b>
<b>I.1. La climatisation des bâtiments</b> .....	<b>8</b>
I.1.1) La notion de rafraîchissement et de climatisation.....	8
I.1.2) Les différents systèmes de climatisation.....	8
I.1.3) Le marché de la climatisation fixe (résidentiel / tertiaire).....	10
I.1.4) La climatisation dans le secteur résidentiel.....	11
I.1.5) La climatisation dans le secteur tertiaire.....	13
I.1.6) La climatisation dans l'industrie.....	16
I.1.7) Les impacts du changement climatique sur la diffusion de la climatisation.....	16
<b>I.2. La climatisation embarquée</b> .....	<b>18</b>
I.2.1) Le développement de la climatisation dans les transports.....	18
I.2.2) Le parc de la climatisation dans les transports.....	19
<b>II. Impact direct : les fluides frigorigènes</b> .....	<b>23</b>
<b>II.1. Nature et impacts sur l'environnement des fluides frigorigènes</b> .....	<b>23</b>
II.1.1) Impact sur la couche d'ozone.....	23
II.1.2) Participation au réchauffement climatique.....	24
<b>II.2. L'inventaire des émissions de fluides frigorigènes</b> .....	<b>25</b>
II.2.1) Présentation des inventaires.....	25
II.2.2) Bilan général 2009 des émissions de fluides frigorigènes.....	26
<b>III. Impact indirect : la consommation d'énergie</b> .....	<b>29</b>
III.1.1) Les consommations d'électricité de la climatisation fixe (résidentiel / tertiaire).....	29
III.1.2) Consommations de la climatisation dans l'industrie.....	34
III.1.3) Impact indirect dans les transports : surconsommation de carburants.....	35
<b>IV. La climatisation dans les Départements d'Outre-mer</b> .....	<b>39</b>
<b>IV.1. Une forte diffusion de la climatisation fixe</b> .....	<b>39</b>
IV.1.1) Dans le secteur résidentiel.....	39
IV.1.2) Dans le secteur tertiaire.....	39
<b>IV.2. Impact sur les consommations d'électricité dans les Départements d'Outre-mer</b> .....	<b>40</b>
IV.2.1) Particularités des zones non interconnectées (ZNI).....	40
IV.2.2) Part de la climatisation dans la consommation d'électricité.....	41
IV.2.3) La climatisation et la maîtrise de l'énergie.....	43
<b>IV.3. La climatisation embarquée en Outre-mer</b> .....	<b>45</b>
<b>IV.4. Peu d'informations sur les impacts directs pour les DOM</b> .....	<b>45</b>
<b>V. Maîtrise des impacts environnementaux de la climatisation</b> .....	<b>47</b>
<b>V.1. Réglementations sur l'utilisation des fluides frigorigènes</b> .....	<b>47</b>
<b>V.2. L'Observatoire des Flux des fluides frigorigènes en France</b> .....	<b>50</b>

<b>V.3. Limitation des impacts dans les bâtiments</b> .....	<b>51</b>
V.3.1) Les moyens d'amélioration techniques .....	52
V.3.2) Les leviers d'actions réglementaires .....	55
<b>V.4. Limitation des rejets de fluides frigorigènes de la climatisation embarquée</b> .....	<b>58</b>
V.4.1) Les leviers d'actions actuels .....	58
V.4.2) Les technologies alternatives .....	59
<b>V.5. Recommandations</b> .....	<b>60</b>
<b>V.6. L'évaluation des possibilités de maîtrise des impacts de la climatisation</b> .....	<b>61</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>63</b>
<b>Liste des acronymes</b> .....	<b>65</b>
<b>Lexique</b> .....	<b>66</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>67</b>
<b>Annexe technique n°1 : Les différents systèmes de climatisation</b> .....	<b>69</b>
<b>Annexe technique n°2 : L'organisation de la filière des fluides frigorigènes en France</b> .....	<b>75</b>
<b>Annexe technique n°3 : Projections à horizon 2025 des émissions de fluides frigorigènes</b> .....	<b>79</b>

# Synthèse

Le présent rapport a été réalisé par le bureau d'études Energies Demain et l'association Armines, sous le pilotage de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), en collaboration avec la Direction Générale de l'Energie et du Climat du MEDDTL. Il répond à l'article 5 de la loi de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement du 3 août 2009, qui prévoit que l'Etat remette à la représentation nationale « un rapport mesurant la production en dioxyde de carbone des systèmes de climatisation et leur impact sur l'écosystème et l'environnement, singulièrement dans les collectivités d'Outre-mer ».

Les impacts environnementaux de la climatisation sont parfois difficilement quantifiables, en raison d'un manque de moyens permettant la remontée de données sur les taux de diffusion de la climatisation dans les bâtiments et les transports, ou encore sur les consommations électriques liées à cet usage, de même que l'impact de ces dernières sur la courbe de charge électrique. Ce manque de données est d'autant plus préjudiciable dans les départements d'Outre-mer, où la diffusion de la climatisation est beaucoup plus élevée.

## ► Le marché de la climatisation en forte expansion

**Le parc de bâtiments climatisés est encore faible, mais il est en constante augmentation dans le secteur tertiaire, et se développe rapidement dans le secteur résidentiel.**

Une très forte disparité existe entre les bâtiments à usage tertiaire et ceux à usage résidentiel. Ces derniers ne sont encore que faiblement climatisés (de 3,5% à 4,5% selon les estimations), contrairement au secteur tertiaire pour lequel presque un quart des surfaces sont climatisées. Celles-ci sont concentrées dans quelques branches d'activités : bureaux, commerces et établissements de santé.

**Une tendance à la hausse qui se poursuivra dans les années à venir dans le bâtiment et qui risque d'être accélérée par les effets du changement climatique.**

La canicule de 2003 a accéléré le développement de la climatisation dans le secteur résidentiel. En 2007, 961 000 logements étaient équipés, soit trois fois plus qu'en 2001. Dans le secteur tertiaire, la pénétration de la climatisation est constante. La canicule de 2003 n'a eu qu'un faible impact global sur les surfaces climatisées. L'effet de la canicule s'est concentré dans les branches « santé » et « habitat communautaire ». En plus de ce développement important, les impacts du changement climatique risquent d'accélérer la diffusion de la climatisation dans tous les secteurs.

**La climatisation embarquée se généralise et équipe plus de la moitié du parc automobile.**

La croissance annuelle de la climatisation dans l'automobile est de 13% depuis 2003, ce qui se traduit par un taux d'équipement du parc automobile de 60% en 2008. La progression observée est expliquée par le fort renouvellement du parc et par la généralisation de l'intégration de la climatisation dans les voitures neuves.

## ► Des impacts sur l'environnement

**Les impacts environnementaux directs provoqués par l'émission de fluides frigorigènes dans l'atmosphère étaient responsables en 2009 de l'émission de 5,4 millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub>.**

Les fluides frigorigènes contenus dans les équipements de climatisation participent au réchauffement climatique de par leur fort pouvoir de réchauffement global. Les systèmes de climatisation les laissent échapper dans l'atmosphère en plus ou moins grande quantité. L'importance de l'impact direct dépend de la nature du fluide frigorigène employé et de la quantité émise sur la durée de vie de l'appareil. L'impact direct de la climatisation est dominé par la climatisation embarquée.

Certains fluides frigorigènes (les CFC et HCFC) nocifs pour la couche d'ozone, et ayant également un fort pouvoir de réchauffement global, sont entrés dans un processus d'interdiction progressive.

**Les impacts environnementaux indirects sont dus aux consommations d'énergie électrique et de carburant. Les surconsommations de carburant des véhicules sont responsables de l'émission de 2,56 millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub>.**

5% de la consommation d'électricité des bâtiments est liée à l'usage de la climatisation, notamment dans les bâtiments tertiaires. Les consommations provoquées par la climatisation des locaux industriels restent faibles comparativement aux consommations totales du secteur, mais sont cinq fois supérieures à celles du secteur du bâtiment résidentiel. La climatisation embarquée provoque quant à elle une surconsommation de carburant de 1 à 7% pour les automobiles, et de 1 à 4,5% pour les autobus.

**Les pistes d'amélioration et de maîtrise des impacts sont diverses mais demandent toutes à être évaluées par des études prospectives, comme c'est le cas pour les émissions de fluides frigorigènes, afin d'estimer leur potentiel.**

Les mesures qui permettent de réduire les impacts de la climatisation sont d'ordre technique ou réglementaire. Les pistes techniques visent à tenir compte du confort d'été lors de la conception de l'enveloppe thermique des bâtiments, l'amélioration des systèmes de climatisation et le développement de solutions de rafraîchissement basse-consommation. Les mesures réglementaires quant à elles visent à réduire les impacts indirects et directs de la climatisation à travers les réglementations thermiques des bâtiments et en encadrant toute la filière des fluides frigorigènes, de la production des systèmes de climatisation à la récupération des fluides en fin de vie.

### ► La climatisation dans les Départements d'Outre-mer

**L'usage de la climatisation Outre-mer, est un enjeu environnemental majeur. Cependant, son impact est difficile à évaluer faute de données et d'études portant sur ces territoires.**

Compte tenu du climat des départements d'Outre-mer, la climatisation y est un usage prépondérant. Elle a connu un développement très important ces dernières années, notamment dans le secteur résidentiel.

La consommation d'électricité due à la climatisation est élevée. A titre d'exemple elle représente 35% des consommations totales d'électricité en Guadeloupe, ce qui provoque de plus grands impacts indirects qu'en métropole compte tenu des moyens de production d'électricité fonctionnant à partir d'énergies fossiles fortement émettrices de CO<sub>2</sub>.

### ► Des mesures existent pour limiter les impacts environnementaux de la climatisation

**Les mesures réglementaires existantes** incitent à la diminution des besoins, notamment en améliorant la performance des bâtiments via les réglementations thermiques, **d'accroître la performance des systèmes de climatisation**, notamment en imposant des performances minimales et un contrôle périodique des installations, ou encore **en interdisant l'utilisation de certains fluides à fort pouvoir de réchauffement global** (cas de la climatisation automobile).

Si la réglementation actuelle sur les équipements utilisant des gaz fluorés nocifs pour la couche d'ozone permet de réduire les émissions fugitives liées à l'utilisation de ces gaz, **elle a en revanche conduit à un recours massif à de nouveaux fluides, les HFC, dont le pouvoir de réchauffement global est de 4 à 11700 fois plus important que celui du CO<sub>2</sub>.**

Ainsi, bien que l'impact environnemental de la climatisation soit encore modeste, le développement rapide de ce marché, actuellement et tel qu'il est envisagé pour les prochaines années, semble antagoniste avec les objectifs de réduction de consommations d'énergie et plus généralement d'émissions de gaz à effet de serre.

Il faut donc étudier avec attention la possibilité de mettre en oeuvre de nouveaux outils permettant d'inciter les filières à s'orienter vers des solutions moins nocives pour l'environnement.

► **Des mesures complémentaires sont nécessaires pour réduire durablement les externalités négatives liées à cet usage.**

Plusieurs leviers d'action doivent être soutenus selon l'ordre de priorité suivant :

- La diminution des besoins en froid (amélioration des protections solaires actives et passives, utilisation de la ventilation naturelle, etc.) ;
- Le développement de techniques alternatives (rafraîchissement basse-consommation dans le bâtiment, amélioration de la ventilation, puits provençal, etc.) ;
- L'amélioration de l'efficacité des systèmes de climatisation.



# Introduction

L'article 5 de la loi de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, dite loi Grenelle 1, prévoit que l'Etat remette à la représentation nationale « **un rapport mesurant la production en dioxyde de carbone des systèmes de climatisation et leur impact sur l'écosystème et l'environnement, singulièrement dans les collectivités d'Outre-mer** ».

Il est aujourd'hui incontestable que la climatisation est un facteur de confort dans le bâtiment, de productivité dans le secteur tertiaire, et que son développement a permis d'améliorer les conditions de prise en charge des patients et les conditions de travail du personnel hospitalier en cas de fortes chaleurs. Néanmoins, son usage conduit à des impacts sur l'environnement, parmi lesquels l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre (GES) associées :

- à l'utilisation de gaz frigorigènes dans ces appareils d'une part,
- à la consommation d'énergie nécessaire à leur fonctionnement d'autre part.

L'évaluation de l'impact environnemental de la climatisation nécessite dans un premier temps de connaître les différentes technologies employées, ainsi que la pénétration de son usage dans les différents secteurs de l'économie.

L'objectif du rapport est d'établir, un état des lieux actualisé et de donner quelques tendances prospectives de la consommation énergétique et des émissions de gaz à effet de serre de la climatisation, dans ses différentes composantes, comprenant une analyse quantitative et qualitative.

Compte tenu des enjeux spécifiques de cet usage dans les départements et collectivités d'Outre-mer, un état des lieux a été effectué en particulier pour ces territoires.

Enfin, une partie de ce rapport s'attache à évaluer les moyens techniques et réglementaires déjà existants ou à mettre en place afin d'améliorer les connaissances sur cet usage et de proposer des recommandations visant la maîtrise de ses impacts sur l'environnement.

# I. Diffusion de la climatisation en métropole

## I.1. La climatisation des bâtiments

Le développement de la climatisation est liée en premier lieu à l'augmentation du confort dans les bâtiments, facteur de productivité dans le secteur tertiaire, et de la recherche de confort pour les particuliers. Dans la limite de conditions climatiques favorables, la climatisation peut en partie ou totalement être évitée en concevant de manière judicieuse le bâtiment (en particulier son enveloppe), en prenant en compte à la fois le confort en période hivernale mais également en période estivale. On s'intéresse ci-après à décrire les systèmes et technologies de climatisation rencontrés fréquemment dans le bâtiment ainsi qu'à dresser un état des lieux de leur diffusion.

### I.1.1) La notion de rafraîchissement et de climatisation

Avant de décrire les systèmes de climatisation, il est nécessaire de définir les notions de climatisation et de rafraîchissement.

Les technologies liées aux systèmes de production et de distribution de froid sont à différencier des technologies permettant de limiter les besoins de climatisation.

Dans cette optique, une différence est effectuée par le CSTB<sup>1</sup> (CSTB, 2007), en termes de « qualité du service rendu ». Ainsi on distingue l'usage de « climatisation » de celui de « rafraîchissement ».

Le rafraîchissement est une forme de climatisation consistant à abaisser le niveau de température intérieure par rapport à la température extérieure, sans toutefois posséder de système à puissance garantie pour la production de froid. Il en résulte donc :

- Une impossibilité de respecter une température de consigne dans certains cas ;
- Une température intérieure dépendante des conditions extérieures lors des périodes les plus chaudes.

A l'inverse, un système de climatisation :

- Garantit la production de froid s'il est correctement dimensionné ;
- Peut respecter une température de consigne.

Il convient de noter que la comparaison de différents systèmes entrant dans les deux catégories pose une difficulté puisque l'on compare des solutions n'offrant pas un service identique. Il faudrait, à cette fin, prendre en compte les externalités liées à l'inconfort, aux pertes de productivité dans le secteur tertiaire, et au consentement à payer dans le secteur résidentiel. C'est un point qu'il ne faut pas oublier lorsqu'on cherche à comparer les systèmes étudiés dans le présent rapport.

### I.1.2) Les différents systèmes de climatisation

Les paragraphes suivants décrivent les technologies existantes ou émergentes représentatives du marché actuel. Une description détaillée des différents systèmes climatisation est consultable à l'annexe technique n°1. De nombreuses appellations et sigles utilisés dans ce rapport sont consultable dans le Lexique en annexe de ce rapport.

---

<sup>1</sup> Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

### 1.1.2.a) Les technologies

Le présent rapport fait une différenciation entre la production la distribution de froid. L'immense majorité des technologies de climatisation appliquées au bâtiment fonctionnent avec **un système de production de froid mécanique à moteur électrique**. Le froid est alors produit grâce aux cycles thermodynamiques effectués par **un fluide frigorigène**.

**La différenciation des technologies de climatisation se base sur les systèmes de distribution du froid** qui les composent. Selon l'analyse du COSTIC<sup>2</sup> (COSTIC, 2007), sur les différents systèmes de climatisation du bâtiment, ces systèmes sont répartis selon trois grandes familles :

- **Les systèmes à détente directe**

Parmi ces systèmes, on distingue les appareils dits « monoblocs », qui rassemblent sous un même boîtier tous les équipements du circuit frigorifique, des systèmes de type « split »<sup>3</sup> composés d'une unité intérieure (évaporateur) et d'une unité extérieure (compresseur) entre lesquels circule le fluide frigorigène.

Ces systèmes sont très répandus dans le secteur du résidentiel individuel<sup>4</sup> mais aussi dans le secteur tertiaire (unités de toitures ou « rooftops » pour climatiser les centres commerciaux, armoires de climatisation pour les salles informatiques, ou encore les galeries marchandes des centres commerciaux).

Sur le plan environnemental, les risques de fuites de fluides frigorigènes sont plus élevés lors de la mise en service des équipements « split », durant l'intervention visant à raccorder les circuits frigorifiques des unités intérieure et extérieure. Les technologies dites « monoblocs » sont moins performantes et plus bruyantes que les « split » mais elles génèrent moins de risques de fuites de fluides frigorigènes dans l'atmosphère, car le fluide est contenu dans un circuit étanche et son volume est moins important (absence de circulation de fluide entre les unités intérieure et extérieure du bâtiment). Les systèmes « split » représentent donc un risque environnemental plus élevé que les systèmes « monoblocs », et ce risque est d'autant plus accru que ces équipements sont actuellement les plus vendus sur le marché.

- **Les systèmes à air ou à eau**

Le générateur typiquement associé à ces systèmes est une machine thermodynamique appelée « Groupe de Production d'Eau glacée » (GRE)<sup>5</sup>. Les GRE sont des appareils assemblés en usine, prévus pour refroidir des liquides. Ils sont composés d'un compresseur, d'un évaporateur et d'un condenseur ainsi que d'organes de contrôle.

Les systèmes à air ou à eau se différencient ensuite selon que le froid produit est distribué dans les locaux à refroidir via un réseau aéraulique ou hydraulique.

Il faut toutefois noter que ces systèmes ne remplissent dans certains cas que la fonction de rafraîchissement et non de climatisation.

- **Les systèmes mixtes**

On parlera de « systèmes mixtes » pour les systèmes qui nécessitent l'utilisation de deux vecteurs frigo ou calo-porteurs pour assurer la climatisation des locaux.

Chaque local à climatiser est équipé d'une pompe à chaleur (PAC) réversible air/eau. Ces différentes PAC sont reliées entre elles par une boucle d'eau. En cas de besoin de chaud et de froid simultanés, la chaleur extraite des locaux à refroidir est récupérée sur la boucle d'eau et transmise vers les zones à chauffer.

Les bureaux (notamment ceux avec des usages informatiques importants) et les centres commerciaux possédant des galeries marchandes sont les principaux secteurs d'application de cette technique.

---

<sup>2</sup> Centre d'Etudes et de Formation Génie Climatique Equipement Technique du Bâtiment

<sup>3</sup> On distingue encore les systèmes « mono-split » des systèmes « multi-split » pour lesquels plusieurs unités intérieures peuvent être raccordées à une même unité intérieure.

<sup>4</sup> La climatisation individuelle peut être définie par une gamme de puissance frigorifique allant jusqu'à 12 kW d'après les textes réglementaires.

<sup>5</sup> D'autres moyens de production peuvent être utilisés, notamment des moyens réversibles produisant de la chaleur ou du froid. Les GRE sont toutefois les systèmes les plus répandus.

### I.1.3) Le marché de la climatisation fixe (résidentiel / tertiaire)

#### I.1.3.a) Contexte général du marché

Même si la climatisation des bâtiments résidentiels n'est encore que faiblement développée en en métropole (moins de 5%, (IPSOS pour EDF, 2006)), le développement de celle-ci semble bien amorcé. Il est probable que le taux d'équipement va continuer à croître en fonction des aléas climatiques et au rythme de la baisse des prix et des promotions. En effet, **l'achat d'un climatiseur s'apparente à un achat d'impulsion**, dont la décision est prise rapidement. Ceci a pu être vérifié durant l'épisode de canicule de 2003.

Le marché français de la climatisation individuelle est largement dominé par les fabricants asiatiques (Daikin, Mitsubishi, Fujitsu etc.) avec la technologie des systèmes « split ». Les équipements les plus répandus sont aujourd'hui les pompes à chaleur air/air réversible (inverter) dérivant des climatiseurs et capables de répondre aux besoins en climatisation et chauffage du bâtiment. Pour se positionner sur ce segment, les fabricants français et européens ont dû s'allier avec des fabricants asiatiques (ex : Atlantic et Fujitsu etc.). Ce constat est également valable pour le secteur tertiaire.

Dans le tertiaire, la climatisation est plus implantée, et son évolution plus stable. **La climatisation est concentrée dans certaines familles de bâtiments tertiaires : les bureaux, les commerces et les établissements de santé.**

#### I.1.3.b) Les chiffres du marché

Les données de Clim'Info, association qui regroupe toutes les grandes entreprises sur le marché de la climatisation, permettent d'avoir une comparaison des ventes de matériel depuis 1996. Nous présentons ici les chiffres de 1996 à 2008. Les données de cette association sont les seules à bien représenter ce marché. Malheureusement, l'association n'est pas en mesure de séparer dans ses données statistiques le marché résidentiel du marché tertiaire.

Cependant, il est admis que **les climatiseurs individuels sont utilisés tant dans le secteur résidentiel que dans le secteur tertiaire**, alors que les systèmes regroupés sous l'appellation « unités autonomes de climatisation » équipent uniquement le secteur tertiaire.

Les figures 2 et 3 illustrent les évolutions de ces deux marchés sur la période 1996 - 2008<sup>6</sup> :

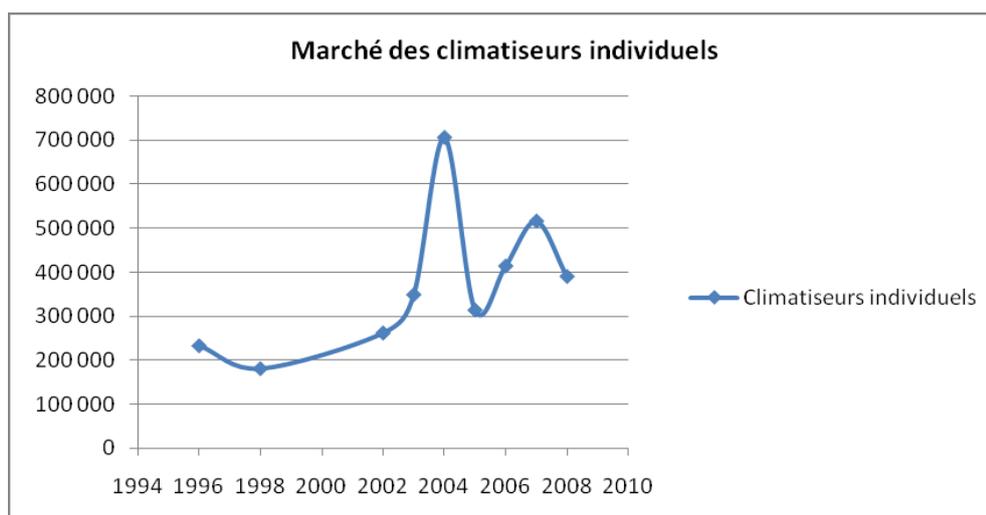


Figure 1: Evolution des ventes annuelles de climatiseurs individuels

<sup>6</sup> Le détail des statistiques de vente par type de climatiseur est consultable dans l'annexe technique n°1.

On constate que les ventes de climatiseurs individuels ont connu une forte hausse en 2004, suite à la canicule de 2003, ainsi qu'en 2006 et 2007. Cette seconde hausse peut être expliquée par la mise en place en 2005 du crédit d'impôt développement durable (avec un taux fixé à 50% pour les PAC air/air).

Les données de marché des climatiseurs mobiles disparaissent des données Clim'info à partir de 2005. Il a toutefois été observé lors des études de marché menées dans le cadre de l'élaboration de la directive Européenne Eco-conception (cf. V.3.2.b), qu'après le pic lié à la canicule, les ventes de climatiseurs mobiles sont revenues à leur niveau antérieur, (60 000 à 70 000 unités par an, cf. annexe technique n°1). Il faut noter que le suivi des ventes de ces appareils est plus compliqué que pour les autres, ceux-ci étant vendus en grande distribution.

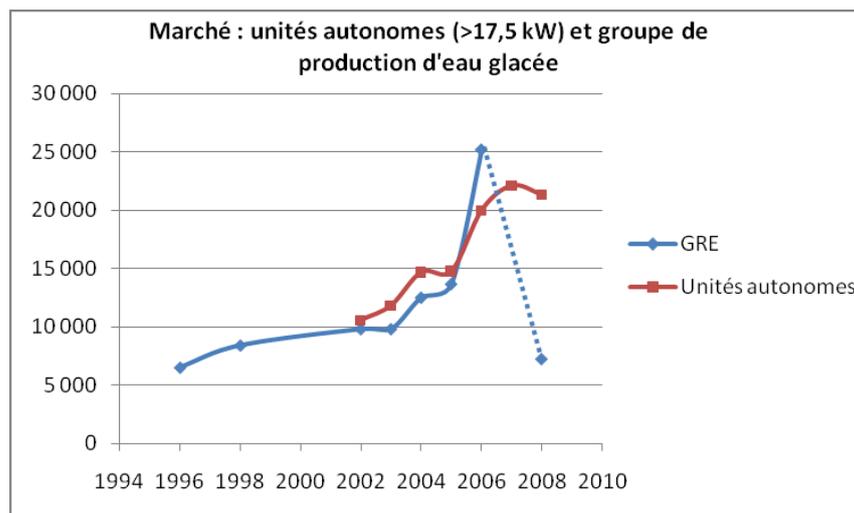


Figure 2 : Evolution des ventes annuelles<sup>7</sup> de systèmes de climatisation destinés au secteur Tertiaire

S'agissant des équipements de puissances supérieures à 17,5kW, équipant exclusivement les locaux tertiaires présentent une tendance constante, reflet d'un marché de la climatisation solide dans ce secteur. Seuls les systèmes DRV montrent une croissance importante, de 2002 à 2008, passant de 3900 unités vendues à 15 000.

#### I.1.4) La climatisation dans le secteur résidentiel

Avertissement : la totalité des données et analyses présentées est issue de rapports réalisés par le CEREN<sup>8</sup>. Les méthodologies utilisées sont fondées sur des études de panel, de statistiques et enquêtes internes, ou sur des enquêtes auprès d'installateurs de climatisation. Ces approches sont les seules qui permettent de qualifier le secteur du bâtiment en termes de superficies, de consommations d'énergie. Les chiffres présentés ci-après sont donc des estimations à prendre avec précaution.

- L'estimation du parc

Le nombre de logements climatisés en 2007 atteint le nombre de **961 000**, soit un taux d'équipement de 3,6 % sur l'ensemble du parc de résidences principales du pays (CEREN, juillet 2009). Ce résultat ne prend pas en compte les pompes à chaleur réversibles, mais comprend une estimation de 135 000 logements équipés de climatiseurs mobiles. Il est à noter que l'enquête menée par le CEREN n'a pas permis de déterminer les résultats pour les résidences secondaires.

On peut aussi noter l'écart important entre ce chiffre donné par le CEREN et les données du marché présentées précédemment. En effet, en additionnant les ventes de climatiseurs individuels depuis 2002, on arrive à 2 560 000 unités vendues. Cet écart est en partie explicable par le fait que certains de ces systèmes sont utilisés dans le tertiaire, mais aussi par le fait que

<sup>7</sup> La donnée pour l'année 2007 n'est pas disponible pour les Groupes Refroidisseurs d'Eau (GRE).

<sup>8</sup> Centre d'Etudes et de Recherches Economiques sur l'Energie

l'achat peut se faire en remplacement d'un système en fin de vie. Malgré ces facteurs, l'ampleur de cet écart incite à la prudence par rapport aux chiffres publiés.

- Répartition géographique du parc en 2007

Les **zones climatiques** sont les zones climatiques d'été retenues dans le cadre de la Réglementation Thermique 2000. Les zones climatiques les plus équipées sont logiquement celles du sud de la France. Ainsi, les zones du rivage méditerranéen et du sud-ouest/centre-est pèsent à elles seules les trois quarts du parc de résidences principales climatisées en France métropolitaine.

Il faut de plus noter que le bassin parisien se détache nettement de la zone Nord/Nord-Ouest, par l'importance relative de son parc climatisé.

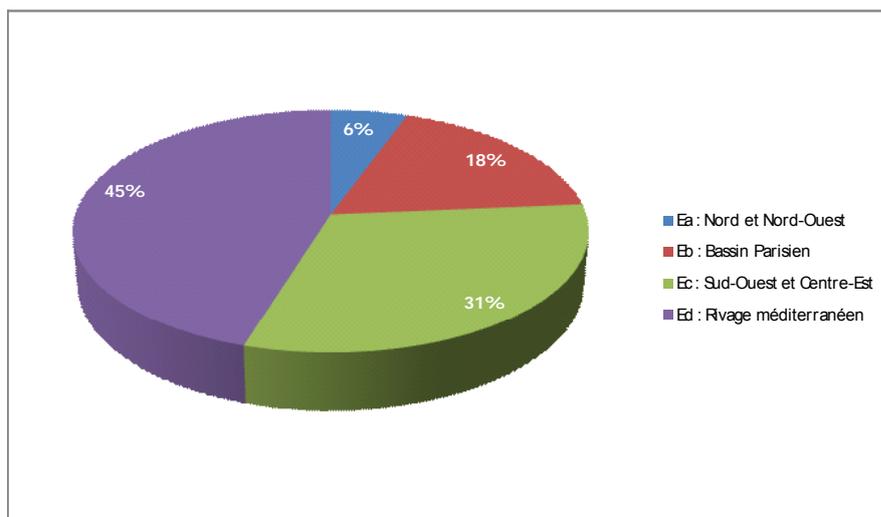


Figure 3 : Répartition du parc de résidences principales climatisées selon la zone climatique

- Evolution des surfaces climatisées dans le secteur résidentiel

Depuis 2001, le parc a été presque multiplié par 3, passant de 336 730 à 961 000. Ce chiffre s'explique à la fois par la poursuite de la tendance à la hausse notée depuis 1996 et par le rôle accélérateur qu'a joué la canicule de 2003.

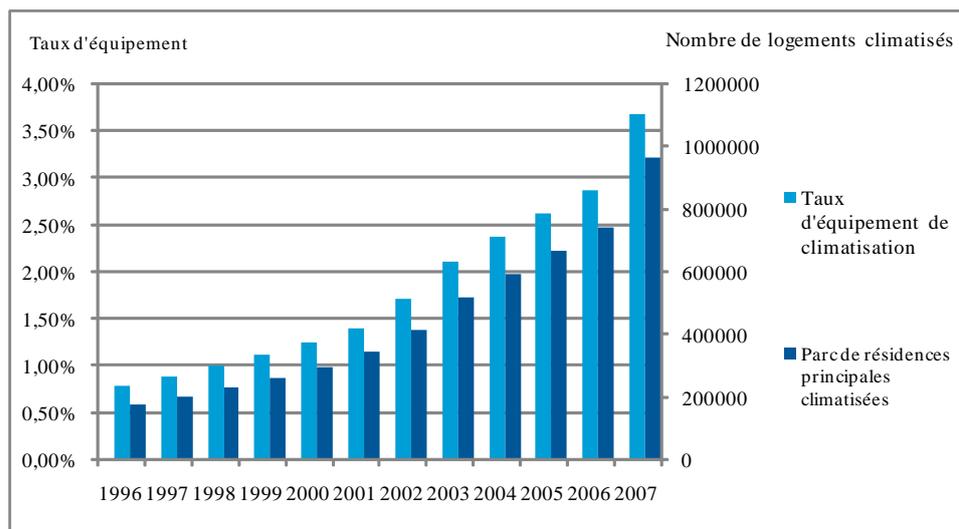


Figure 4: Evolution du parc de résidences principales climatisées et du taux d'équipement de climatisation (avec PAC réversibles) en France métropolitaine

- Structure par type de logement

L'année 2007 montre une nette augmentation de la part d'installations de climatisation sur des logements neufs contrairement aux années précédentes (CEREN, juillet 2009). En effet, 39% des installations de 2007 (soit 36 871 installations) ont été effectuées sur des logements neufs contre seulement 8% en 2006 et 15% en 2005.

Année	Nombre d'installations	Neuf	Ancien
2006	73600	8%	92%
2007	<b>94543</b>	39%	61%

**Tableau 1 : Nombre de systèmes de climatisation installés par typologie de logement**

Par ailleurs, le développement de la climatisation touche en priorité les maisons individuelles : 90% de l'ensemble des installations 2007.

- Différenciation technologique des installations de climatisation

Les informations techniques (CEREN, juillet 2009) de l'association Clim'Info ne permettent malheureusement pas de différencier précisément les installations de climatisation selon leur technologie. En effet, la distinction résidentiel / tertiaire est difficile à effectuer et les détails par technologie d'installation de climatisation ne sont pas répertoriés par secteur. On peut toutefois citer les observations suivantes :

« Dans le résidentiel, le marché est orienté de plus en plus vers des systèmes réversibles. Plus de 90 % des climatiseurs vendus en 2006 étaient réversibles et l'on note une percée des solutions centralisées comme les multi-splits dont les ventes ont plus que doublées en 2006. De plus la percée de la technologie *Inverter*<sup>9</sup> est visible. » Ces tendances du marché tracent donc la transformation technologique du parc à venir. On peut toutefois noter que la percée des climatiseurs réversibles<sup>10</sup> à détente directe (ou PAC Air/Air) a pu être stimulée par le crédit d'impôt les concernant. L'arrêt de ce dernier en 2009 devrait atténuer cette tendance.

## I.1.5) La climatisation dans le secteur tertiaire

### I.1.5.a) Etat des lieux des surfaces

Selon l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE), « le secteur tertiaire recouvre un vaste champ d'activités qui va du commerce à l'administration, en passant par les transports, les activités financières et immobilières, les services aux entreprises et aux particuliers, l'éducation, la santé et l'action sociale. Le périmètre du secteur tertiaire est de fait défini par complémentarité avec les activités agricoles et industrielles (secteurs primaire et secondaire) ».

Le CEREN a procédé à une décomposition des usages de bâtiments en huit branches d'activité :

- Bureau et Administration
- Commerce
- Cafés, hôtels, Restaurants (**CaHoRe**)
- Enseignement Recherche
- Habitat Communautaire
- Santé
- Sport, Loisirs, Culture (**SLC**)
- Transport

La diversité des bâtiments tertiaires ainsi que l'hétérogénéité des tailles de bâtiments selon l'activité ou l'établissement hébergé, justifient l'utilisation de la superficie, et non le nombre de bâtiment, comme unité de comparaison.

<sup>9</sup> Technologie émergente utilisée en climatisation individuelle.

<sup>10</sup> Systèmes de production de froid pouvant également produire de la chaleur en hiver.

Ainsi, en 2007, la surface chauffée du secteur tertiaire était de 890 millions de mètres carrés qui se répartissaient de la manière suivante selon les branches :

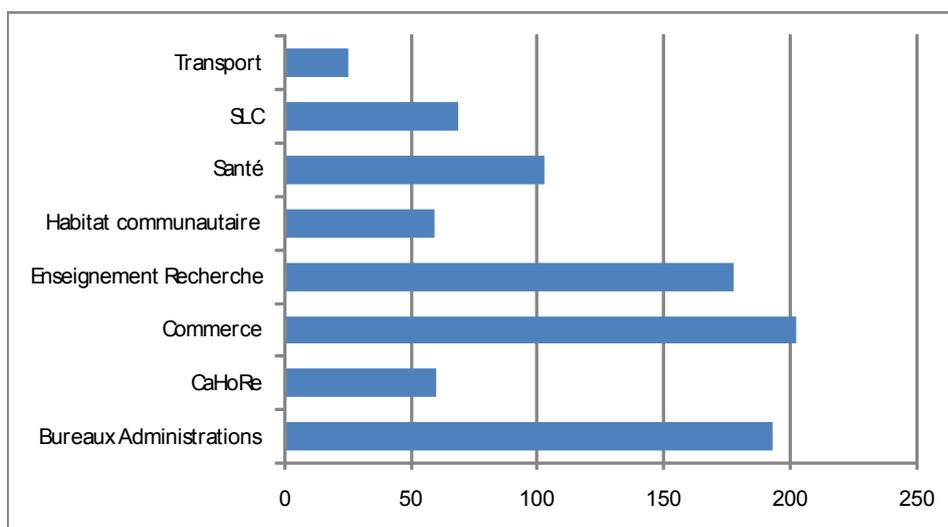


Figure 5 : Surfaces en millions de m<sup>2</sup>

### ► Les surfaces climatisées en 2005

En 2005, les surfaces climatisées s'élevaient à 194 millions de mètres carrés, soit 22,6% des surfaces totales du parc tertiaire. Ce chiffre peut paraître faible, cependant, une inclinaison naturelle nous pousse à représenter le tertiaire par les branches les plus climatisées (Bureaux, Hôtels-restaurants ou Commerces) et à généraliser leurs taux de climatisation relativement élevé à l'ensemble du secteur. De plus, il n'est pas évident qu'un bâtiment dit climatisé le soit en totalité ce qui pourrait également tendre à réduire le taux réel par rapport à l'image que nous nous en faisons.

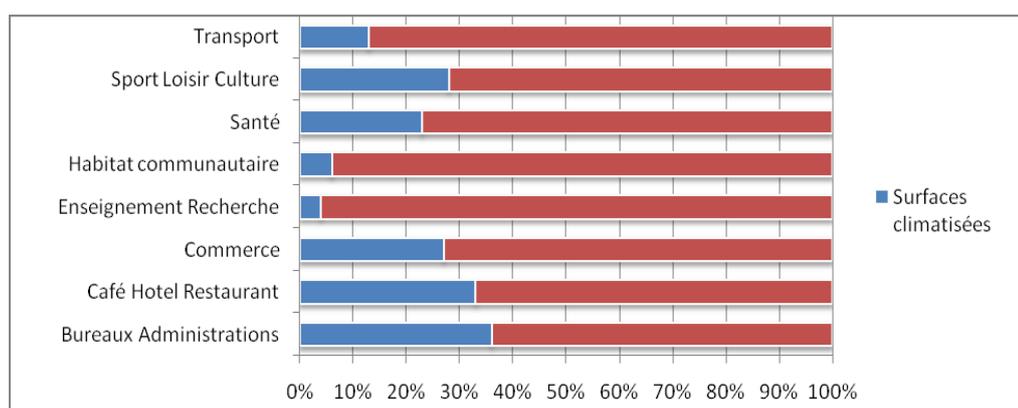


Figure 6 : Part de la surface climatisée par branche d'activité tertiaire

Le taux de climatisation des surfaces par branche, met en évidence de fortes disparités selon l'activité. Ainsi, l'enseignement, qui représente 20% de la superficie totale du parc tertiaire, n'est quasiment pas climatisé. Les branches Bureaux-Administration et Commerce représentent à elles seules plus de 60% des surfaces climatisées.

## ► Répartition Régionale en 2003

La répartition de ces surfaces sur le territoire métropolitain dépend :

- De l'importance des activités tertiaires : les surfaces climatisées se concentrent avant tout en île de France, en Provence-Alpes-Côte-D'azur, Rhône-Alpes et Midi-Pyrénées; régions se partageant la grande majorité des emplois tertiaires nationaux.
- Des conditions climatiques : un taux de climatisation élevé en Corse, Languedoc-Roussillon, Aquitaine, Poitou-Charentes et Auvergne ; régions dont les conditions climatiques estivales sont les plus favorables à l'usage de la climatisation, soit les zones climatiques d'été Ed (Rivage méditerranéen) et Ec (Sud-ouest et Centre-est).

Ainsi, on observe bien un « effet climat », mais moins prononcé que dans le secteur résidentiel. La climatisation pénètre dans toutes les zones climatiques, avec toutefois une avancée du Bassin Parisien.

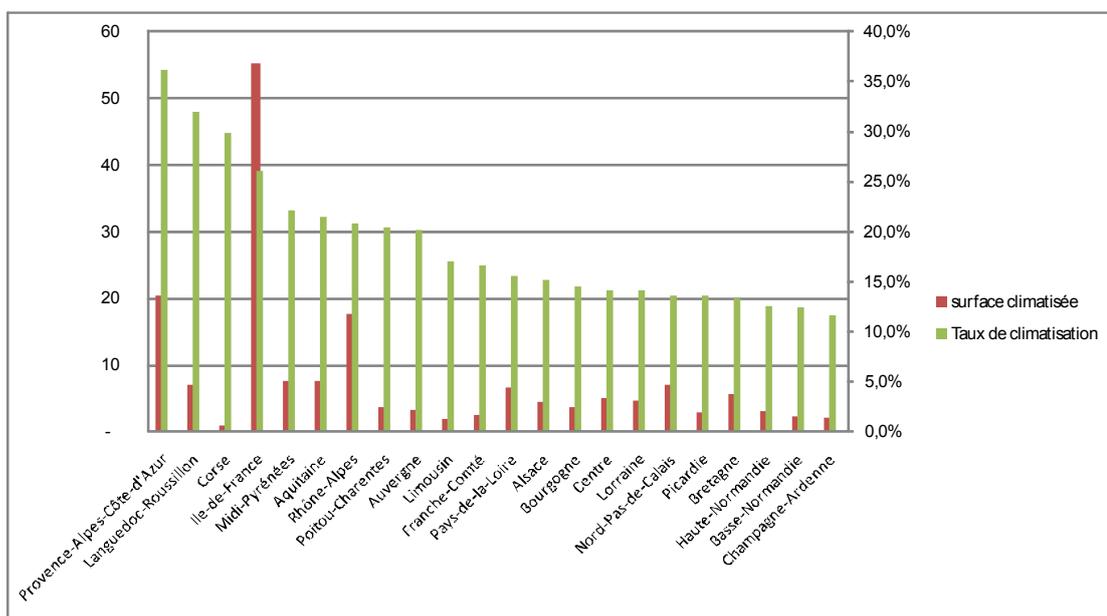


Figure 7 : Reconstitution des surfaces climatisées (en millions de mètres carrés) et du taux de climatisation à l'échelle régionale pour l'année 2003 (enquêtes annuelles CEREN)

### I.1.5.b) Evolution du taux de climatisation sur la période 1995 – 2005

En dix ans, sur la période 1995-2005, le taux de climatisation a progressé de 7 points, passant de 15,6 à 22,6%. 80,4 millions de mètres carrés de surfaces supplémentaires ont été climatisées. La diffusion de la climatisation a été plus rapide sur la période 2002-2005 (+2,6 points) contre +2,2 points entre 1999-2002.

De manière similaire aux surfaces chauffées, les branches ayant connu une importante croissance sur les dix dernières années sont celles qui sont le plus fortement climatisées (Bureaux-Administration, Cafés-Hôtels-Restaurants, Commerce).

D'après les données issues d'enquêtes du CEREN, la canicule de 2003 a eu un impact faible sur la croissance du parc, contrairement à ce qui a été observé dans le secteur résidentiel. Les impacts notables se sont surtout manifestés pour les branches Habitat Communautaire et Santé.

### I.1.6) La climatisation dans l'industrie

L'usage de la climatisation dans le secteur de l'industrie n'est pratiquement pas documenté. Seul le CEREN a évalué les consommations d'électricité liées à la production de froid dans le secteur industriel pour l'année 2002 (cf. III.1.2).

### I.1.7) Les impacts du changement climatique sur la diffusion de la climatisation

De nombreuses études portent sur le développement de la climatisation résidentielle et tertiaire dans le monde et notamment à l'impact que le changement climatique pourrait avoir sur le taux de pénétration de cet usage et à l'augmentation de la consommation énergétique liée à un climat plus chaud.

Sur la base de l'étude statistique réalisée par les Etats-Unis tous les 3 ou 4 ans (RECS, 2001), des chercheurs (Sailor & Pavlova, 2003)<sup>11</sup> ont étudié l'influence du climat sur le taux de climatisation des résidences aux Etats-Unis. En traçant le taux de pénétration par Etat en fonction des degrés jour de climatisation, il en a été déduit une corrélation avec les degrés-jours de refroidissement. La corrélation a été actualisée en 2010 par le LBNL<sup>12</sup> (McNeil & Letschert, 2010) qui s'intéresse à la pénétration mondiale des usages de l'énergie dans les ménages.

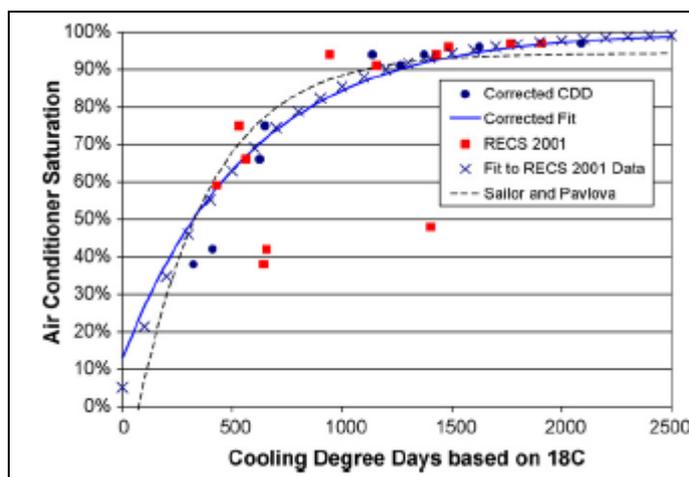


Figure 8 : Taux de pénétration de la climatisation à saturation en fonction du nombre de degré-jours (McNeil & Letschert, 2010)

Le deuxième facteur à prendre en compte dans la diffusion des usages est le pouvoir d'achat. (McNeil & Letschert, 2010) ont donc introduit un facteur multiplicatif<sup>13</sup> incluant le PIB par habitant des pays concernés (à Parité de Pouvoir d'Achat). Pour la climatisation résidentielle, les auteurs notent un profil particulier avec un seuil économique lié au prix élevé des équipements et de leur installation. Le facteur de pénétration est donc multiplié par un facteur économique.

Ces travaux ont été utilisés dans l'étude Eco-conception DG ENER Lot 10<sup>14</sup> (Armines, 2009) pour projeter l'évolution de l'équipement des parcs résidentiels européens en climatisation : les taux d'équipement ont été calculés à partir des degré-jours de climatisation moyens (1960-

<sup>11</sup> D.J. Sailor, D.J. and A.A. Pavlova (2003). Air conditioning market saturation and long-term response of residential cooling energy demand to climate change. Energy, Volume 28, Issue 9, July 2003, Pages 941-951.

<sup>12</sup> Lawrence Berkeley National Laboratory

<sup>13</sup> Ce facteur est imparfait car les corrections de PIB dépendent d'un « panier » de comparaison qui n'est pas forcément adapté aux produits blancs, dont les prix sont plus semblables entre les pays, que les autres biens de consommation, notamment s'ils sont importés, et aussi en raison des fortes disparités qui se cachent derrière un chiffre moyen national.

<sup>14</sup> Pour plus d'information sur la directive Eco-conception, cf. V.3.2.b.

1990) sans tenir compte du réchauffement climatique<sup>15</sup>. Il s'est avéré que la plupart des pays européens avaient des PIB par habitant suffisants pour permettre le développement de la climatisation, c'est à dire que le facteur économique permettait le développement de la climatisation. Cela est d'autant plus vrai avec des équipements importés d'Asie et notamment de Chine ayant des prix de vente en supermarché pouvant descendre jusqu'à 200 euros en été.

La réalisation de ces projections donnerait une fourchette haute pour l'évolution du taux de pénétration de la climatisation en France par comparaison à ceux contenus dans le rapport interministériel sur les impacts économiques de l'adaptation au changement climatique (ONERC<sup>16</sup>, 2009).

Les chiffres issus du rapport interministériel sont présentés ci-dessous pour le scénario climatique A2<sup>17</sup>. Même pour ce scénario, le plus pessimiste des deux scénarios élaborés, la diminution des consommations de chauffage électrique font plus que compenser l'augmentation des consommations de climatisation. Ainsi, le réchauffement se traduit par une baisse des consommations électriques et globales pour le confort thermique en résidentiel.

Consommation A2 (TWh/an)	1980-1999	2020-2039	2040-2059	2080-2099
Chauffage	70,0	62,7	59,9	49,3
<i>Variation</i>	-	- 7,3	-10,1	-20,7
Climatisation	0,9	1,3	1,9	3,7
<i>Variation</i>	-	0,4	+1,0	+2,8
<i>Cumul Variation annuelle</i>	-	-6,9	-9,1	-17,9

**Tableau 2 : Impact du changement climatique sur l'évolution de la consommation électrique pour le chauffage et la climatisation (Groupe Interministériel, 2009)**

Cependant, le développement de la climatisation en Espagne correspondant à un taux d'équipement des ménages de 35% pris comme hypothèse pour la France à horizon 2050, est en fait limité d'une part par les disparités climatiques de ce pays et d'autre part par les disparités de pouvoir d'achat.

Les taux d'équipement calculés avec le climat français d'aujourd'hui atteindraient déjà 27 % en région parisienne et 68% à Marseille si les tendances observées aux Etats-Unis se reproduisaient en France. En prenant en compte un scénario de réchauffement moyen, l'évolution du nombre de logements climatisés pourrait tendre vers des taux de saturation de 44% et 81% respectivement pour Paris et Marseille.

D'une part, l'effet d'îlot de chaleur urbain n'est pas compté dans ces taux d'équipement, les climats de référence étant pris en général à l'extérieur des zones d'agglomération (aéroport d'Orly pour Paris par exemple).

D'autre part, il reste une incertitude importante sur ce qui est appelé logement climatisé. En général, seule une pièce est climatisée aujourd'hui dans les logements. Au Japon par exemple, en moyenne 2,5 splits sont installés par logement, le taux de pénétration atteignant 85% des logements.

De plus, l'impact direct du réchauffement climatique pourrait multiplier par deux les consommations unitaires.

Enfin, il existe une probabilité accrue de canicules avec le réchauffement climatique. Dans le rapport interministériel (ONERC, 2009), des probabilités d'occurrence de canicules similaires à celle de 2003 ont été estimées pour les deux scénarios climatiques retenus. Les chiffres sont

<sup>15</sup> L'hypothèse retenue pour traduire la saturation est l'équipement d'un climatiseur par ménage (hypothèse optimiste).

<sup>16</sup> Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique

<sup>17</sup> (ONERC, 2009) « [...] le groupe a exploité les données journalières de températures disponibles, issues du modèle Arpège-Climat de Météo France. Cela a permis néanmoins d'avoir des modélisations quotidiennes sur les différents horizons considérés (2030, 2050 et 2100) et selon les deux scénarios A2 et B2 : ces données ont alors été intégrées dans les exercices de calcul de consommation par rapport à la moyenne 1980-1999. [...] Ainsi, on a tendance à qualifier le scénario A2 de « pessimiste » car il entraînerait des émissions de gaz à effet de serre plus importantes que le scénario B2 et conséquemment un réchauffement climatique plus prononcé. »

reportés ci-dessous. L'avènement de plus nombreuses canicules pourrait accélérer la pénétration de la climatisation résidentielle, comme cela a déjà été observé en 2003.

Scénario	2001-2100
A2	[32 - 51]
B2	[18 - 25]

**Tableau 3 : Occurrences modélisées des canicules de type 2003 (Groupe Interministériel, 2009)**

Il existe donc des éléments pour justifier un scénario pessimiste, en comparaison aux prévisions du rapport interministériel (ONERC, 2009), dans lequel la consommation liée à la climatisation résidentielle serait 4 ou 5 fois plus élevée que celle projetée en 2050 et en 2100, c'est-à-dire du même ordre de grandeur que l'économie de chauffage attendue par le réchauffement.

## **I.2. La climatisation embarquée**

---

Le secteur de la climatisation mobile se divise en quatre sous-secteurs, déterminés par les technologies utilisées et les informations statistiques disponibles.

- La climatisation automobile comprend les circuits de climatisation des véhicules particuliers et utilitaires légers. Les automobiles représentent près de 83% du parc de véhicules en France d'après l'INSEE ;
- Les véhicules industriels regroupent les camions et les tracteurs agricoles. Ce sous-secteur utilise des systèmes de technologie identiques, mais seule la cabine du conducteur est rafraîchie ;
- Les cars et bus présentent des systèmes de climatisation différents, plus puissants, où tout le véhicule est rafraîchi ;
- Dans le cas des trains, les technologies sont spécifiques et présentes sur la totalité du marché neuf.

Il est à noter que la présente étude ne traitera pas des usages de froids concernant les transports frigorifiques. La climatisation d'autres moyens de transports, tels que les moyens aériens et fluviaux, ne sera pas abordée non plus. En effet, la climatisation aérienne ne met pas en jeu de fluides frigorigènes, et la climatisation fluviale est a priori négligeable.

### **I.2.1) Le développement de la climatisation dans les transports**

#### **I.2.1.a) Apparition et diffusion de la climatisation dans les transports**

Les véhicules ont été dotés dans les années 1950 de systèmes de chauffage exploitant la part d'énergie thermique évacuée par le liquide de refroidissement du moteur (fluide caloporteur).

Pour abaisser la température de l'habitacle il en est autrement. Le froid n'est pas disponible directement et nécessite la présence d'un système spécifique de réfrigération d'air. Les systèmes développés emploient un fluide frigorigène qui subit un cycle de compression, condensation, détente et évaporation.

Cet air conditionné donne naissance à la climatisation dans les véhicules, qui s'est alors développée essentiellement aux Etats-Unis dans les années 1960. Après son apparition aux Etats-Unis, la climatisation automobile a connu un essor considérable dans d'autres pays industrialisés, comme le Japon. Ainsi, dans ces pays, les taux de pénétration de la climatisation atteignent dès les années 1985-90 des niveaux de saturation de marché au dessus de 90%. La climatisation se développe aussi en Europe et dans les autres pays. En 2003, le parc mondial est estimé à 840 millions de véhicules, dont 457 millions sont équipés de systèmes de climatisation (Yingzhong YU, 2008).

### I.2.1.b) Les raisons d'un tel essor

Cette forte augmentation de l'usage de la climatisation dans les transports est liée au renforcement des équipements de confort dans les critères actuels d'achat d'un véhicule, au détriment des facteurs usuels : puissance, vitesse maximale, cylindrée... En outre, depuis les années 1980, les surfaces de vitrage des véhicules ont augmenté (concept de bi-corps, monospaces...) et constituent une source non négligeable de réchauffement de l'air de l'habitacle. A titre d'exemple, l'évolution des surfaces vitrées d'un véhicule moyen du constructeur Renault confirme cette évolution (ADEME, 2003)

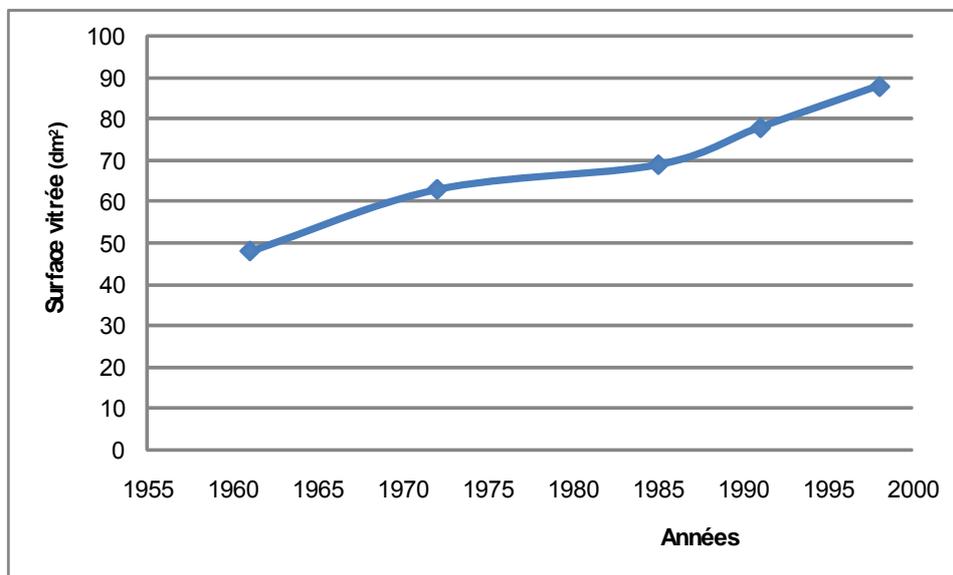


Figure 9 : Evolution de la surface des pare-brise de véhicules

L'évolution de la climatisation dans les véhicules, initialement expliquée par l'augmentation des surfaces vitrées et un besoin de confort/sécurité pour les usagers s'est ensuite conjuguée à des effets économiques :

- Abaissement du coût des dispositifs par effet d'échelle de production (systèmes d'air conditionné de l'ordre de 2300 € en 1990<sup>18</sup>, 1500 € en 1995, 1000 € en 2003) ;
- Marketing et concurrence : volonté d'avoir une longueur d'avance à gamme égale ou au minimum de s'aligner sur les équipements des concurrents.

## I.2.2) Le parc de la climatisation dans les transports

### I.2.2.a) La climatisation automobile

#### ► Un nombre d'automobiles climatisées en France en forte augmentation

D'après l'étude TNS Worldpanel sur la part des voitures particulières avec climatisation et l'estimation du parc de véhicules en circulation de l'INSEE, le nombre d'automobiles climatisées au 31/12/2008 est estimé à 18,4 millions, alors qu'il était de 9,9 millions fin 2003, soit un taux de croissance annuel moyen (TCAM) de 13,2% entre fin 2003 et fin 2008. Selon une étude Ipsos Worldpanel, 59,8% des automobiles étaient climatisées en 2008.

Cette forte progression est due à un renouvellement important du parc et à une généralisation de l'intégration de la climatisation dans les voitures neuves. En 1995, environ 15% des voitures neuves en étaient équipées, contre 90% aujourd'hui (ARMINES, 2010).

<sup>18</sup> En euro constant

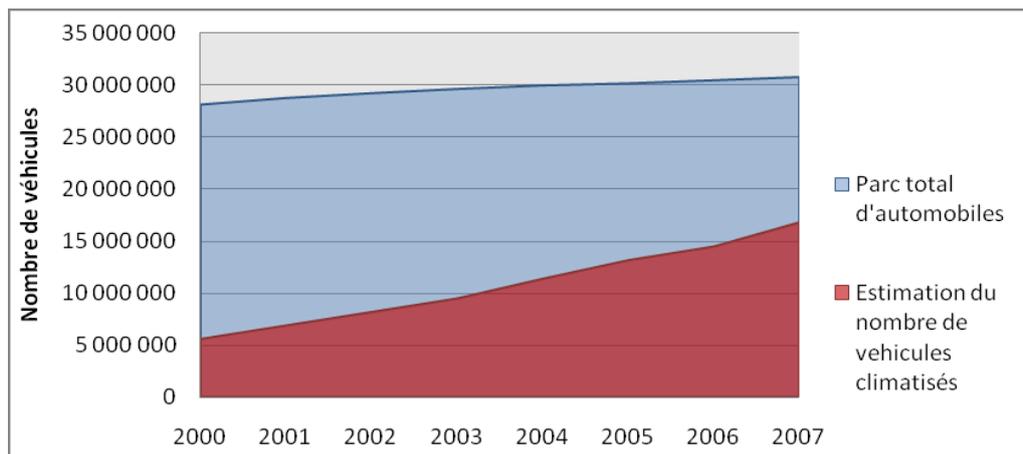


Figure 10 : Evolution du nombre d'automobiles climatisées en circulation en France métropolitaine (source : INSEE et TNS Worldpanel)

### I.2.2.b) Les autres parcs

Concernant les autres types de véhicules, le manque de données ne permet pas de produire des chiffres consolidés de parc climatisé.

Toutefois, on peut déterminer quelques ordres de grandeur, les estimations de l'INSEE de parc total des différents types de véhicules routiers en 2008 (climatisés et non climatisés) sont les suivantes :

	Parc en 2008 (INSEE)
Véhicules utilitaires légers	5 711 000
Autocars et autobus	84 000
Poids lourds (> 5 tonnes)	554 000

Par ailleurs, nous pouvons indiquer que le taux de climatisation des véhicules neufs était en 2007 de :

	Taux de climatisation véhicules neufs en 2007
Véhicules utilitaires légers	90 %
Véhicules industriels	80 %
Autocars et autobus	71 %
Trains	100 %

### **Ce qu'il faut retenir sur la diffusion de la climatisation en France métropolitaine :**

- Etat des lieux de la climatisation des bâtiments en France métropolitaine :
  - Elle n'est encore que faiblement développée en termes de pourcentage de bâtiments résidentiels équipés (entre 3,5 % et 4,5% suivant les estimations).
  - Près d'un quart des surfaces tertiaires sont climatisées. La climatisation est concentrée dans certaines familles de bâtiments tertiaires : les bureaux, les commerces et les établissements de santé.
- La climatisation se développe fortement dans le résidentiel avec notamment un pic de ventes durant l'épisode de canicule de 2003. Elle est en augmentation constante dans le tertiaire ces dernières années.
- Le changement climatique pourrait provoquer une augmentation importante de la diffusion de la climatisation.
- La climatisation embarquée a aussi connu une très forte progression, avec en 2008 près de 60% du parc automobile équipé.



## II. Impact direct : les fluides frigorigènes

L'impact environnemental direct des systèmes de climatisation est principalement relatif aux quantités de fluide frigorigène qu'ils laissent échapper dans l'atmosphère en plus ou moins grande quantité. Cet impact direct a également des conséquences sur la consommation d'énergie, car, lorsqu'un système perd une partie du fluide qu'il contenait initialement, il fonctionne avec des performances dégradées, ce qui se traduit par une surconsommation énergétique.

La quantité de fluide émise annuellement par un système de climatisation dépend de la quantité de fluide présente dans l'installation et de son taux de fuite. Elle dépend donc principalement de la puissance de l'équipement, de la technologie employée et de la nature du fluide, mais aussi de la qualité de la mise en œuvre, des vibrations subies par l'équipement en fonctionnement et de la vétusté de l'installation.

### II.1. Nature et impacts sur l'environnement des fluides frigorigènes

---

Les fluides frigorigènes peuvent avoir un impact environnemental par deux actions distinctes :

- la destruction de la couche d'ozone ;
- la participation au réchauffement climatique.

Les fluides frigorigènes usuels sont classés, selon leur composition, en grandes familles. On distingue :

- les CFC (Chlorofluorocarbures ou hydrocarbures halogénés) : R11, R12, R502,...
- les HCFC (Hydrochlorofluorocarbures) : R22, R123,...
- les HFC (hydrofluorocarbures) : R134a, R404A, R407C, R410A, ...

Du fait de leur effet destructeur sur la couche d'ozone, les deux premières catégories sont entrées, depuis le protocole de Montréal signé en 1987, dans un processus d'**interdiction progressive**. Ainsi les CFC sont interdits de production en Europe depuis 1995 et l'élimination des HCFC est programmée à l'horizon 2015 au plus tard. Aujourd'hui, les HCFC ne peuvent plus être utilisés qu'en maintenance pour compléter la charge d'installation existante. Les systèmes de climatisation vendus aujourd'hui sont donc conçus pour fonctionner avec des HFC. **Si les gaz utilisés maintenant n'ont pas d'impact sur la couche d'ozone, ils ont en revanche un fort pouvoir de réchauffement de l'atmosphère.**

#### II.1.1) Impact sur la couche d'ozone

Cet impact est caractérisé par une grandeur appelée **PDO** (Potentiel de Détérioration de la couche d'Ozone). Il s'agit en fait d'une échelle relative pour laquelle le fluide référence est le R11. Les réglementations internationales ont eu pour objet l'interdiction progressive des fluides ayant le plus fort impact sur la couche d'ozone.

Les fluides contenant du chlore ont des PDO autour de 1. Ceux qui contiennent du brome ont des PDO compris entre 5 et 15. Enfin les HFC ont un PDO nul. C'est pour cette raison que les CFC (R11 R12) et les HCFC (principalement R22) ont été bannis pour passer aux HFC (R404A, R407C, R410A, R134a ...).

## II.1.2) Participation au réchauffement climatique

Le second impact environnemental est caractérisé par une grandeur appelée **PRG<sup>19</sup>** (pour « Pouvoir de Réchauffement Global »). Son unité de mesure est la masse équivalente CO<sub>2</sub> (c'est à dire la quantité de CO<sub>2</sub> qui aurait le même impact de réchauffement que 1 kg de ce fluide).

Par exemple 1 kg de HFC R-134a émis dans l'atmosphère aura un impact équivalent à 1300 kg de CO<sub>2</sub> émis en termes d'aggravation de l'effet de serre.

Face à cette problématique, l'utilisation de fluides frigorigènes à faible PRG est nécessaire. La directive européenne 2006/40 concernant la climatisation des véhicules va dans ce sens. Ainsi le R-1234yf a récemment été développé. Ce gaz, au PRG de 4, est une alternative viable pour la climatisation automobile, et son utilisation est envisagée pour la climatisation fixe en tant que substitut du R-134a.

Le graphique ci-dessous donne les PRG des principaux fluides frigorigènes utilisés dans la climatisation. Deux PRG différents sont indiqués :

- Les PRG officiellement utilisés dans le cadre du protocole de Kyoto et de l'inventaire national.
- Les PRG définis par l'IPCC (International Panel on Climate Change) en 2007. Ces facteurs d'émissions révisés sont en cours d'adoption dans le cadre d'une éventuelle utilisation post protocole de Kyoto (post 2012) pour la réalisation des inventaires nationaux.

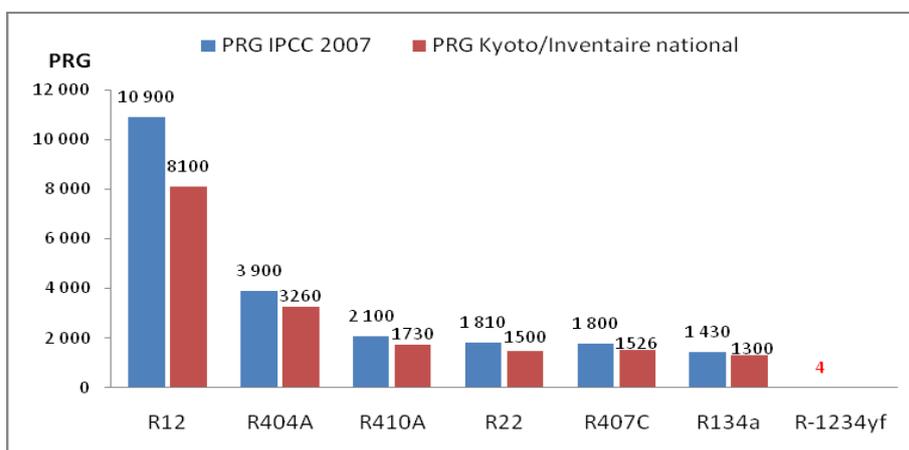


Figure 11 : Pouvoir de réchauffement global (PRG) de quelques gaz frigorigènes

A titre de comparaison, sont indiqués ci-dessous les PRG officiels des différents gaz à effet de serre pris en compte dans le cadre du protocole de Kyoto et de l'inventaire national:

Gaz à effet de serre		PRG
Dioxyde de carbone	CO <sub>2</sub>	1
Méthane	CH <sub>4</sub>	21
Oxyde nitreux	N <sub>2</sub> O	310
Hydrochlorofluorocarbures	HCFC (famille de gaz)	90 à 2649
Chlorofluorocarbures	CFC (famille de gaz)	3800 à 9200
Hydrocarbures perfluorés	PFC (famille de gaz)	7000 à 7500
Hydrofluorocarbures	HFC (famille de gaz)	4 à 11700
Hexafluorure de soufre	SF <sub>6</sub>	23900

<sup>19</sup> Une traduction officielle du PRG (GWP en anglais pour Global Warming Potential) est utilisée dans la directive européenne 842/2006 ; GWP est traduit par PRP ou Pouvoir de Réchauffement Planétarisé. Nous conservons dans ce rapport le terme usuel de PRG.

## II.2. L'inventaire des émissions de fluides frigorigènes

---

Compte tenu de leur impact environnemental et des réglementations en vigueur (cf. V.1.), les fluides frigorigènes doivent être comptabilisés dans le cadre de l'inventaire national des émissions de gaz à effet de serre.

### II.2.1) Présentation des inventaires

#### II.2.1.a) Les inventaires nationaux

Conformément aux prescriptions définies par la CCNUCC (Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques), la Communauté européenne, en tant que Partie à la Convention, a mis en place pour répondre à ses engagements, un mécanisme de surveillance des émissions de CO<sub>2</sub> et autres gaz à effet de serre (décisions 280/2004/CE et 2005/166/CE) destiné à :

- Surveiller, au sein des Etats membres, toutes les émissions anthropiques de gaz à effet de serre non réglementées par le protocole de Montréal ;
- Evaluer les progrès réalisés en vue de respecter les engagements pris concernant ces émissions.

Dans ce cadre la France remet chaque année un inventaire national des émissions de gaz à effet de serre, réalisé par le CITEPA<sup>20</sup> Pour le MEDDTL.

#### II.2.1.b) L'inventaire des fluides frigorigènes

L'inventaire des émissions de fluides frigorigènes effectué par ARMINES<sup>21</sup> pour le compte de l'ADEME, permet quant à lui de connaître la part des émissions, mais aussi les quantités de fluides frigorigènes en circulation, dans les différents systèmes et secteurs. Ces données sont transmises au CITEPA qui les intègre aux inventaires nationaux.

Les différentes applications utilisant des fluides frigorigènes sont classées en plusieurs secteurs, lesquels sont subdivisés en sous-secteurs, au sein desquels plusieurs catégories d'installations peuvent être distinguées.

Les secteurs auxquels on attribue un usage de climatisation, et qui sont pris en compte dans cette étude, sont les suivants :

- Les groupes refroidisseurs d'eau (GRE) (seulement les 2/3 du secteur, 1/3 étant attribué à des applications industrielles) ;
- La climatisation à air ;
- La climatisation embarquée.

Les secteurs non traités dans cette étude sont les suivants :

- Le froid domestique (réfrigérateurs et congélateurs domestiques etc.) ;
- Le froid commercial (réfrigération dans le tertiaire) ;
- Les transports frigorifiques (réfrigération dans le transport de marchandises) ;
- Le froid industriel (industrie agroalimentaire, patinoires, process...) ;
- Les pompes à chaleur résidentielles (principalement chauffage, éventuellement rafraîchissement).

---

<sup>20</sup> Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique

<sup>21</sup> ARMINES (2011), S. BARRAULT, S. SABA, D. CLODIC, *Inventaires des émissions des fluides frigorigènes et leurs prévisions d'évolution jusqu'en 2025*.

## II.2.2) Bilan général 2009 des émissions de fluides frigorigènes

### II.2.2.a) Part de la climatisation dans les émissions dues aux fluides frigorigènes

Les émissions de fluides frigorigènes en France peuvent se répartir suivant six secteurs distincts que sont : la climatisation, le froid industriel, le transport frigorifique, le froid commercial, les pompes à chaleur résidentielles et le froid domestique. Les chiffres indiqués dans cette partie sont issus du rapport d'inventaire des gaz frigorigènes (ARMINES, 2011) pour la France métropolitaine.

En équivalent CO<sub>2</sub>, **la climatisation représente 36% des émissions totales liées aux fluides frigorigènes en 2009** (cf. Figure 12), soit **5,4 millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub>** sur un total de **14,8 millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub>**. C'est le secteur le plus émetteur de fluides frigorigènes.

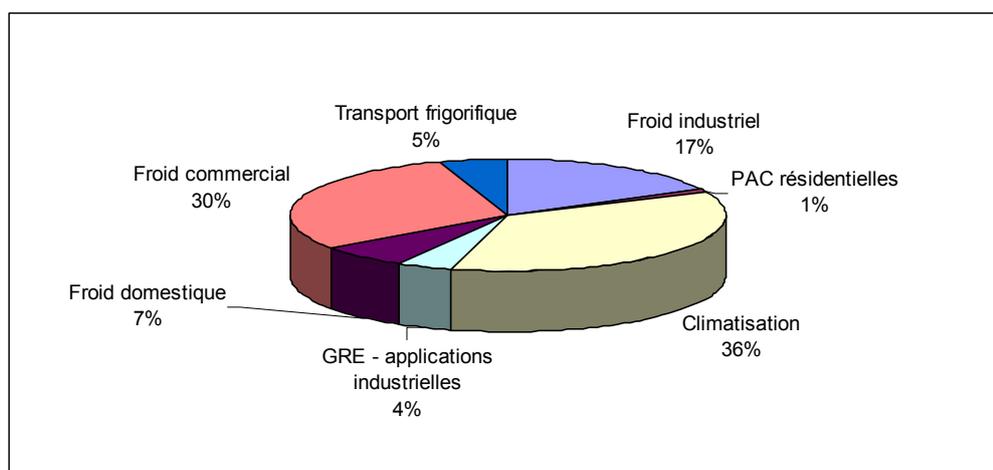


Figure 12 : Répartition sectorielle des émissions de fluides frigorigènes en équivalent CO<sub>2</sub> en 2009

#### ► Emissions du secteur de la climatisation

Concernant le secteur de la climatisation, il se différencie suivant trois usages que sont la climatisation embarquée, la climatisation à air et les groupes refroidisseurs d'eau (ou GRE). Les GRE sont utilisés aussi pour des applications industrielles. Une estimation présentée dans l'inventaire fait état qu'un tiers des GRE ne sont pas utilisés pour la climatisation mais pour des applications industrielles. Seuls les deux tiers restants sont donc comptabilisés dans le présent rapport.

**Les fluides frigorigènes émis par les appareils de climatisation sont responsables de l'émission de près de 5,4 millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub>**. La climatisation embarquée représente à elle seule plus de la moitié (53%) de ces émissions (cf. Figure 13).

**S'agissant du secteur du bâtiment, l'impact direct total est estimé à environ 2,5 millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub>, tandis que l'impact direct de la climatisation embarquée est estimé à environ 2,9 millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub>**.

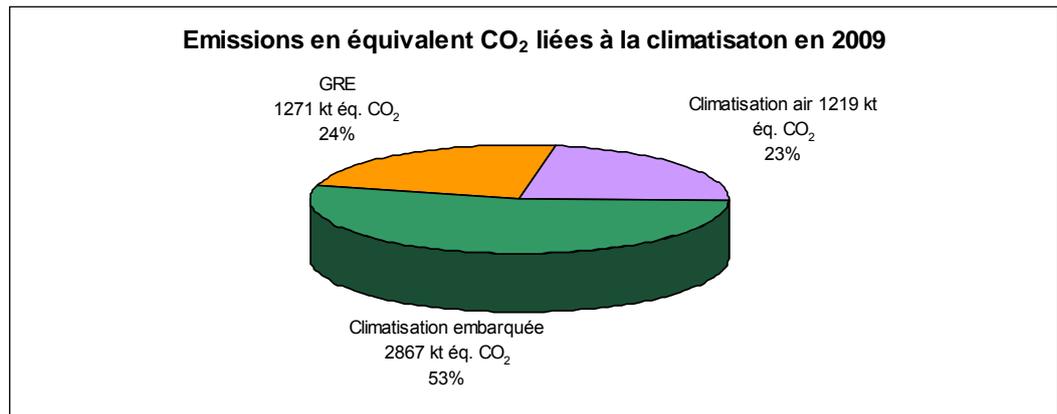


Figure 13 : Répartition des émissions de fluides frigorigènes en équivalent CO<sub>2</sub> liées à la climatisation en 2009

#### ► Part dans les émissions globales de la France

En comparaison des émissions de CO<sub>2</sub> de la France métropolitaine en 2009 issues de l'inventaire national, qui s'élèvent à plus de 506 millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub>, **la participation des fluides frigorigènes s'élève à 2,9% des émissions totales, et celles liées à la climatisation s'élève à 1,1%** (cf. Figure 14).

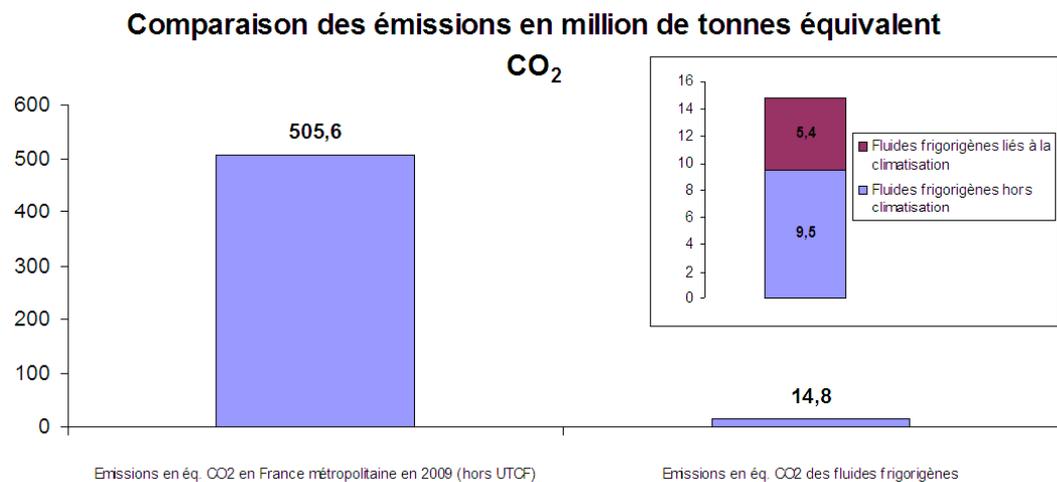


Figure 14 : Emissions de CO<sub>2</sub> de la France en 2009 et part des fluides frigorigènes

### **Ce qu'il faut retenir sur les fluides frigorigènes :**

- Les fluides frigorigènes participent au réchauffement climatique. Ils possèdent un fort pouvoir de réchauffement global.
- Certains fluides frigorigènes (les CFC et HCFC) nocifs pour la couche d'ozone sont entrés dans un processus d'interdiction progressive.
- Les systèmes de climatisation classiques sont sources d'émissions de fluides frigorigène dans l'atmosphère. Il s'agit de l'impact direct de la climatisation sur l'environnement.
- En 2007, les émissions liées à l'impact direct de la climatisation s'élevaient à 5,4 millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub> en 2007, soit 1,1% des émissions globales de CO<sub>2</sub> de la France à la même période.
- L'impact direct de la climatisation est dominé par la climatisation embarquée, qui représente 53% des émissions de CO<sub>2</sub> équivalent du secteur.

## III. Impact indirect : la consommation d'énergie

Un bilan complet de l'impact environnemental de la climatisation doit tenir compte des impacts directs et indirects de cet usage. Les impacts indirects évalués dans ce chapitre seront exprimés en terme de consommation d'énergie. Leur traduction en émissions équivalentes de CO<sub>2</sub> nécessite en effet de prendre en compte un « contenu CO<sub>2</sub> du kWh » lié à cet usage, ce qui pose un problème méthodologique, car il n'existe à ce jour pas de valeur consensuelle de cet indicateur « par type d'usage ». Un travail de concertation visant à mettre en place une telle méthodologie doit être mis en place par l'ADEME d'ici la fin de l'année 2010.

### III.1.1) Les consommations d'électricité de la climatisation fixe (résidentiel / tertiaire)

#### III.1.1.a) IV.1.1.a) Le parc français de production d'électricité

Le parc de production français est d'une puissance installée de 117 GW qui se décomposent de la manière suivante : 63,3 GW pour le parc nucléaire, 25,4 GW pour le parc hydroélectrique, 4,3 GW pour le parc de production à partir des autres énergies renouvelables et 24,1 GW pour le parc thermique.

Le graphique ci-dessous, qui détaille la puissance appelée par type de moyen de production au cours de l'hiver 2008-2009, met en évidence la sollicitation très variable du parc installé en fonction de la filière :

- le recours au parc nucléaire en base avec modulation saisonnière ;
- l'utilisation du parc hydraulique à la fois en base (installations au fil de l'eau) et en pointe (lac et station de pompage) ;
- l'exploitation des filières charbon et gaz en période de pointe ;
- le recours à la filière fioul uniquement en extrême pointe.

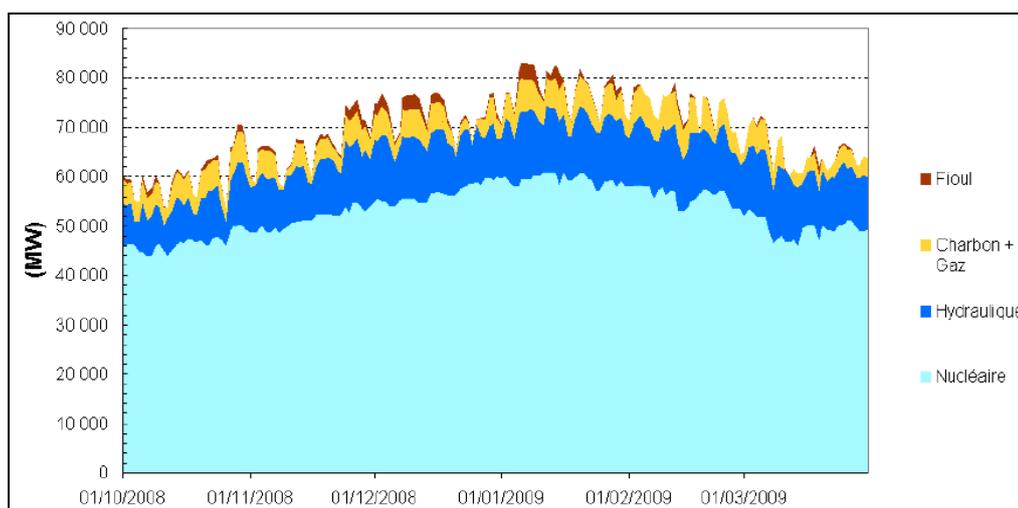


Figure 15 : Puissance appelée par type de moyen de production au cours de l'hiver 2008-2009 - Source UFE<sup>22</sup>

<sup>22</sup> Union Française de l'Electricité

Près de 90% de l'électricité produite en France est décarbonée. Les gisements de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> du parc de production d'électricité sont donc limités mais la maîtrise de la pointe d'électricité est l'un de ces gisements. Actuellement, l'électricité est produite en pointe et en extrême pointe en France soit par des installations de production hydroélectriques soit par des installations de production thermiques.

Le parc hydroélectrique permettant de produire à la pointe et l'extrême pointe est d'une puissance de 13,5 GW et composé d'usines de "lac" – c'est-à-dire disposant d'un réservoir amont dont la capacité permet un stockage sur une durée longue – et de stations de transfert d'énergie par pompage (STEP) – permettant de remonter l'eau dans un réservoir lors des heures creuses pour la turbiner lors de la pointe. Le parc thermique permettant de produire à l'extrême pointe est constitué principalement de centrales au fioul d'une puissance de 7GW.

Par ailleurs, lors des pointes de consommation en France, les importations d'électricité contribuent également à la sécurité d'approvisionnement électrique. Ainsi, les interconnexions entre les pays européens permettent à la fois de bénéficier du foisonnement de la demande européenne et de répondre à la demande nationale par l'offre des centrales de production au-delà de nos frontières. Dans le cas de la France, si le solde des échanges est presque toujours exportateur, il est donc parfois importateur.

### III.1.1.b) Les enjeux liés à la consommation d'électricité de la climatisation

Le graphique suivant, réalisé dans le cadre de l'élaboration du scénario énergétique tendanciel<sup>23</sup> de 2008 illustre l'effet du développement de la climatisation, à horizon 2020 et 2030, sur la répartition journalière de la consommation d'électricité en été, avec une hausse majeure et croissante de l'appel de puissance électrique pendant la tranche horaire 8h-17h. Cette consommation est concentrée à une période où elle peut potentiellement être très productrice de gaz à effet de serre.

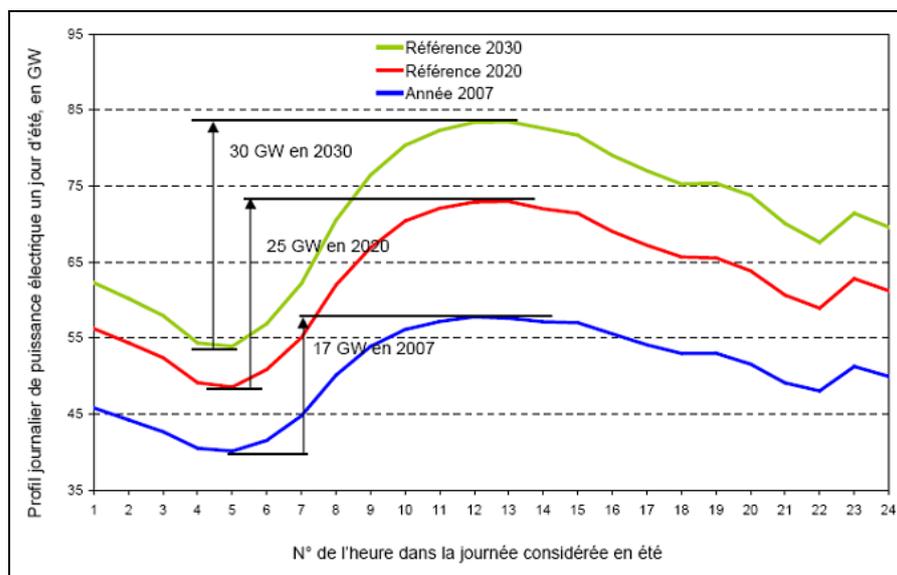


Figure 16 : Evolution de l'amplitude journalière au cours d'une semaine d'été en 2007, 2020 et 2030 (source : source RTE, avec les hypothèses de l'Observatoire de l'énergie).

Si les données nécessaires à une évaluation précise des émissions de gaz à effet de serre liées aux consommations d'électricité pour la climatisation ne sont aujourd'hui pas disponibles, les enjeux liés à la consommation d'électricité de la climatisation des bâtiments sont multiples :

- Une augmentation des émissions de gaz à effet de serre liée à la production de l'électricité consommée ;
- Une participation à la pointe électrique ;
- Une participation à la charge du réseau électrique.

<sup>23</sup> Scénario énergétique de référence DGEMP-OE(2008) ; Rapport de synthèse

### ► Bilan dans le résidentiel

En 2007, la consommation d'électricité en France métropolitaine liée à l'usage de la climatisation s'élevait à 0,45 TWh<sup>24</sup>. De façon similaire à l'évolution des surfaces climatisées, la consommation a progressée nettement depuis 2001.

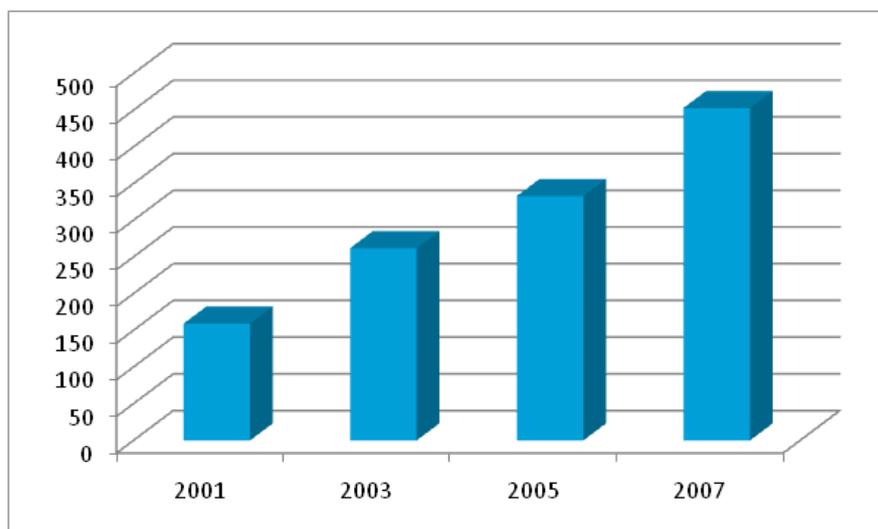


Figure 17 : Consommations électriques annuelles liées à l'usage de la climatisation en GWh

- Grandes tendances dans le secteur résidentiel

En considérant la prolongation du marché actuel de la climatisation (100 000 logements équipés chaque année), le parc atteindrait l'effectif de 2 millions de logements à l'horizon 2020. Ce qui préfigurerait une consommation d'électricité liée à l'usage de la climatisation de **1 TWh en 2020**. Ces valeurs ne sont données qu'à titre illustratif, compte tenu de la faiblesse des hypothèses émises.

Cependant, il est important de noter l'effet que la canicule a joué non seulement sur les taux d'équipements en climatisation mais aussi sur les consommations d'électricité. Il s'agit donc d'un paramètre important à prendre en compte dans une approche prospective, les météorologues s'accordant à dire que la fréquence des canicules telles que celle de l'été 2003 augmentera dans aux horizons 2020-2030.

### ► La consommation liée à la climatisation dans le secteur tertiaire

Les consommations d'énergies dans le secteur tertiaire liées à l'usage de la climatisation, sont principalement des consommations d'électricité. Pour mémoire, la climatisation au gaz a fait son apparition en France dans les années 90 et il existe un nombre limité de réseaux de froid. Cependant, faute de données, seules les consommations d'électricité seront donc comptabilisées.

L'origine même des données et leur mode de traitement font que les consommations dites « de climatisation » évaluées par le CEREN comprennent l'ensemble des consommations liées à l'installation d'une climatisation, à savoir à la fois les compresseurs froid, la ventilation des locaux et les consommations annexes. De plus, l'estimation des consommations de climatisation présentée ci-après diffère très fortement des seules surconsommations d'été liées uniquement à la production de froid. Etant donné que les utilisateurs font fonctionner leur ventilation presque toute l'année, les consommations calculées ne concernent pas seulement les mois d'été, mais s'étalent sur les 12 mois de l'année.

<sup>24</sup> Chiffre obtenu par l'extrapolation de données issues d'études du CEREN

En 2007, les consommations d'électricité liées à la climatisation s'élevaient à 13,6 TWh. La répartition de ces consommations par branche d'activité est liée dans le même temps aux surfaces climatisées et aux systèmes utilisés.

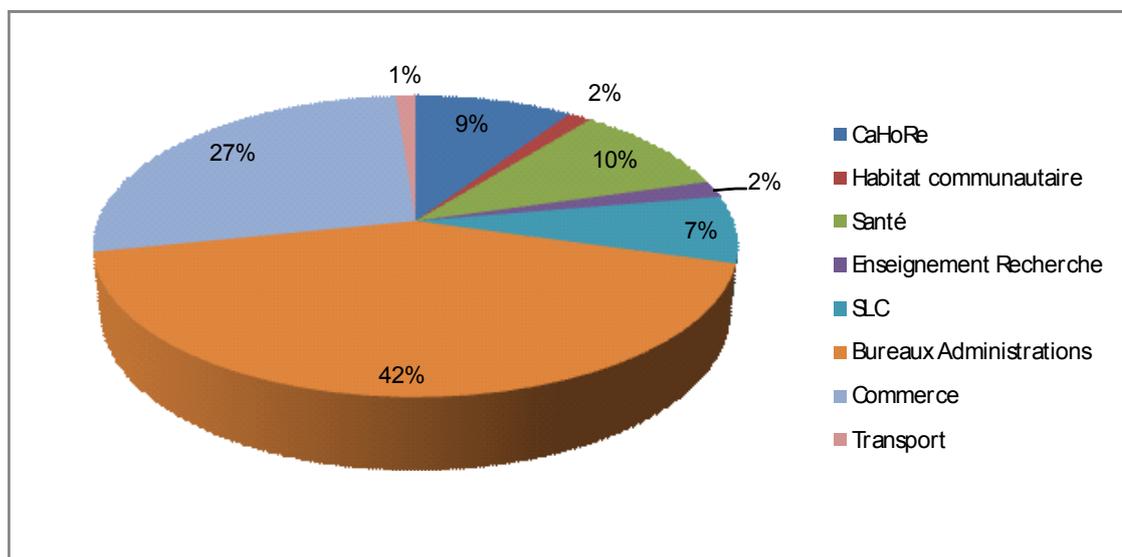


Figure 18 : Répartition par branche tertiaire des consommations liées à la climatisation

Les installations de climatisation sont diverses dans le secteur tertiaire tant par leur mode de fonctionnement que par leur répartition par branche d'activité.

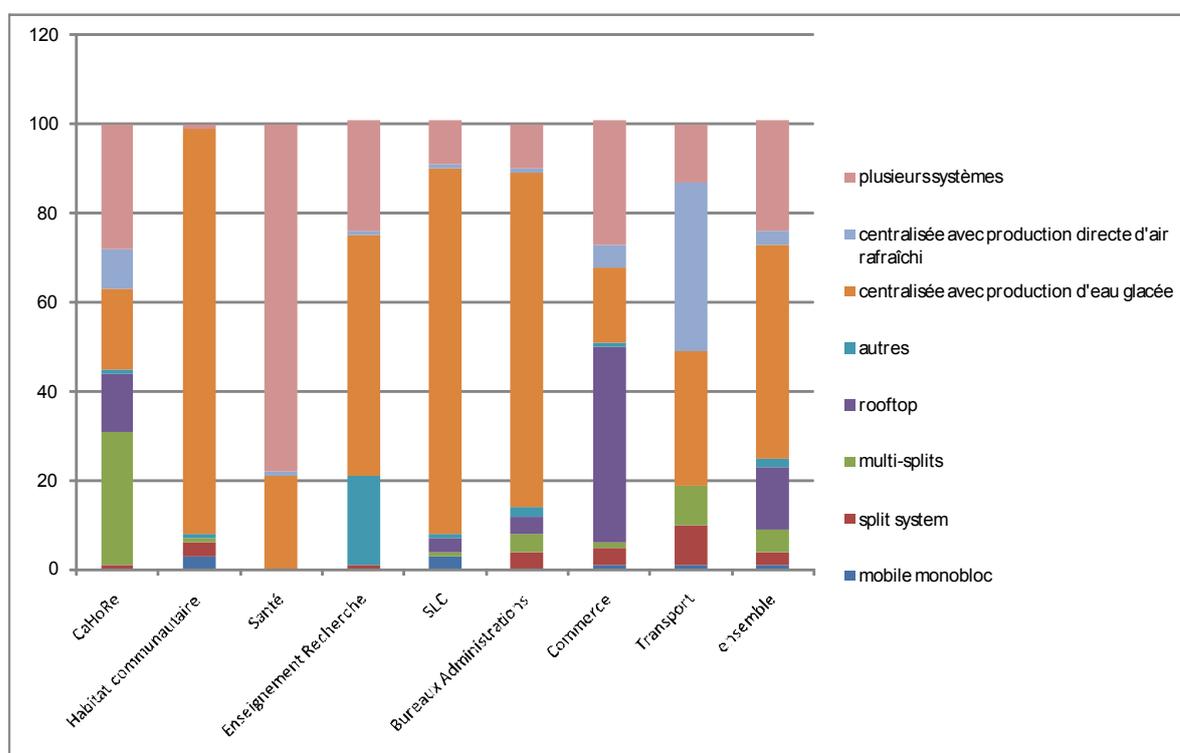


Figure 19 : Répartition des types d'installations de climatisation des différentes branches du secteur tertiaire

Les différences de choix de systèmes apparaissent suivant la branche d'activité. Ainsi, les systèmes centralisés avec production d'eau glacée alimentent dans la très grande majorité des cas des surfaces des branches « Sport Loisirs Culture », « Habitat Communautaire » et « Bureaux ».

A l'exception du RoofTop, les systèmes décentralisés ne représentent que 10% des surfaces climatisées. Cependant, 23% des surfaces sont climatisées à partir de plusieurs systèmes différents, le plus souvent par un système centralisé associé à un système décentralisé.

- Les grandes tendances dans le secteur tertiaire

Le potentiel de climatisation est beaucoup plus important **dans les locaux existants** que dans les apports annuels de locaux neufs. Si l'on admet que le taux de climatisation dans les locaux existants doit s'approcher de celui atteint dans les locaux neufs, ce potentiel concerne des centaines de millions de mètres carrés. Au rythme actuel, presque 1% du parc existant non climatisé est équipé chaque année.

Dans les prochaines années, la puissance frigorifique des installations rapportée au mètre carré climatisé aura une tendance à la hausse ; ce phénomène assurera un bon fonctionnement des installations en cas de canicule, mais le système de conduite de l'installation devra être performant pour que cette surpuissance frigorifique n'engendre pas de surconsommation électrique dans le cas, le plus fréquent, de fonctionnement à puissance inférieure à la puissance nominale. La forte croissance des systèmes Inverter sur les équipements à détente directe va dans ce sens. Pour les installations centralisées, les efforts en terme d'efficacité énergétique portent maintenant également sur les performances à charge partielle avec la mise en place récente d'un index de performances saisonnières par l'industrie en 2004<sup>25</sup> pour les groupes de production d'eau glacée.

### ► Bilan des consommations du secteur du bâtiment

Le secteur du bâtiment, composé des bâtiments à usage tertiaire et résidentiel, a une consommation liée à la climatisation en 2007 de **14TWh d'électricité**.

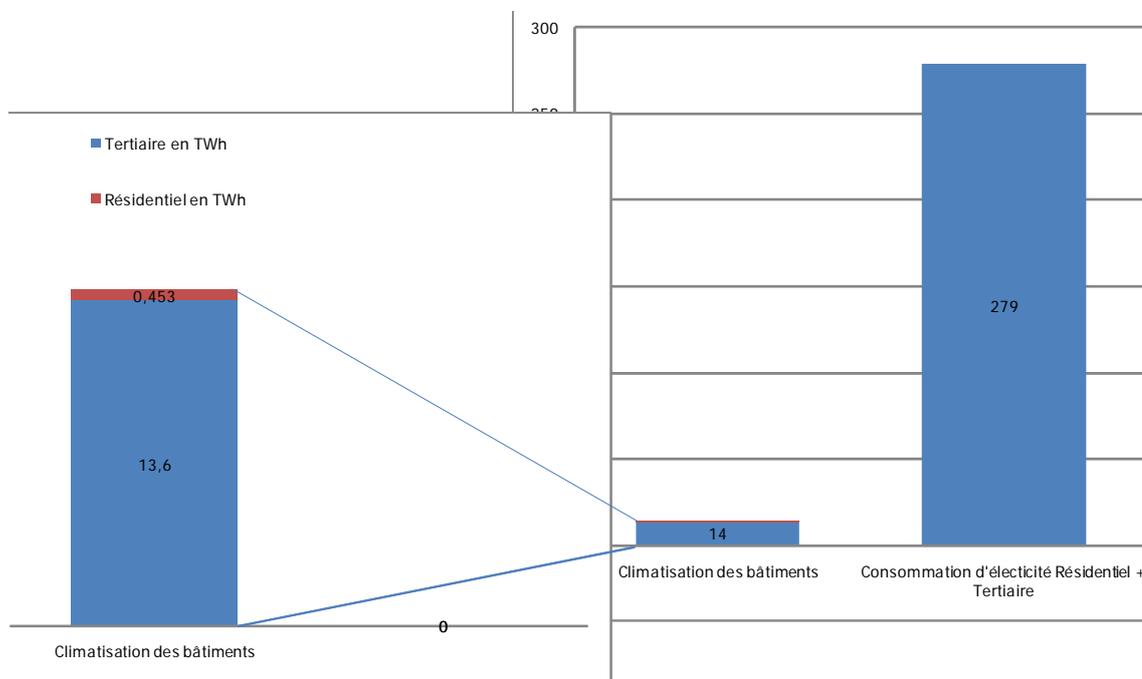


Figure 20 Consommation d'électricité des bâtiments liée à l'usage de la climatisation en 2007

<sup>25</sup> L'ESEER : <http://www.eurovent-certification.com>

La climatisation des bâtiments représente donc 3% des consommations d'électricité de la France, et 5% des consommations du secteur du bâtiment (d'après les données SOes).

Les consommations du secteur tertiaire sont trente fois plus élevées que celles du secteur résidentiel pour l'usage de la climatisation. Cet écart élevé s'explique par la pénétration importante de la climatisation dans le secteur tertiaire, par la relative jeunesse du marché de la climatisation dans l'habitat en France et par un usage moins intensif des appareils, ce qui se traduit par des consommations unitaires dans le résidentiel plus faibles que dans le tertiaire.

L'impact actuel de la climatisation dans le secteur du bâtiment peut paraître faible. Cependant, les perspectives de développement pourraient avoir de forts impacts environnementaux. **Une étude prospective plus poussée, comprenant une analyse des émissions de gaz à effet de serre liées à la consommation d'électricité serait nécessaire pour avoir une vision plus précise des impacts environnementaux de l'usage de la climatisation, notamment en matière de pollution atmosphérique .**

### III.1.2) Consommations de la climatisation dans l'industrie

Dans le secteur de l'industrie, les usages de l'électricité pour la production de froid sont nombreux. La distinction est faite entre le froid de confort (la climatisation) et le froid de process (ou froid industriel). L'un est lié au process de fabrication et l'autre à la climatisation des bureaux, non directement lié à la fabrication.

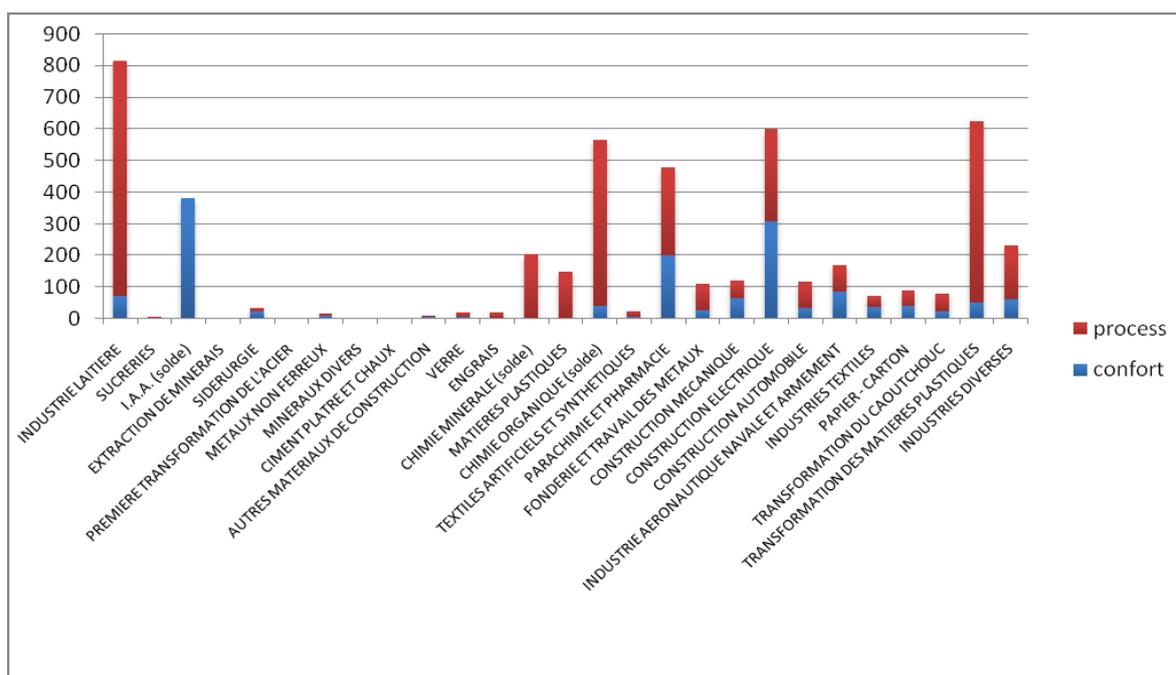


Figure 21 Consommations d'électricité liées à la production de froid dans le secteur de l'industrie, en GWh (CEREN).

Les consommations d'électricité liées aux usages de froid de confort s'élèvent à 1,5 TWh. Elles sont deux fois et demi moins élevées que les consommations liées aux usages de process, mais cinq fois supérieures à celles de la climatisation du secteur résidentiel.

Les consommations liées à la climatisation dans l'industrie varient fortement en fonction de l'activité industrielle exercée, qui conditionne la présence ou non de bureaux climatisés. Ainsi, dans les fonderies, l'usage de la climatisation entraîne une consommation d'électricité de 27 GWh contre 64 GWh dans les industries de construction mécanique, à consommation totale de froid équivalente.

### ► Bilan des consommations du secteur de l'industrie

Les consommations d'électricité liées à l'usage de la climatisation dans l'industrie s'élèvent à **1,5TWh**.

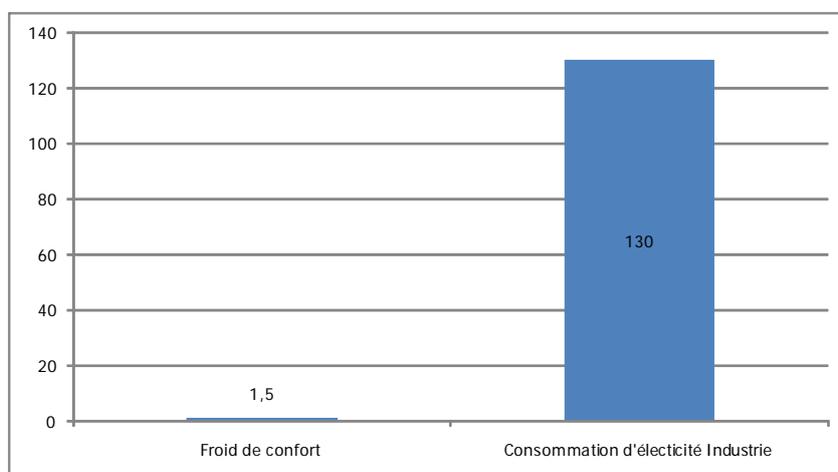


Figure 22 : Consommations d'électricité en TWh du secteur de l'industrie en 2002

La climatisation dans le secteur de l'industrie représente 0,3% des consommations d'électricité de la France, et 1,1% des consommations totales du secteur industriel en 2002.

### III.1.3) Impact indirect dans les transports : surconsommation de carburants

#### III.1.3.a) les surconsommations de carburants

##### ► Pour les automobiles

Quand elle fonctionne, la climatisation augmente notablement la consommation de carburant d'un véhicule. À titre d'exemple (ADEME, 2006), à 25°C par temps clair, pour un réglage de la climatisation à 20°C :

- En ville, cela représente en moyenne 20 % de carburant consommé en plus ;
- Sur route et autoroute, la surconsommation moyenne est d'environ 6 %.

Très souvent se pose la question de l'impact de l'ouverture des fenêtres pour rafraîchir l'habitacle par rapport à l'utilisation de la climatisation. L'ouverture des fenêtres entraîne l'augmentation de la résistance de l'air qui se traduit par l'accroissement du coefficient de traînée aérodynamique  $Cx$  ; selon la littérature de l'ordre de 10 %, valeur très variable suivant les véhicules et le nombre de fenêtres ouvertes (ADEME, 2003). Dans cette hypothèse, la surconsommation de carburant due à l'ouverture des vitres de la voiture est en ville de l'ordre de 1 % et sur autoroute de 5 %. Ces estimations de surconsommations sont donc inférieures à celles dues au fonctionnement de la climatisation.

Il est également important de noter qu'à confort égal, plus la température extérieure est élevée et plus la surconsommation est importante. De même, plus la température de l'habitacle est réglée en niveau bas et plus la consommation de carburant augmente :

- A 30°C, avec un fort ensoleillement, la surconsommation peut atteindre 40 à 70% en ville et 15 à 30% sur route-autoroute, si la température de consigne est de 20°C ;
- Avec les mêmes conditions climatiques, un réglage de la climatisation à 25°C au lieu de 20°C permettrait de réduire sa consommation de carburant de l'ordre de 8% en ville et 5% sur route-autoroute

La fonction désembuage utilisée par temps humide, qui met en action la climatisation, engendre également une surconsommation. À 15°C de température extérieure, pour un réglage de la température habitacle à 20°C, elle est de l'ordre de :

- 25% : en ville ;
- 10% : sur route-autoroute.

Sur une année, en France, l'utilisation de la climatisation entraîne une surconsommation comprise entre 1 et 7% suivant les climats, les véhicules et les usages.

### ► Pour les autobus

Des mesures réalisées à l'UTAC<sup>26</sup> sur banc à rouleaux, avec le concours de la RATP et du Centre Energétique et Procédés de Mines Paristech, ont permis d'évaluer la surconsommation due au fonctionnement de la climatisation (ADEME, 2007). À 30°C d'ambiance, la surconsommation est comprise entre 10 et 30 % suivant les systèmes de climatisation installés qui ne procurent pas tous un même niveau de confort.

L'évaluation de la **surconsommation annuelle** d'un bus climatisé par rapport au même modèle qui ne l'est pas, est relativement compliquée car elle nécessite de connaître :

- Les données météorologiques : température et ensoleillement tout au long de l'année en fonction des heures de la journée ;
- Les taux moyens d'utilisation et de remplissage du bus en fonction des heures de la journée ;
- La distance annuelle parcourue et la consommation annuelle sans la climatisation.

À partir des mesures de consommation obtenues durant les expérimentations sur banc à rouleaux et en prenant des hypothèses qui restent à consolider avec des exploitants de réseaux, sur les taux moyens d'utilisation et de remplissage, une estimation de la surconsommation annuelle a été réalisée pour deux villes ayant des conditions climatiques différentes : Paris et Nice. Ce premier calcul donne une surconsommation annuelle de l'ordre de 1% à 3% pour Paris et entre 1,5% et 4,5% pour Nice (ADEME, 2007).

### III.1.3.b) Bilan et comparaison entre impacts directs et indirects

Les émissions directes d'équivalent CO<sub>2</sub> s'élèvent en 2009 à **2,9 millions de tonnes par an** pour le domaine de la climatisation mobile (II.2.2).

A partir de l'étude TNS Worldpanel 2007 sur le panel d'automobilistes, une évaluation des émissions indirectes d'équivalent CO<sub>2</sub> pour l'ensemble des voitures particulières donne 1,84 millions de tonnes par an. Une estimation des émissions indirectes d'équivalent CO<sub>2</sub> des autres modes de transport routier donne :

- Parc véhicules utilitaires légers : 0,61 millions de tonnes éq.CO<sub>2</sub> / an
- Parc Poids Lourds : 0.11 millions de tonnes éq.CO<sub>2</sub> / an
- Parc bus et cars : 0,01 millions de tonnes éq.CO<sub>2</sub> / an

Ainsi, **pour le transport routier on obtient des émissions indirectes d'équivalent CO<sub>2</sub> s'élevant à 2,56 millions de tonnes par an.**

Pour le ferroviaire, il n'existe pas de chiffres disponibles pour le moment.

**Il apparaît donc que dans le domaine des transports, l'impact sur l'effet de serre de la climatisation est autant dû à son effet direct (rejet de fluides frigorigènes) qu'à son impact indirect (consommation supplémentaire d'énergie).**

---

<sup>26</sup> Union Technique de l'Automobile du motocycle et du Cycle

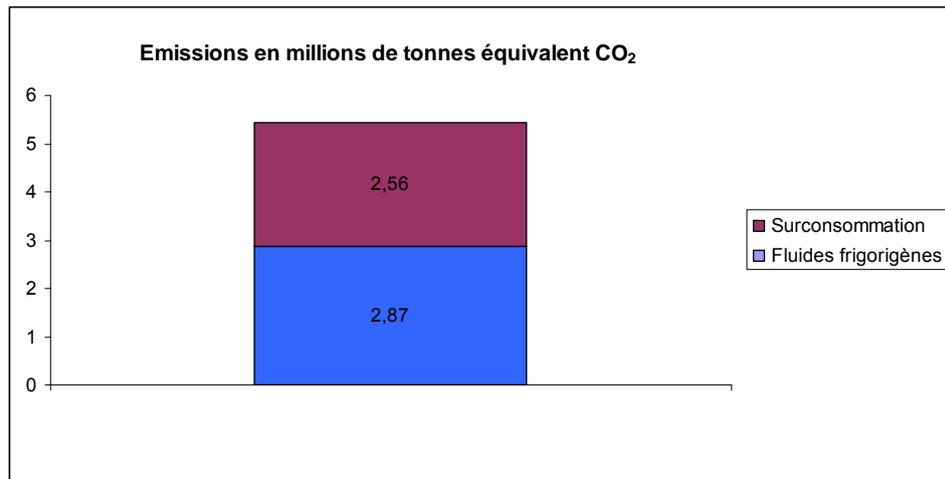


Figure 23 : Emissions de CO<sub>2</sub> de la climatisation embarquée

En comparant ces émissions aux émissions totales de ces véhicules en France métropolitaine en 2009, évaluées à 118,9 millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub> (CITEPA 2011, émissions liées aux transports, hors transport maritime, aérien et fluvial), on constate que la climatisation participe à hauteur de 4,6 %.

#### Ce qu'il faut retenir sur les consommations d'énergie liées à l'usage de la climatisation :

- 5% de la consommation d'électricité des bâtiments est liée à l'usage de la climatisation (données 2007). Celle-ci est due en très grande partie à la climatisation des bâtiments tertiaires. Contrairement aux autres usages, la climatisation des locaux est en constante augmentation tant dans le secteur tertiaire que dans le secteur résidentiel.
- Les consommations de la climatisation dans le secteur industriel sont faibles, et masquées par la production de froid industriel ou de process.
- La climatisation embarquée provoque une surconsommation de carburant de 1 à 7% pour les automobiles, et de 1 à 4,5% pour les autobus.
- L'impact indirect de la climatisation embarquée est estimé à 2,56 millions de tonne eq. CO<sub>2</sub>. L'impact sur l'effet de serre de la climatisation est autant dû à son effet direct (rejet de fluides frigorigènes) qu'indirect (surconsommation de carburant).



## IV. La climatisation dans les Départements d'Outre-mer

### IV.1. Une forte diffusion de la climatisation fixe

#### IV.1.1) Dans le secteur résidentiel

La climatisation s'est développée de manière importante dans les départements d'Outre-mer, notamment dans le secteur résidentiel. Les recensements effectués par l'INSEE en 1999 et 2006 permettent de s'en rendre compte :

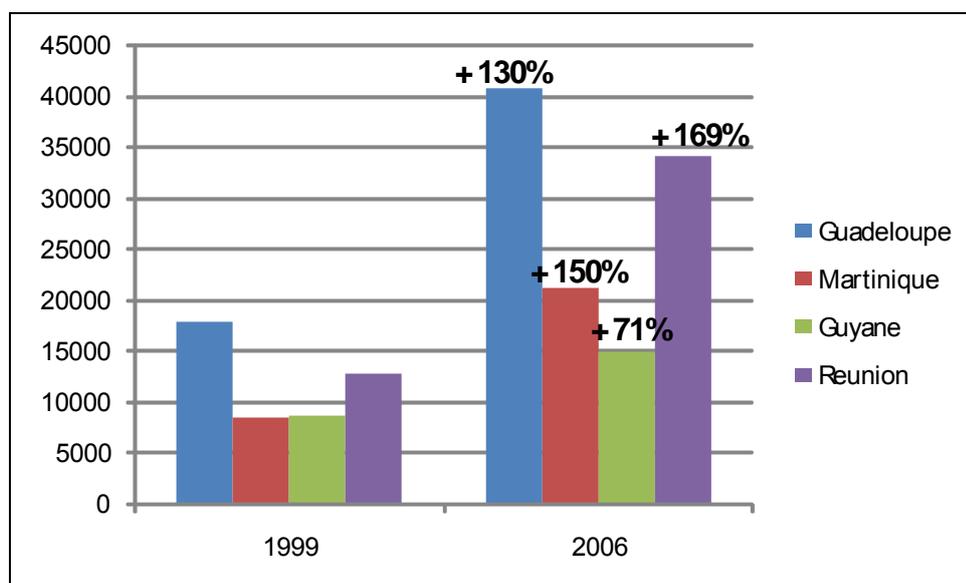


Figure 24 : Nombre de résidences principales climatisées en 1999 et 2006 (INSEE)

#### IV.1.2) Dans le secteur tertiaire

Il existe peu de données concernant la diffusion de la climatisation dans le tertiaire. On peut toutefois affirmer que celle-ci est très répandue. Une étude CEREN tente de reconstituer les consommations, à l'année 2000, du parc au travers d'un panel. Toutefois, le nombre d'établissements de ce panel est faible (1153 établissements pour les quatre DOM). D'après ces données, les établissements équipés se répartissent de la manière suivante

DOM	Part des établissements climatisés
Guadeloupe	65%
Martinique	45%
Guyane	52%
Réunion	47%

Tableau 5 : Part des établissements Tertiaire climatisés (CEREN, 2000)

## IV.2. Impact sur les consommations d'électricité dans les Départements d'Outre-mer

### IV.2.1) Particularités des zones non interconnectées (ZNI)

- Des enjeux sur la production électrique

Les Zones Non Interconnectées (ZNI) au réseau métropolitain continental sont la Corse, les Départements d'Outre-Mer (DOM) que sont la Guyane, la Martinique, la Guadeloupe et La Réunion et les Collectivités d'Outre-Mer (COM) que sont Mayotte, Saint Martin, Saint Barthélemy et Saint-Pierre-et-Miquelon.

Dans toutes ces zones, exceptée Mayotte, les missions de service public de l'électricité sont assurées par EDF au travers de sa filiale EDF Systèmes Energétiques Insulaires (EDF SEI). A Mayotte, ces missions sont assurées par Electricité de Mayotte (EDM).

Dans les départements d'Outre-mer, les différents parcs de production fonctionnent en mobilisant une plus grande part de centrales émettrices de CO<sub>2</sub> qu'en métropole. Les différents mix de production des départements d'Outre-mer sont résumés dans la Figure suivante :

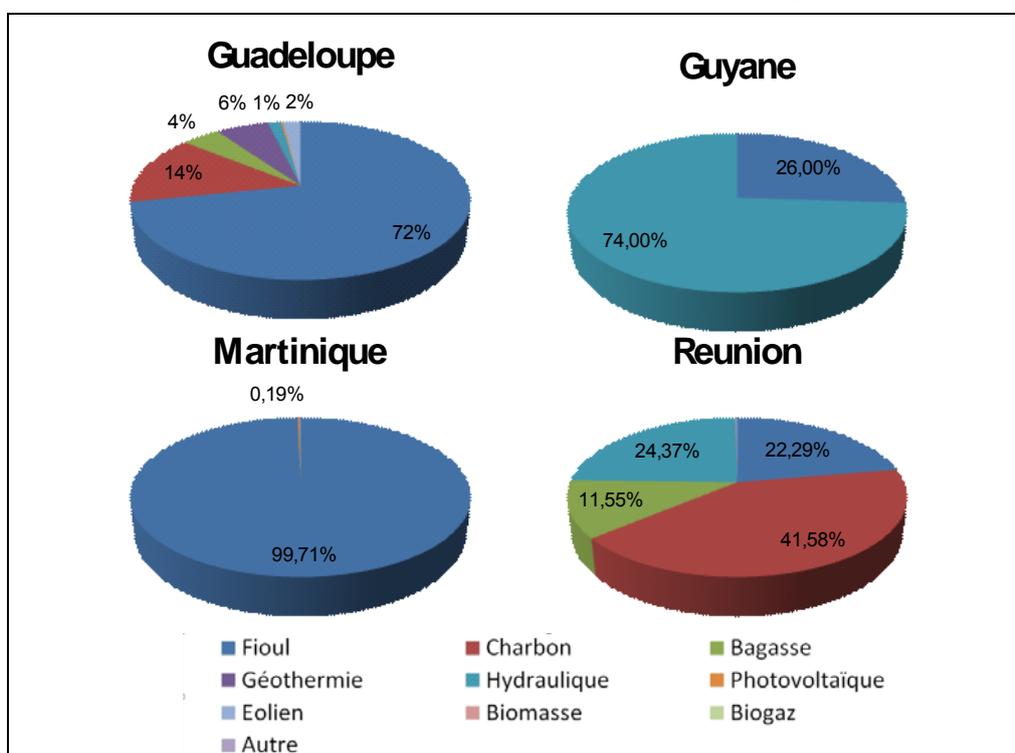


Figure 25 : Mix énergétique de production électrique des DOM en 2006 (EDF)

S'agissant des moyens de production fossiles, on remarque la forte dépendance au fioul en Martinique et Guadeloupe, ainsi que la part importante du charbon à La Réunion. La Guyane se caractérise quant à elle par une forte dépendance aux aléas de l'électricité hydraulique.

Les risques de coupure de courant sont plus importants dans les ZNI que sur le continent en raison de la puissance appelée : la relative petite taille des ZNI conduit à une part importante de chaque groupe de production dans la consommation, et donc à un impact plus important lorsqu'un problème survient sur l'un de ces groupes.

On peut aussi ajouter que la vente d'électricité est structurellement déficitaire dans ces territoires. Les coûts de production de l'électricité y sont nettement supérieurs à ceux observés en métropole, notamment vis-à-vis de leur dépendance aux énergies fossiles, pour un tarif de vente réglementé égal à celui pratiqué en métropole. Selon EDF, alors que la part allouée à la production dans le tarif de vente, est de 43 €/MWh en 2005, le coût de revient de la production

d'électricité à la Guadeloupe est estimé à 109 €/MWh, contre 105 €/MWh à la Martinique, 167 €/MWh en Guyane, 91 €/MWh à la Réunion et 221 €/MWh à Saint- Pierre-et-Miquelon.

- Une progression constante de la consommation d'électricité

Dans les DOM-COM, la consommation annuelle d'énergie électrique a progressé de 5 % entre 2001 et 2005, avec une augmentation plus marquée pour Mayotte (+13%), imputable essentiellement à la consommation des particuliers de l'île. Ces taux sont respectivement de 5,4 % à la Réunion, 4,9 % à la Martinique, 4,5 % en Guyane, 4,1 % à la Guadeloupe et 3 % à Saint-Pierre-et-Miquelon, contre 1,8 % en métropole.

Ces écarts avec la métropole peuvent s'expliquer par une croissance démographique plus importante, par un phénomène de décohabitation (allant de paire avec une progression du nombre d'abonnés), ainsi que par un rattrapage en termes de taux d'équipement des ménages et de croissance économique (particulièrement à Mayotte).

**Dans ce contexte, on peut considérer que les enjeux de la maîtrise de consommation d'électricité sont plus importants dans ces territoires qu'en métropole.**

#### **IV.2.2) Part de la climatisation dans la consommation d'électricité**

**Les données sur le sujet sont rares et hétérogènes.** C'est pourquoi il en est d'autant plus difficile de se faire une idée précise de l'impact de la climatisation dans les DOM.

Dans le cadre d'une étude sur les consommations électriques des ménages en Guyane (Cabinet Sidler/ ADEME, 1998), le cabinet SIDLER fait état des conclusions suivantes :

- La consommation de l'usage climatisation est, pour ceux qui en disposent, de **3082 kWh/an/logement. Cette valeur peut être comparée aux 500 kWh/an/logement estimés pour la métropole (CEREN)**. Les climatiseurs sont utilisés essentiellement la nuit : 61% de leur consommation se situe entre 22h et 6h. La pointe est à 23h et on observe très logiquement une baisse de la consommation au cours de la nuit (liée à la baisse des températures extérieures). En moyenne, les climatiseurs fonctionnent 8,7 h/jour.
- **La climatisation est un usage structurant de la production EDF car elle se surajoute intégralement à la pointe du soir** (la plus importante en Guyane). C'est aussi un usage en développement très rapide et dont les conditions de mise en œuvre ne sont bien souvent pas très satisfaisantes du point de vue de l'efficacité énergétique.

Une étude effectuée par le CEREN en 2003 a eu pour objet de reconstituer les consommations et les surfaces résidentielles et tertiaires dans les quatre départements d'Outre-mer pour l'année 2000. Toutefois les résultats publiés ne permettent pas de mesurer la part allouée à l'usage de la climatisation.

Certaines études spécifiques à certains DOM donnent des estimations de consommations liées à la climatisation.

- La Guadeloupe

L'étude effectuée dans le cadre du PRERURE<sup>27</sup> (Explicit et Axenne, 2006) estime que la climatisation dans le secteur résidentiel représente 170 GWh, soit 26% des consommations d'électricité de ce secteur en 2006 (662 GWh).

La consommation d'électricité due à la climatisation du secteur tertiaire et de l'industrie est estimée à 246 GWh, soit 37% de la consommation d'électricité de ce secteur (521 GWh).

La climatisation des bâtiments du secteur public est estimée à 53,6 GWh, soit 36% des consommations globales (150 GWh).

---

<sup>27</sup> Cf. (IV.2.3)

Ainsi, dans son ensemble, la climatisation des bâtiments en Guadeloupe en 2006 est responsable de la consommation de 470 GWh d'électricité, c'est-à-dire de 35% de la consommation totale de ces trois secteurs (1333 GWh).

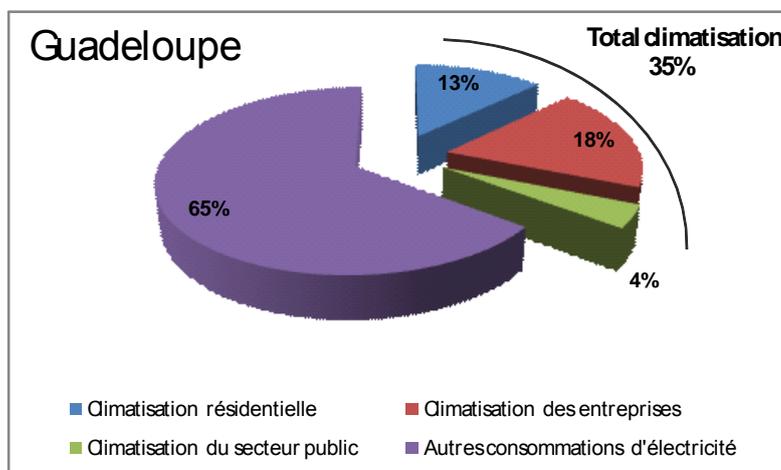


Figure 26 : Répartition de la consommation électrique en Guadeloupe en 2006 (PRERURE)

- Martinique

Selon l'agence d'EDF Martinique, la consommation de la climatisation correspond à 9% de la consommation en résidentiel, 55% pour les collectivités locales et 38% pour le reste du tertiaire.

#### ► Des enjeux pour l'avenir

Etant donné les climats des DOM, le nombre de degré-jours<sup>28</sup> de climatisation supérieurs à 18 °C est au delà de 6000 pour la Guadeloupe, la Martinique et la Guyane, et supérieurs à 4000 à la Réunion, la limite à la pénétration de la climatisation est principalement liée au coût des équipements et des installations. **Cette augmentation spectaculaire devrait en toute logique de se prolonger, le marché étant encore loin de la saturation.** En effet en terme de taux d'équipement, des marges de progressions sont encore largement envisageables (cf. Figure 27).

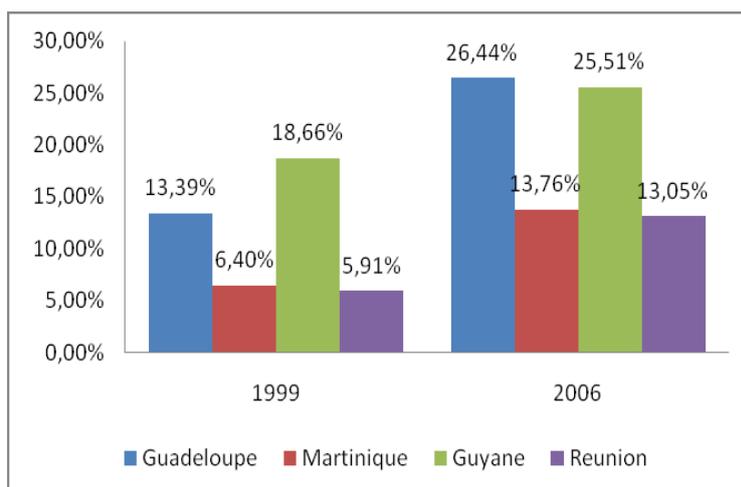


Figure 27 : Pourcentage de résidences principales climatisées (INSEE)

<sup>28</sup> Un degré-jour est une journée dont la température moyenne est de 1°C supérieure à la température de 18°C.

A terme, les taux de saturation à attendre en cas de développement économique suffisant ou de baisse du prix des équipements est une saturation complète du parc de logements.

L'effet structurant de la climatisation résidentielle sur les consommations électriques a bien été intégré par EDF, qui en fait un paramètre principal, avec l'évolution du nombre de ménages, pour ses bilans pluriannuels d'investissements<sup>29</sup> (EDF, 2007).

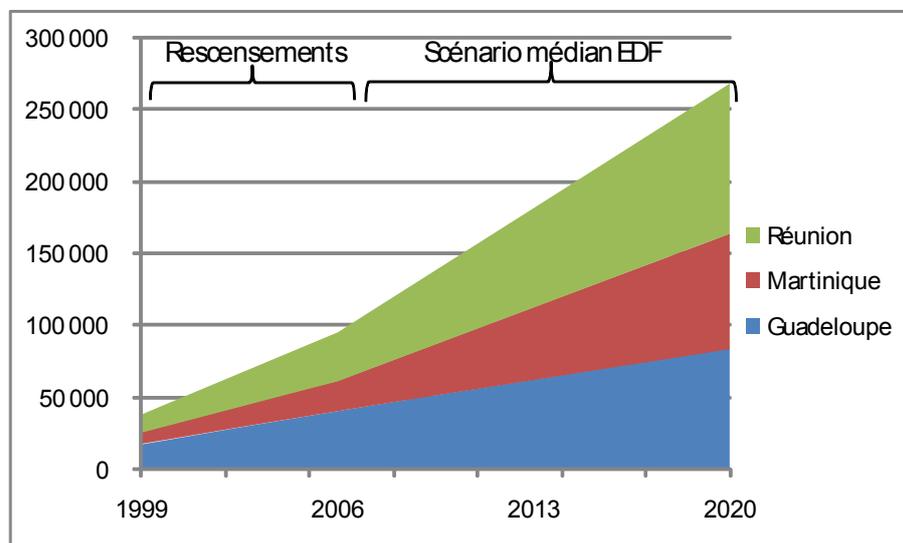


Figure 28 : Projection du nombre de ménages climatisés à l'horizon 2020 (INSEE 2006 et EDF 2007)

### IV.2.3) La climatisation et la maîtrise de l'énergie

Compte tenu des contraintes que doivent supporter les réseaux électriques des ZNI, EDF SEI participe à des programmes de Maîtrise De l'Énergie (MDE). Le bilan de ces différents programmes ont beaucoup porté sur la vente de chauffe-eau solaires et de lampes basse consommation.

Les efforts portant sur l'enveloppe des logements et l'utilisation de climatisations plus performantes n'ont commencé à se développer que récemment.

#### IV.2.3.a) La réglementation thermique dans les DOM

Le climat et le mode de vie des départements d'Outre-mer rendent la réglementation métropolitaine inadaptée en matière de thermique, d'acoustique et d'aération. En effet, ces réglementations conduisent en métropole à des constructions lourdes, fermées, très étanches, incompatibles avec les dispositions constructives locales. Par ailleurs, en termes de consommation énergétique, l'effort est mis en métropole principalement sur la réduction des besoins en chauffage, tandis que ceux-ci sont dans les DOM généralement négligeables devant les autres postes de consommation.

Jusqu'à présent, il n'existait aucune réglementation technique sur ces aspects concernant les constructions neuves de logements dans les DOM, ce qui a conduit à la construction de bâtiments variés aux performances très hétérogènes.

Une réglementation portant sur les logements neufs a donc été instaurée, portant sur les projets de construction dont le dépôt de la demande de permis de construire ou de la déclaration préalable est postérieur au 1er mai 2010.

Cette réglementation, appelée RTAA DOM, pour Réglementation Thermique Acoustique Aération DOM, porte sur ces trois thèmes. La RTAA DOM intervient sous la forme d'un décret modifiant

<sup>29</sup> Les hypothèses utilisées pour la Guyane ne sont pas communiquées dans le rapport de ces bilans.

le titre VI du livre premier du code de la construction et de l'habitation (articles R. 162-1 à 4) concernant les dispositions spécifiques à l'Outre-mer. Trois arrêtés, en date du 17 avril 2009, en précisent les modalités d'application, portant sur la thermique, l'acoustique et l'aération.

#### IV.2.3.b) Autres moyens d'action

Les actions menées par les pouvoirs publics dans les DOM-COM afin de maîtriser la demande d'énergie et de diversifier la production à travers les énergies renouvelables, sont orientées par plusieurs documents directeurs, notamment le Plan énergétique régional (PER)<sup>30</sup> et le Schéma régional de développement économique (SRDE)<sup>31</sup>.

- Le **PER** définit sur une période de vingt ans le contenu d'une politique de demande et d'offre énergétique centrée sur l'amélioration de l'efficacité énergétique et la valorisation des énergies disponibles. Il donne ainsi un état des lieux de la situation énergétique de la Région et permet d'établir le bilan énergétique à 20 ans ;
- Le **SRDE** définit quant à lui les orientations stratégiques de la Région en matière économique, en appuyant son rôle de pilotage en ce qui concerne les aides aux entreprises et autres outils financiers disponibles pour le développement économique. Concernant le secteur énergétique, des actions sont proposées.

Afin de mettre en place les orientations identifiées par ces documents, les acteurs du secteur disposent d'une série d'outils et de contributions suivants :

- Le programme régional de maîtrise de l'énergie (PRME)<sup>32</sup>

Plusieurs actions ont été mises en place dans le cadre des PRME des différentes régions pour agir sur la rationalisation du comportement de la population. On peut cependant noter l'absence de certification des bâtiments spécifiquement adaptée aux DOM, comme les labels énergétiques HPE, THPE et BBC en métropole. Il existe toutefois plusieurs outils tels que les labels expérimentaux Ecodom (logements résidentiels), Sikodom (bâtiments scolaires) et Rehabdom (réhabilitation) qui engagent les constructeurs à respecter certaines prescriptions de construction, consignées dans un cahier des charges.

- les Certificats d'économies d'énergie (CEE)

Les CEE ont notamment permis de favoriser la création d'une filière isolation thermique dans les DOM.

- le crédit d'impôt

Le crédit d'impôt donne un avantage financier aux acquéreurs de systèmes performants.

- les dispositions bancaires

L'ADEME souhaite mobiliser les banques du département de la Guyane afin qu'elles proposent des prêts visant à favoriser le financement d'équipements ou la construction de logements répondant à des normes environnementales liées à la maîtrise de la consommation d'énergie.

- Autres moyens d'action

A la Réunion, la mesure de changement des plages « horotarifaires », intervenue en 2005, a eu pour but de limiter la croissance de la puissance de pointe, en déplaçant la consommation vers des plages horaires creuses.

---

<sup>30</sup> Pour la Réunion, le PREPURE (Plan régional des énergies renouvelables) a été mis en place.

<sup>31</sup> Pour la Martinique, le SRDE est en cours d'élaboration. A la Réunion, le SAR (Schéma d'aménagement régional) ne dispose pas encore de volet énergétique.

<sup>32</sup> Le PRME est défini dans un accord cadre concernant la maîtrise de l'énergie et les infrastructures liées à la production et au développement des énergies (notamment renouvelables), signé pour une période de quatre ans, dans le cadre du Contrat de plan Etat-Région, associant l'Ademe, la Région, le Département, l'Etat et EDF. Chaque année, les partenaires signent une convention annuelle qui propose une orientation au PRME pour l'année ainsi qu'une répartition financière prévisionnelle par programme. La gestion de ces aides financières est déléguée à l'Ademe.

### **IV.3. La climatisation embarquée en Outre-mer**

---

La connaissance du parc automobile dans les DOM est très parcellaire. Il n'y actuellement aucune étude poussée sur le sujet.

D'après l'ADEME, (ADEME, 2008) le parc d'automobiles climatisées peut être considéré comme supérieur à 50%. Toutefois, un chiffre précis ne peut être avancé sans un degré d'incertitude très élevé<sup>33</sup>.

Le transport par autobus et autocars dans les DOM présente quelques particularités. Les véhicules utilisés pour transporter les personnes sont souvent des véhicules en seconde vie, c'est-à-dire des bus ou cars ayant déjà beaucoup circulés, et venant de métropole.

### **IV.4. Peu d'informations sur les impacts directs pour les DOM**

---

L'étude menée dans le cadre de l'élaboration des facteurs d'émissions pour la méthode Bilan Carbone (ADEME, 2008), met en lumière quelques particularités de la climatisation dans les départements d'Outre-mer.

Les quatre départements d'Outre-mer concernés (Guadeloupe, Martinique, Réunion et Guyane) ont tous un climat nettement plus chaud qu'en métropole, d'où une utilisation plus importante et plus systématique de la climatisation dans les logements et les véhicules.

Les installations utilisées dans les logements d'Outre-mer sont essentiellement des climatisations à air de type SPLIT (80% des appareils mis en place selon l'ADEME).

La qualité d'installation de ces équipements est facteur important d'émissions. Il faudrait assurer que la pose soit effectuée par des professionnels dont la montée en compétence est bien assurée. De plus, compte tenu du fort développement de la climatisation des particuliers, ainsi que du taux important d'utilisation annuel, facteur d'usure, il faudrait assurer une maintenance des systèmes plus importante, qui est actuellement relativement faible comparée à celle effectuée pour les systèmes du tertiaire.

La structuration d'une filière de récupération des fluides frigorigènes en fin de vie des équipements est aussi souhaitable.

Il est tout de fois difficile de faire une estimation du taux de fuite annuel, par manque d'études spécifiques sur le sujet. Une estimation chiffrée serait hasardeuse sans données complémentaires.

---

<sup>33</sup> Par défaut, l'hypothèse choisie est 60% dans la méthode Bilan Carbone.

### Ce qu'il faut retenir sur la climatisation en Outre-mer :

- Compte tenu du climat des DOM, la climatisation y est un usage prépondérant.
- **Peu d'informations sont actuellement disponibles dans les DOM :**
  - Notamment sur sa diffusion dans le tertiaire ;
  - L'impact des émissions de fluides frigorigènes n'a pu être déterminé par faute de données sur le sujet ;
  - Il n'y a pas assez d'informations permettant de quantifier les impacts de la climatisation embarquée.
- On peut toutefois constater qu'elle a connu un développement très important ces dernières années dans le résidentiel.
- La consommation d'électricité due à la climatisation est très importante (35% des consommations totales d'électricité en Guadeloupe) : c'est un usage structurant pour EDF SEI.
- **L'impact environnemental indirect est plus important dans les DOM qu'en métropole, les moyens de production d'électricité fonctionnant en grande partie à partir d'énergies fossiles, donc émetteurs de CO<sub>2</sub> et de polluants atmosphériques.**
- La climatisation participe à un usage de pointe d'électricité ainsi qu'à la charge des réseaux électriques, ce qui est un facteur de risque de défaillance, notamment en cas de diffusion très rapide.
- **Dans ce contexte, les enjeux de la maîtrise de la consommation d'électricité sont plus importants dans ces territoires qu'en métropole.**

# V. Maîtrise des impacts environnementaux de la climatisation

## V.1. Réglementations sur l'utilisation des fluides frigorigènes

Les réglementations concernant l'utilisation des fluides frigorigènes découlent d'accords internationaux visant à lutter contre l'appauvrissement de la couche d'ozone et contre les émissions de gaz à effet de serre. Ces accords internationaux et textes réglementaires européens et nationaux sont résumés dans la figure ci-dessous :

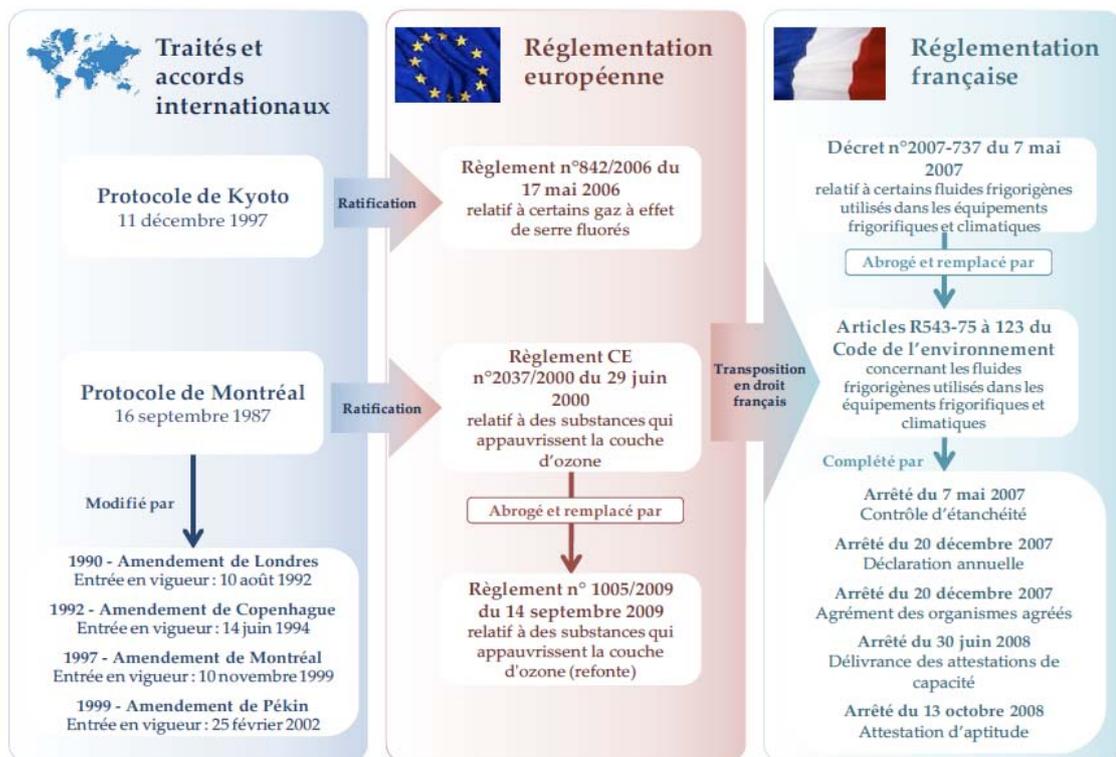


Figure 29 : Les réglementations sur les fluides frigorigènes, du cadre international à l'application nationale (ADEME)

- Au niveau international

Le protocole de Montréal réglemente l'utilisation des fluides frigorigènes ayant un impact sur la couche d'ozone. Il prévoyait que la production et la consommation des 5 principaux CFC seraient réduites de moitié en 1999 par rapport aux niveaux de 1996. A travers plusieurs amendements successifs, la liste des substances appauvrissant la couche d'ozone (SAO) a été complétée, et comprend depuis 1999 les 8 catégories de substances suivantes :

Substance	Dénomination
Chlorofluorocarbures	CFC
Tétrachlorure de carbone	CCl <sub>4</sub>
Halons	-
Trichloroéthane	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>
Bromure de méthyl	CH <sub>3</sub> Br
Hydrochlorofluorocarbures	HCFC
Hydrobromofluorocarbures	HBFC
Bromochlorométhane	BCM

**Figure 30 : Catégories de substances nocives pour la couche d'ozone réglementées par le protocole de Montréal**

Au 22 mai 2009, 195 pays avaient ratifié le protocole.

Afin de lutter contre les gaz à effet de serre responsables du changement climatique, le protocole de Kyoto est entré en vigueur le 16 février 2005. Il prévoit que les pays développés réduisent le total de leurs émissions de gaz à effet de serre d'au moins 5% par rapport aux niveaux de 1990 entre 2008 et 2012. Il concerne donc les fluides frigorigènes, qui ont un fort pouvoir de réchauffement global.

- Au niveau Européen

Les protocoles internationaux se traduisent au niveau européen, d'une part par le règlement (CE) n°842/2006, et d'autre part par le règlement n°1005/2009.

Concernant les gaz fluorés en particulier, le protocole de Kyoto a été décliné au niveau européen par le règlement (CE) n°842/2006 du 17 mai 2006, qui a pour objectif de réduire les émissions de gaz à effet de serre fluorés incriminés. Ce texte définit les mesures pour améliorer le confinement et la surveillance de ces gaz. Il établit également des restrictions à leur commercialisation et à leur utilisation avec un calendrier progressif relatif à l'interdiction de la mise sur le marché de certains produits contenant des gaz fluorés.

De la même façon, le protocole de Montréal a été décliné au niveau Européen par le règlement n°1005/2009 du 16 septembre 2009 relatif aux SAO. Le règlement impose aux Etats membres des mesures plus restrictives que celles énoncées dans le protocole de Montréal. Il introduit le principe de responsabilité élargie du producteur (REP) pour la gestion des fluides usagés et réglemente la production, l'importation, l'exportation, la mise sur le marché, l'utilisation, la récupération ainsi que le traitement des SAO.

Le règlement (CE) n°1005/2009 impose également un calendrier progressif relatif à l'interdiction des CFC et des HCFC sur le marché européen ainsi que des mesures telles que la mise en place de systèmes de récupération des substances à des fins de traitement ou d'élimination ainsi que l'obligation d'un niveau minimum de formation du personnel d'entretien des équipements contenant des substances réglementées afin d'éviter et de réduire au minimum les fuites et émissions. Enfin, ce règlement prévoit un mécanisme de licence pour les importations et les exportations de substances ou équipements contenant ou étant tributaires de ces substances appauvrissant la couche d'ozone.

Le règlement (CE) n°303/2008 du 2 avril 2008 établit quant à lui des prescriptions minimales ainsi que des conditions pour une reconnaissance mutuelle de la certification des entreprises et du personnel en ce qui concerne les équipements fixes de réfrigération, de climatisation et de pompe à chaleur contenant certains gaz à effet de serre fluorés.

Enfin, le règlement (CE) n°307/2008 du 2 avril 2008 établit, des prescriptions minimales pour les programmes de formation ainsi que les conditions pour une reconnaissance mutuelle des attestations de formation à l'intention du personnel en ce qui concerne les systèmes de climatisation de certains véhicules à moteur contenant certains gaz à effet de serre fluorés

- Au niveau Français

En France, les obligations internationales et européennes citées ci-dessus se déclinent aux articles R.543-75 à R.543-123 (livre V, titre IV, chapitre III, section 6) du Code de l'Environnement, qui réglementent les conditions de mise sur le marché, d'utilisation, de récupération et de destruction des CFC, HCFC et HFC lorsqu'ils sont utilisés ou destinés à être

utilisés en tant que fluides frigorigènes dans les équipements frigorifiques ou climatiques. Ces articles définissent par ailleurs le rôle et les obligations des différents acteurs de la filière.

➤ Les producteurs

Les producteurs de fluides frigorigènes et d'équipements préchargés au sens de la réglementation française sont les acteurs qui produisent (fabrication), importent (importation depuis un pays hors Union Européenne) ou introduisent (importation depuis un pays de l'Union Européenne) sur le territoire français des fluides frigorigènes ou équipements préchargés en fluides frigorigènes à titre professionnel.

➤ Les distributeurs

Les distributeurs de fluides frigorigènes sont les acteurs qui cèdent à titre onéreux ou gratuit, dans le cadre d'une activité professionnelle, des fluides frigorigènes.

La réglementation impose les obligations suivantes aux distributeurs :

- ils ne peuvent céder à titre onéreux ou gratuit des fluides frigorigènes qu'aux opérateurs disposant de l'attestation de capacité ainsi qu'aux personnes produisant, dans des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), des équipements préchargés contenant des fluides. ;
- ils doivent tenir un registre mentionnant, pour chaque cession, le nom de l'acquéreur, le numéro de son attestation le cas échéant, la nature du fluide et les quantités cédées ;
- ils sont également tenus de mettre à disposition de leurs clients des contenants pour assurer la reprise des fluides usagés et de reprendre sans frais les fluides qui leur sont rapportés dans ces contenants, dans la limite du tonnage global qu'ils ont distribué.

➤ Les opérateurs

Les opérateurs sont les entreprises et organismes procédant, à titre professionnel, à tout ou partie des opérations suivantes :

- la mise en service d'équipements ;
- l'entretien et la réparation d'équipements dès lors que ces opérations nécessitent une intervention sur le circuit contenant des fluides frigorigènes ;
- le contrôle de l'étanchéité ;
- le démantèlement des équipements ;
- la récupération et la charge des fluides frigorigènes dans les équipements ;
- toute autre opération réalisée sur des équipements nécessitant la manipulation de fluides frigorigènes.

Les opérateurs doivent obtenir une attestation de capacité délivrée par un organisme agréé afin de pouvoir manipuler des fluides frigorigènes et ont l'obligation de remettre aux distributeurs les fluides frigorigènes récupérés qui ne peuvent être réintroduits dans des équipements ou de les faire traiter sous leur responsabilité. Les conditions de délivrance des attestations d'aptitude aux personnels manipulant des fluides frigorigènes sont fixés par l'arrêté du 05 mars 2009 pris pour l'application de l'article 6 du règlement (CE) n° 303/2008 du 2 avril 2008.

Les opérateurs sont également tenus de déclarer chaque année, avant le 31 janvier, le bilan des fluides qu'ils ont manipulés à l'organisme agréé qui leur a délivré l'attestation de capacité.

➤ Les organismes agréés

Les organismes agréés sont les organismes ayant reçu un agrément des ministres en charge de l'environnement et de l'industrie pour pouvoir délivrer des attestations de capacité aux opérateurs.

## V.2. L'Observatoire des Flux des fluides frigorigènes en France

---

En application du Code de l'Environnement, les acteurs de la filière des fluides frigorigènes (producteurs et distributeurs de fluides, producteurs d'équipements pré-chargés, organismes agréés) réalisent chaque année une déclaration auprès de l'ADEME concernant la mise sur le marché, la cession, l'achat en France, le chargement, la collecte, le traitement et le stockage de ces fluides. Cette déclaration est réalisée via **l'Observatoire des Flux de Fluides Frigorigènes** (ADEME, 2010). Un rapport est présenté chaque année par cet observatoire.

**La première campagne de déclaration a été effectuée pour l'année 2008, le 1<sup>er</sup> rapport présentant ces données a été publié en janvier 2010. Cet Observatoire est donc très récent.**

Cet Observatoire permet la centralisation des données relatives aux quantités de fluides frigorigènes mises sur le marché, achetées en France, cédées, chargées, stockées, reprises et traitées.

Toutefois, ces données ne sont pas réparties selon l'usage des fluides : climatisation, froid commercial ou industriel, etc. Elles ne permettent donc pas de quantifier les impacts directs liés spécifiquement à la climatisation.

- Point sur la représentativité des données déclarées par les distributeurs et producteurs

Tous les producteurs et distributeurs sont tenus de déclarer leur bilan fluide auprès de l'Observatoire, excepté les producteurs d'équipements préchargés relevant des dispositions réglementaires relatives aux Véhicules Hors d'Usage (VHU) et aux Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques (DEEE). Par conséquent, la représentativité des données concernant la récupération des fluides frigorigènes n'est actuellement pas assurée. Un travail technique est actuellement en cours au MEDDTL afin de mettre fin à cette exemption et ainsi améliorer la représentativité des données collectées.

De plus, du fait du caractère récent de la réglementation, certains producteurs et distributeurs n'ont pas réalisé de déclaration pour cette première campagne. Ces déclarants effectueront leur première déclaration lors de la 2<sup>ème</sup> campagne de déclaration, relative à l'exercice de l'année 2009.

L'organisation de la filière des fluides frigorigènes en France est détaillée à l'annexe technique n°2.

### ► Bilan 2008 réalisé par l'observatoire sur l'efficacité de la filière de récupération

Le tonnage **traité** déclaré en 2008 par les producteurs et distributeurs est sensiblement supérieur au tonnage **déclaré** avoir été récupéré par ces mêmes acteurs (451 tonnes traitées contre 361 tonnes collectées). Cet écart peut s'expliquer en partie par un traitement en 2008 de fluides usagés stockés ayant été récupérés par les producteurs et distributeurs avant 2008.

Pour l'année 2008, un total de 360 tonnes de fluides frigorigènes a été déclaré repris en France. Le volume global de déclaration de reprise par les producteurs et distributeurs est relativement faible pour cette première campagne, celui-ci représentant moins de 4 % des quantités totales déclarées cédées (9 787 tonnes) par ces mêmes acteurs en 2008. Ces chiffres ne sont pas encore représentatifs de l'ensemble de la filière car :

- Tous les acteurs n'ont pas répondu lors de cette première campagne de recensement ;
- Compte tenu du périmètre de l'observatoire, celui-ci ne prend pas en compte les producteurs d'équipements préchargés relevant des dispositions réglementaires relatives aux VHU et DEEE. Toutefois, l'efficacité de la filière de récupération des VHU est encore estimée comme étant assez faible.

### ► L'efficacité de la récupération des fluides frigorigènes dans la climatisation mobile

Selon les études effectuées par le CEP ARMINES dans le cadre de l'inventaire des émissions de fluides frigorigènes (ARMINES, 2011), le secteur de la récupération des fluides frigorigènes dans les transports est tel qu'il suit.

Dans le secteur de la climatisation embarquée, deux taux de récupération sont distingués :

- Au moment de la maintenance ;
- En fin de vie du véhicule.

Les équipements de climatisation mobile sont concernés par la réglementation des véhicules hors d'usage (VHU) depuis la mise en application de la directive européenne n°2000/53/CE visant à limiter la production de déchets et à en assurer le recyclage. Le décret français n° 2003-727 du 1<sup>er</sup> Août 2003 correspond à l'application en droit français de cette directive. Il impose notamment d'organiser la reprise des VHU ainsi que leur dépollution, ce qui inclut la récupération des fluides frigorigènes.

Tout d'abord, cette directive concernait peu de véhicules puisqu'il s'agissait des véhicules hors d'usage mis sur le marché après le 1<sup>er</sup> Juillet 2002. Au 1<sup>er</sup> janvier 2007, cette obligation s'étend aux véhicules mis sur le marché avant cette date.

Un premier bilan établi par l'ADEME pour l'année 2006 a montré que les quantités potentiellement récupérables étaient très faibles (Bio Ethique pour ADEME, 2009) car peu des véhicules arrivant en fin de vie en 2006-2007 étaient équipés de climatisation.

Selon l'ADEME, 960 000 véhicules ont été traités par la filière des démolisseurs broyeurs en 2007. Mais l'ADEME ne suit pas précisément les quantités de fluides frigorigènes récupérées par la filière : les tonnages déclarés couvrent l'ensemble des fluides issus de la dépollution, sans distinction possible. **L'efficacité de récupération de ce secteur semble encore très faible.**

A l'inverse, l'efficacité de récupération en fin de vie des trains est élevée, contrairement aux autres sous-secteurs, car les services techniques réalisant l'opération sont les mêmes que ceux faisant les entretiens et la maintenance.

## V.3. Limitation des impacts dans les bâtiments

---

Bien que l'impact environnemental de la climatisation soit encore modeste, le développement rapide de ce marché, actuellement et tel qu'il est envisagé pour les prochaines années, semble antagoniste avec les objectifs de réduction de consommations d'énergie des bâtiments et plus généralement d'émissions de gaz à effet de serre.

Puisqu'il est peu probable que les maîtres d'ouvrage (privés ou publics, pour le tertiaire ou le résidentiel) acceptent désormais de renoncer à des niveaux élevés de confort d'été, la réflexion doit porter sur les moyens pour concilier ces deux exigences : confort d'été et développement durable.

Pour concilier ces deux termes, plusieurs voies doivent être envisagées selon l'ordre de priorité suivant :

- La diminution des besoins (amélioration des protections solaires actives et passives, ventilation naturelle si possible) ;
- Le développement de techniques de rafraîchissement basse-consommation ;
- L'amélioration de l'efficacité des systèmes de climatisation.

### V.3.1) Les moyens d'amélioration techniques

#### V.3.1.a) Réduction des besoins : Amélioration de la conception de l'enveloppe des bâtiments

- Protections solaires actives

La conception d'une protection solaire estivale efficace est fondamentale pour qu'un bâtiment soit thermiquement et énergétiquement performant. L'enjeu principal consiste à limiter l'inconfort dû aux fortes variations de températures dans les bâtiments l'été, avec pour corollaire la possibilité de se passer de la climatisation, ou tout du moins de réduire la puissance nécessaire.

A cette fin, l'ensemble des parois d'un bâtiment sollicitées par le rayonnement solaire peuvent être protégées (toiture, murs, baies vitrées) par la mise en œuvre de protection de type :

- Protections mobiles : stores, volets...
- Protections fixes : casquettes, loggias...
- Vitrage adapté ;
- Isolation par l'extérieur (l'isolation par l'intérieur est néfaste sur le confort d'été).

Remarque : il est toutefois important de noter qu'un excès d'isolation thermique peut entraîner l'effet inverse de celui escompté, en augmentant le recours à la climatisation et à la ventilation des locaux, si le confinement du bâtiment est trop important.

- Protections solaires passives

L'architecture bioclimatique vise à réduire au minimum les besoins par l'optimisation de paramètres tels que l'orientation du bâti, l'inertie, l'isolation des parois ou l'environnement immédiat (présence de végétation). Mais des efforts importants restent à fournir pour amener les pratiques architecturales actuelles vers ces principes. C'est pour cette raison que la future réglementation thermique des bâtiments neufs (RT 2012) intégrera le coefficient Bbio (cf. V.3.2.a).

#### V.3.1.b) Amélioration des systèmes de climatisation classiques

##### ▶ Réduction de l'impact direct

Des possibilités d'amélioration existent encore concernant la qualité de l'étanchéité des circuits frigorifiques et celle des interventions notamment lors de la maintenance des équipements. La voie réglementaire semble celle privilégiée par l'Europe et la France pour avancer sur cette thématique : récupération en fin de vie des appareils, qualification des entreprises et contrôle d'étanchéité sont aujourd'hui obligatoires.

L'autre voie possible pour réduire l'impact direct des systèmes de climatisation est d'utiliser des fluides avec un impact plus faible. Là encore, la réglementation internationale va dans le sens de l'élimination progressive des fluides frigorigènes jusqu'ici usuels et ces fluides naturels pourraient ainsi s'imposer petit à petit.

Les agents de substitution à faible PRG les plus souvent citées possèdent les inconvénients suivants : l'ammoniac est une substance toxique et réglementée, les hydrocarbures ont des propriétés inflammables, et le CO<sub>2</sub> nécessite que les systèmes fonctionnent avec des pressions plus importantes de par son influence sur le rendement thermodynamique de la machine frigorifique, induisant de fait un impact indirect plus important.

##### ▶ Amélioration de l'efficacité des installations

Des diminutions (à besoin équivalent) de la consommation électrique d'une installation de climatisation peuvent être obtenues en agissant à chacun des niveaux que sont la production, la distribution et la régulation.

Au niveau de la production, l'efficacité nominale moyenne des produits présents sur le marché peut être encore augmentée par l'élimination progressive des appareils les moins performants. L'affichage de la performance certifiée des produits, par l'étiquette énergie ou par les

publications Eurovent, permet d'y parvenir. L'amélioration des performances des systèmes thermodynamiques passe par le développement et l'amélioration des composants, principalement les échangeurs et le compresseur.

Mais plus encore que l'amélioration des performances nominales, l'amélioration de la gestion du fonctionnement à charge partielle permettrait d'obtenir facilement et rapidement (les produits étant disponibles et à un coût raisonnable) des économies importantes, notamment par le biais des systèmes Inverter.

Un système split et DRV Inverter adapte sa puissance en fonction des besoins thermiques de l'installation. A cette fin, il fait varier la vitesse du moteur du compresseur. Ces systèmes se rencontrent dans les climatisations individuelles et tertiaires à détente directe. Les systèmes Inverter permettent d'effectuer des économies d'énergie substantielles par rapport à une installation classique. Les gains peuvent s'élever jusqu'à 30%. Ces systèmes présentent un surcoût d'investissement, mais le marché est néanmoins en augmentation constante.

Il est à noter que les groupes de production d'eau glacée utilisent déjà depuis quelques années des systèmes de régulation de puissance efficaces à charge partielle (étagement de puissance) et qu'ils sont maintenant jugés sur un index de performance saisonnière prenant en compte l'efficacité à charge partielle.

### ► **La régulation et la gestion technique centralisée (G.T.C.) :**

La régulation permet de gérer la production de froid et de l'adapter aux besoins. La G.T.C permet de gérer l'ensemble des besoins en énergie du bâtiment (éclairage, chauffage, climatisation, production d'eau chaude, équipements éventuels de sécurité...). Cependant, la G.T.C requiert l'installation d'un grand nombre de points de mesure (capteurs) et son coût de mise en œuvre est élevé.

### ► **Les systèmes à ab/adsorption**

Comme dans les réfrigérateurs à compression, l'évaporation d'un liquide à basse température absorbe la chaleur du milieu froid. La différence réside dans la façon dont on retransforme le gaz en liquide : là où le réfrigérateur à compression utilise une compression *mécanique*, le réfrigérateur à **ab/adsorption** utilise un procédé de sorption, donc sans moteur.

Ainsi, la source principale d'énergie du système n'est pas l'électricité, mais **la chaleur**. Ces systèmes sont particulièrement adaptés dans les cas où de la chaleur est produite en excès, par exemple dans un process industriel ou encore par l'installation de capteurs solaires pour produire de l'eau chaude. La chaleur peut donc être récupérée pour assurer la climatisation. Des machines à adsorption fonctionnant aux gaz existent mais sont moins efficaces que les machines à compresseur électrique. Elles sont utilisées notamment pour effacer la pointe dans les pays dans lesquels le tarif de l'électricité de pointe d'été le permet (Japon et USA par exemple).

### ► **Le stockage de froid**

La climatisation est communément réalisée par un groupe frigorifique. La technique de stockage de froid consiste à produire du froid durant des périodes où les charges sont faibles ou nulles (par exemple de nuit), de le stocker (sous forme de glace ou d'eau glacée), et de s'en servir durant les périodes de charge. Ceci permet :

- De réguler la demande d'électricité, l'appareil de production fonctionnant en heure creuse ;
- De réguler la demande d'électricité, l'appareil de production fonctionnant en heure creuse ;
- De réduire la consommation d'énergie en fonctionnant à un rendement plus important de la machine (la température nocturne plus faible permet de profiter d'une température de condensation plus faible permettant un gain de rendement important) ;
- Dans une certaine mesure, de réduire la quantité de fluide frigorigène, en abaissant la puissance du système de génération de froid. En effet, en cas de forte demande de froid, l'appareil additionne sa puissance à celle du stockage pour satisfaire la demande.

### **V.3.1.c) Le développement des techniques de rafraîchissement basse-consommation**

Les systèmes de rafraîchissement ne permettent pas d'atteindre un niveau de confort aussi performant et/ou contrôlé qu'avec un système de climatisation. Toutefois les systèmes de rafraîchissement sont souvent peu énergivores et ne contiennent pas de fluide frigorigène. Leur utilisation peut être faite en complément d'un système de climatisation, ou seul. L'utilisation d'un système de rafraîchissement seul dépend de l'usage auquel le bâtiment est destiné, ainsi que de ses occupants. Il peut être acceptable selon l'activité des occupants et leur tolérance à avoir des températures moins confortables pendant les périodes les plus chaudes.

Plusieurs types de systèmes existent :

#### **► Systèmes de rafraîchissement par évaporation « evaporative-cooling »**

Le principe du refroidissement évaporatif ou par voie humide est basé sur le contact direct entre l'air et l'eau de l'air à refroidir. L'air évapore une partie de l'eau, pour conduire au refroidissement recherché. Ce rafraîchissement s'effectue au moyen de systèmes à humidificateur, ou par des tours de refroidissement humides. Certains de ces systèmes sont assez répandus dans le secteur tertiaire, couplés ou non avec un système de climatisation.

#### **► Le puits provençal ou canadien**

Un puits provençal consiste en un ensemble de tubes (éventuellement un tube unique), enterrés à l'horizontale dans le sol sous le bâtiment (ou à côté de celui-ci, à au moins 1,5 mètre de profondeur), et intégrés au système de ventilation. Le but du système est d'amortir les variations de température de l'air extérieur en tirant parti de l'inertie thermique du sous-sol, en récupérant la fraîcheur du sol en été et la chaleur du sol en hiver. Cette solution peut-être adoptée dans le secteur résidentiel comme dans les bâtiments tertiaires de petite surface.

#### **► Utiliser la ventilation**

Plusieurs modes de ventilation permettant le rafraîchissement des bâtiments sont utilisés :

- Le « free cooling » consiste à utiliser l'air extérieur en priorité pour refroidir les locaux. Du fait de sa simplicité de mise en oeuvre, cette solution est généralisable à tous les bâtiments équipés d'une centrale de traitement d'air à débit d'air constant ou variable. La plupart des bureaux d'études techniques l'ont bien intégrée ;
- La ventilation nocturne consiste à utiliser la ventilation la nuit pour refroidir le bâtiment. C'est une technique courante dans le secteur tertiaire, notamment dans le sud de la France (CEREN, 2007). Elle est d'autant plus efficace que le bâtiment possède une forte inertie thermique pour maximiser les effets du free-cooling nocturne ;
- La ventilation naturelle : la ventilation naturelle consiste à utiliser des ouvrants (ex : fenêtres) pour permettre à l'air de traverser le bâtiment. La ventilation naturelle peut-être utilisée en habitat dans des zones non bruyantes.

#### **► La circulation d'eau fraîche**

Le système consiste à réaliser une boucle de canalisation d'eau prélevée dans une source d'eau fraîche naturelle locale ou refroidie par une tour de refroidissement. On distingue les systèmes où l'eau provient de nappes phréatiques, qui nécessitent le forage de deux puits pour prélever et évacuer l'eau, des systèmes où l'eau provient de la mer, d'une rivière ou d'un lac. En été, l'eau pompée circule dans un échangeur thermique et peut refroidir directement les locaux ou être utilisée pour refroidir le condenseur d'un groupe frigorifique. Le cycle est inversé en hiver, la chaleur prélevée sur l'eau servant à préchauffer l'air pour le bâtiment. Ces solutions sont en général utilisées avec des centrales de production de froid alimentant des quartiers entiers ou des villes, en bordure de fleuve, de mer ou de lac.

## V.3.2) Les leviers d'actions réglementaires

### V.3.2.a) La réglementation thermique des bâtiments

#### ► Les réglementations thermiques actuelles

Il existe d'une part une réglementation thermique pour les bâtiments neufs, la RT2012, et d'autre part une réglementation thermique pour les bâtiments existants, appelée « RT globale », qui s'applique dans certaines situations ( $SHON^{34} > 1000 \text{ m}^2$ , rénovations importantes) aux bâtiments existants.

Ces deux réglementations imposent de réaliser un calcul réglementaire<sup>35</sup> (la méthode **TH-CE** ou **TH-CEex**, respectivement pour le neuf et l'existant, définies par arrêté) de performance énergétique du bâtiment et de respecter de plus certaines exigences sur le confort d'été pour les bâtiments CE1 : **la température intérieure conventionnelle** du projet (température maximale atteinte en été) doit être inférieure à celle du bâtiment de référence.

Un local est dit de catégorie CE2 s'il est muni d'un système de refroidissement et s'il respecte certaines conditions de localisation géographique et de zones de bruit définies en fonction de son usage. Les autres locaux sont de catégorie CE1. Un local de catégorie CE2 verra sa consommation conventionnelle de référence intégrer des consommations de climatisation tandis que cette valeur sera portée à 0 s'il s'agit d'un local en catégorie CE1.

Le calcul de la température intérieure conventionnelle, la « Tic », reflète le confort d'été du bâtiment. C'est la température intérieure maximale atteinte au cours d'une période de référence.

**Ces réglementations favorisent donc les bâtiments où les systèmes de climatisation ne sont pas utilisés dans les zones climatiques tempérées. Dans les zones climatiques « chaudes », la climatisation n'est pas pénalisée.**

On peut toutefois noter que cette réglementation dans le neuf n'interdit pas, et ne peut agir sur la capacité d'achat d'un climatiseur par l'occupant après construction. Les bâtiments existants non concernés par la RT « globale » dans l'existant sont soumis à la RT dite « **par éléments** ». La RT « par éléments » impose des exigences de performance sur les éléments remplacés ou installés sur huit postes de consommation énergétique, dont notamment l'usage de refroidissement. Ces exigences portent sur des rendements minimaux de génération, l'isolation de la distribution et la limitation des apports solaires.

#### ► La nouvelle réglementation thermique des bâtiments neufs (RT2012)

La nouvelle réglementation thermique entrera en vigueur dans le tertiaire dès 2011 et en 2013 dans le résidentiel. **Son objectif principal sera de mettre l'accent sur le rôle de la conception du bâti et de limiter de manière significative les consommations d'énergie du bâtiment.** Deux grandes étapes sont donc identifiables dans la RT2012 :

- **Concevoir un bâti performant**, qui se traduit par un coefficient de **besoin** en chauffage, en refroidissement et en éclairage, nommé le **Bbio**. Celui-ci doit respecter une valeur maximum. Au moment du permis de construire, une « synthèse d'étude thermique » sera également demandée. L'objectif de l'introduction du nouvel indicateur Bbio sera de qualifier la qualité énergétique du bâti avant de savoir quels seront les systèmes qui l'équiperont, ce qui n'était pas présent dans la réglementation précédente. ;
- **Respecter les exigences de consommation d'énergie primaire maximum** (ou  $C_{max}$ ) inférieure à **une valeur seuil** modulée en fonction de l'altitude, de la géographie et de la surface du bâtiment ;
- **Respecter le seuil de référence fixé pour la température intérieure conventionnelle** (confort d'été).

---

<sup>34</sup>Shon : Surface hors œuvre nette

<sup>35</sup> Ou de respecter une solution technique définie par arrêté, solution moins répandue

### **V.3.2.b) Les actions réglementaires sur les systèmes de climatisation**

Remarque : La législation européenne définit les climatiseurs domestiques comme ayant une puissance inférieure à 12 kW, tandis que la différenciation effectuée dans la littérature des industriels (notamment les données du marché Clim'info (cf. Annexe technique n°1) est faite à la puissance de 17,5 kW.

#### **► Les normes**

En France, différents textes normatifs couvrent le champ de la climatisation et des pompes à chaleur réversibles, qui regroupent des textes relatifs :

- Aux « produits » c'est à dire aux objets manufacturés ;
- Aux « installations », textes couvrant les aspects de conception, de mise en œuvre, et de réception des installations ;
- Au confort thermique ;
- Aux circuits frigorifiques et aux fluides frigorigènes ;
- Et d'autres textes divers, relatifs aux symboles, à la terminologie, aux couleurs de tuyauteries, etc.

#### **► Inspecter de manière périodique les systèmes de climatisation afin d'améliorer leur fonctionnement**

L'article 9 « Inspection des climatisations » de la directive 2002/91/CE sur la performance énergétique des bâtiments prévoit que les États membres mettent en œuvre une inspection périodique des systèmes de climatisation d'une puissance nominale supérieure à 12 kilowatts et précise que cette inspection doit comprendre une évaluation du rendement de la climatisation et de son dimensionnement par rapport aux exigences en matière de refroidissement du bâtiment. Des conseils appropriés doivent enfin être donnés aux utilisateurs sur l'éventuelle amélioration ou le remplacement du système de climatisation et sur les autres solutions envisageables. L'article 10 de la directive précise que ces inspections doivent être réalisées de manière indépendante par des experts qualifiés et/ou agréés.

En France, l'article L. 224-1 du Code de l'Environnement permet de prévoir une telle inspection.

Le décret n° 2010-349 du 31 mars 2010 relatif à l'inspection des systèmes de climatisation et des pompes à chaleur réversibles introduit dans la partie réglementaire du Code de l'Environnement l'obligation prévue à l'article 9 de la directive de réaliser de telles inspections. Ces dispositions sont codifiées aux articles R. 224-59-1 à R. 224-59-11 du Code de l'Environnement dans la sous-section 5 de la section 2 du chapitre IV du titre II du livre II du Code de l'Environnement, nommée « Sous-section 5 : Inspection des systèmes de climatisation et des pompes à chaleur réversibles d'une puissance frigorifique nominale supérieure à 12 kilowatts ».

Le décret est complété par deux arrêtés :

- l'arrêté du 16 avril 2010 relatif à l'inspection périodique des systèmes de climatisation et des pompes à chaleur réversibles dont la puissance frigorifique est supérieure à 12 kilowatts, dit « arrêté technique », qui précise les spécifications techniques et les modalités de l'inspection ;
- l'arrêté du 16 avril 2010 définissant les critères de certification des compétences des personnes physiques réalisant l'inspection périodique des systèmes de climatisation et des pompes à chaleur réversibles dont la puissance frigorifique nominale est supérieure à 12 kilowatts et les critères d'accréditation des organismes de certification, dit « arrêté compétences », qui définit les modalités de reconnaissance des compétences de l'inspecteur.

Effectuée à l'initiative du propriétaire ou du syndicat de copropriété de l'immeuble, **l'inspection doit avoir lieu au moins tous les 5 ans pour les installations existantes**. En cas de remplacement ou d'installation, la première inspection doit avoir lieu dans l'année civile. Un rapport à conserver 10 ans doit être remis dans le mois par l'inspecteur au commanditaire de l'inspection. **Dans ce rapport, l'inspecteur présente les résultats de l'inspection et fournit les recommandations nécessaires portant sur le bon usage du système en place, les améliorations possibles de l'ensemble de l'installation, l'intérêt éventuel du remplacement de celui-ci et les autres solutions envisageables.**

La première inspection doit avoir lieu le 28 avril 2012<sup>36</sup> pour les systèmes centralisés et les pompes à chaleur réversibles existantes d'une puissance supérieure à 100 kW, et d'ici le 28 avril 2013 pour celles dont la puissance est supérieure à 12 kW.

### ► Indiquer la performance énergétique des systèmes

Pour **les climatiseurs domestiques** (puissance <12 kW), l'arrêté du 17 Janvier 2003 fixe les plages de performance pour des classes d'efficacité. Ces classes d'efficacité sont indiquées par des lettres, de A à G, représentant le rendement nominal atteint par le système, « A » représentant les systèmes les plus performants. Une étiquette présentant la performance du système doit être présentée lors de sa vente. Ces critères de performances sont utilisés dans le cadre normatif.

Les valeurs de performances utilisées précédemment correspondent au fonctionnement à pleine charge. Mais un système de climatisation (comme un système de chauffage) ne fonctionnera dans l'année que très peu de temps à pleine charge. La classification des systèmes sur la base de la seule performance à pleine charge ne permet donc pas de distinguer la capacité des différents équipements à s'adapter plus ou moins bien à **la charge partielle**.

Il a été défini, dans le cadre d'un récent projet européen (projet EECCAC), un coefficient appelé **ESEER** (pour European Seasonal Energy Efficiency Ratio), qui devrait être utilisé dans les prochaines publications du catalogue Eurovent<sup>37</sup>. Cette pratique devrait se généraliser avec la mise en place très prochaine d'indices de performance saisonniers européens ; le projet de norme correspondant prEN14825 est actuellement à l'enquête.

### ► La directive Européenne Eco-conception (EUP)

La prochaine directive Européenne Eco-conception risque d'impacter fortement le secteur de la climatisation.

La directive 2005/32/CE du Parlement européen et du Conseil, du 6 juillet 2005, établissant un cadre pour la fixation d'exigences en matière d'écoconception applicables aux produits consommateurs d'énergie vise à diminuer l'impact environnemental des produits consommateurs d'énergie mis sur le marché en Europe. Elle est le résultat d'un accord entre 3 directions de la Commission : Entreprise, Energie et Environnement.

26 études préparatoires ont été lancées par la Direction Energie de la Commission Européenne et 6 autres par la Direction Entreprise. 9 mesures d'application ont déjà été prises depuis 2005. Ces mesures devraient permettre d'économiser 12 % de la consommation énergétique européenne de 2010 à l'horizon 2020. Le potentiel d'économies restant dans les mesures non encore finalisées est très important.

Cette directive a été révisée en 2009. La principale modification concerne le champ d'application qui a été étendu des produits consommateurs d'énergie aux produits liés à l'énergie.

---

<sup>36</sup> le lendemain de la parution des deux arrêtés au journal officiel

<sup>37</sup> **Eurovent Certification** certifie les performances de produits de climatisation et de réfrigération, en accord avec les normes européennes et internationales.

Plusieurs études sont susceptibles d'influencer l'impact environnemental de la climatisation en France :

- DG ENER Lot 10 : Airco and ventilation (secteur résidentiel).
- DG ENER Lot 11 : Electric motors (1- 150kW), water pumps, circulators in buildings, ventilation fans (non-residential). Des mesures génériques ont été prises qui vont fortement contribuer à réduire les consommations des moteurs électriques mais aussi des circulateurs et des ventilateurs utilisés par les systèmes de climatisation tertiaires et industriels ;
- DG ENTR Lot 6 : Air-conditioning and ventilation systems.

Suite à l'étude préparatoire du Lot 10, des mesures ont été proposées pour les climatiseurs de puissance frigorifique inférieure à 12 kW. Les mesures introduisent un index de performance énergétique saisonnier proche de ce qui se fait aux Etats-Unis et au Japon mais adapté aux climats européens. Les mesures viseraient notamment à :

- Imposer des seuils de performances énergétiques ambitieux mis au niveau des marchés les plus efficaces tels que les Etats-Unis et le Japon, qui permettraient d'éliminer de facto les climatiseurs splits non équipés d'Inverter ;
- Proposer un nouvel étiquetage des produits ; deux propositions ont été émises par la Commission et seront soumises au vote des Etats Membres. En effet, les efficacités EER<sup>38</sup> de différentes catégories de produits (splits, single duct) doivent être mesurées dans des conditions différentes. Ceci a conduit à avoir plusieurs étiquettes différentes, une par type de climatiseur, limitant la lisibilité de l'étiquetage par le consommateur. La Commission propose donc de remettre tous les équipements sur une même échelle, ce qui aurait pour conséquence directe de favoriser les équipements les plus efficaces ;
- Augmenter l'efficacité des produits, il faut augmenter la taille des échangeurs et le débit d'air les traversant. Ceci peut amener une augmentation significative du bruit émis par les équipements. La Commission Européenne a donc proposé également des gardes fous sur le bruit des climatiseurs ;
- Mettre en place une aide au développement des réfrigérants à faible PRG : en vue d'aider au développement de machines fonctionnement au HFOs développés pour la climatisation automobile, les seuils de performance sont fixés 5 % plus bas que pour les machines fonctionnant avec des fluides ayant un PRG supérieur à 150. Ce seuil passe à 15% pour les fluides à PRG nul. La performance réelle de la machine serait affichée sur l'étiquette.

Le potentiel d'amélioration de l'efficacité des ventes des climatiseurs est important. Les Etats Membres sont encouragés à promouvoir les plus hautes classes d'efficacité énergétique dans le cadre de l'exemplarité des administrations publiques.

## **V.4. Limitation des rejets de fluides frigorigènes de la climatisation embarquée**

### **V.4.1) Les leviers d'actions actuels**

#### **▶ Limiter les rejets de fluides frigorigènes**

Concernant l'usage des fluides frigorigènes dans la climatisation automobile, la poursuite de l'utilisation de ces derniers impose des contraintes concernant leur rejet dans l'environnement.

Des mesures ont déjà été prises dans ce sens. Par exemple, la récupération des fluides frigorigènes en fin de vie par l'application de la directive européenne n°2000/53/CE visant à limiter la production de déchets et à en assurer le recyclage, bien qu'elle soit pour l'instant peu appliquée.

---

<sup>38</sup> Coefficient d'efficacité frigorifique

### ► Utiliser des fluides moins nocifs pour l'environnement

L'utilisation de fluides frigorigènes avec faible PRG permet de réduire les émissions en équivalent CO<sub>2</sub> de la climatisation.

L'interdiction du R-12, nocif pour son action sur la couche d'ozone et possédant un PRG de 10 900, en 1994 a contribué à limiter les impacts en termes de rejets en équivalent CO<sub>2</sub>.

La directive européenne n°2006/40/CE du Parlement européen concernant les émissions provenant des systèmes de climatisation des véhicules à moteur interdit dès 2011 l'utilisation de fluides avec un PRG supérieur à 150 pour les nouveaux modèles et dès 2017 pour toutes les voitures neuves. En outre, sur les circuits neufs contenant des fluides de PRG supérieur à 150 elle impose dès 2008 une valeur de fuite annuelle à ne pas dépasser (40 g/an pour les boucles à un seul évaporateur et 60 g/an pour les boucles à double évaporateur). La tendance actuelle semble désigner les HFOs<sup>39</sup>, et plus particulièrement le HFO-1234yf (PRG=4) comme successeur du R-134a (PRG=1300).

## V.4.2) Les technologies alternatives

### ► Climatisation évaporative

Pour les machines agricoles, les véhicules lourds (camions porteurs et semi-remorques, bennes à ordures ménagères) et de transports en commun de personnes (autocars, autobus, minibus), une climatisation alternative peut être envisagée : la climatisation évaporative. Elle fonctionne sans compresseur ni fluide frigorigène mais nécessite un réservoir d'eau qui doit être rempli quotidiennement. Ce système ne permet pas de réduire la température de l'habitacle aussi bas qu'avec une climatisation classique avec un compresseur mais permet de rafraîchir l'air et l'humidifier. Par ailleurs, la climatisation évaporative met en légère surpression l'habitacle à rafraîchir, ce qui est particulièrement intéressant dans le cas de matériels roulant dans des ambiances poussiéreuses et polluées (machines agricoles, engins de carrière ...) car elle limite la contamination de l'air de l'habitacle et protège donc le (ou les) occupant(s). La grande majorité des applications actuelles concerne les machines agricoles.

Une étude menée par l'ADEME<sup>40</sup> estime le potentiel de gains en émissions de gaz à effet serre, lié à l'absence de fluide frigorigène. Ainsi, la généralisation de la climatisation évaporative sur l'ensemble des machines agricoles climatisées, estimé à 4 % du parc de machines agricoles, permettrait un gain de près de 20 kt équivalent CO<sub>2</sub> par an. Si 10 % du parc de camions, de bus et de car utilisaient la climatisation évaporative à la place d'une climatisation classique, les gains dus à l'absence de rejets de fluide frigorigène s'élèveraient à 80 kt équivalent CO<sub>2</sub> par an.

Types de véhicule	Gain potentiel sur l'effet de serre de la climatisation évaporative par rapport à la climatisation "classique" par compression	
	par équipement et par an	pour le parc climatisé et par an
Machines agricoles	0,5 t éq. CO <sub>2</sub> / an	31,5 kt éq. CO <sub>2</sub> / an
Camions	2,3 t éq. CO <sub>2</sub> / an	132,4 kt éq. CO <sub>2</sub> / an
Bus et Cars	8,6 t éq. CO <sub>2</sub> / an	70,1 kt éq. CO <sub>2</sub> / an
<b>TOTAL</b>		<b>234,0 kt éq. CO<sub>2</sub> / an</b>

Figure 31 : Gain potentiel sur l'effet de serre de la climatisation évaporative par rapport à la climatisation par compression (source : ADEME/CETIAT, 2005)

<sup>39</sup> HFOs : hydrofluoro-oléfines

<sup>40</sup> Etude effectuée en 2005 par l'ADEME sur les données du parc de véhicules de 2002.

## V.5. Recommandations

---

### ► En métropole

La climatisation des bâtiments est un usage encore faiblement développé dans le secteur résidentiel et globalement peu développé dans le tertiaire. Cet état de diffusion est toutefois variable selon les zones climatiques.

Les enjeux concernant la climatisation sont surtout liés à la rapidité de sa diffusion ces dernières années. Cette vitesse de diffusion sera plus ou moins accélérée selon les aléas et les impacts du changement climatique. Ainsi elle pourrait suivre l'état de diffusion de la climatisation embarquée, équipant dès aujourd'hui plus de la moitié des automobiles du parc français. Il faut donc anticiper dès aujourd'hui un développement important de cet usage durant les prochaines années, qui assurément se produira.

- Concernant l'impact direct lié à l'usage des fluides frigorigènes :

Bien que des actions aient déjà été entreprises permettant d'en limiter les effets, il faudrait encore faire attention aux points suivants :

- La filière de récupération de ces fluides en fin de vie des équipements s'est organisée ces dernières années, mais compte tenu de la relative jeunesse de cette filière, peu d'informations permettent encore d'en évaluer l'efficacité. Il faudrait donc veiller à ce que la remontée des informations, notamment de taux de récupération et de traitement des fluides, soit assurée ;
- Concernant la climatisation des véhicules, malgré l'obligation réglementaire de récupération des fluides frigorigènes en fin de vie des véhicules, les premiers résultats tendent à penser que la filière de récupération ne s'est pas encore créée. Il faudrait donc assurer la création d'une filière efficace à ce niveau.

Les scénarios de projection des émissions de fluides frigorigènes montrent que : bien que les effets des mesures prises depuis 2000 aient été importants, le développement d'une filière de récupération en fin de vie efficace, associée à l'utilisation de fluides frigorigènes à faible pouvoir de réchauffement global permettrait à l'avenir de diminuer de manière relativement importante l'impact de la climatisation, l'abaissant à un niveau plus faible qu'il ne l'est aujourd'hui.

- Concernant les consommations d'énergie liées à la climatisation :

La diffusion de la climatisation dans les bâtiments pourrait à l'avenir faire que cet usage participe activement aux pointes d'été de la consommation électrique.

A l'heure actuelle, il n'est pas possible de déterminer le contenu CO<sub>2</sub> à attribuer à cet usage, ainsi que son évolution en cas de diffusion massive. Il serait souhaitable que des études soient menées afin de pouvoir quantifier cet impact environnemental indirect.

### ► Le cas des départements d'Outre-mer

La diffusion de la climatisation est beaucoup plus élevée dans ces territoires qu'en métropole, en raison de leur climat plus chaud. L'impact de la climatisation y est toutefois difficilement quantifiable par manque de données. Les enjeux associés au développement de la climatisation y sont pourtant plus élevés qu'en métropole, du fait de son importance dans les consommations d'électricité ainsi et de l'utilisation d'énergies émettrices de CO<sub>2</sub> pour la production électrique. De fait, il faudrait pour ces départements :

- Organiser des moyens de remontée de données concernant :
  - les taux de diffusion de la climatisation dans les bâtiments et les transports ;
  - les émissions de fluides frigorigènes et leur impact en termes de gaz à effet de serre ;
  - les consommations électriques liées à cet usage, en termes de quantité et d'impact sur la courbe de charge.

- Il faudrait de plus :
  - organiser une filière de récupération des fluides frigorigènes ;
  - assurer la qualité des systèmes installés ;
  - promouvoir les solutions alternatives permettant de limiter, voire d'éviter, le recours aux systèmes de climatisation dans les bâtiments.

De manière plus générale, une étude prospective associant l'impact direct des fluides frigorigènes, ainsi que l'impact indirect lié à la production d'énergie devrait être menée, prenant en compte les dernières évolutions réglementaires.

## V.6. L'évaluation des possibilités de maîtrise des impacts de la climatisation

---

Nous reprenons dans cette étude les résultats des scénarios de projection à l'horizon 2025 des émissions de fluides frigorigènes effectués par le CEP ARMINES<sup>41</sup>. Ces projections sont effectuées chaque année à 15 ans au périmètre géographique « métropole ». Ces résultats sont calculés selon trois scénarios de projections. Ces scénarios sont définis par les mesures réglementaires existantes ou en préparation, mais aussi suivant les tendances technologiques ou environnementales actuellement observées (développement des fluides à faible PRG, par exemple). Les trois scénarios sont définis de la manière suivante<sup>42</sup> :

- **Le scénario 1** définit la ligne de référence des émissions de fluides frigorigènes si aucune mesure n'avait été prise depuis 2000. Il reflète donc les pratiques habituelles typiquement observées entre 1995 et 2000 ;
- **Le scénario 2** reflète les pratiques actuelles, c'est-à-dire que ce scénario prend en compte les différentes mesures qui ont été prises depuis l'année 2000 : amélioration de la récupération en fin de vie, contrôle d'étanchéité, certification des entreprises intervenant et achetant des circuits frigorigènes etc. **Ce scénario doit donc être considéré comme le scénario réaliste** ;
- **Le scénario 3** prend en compte des mesures supplémentaires (concrètement ceci passe par l'introduction d'un fluide frigorigène à faible PRG) ou un renforcement des mesures actuelles permettant de réduire le niveau d'émissions en équivalent CO<sub>2</sub>.

Les projections à horizon 2025 des trois scénarios permettent d'identifier les effets des mesures prises depuis 2000 qui ont un impact significatif sur les émissions futures. On observe qu'elles ont eu pour effet une **réduction de près de 10,6 Mt équivalent CO<sub>2</sub>, soit 75% de réduction des émissions annuelles en 2025** (différence entre le scénario 1 et 2). Cet impact est largement prépondérant sur les émissions de la climatisation embarquée, **l'effet majoritaire étant l'amélioration de l'étanchéité des systèmes due à la réglementation européenne 2006/40/CE.**

Le scénario 3 permet **d'identifier un gisement de réduction de gaz à effet de serre égal à près de 1,2 millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub> annuel en 2025** (comparaison entre le scénario 2 et le scénario 3), soit une réduction de 34% des émissions, **en améliorant la récupération en fin de vie dans tous les secteurs et en introduisant l'utilisation de fluide à faible PRG dans la climatisation fixe.**

---

<sup>41</sup> ARMINES (2011). S. BARRAULT, S. SABA, D. CLODIC, *Inventaires des émissions des fluides frigorigènes et leurs prévisions d'évolution jusqu'en 2025.*

<sup>42</sup> Les hypothèses sectorielles des trois scénarios sont détaillées dans l'annexe technique n°3.

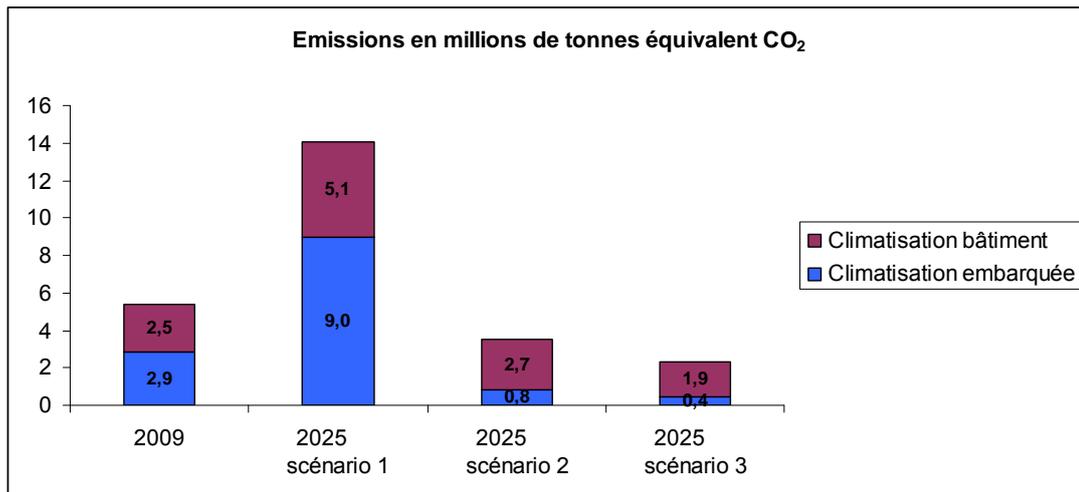


Figure 32 : Comparaison des émissions de la climatisation en millions de tonnes eq. CO<sub>2</sub> entre 2009 et 2025 pour les trois scénarios de référence.

#### Ce qu'il faut retenir sur la maîtrise des impacts de la climatisation :

- **Des mesures techniques permettent de réduire les impacts de la climatisation tel que :**
  - La diminution des besoins par l'amélioration du bâti.
  - L'amélioration de l'efficacité des systèmes de climatisation.
  - Le développement des techniques de rafraîchissement basse-consommation dans le bâtiment, ou le développement de technologies émergentes dans les transports.
  - L'utilisation de fluides frigorigènes moins nocifs pour l'environnement.
  - L'amélioration du confinement des fluides frigorigènes tout au long de la vie des équipements.
- **Des mesures réglementaires permettent de limiter les consommations d'énergie de la climatisation :**
  - Les réglementations thermiques dans les bâtiments, avec notamment l'introduction d'un indicateur spécifique sur l'aspect conception bioclimatique des bâtiments dans la nouvelle réglementation thermique.
  - L'information sur la performance énergétique des systèmes (étiquette énergie).
  - Les normes et seuils de performances minimales pour les systèmes.
  - La prochaine directive Européenne Eco-conception va introduire des exigences plus contraignantes sur les mesures réglementaires citées ci-dessus.
- **Des mesures réglementaires permettent de diminuer les impacts directs de la climatisation :**
  - En interdisant l'utilisation de fluides frigorigènes à fort PRG.
  - En améliorant le fonctionnement des systèmes de forte puissance, grâce à des conseils personnalisés fournis lors d'une inspection périodique.
  - En améliorant les filières de récupération des fluides frigorigènes en fin de vie des équipements.
- **Les projections à 15 ans des émissions dues à la climatisation montrent que :**
  - Les mesures réglementaires prises depuis 2000 afin de limiter les émissions vont avoir des effets importants (-75% d'émissions en 2025 par rapport à un scénario sans mesures).
  - L'amélioration des mesures existantes et la mise en place de nouvelles mesures visant à améliorer la récupération des fluides en fin de vie des équipements et à introduire l'utilisation de fluides à faible PGR pourraient permettre une réduction supplémentaire de 34% des émissions.

## Liste des figures

Figure 1: Evolution des ventes annuelles de climatiseurs individuels.....	10
Figure 2 : Evolution des ventes annuelles de systèmes de climatisation destinés au secteur Tertiaire.....	11
Figure 3 : Répartition du parc de résidences principales climatisées selon la zone climatique	12
Figure 4: Evolution du parc de résidences principales climatisées et du taux d'équipement de climatisation (avec PAC réversibles) en France métropolitaine.....	12
Figure 5 : Surfaces en millions de m <sup>2</sup> .....	14
Figure 6 : Part de la surface climatisée par branche d'activité tertiaire.....	14
Figure 7 : Reconstitution des surfaces climatisées (en millions de mètres carrés) et du taux de climatisation à l'échelle régionale pour l'année 2003 (enquêtes annuelles CEREN).....	15
Figure 8 : Taux de pénétration de la climatisation à saturation en fonction du nombre de degré-jours (McNeil & Letschert, 2010).....	16
Figure 9 : Evolution de la surface des pare-brise de véhicules.....	19
Figure 10 : Evolution du nombre d'automobiles climatisées en circulation en France métropolitaine (source : INSEE et TNS Worldpanel).....	20
Figure 11 : Pouvoir de réchauffement global (PRG) de quelques gaz frigorigènes.....	24
Figure 12 : Répartition sectorielle des émissions de fluides frigorigènes en équivalent CO <sub>2</sub> en 2009.....	26
Figure 13 : Répartition des émissions de fluides frigorigènes en équivalent CO <sub>2</sub> liées à la climatisation en 2009.....	27
Figure 14 : Emissions de CO <sub>2</sub> de la France en 2009 et part des fluides frigorigènes.....	27
Figure 15 : Puissance appelée par type de moyen de production au cours de l'hiver 2008-2009 - Source UFE.....	29
Figure 16 : Evolution de l'amplitude journalière au cours d'une semaine d'été en 2007, 2020 et 2030 (source : source RTE, avec les hypothèses de l'Observatoire de l'énergie)......	30
Figure 17 : Consommations électriques annuelles liées à l'usage de la climatisation en GWh	31
Figure 18 : Répartition par branche tertiaire des consommations liées à la climatisation.....	32
Figure 19 : Répartition des types d'installations de climatisation des différentes branches du secteur tertiaire.....	32
Figure 20 Consommation d'électricité des bâtiments liée à l'usage de la climatisation en 2007.....	33
Figure 21 Consommations d'électricité liées à la production de froid dans le secteur de l'industrie, en GWh (CEREN).....	34
Figure 22 : Consommations d'électricité en TWh du secteur de l'industrie en 2002.....	35
Figure 23 : Emissions de CO <sub>2</sub> de la climatisation embarquée.....	37
Figure 24 : Nombre de résidences principales climatisées en 1999 et 2006 (INSEE).....	39
Figure 25 : Mix énergétique de production électrique des DOM en 2006 (EDF).....	40
Figure 26 : Répartition de la consommation électrique en Guadeloupe en 2006 (PRERURE) ..	42
Figure 27 : Pourcentage de résidences principales climatisées (INSEE).....	42
Figure 28 : Projection du nombre de ménages climatisés à l'horizon 2020 (INSEE 2006 et EDF 2007).....	43
Figure 29 : Les réglementations sur les fluides frigorigènes, du cadre international à l'application nationale (ADEME).....	47
Figure 30 : Catégories de substances nocives pour la couche d'ozone réglementées par le protocole de Montréal.....	48
Figure 31 : Gain potentiel sur l'effet de serre de la climatisation évaporative par rapport à la climatisation par compression (source : ADEME/CETIAT, 2005).....	59
Figure 32 : Comparaison des émissions de la climatisation en millions de tonnes eq. CO <sub>2</sub> entre 2009 et 2025 pour les trois scénarios de référence.....	62
Figure 33 : Climatiseur mobile.....	70
Figure 34 : Climatiseur fenêtre.....	70
Figure 35 : climatiseur mono-split.....	70

Figure 36 : climatiseur multi-split.....	70
Figure 37 : Régulation avec technologie Inverter (Airwell).....	71
Figure 38 : Ventes annuelles des systèmes de climatisation (Source : Clim'info).....	73
Figure 39 : Flux physiques liés à l'amont de la filière (Source : ADEME).....	75
Figure 40 : Flux relatif à l'aval de la filière (Source : ADEME).....	76
Figure 41 : Projections des émissions de fluides frigorigènes associées à la climatisation par GRE en tonnes équivalent CO <sub>2</sub> .....	80
Figure 42 : Projections des quantités de fluides frigorigènes récupérées sur les GRE.....	80
Figure 43 : projections des marchés en climatisation individuelle et centralisée (CEP ARMINES) .....	81
Figure 45 : Projections de la récupération des fluides frigorigènes.....	82
Figure 47 : Scénarios des quantités récupérées de fluides frigorigènes pour la climatisation embarquée (Source : CEP ARMINES).....	83

## Liste des acronymes

CEREN : Centre d'Etudes et de Recherches Economiques sur l'Energie  
CEE : Certificats d'économies d'énergie  
CFC : Chlorofluorocarbures ou hydrocarbures halogénés  
COSTIC : Centre d'Etudes et de Formation Génie Climatique Equipement Technique du Bâtiment  
CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment  
CTA : Centrale de Traitement d'Air  
DEEE : Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques  
DRV : Systèmes à Débit de Réfrigérant Variable  
EDF : Electricité de France  
EDF-SEI : EDF Systèmes Energétiques Insulaires  
EDM : Electricité de Mayotte  
EER : Coefficient d'efficacité frigorifique  
EUP : Energy-using products  
GRE : Groupe de production d'eau glacée  
GWP : Global Warming Potential  
HCFC : Hydrochlorofluorocarbures  
HFC : Hydrofluorocarbures  
HFO : Hydrofluoro-oléfines  
ICPE : installations classées pour la protection de l'environnement  
INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques  
LBNL : Lawrence Berkeley National Laboratory  
ODP : Ozone Depletion Potential  
ONERC : Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique  
PAC : Pompe à Chaleur  
PDO : Potentiel de Détérioration de la couche d'Ozone  
PRG : Pouvoir de Réchauffement Global  
PRME : programme régional de maîtrise de l'énergie  
RTAA DOM : Réglementation Thermique Acoustique Aération DOM  
UFE : Union Française de l'Electricité  
UTAC : Union technique de l'automobile du motocycle et du cycle  
VHU : Véhicule Léger Utilitaire  
ZNI : Zones non-interconnectées

# Lexique

**Climatisation centralisée :** La climatisation centralisée est une installation de climatisation permettant de climatiser la totalité d'un bâtiment.

**Climatisation décentralisée :** La climatisation décentralisée s'effectue de manière indépendante dans chaque pièce d'un bâtiment, par exemple avec un climatiseur split par pièce.

**Climatisation réversible :** Le terme climatisation réversible désigne un équipement ou système permettant à la fois de remplir les fonctions de chauffage et de refroidissement.

**Compresseur :** Le compresseur d'un cycle à compression de vapeur permet de comprimer le gaz (fluide frigorigène) et donc d'augmenter sa température afin de rejeter la chaleur extraite dans le bâtiment dans l'environnement extérieur. Il est entraîné par moteur électrique.

**Condenseur :** Le condenseur est l'échangeur de chaleur d'un climatiseur ou GRE permettant de céder la chaleur extraite dans le bâtiment à l'air extérieur ou à un fluide caloporteur intermédiaire.

**Détendeur :** Le détendeur d'un climatiseur ou d'une pompe à chaleur est un organe déprimogène permettant d'imposer une perte de pression au fluide frigorigène après qu'il ait cédé la chaleur extraite au bâtiment au condenseur pour que sa température baisse à nouveau et qu'il puisse ainsi extraire à nouveau la chaleur du bâtiment.

**Détente directe :** On appelle détente directe les équipements de climatisation de type Air/Air.

**Evaporateur :** L'évaporateur d'un climatiseur ou d'une pompe à chaleur est l'échangeur de chaleur dans lequel la chaleur est extraite de l'air de la pièce à climatiser (directement ou par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur) et cédé au réfrigérant.

**Fluide frigorigène :** Un fluide frigorigène est un fluide qui présente des particularités physiques permettant de l'exploiter dans un cycle de compression/détente pour transférer des calories.

**Free cooling** Le principe général consiste à profiter d'une source froide de température inférieure à la température de consigne du bâtiment climatisé. Cela désigne généralement le fonctionnement de la centrale de traitement d'air en tout air neuf (au-delà du niveau de ventilation hygiénique) lorsque la température extérieure est inférieure à la température de consigne à l'intérieur du bâtiment. Mais d'autres systèmes existent.

**Ventilation nocturne :** Principe qui consiste à ventiler un bâtiment la nuit afin de profiter de la température nocturne plus fraîche.

**Pompe à chaleur (PAC) :** Pompe à chaleur ou PAC est un cycle à compression de vapeur permettant, par apport d'énergie mécanique ou chimique, de relever le niveau de température d'une source d'énergie renouvelable telle que l'air, l'eau d'une nappe phréatique, l'eau de mer, l'eau de rivière sol, le sous-sol.

## BIBLIOGRAPHIE

- ADEME. (2008). *Guide des facteurs d'émissions Bilan Carbone dans les DOM*.
- ADEME. (2003). *La climatisation automobile : données et références*.
- ADEME. (2006, Octobre). *La climatisation automobile : impacts consommation et pollution*.
- ADEME. (2007, Octobre). *La climatisation des autobus : impacts consommation et pollution*.
- ADEME. (2005a). *La climatisation des véhicules industriels et des transports en commun de personnes. Comparatif de la climatisation évaporative par rapport à la climatisation "classique" par compression*.
- ADEME. (2010). *Observatoire des fluides frigorigènes : rapport annuel des données 2008*.
- ARENE PACA. (2000). *Confort d'été en Provence Alpes Côte d'Azur*.
- ARMINES. (2011). S. BARRAULT, S. SABA, D. CLODIC, *Inventaires des émissions des fluides frigorigènes et leurs prévisions d'évolution jusqu'en 2025*.
- ARMINES. (2010). S. BARRAULT, S. SABA, D. CLODIC, *Inventaires des fluides frigorigènes*.
- ARMINES pour ADEME. (2003). *Méthode de mesure et mesures des surconsommation des climatisations automobiles*.
- Bio Ethique pour ADEME. (2009). *Etude du cadre réglementaire, technique et économique des nouvelles contraintes de dépollution des véhicules hors d'usage Données 2008*.
- Cabinet Sidler/ ADEME. (1998). *Campagne de mesures sur les usages électriques dans le secteur résidentiel en Guyane*.
- Centre Énergétique de l'École des Mines de Paris . (2004). *Measurement of leak flow rates of mobile air conditioning components and systems* .
- CEP ARMINES. (2005). *Method of Test and Measurements of Fuel Consumption Due to Air Conditioning Operation on the New Prius II Hybrid Vehicle*.
- CEREN. (juillet 2004). *Consommations liées à la production de froid dans le secteur résidentiel, tertiaire, industriel et agricole* .
- CEREN. (2007). *Description des Installations de climatisation dans le secteur tertiaire. Les installations de climatisation 2004-2005*.
- CEREN. *Dynamique des parcs climatisés tertiaires par région*.
- CEREN. (Octobre 2007b). *La MDE dans les usages du froid à l'horizon 2020*.
- CEREN. (2008). *Les installations de climatisation dans les secteurs tertiaire et résidentiel en 2007*.
- CEREN. (juillet 2009). *Panel climatisation 2007*.
- CEREN. (2003). *Suivi des parcs et des consommations énergétiques du résidentiel et du tertiaire dans les DOM en 2000*.
- CEREN. (2007). *SUIVI DU PARC ET DES CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE DU SECTEUR TERTIAIRE*.
- CEREN. (2009). *Suivi du parc et des consommations du parc résidentiel 2008*.
- CETIAT. *LES DIFFERENTS PROCEDES DE REFROIDISSEMENT D'EAU DANS LES INSTALLATIONS INDUSTRIELLES ET TERTIAIRES*.
- CITEPA. (2009). *Inventaire des émissions de gaz à effet de serre en France de 1990 à 2007/ CCNUCC*.
- Concept énergie et technique solaire. (2004). *Etude de marché des équipements électrodomestiques en Martinique*.
- Concept Energie et Technique Solaire. (2005). *Etude de marché des équipements électrodomestiques en Martinique*.

Convention ADEME – ARMINES – Centro di Recherche Fiat n°01.66. 067. (2003). *Méthode de mesure et mesures des surconsommation des climatisations automobiles.*

Convention ADEME – ARMINES n°00.66.043. (2001). *Caractérisation de compresseurs de climatisation automobile à pilotage externe .*

Convention ADEME – ARMINES n°04.66.C0036 . (2006). *Mesures de débits de fuite de composants et de boucles complètes de climatisation automobile par spectrophotométrie infrarouge .*

COSTIC. (2008). *Evaluation de la pertinence des systèmes de stockage de froid pour la climatisation.*

COSTIC. (2007). *La climatisation des bâtiments : Techniques et enjeux environnementaux.*

CSTB. (s.d.). Récupéré sur [www.rt-bâtiment.com](http://www.rt-bâtiment.com).

CSTB. (2007). *Comparaison internationale Bâtiment et énergie : Climatisation basse consommation.*

D.J. Sailor, D. a. (2003). *Air conditioning market saturation and long-term response of residential cooling energy demand to climate change. Energy, Volume 28, Issue 9, July 2003, Pages 941-951.*

EDF. (2007). *Bilan prévisionnel pluriannuel des investissements dans les DOM et la Corse.*

Explicit et Axenne. (2006). *Plan Energétique Régional Pluriannuel de prospection et d'exploitation des énergies renouvelables et d'utilisation rationnelle de l'énergie.*

Filfli, S. (2005). *Thèse de Doctorat, Ecole des Mines de Paris. Optimisation bâtiment/système pour minimiser les consommation dues à la climatisation. .*

G. El Khoury and D. Clodic/ ARMINES. (2005). *Method of Test and Measurements of Fuel Consumption Due to Air Conditioning Operation on the New Prius II Hybrid Vehicle.*

GPEN/DDEN. *GUIDE DE L'ACHAT PUBLIC ECO-RESPONSABLE.*

IEPF. *EFFICACITE ENERGETIQUE DE LA CLIMATISATION EN REGION TROPICALE TOME 2.*

IPSOS pour EDF. (2006). *Etude du marché de la climatisation : Rapport d'étude et compléments.*

Marché ADEME – ARMINES n°05.66.C0050. (2006). *Analyse de la surconsommation énergétique de boucles de climatisation en fonction du niveau de la charge de fluide frigorigène.*

Marché ADEME – IFP n°05.66.C0031. (2006). *Mesures de la surconsommation et de la surémission de polluants dues au fonctionnement de la climatisation sur des véhicules particuliers.*

Marché ADEME – UTAC n°03.66.010 . (2003). *Influence de deux systèmes de climatisation sur la consommation volumique de carburant de deux autobus urbain Renault Agora.*

Michael A. McNeil, V. E. (2010). *Modeling diffusion of electrical appliances in the residential sector Energy and Buildings 42. 783–790.*

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer. (2009). *Plan climat de la France.*

ONERC. (2009). *Impact du changement climatique, .*

Rivière P. et al, ARMINES. (2009). *Preparatory study on the environmental performance of residential room conditioning appliances (airco and ventilation), available on : [www.ecoaircon.eu/](http://www.ecoaircon.eu/) .*

TNS SOFRES. (2009). *L'équipement des ménages français en climatisation et leurs souhaits d'équipements.*

TNS Worldpanel. (2008). *Panel d'automobilistes.*

Yingzhong YU, M. P. (2008). *Thèse de Doctorat, Ecole des Mines de Paris.Thèse : Approche générique des modes d'émissions de HFC-134a des systèmes de climatisation automobile.*

# Annexe technique n° 1 : Les différents systèmes de climatisation

Rappel : la différenciation des technologies de climatisation se base sur les systèmes de distribution du froid qui les composent. Selon l'analyse du COSTIC (COSTIC, 2007), sur les différents systèmes de climatisation du bâtiment, ces systèmes sont répartis selon trois grandes familles :

- **Les systèmes à détente directe**

Principe :

On parlera de systèmes « à détente directe » lorsque la batterie refroidissant l'air est directement l'évaporateur<sup>43</sup> (ou le condenseur) d'une machine frigorifique. Ainsi on peut d'une certaine manière dire que **la production de froid et sa distribution s'effectue directement dans l'ambiance à climatiser.**

Application :

Les autres organes du circuit frigorifique peuvent ou non se trouver dans le même équipement que l'émetteur. On distinguera donc :

- les systèmes monoblocs : climatiseurs fenêtre ou climatiseurs mobiles,
- les systèmes à éléments séparés (ou « split system »).

**Ces systèmes sont très répandus dans le secteur du résidentiel individuel ou au traitement d'une seule pièce d'un bâtiment tertiaire.** La climatisation individuelle peut être définie par une gamme de puissance frigorifique allant jusqu'à 12 kW d'après les textes réglementaires, ou 17,5 kW d'après certaines données du secteur (par exemple les études de marché Clim'info).

- Les systèmes monoblocs

Ces appareils rassemblent sous un même boîtier tous les équipements du circuit frigorifique.

On parle de climatiseurs de fenêtres (ou **window**) pour les appareils placés à la jonction intérieur/extérieur du local. Ils sont très utilisés pour assurer le confort des bâtiments temporaires ou préfabriqués. On parle de **climatiseurs mobiles** pour les appareils monoblocs rejetant la chaleur du local au travers d'une gaine flexible passant dans l'entrebâillement d'une fenêtre ou d'une porte (cf. figures ci-dessous). **Ces appareils sont bruyants, car l'ensemble de la machine est située dans l'ambiance à climatiser, et peu performants de par leur compacité (critère de conception dominant).**

---

<sup>43</sup> Evaporateur, condenseur, détendeur, compresseur : voir lexique

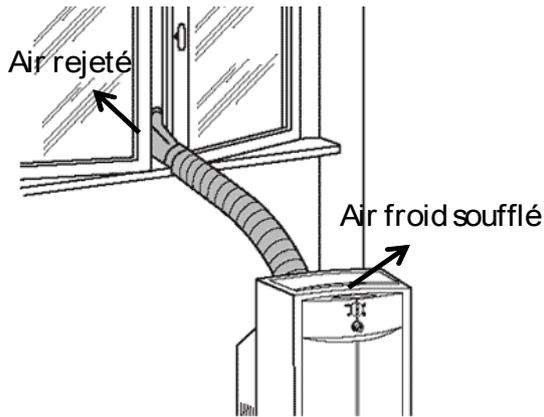


Figure 33 : Climatiseur mobile

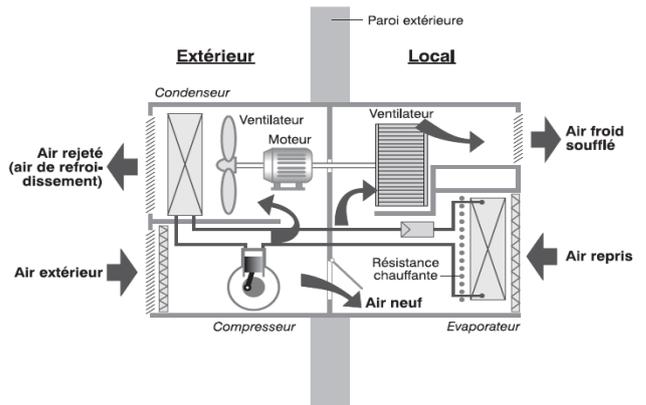


Figure 34 : Climatiseur fenêtre

➤ Les climatiseurs Split

Les climatiseurs Split sont composés de deux éléments : une unité extérieure et une unité intérieure.

L'unité extérieure comprend entre autre le compresseur (principale source sonore). L'unité intérieure comprend principalement l'évaporateur. Ces deux unités étant reliées par des liaisons frigorifiques, où circule le fluide frigorigène.

On distingue les unités **mono-split**, composées d'une unité intérieure et une unité extérieure, des **multi-splits** pour lesquelles plusieurs unités intérieures (permettant ainsi de climatiser plusieurs pièces) peuvent être raccordées à une même unité extérieure.

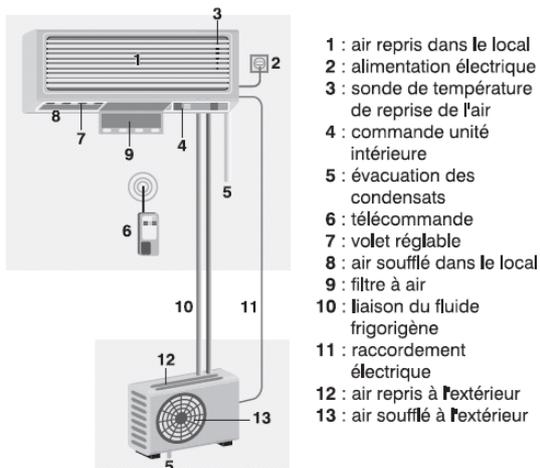


Figure 35 : climatiseur mono-split



Figure 36 : climatiseur multi-split

Enfin, parmi les systèmes de climatisation à détente directe, il existe des produits prévus pour des applications spécifiques concernant le tertiaire. Peuvent être cités ici :

- les unités de toiture (**ou « roof-tops »**) utilisées pour climatiser les centres commerciaux,
- **les armoires de climatisation** pour les salles informatiques ou les galeries marchandes des centres commerciaux.

### Technologies émergentes :

Ici seront explicitées quelques améliorations technologiques dont la progression est surveillée spécifiquement au sein des études de marché, et qui sont donc mentionnées dans les parties suivantes.

- Résidentiel : les systèmes « Inverter »

Un système split traditionnel fonctionne uniquement en mode « tout ou rien », c'est-à-dire qu'il s'arrête lorsque la température souhaitée est atteinte et redémarre dès que l'installation demande de la fraîcheur pour atteindre la température de consigne. Par contre, un système split Inverter adapte sa puissance en fonction des besoins thermiques de l'installation. Pour cela, elle fait varier la vitesse du moteur du compresseur. Ces systèmes se rencontrent dans les climatisations individuelles.

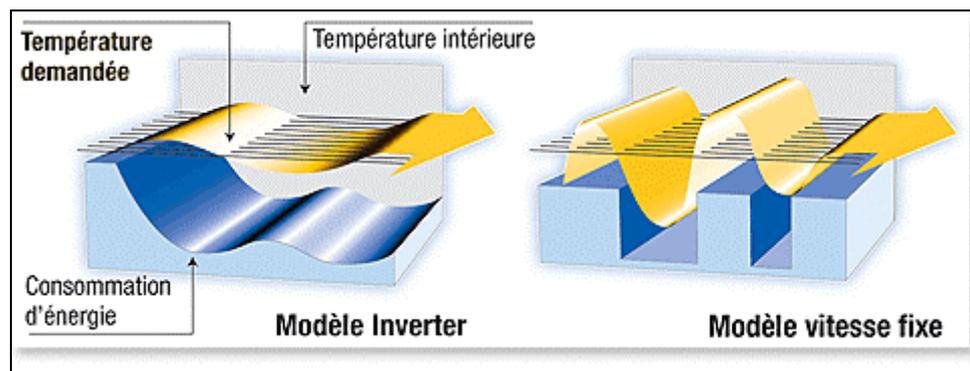


Figure 37 : Régulation avec technologie Inverter (Airwell)

Les systèmes Inverter permettent, en plus d'apporter un confort supplémentaire en limitant les variations de températures, d'effectuer des économies d'énergie substantielles par rapport à une installation classique. Les gains énergétiques peuvent s'élever jusqu'à 30%. Ces systèmes présentent un surcoût d'investissement, mais le marché est en augmentation constante.

- Tertiaire : Systèmes à Débit de Réfrigérant Variable (DRV)

Les systèmes DRV sont des systèmes à détente directe à éléments séparés. L'unité extérieure est raccordée à plusieurs unités intérieures (jusqu'à 32 chez certains constructeurs) par des tuyauteries frigorifiques de liaison.

Cette technologie n'est pas très différente de celle mise en œuvre pour les multi-splits, si ce n'est que le détendeur n'est pas centralisé, mais présent dans les unités intérieures.

La principale différence avec les multi-splits est la suivante : dans un multi-split, chaque unité est branchée indépendamment sur l'unité extérieure qui peut avoir jusqu'à 4 connections. Les branchements sont réalisés en parallèle en interne à la machine.

Pour le DRV, il s'agit d'un système centralisé à distribution de réfrigérant qui vient alimenter toutes les unités connectés sur un réseau de distribution. La plupart des installations sont réversibles. De plus, en cas de besoins de refroidissement et de chaleur simultanés, la chaleur extraite des zones à refroidir est directement récupérée sur le réseau réfrigérant et elle est utilisée pour le chauffage des parties du bâtiment à chauffer. Cette option se fait lors de l'installation car elle implique une architecture adaptée.

Le CEREN estime dans ses études de gisements, d'après des données constructeurs, que ces systèmes permettent d'effectuer 50% d'économies d'énergie par rapport à un système classique. Il faut cependant noter que ces chiffres sont issus de déclarations des constructeurs, et qu'ils ne peuvent pas être vérifiés sur le terrain aujourd'hui de par la complexité de la mesure de performance de ces équipements in situ.

L'unité intérieure peut fonctionner soit en rafraîchissement seul, soit en chauffage seul, soit avec le ventilateur seul.

L'unité extérieure est généralement installée en toiture-terrasse. Les unités extérieures sont modulaires, elles peuvent donc être associées pour couvrir des puissances plus importantes que la gamme de puissance unitaire de l'offre (de 14 à 28 kW).

Ces systèmes peuvent être installés en construction neuve comme en rénovation, dans les hôtels, les centres commerciaux et les immeubles de bureaux. La modularité et la souplesse du DRV en font un système particulièrement adapté aux immeubles de bureaux, où l'occupation et l'usage des locaux peuvent être variés au cours du temps. **En 2000, 70% des systèmes DRV ont été installés dans des bâtiments de bureaux. Mais il faut également noter quelques exemples de réalisation dans le résidentiel collectif et individuel de luxe.**

- **Les systèmes à air et à eau**

Principe :

**Le générateur typiquement associé** à ces systèmes est une machine thermodynamique appelée « **Groupe de Production d'Eau glacée** » (**GRE**)<sup>44</sup>. Les GRE sont des appareils assemblés en usine, prévus pour refroidir des liquides. Ils sont composés d'un compresseur, d'un évaporateur et d'un condenseur ainsi que d'organes de contrôle.

Les systèmes à air et à eau se différencient ensuite par le moyen de distribution du froid produit dans les locaux à refroidir.

**Il faut toutefois noter que ces systèmes ne remplissent dans certains cas que la fonction de rafraîchissement et non de climatisation.** Ainsi, dans le secteur résidentiel, les pompes à chaleur sur plancher chauffant / rafraîchissant sont des GRE mais fonctionnant en mode rafraîchissement. En effet, la température de l'eau circulant dans le plancher ne peut être inférieure à 20 °C environ pour limiter la condensation de l'humidité de l'air sur le plancher. Ceci limite donc la capacité de refroidissement de ces émetteurs, et par conséquent leur consommation d'énergie.

Application :

- Les systèmes à air

On parle de système « tout air » pour les installations de climatisation pour lesquelles la **production de froid centralisée est distribuée par un ou plusieurs réseaux aérauliques (typiquement des gaines d'aération).**

Le refroidissement de l'air se fait par passage sur une batterie froide alimentée en eau glacée et située dans **une centrale de traitement d'air (CTA)**. Cet air, refroidi à la température de consigne souhaitée, est ensuite soufflé dans les locaux à refroidir.

- Les systèmes à eau

On parle de système à eau pour les installations de climatisation pour lesquelles la **production de froid centralisée est distribuée par un ou plusieurs réseaux hydrauliques.** Ces réseaux sont parcourus par de l'eau glacée (et parfois de l'eau de chauffage).

Les unités intérieures sont **des aérothermes**, où le refroidissement de l'air se fait par passage de l'air ambiant sur des batteries froides à l'aide de ventilo-convecteur. Peuvent être aussi utilisés, **dans la limite d'un usage de rafraîchissement ou dans des bâtiments avec des besoins de refroidissement limités**, des émetteurs économes et apportant un gain au niveau du confort : **les émetteurs rayonnants.**

Ces installations utilisant l'eau comme vecteur énergétique présentent **plusieurs avantages** :

- du fait de la chaleur spécifique élevée de l'eau, il est beaucoup moins coûteux en énergie de distribuer de l'eau que de l'air (d'un facteur dix environ) ;
- les réseaux de distribution sont beaucoup moins encombrants que ceux des installations tout air et sont donc plus faciles à mettre en œuvre.

- **Les systèmes mixtes**

Principe :

On parlera de « systèmes mixtes » pour les systèmes qui nécessitent l'utilisation de deux vecteurs frigo ou calo-porteurs pour assurer la climatisation des locaux. On peut citer

---

<sup>44</sup> D'autres moyens de production peuvent être utilisés, notamment des moyens réversibles produisant de la chaleur ou du froid. Les GRE sont toutefois les systèmes les plus répandus.

notamment **les pompes à chaleur (PAC) sur boucle d'eau et les systèmes à induction qui connaissent un renouveau avec les poutres froides.**

Application :

**Chaque local** à climatiser est équipé d'une **pompe à chaleur réversible eau/air**. Ces différentes PAC sont reliées entre elles par une boucle d'eau. En cas de besoin de chaud et de froid simultanés, la chaleur extraite des locaux à refroidir est récupérée sur la boucle d'eau et transmise vers les zones à chauffer.

Ce système doit être mis en œuvre dans les bâtiments dans lesquels il existe des zones présentant des besoins thermiques antagonistes. C'est par exemple le cas d'un bâtiment dont une façade principale est orientée au Nord et une autre au Sud.

Les bureaux (notamment ceux avec des usages informatiques importants) et les centres commerciaux possédant des galeries marchandes sont les principaux secteurs d'application de cette technique.

Pour les systèmes à induction, de l'air pulsé est soufflé dans la pièce et la bouche terminale est conçue pour que le soufflage induise l'aspiration de l'air de la pièce qui vient se refroidir sur la batterie froide de l'unité.

- **Les chiffres du marché**

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<b>Climatiseurs individuels (&lt; 17,5 kW)</b>							
Mobiles	46 000	60 000	150 000	NC	NC	NC	NC
Climatiseurs fenêtre	18 000	12 000	12 000	11 280	10 801	10 800	7 500
Climatiseurs Split mono	161 000	226 300	440 000	239 054	270 585	315 903	237 060
Climatiseurs Split multi	37 000	50 700	104 000	63 554	132 670	189 200	145 817
<i>Total split</i>	198 000	277 000	544 000	302 608	403 255	505 103	382 877
<i>dont réversibles</i>	134 600	207 000	446 000	262 055	367 487	473 389	364 404
<i>dont inverter</i>	52 000	98 000	230 000	180 854	297 850	436 070	342 461
<i>dont HFC</i>	NC	NC	424 000	NC	NC	NC	NC
Unités intérieures (murales, allèges, plafonniers)	250 000	350 000	681 000	399 750	615 322	871 736	663 568
<b>Unités autonomes de climatisation (&gt; 17,5 kW)</b>							
Roof tops	2 300	2 450	2 200	1 800	1 900	1 535	1 656
Armoires verticales Monoblocs	1 300	1 300	1 200	1 500	1 400	1 488	774
Systèmes splits (mono et multi) extérieurs	3 100	3 100	3 400	2 500	4 700	4 076	4 170
Systèmes DRV	3 900	5 000	7 900	9 000	12 000	15 000	14 714
Armoires spéciales (high tech)	3 700	2 500	3 200	NC	NC	NC	NC
<b>Matériels pour conditionnement de l'air</b>							
Caissons de Traitement d'Air	18 000	16 500	16 500	11 500	11 735	11 820	11 487
Unités terminales d'eau glacée (y compris cassettes)	180 000	160 000	170 000	160 000	165 000	182 435	166 628
Groupes d'eau glacée	9 800	9 800	12 500	13 657	25 171	NC	7 244
<i>Puissance &lt; 17kW</i>	NC	NC	NC	7 061	18 289	NC	NC
<i>Puissance &gt; 17,5 kW</i>	NC	NC	NC	6 617	6 882	13 295	NC
Aerothermes	15 000	14 000	12 500	8 500	8 600	7 836	5 415

Figure 38 : Ventes annuelles des systèmes de climatisation (Source : Clim'info)

On observe la forte progression des systèmes Inverter, qui, grâce à une puissance variable, permettent des économies d'électricité. En 2002, un quart des splits vendus étaient des systèmes Inverter, tandis qu'en 2008 ils représentent la quasi-totalité du marché (90% des splits vendus).

De même, les systèmes réversibles marquent une très forte progression, passant de 67% du marché des splits en 2002 à 95% en 2008. Ce développement des systèmes réversibles est très corrélé au développement de l'électricité dans le secteur résidentiel, et les pompes à chaleur réversibles sont de plus en plus utilisées dans les logements neufs, et dans les logements anciens rénovés.



## Annexe technique n°2 : L'organisation de la filière des fluides frigorigènes en France

La figure ci-dessous (ADEME, 2010) représente les flux physiques de mise sur le marché et de distribution des fluides frigorigènes depuis le producteur jusqu'au détenteur final du produit.

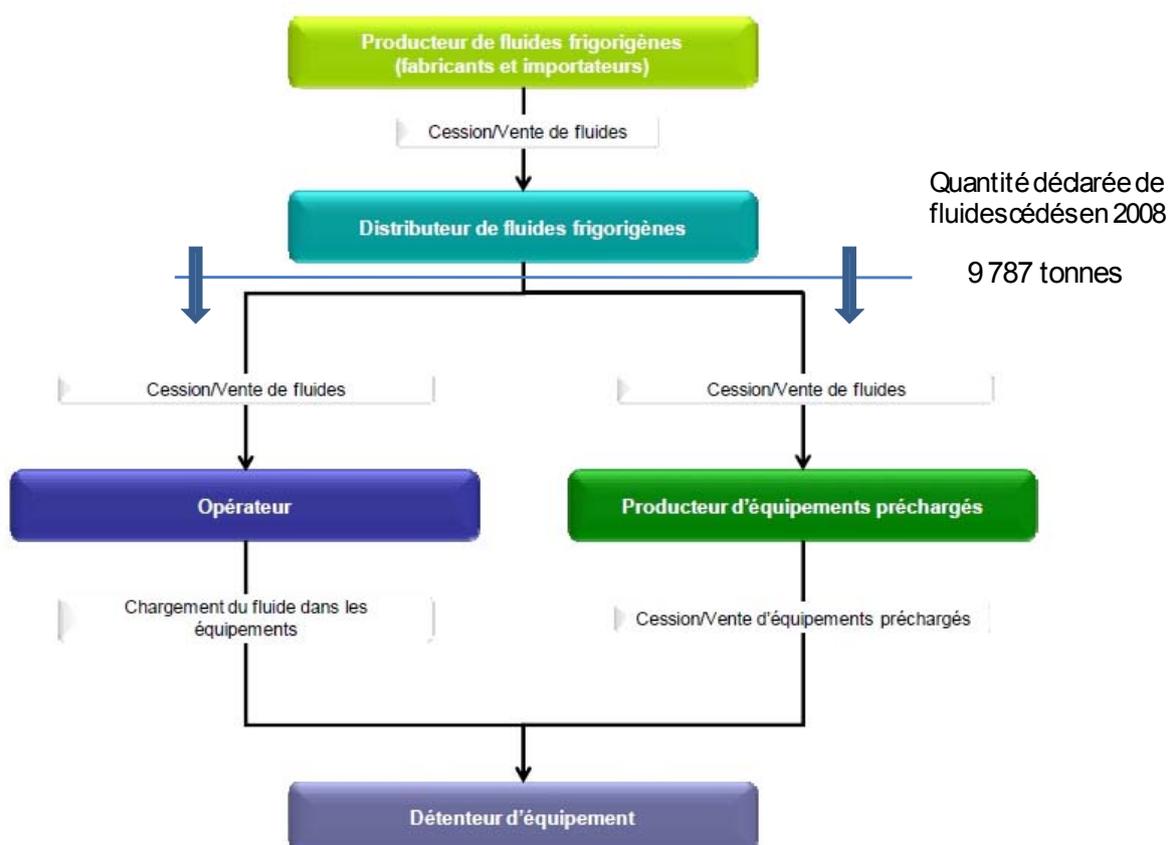


Figure 39 : Flux physiques liés à l'amont de la filière (Source : ADEME)

La figure ci-dessous présente de façon synthétique l'organisation de la collecte et du traitement des fluides frigorigènes usagés (aval de la filière) :

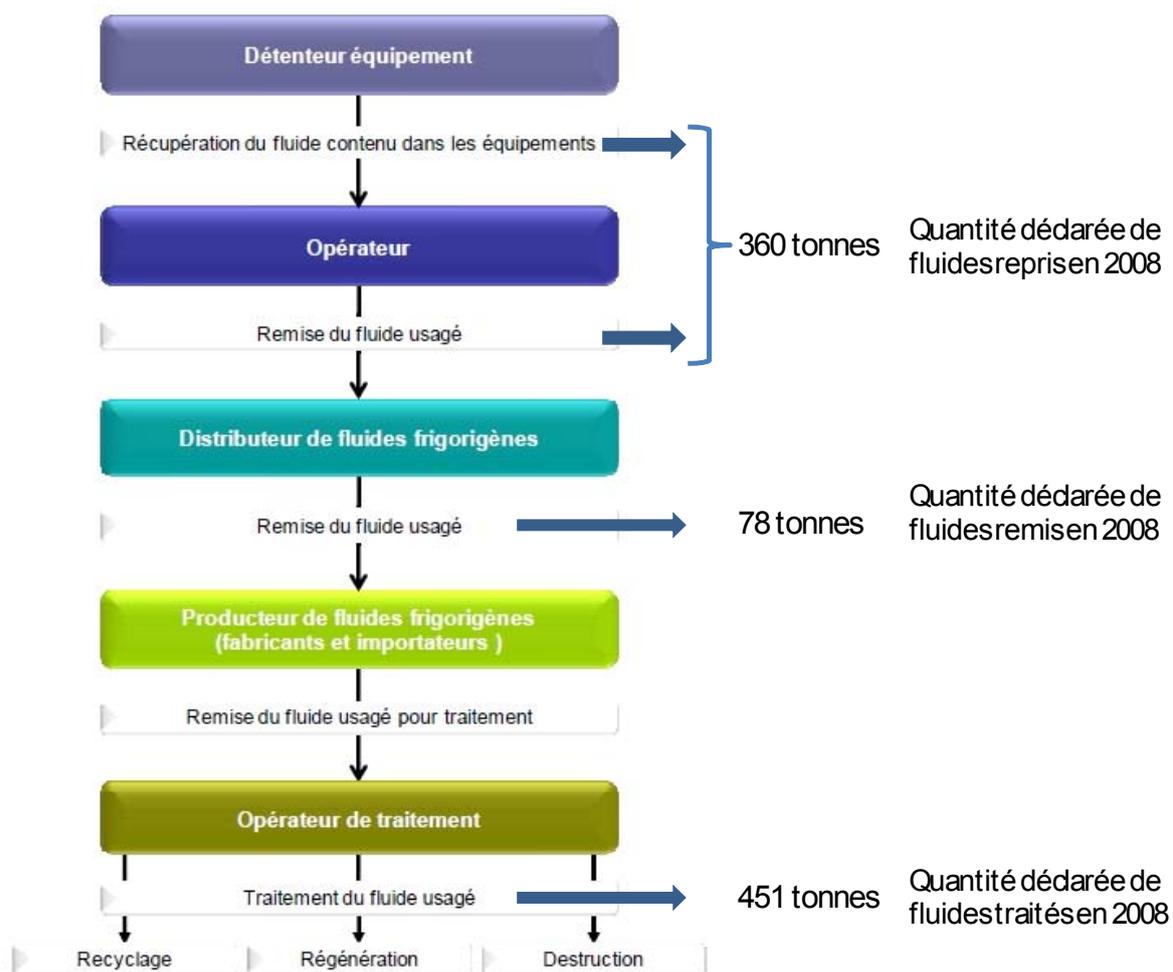


Figure 40 : Flux relatif à l'aval de la filière (Source : ADEME)

Remarque : Il faut bien faire attention à ne pas additionner les quantités de fluides frigorigènes présentées dans la Figure 40, représentant la filière aval des fluides frigorigènes. En effet, des doubles comptages sont effectués (des quantités de fluides récupérées sont ensuite comptabilisées dans les quantités de fluides traités).

Ainsi, en fin de vie d'un équipement, si le fluide frigorigène est pris en charge par une filière de récupération, plusieurs options peuvent être envisagées :

- Le recyclage

Le recyclage consiste à retirer le fluide frigorigène de son équipement puis à le nettoyer en utilisant différentes méthodes de filtrage et techniques de séparation afin d'en réduire l'humidité, l'acidité et les particules de matière. La qualité d'un fluide recyclé n'est pas obligatoirement chimiquement contrôlée à la fin du processus. Le recyclage est le plus souvent effectué sur le site de l'équipement d'origine.

- La régénération

La régénération consiste à traiter le réfrigérant usagé afin de lui redonner ses propriétés de départ. Ce traitement est typiquement effectué par distillation afin d'en retirer les contaminants présents, tel que : l'eau, le chlore, l'acidité, les particules et autres impuretés (incluant le mélange avec d'autres fluides frigorigènes). A la fin du traitement, des analyses chimiques doivent être effectuées afin de prouver que les spécifications du produit d'origine sont bien

atteintes. La régénération est principalement effectuée en usine de retraitement ou de production de fluide frigorigène.

- La destruction

La destruction doit être effectuée dans un environnement contrôlé. Elle est typiquement effectuée par incinération.



## Annexe technique n° 3 : Projections à horizon 2025 des émissions de fluides frigorigènes

Cette annexe présente les résultats des calculs de projections à l'horizon 2025<sup>45</sup> selon trois scénarios de projections. Ces scénarios sont définis par les mesures réglementaires existantes ou en préparation, mais aussi suivant les tendances technologiques ou de politiques d'entreprises actuellement observées. Les indications qui y figurent ne sont pas exhaustives, afin d'en alléger la lecture.

### ➤ Scénario 1 : Pratiques Habituelles et sans mesure (PH)

Ce premier scénario constitue la ligne de référence des émissions de fluides frigorigènes si aucune mesure n'avait été prise depuis 2000. Les pratiques sont celles typiquement observées entre 1995 et 2000. Les taux d'émissions des installations restent constants, aucun effort de confinement n'est réalisé. Toutefois, il est considéré pour ce scénario des pratiques habituelles que la réglementation sur les fluides est respectée, en particulier le planning d'élimination des HCFC (2037/2000).

### ➤ Scénario 2 : Mesures actuelles ou Application des Mesures (AM)

Ce deuxième scénario est une projection des mesures actuellement en vigueur (règlement CE N° 842/2006), des améliorations technologiques existantes et des pratiques en cours en termes de récupération et de fluides utilisés. C'est en fait le scénario des pratiques actuelles, qui ont été améliorées par rapport à ce qui se faisait dans le passé (cf. scénario sans mesure).

### ➤ Scénario 3 : Incitations Supplémentaires (IS)

Ce dernier scénario considère des hypothèses basées sur des mesures complémentaires qui pourraient être mises en place afin de réduire encore davantage le niveau d'émissions en équivalent CO<sub>2</sub> des fluides frigorigènes. L'arrêt de l'utilisation des HFC à haut GWP est envisagé pour 2020, la généralisation de l'utilisation des mélanges à GWP inférieur à 700 est proposée dans tous les secteurs et il est considéré, dans ce troisième scénario, une application plus rigoureuse des mesures existantes envisagées dès le scénario 2.

Les mesures additionnelles pourraient porter sur des incitations économiques pour la récupération du fluide (rachat des CFC et HCFC en fin de vie, détaxe du fluide neuf acheté en contrepartie du fluide récupéré).

L'usage des fluides à faible GWP est encouragé, à la fois sur les installations neuves et en conversion d'installations existantes par l'incitation fiscale pour l'utilisation de fluides à faible GWP ou des études technico-économiques permettant de mettre en concurrence les systèmes direct et indirect.

### ▶ **La climatisation fixe (bâtiments) : les Groupes Refroidisseurs d'eau**

Les projections sont affectées par les tendances des marchés de GRE sur 2008-2009, nettement en baisse, notamment pour les chillers de fortes puissances.

---

<sup>45</sup> ARMINES (2011), S. BARRAULT, S. SABA, D. CLODIC, *Inventaires des émissions des fluides frigorigènes et leurs prévisions d'évolution jusqu'en 2025*.

➤ Projections des émissions en équivalent CO<sub>2</sub>

La mise sur le marché des GRE de nouvelle génération (HFC) avec un niveau d'étanchéité amélioré par rapport aux anciennes machines utilisant du R-22, devrait permettre de diviser le niveau d'émissions par deux en 2015 par rapport à 2000.

L'introduction du R-134a en remplacement du R-12 a permis de réduire le niveau d'émissions équivalentes CO<sub>2</sub> des GRE qui, dès le scénario 1, baissent à 2,7 millions de tonnes. Le GWP des HFC remplaçant le R-22 est légèrement supérieur. Mais, dans le scénario 2, il est ici envisagé des renouvellements d'installations aux HCFC par des installations au R-1234yf.

En 2025, **selon le scénario réaliste (scénario 2)**, le niveau d'émissions en équivalent CO<sub>2</sub> devrait s'établir à 1,1 million de tonnes par an environ et pourrait descendre à 0,6 million selon les résultats du scénario 3 si un mélange de GWP inférieur ou égal à 300 est bien utilisé sur le marché neuf des chillers dès 2012-2013.

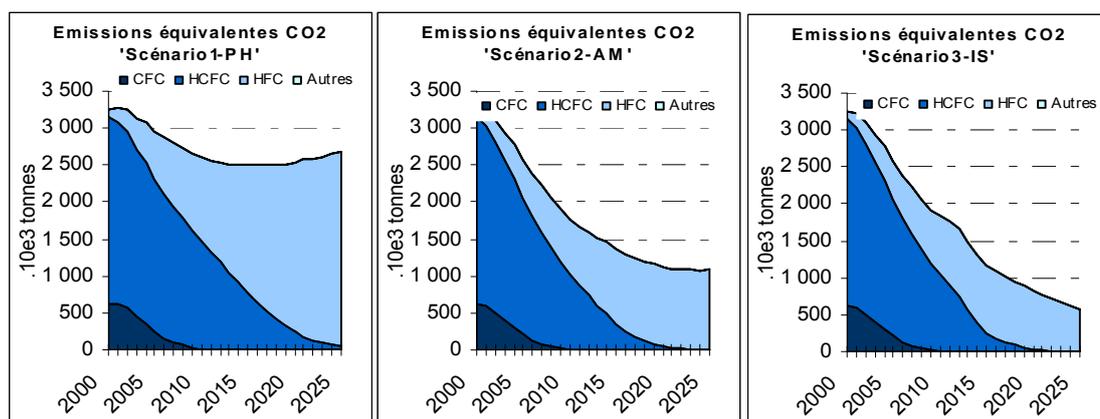


Figure 41 : Projections des émissions de fluides frigorigènes associées à la climatisation par GRE en tonnes équivalent CO<sub>2</sub>

➤ Récupération en tonnes de fluides frigorigènes

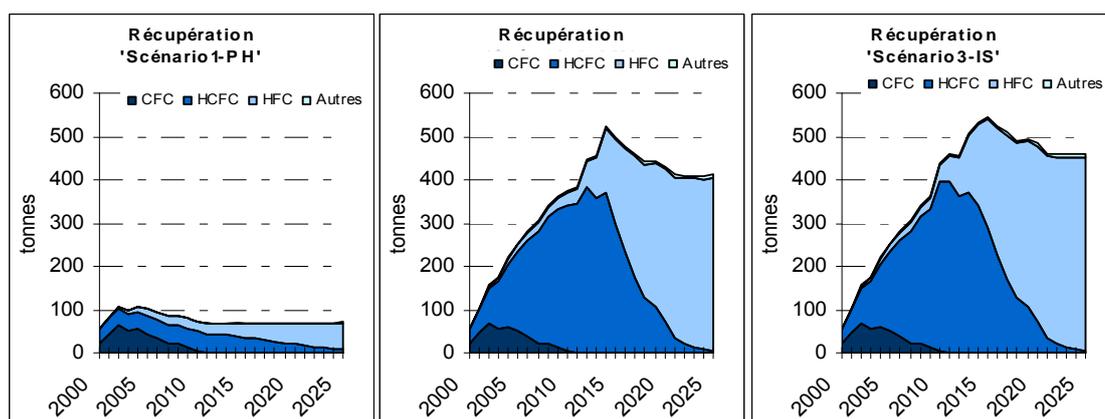


Figure 42 : Projections des quantités de fluides frigorigènes récupérées sur les GRE

La figure 42 fait clairement apparaître les quantités de HCFC issues des conversions d'installations devant se produire après 2010, quantités dont une partie devrait pouvoir alimenter la demande pour la maintenance des installations aux HCFC.

**Selon le scénario réaliste (scénario 2)**, les quantités de HCFC récupérées sur 2010-2015 s'élèvent à plus de 2 000 t alors que la demande pour la maintenance n'est que de 2 400 t.

Dans le scénario optimiste les quantités récupérées sont équivalentes au besoin en HCFC : le cumul de la demande pour la maintenance des installations aux HCFC sur 2010-2015 est estimé à 2 200 t alors que la demande pour la maintenance est de 2 150 t.

Cependant, la nouvelle réglementation limitant les transferts de fluides frigorigènes entre installations, la totalité de la demande ne pourra être assurée.

### ► La climatisation fixe à détente directe

Les projections d'équipements tiennent compte des valeurs 2008-2009 basées sur les publications Clim'Info mais également, lorsqu'elles sont publiées, des valeurs des marchés 2010 (cas de la climatisation de plus de 17,5 kW). La dernière mise à jour des chiffres du marché de climatisation a montré une baisse des ventes comparativement aux anciennes prévisions. Ceci a été pris en compte pour les scénarios avec une réduction de la croissance projetée des marchés.

#### ► Evolution du marché d'équipements neufs de 2000 à 2025

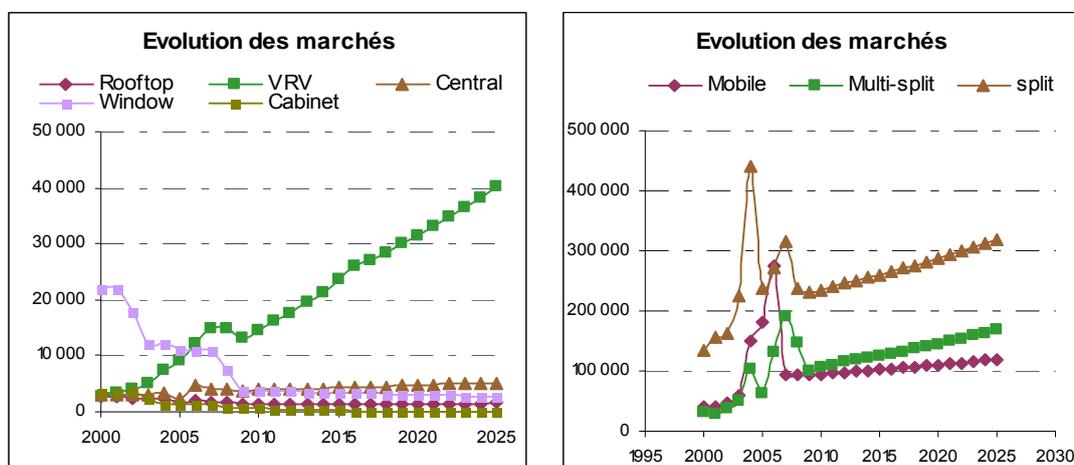


Figure 43 : projections des marchés en climatisation individuelle et centralisée (CEP ARMINES)

#### ► Emissions des fluides frigorigènes en équivalent CO<sub>2</sub>

Les émissions de fluides frigorigènes augmentent avec une forte croissance. **L'amélioration des pratiques, en particulier l'assurance d'avoir des opérateurs qualifiés et bien équipés pour la manipulation des fluides, est le facteur principal pour la réduction des émissions de fluides frigorigènes dans le secteur de la climatisation fixe.**

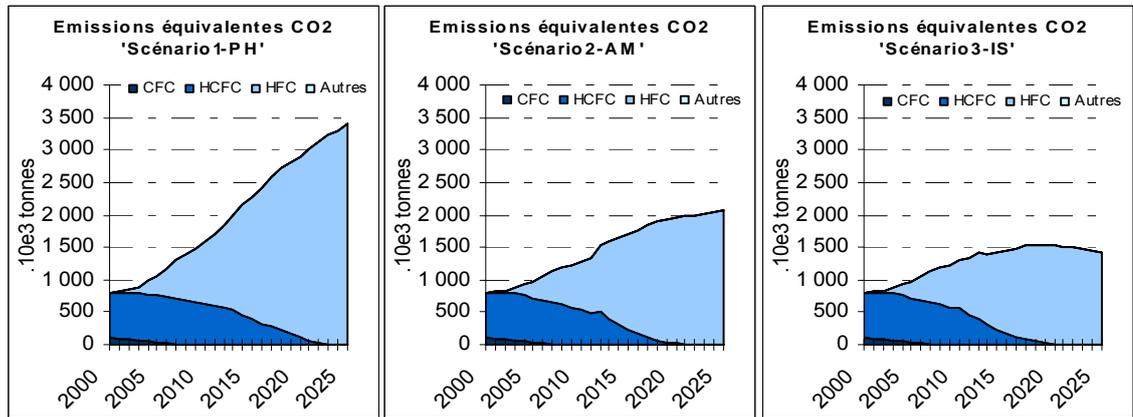


Figure 44 : Projections des émissions en équivalent CO<sub>2</sub>, en milliers de tonnes

Le niveau d'émissions est assez important en 2025. Dans le scénario 1, il aurait atteint 3,3 millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub>. **L'amélioration de l'efficacité de récupération en fin de vie permet de ramener les émissions à 2 millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub> dans le scénario réaliste et à 1,5 millions dans le scénario le plus optimiste.**

➤ Récupération en tonnes de fluides frigorigènes

Sans opération de conversion, la récupération du R-22 en fin de vie des systèmes de climatisation à air aurait été d'une vingtaine de tonnes par an en 2025 selon le scénario 1. La conversion des installations au R-22, et l'amélioration de l'efficacité de récupération des filières de fin de vie, pourrait permettre d'augmenter les quantités récupérées à 300 t par an dans le scénario 2 et à plus de 400 t dans le scénario 3.

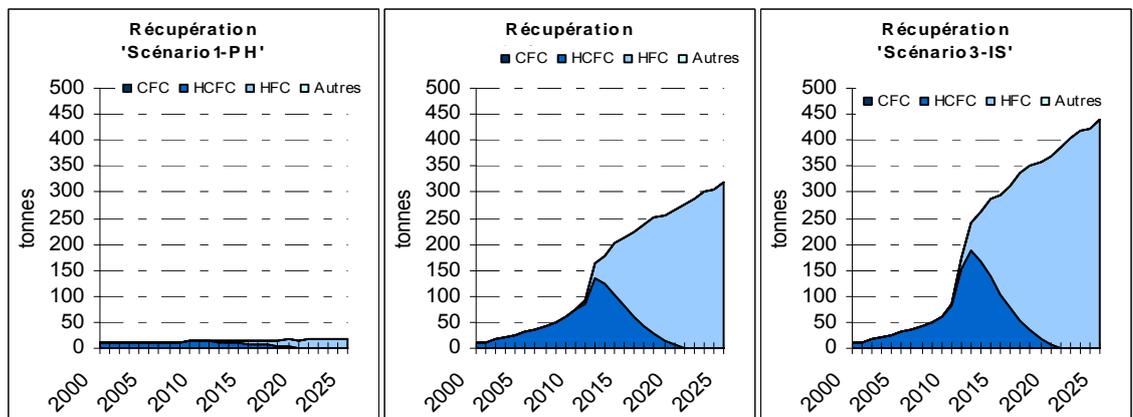


Figure 45 : Projections de la récupération des fluides frigorigènes

La récupération du R-22 dans ce secteur devrait permettre d'assurer une partie des besoins de la maintenance des grosses installations de climatisation sur la période 2010 - 2015. Une partie des quantités récupérées du froid commercial pourrait également permettre de maintenir certaines installations de climatisation commerciale, l'utilisation des quantités recyclées étant autorisée pour les installations d'un même détenteur. **Sur des petites unités, cette récupération est plus difficile, souvent moins rentable, et donc peu pratiquée.**

## ► La climatisation embarquée (transports)

### ► Evolutions des émissions en équivalent CO<sub>2</sub>

La mesure en vigueur qui conditionne l'évolution future des technologies et des fluides frigorigènes utilisés en climatisation automobile est l'interdiction programmée des fluides frigorigènes à PRG supérieur à 150, liée à la directive européenne 2006/40/CE. La grande différence d'émissions constatée entre le scénario 1 et 2 est due la réglementation a contraint les constructeurs à développer des systèmes plus étanches, avec un niveau d'émission inférieur à 40 g/an et à l'introduction du R-1234yf présentant un faible PRG.

Ainsi, en absence de récupération des fluides frigorigènes en fin de vie, et avec un niveau d'étanchéité du circuit tel qu'il était sur les technologies de circuits des années de 1998 à 2000 (60 g/an), le niveau d'émission de R-134a atteindrait près de 8,98 millions de tonnes eq. CO<sub>2</sub> en 2025. **Ce niveau est ramené à 0,79 millions de tonnes eq. CO<sub>2</sub> dans le scénario réaliste.** Le scénario 3, "incitations supplémentaires", suppose une amélioration des taux d'émissions et de récupération à la maintenance ainsi que la bonne mise en place des filières de fin de vie des véhicules permettant une nette progression des niveaux de récupération des fluides frigorigènes en fin de vie des équipements.

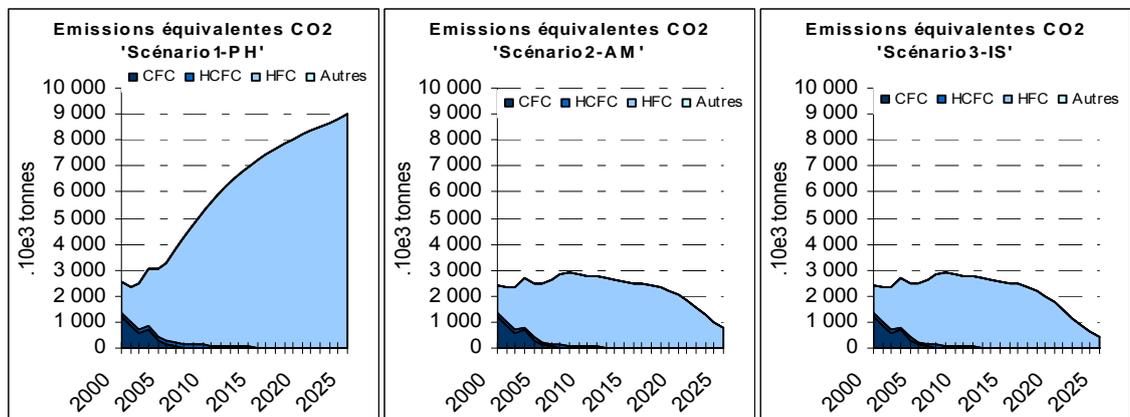


Figure 46 : Scénarios des émissions en équivalent CO<sub>2</sub> de fluides frigorigènes pour la climatisation embarquée (Source : CEP ARMINES)

### ► Récupération des fluides frigorigènes

La récupération des fluides concerne ici seulement la fin de vie des véhicules et non la maintenance. La récupération en fin de vie est supposée d'une efficacité globale de 40 % dans le scénario 2 et de 70 % en 2025 dans le scénario 3. Les quantités récupérées peuvent ainsi progresser pour atteindre 300 t par an dans le scénario 2 et 500 tonnes par an en 2025 dans le scénario le plus optimiste.

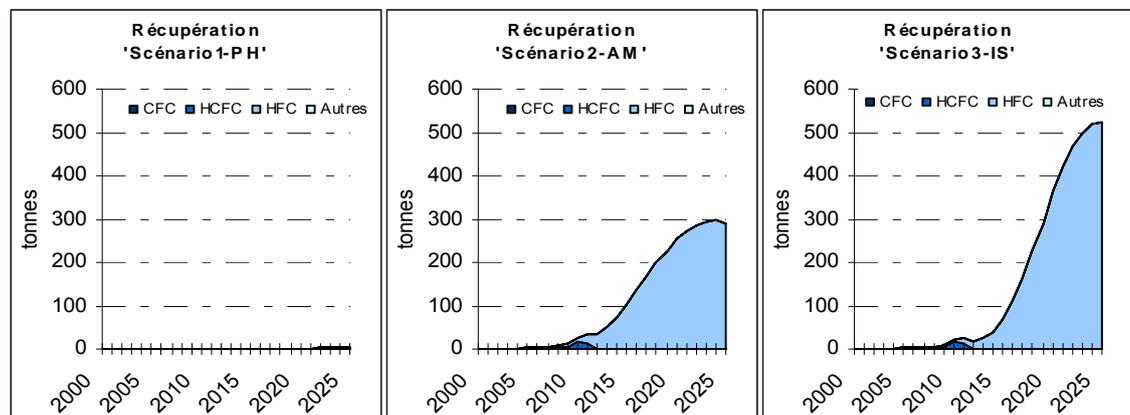


Figure 47 : Scénarios des quantités récupérées de fluides frigorigènes pour la climatisation embarquée (Source : CEP ARMINES)

Ressources, territoires, habitats et logement  
Énergies et climat Développement durable  
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

**Présent  
pour  
l'avenir**

---

**Ministère de l'Écologie, du Développement durable,  
des transports et du logement**

**Direction générale de l'énergie et du climat**  
Arche Nord  
92055 La Défense Cedex  
Tél. : 01 40 81 21 22