



**E&E Consultant**  
Environnement Energie

# Etude efficacité énergétique en Nord-Pas-de-Calais

Rapport Final

V9

SARL au capital de 110 400 €

16bis, Rue François Arago

93100 Montreuil sous bois

Tel : 01 42 87 23 27

Fax : 01 42 87 30 75

SIRET 480 478 502 00036



## Sommaire

<b>I. Résidentiel</b> .....	<b>5</b>
<b>I.1. Description générale des scénarios/étude de gisements pour le résidentiel</b> .....	<b>5</b>
<b>I.2. Efficacité énergétique et carbone sur les logements neufs</b> .....	<b>6</b>
I.2.a. Les paramètres et hypothèses utilisés .....	6
I.2.b. Résultats de l'étude du gisement : efficacité énergétique et carbone des logements neufs .....	12
I.2.c. Conclusions sur le gisement des logements neufs .....	14
<b>I.3. Efficacité énergétique dans les logements existants : le chauffage</b> .....	<b>14</b>
I.3.a. La réhabilitation du bâti .....	15
I.3.b. Gisement sur les systèmes de chauffages.....	21
I.3.c. Gisement sur un effet « comportement » .....	26
<b>I.4. Efficacité énergétique dans les logements existants : l'ECS</b> .....	<b>27</b>
<b>I.5. Efficacité énergétique dans les logements existants : l'électricité spécifique</b> .....	<b>28</b>
<b>I.6. Synthèse</b> .....	<b>31</b>
<b>I.7. Le bâtiment, un secteur important dans le cadre des SRCAE</b> .....	<b>32</b>
<b>II. Secteur Transport Voyageurs</b> .....	<b>33</b>
<b>II.1. Eléments de méthode</b> .....	<b>33</b>
▶ Principes généraux.....	33
▶ Glossaire .....	33
▶ Modèle MOBITER.....	34
<b>II.2. Eléments de bilan</b> .....	<b>35</b>
▶ Général .....	35
▶ Détails profils mobilité par typologie.....	38
<b>II.3. Calcul des gisements</b> .....	<b>42</b>
▶ Développement Mode doux centre-ville/Cœur de village.....	42
▶ Développement de l'usage du transport collectif urbain.....	44
▶ Télétravail .....	47
▶ Covoiturage.....	47
▶ Densification .....	47
▶ Hypothèses de calcul .....	48
▶ Diminution des portées de déplacement (mixité) .....	49
▶ Levier technologique.....	50
▶ Eco-conduite .....	54
<b>III. Transport de marchandises</b> .....	<b>57</b>
<b>III.1. Bilan Transports de marchandises</b> .....	<b>57</b>
▶ Un bilan principal de flux.....	57
▶ Un bilan lié au transit .....	59
<b>III.2. Evolutions tendanciennes</b> .....	<b>60</b>

<b>III.3. Evaluation des potentiels.....</b>	<b>60</b>
▶ Les effets technologiques.....	60
▶ Les effets liés au report modal.....	61
▶ Les effets de relocalisation .....	61
<b>IV. Secteur industrie .....</b>	<b>63</b>
<b>IV.1. Méthodologie .....</b>	<b>63</b>
<b>IV.2. Profil énergétique industriel de la région Nord-Pas-de-Calais .....</b>	<b>66</b>
<b>IV.3. Efficacité énergétique dans les opérations transverses .....</b>	<b>70</b>
<b>IV.4. Résultats de potentiel global de l'industrie .....</b>	<b>74</b>
▪ Récupération de chaleur.....	74
▶ Gisement d'économie d'énergie .....	78
<b>IV.5. Résultats par secteur .....</b>	<b>83</b>
IV.5.a. Sidérurgie .....	83
IV.5.b. Agroalimentaire .....	90
IV.5.c. Chimie .....	95
IV.5.d. Métallurgie des non-ferreux.....	99
IV.5.e. Papier Carton .....	103
IV.5.f. Verre .....	107
IV.5.g. Industries mécaniques et électriques .....	113
IV.5.h. Ciment, Chaux, plâtre .....	118
IV.5.i. Textile.....	123
IV.5.j. Divers .....	127
IV.5.k. Autres matériaux de construction.....	131
IV.5.l. Caoutchouc .....	136
IV.5.m. Synthèse par secteur .....	141
<b>V. Secteur énergie .....</b>	<b>145</b>
<b>V.1. Périmètre .....</b>	<b>145</b>
<b>V.2. Cogénération.....</b>	<b>147</b>
<b>V.3. Transformateurs électriques et économies dans les réseaux.....</b>	<b>150</b>
<b>V.4. Synthèse secteur énergie .....</b>	<b>154</b>
<b>VI. Secteur Tertiaire .....</b>	<b>155</b>
<b>VI.1. Définition du secteur .....</b>	<b>155</b>
<b>VI.2. Parc Tertiaire .....</b>	<b>155</b>
▶ Bilan énergétique du parc Tertiaire .....	156
▶ Décomposition des consommations énergétiques Tertiaires.....	157
<b>VI.3. Potentiels de réduction.....</b>	<b>160</b>
VI.3.a. La construction neuve.....	160
▶ Les réglementations thermiques .....	160
▶ Impact indirect : la mixité fonctionnelle.....	161
VI.3.b. Réhabilitation thermique .....	161

▶ Exemple d'impact liées à la réhabilitation : Bureaux .....	161
▶ Cas d'un immeuble de centre ville.....	162
VI.3.c. GTA/GTB - Maintenance.....	162
VI.3.d. Electricité spécifique .....	162
<b>VII. Annexes.....</b>	<b>164</b>

# I. Résidentiel

## I.1. Description générale des scénarios/étude de gisements pour le résidentiel

La modélisation du parc de logements ainsi que de leurs consommations énergétiques est basée sur le modèle Enerter© développé par Energies Demain. Dans le cadre de la présentation des résultats de cette étude, le parc est décomposé en trois types de logements :

- les maisons individuelles (« MI »),
- les immeubles collectifs (« IC »),
- les logements sociaux (« HLM »).

### **ENERTER**

*ENERTER est l'outil de modélisation utilisé par Energies Demain pour les démarches de planification de réhabilitation urbaine. Le modèle, initialement développé dans le cadre d'une mission pour la DGUHC, se base sur une description du parc de bâtiment et de son comportement thermique suivant les différentes typologies architecturales rencontrées en France. L'outil est construit à une maille communale, et décrit les logements de manière unitaire (+30 millions d'enregistrements). Cette reconstitution du parc s'appuie sur différentes sources de données et études, dont le socle est le recensement logement.*

*L'approche par typologies architecturales permet de prendre en compte les spécificités des différentes franges du parc de logement, et assure que le calcul de gisement se fait à partir des gestes réellement possibles à mettre en œuvre (pas d'isolation à l'extérieur n'importe où, etc ...).*

*Dans le cadre de cette étude transversale seule une version agrégée des résultats est utilisée.*

### ► Les gisements identifiés

Les résultats sont présentés selon six thèmes identifiés comme de possibles gisements d'économies d'énergies et de réductions des émissions de gaz à effet de serre (GES). Les gisements identifiés sont :

- l'efficacité énergétique et carbone des logements neufs,
- la réhabilitation thermique des logements existants :
  - par la rénovation du bâti,
  - par le remplacement des systèmes de chauffage,
- le remplacement des systèmes de production d'eau chaude sanitaire (ECS) dans les logements existants,
- l'amélioration de la performance des appareils électriques,
- l'amélioration des comportements des usagers.

### ► Les différences entre scénario tendanciel et Grenelle

Les gisements d'économie d'énergies et de réduction des GES identifiés sont quantifiés aux horizons temporels 2020 et 2050 par rapport à deux scénarios d'évolution : un scénario tendanciel et un scénario Grenelle.

Ces deux scénarios reposent sur le même socle d'hypothèses d'évolution démographique et de parc de logement. Toutefois de nombreuses mesures issues du Grenelle sont susceptibles d'impacter la performance énergétique des logements. Voici pour rappel un certain nombre de mesures identifiées :

- Prolongation du crédit d'impôt développement Durable

- Eco-Prêt à taux zéro
- RT 2012 et Bâtiment Energie Positive 2020
- Label Haute Performance Energétique Rénovation
- Directive Eco-Conception sur les ampoules, veilles des appareils, éclairage, etc..
- Fonds Chaleurs

**Le choix a été fait pour cette étude de ne considérer dans le cadre du scénario Grenelle que les mesures normatives ne nécessitant pas (ou peu) d'effort complémentaire au niveau régional.**

De plus certaines mesures sont encore en cours d'évaluation au niveau de l'état et nécessitent un retour sur expérience plus important pour la quantification de leurs effets au niveau régional.

Le mesures retenues dans le cadre du scénario Grenelle sont donc les deux suivantes :

- **RT 2012 et Bâtiment Energie Positive 2020,**
- **Directive Eco-Conception sur les ampoules, veilles des appareils, éclairage, etc.**

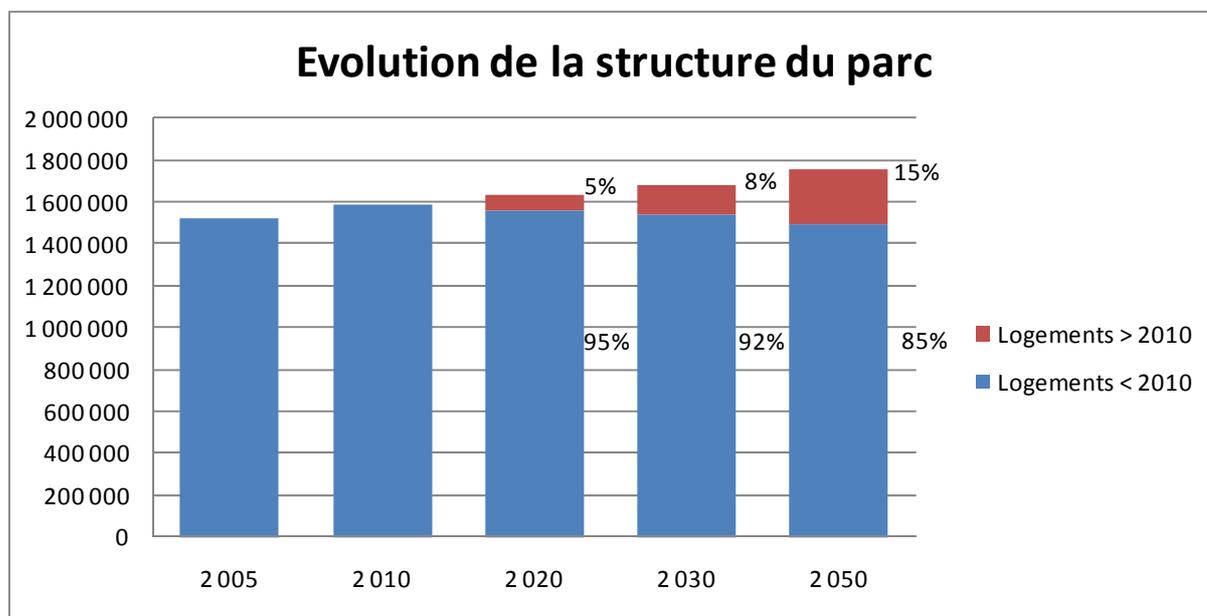
D'autres mesures aurait pu être prises en compte dans ce scénarios, tel que l'impact de l'éco-prêt à taux zéro, ou le crédit d'impôts mais on été exclus de cette étude.

## I.2. Efficacité énergétique et carbone sur les logements neufs

### I.2.a. Les paramètres et hypothèses utilisés

#### ► Le nombre de logements neufs

Suite à la projection de l'évolution de la démographie du Nord-Pas-de-Calais, qui influe directement sur la projection du nombre de constructions de logements, nous obtenons la structure de parc suivante :



Suivant les horizons de temps, le nombre de nouveaux logements s'élève à 75 000 entre 2010 et 2020, et à 260 000 entre 2010 et 2050.

Ces chiffres sont valables pour les deux scénarios, tendanciel et Grenelle.

### ► Caractéristiques générales des logements neufs

Quelques soit le scénario, les logements neufs sont répartis de la même façon en termes de type de logement (MI, IC, HLM) et de surface moyenne, considérés comme constants au cours du temps faute de données permettant de modifier ces chiffres.

Bien que cette hypothèse de surface constante ait été choisie pour l'élaboration de cette étude, on notera qu'une hypothèse plus vraisemblable de diminution des surfaces moyennes serait plus juste (vieillesse de la population, réduction de la taille moyenne des ménages ...

Part Structure		
	MI	61%
	HLM	16%
	Autres IC	23%
	Verif	100%

Source : structure du parc actuel

Surface (m <sup>2</sup> /lgt)		
	MI	148,1
	Autres IC	72,8
	HLM	72,8

Source : Sit@del2, moyenne 2006-2008

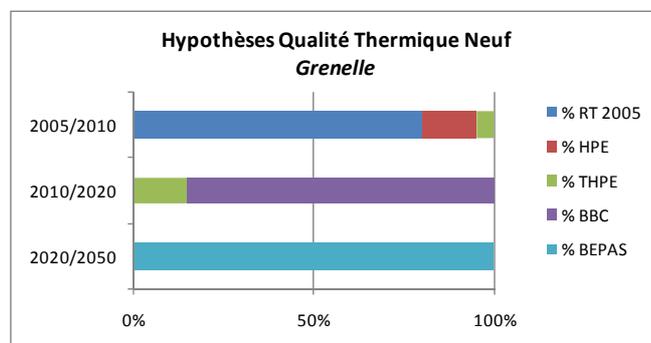
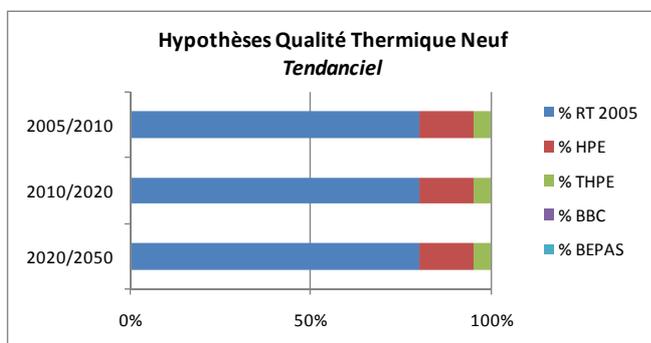
### ► Caractéristiques thermiques du bâti neuf

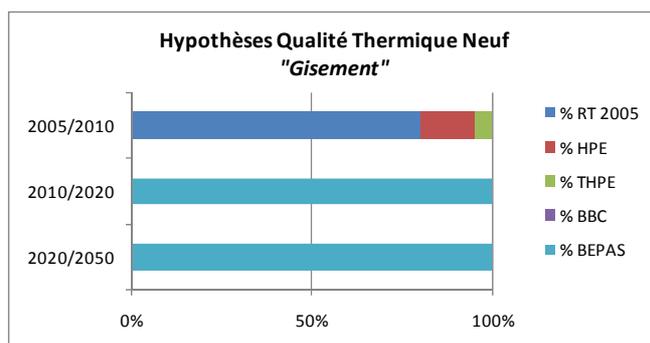
La qualité thermique du bâti neuf est impactée suivant les scénarios par l'apparition de nouvelles réglementations thermiques.

**Pour la période 2005-2010**, chaque scénario (Tendancier, Grenelle et Gisement) prend en compte une qualité thermique des bâtiments neufs correspondant au niveau de la réglementation en cours : la RT2005. Ce niveau de performance est modulé en considérant que 20% des logements neufs sont tout de même considérés comme ayant des qualités thermiques supérieures (niveau HPE et THPE). Ceci correspond aux tendances observées, liés à un effet d'anticipation de nouvelles réglementations, de sensibilisation et d'un effet « label ».

**Concernant la période 2011-2050, des différences apparaissent suivant les scénarios.** Dans le scénario tendancier, le niveau de qualité thermique de la période 2005-2010 est considéré comme constant sur toutes les années. Le scénario Grenelle prend en compte l'apparition des réglementations thermiques RT2012 et RT2020 qui imposent d'atteindre les niveaux BBC (Bâtiment Basse Consommation) et BEPOS (Bâtiment à Energie POSitive). L'évaluation de ce gisement se fait en considérant le niveaux BEPOS atteint dès 2011.

Les différentes hypothèses de répartition des qualités thermiques sont résumées sur les graphiques ci-dessous :





## ► Les systèmes de chauffage des logements neufs

### • Un point sur les technologies

Les systèmes de chauffage pouvant être installés sont ici présentés suivant les grandes familles suivantes :

- Le chauffage urbain : nécessite un réseau et une chaufferie collective alimentant plusieurs bâtiments.
- Le gaz : représente les systèmes de chaudières basses températures et à condensation.
- L'électricité joule : représente les ventilo-convecteur et les panneaux rayonnants.
- Le bois : représente les systèmes indépendants tel que les foyers et inserts bois, ainsi que les chaudières à granulés, buches ou plaquettes.
- Autres : représente les systèmes au charbon, GPL et fioul.
- Les Pompes à Chaleur (PAC) :

Le PAC sont subdivisées en deux catégories : les PAC Air/Eau et les autres PAC qui regroupe les PAC Air/Air, Sol/Sol/ Sol/eau. Les PAC Air/Eau sont isolées car elles représentent la catégorie de PAC le plus à même de se développer compte tenu de leur bon équilibre performance/prix/facilité d'installation.

- Les technologies gaz innovantes :

Les technologies gaz innovantes représentent des technologies plus ou moins matures actuellement, qui se développe dans cette étude à partir de 2020. Ces technologies regroupent : les chaudières à micro-cogénération, les PAC gaz et la pile à combustible.

### • La répartition des parts de marché

Pour chacun des scénarios, un mix énergétique a été défini pour les logements neufs. Ce mix est partagé entre différents sources d'énergie et technologie de chauffage :

- *Chauffage urbain*
- *Gaz (chaudière à condensation gaz)*
- *Electricité joule (convecteur électrique)*
- *Bois (Chaudières principale)*
- *PAC A/E : Pompe à chaleur Air/Eau*
- *Autres PAC : Pompe à chaleur Air/Air ou Sol/Eau*
- *Techno Gaz innovante : PAC Gaz, Micro-cogénération, etc...*
- *Autres : Fioul, Charbon, GPL, ...*

Les règles ayant définis les parts de marché pour les différents scénarios sont rappelées à la suite :

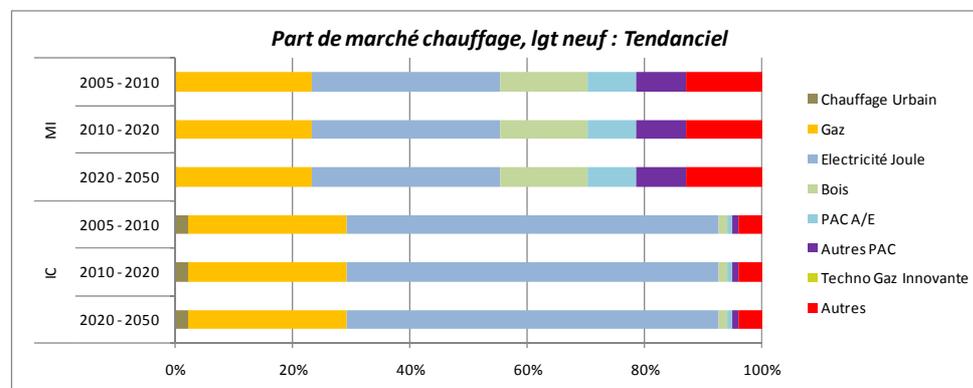
Les parts de marché des systèmes et énergies de chauffage des logements neufs sont définis de telle façon, suivant les scénarios :

### Pour tous les scénarios :

Les parts de marché des systèmes de chauffage des logements neufs sont définis pour la période 2005-2010 à partir des données du recensement 2006 INSEE.

### Pour le scénario tendanciel :

Les parts de marché sont constantes dans le temps, égales aux parts de marché de la période 2005-2010



		Chauffage Urbain	Gaz	Electricité Joule	Bois	PAC A/E	Autres PAC	Techno Gaz Inn	Autres
IC	2020 - 2050	2%	27%	63%	1%	1%	1%	0%	4%
	2010 - 2020	2%	27%	63%	1%	1%	1%	0%	4%
	2005 - 2010	2%	27%	63%	1%	1%	1%	0%	4%
MI	2020 - 2050	0%	23%	32%	15%	8%	8%	0%	13%
	2010 - 2020	0%	23%	32%	15%	8%	8%	0%	13%
	2005 - 2010	0%	23%	32%	15%	8%	8%	0%	13%

### Pour le scénario Grenelle :

Les systèmes introduits dans les constructions neuves sont impactés par les nouvelles réglementations thermiques.

Concernant la période 2010-2020 :

La répartition de ces systèmes pour la période 2010-2020 est issue de l'étude technico-économiques menées par le MEEDDM et présentée dans le dossier de presse du 6 juillet 2010 sur la RT2012.

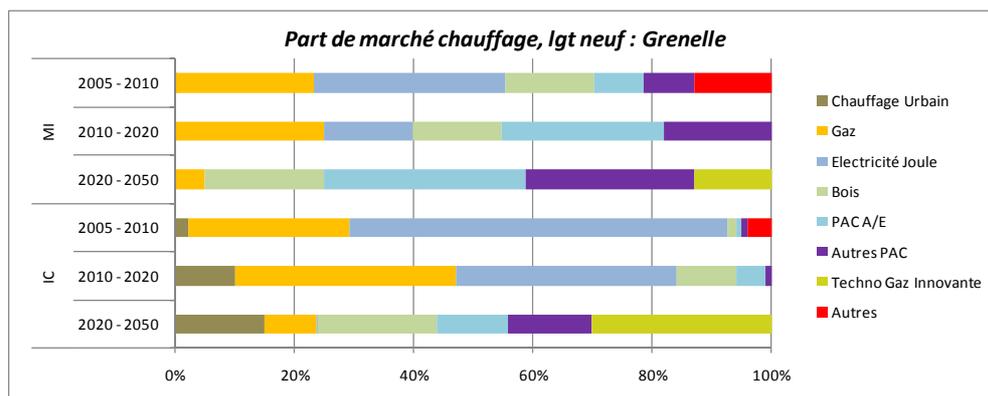
Les grandes tendances à observer sont :

- Un maintien du bois pour les MI et un développement pour les IC.
- Une forte diminution de l'électricité joule et une diminution des systèmes autres (charbon, fioul et GPL) au profit :
  - des PAC en MI
  - du chauffage urbain et du gaz en IC (la technologie PAC est bien moins mature en immeuble collectif qu'en individuel.)
- La baisse de l'électricité joule est bien moins prononcée en IC car la RT2012 prévoit une autorisation de dépassement de 7,5 kWhep/m<sup>2</sup> jusqu'en 2015 pour les logements collectifs. Ceci diminuera l'impact de la RT2012 sur la sortie de ces systèmes, qui seront encore des solutions économiquement intéressantes.

Concernant la période 2020-2050 :

Le passage au standard « bâtiment à énergie positive » éliminera les systèmes les moins performants.

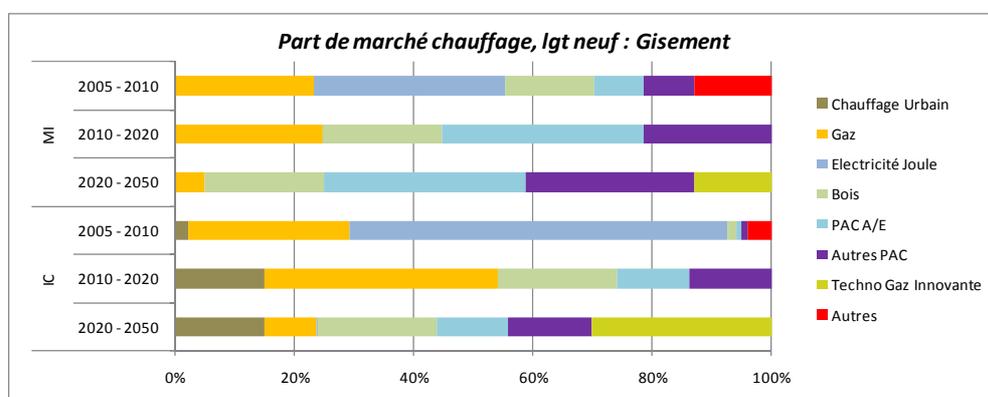
- Le mix pour les MI se répartira principalement entre le bois, les pompes à chaleur et les technologies gaz innovantes.
- Le mix pour les IC se partagera entre le chauffage urbain, le bois, les PAC et les technologies gaz innovantes.



		Chauffage Urbain	Gaz	Electricité Joule	Bois	PAC A/E	Autres PAC	Techno Gaz Inn	Autres
IC	2020 - 2050	15%	9%	0%	20%	12%	14%	30%	0%
	2010 - 2020	10%	37%	37%	10%	5%	1%	0%	0%
	2005 - 2010	2%	27%	63%	1%	1%	1%	0%	4%
MI	2020 - 2050	0%	5%	0%	20%	34%	28%	13%	0%
	2010 - 2020	0%	25%	15%	15%	27%	18%	0%	0%
	2005 - 2010	0%	23%	32%	15%	8%	8%	0%	13%

### Pour le scénario Gisement :

Dans le scénario gisement, l'électricité joule disparaît dès la période 2010-2020.



		Chauffage Urbain	Gaz	Electricité Joule	Bois	PAC A/E	Autres PAC	Techno Gaz Inn	Autres
IC	2020 - 2050	15%	9%	0%	20%	12%	14%	30%	0%
	2010 - 2020	15%	39%	0%	20%	12%	14%	0%	0%
	2005 - 2010	2%	27%	63%	1%	1%	1%	0%	4%
MI	2020 - 2050	0%	5%	0%	20%	34%	28%	13%	0%
	2010 - 2020	0%	25%	0%	20%	34%	22%	0%	0%
	2005 - 2010	0%	23%	32%	15%	8%	8%	0%	13%

## ► La production d'eau chaude sanitaire

### • Un point sur les technologies

Nous répartissons les systèmes de production d'eau chaude sanitaire (ECS) suivant les technologies/énergies suivantes :

- Gaz : ECS produite par la chaudière ou par un appareil indépendant fonctionnant au gaz naturel,
- Elec joule : ECS produite par un ballon électrique
- Solaire : ECS produite par des panneaux solaires thermiques.

Les parts de marché du solaire représentent le nombre de logements équipés. Dans les calculs de scénarios réalisés, les besoin en ECS sont considérés comme couvert à hauteur de 55% par l'équipement solaire. Les 45% restant sont couverts par une énergie d'appoint (gaz ou électrique).

On notera que ces hypothèses nationales sont particulièrement optimistes. En Nord – Pas-de-Calais, la couverture solaire étant plus vraisemblablement **de l'ordre de 40%**

- Thermo : ECS produite par un appareil thermodynamique qui peut être la pompe à chaleur chauffant le logement ou un appareil indépendant.
- Autres : ECS produite à partir de chaudière fioul, bois, GPL ou du chauffage urbain.

#### • La répartition des parts de marché

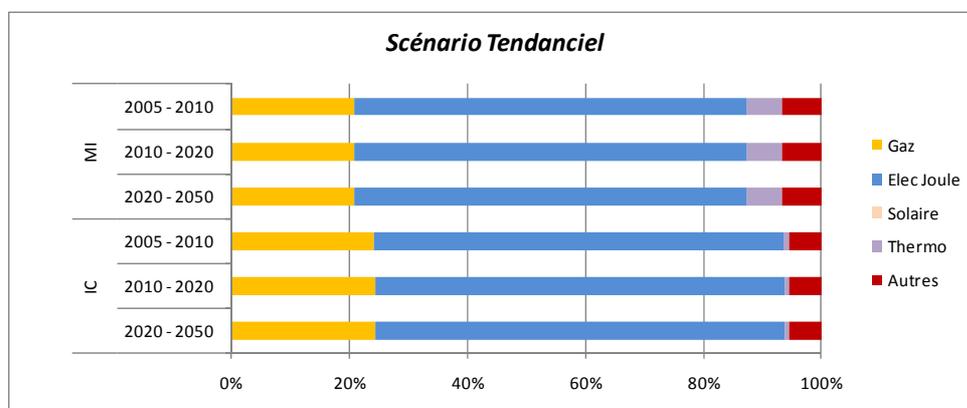
Les parts de marché des systèmes et énergies pour l'ECS des logements neufs sont définis de telle façon, suivant les scénarios :

##### Pour tous les scénarios :

Les parts de marché de la période 2005-2010 ont été déterminées à partir de matrices d'association des systèmes d'ECS et des systèmes de chauffage. Afin d'illustrer la logique employée : un logement chauffé au gaz à 90% de chance d'avoir un système ECS gaz et 10% de chance d'avoir un système ECS Elec joule.

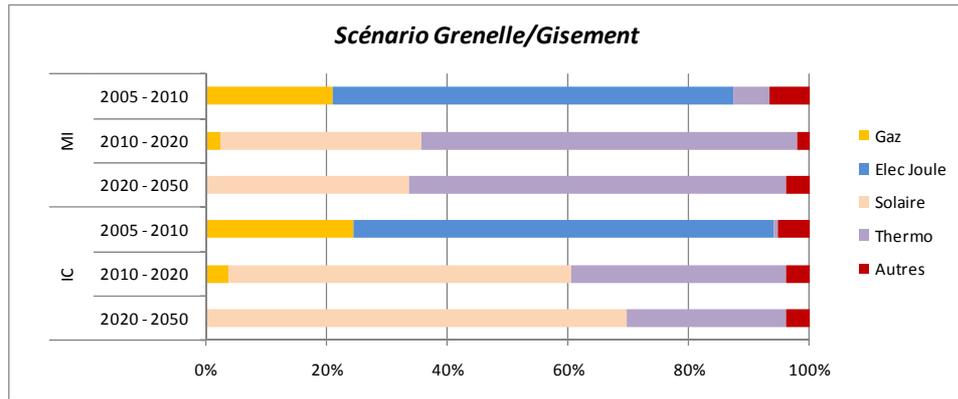
##### Pour le scénario tendanciel :

Les parts de marché sont constantes dans le temps, égales aux parts de marché de la période 2005-2010.



##### Pour les scénarios Grenelle et Gisement :

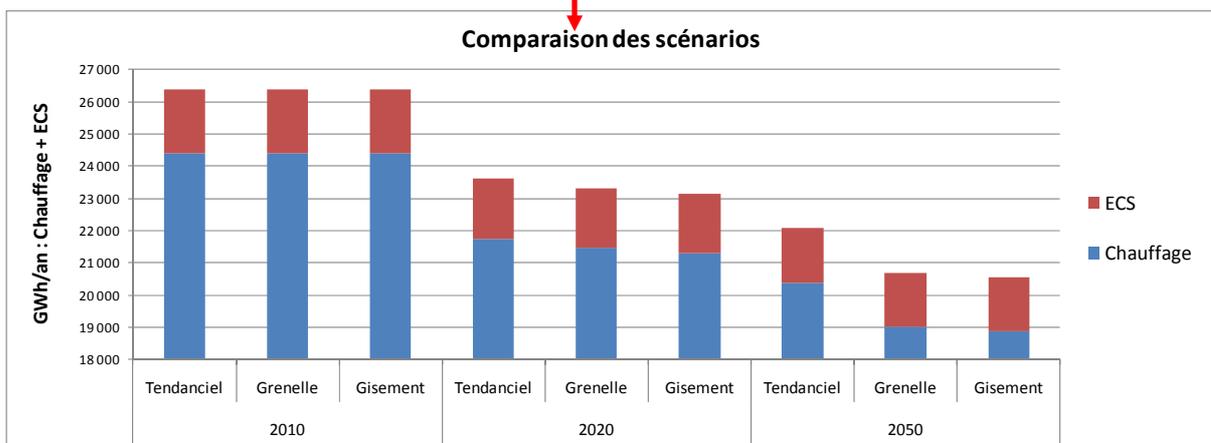
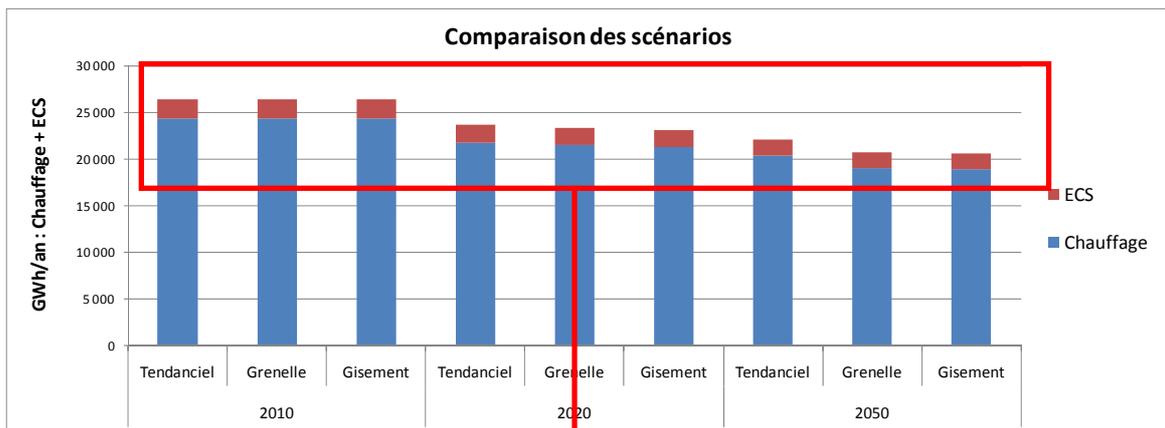
Suite à l'application des nouvelles réglementations thermiques, l'ECS solaire et l'ECS thermodynamique se partage l'essentiel des parts de marché avec un peu de bois. Le scénario Gisement est considéré comme identique au scénario Grenelle, le scénario Grenelle ne permettant pas de gains supplémentaires.



### I.2.b. Résultats de l'étude du gisement : efficacité énergétique et carbone des logements neufs

#### ► Les gisements d'économie d'énergie de la construction neuve

La consommation totale pour le chauffage et l'ECS des logements est indiquée dans les graphiques suivants pour le scénario tendanciel, le scénario Grenelle, et le scénario « gisement construction neuves » (on agit seulement sur ce levier).



On observe que l'impact de la réduction des consommations des constructions neuves est relativement faible. **Les gisements d'économie d'énergie identifiés s'élèvent à 464 GWh en 2020 et 1 550 en 2050** sur un total des consommations d'environ 30 000 GWh. Soit respectivement **1,6% et 5,1% de réduction des consommations du résidentiel**. On observe de plus un écart de gains assez faible entre le scénario Grenelle et Gisement. **Le scénario Gisement ne permet que de gagner 0,4% de gains en 2020 et**

2050 par rapport au scénario Grenelle. Les principaux résultats sont récapitulés dans les tableaux et graphiques suivants :

		Gisement GWh	Tout usage Tendanciel	%Gain par rapport au total Tendanciel
2020	Grenelle	323	29 801	1,1%
	Gisement	464	29 801	1,6%
2050	Grenelle	1 419	30 451	4,7%
	Gisement	1 549	30 451	5,1%

La plus grande partie du gisement est logiquement concentrée sur le poste chauffage, étant beaucoup plus énergivore que l'usage d'ECS.

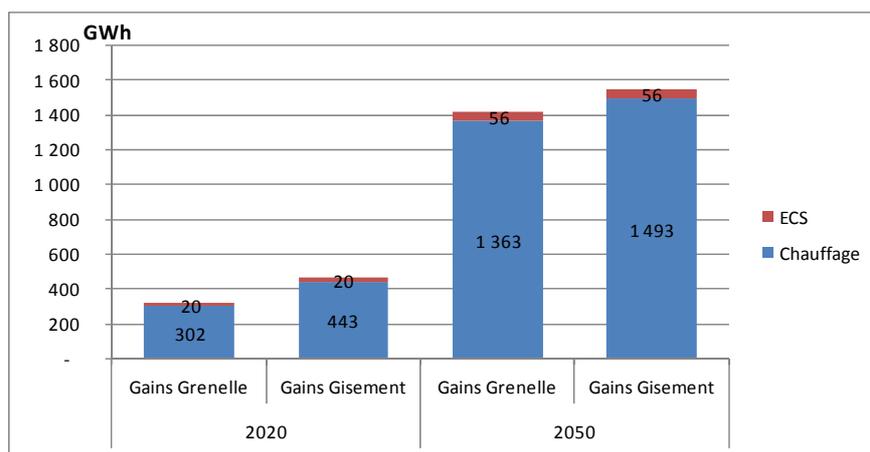


Figure 1 : Gains chauffage + ECS des scénarios Grenelle et Gisement par rapport au scénario tendanciel

### ► La construction neuve : une faible participation à la problématique énergétique du logement

Le faible gain observé s'explique par la faible part des logements neufs dans le parc total (cases vertes des tableaux ci-dessous). Ainsi en 2020 et en 2050 ils ne représentent respectivement que 4,6% et 15% du parc total de logements.

Nombre de logements	2005	2010	2020	2030	2050
Av. 1948	574 936	567 567	553 055	539 092	514 453
1949 - 1975	459 135	456 679	450 459	444 015	430 575
1976 - 2005	482 040	482 040	482 040	480 966	474 246
2005-2010	-	76 071	76 071	76 071	76 071
2010+	-	-	75 393	135 358	260 915
TOTAL	1 516 111	1 582 356	1 637 018	1 675 502	1 756 260

Part des logements 2010+	0%	0%	4,6%	8,1%	14,9%
--------------------------	----	----	------	------	-------

Cette faible proportion devient d'autant plus petite lorsque nous la traduisons en consommations énergétique. En effet par rapport à un parc existant fortement consommateur, les logements neufs consomment relativement peu.

Dans le cadre du scénario tendanciel où tous les logements neufs seraient au niveau de la RT2005, la consommation de ces logements représenterait 473 GWh en 2020 et 1650 GWh en 2050, soit respectivement 2,2% et 8,1%.

Consommation en de chauffage par année et période constructive : scénario Tendanciel					
GWh	2005	2010	2020	2030	2050
Av. 1948	12 402	12 165	10 367	9 615	8 934
1949 - 1975	7 585	7 508	6 571	6 134	5 745
1976 - 2005	4 116	4 105	3 730	3 564	3 425
2005-2010	-	618	618	618	618
2010+	-	-	473	845	1 650
Total général	24 103	24 395	21 759	20 777	20 373

Part des conso 2010+	0%	0%	2,2%	4,1%	8,1%
----------------------	----	----	------	------	------

L'application des nouvelles réglementations thermiques réduirait fortement les consommations de ce parc à 171 GWh en 2020 et 287 GWh en 2050. Soit une division par respectivement 2,7 et 5,7 des consommations.

Consommation en de chauffage par année et période constructive : scénario Grenelle					
GWh	2005	2010	2020	2030	2050
Av. 1948	12 402	12 165	10 367	9 615	8 934
1949 - 1975	7 585	7 508	6 571	6 134	5 745
1976 - 2005	4 116	4 105	3 730	3 564	3 425
2005-2010	-	618	618	618	618
2010+	-	-	171	202	287
Total général	24 103	24 395	21 457	20 133	19 010

Part des conso 2010+	0%	0%	0,8%	1,0%	1,5%
----------------------	----	----	------	------	------

Le gisement identifié, représentant une anticipation des réglementations thermiques, permettrait d'abaisser encore plus les consommations, mais les gains ne seraient que de 2% en 2020 sur les consommations totales du résidentiel dans le scénario tendanciel, et de 7,3% en 2050.

Le scénario Grenelle étant déjà relativement ambitieux, les gains du scénario gisement n'abaisseraient les consommations que de 0,7% en 2020 et 2050 par rapport au scénario Grenelle.

Consommation en de chauffage par année et période constructive : scénario Gisement					
GWh	2005	2010	2020	2030	2050
Av. 1948	12 402	12 165	10 367	9 615	8 934
1949 - 1975	7 585	7 508	6 571	6 134	5 745
1976 - 2005	4 116	4 105	3 730	3 564	3 425
2005-2010	-	618	618	618	618
2010+	-	-	30	62	158
Total général	24 103	24 395	21 316	19 994	18 880

Part des conso 2010+	0%	0%	0,1%	0,3%	0,8%
----------------------	----	----	------	------	------

### I.2.c. Conclusions sur le gisement des logements neufs

Le gisement sur la construction neuve permet d'économiser :

- 465 GWh/an à l'horizon 2020
- 1 550 GWh/an à l'horizon 2050

Le cadre du Grenelle impact fortement ce gisement au travers des futures réglementations thermiques. Ainsi par rapport au scénario Grenelle, le gisement disponible s'élève à :

- 141 GWh/an à l'horizon 2020
- 129 GWh/an à l'horizon 2050

Ainsi l'enjeu principal concernant la construction neuve sera la maîtrise des coûts, et plus particulièrement des surcoûts de construction induits par les nouvelles réglementations thermiques.

**L'enjeu purement énergétique est donc plutôt limité dans le cadre du SRCAE. Toutefois la construction neuve a un lien et donc un impact qui peut être significatif sur les questions de mobilité.**

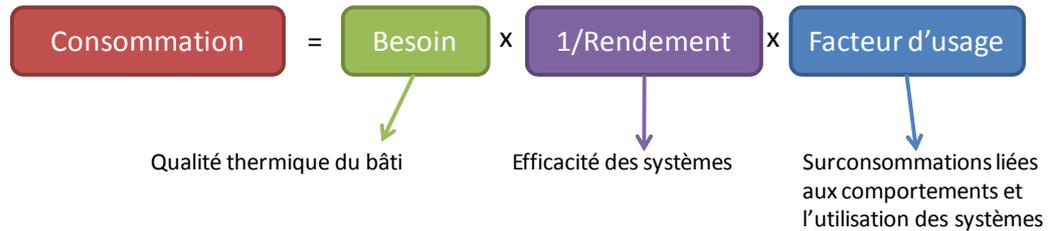
## I.3. Efficacité énergétique dans les logements existants : le chauffage

Après avoir identifié les gisements d'économie d'énergie des logements neufs, relativement faibles par rapport aux consommations totales du parc résidentiel, l'étape suivante est d'identifier les gisements d'économies d'énergie de chauffage du parc existant.

Les économies d'énergies de chauffage peuvent être obtenues par trois grands moyens :

- L'amélioration du bâti des logements : isolation, remplacement des menuiseries etc...
- L'amélioration des systèmes de chauffage : remplacement des chaudières et substitution d'énergie,
- La rationalisation des comportements : sensibilisation aux économies d'énergie, meilleur entretien des équipements, meilleur régulation...

Si l'on traduit ces facteurs de consommation énergétique en équation cela donne :



### I.3.a. La réhabilitation du bâti

#### ► Structuration du parc initial

La réhabilitation du bâti d'un logement permet de réduire son besoin. Le besoin de chauffage, initial d'un logement existant, exprimé en kWh/m<sup>2</sup>, dépend de plusieurs facteurs.

Tout d'abord ce besoin dépend de l'âge de ce logement. Par exemple les logements construits avant le premier choc pétrolier (avant 1968) n'étaient pas conçus avec des notions de limitation des besoins de chauffage, la problématique énergétique n'étant pas identifiée à cette époque.

De plus tous les logements n'ont pas les mêmes surfaces déperditives. Ainsi une différence notable peut être observée entre une maison individuelle ayant ses quatre murs donnant sur l'air extérieur, et un appartement faisant partie d'un immeuble collectif et étant entouré de plusieurs logements également chauffés. Ce dernier peut n'avoir qu'une seule de ses parois donnant sur l'extérieur.

Voici ci-dessous un exemple d'impact de ces facteurs :

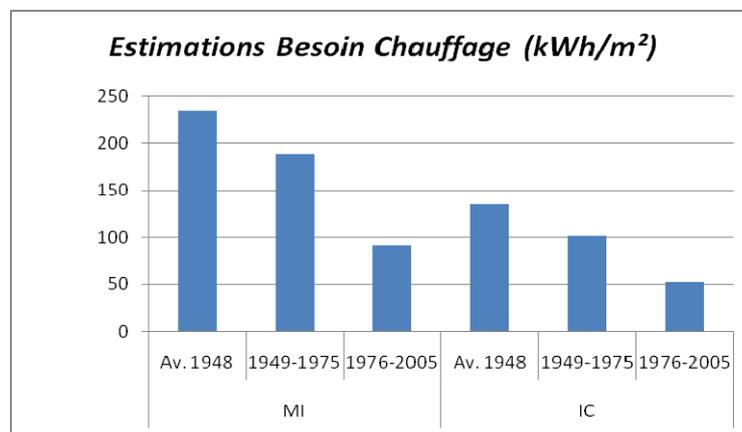


Figure 2 : Besoin de chauffage d'un logement en fonction de son âge et de son type

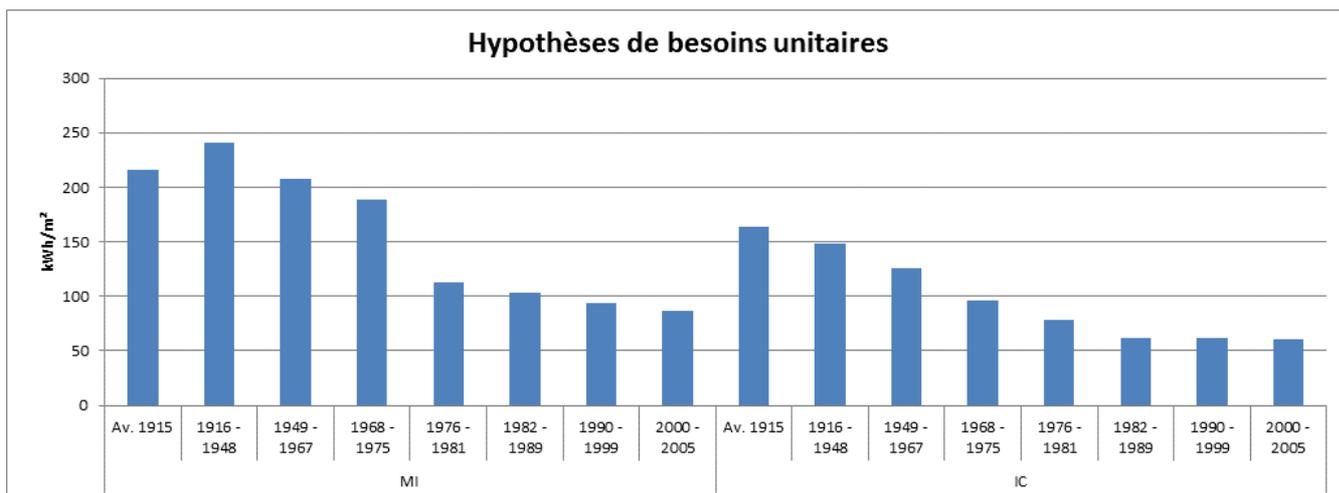
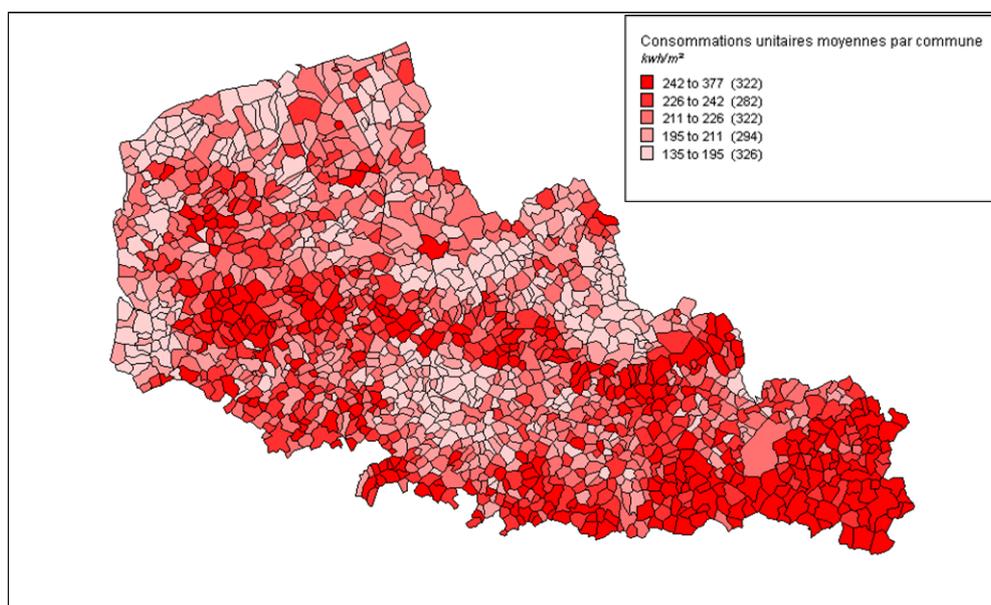


Figure 3 : Besoin de chauffage d'un logement en fonction de son âge et de son type – Données détaillées

Ainsi le besoin unitaire est moindre en milieux urbain, les logements collectifs y étant plus présents. Voici une carte du Nord-Pas-de-Calais présentant les consommations unitaires moyennes par communes :



#### Evaluation des besoins de chauffage unitaire par commune, ENERTER

L'étude du gisement « réhabilitation du parc bâti » se fait en effectuant une simulation large de gestes de réhabilitation sur l'ensemble du parc existant.

Ces gestes sont décomposés en deux « bouquets de travaux ».

- Un bouquet « 3 gestes » consistant en l'isolation des murs, de la toiture et au remplacement des menuiseries (fenêtres). Ceci correspond à une rénovation thermique complète typique. Le coût par logement d'une telle rénovation est approximativement de 20 000 €
- Un bouquet « volontaire » constitué des trois gestes du bouquet précédent ainsi que de l'isolation du plancher et du remplacement de la ventilation. Le coût par logement d'une telle rénovation est approximativement de 26 000 €

Les besoins du parc initial sont définis par le modèle développé par Energies Demain : Enerter©. Ce modèle se base notamment sur la définition et la caractérisation thermique de plus de vingt familles architecturales. La répartition du parc du Nord-Pas-de-Calais selon ces familles est résumée dans le tableau ci-dessous. On observe que le parc de cette région se démarque par sa faible proportion de logements collectifs et par la forte présence d'habitats du type « habitat Ouvrier ».

	Typologie	Nb Lgt	Part	Moyenne France
Collectif	Barres	10 392	0,6%	1,1%
	Collectif	89 770	5,6%	8,4%
	Collectif bourgeois	2 957	0,2%	0,4%
	Eclectique	9 140	0,6%	1,6%
	Grand collectif	81 826	5,1%	6,2%
	Habitat intermédiaire	5 827	0,4%	0,7%
	Haussmannien	4 882	0,3%	1,4%
	Hbm	904	0,1%	0,2%
	Immeuble années 30	2 816	0,2%	0,3%
	Immeuble de bourg	15 156	0,9%	2,8%
	Immeuble de logement	15 044	0,9%	1,5%
Individuel	Maison bourgeoise	12 757	0,8%	1,1%
	Maison de bourg	206 395	12,8%	11,3%
	Maison rurale	15 913	1,0%	4,2%
	Pastiche	30 343	1,9%	2,4%
	Pavillon	28 076	1,7%	2,2%
	Pav. Banlieu/Habitat Ouvrier	496 333	30,8%	11,7%
	Pavillon préfabriqué	69 713	4,3%	3,2%
	Pavillon traditionnel	353 157	21,9%	24,4%
	Petit collectif	98 382	6,1%	11,5%
	Villa éclectique	62 796	3,9%	3,3%
	Total général	1 612 579	100,0%	

Figure 4 : Répartition du parc du Nord-Pas-de-Calais en différentes typologies architecturales selon le modèle Enerter© (Energies Demain)

Ces familles architecturales permettent aussi de définir l'impact thermique des rénovations évoquées précédemment.

Pour plus de clarté, voici l'exemple de l'impact de la rénovation d'un logement appartenant à la famille « habitat ouvrier » emblématique de la région Nord-Pas-de-Calais.

- Description de la famille architecturale



Ces logements représentent 31% des logements du Nord-Pas-de-Calais (contre 12% de moyenne nationale).

Cette typologie est présente dans les gros bourgs ruraux et dans les zones urbaines.

Ces constructions sont très fréquemment alignées en bande, mitoyennes sur leur deux pignons.

Leur morphologie va d'un Rez-de-chaussée (RDC) + combles à RDC +1 étage + combles

Leur paroi est majoritairement constituée de brique.

Les ouvertures représentent généralement environ 20% des deux faces libres.

**La consommation typique des bâtiments existants est estimée à 223 kWh/m<sup>2</sup>**

- Un commentaire sur l'ordre de grandeur observé

On pourra s'étonner de trouver un ordre de grandeur de 223 kWh/m<sup>2</sup>, qui reste faible par rapport aux valeurs trouvés dans les DPE.

Il est alors important de noter que Bien noter ici qu'il s'agit d'un besoin final de chauffage. Le DPE se basant sur la consommation finale de chauffage et d'ECS.

Pour vérifier l'ordre de grandeur : en partant d'un rendement moyen de 80% et d'une consommation moyenne d'ECS de 30 kWh/m<sup>2</sup>; on arrive vers 308 kWh/m<sup>2</sup> ce qui pourra vous sembler une valeur plus proche des DPE moyens.

- Commentaires complémentaires sur la répartition par étiquette DPE

Le modèle ENERTER permet également de reconstituer une répartition des logements par étiquette DPE. Elle est proposée à la suite. Attention, on rappellera qu'il s'agit de données modélisées, et non –issus d'enquête, elles doivent nécessairement être associées à un écart-type de l'ordre de 10%) :

Estimation répartition DPE	A	B	C	D	E	F	G	Total
Av. 1915	0	0	829	22315	53018	48096	27951	152209
1916 - 1948	0	0	755	19939	66461	67844	40957	195956
1949 - 1967	0	7	1054	18147	69946	48267	17586	155007
1968 - 1975	0	11	2767	26487	36738	22151	5511	93665
1976 - 1981	0	527	9997	45680	22111	13674	2292	94281
1982 - 1989	0	107	8330	31797	27107	13024	703	81068
1990 - 1999	0	121	8012	21181	10868	3678	279	44139
2000 - 2005	0	1	121	393	212	133	29	889
Total	0	774	31865	185939	286461	216867	95308	817214
Av. 1915	0%	0%	1%	15%	35%	32%	18%	100%
1916 - 1948	0%	0%	0%	10%	34%	35%	21%	100%
1949 - 1967	0%	0%	1%	12%	45%	31%	11%	100%
1968 - 1975	0%	0%	3%	28%	39%	24%	6%	100%
1976 - 1981	0%	1%	11%	48%	23%	15%	2%	100%
1982 - 1989	0%	0%	10%	39%	33%	16%	1%	100%
1990 - 1999	0%	0%	18%	48%	25%	8%	1%	100%
2000 - 2005	0%	0%	14%	44%	24%	15%	3%	100%
Total	0%	0%	4%	23%	35%	27%	12%	100%

## ► Hypothèses de gains de réhabilitation thermique

- **Impact du bouquet « 3 gestes »**

Les actions effectuées sur ce bâtiment sont :

- une isolation des murs par l'intérieur,
- une isolation des combles,
- une pose de double vitrage.

**La consommation après isolation devient : 85 kWh/m<sup>2</sup>, soit une diminution de 60%.**

On notera néanmoins que ce bouquet, ici présenté à but pédagogique, est assez incomplet. La mise en œuvre d'une réhabilitation des parois justifierait la nécessité de mettre en œuvre une amélioration de la ventilation afin de limiter l'humidité du logement et pour maîtriser la qualité de l'air intérieur.

- **Impact du bouquet « volontaire »**

Les actions du bouquet « 3 gestes » précédent sont appliquées, en plus de l'installation d'une ventilation mécanique et de l'isolation du plancher.

**La consommation après isolation devient : 35 kWh/m<sup>2</sup>, soit une diminution de 85%.**

- **Utilisation de la ventilation**

Dans le cadre de cette étude, les calculs de gains se basent sur différentes combinaisons de gestes (parois, toiture, fenêtre, etc ...). Que cela soit dans le bouquet « 3 gestes » ou dans le

bouquet « volontaire ». L'isolation des parois, va entraîner une forte diminution des capacités de renouvellement d'air des logements, favorisant le développement de l'humidité en intérieur, générant un effet « cocotte-minute », préjudiciable pour la qualité de l'air intérieur et la santé des occupants.

Bien que ces éléments n'aient pas été intégrés dans le cadre des calculs réalisés dans cette étude, il est donc indispensable de coupler des actions volontaires sur les parois des logements à une amélioration de la ventilation des logements.

### ► Estimation des gains de réhabilitation thermique

- Gisement « bouquet volontaire »

Dans le cadre de cette étude de gisement, nous simulons l'impact de la réhabilitation « volontaire » appliquée à l'ensemble du parc à l'horizon 2050.

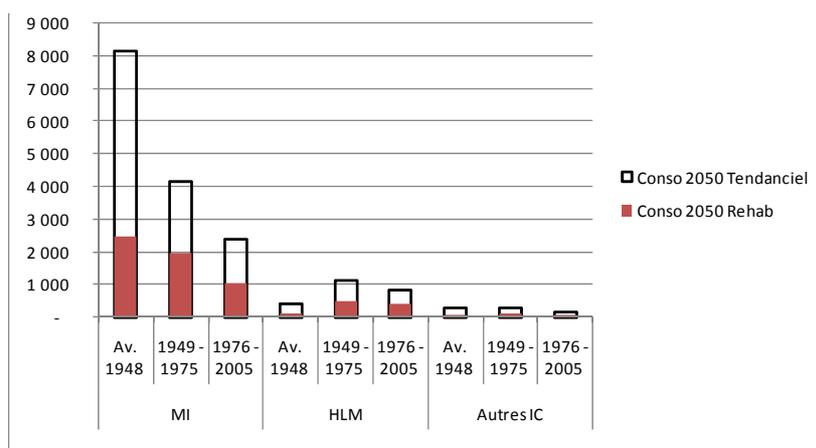


Figure 5 : Gains liés à la mise en œuvre de bouquet "Volontaire"

Typo	Année de construction	Conso 2050 Tendanciel	Conso 2050 Rehab	Gain %	Gain Brut en GWh/an	Part du gisement	Nombres de logements	Part du parc
MI	Av. 1948	8 124	2 481	69%	5 643	51,5%	447 004	31,5%
	1949 - 1975	4 165	1 944	53%	2 221	20,3%	263 529	18,6%
	1976 - 2005	2 378	1 048	56%	1 330	12,1%	263 877	18,6%
HLM	Av. 1948	414	135	67%	279	2,5%	29 088	2,0%
	1949 - 1975	1 122	480	57%	642	5,9%	126 205	8,9%
	1976 - 2005	827	398	52%	429	3,9%	154 760	10,9%
Autres IC	Av. 1948	266	90	66%	176	1,6%	38 361	2,7%
	1949 - 1975	277	115	59%	162	1,5%	40 841	2,9%
	1976 - 2005	162	85	47%	77	0,7%	55 609	3,9%
TOTAL		17 736	6 778	62%	10 958	100%	1 419 274	100%

Attention, le gain relatif est ici établi par rapport aux consommations totales des logements (comprenant les autres usages énergétiques). Les gains présentés précédemment étant calculés uniquement sur les besoins de chauffage.

On observe que le gisement est relativement important. **A l'horizon 2050 il s'élève à près de 11 000 GWh/an. Autre fait intéressant de souligner : un peu plus de 50% du gisement est concentré dans un peu plus de 30% du parc : les maisons individuelles d'avant 1948.**

En prenant le coût unitaire de ce bouquet d'actions à 40 000 euros, nous obtenons un coût d'environ 15 c€/kWh évité (sur une hypothèse d'une durée de vie de 35 ans). Soit environ trois fois plus que le coût du gaz actuel, et environ 1,5 fois plus que le coût de l'électricité. C'est l'un des problèmes majeurs de l'action pour la réhabilitation : les taux de retours sur investissements sont très mauvais, sauf dans des scénarios de coûts importants du prix des énergies. A noter néanmoins que ce coût est une valeur globale issue de cet exercice, et que des valeurs plus intéressantes peuvent être isolées en ciblant des franges de parc bien précises (parc individuel énergivore, ou immeubles collectifs où les coûts d'investissements rapportés au logement sont plus faibles).

Attention : les coûts estimés ne servent qu'à donner des ordres de grandeur.

- **Gisement « bouquet 3 gestes »**

Dans le cadre de cette étude de gisement, nous simulons l'impact de la réhabilitation « 3 gestes » appliquée à l'ensemble du parc à l'horizon 2050.

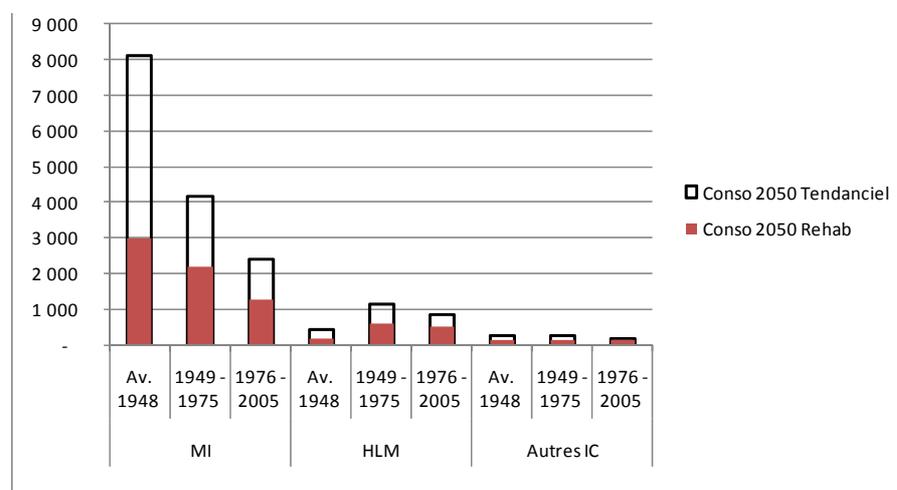


Figure 6 : Gisement liés à la mise en œuvre de bouquet "3 gestes"

Typo	Année de construction	Conso 2050 Tendanciel	Conso 2050 Rehab	Gain %	Gain Brut en GWh/an	Part du gisement	Nombres de logements	Part du parc
MI	Av. 1948	8 124	3 002	63%	5 123	53,2%	447 004	31,5%
	1949 - 1975	4 165	2 204	47%	1 961	20,4%	263 529	18,6%
	1976 - 2005	2 378	1 269	47%	1 109	11,5%	263 877	18,6%
HLM	Av. 1948	414	162	61%	252	2,6%	29 088	2,0%
	1949 - 1975	1 122	580	48%	543	5,6%	126 205	8,9%
	1976 - 2005	827	516	38%	310	3,2%	154 760	10,9%
Autres IC	Av. 1948	266	117	56%	149	1,6%	38 361	2,7%
	1949 - 1975	277	143	49%	134	1,4%	40 841	2,9%
	1976 - 2005	162	120	26%	42	0,4%	55 609	3,9%
<b>TOTAL</b>		<b>17 736</b>	<b>8 112</b>	<b>54%</b>	<b>9 624</b>	<b>100%</b>	<b>1 419 274</b>	<b>100%</b>

Attention, le gain relatif est ici établi par rapport aux consommations totales des logements (comprenant les autres usages énergétiques). Les gains présentés précédemment étant calculés uniquement sur les besoins de chauffage.

Le gisement est moindre qu'avec le bouquet volontaire, comme l'on peut s'y attendre, mais reste important. **A l'horizon 2050 il s'élève à près de 9 630 GWh/an.** Comme pour le gisement volontaire, l'essentiel du gisement est concentré sur les maisons individuelles d'avant 1948.

En prenant le coût unitaire de ce bouquet d'actions à 20 000 euros, nous obtenons un coût total de ce gisement s'élevant à un peu plus de 28 milliard d'euros. Ce qui revient à environ 34 c€/kWh évité.

Attention, les coûts affichés ne servent qu'à donner des ordres de grandeur. La mise à disposition de retours d'expériences plus larges permettrait d'affiner ces visions.

### ► **Conclusions sur le gisement « réhabilitation du bâti existant »**

Ce gisement présente des gains très importants, s'élevant à près de 11 000 GWh/an d'ici 2050. **L'action sur le bâti des logements existant doit être la principale mesure dans le cadre d'une politique de maîtrise des consommations énergétiques.**

Toutefois les coûts mis en jeu sont importants et nécessitent un ciblage lors du SRCAE.

Ainsi la définition des points suivant est importante :

- Quel parc réhabiliter ? (50% du gisement repose sur 30% du parc)
- Quelle est l'ambition des travaux de rénovation suivant le type de parc ciblé ?
- Quel objectif temporel se fixer ? Par exemple quelle étape pour 2020 ?

Ainsi concernant le dernier point, il s'agira de faire attention à ne pas « tuer » le gisement en effectuant de petits travaux de rénovation pour toucher un plus grand nombre de logements. En effet, les coûts seront plus importants si les différents gestes de rénovation thermique sont faits de manière différenciée dans le temps sur un même logement (pas de mutualisation des moyens de travaux). De plus, la gêne occasionnée par les travaux se retrouve multipliée pour les habitants, et ceux-ci auront moins tendance à déclencher des travaux successifs. Toutefois cet équilibre entre nombre de logements à toucher et niveau de performance des travaux peut être difficile à trouver. Une collectivité ne peut pas trop favoriser une faible partie des logements, et donc des habitants, pour effectuer des réhabilitations thermiques sans rompre une certaine d'équité sociale.

Un critère de ciblage de parc à rénover, croisant performance thermique initiale du logement et revenu du ménage occupant, pourrait être pertinent.

### I.3.b. Gisement sur les systèmes de chauffages

#### ► Moyens d'actions sur les systèmes

Les consommations énergétiques des logements peuvent être réduites par le changement ou l'amélioration du système de chauffage. Trois effets peuvent être identifiés :

- L'effet technologique : amélioration des rendements des systèmes existants.

Une chaudière neuve possède un rendement supérieur à une chaudière vieille de 20 ans. C'est par exemple le cas lorsque l'on passe d'une chaudière gaz classique à une chaudière gaz à condensation. Cet effet est traduit dans l'ensemble des scénarios par un remplacement des systèmes de chauffage arrivant en fin de vie. Les évolutions de rendements sont illustrées dans les graphiques ci-dessous.

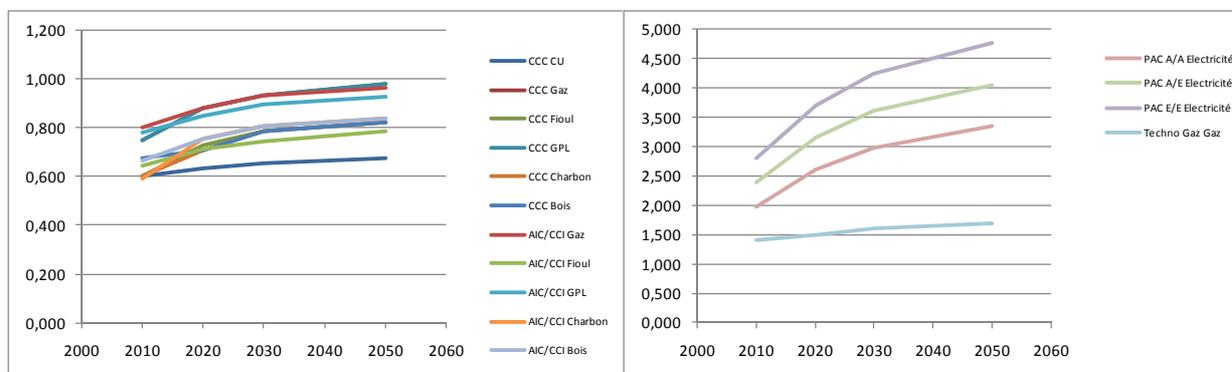


Figure 7 : Evolution des rendements des systèmes de chauffages

La durée de vie moyenne des systèmes détermine le taux de rotation de ces derniers, et est fixée à :

- 20 ans pour les systèmes de chauffages collectifs,
- 15 ans pour les systèmes individuels.

A noter que dans cette étude, l'augmentation du taux de rotation des systèmes de chauffage (par effet d'une mesure de type « prime à la casse ») n'est pas prise en compte.

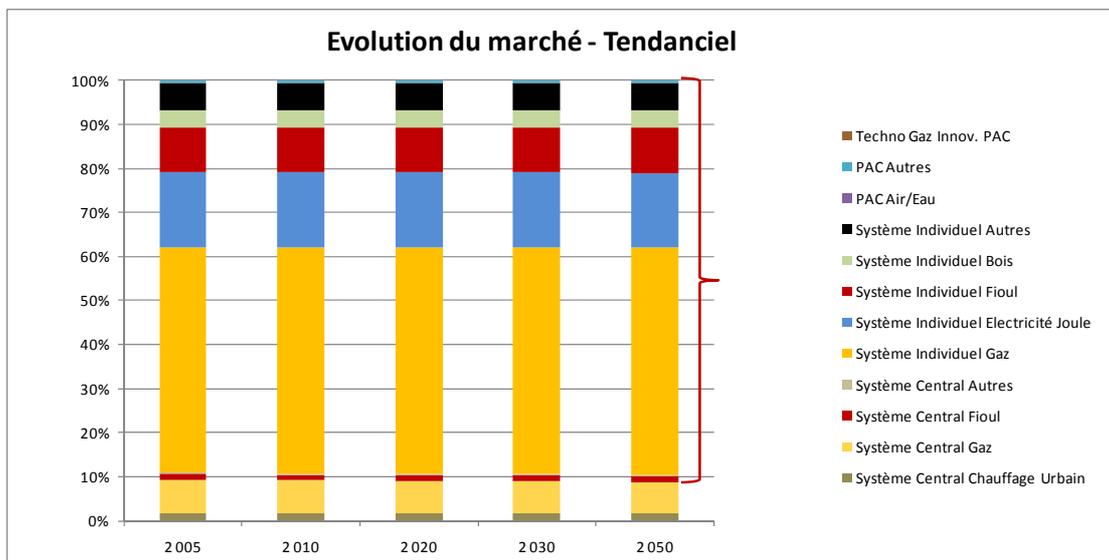
- Un effet de marché : le changement de type ou d'énergie de chauffage vers une technologie plus performante ou une énergie moins polluante.
- Un effet d'utilisation/comportement : ceci se traduit par une meilleure régulation ou un meilleur entretien du système.

## ► Descriptif des hypothèses et scénarios

Un scénario « Gisement systèmes » est comparé à un scénario Tendanciel. Le Grenelle est considéré comme n'ayant pas d'effet sur le parc existant. Les réhabilitations du bâti sont considérées comme nulles dans les deux scénarios.

- Le scénario tendanciel

Le scénario tendanciel prend en compte l'effet technologique d'amélioration des rendements. Le scénario tendanciel défini dans cette étude traduit uniquement cet effet. Les systèmes de chauffage du parc de logement sont remplacés par des systèmes de même technologie, neufs.



Les parts de marché restent du coup stable dans le temps. A noter la grande proportion de systèmes individuels de chauffage (accolade rouge).

Ce remplacement des systèmes provoque donc une baisse de la consommation d'énergie dans le scénario tendanciel :

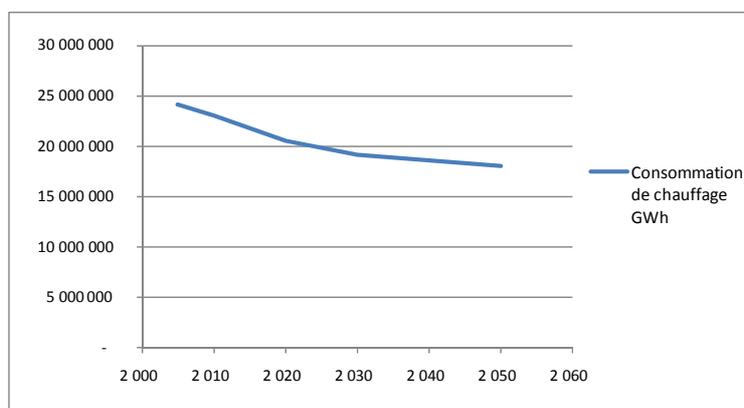


Figure 8 : baisse de la consommation du scénario tendanciel provoquée par le remplacement des systèmes

- Le scénario « Gisement Systèmes »

Le scénario Gisement système se distingue du scénario tendanciel par des hypothèses de remplacement de systèmes par des énergies et technologie moins consommatrices ou émettrices de CO<sub>2</sub>.

Cette substitution est déterminée au travers de matrices de transferts de systèmes de chauffage. Ces matrices servent à indiquer, pour chaque type de système, quel système sera choisi en remplacement. Ceci permet de créer une dynamique « naturelle », prenant en compte les contraintes de changements de système. Cette approche a été préférée par rapport à une approche multipliant les scénarios de type : un scénario « tout bois », un scénario « tout PAC », un scénario « Chauffage Urbain »... D'une part car cela pourrait nuire à la lisibilité des

résultats, et d'autres part car l'orientation vers une solution unique n'est pas possible techniquement et soulève des inconvénients (voir ci-après le questionnement sur l'introduction du bois ou des PAC)

Ainsi, **les règles de passage** suivantes ont été posées dans le cadre de ce scénario Gisement :

En maison individuelle :

- les logements chauffés à l'électricité Joule passent aux PAC Air/Eau,
- les logements chauffés au fioul, GPL, charbon passent à 40% aux PAC et 60% au bois,
- les logements Gaz restent au Gaz.

En logement collectif :

- les logements en chauffage collectif GPL et Fioul passent au chauffage urbain,
- les logements chauffés à l'électricité joule passent aux PAC,
- les logements chauffés au GPL et gaz naturel par systèmes individuels passent ou restent au Gaz (avec augmentation du rendement i.e. passage à la condensation), ou passent aux technologies innovantes gaz après 2020.

**Remarque sur les règles de passage choisies :**

Le choix arbitraire de ces règles de passage peut poser question et débat. En effet elles ont été choisies de façon à créer un scénario ambitieux mais cohérent avec des contraintes technico-économique en vigueur. Toutefois certaines règles méritent questionnement :

- Le passage vers les **technologies gaz innovantes** peut avoir un impact fort, mais le développement et la maturité de ces technologies à l'horizon 2020 **sont incertains**. **Ainsi nous proposons en variante un scénario sans introduction de ces technologies.**

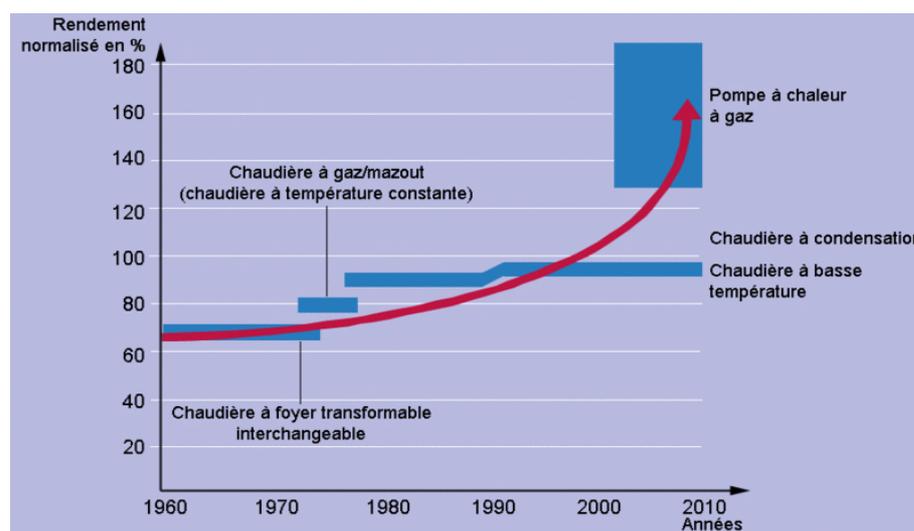


Figure 9 : Evolution des rendements normalisés des technologie gaz

- Le fait de **favoriser l'introduction des systèmes Bois ou des PAC électriques** est une question importante.

Chaque technologie possède ses forces et faiblesse, et agissent de manières distinctes sur le bilan climat/énergie du parc de logements. Voici un bref quelques éléments chiffrés afin d'illustrer les différences entre une PAC A/E et une chaudière bois :

**En termes d'efficacité énergétique**, si nous comparons une PAC de COP 3 par rapport à une chaudière bois de rendement 0.85 nous constatons que la PAC consomme :

- 3,5 fois moins que la chaudière bois en énergie finale,
- 1,4 fois moins que la chaudière bois en énergie primaire (lié au facteur de conversion 2,58 primaire/final pour l'électricité).

A noter sur la comptabilité des PAC dans le développement des énergies renouvelables que seule sont comptabilisés les PAC dont le COP dépasse 2,58 (ratio de passage EP/EF) ; et que seule l'énergie produite au-delà de ce COP est considérée comme renouvelable.

- **La faisabilité du passage de l'électricité joule aux PAC Air/Eau**

Dans le cadre de cette étude, un transfert de l'électricité Joule vers les PAC a été proposé. On pourra s'interroger sur la pertinence de cette hypothèse : les coûts importants pour le développement du réseau peuvent militer pour le passage direct au gaz ou au bois.

Ainsi, de manière plus large, il semblera plus cohérent de prendre en compte les hypothèses de calculs en lisant d'une part l'ensemble des systèmes sortants (Electricité joule, fioul, GPL, Charbon) qui sont faites et par ailleurs l'ensemble des systèmes entrants (PAC Air/EAU, Gaz, Bois).

**En termes d'émissions de CO<sub>2</sub> :**

- L'électricité émet environ 180 gCO<sub>2</sub>/kWh pour le chauffage (d'après la note de cadrage du 14/01/2005 de l'ADEME),
- Le bois émet 0 gCO<sub>2</sub>/kWh, ou 13 gCO<sub>2</sub>/kWh en comptant les émissions du cycle amont (transformation et transport)

**D'autres inconvénients spécifiques à chaque énergie peuvent être soulignés :**

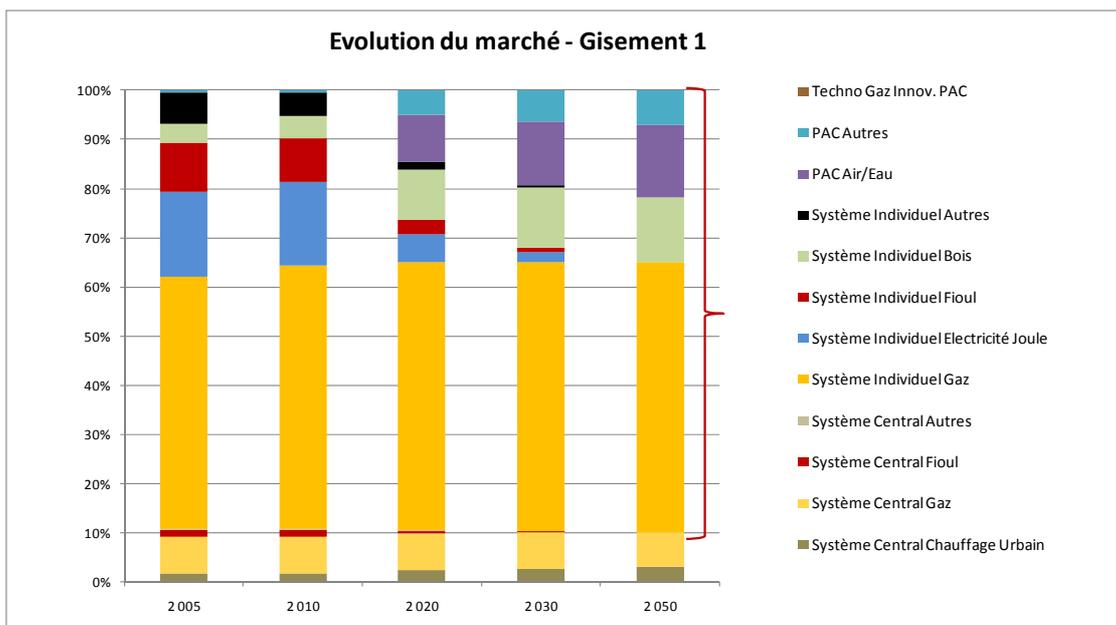
- Les PAC participent à l'effet de pointe électrique. Ceci est aggravé par le fait qu'en périodes de froid important, les PAC se mettent à fonctionner comme des systèmes électriques joules. Ainsi, un développement massif de cette technologie pourrait poser des problèmes de saturation sur le réseau local électrique et augmenter les émissions de CO<sub>2</sub> en mobilisant des moyens thermiques de production d'électricité de pointe.
- La combustion du bois est émettrice de polluants tel que : du monoxyde de carbone (CO), Oxyde d'azote (NOx), particules fines, etc. L'amélioration technologique des chaudières récentes permet de réduire ces émissions, mais l'usage massif du bois en milieu urbain pourrait poser des problèmes de santé publique.
- Pour un développement massif du bois, l'offre locale de bois-énergie doit suivre la demande tout en gérant la ressource pour éviter une surexploitation.

- **Le choix a été fait de laisser les logements chauffés au gaz de réseau « fidèles » à cette énergie.**

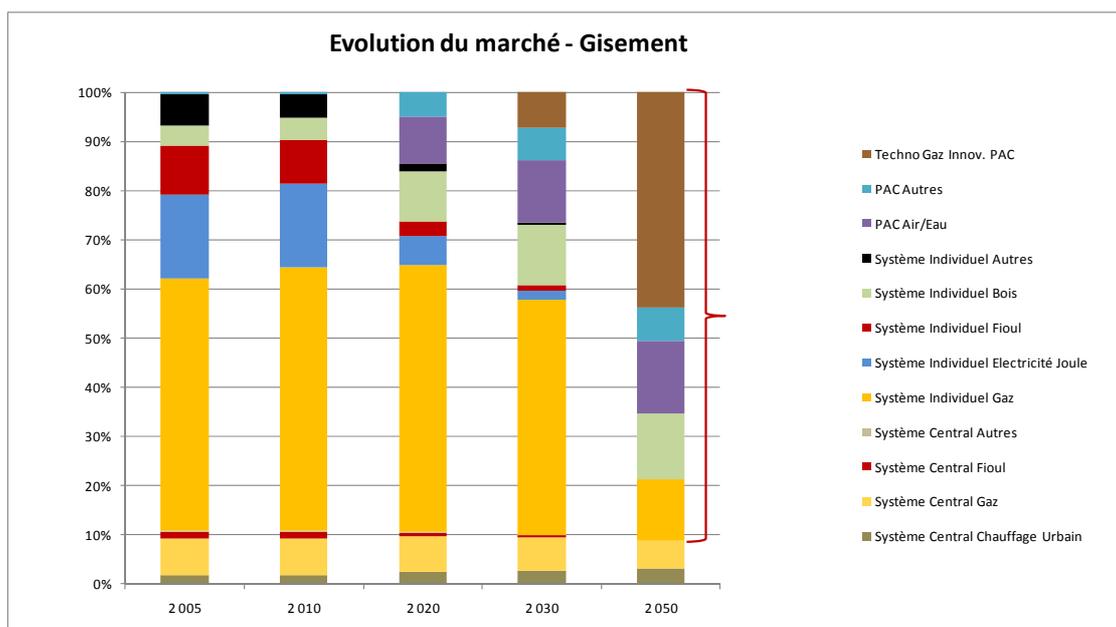
Ce choix peut être discutable, mais il a été fait en considérant les éléments suivants :

- Les systèmes gaz présentent un rapport performance/coûts qui reste intéressant (ils permettent de respecter les réglementations thermiques dans le neuf par exemple)
- Les coûts de changement d'énergie (raccordement à l'électricité triphasée, stockage bois) dissuadent l'occupant de changer.
- Les logements connectés au gaz de réseau sont majoritairement situés en zone urbaine, ce qui rend délicat l'utilisation du bois-énergie (problème de place de stockage et émissions de polluants)

**Parts de marché des systèmes de chauffage suite aux changements de systèmes du scénario Gisement 1 avec technologies existantes :**

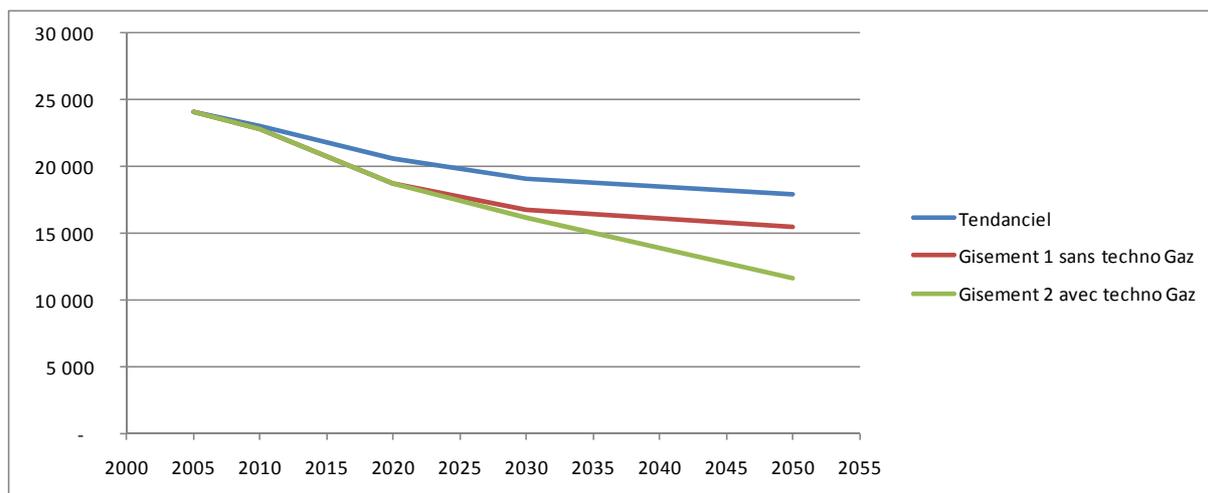


**Parts de marché des systèmes de chauffage suite aux changements de systèmes du scénario Gisement 2 avec systèmes gaz innovants :**



### ► Principaux résultats de l'étude « Gisement systèmes »

L'évolution de la consommation de chauffage dans les différents scénarios envisagés est résumée dans le graphique ci-dessous :



Les nouvelles technologies Gaz permettent de se substituer au gaz classique et donc d'abaisser la consommation plus en avant à partir de 2030.

Les gisements identifiés sont les suivants :

- Environ 1840 GWh/an à l'horizon 2020,
- De 2500 à 6350 GWh/an à l'horizon 2050.

### ► Des questions clés pour le SRACE

Cette étude sur la substitution des systèmes pose de nombreuses questions clés dans le cadre des SRCAE que nous résumons ici :

- L'horizon temporel de résorption des systèmes charbon/fioul/GPL est crucial. Ce sont des gisements important d'économie d'énergie et de diminution de Gaz à Effet de Serre (GES). Dans notre étude la plupart de ces systèmes ont disparus d'ici 2050.
- Les règles de partage de marché et l'équilibre entre Bois et PAC en substitution du fioul/charbon/GPL peuvent influencer grandement les résultats obtenus si on raisonne en termes d'efficacité économique ou d'émission de CO<sub>2</sub>.
- Concernant le choix des technologies de PAC (Air/eau, Sol/Eau/ Air/Air), le choix du développement de la PAC Air/Eau est-il le plus judicieux ? Les contraintes liées aux PAC Sol/Eau peuvent-elles être levées ?
- Combien de logements est-il possible de raccorder aux réseaux de chaleur ? Une densité critique de logement doit être atteinte pour qu'un réseau devienne rentable, un identification du potentiel serait profitable. De plus le choix est fait ici de ne raccorder que des logements collectifs, toutefois une question se pose sur la pertinence de favoriser la liaison de maisons individuelles à cette ressource si ceci est économiquement viable.
- Concernant le mix énergétique des réseaux de chaleur et la problématique des émissions de CO<sub>2</sub> plusieurs questions se posent :
  - La quantité de ressource chaleur mise à disposition par l'industrie et sa pérennité.
  - La ressource Géothermique est-elle importante dans la région ?
  - La place du bois et ses impacts sur la qualité de l'air en zone dense doit être considérée.
- La règle de « fidélité » au gaz utilisée ici peut être remise en question. Quid de l'énergie/système de substitution ?
- La place des nouvelles technologies gaz dans les projections à 2020 et 2050 reste à discuter. Leur impact peut être élevé, mais est sujet à de grande inconnues.

### I.3.c. Gisement sur un effet « comportement »

Les consommations énergétiques d'un logement peuvent varier de manière importante suivant les comportements des habitants. Une action sur ces comportements peut permettre de

diminuer les consommations de chauffage, en évitant les surchauffes par exemple, que ce soit par :

- Une action technologique : un meilleur système de régulation
- Une action contractuelle : obligation d'entretien de chaudières
- Une sensibilisation : limitation de la température de consigne, modification du comportement (diminution de l'effet : « j'ouvre les fenêtres avec le chauffage au maximum »).

Cependant l'impact de telles mesures est difficile à évaluer. Ainsi certaines études de sensibilisation indiquent des baisses de 10% des consommations dans un bâtiment test, mais ce résultat peut être biaisé par le fait que l'étude n'est faite que sur 1 semaine, ou l'effet est maximum. De plus l'effet rebond de surconsommation liée à l'amélioration technique du logement (réhabilitation, logement neuf), vient contrer cet effet.

Des taux forfaitaires sont utilisés pour simuler le gisement possible d'économie d'énergie de l'ensemble de ces actions. Ces hypothèses s'appuient sur les hypothèses utilisés dans les scénarios prospectifs nationaux (entretien des chaudières) ou utilisées par le modèle ScEGES.

Effet entretien	-10%				
	2005	2010	2020	2030	2050
tx chaudières entretenues	50%	67%	100%	100%	100%
tx supplémentaire tendanciel	0%	17%	50%	50%	50%
baïsse	0%	-2%	-5%	-5%	-5%
Effet sensibilisation	-5%	-5%	-5%	-5%	-5%
Effet régulation	-10%				
	2005	2010	2020	2030	2050
Tx chaudières régulées	50%	67%	100%	100%	100%
Tx supplémentaire tendanciel	0%	17%	50%	50%	50%
Baïsse régulation	0%	-2%	-5%	-5%	-5%
TOTAL impact du gisement "comportements"	-5%	-8%	-15%	-15%	-15%

Ainsi les baisses identifiées sont de l'ordre de :

- 3200 GWh/an à l'horizon 2020.

## I.4. Efficacité énergétique dans les logements existants : l'ECS

### ► Hypothèses

Les besoins en ECS des logements sont calculés à partir d'un besoin unitaire par personne. Ainsi dans le tendanciel, la consommation totale d'ECS diminue, comme la projection de population du Nord-Pas-de-Calais.

Comme pour les systèmes de chauffage, la substitution de systèmes ECS s'effectue à travers des règles de passage, indiquant pour un système donné, quel système le remplace. Le scénario tendanciel est paramétré de manière à ce que les parts de marché restent constantes, c'est-à-dire qu'un système ECS est remplacé par un système identique.

Le scénario gisement table sur le remplacement des systèmes de la façon suivante :

- Remplacement total des systèmes ECS au gaz naturel, fioul, GPL en solaire
- Remplacement total des systèmes ECS Elec joule en ECS thermodynamique.

Les parts de marché donnent :

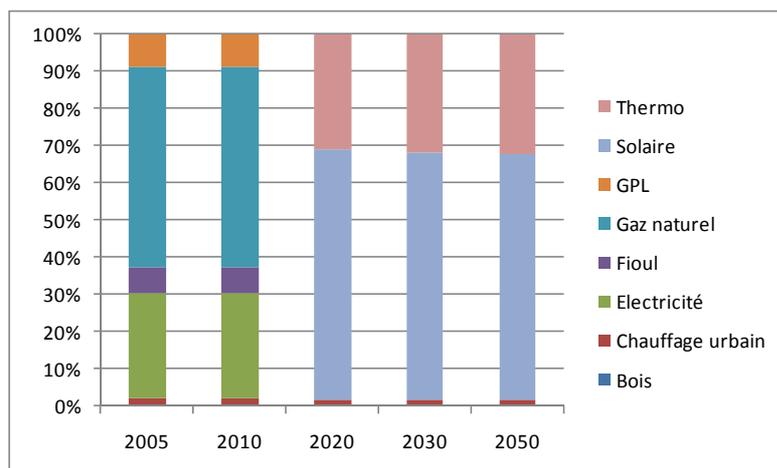
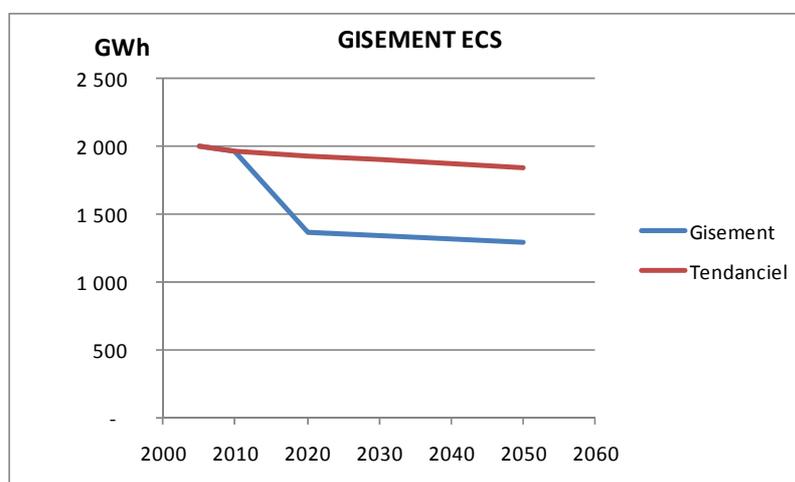


Figure 10 : Evolution des parts de marché ECS, scénario Gisement horizon 2020

### ► Gisement ECS identifié

Le gisement identifié est d'environ 570 GWh en 2020.



L'enjeu pour les SRCAE est de déterminer la vitesse de pénétration effective des technologies solaires et thermodynamique et notamment le taux de pénétration à l'horizon 2020.

## 1.5. Efficacité énergétique dans les logements existants : l'électricité spécifique

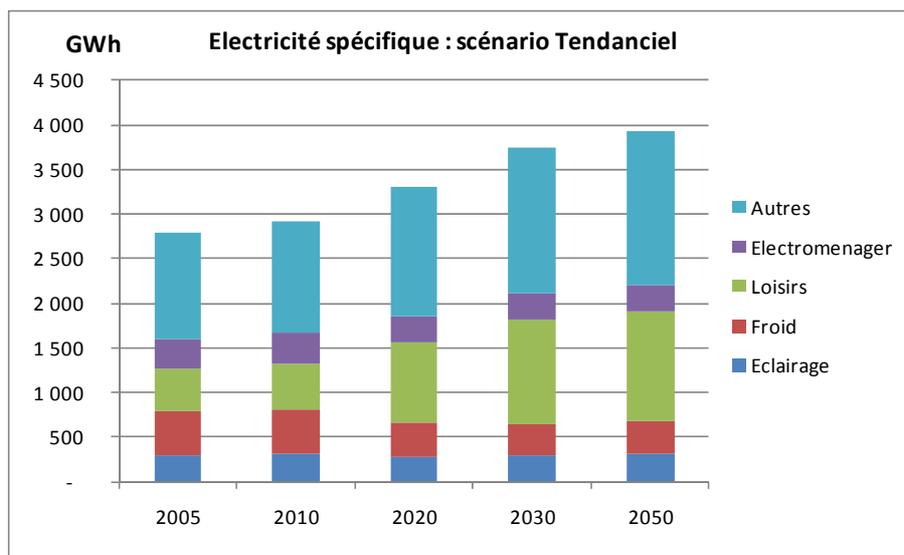
### ► Hypothèses de départ : scénario tendancier

Le besoin en électricité spécifique regroupe le besoin d'électricité pour l'ensemble des appareils électriques des logements, hors chauffage, ECS, Cuisson concurrentielle. Ainsi cet usage a été décomposé en plusieurs catégories :

- Electroménager (aspirateurs, fers à repasser...)
- Loisir (TV, lecteurs DVD, consoles de jeux...)
- Froid Alimentaire (Réfrigérateurs, congélateur...)
- Eclairage
- Autres

A noter la catégorie « Autres » regroupant l'ensemble des appareils électriques ainsi que les usages encore « inconnus ». Ainsi en prospective cette catégorie est nécessaire, car historiquement, de nouveaux usages d'électricité ont en permanence apparus (Apparition des « BOX internet » etc...).

L'évolution tendancielle des consommations est représentée dans le graphique ci-contre :



L'augmentation de consommation d'électricité spécifique est majoritairement portée par de nouveaux usages et un développement important des loisirs (doubles équipements, taille des téléviseurs en augmentations etc.)

#### ► Scénario « Grenelle »

Le scénario « Grenelle » prend en compte l'application de la Directive Européenne Eco conception, qui impactera à la baisse la consommation des appareils suivants :

- puissance des ampoules (incandescence),
- veille des appareils,
- moteurs électriques,
- téléviseurs,
- appareils de froid domestique,
- lave-vaisselles

#### ► Scénario Gisement

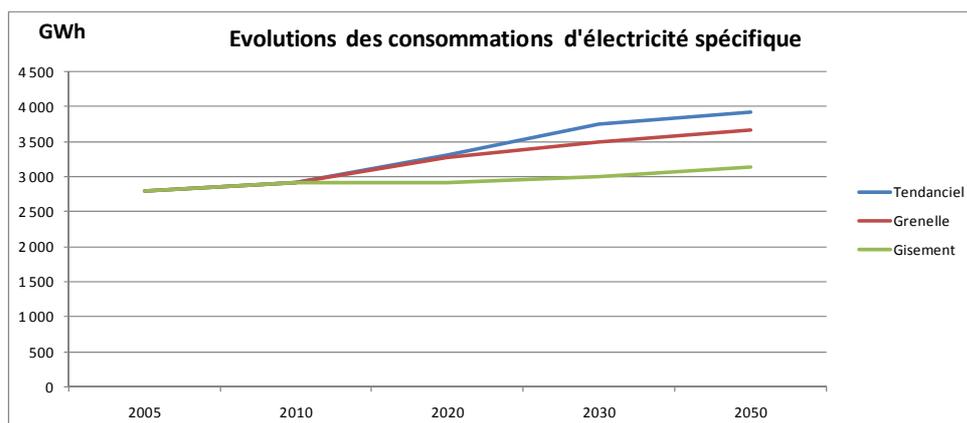
Le scénario Gisement prend en compte l'augmentation des performances requises dans le scénario Grenelle ainsi que l'application de nouvelles mesures :

- politique volontaire sur l'éclairage,
- préférences aux étiquettes A+ et A++ (A+++ pour 2050) pour les équipements électroménagers et de froid,
- limitation du double ou triple équipement sur les téléviseurs,
- amélioration de l'efficacité sur les téléviseurs,
- limitation du taux d'équipement en sèche-linge.

#### ► Résultats du gisement électricité spécifique

Les résultats proposés, sont issue d'une évaluation nationale menée dans le cadre de l'expertise complémentaire pour la commission nationale du débat public sur Penly 3<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> <http://www.debatpublic-penly3.org/documents/expertise-complementaire.html>

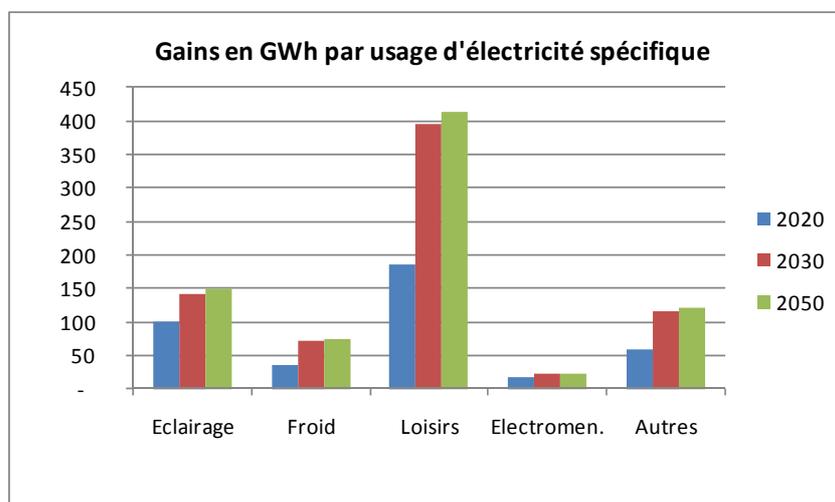


GWh	2020	2050
<b>Tendanciel</b>	3 310	3 924
<b>Grenelle</b>	3 275	3 669
<b>Gisement</b>	2 914	3 140
<b>Gains Grenelle / Tendanciel</b>	-34	-255
<b>Gains Gisement / Tendanciel</b>	-396	-783

Les gains identifiés par l'étude gisement électricité spécifique s'élèvent à :

- Environ 400 GWh/an en 2020
- Environ 780 GWh/an en 2050

Si on décompose ces gains par usage, on observe sur le graphique ci-dessous que le poste « loisir » est le gisement le plus important, notamment à travers la limitation du double ou triple équipement sur les téléviseurs, et la stagnation de la croissance des équipements usages informatiques résidentiels, et la limitation des puissances unitaires par équipements.



A noter que l'ensemble de ces gisements d'économies d'énergie issue de l'étude pré-citée exclu tout les gains liés à la diminution de l'usage de la veille dans les équipements. Ce volet représente également un potentiel de gain énergétique considérable.

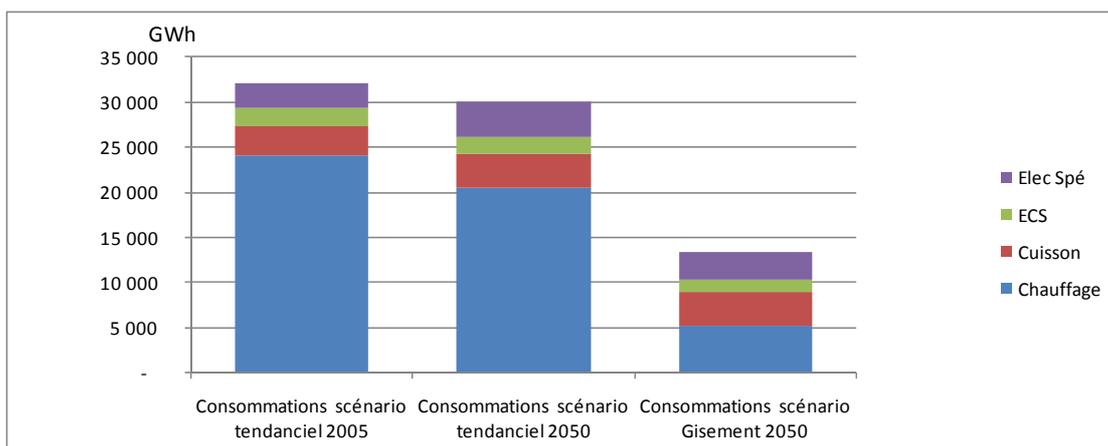
## I.6. Synthèse

### ► Les gisements d'énergie

Les économies d'énergie potentielles sont résumées dans le tableau suivant :

Gisements estimés séparément (gains en GWh)	2020	2050
Logements neufs	464	1 549
Rehabilitation bâti	11 000	11 000
Changement systèmes	1 840	6 350
Comportement/Régulation	3 200	3 200
ECS	570	570
Electricité spécifique	400	780
<b>TOTAL</b>	<b>19 494</b>	<b>25 499</b>

Le total est donné à titre indicatif, mais ces gisements ne sont pas additionnels. Si l'on simule l'ensemble des actions en même temps nous obtenons le résultat suivant :

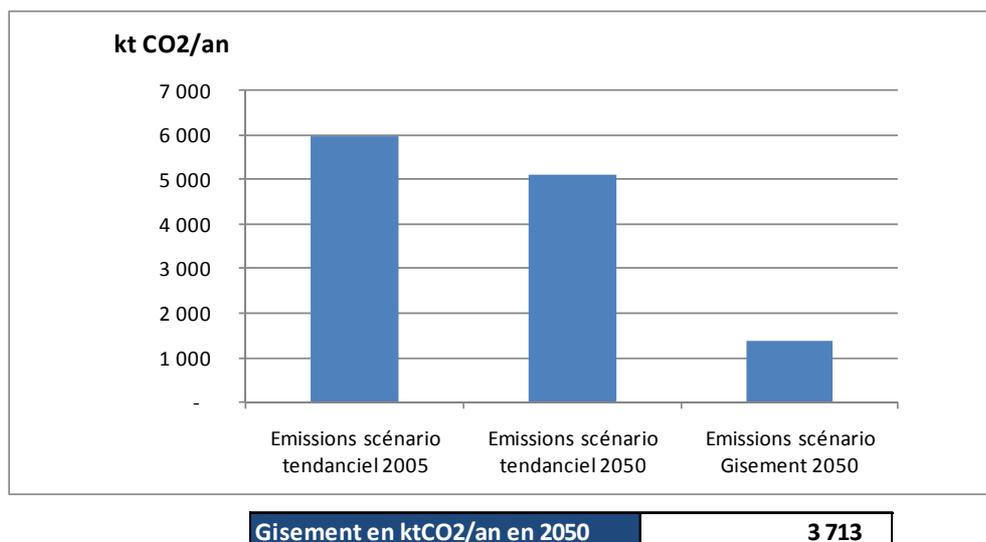


Gisements estimés séparément (gains en GWh/an)	2050
Chauffage	15 319
ECS	543
Elec spécifique	783
<b>TOTAL</b>	<b>18 695</b>

Le gisement total identifié correspond à une baisse de consommation en 2050 de 62% par rapport au scénario tendanciel. L'essentiel du gisement repose sur le poste de chauffage, la réhabilitation du bâti existant en étant le premier contributeur.

### ► Les gisements en émissions de CO<sub>2</sub>

La diminution des émissions de CO<sub>2</sub> est donnée à titre indicative. Cette dernière n'est pas complète, les informations sur les émissions de CO<sub>2</sub> des réseaux de chaleur n'étant pas connues. De plus le potentiel d'utilisation de la biomasse n'a pas été effectué.



La baisse des émissions de CO<sub>2</sub> s'élève à 73% des émissions du scénario tendanciel en 2050. Comparé à 2005, les émissions de CO<sub>2</sub> peuvent être divisées par 4,3.

## I.7. Le bâtiment, un secteur important dans le cadre des SRCAE

Le secteur du bâtiment est un secteur important car il laisse des marges de manœuvre fortes permettant de compenser les difficultés de réduction des consommations énergétiques d'autres secteurs.

Toutefois, les choix maximaux ne pourront être ceux retenus dans le scénario final

- L'importance donnée à la construction neuve dans les efforts à mener au-delà des réglementations thermiques,
- Le ciblage des réhabilitations, afin de maximiser les gains en fonction de l'investissement effectué,
- Le choix des développements énergétiques, afin de trouver un mix énergétique équilibré, en prenant en compte les effets de filière,
- Le niveau d'ambition attendu pour la pénétration des mesures de sensibilisation.

## II. Secteur Transport Voyageurs

### II.1. Eléments de méthode

#### ► Principes généraux

Le choix méthodologique réalisé pour cet exercice est d'assurer l'évaluation des potentiels dans le secteur du transport à travers une étude de la mobilité sur le territoire.

Il s'agit donc – à partir d'une reconstitution modélisée et schématisée de la mobilité sur le territoire d'estimer les gains liés à différents potentiels d'actions sur le territoire.

Cette reconstitution s'appuie sur l'utilisation de l'outil MOBITER.

#### **MOBITER**

*MOBITER est un outil innovant développé en interne chez Energies Demain relativement récemment (depuis 2009), à comparaison d'ENERTER (depuis 2005).*

*Son développement a été initié dans le cadre d'un projet de recherche pour le PUCA, puis a continué d'être développé afin de pourvoir disposer d'un outil simplifié permettant de construire des scénarios sur les volets mobilité.*

*L'objectif du modèle est de reconstituer une mobilité fine commune à commune et intercommunale sur toute la France. Cette reconstitution est hybride et basée :*

*Sur l'utilisation directe de bases de données (champs NAV de l'INSEE pour le dom/Tra et le Scolaire)*

*Sur la reconstitution de mobilité à partir de la connaissance de générateurs (population) et des points d'attraction (centre d'achats, loisirs, etc) ; à partir d'une approche gravitaire. Les points d'attraction étant issues de base de données différentes (BPE, Emplois, Base commerce LSA, ...)*

*Sur le recalage avec toute les études/données qui permettrait de consolider l'exercice. En cela, l'apport de l'ENTD a permis une grande avancée pour le modèle et nous permet aujourd'hui de le « sortir » en dehors du champ de la recherche.*

*Il est important de noter que cet outil n'est en **aucun cas d'un outil d'observation** - comme peuvent l'être les EMD – mais bien d'un outil d'analyse, particulièrement utile lorsque peut d'informations consolidées sur la mobilité existent. En terme de précision, il reste également bien moins précis que les EMD, notamment au regard du déplacement infra-communal et sur la qualification des motifs de déplacement.*

*NB : Au moment de la finalisation de cette étude, le Conseil Régional a pu publier et sortir les résultats d'une enquête mobilité régionale. Les résultats détaillés de cette enquête auraient pu être utilisés dans le cadre de cette étude (MOBITER ne proposant au final qu'une donnée de « substitution »). Pour autant, les grands résultats entre les deux sources de données ont été comparés afin d'en vérifier la cohérence.*

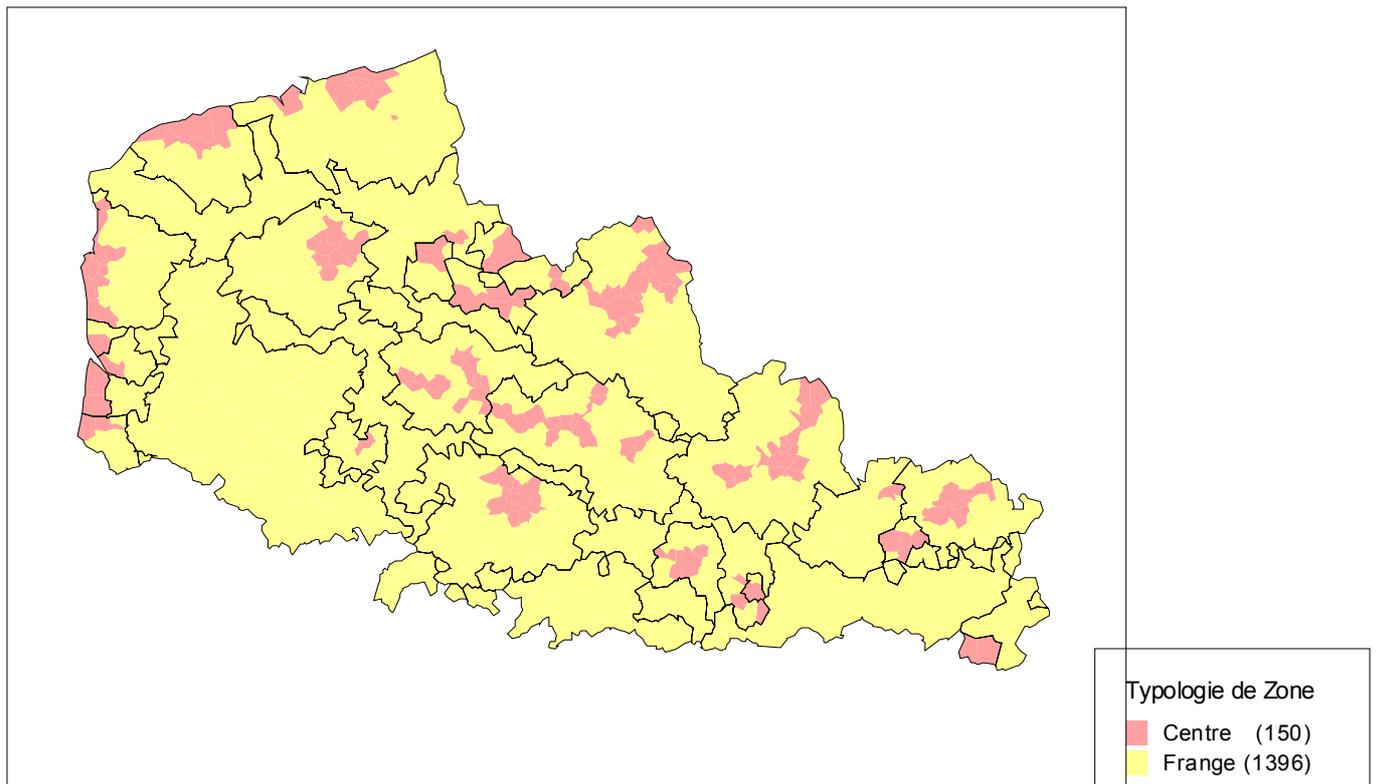
#### ► Glossaire

Plusieurs typologies et déterminants, propres aux exercices sur la mobilité, sont donc utilisés dans cette étude :

- Déterminants :
  - NB : Nombre de déplacement
  - km : Distances parcourues (le nombre multiplié par la portée des déplacements)

- teqCO2 : émissions CO2 émises (km parcourues multiplié par le facteur d'émission du véhicule utilisé)
- Classe:
  - Motifs : « motivation » du déplacement. L'étude est structurée autour de 5 classes motifs principaux (« Travail », « Achats », « Scolaire », « Loisirs », « Autres »)
  - Mode : « modalité » du déplacement. L'étude est structurée autour de 5 types de modes : les Transports en commun (incluant bus et train), les modes-doux, la voiture particulière conducteur, la voiture particulière passager, les 2 roues.
  - La typologie de trajet. La lecture spatiale des trajets quotidiens s'apprécie à travers deux dimensions : l'origine et la destination du déplacement. Ainsi, afin de s'affranchir du choix de raisonner à l'origine (génération de transport) ou à la destination (attraction de transport), nous proposons dans le cadre de cette étude de raisonner en typologie de trajet en fonction de la nature des deux espaces reliés par le déplacement. Afin de schématiser et simplifier le sujet complexe qu'est la mobilité, l'étude s'appuie sur 4 principales typologies de trajet :
    - Les trajets Intraurbains, trajet ayant lieu au sein d'un même centre urbain
    - Les trajets Interurbains, ayant lieu entre deux centres urbains
    - Les trajets « Diffus-Urbains » ou « Radiaux » ayant lieu depuis l'extérieur des centres urbains et polarisés par ces mêmes centres.
    - Les trajets « Diffus » ayant lieu dans les franges du territoire régional.

La définition de ces typologies de trajet nécessite donc de définir préalablement les espaces urbains et non-urbains sur le territoire. Pour définir les espaces urbains, on s'appuie sur la définition des **pôles urbains** de l'INSEE.



## ► Modèle MOBITER

Il n'existe pas à ce jour de base de données présentant une vision exhaustive de la mobilité commune à commune. De nombreux exercices partiels existent : les Enquêtes Ménages Déplacement disponibles dans certaines agglos, l'Enquête Nationale Transport (ENT), etc ...

Dans le cadre de cette étude, l'ensemble des données utilisées sont celles issues du modèle MOBITER développé par Energies Demain. Ce modèle permet de reconstituer une mobilité

commune à commune sur les différents motifs à partir du croisement de différentes bases de données :

- La base de recensement de la population, et en particulier les champs NAV sur la mobilité quotidienne liée au travail et au scolaire ;
- Les données de DADS ;
- La Base permanente des équipements pour mesurer les différentes offres de services dans les communes ;
- La base de données LSA sur les surfaces commerciales pour mesurer les offres d'achats dans les communes ;
- Un « distancier » permettant de mesurer les distances à parcourir entre différentes communes.

Plusieurs hypothèses du modèle sont calées sur les éléments de l'ENTD Nationale.

**NB :** Le modèle MOBITER a la possibilité d'être calé sur d'autres éléments d'enquêtes. Le volume de cette étude multisectorielle et les délais impartis ne nous ont pas permis de pouvoir assurer ce travail fin de recalage.

## II.2. Eléments de bilan

### ► Général

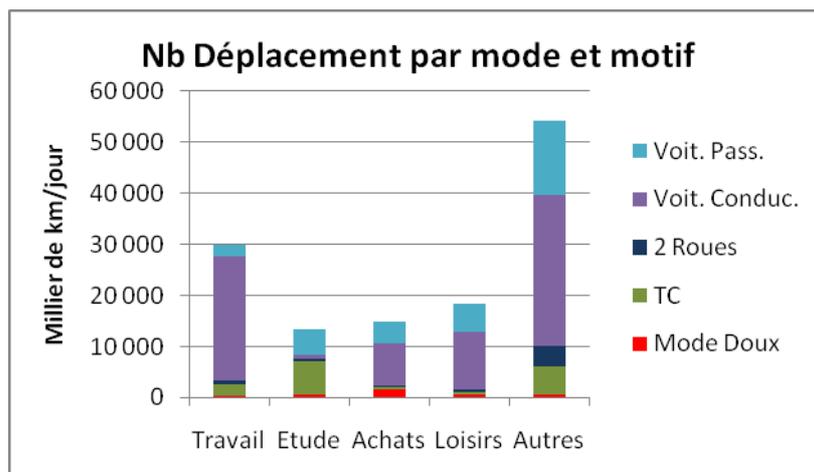
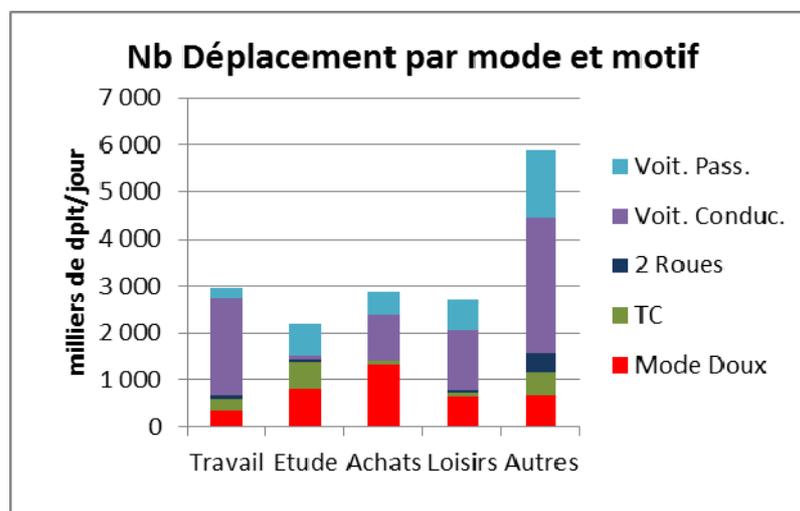
Nous mettons à la suite les éléments clés du bilan permettant d'apprécier « l'initialisation » du modèle MOBITER, qui est par la suite utilisé pour les simulations de gisements. Rappelons qu'il s'agit d'un modèle permettant d'établir des simulations et non pas d'un outil d'observation précis. Ce type d'outil ne peut donc remplacer une enquête terrain type EMD, seule à même de permettre une observation précise de la mobilité des territoires.

Une imprécision de l'ordre de 15% à 20% doit être prise en compte dans l'état initial, l'outil servant plus à mesurer des « delta » qu'à proposer une vision précise de la mobilité régionale. Néanmoins, le modèle vise à respecter les ordres de grandeurs et les proportions entre les différentes dimensions de la mobilité. Ainsi, au-delà des chiffres énoncés, on s'intéressera aux « grandes masses » qui sont dégagés et à la hiérarchie entre les gisements.

### ► Mobilité quotidienne

<i>Déplacement Quotidiens</i>	Motif	Mode Doux	TC	2 Roues	Voit. Conduc.	Voit. Pass.	Total
milliers Déplacements/jour	Travail	358	216	77	2 099	210	2 960
	Etude	790	612	38	65	696	2 202
	Achats	1 340	67	8	970	485	2 869
	Loisirs	635	83	54	1 296	648	2 716
	Autres	649	513	410	2 874	1 437	5 883
Millier Km parcourus par Jour	Travail	370	2 294	713	24 161	2 341	29 878
	Etude	616	6 586	358	764	5 026	13 350
	Achats	1 701	411	99	8 495	4 141	14 848
	Loisirs	623	498	371	11 342	5 509	18 344
	Autres	643	5 551	3 832	29 653	14 389	54 068
Estimation Porté Moyenne	Travail	1,0	10,6	9,3	11,5	11,1	10,1

km/Dplt							
	Etude	0,8	10,8	9,5	11,7	7,2	6,1
	Achats	1,3	6,2	12,2	8,8	8,5	5,2
	Loisirs	1,0	6,0	6,8	8,8	8,5	6,8
	Travail	1,0	10,8	9,3	10,3	10,0	9,2



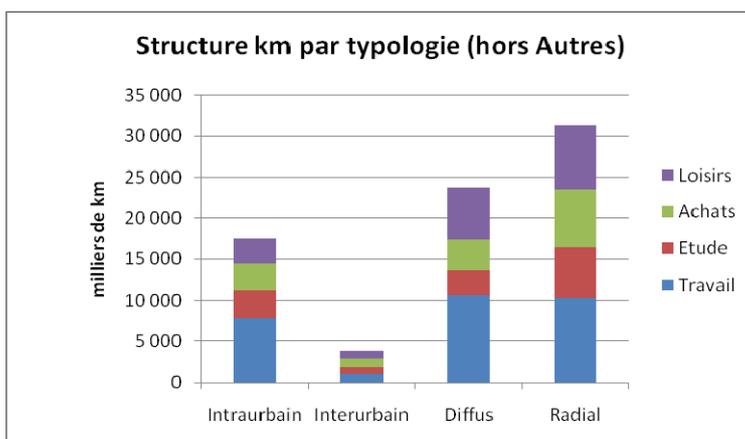
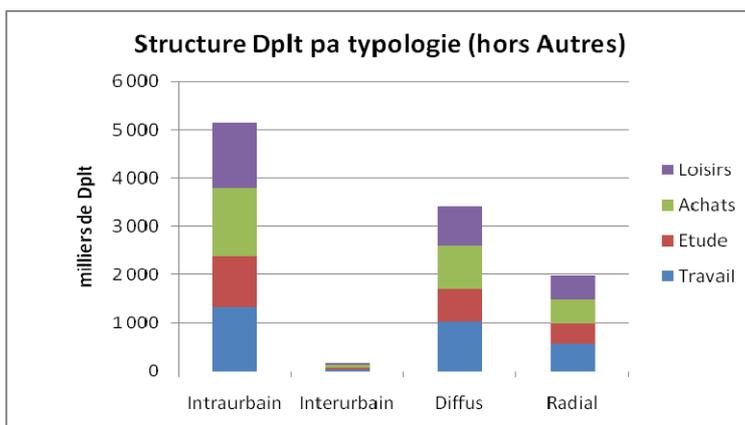
► **Bilan énergétique et carbone annuel**

<b>Bilan Annuel</b>	Motif	Mode Doux	TC	2 Roues	Voit. Conduc.	Voit. Pass.	Total
Conso ktep/an	Travail	0	12	5	377	0	394
	Etude	0	20	2	10	28	59
	Achats	0	2	1	142	0	145
	Loisirs	0	3	4	232	0	239
	Autres	0	31	40	620	0	692
	<b>Total</b>	0	69	53	1 381	28	1 530
Emissions kteqCO2/an	Travail	0	35	17	1 171	0	1 222
	Etude	0	57	6	30	86	180
	Achats	0	6	3	443	0	452
	Loisirs	0	10	12	722	0	744

	Autres	0	80	124	1 930	0	2 133
	Total	0	188	161	4 295	86	4 731

► Comparaison Typologique

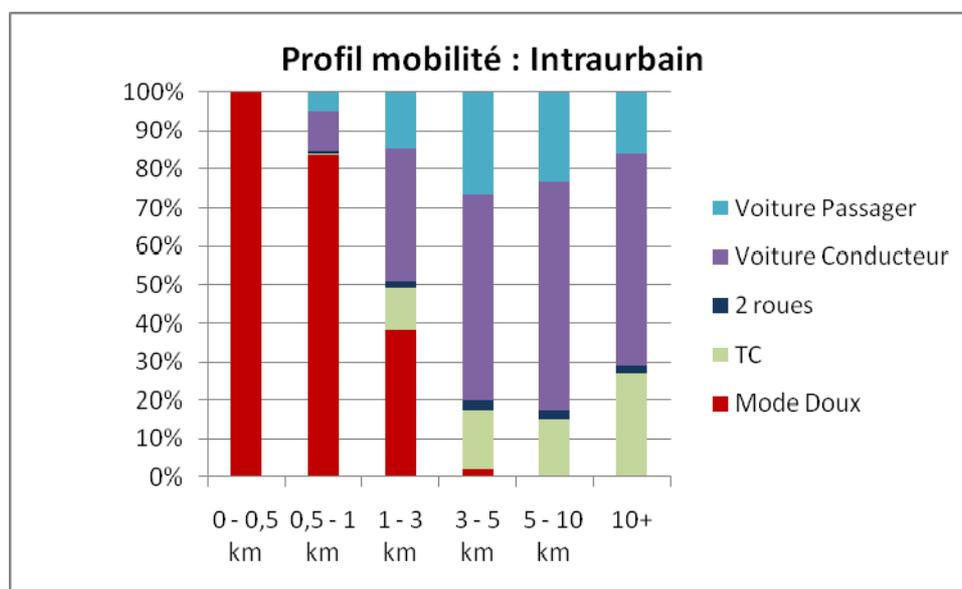
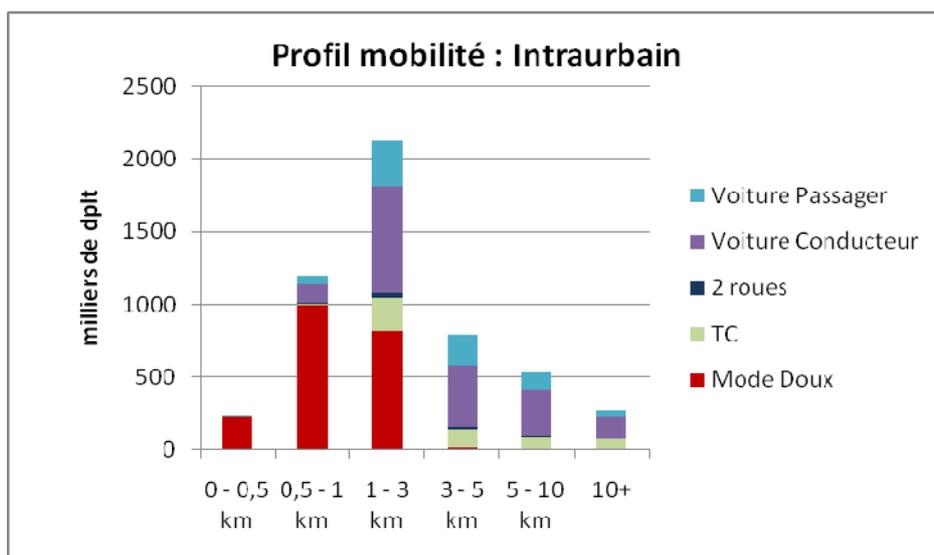
<b>Comparaison quotidienne</b>	Motif	Intra-urbain	Interurbain	Diffus	Radial	Global	Total
Millier Dplt/jour	Travail	1 329	48	1 013	570	2 960	5 920
	Etude	1 059	38	696	408	2 202	4 403
	Achats	1 406	51	891	521	2 869	5 738
	Loisirs	1 350	48	830	488	2 716	5 432
	Autres	0	0	0	0	0	0
	Total	5 144	185	3 431	1 987	10 747	21 493
Millier km/jour	Travail	7 817	1 066	10 701	10 294	0	29 878
	Etude	3 428	798	2 940	6 184	0	13 350
	Achats	3 150	984	3 729	6 985	0	14 848
	Loisirs	3 145	1 001	6 395	7 803	0	18 344
	Autres	0	0	0	0	54 068	54 068
	Total	17 540	3 849	23 765	31 266	54 068	130 487



## ► Détails profils mobilité par typologie

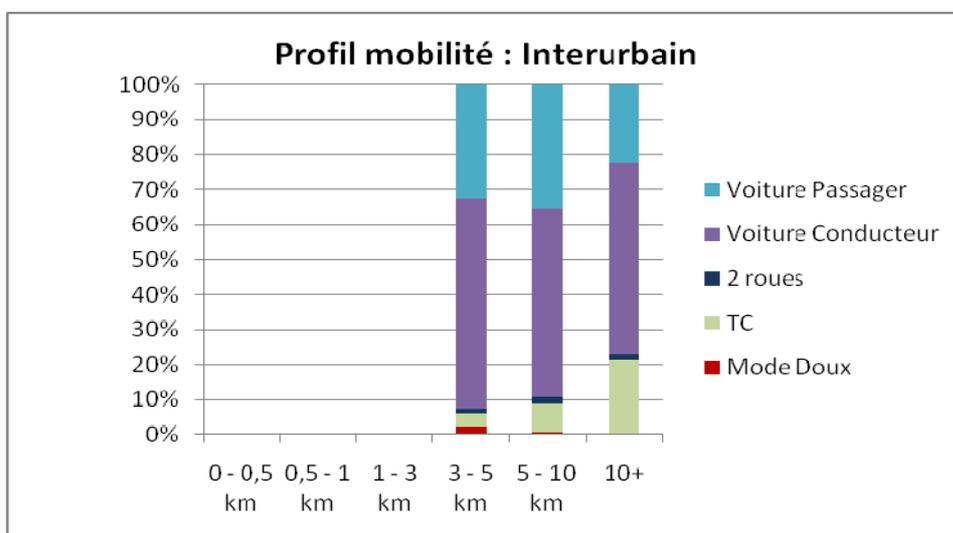
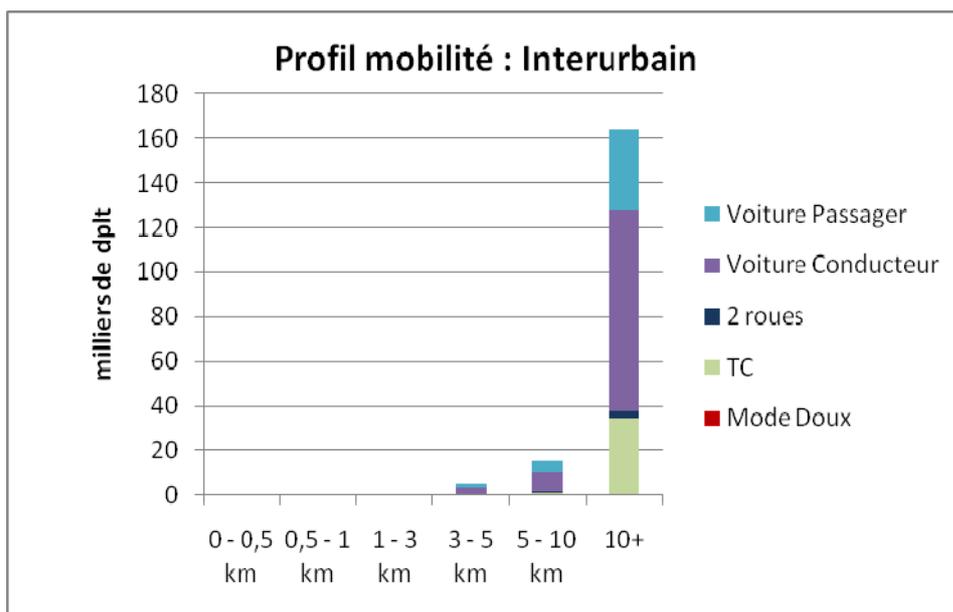
### ► Intraurbain

<b>Millier dépl. / jour</b>	0 - 0,5 km	0,5 - 1 km	1 - 3 km	3 - 5 km	5 - 10 km	10+	Total
Mode Doux	228	998	819	15	2	0	2062
TC	0	7	228	124	78	72	509
2 roues	0	7	34	18	13	6	78
Voiture Conducteur	0	124	733	428	317	148	1749
Voiture Passager	0	58	311	209	124	43	745
<b>Total</b>	<b>228</b>	<b>1194</b>	<b>2125</b>	<b>793</b>	<b>534</b>	<b>269</b>	<b>5144</b>



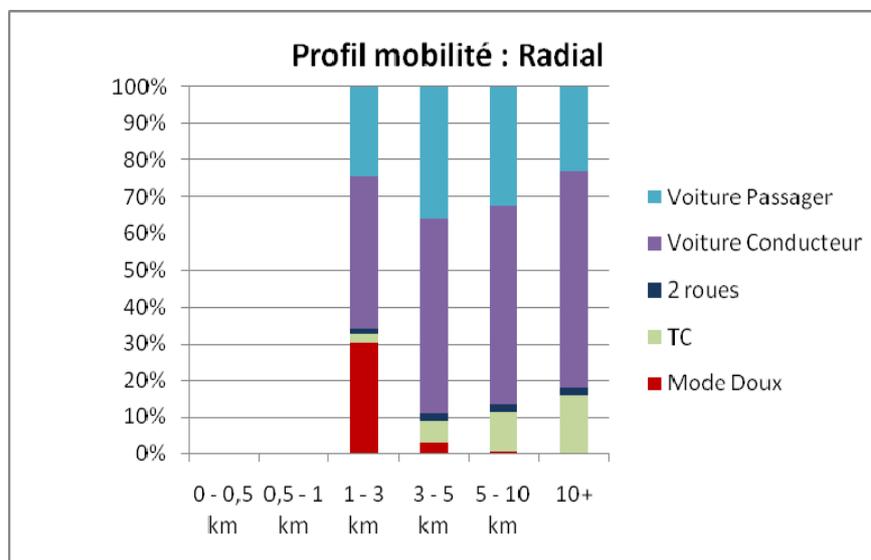
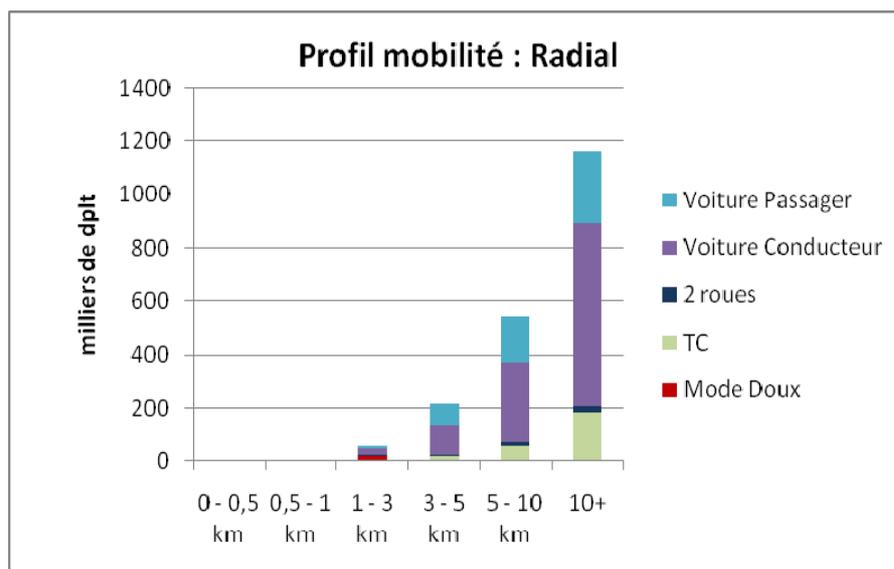
► Interurbain

<b>Millier dépl. / jour</b>	0 - 0,5 km	0,5 - 1 km	1 - 3 km	3 - 5 km	5 - 10 km	10+	Total
Mode Doux	0	0	0	0	0	0	0
TC	0	0	0	0	1	35	36
2 roues	0	0	0	0	0	3	3
Voiture Conducteur	0	0	0	3	9	90	102
Voiture Passager	0	0	0	2	6	36	44
Total	0	0	0	5	16	164	185



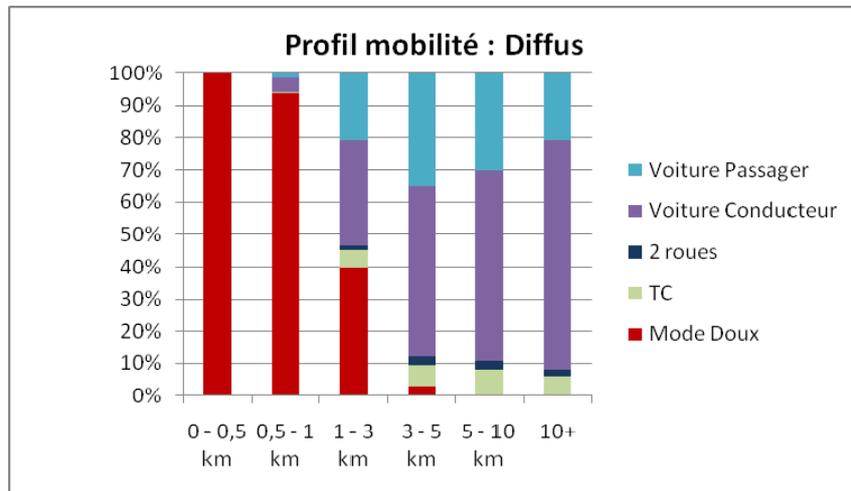
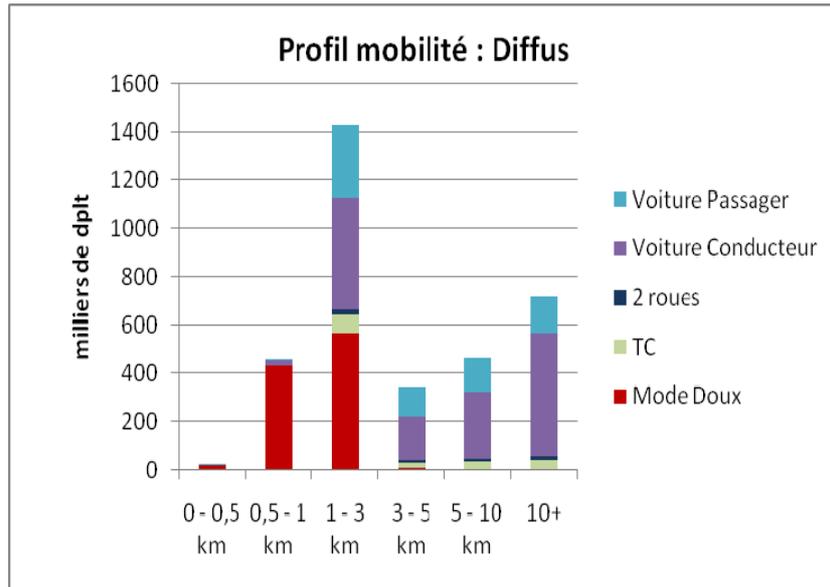
► Radial

<b>Millier dépl. / jour</b>	0 - 0,5 km	0,5 - 1 km	1 - 3 km	3 - 5 km	5 - 10 km	10+	Total
Mode Doux	0	0	19	6	4	0	29
TC	0	0	2	14	59	184	258
2 roues	0	0	1	4	11	23	38
Voiture Conducteur	0	0	26	115	295	688	1124
Voiture Passager	0	0	15	78	177	268	538
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>63</b>	<b>216</b>	<b>544</b>	<b>1163</b>	<b>1987</b>



► Diffus

<b>Millier dépl. / jour</b>	0 - 0,5 km	0,5 - 1 km	1 - 3 km	3 - 5 km	5 - 10 km	10+	Total
Mode Doux	21	430	568	10	2	0	1031
TC	0	1	74	23	36	42	176
2 roues	0	1	21	9	12	16	58
Voiture Conducteur	0	20	466	182	277	510	1455
Voiture Passager	0	6	296	120	140	150	712
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>459</b>	<b>1425</b>	<b>343</b>	<b>466</b>	<b>718</b>	<b>3431</b>



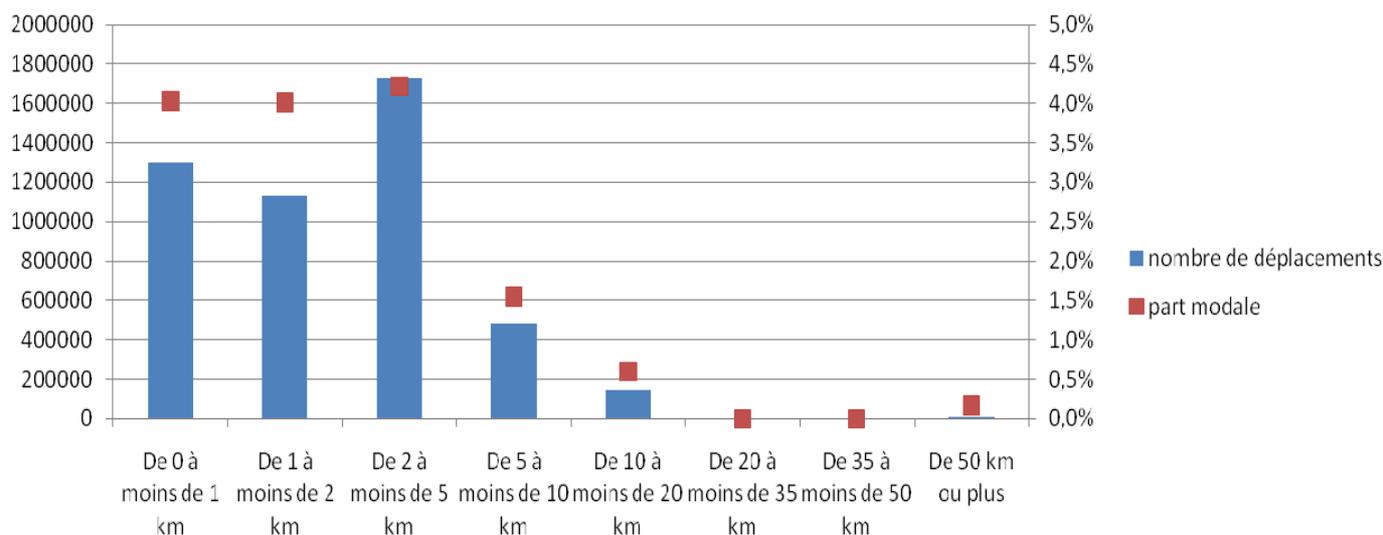
## II.3. Calcul des gisements

### ► Développement Mode doux centre-ville/Cœur de village

#### ► Quelle portée pour le vélo ?

L'Enquête nationale transport et déplacements de 2008 permet de connaître le nombre de déplacements quotidiens effectués en France, en vélo, dans le cadre de la mobilité « régulière et locale » par tranche de portée.

Voici le résultat :



En Conclusion, la part modale reste stable jusqu'à la tranche 2 à 5 km et n'est divisée que par 2,5 de 5 à 10 km.

#### ► Quelle part modale maximum

Certains pays développent l'usage du vélo depuis plusieurs dizaines d'années. Il s'agit en particulier des pays nordiques. On peut considérer qu'ils ont atteint des parts modales à la hauteur du maximum possible.

Ainsi, la distance annuelle parcourue en vélo par habitant varie de 1 à 10 entre la France et ces pays :

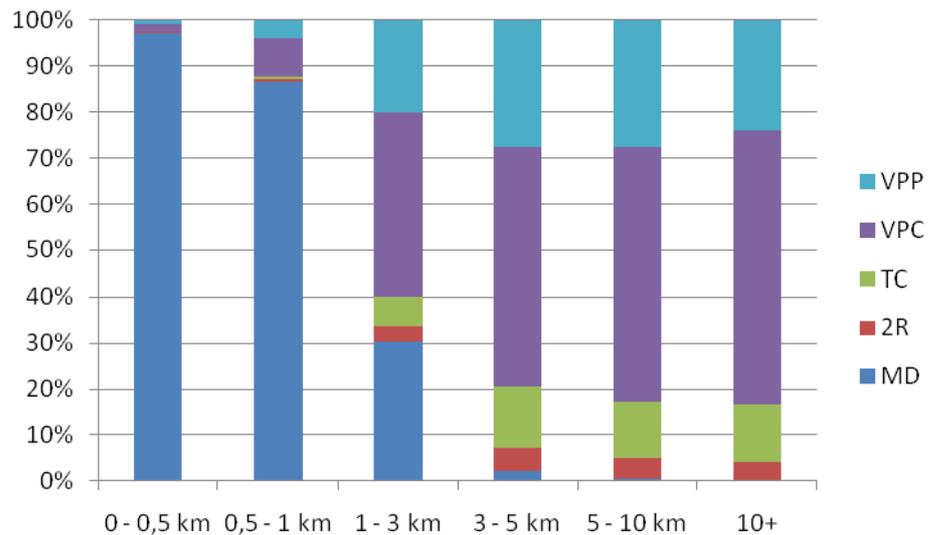
	nombre de vélos pour 1000 habitants	kilomètres parcourus en vélo par an par habitant
France	367	87
Pays-Bas	1010	1019
Danemark	980	958

(Sources : données de la Commission européenne de 1999 citées par l'IFEN pour « Le vélo dans les villes françaises », n°86 des Données de l'environnement, septembre 2003)

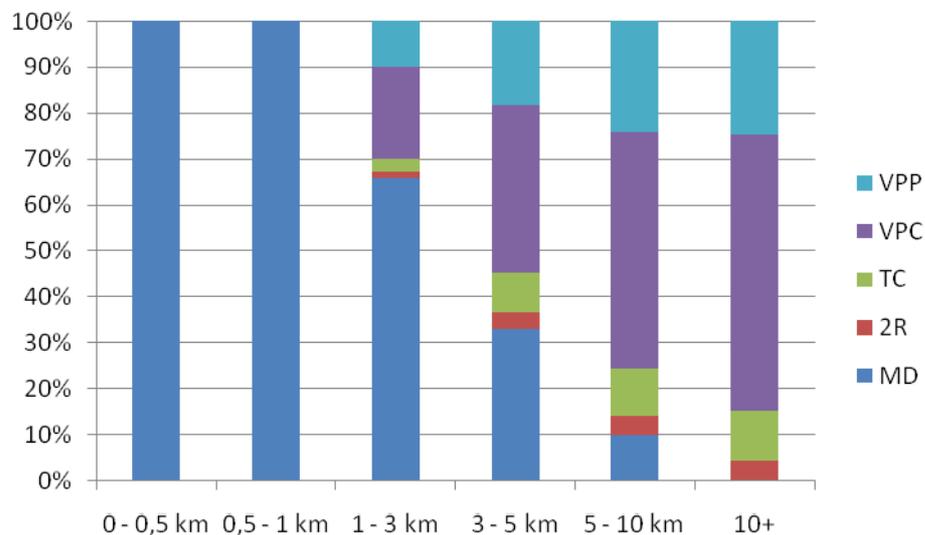
Aujourd'hui les part modale et part modale kilométrique du vélo en France sont de 2,7 et 1 %. Si on considère que la portée moyenne en vélo n'évolue pas, une multiplication par 10 des distances parcourues correspondrait à une multiplication par 10 des déplacements soit une part modale de 27 %.

En France, Strasbourg fait figure de ville modèle pour ce qui est des parts modales vélo :





On propose un gisement correspondant à un report modal massif vers le vélo entre 1 et 10 km. Les autres parts modales restants proportionnellement stables :



La part modale mode doux passe ainsi de 23 % à 41 %, ce qui correspond à une augmentation de 3 points de la part de marche à pied (dans les premiers kilomètres) et une augmentation de 15 points de la part modale en vélo.

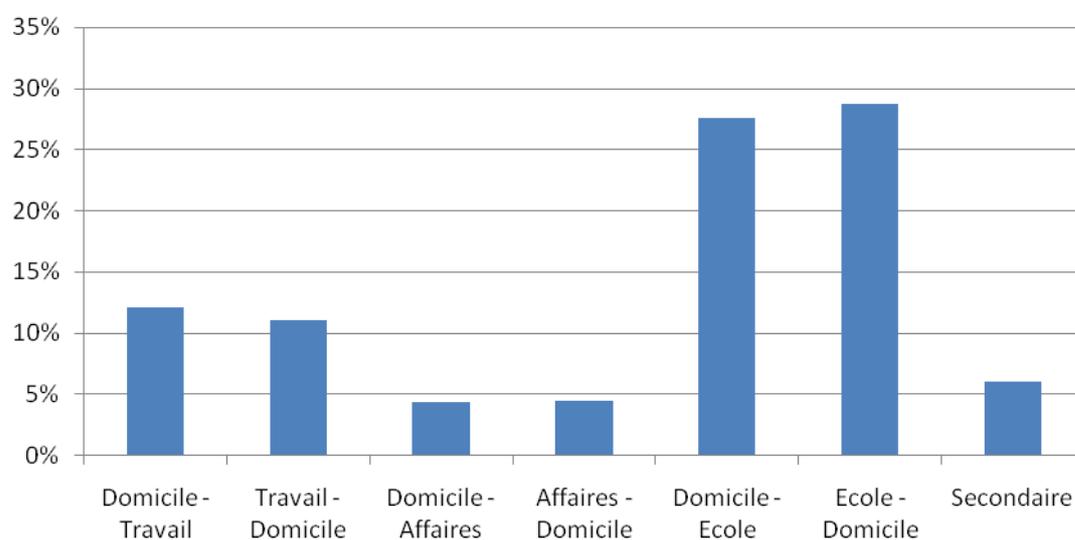
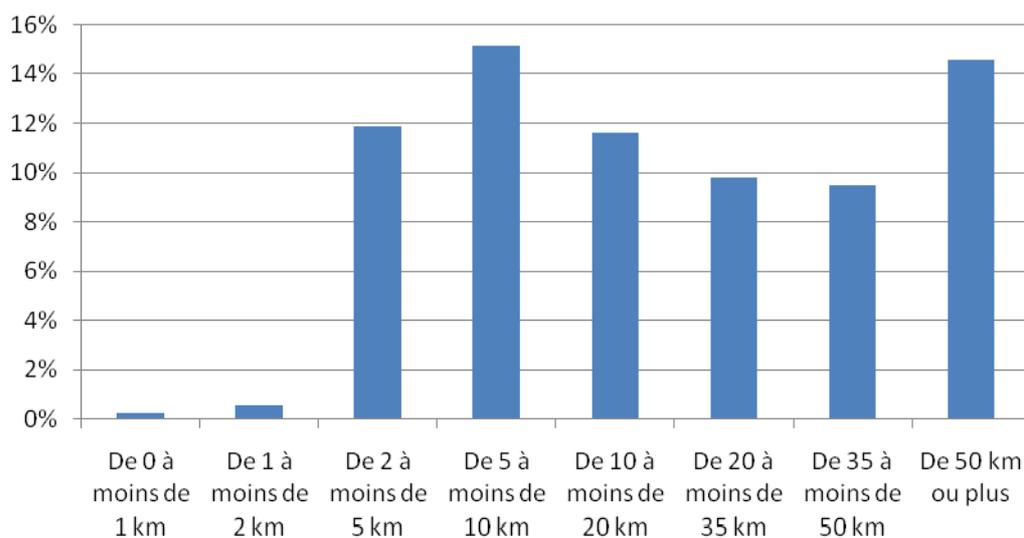
Les hypothèses ainsi formulées permettent d'assurer un gain d'environ 7% sur le bilan énergétique et de GES, soit 110 ktep/an

## ► Développement de l'usage du transport collectif urbain

### ► Cadrage

- En France

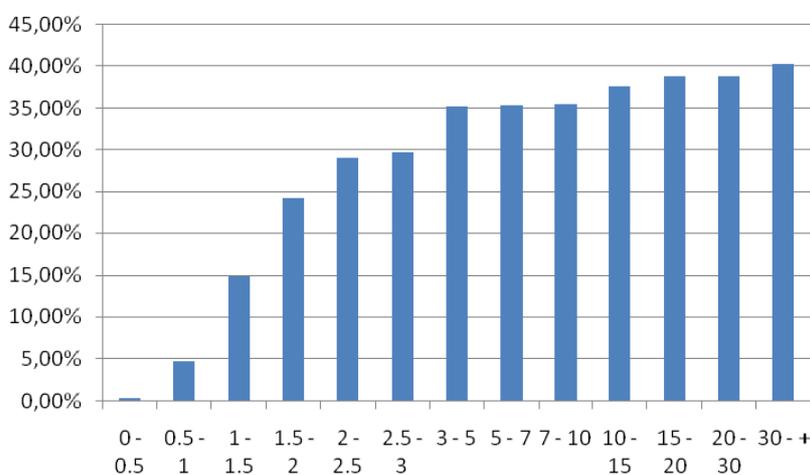
Selon l'ENT, la part modale du transport collectif à la forme suivante :

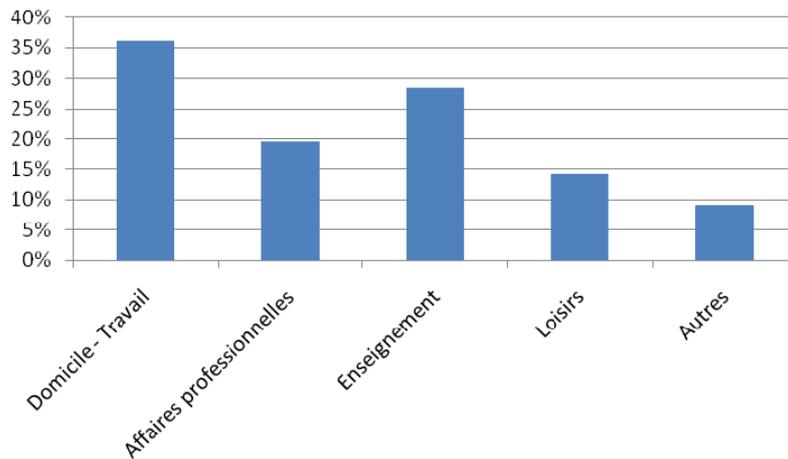


Soit une part relativement stable à partir de 2km de portée et une forte variabilité selon le motif.

- **En ile de France**

L'Ile de France peut être considérée comme une référence :





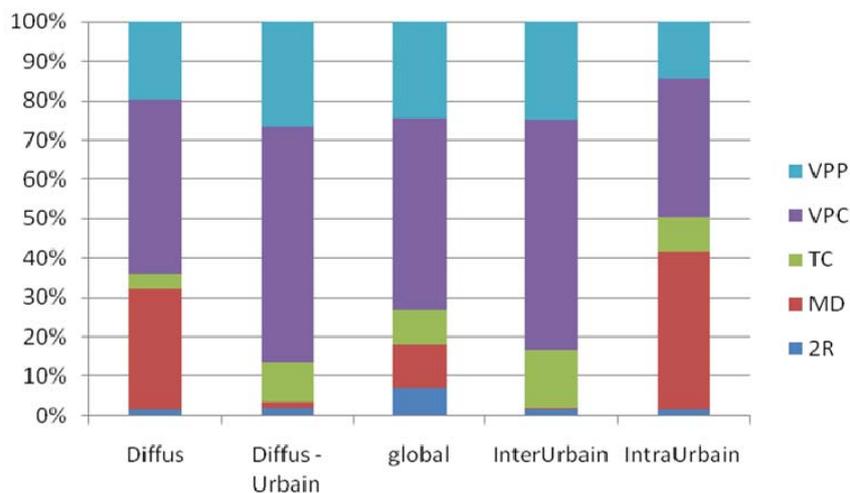
La part modale globale y est ainsi de près de 20 % contre 8 % nationalement.

### ► Calcul du gisement

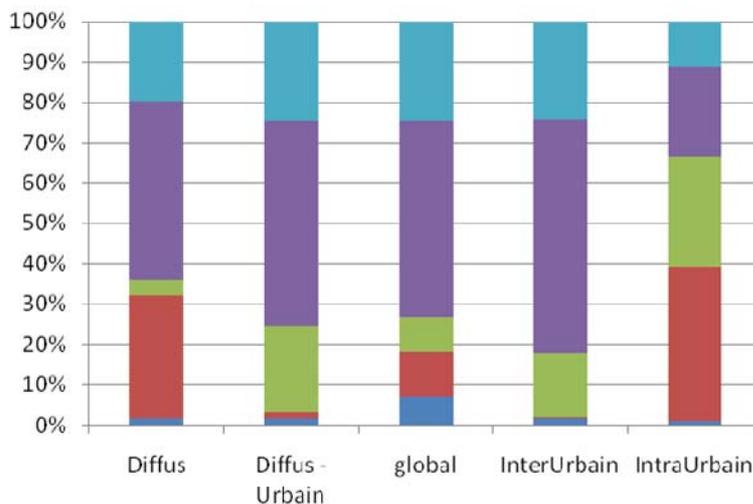
Urbain et diffus – urbain, ce qui correspond à des tracés qu'on peut considérer rentables car desservant des zones denses.

Le résultat est l'évolution suivante :

Parts modales 2006 selon Mobiter par type de trajet



Gisement proposé :



Le gisement correspond, sur ces trajets, à des parts modales de type Ile-de-France.

Avec ces hypothèses le gain estimé est de 7%, soit environ 110 ktep/an

## ▶ Télétravail

### ▶ Cadrage

Selon le recensement 2006, 5 % des actifs occupés utilisent le mode « pas de transport » pour se rendre sur le lieu de travail. On peut considérer qu'il s'agit de la proportion d'actifs travaillant à leur domicile.

On peut envisager le développement de cette pratique grâce au télétravail par exemple.

### ▶ Hypothèse de calcul

On modélise une diminution des déplacements au motif travail des habitants dans les zones de « frange » de 20 %. Ce qui correspond à une journée par semaine travaillée au domicile.

Sur cette base, le gain estimé est d'environ 2% soit un gain d'environ 30 ktep/an

## ▶ Covoiturage

### ▶ Cadrage

Les résultats d'une vingtaine d'enquêtes ménages déplacements font apparaître des taux d'occupation moyens des voitures de 1,34.

Ce taux varie de 1,28 (Rennes en 2000 et Bordeaux en 1998) à 1,43 (Valenciennes en 1997). Il s'agit donc d'une donnée relativement stable.

Au contraire on peut noter une forte variation selon les motifs puisque, pour le motif travail, ce taux est de 1,1 en moyenne contre près de 1,5 pour les autres motifs.

### ▶ Hypothèse de calcul

Le gisement proposé correspond à un développement du covoiturage pour les déplacements domicile – travail qui sont le plus propice au développement de cette forme de mobilité : les déplacements sont réguliers dans l'espace et dans le temps favorisant la mise en place d'une organisation propice au covoiturage (point de rendez-vous, parking-relais, etc...).

Dans le cadre de l'exercice, et afin d'évaluer le potentiel de ce levier on passe le taux d'occupation moyen des voitures de 1,1 à 1,5 sur le motif domicile-travail et rattrape ainsi les autres motifs.

Sur cette base, le gain estimé est d'environ 5% soit un gain d'environ 80 ktep/an

## ▶ Densification

### ▶ Un sujet très étudié

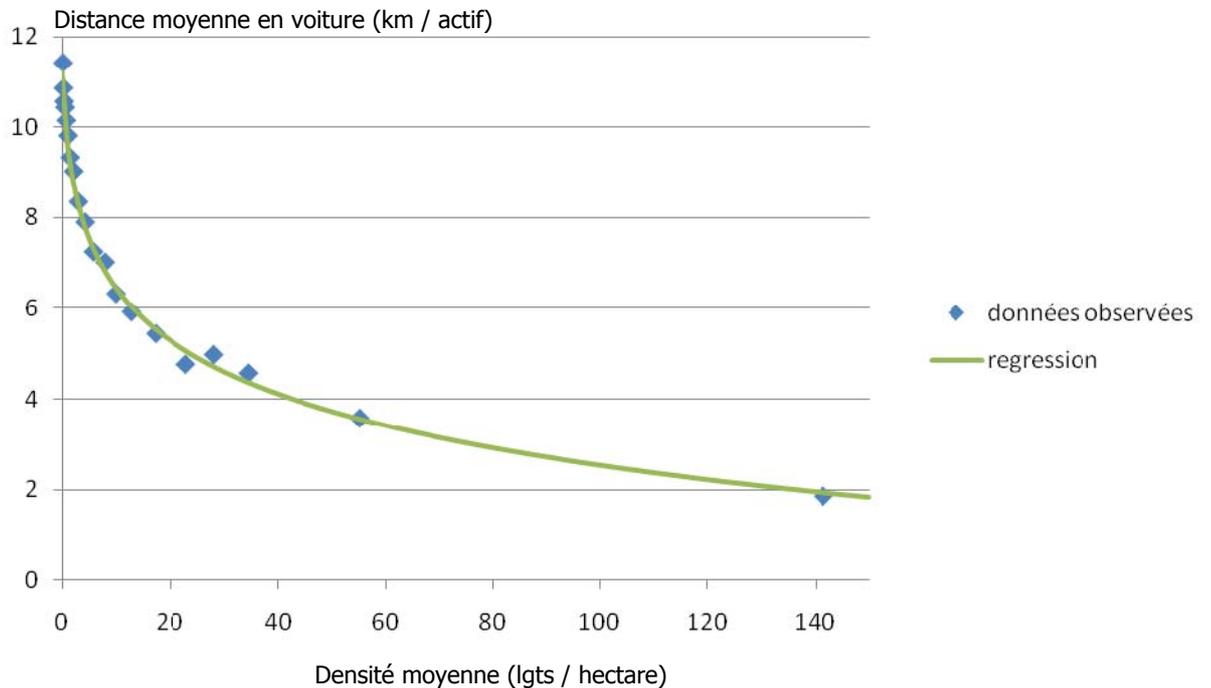
Le lien entre densité et mobilité est établi depuis longtemps. En 1989, Newman et Kenworthy établissent une typologie de grandes villes suivant les consommations d'énergie consacrées à la mobilité. Ils établissent une relation négative entre densité et consommations liées à la mobilité.

### ▶ Relation en France

En France, le lien entre densité et mobilité a également été étudié. Voici par exemple, pour le motif travail, un graphe par classe de densité montrant le lien entre les kilomètres parcourus en voiture pour se rendre au lieu de travail par actif et la densité en nombre de logements en immeuble collectif par surface de tissu urbain<sup>2</sup> :

---

<sup>2</sup> Etude d'une réforme de la taxe locale d'équipement visant à limiter l'étalement urbain, Lien entre densité et émissions de GES, Rapport final. Energies Demain, Décembre 2010.



Plus on habite en milieu dense, moins on parcourt de distance en voiture pour se rendre sur son lieu de travail.

#### ► Dans le Nord-Pas-de-Calais

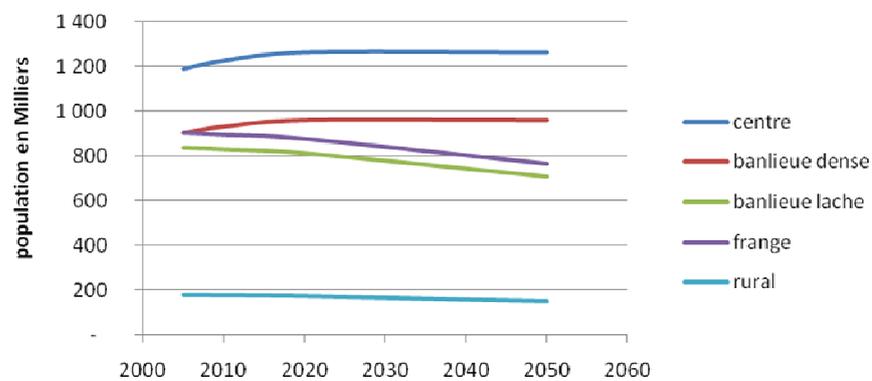
Les résultats de Mobiter dans le Nord-Pas-de-Calais confirment cela puisqu'il existe une différence de 20% environ entre les émissions de déplacements intraurbains et celles des déplacements diffus.

#### ► Hypothèses de calcul

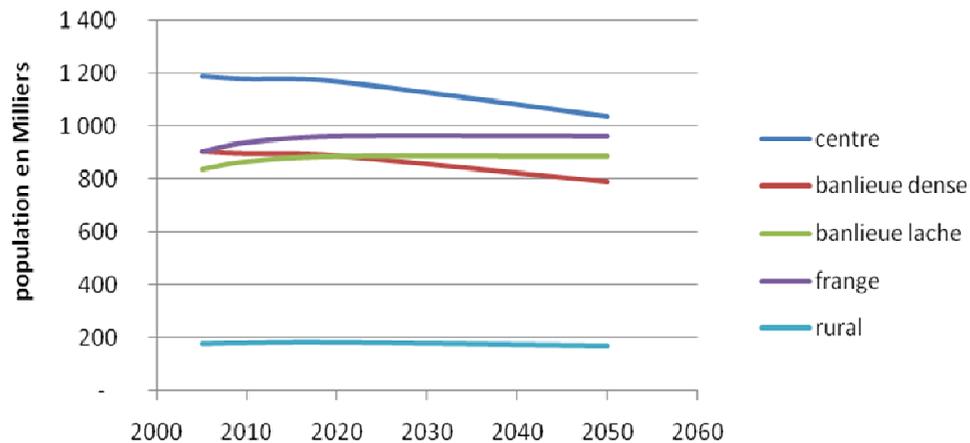
On propose des évolutions de la population par typologie urbaine en jouant sur les variations globales de populations attendues dans la région. Ainsi lorsque la région accueille de nouveaux habitants, on suppose qu'ils s'intègrent à un type urbain définie.

On présente à suivre les variations étudiées.

Scénario densification :



Scénario étalement urbain :



Dans ce cadre, on observe seulement une variation de 1% entre les deux scénarii extrêmes. Soit un gisement d'environ **20 ktep**. Ce chiffre assez faible est finalement compréhensible : entre 2010 et 2020 on joue sur seulement 200 000 nouveaux résidents, soit environ 5% de la population. Considérant qu'entre les deux niveaux extrêmes de densité les différences de consommations sont de 20%, on constate que l'o « joue » sur uniquement 1% des consommations finales.

On veillera bien à remarquer ici que ce gisement est évalué « tout étant égal par ailleurs ». Notamment sur les portés de déplacement en zone urbaines et sur les parts modales pratiquées.

Il est évident que les synergies entre la densification du territoire et les autres opérations d'aménagement urbain favorisant l'usage des TC et modes doux rentrent très fortement en synergie. A ce titre, il semble nécessaire d'appréhender la densification du territoire – et surtout la limitation de l'étalement urbain – comme un moyen plus qu'un objectif. Il permet en effet d'asseoir les conditions permettant la mise en place de solutions massives de report de la voiture.

Néanmoins, il est important de rester conscient que la majorité des bâtiments présents en 2020 sont d'ores et déjà en place, et que les marges de manœuvres pour façonner l'objet urbain sont très limitées et doivent s'apprécier suivant un objectif à long terme.

## ► Diminution des portées de déplacement (mixité)

### ► Variations des portées

En **Ile de France** la portée moyenne des déplacements varie fortement entre Paris et la grande couronne : **de 3,3 à 6,7 kilomètres** à vol d'oiseau (source enquête globale transport 2001).

De même dans le **Nord-Pas-de-Calais**, Mobiter indique des variations **de 4 kilomètres en moyennes dans les centres urbains à 11 kilomètres dans les franges urbaines**.

Les variations d'une zone urbaine à une autre sont donc fortes.

### ► Mixité fonctionnelle et portée

Les portées de déplacements correspondent à la distance parcourue pour satisfaire le besoin ayant déclenché ces déplacements. L'organisation urbaine a un fort impact sur cela.

Par exemple, si le commerce le plus proche se situe à 5 kilomètres, la portée des déplacements au motif achat sera d'au moins cette distance.

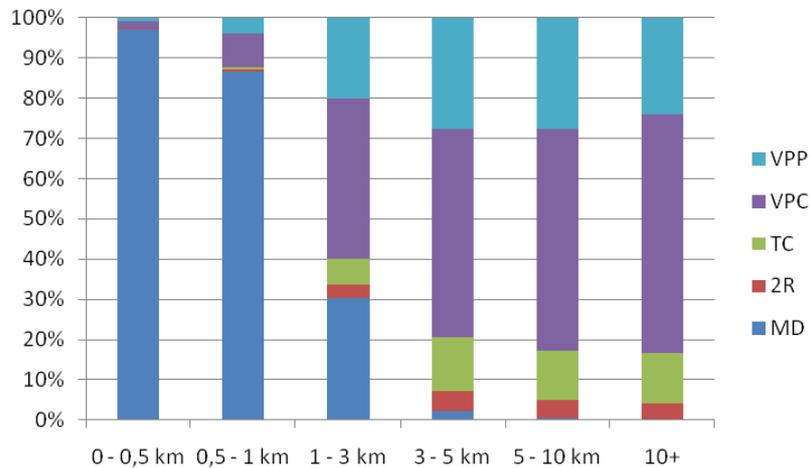
Ainsi, une mixité fonctionnelle importante favorise théoriquement des portées plus faibles.

La densité d'activités dans les centres peut donc expliquer les portées plus faibles qu'on y trouve.

### ► Le double impact de la portée

Or l'impact de la portée des déplacements sur les émissions est double :

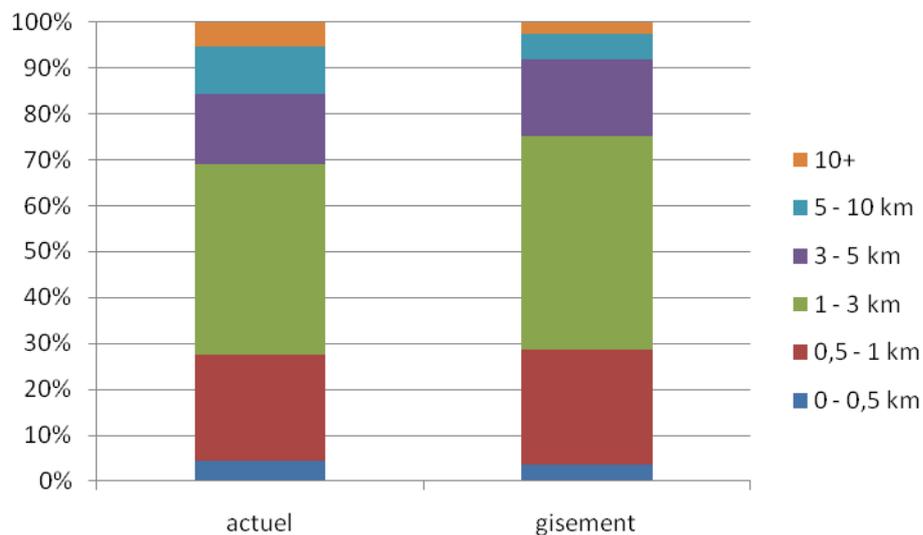
- Un impact direct : en parcourant deux fois moins de distances en voiture, les émissions sont divisées par deux.
- Un impact indirect : des portées plus faibles favorisent des modes de déplacements moins émissifs et en particulier le vélo et la marche à pied :



### ► Hypothèses de calcul

Développer des activités de proximité ne peut se faire que dans des zones denses permettant la rentabilité de ces activités. On ne se propose donc d'étudier ce gisement que sur les déplacements **intraurbains**.

On modélise une variation de la part de déplacements par classe de portée en intraurbain comme suit :



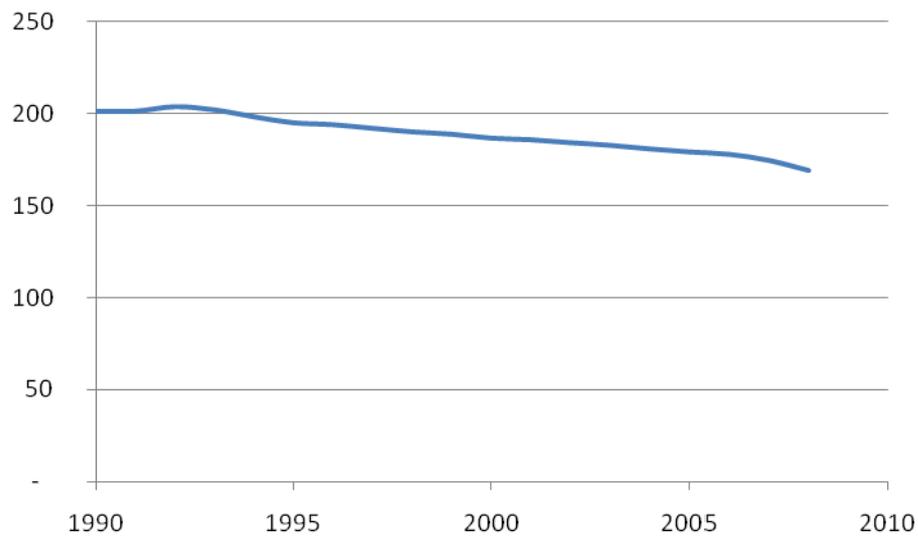
Cela représente une baisse de 25 % de la portée moyenne des déplacements.

Avec ces hypothèses assez forte, le gisement évalué est de l'ordre de 17% ! Soit environ **260 ktep/an**

### ► Levier technologique

#### ► Historique des émissions unitaires du parc de véhicules français

Depuis 1990, les émissions unitaires (en g eq CO2 par kilomètre) a évolué comme suit



Source : Citepa (rapport Secten 2010) – CCFA – Setra - Asfa - TNS-Sofres (panel Ademe/SOeS et panel "Inrets") – CPDP – Meeddm, SOeS.

Cela correspond à une baisse de 16 %, soit près d'1 % par an.

#### ► Historique des émissions unitaires des véhicules neufs

Cette variation s'explique par les évolutions des émissions unitaires des véhicules neufs qui connaissent une baisse continue.

Ainsi de 1995 à 2009 est-on passé de 175 g eq CO<sub>2</sub> par kilomètre à 133, soit près de 25 % de diminution (source : Les véhicules particuliers en France, DONNÉES ET RÉFÉRENCES Avril 2008, Ademe).

#### ► La réglementation européenne

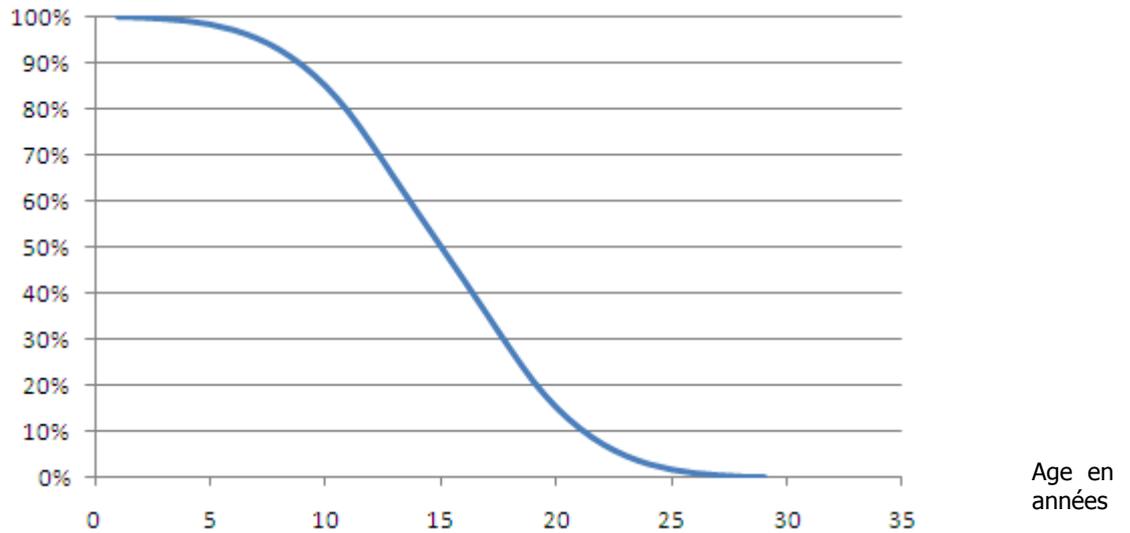
L'union européenne, par son règlement n°443/2009, impose aux constructeurs automobiles des objectifs de réduction des émissions unitaires moyennes des véhicules vendus à horizon 2015, 2020 et 2030 :

- En 2015 : 130 g de CO<sub>2</sub> par km (objectif presque déjà atteint)
- En 2020 : 95 g de CO<sub>2</sub> par km
- En 2030 : 85 g de CO<sub>2</sub> par km

Ce qui devrait correspondre à une diminution de 36 % d'ici à 2030 pour ce qui est des véhicules neufs.

#### ► Hypothèses

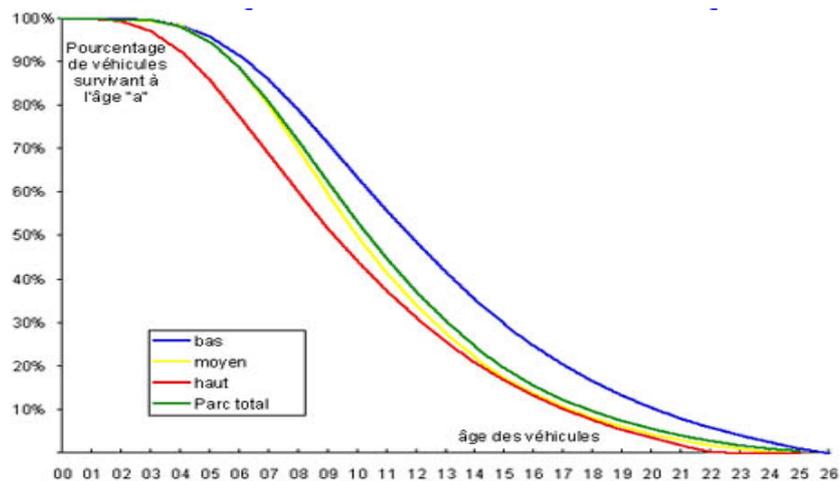
- Une loi de survie des véhicules selon la courbe suivante :



Source : *Energies Demain*

Cette loi est bâtie à partir d'une étude de l'INRETS<sup>3</sup> portant sur une série longue d'enquêtes réalisées auprès des ménages (1972 à 1992) donnant le résultat suivant :

Loi de survie des véhicules selon l'étude Renouvellement du parc automobile et prospective transport-environnement



Source : *INRETS d'après les Enquêtes INSEE de Conjoncture auprès des ménages (1972-1992)*

Cette étude portant sur des données relativement anciennes, on construit notre loi de survie en prenant en compte des données d'évolutions de durée de vie moyenne du parc fournies par une étude SES<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Renouvellement du parc automobile et prospective transport-environnement, INRETS, GALLETZ (C) et COUTURIER (N), 200

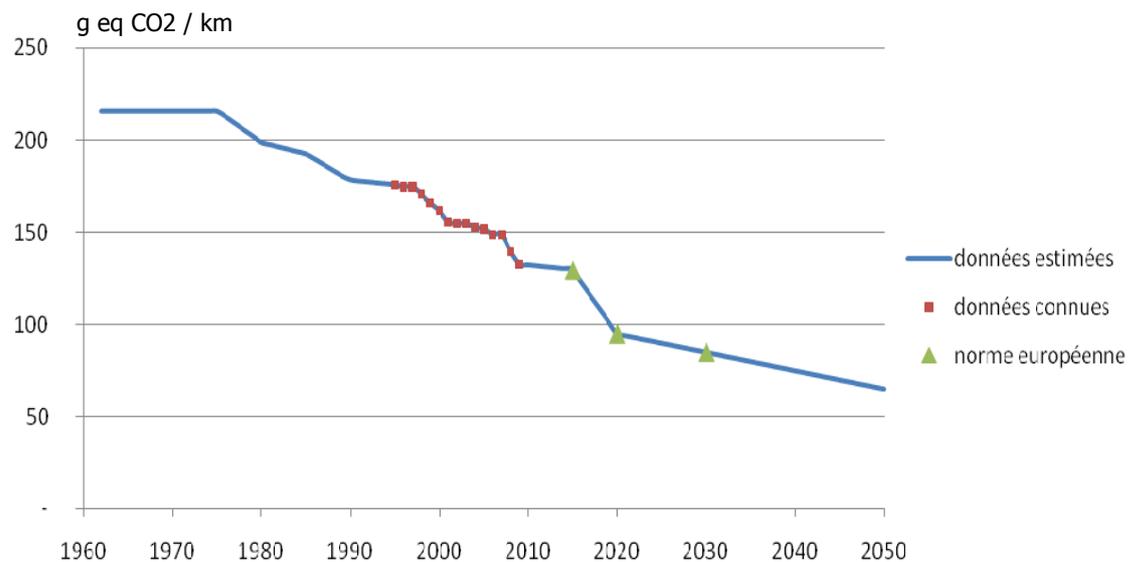
<sup>4</sup> UNE ESTIMATION DU PARC AUTOMOBILE À L'AIDE DES DURÉES DE VIE DES VÉHICULES, SES, François JEGER, 2001

	durée de vie médiane	durée de vie moyenne
avant 1979	11	12,2
de 1980 à 1992	11,3	12,4
1993	11,6	12,8
1994	11,8	12,8
1995	11,9	12,9
1996	12,1	13,1
1997	12,7	13,8
1998	13,2	14,3
1999	13,6	14,7

Source : NOTES DE SYNTHÈSE DU SES, janvier février 2001

Il est important de noter que ces lois de survies sont des hypothèses assez lourdes dans cette évaluation des gisements. Les notes du SES montrent que le rythme de renouvellement du parc diminue. Néanmoins, depuis 2001 et la suppression de la vignette automobile, l'estimation du parc automobile en circulation est devenue très difficile. Aussi, même modifiée ces lois de survies restent plutôt optimistes, et n'intègrent pas notamment l'ensemble des effets rebonds liés au surenchérissement du carburant et à la modification des pratiques de mobilité.

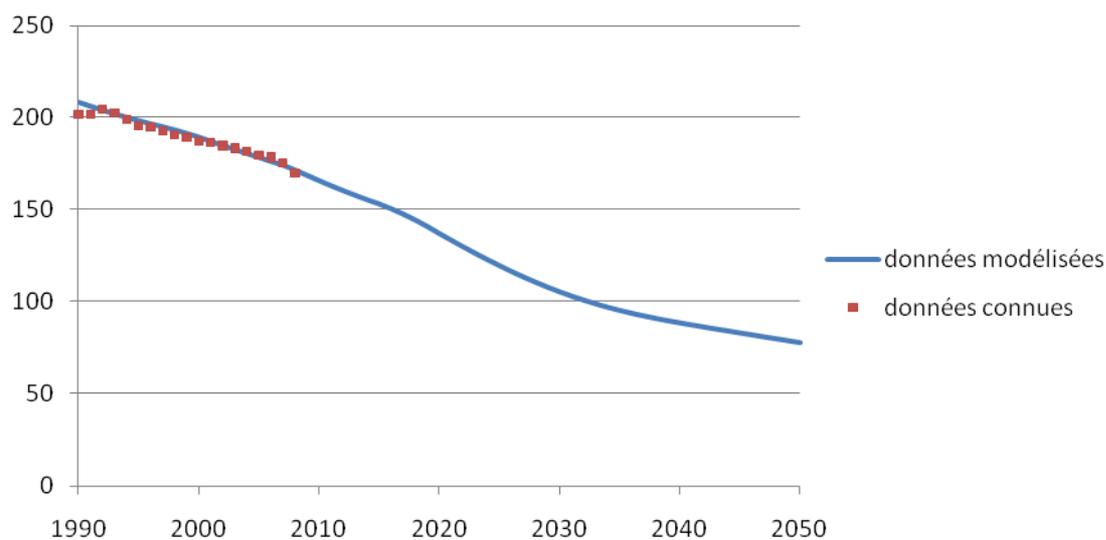
- Le respect des réglementations européennes et la poursuite de la tendance 2020 – 2030 jusqu'à 2050 :



- Des hypothèses de surconsommations liées au vieillissement des véhicules.

## ► Résultat

Evolutions des émissions unitaires (en g de CO2 par km) du parc de véhicules particuliers



Soit une baisse de 55 % des émissions unitaires des véhicules d'ici 2050 et 23% d'ici 2020 !

On précisera que ces baisses ne peuvent être entendues qu'à kilométrage constant. Il s'agira donc de rester vigilant à tout effet « rebond » à une diminution des coûts énergétique pouvant engendrer une augmentation des déplacements.

## ► Eco-conduite

### ► Cadrage

Les conclusions de l'atelier sur l'éco-conduite des 22 et 23 Novembre 2007 à Paris, organisé par le Forum international des transports, l'agence internationale de l'énergie, le ministère néerlandais du transport et la plateforme Ecodriven comportent le tableau suivant :

**Tableau. Réductions de la consommation de carburant dans différents pays ou projets.**

pays	Méthode	Court terme	Moyen terme
Pays-Bas	Programme national	10-20%	5-10%
Autriche	Programme national	10-15%	5-10%
Japon	Épreuve de conduite intelligente	25%	
Japon	Coupure du moteur à l'arrêt	10%	
Japon	Atelier sur l'écoconduite	12%	
Japon	Atelier sur la réduction de la consommation moyenne	26%	
Suède	Stages de formation à la conduite	5-15%	
Autriche	Stages de formation à la conduite optimisée des autobus d'ÖBB, réalisation, suivi, retour d'expérience	10%	
Autriche	Concours d'écoconduite pour conducteurs titulaires du permis	30-50%	
Autriche	Gestion de la mobilité pour les flottes d'entreprise	10-15%	
Allemagne DVR	- Programme national pour conducteurs novices		6-10%
	- Chauffeurs professionnels <7.5t	6-10%	6-8%
	- Stages de conduite de VP (évaluation)	10-25%	10-15%
Deutsche Bahn	Stages de formation, suivi, retour d'expérience, gratification		3-5%
Shell		5-20%	
Ford	Stages de conduite et analyse du style de conduite en fonction du déplacement	25%	10%
FIA - AASA		15%	
FIA - Plan Azul		14%	
FIA - ADAC		25%	
FIA - öAMTC		6%	
FIA - JAF		12-16%	
Nissan		18%	
R-U	Pratiques exemplaires en transport de fret	10%	
R-U - Lane Group			4%
R-U - Walkers			9%

Il traduit un gisement de réduction des émissions lié à l'éco-conduite très conséquent

### ► Résumé

Les évaluations réalisées pour ce secteur sont résumées dans le tableau suivant :

	Gisement 2020	% Gisement 2020
Modes doux	100	7%
Usage des TCU	100	7%
TC Interurbain	10	1%
Covoiturage	80	5%
Télétravail	30	2%
Densification	20	1%
Mixité Fonctionnelle	260	17%
Technologie	350	23%
Eco-Conduite	220	14%

Quelques grandes conclusions sont à tirer de cette analyse :

- **L'importance du levier technologique.** Plus que dans les autres secteurs, les évolutions technologiques vont jouer un rôle déterminant dans le secteur du transport. La rotation des équipements étant beaucoup plus importante que dans d'autre secteur (durée moyenne de vie d'un véhicule ~ 15 ans) cela favorise la pénétration de nouveaux véhicule plus performant. Il s'agira de rester vigilant aux effets rebond d'une amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules, et de ne pas surestimer son effet notamment à travers les prévisions de «rotation » des flottes.
- L'importance du levier de **l'urbanisation.** Après l'effet technologique, l'étude montre que les actions liées à l'organisation du territoire peuvent avoir un impact lourd sur le territoire. Néanmoins, l'étude montre que l'impact de l'effet de « densification » reste assez marginal au regard de la question énergétique.  
 En effet, en faisant le parallèle avec le secteur résidentiel le flux de logement à construire reste très marginal par rapport à l'existant. Ainsi, même en prenant des hypothèses d'étalement urbain des résidences, la variation de consommation énergétique reste très faible.  
 A contrario, les effets liées à un meilleur maillage du territoire et à une réduction des distances parcourues de 25% pour se rendre à son lieu de travail ou pour faire ses achats se solde par des gains énergétiques très conséquents. Ce gain est lié à la combinaison de deux effets :
  - Une réduction nette des distances se traduisant directement par une économie d'énergie
  - Une réduction des distances permettant de rabattre sur des modes de déplacements plus économes.
- L'étude montre également les gains importants liés **aux comportements et aux pratiques** de mobilités : télétravail (2%), covoiturage (5%), éco-conduite (14%)... Les gisements peuvent être considérables et « facile » à atteindre, il peuvent donc faire l'objet d'actions spécifiques et importantes sur le sujet.

On veillera à noter que l'ensemble des gisements présentés ne s'additionnent pas, mais se combinent. Il revient alors de définir les scénarios permettant de combiner au mieux les effets et permettant de définir un futur souhaitable pour l'évolution de la mobilité régionale.

## III. Transport de marchandises

### III.1. Bilan Transports de marchandises

Du fait de sa situation géographique à la croisée de plusieurs corridors routiers importants au niveau international, reliant la péninsule ibérique à l'Europe du Nord, et la Grande-Bretagne au reste de l'Europe, et grâce au port de Dunkerque qui la lie au reste du monde, la région Nord-Pas-de-Calais occupe une place très stratégique dans le transport de marchandises. Cette situation se traduit par des flux de marchandises très importants ainsi qu'une activité logistique prépondérante en France. En 2000, la région compte :

- 43 sites de prestataires logistiques (2<sup>ème</sup> rang des régions françaises après l'Île-de-France)<sup>5</sup>,
- Près de 290 000 m<sup>2</sup> de sites d'entreposage logistique (3<sup>ème</sup> rang des régions françaises)<sup>6</sup>,
- 60 000 emplois dans le secteur logistique (4<sup>ème</sup> rang des régions françaises)<sup>7</sup>.

La région dispose d'infrastructures logistiques de tout premier plan telles que le Port de Dunkerque, le Port de Lille, le tunnel sous la Manche, la plateforme européenne trimodale Delta-3 à Dourges.

Ce constat explique l'importance des flux dans la région. Du fait d'un système de transport fonctionnant beaucoup par cabotage, elle se pose comme un point d'arrêt obligatoire. Ainsi, la part du transit de fret en Nord-Pas-de-Calais n'est certainement pas négligeable (même s'il est difficile d'en connaître l'ampleur exacte).

Dans le cadre de cet exercice, le bilan de référence est établi suivant deux composantes : un bilan de flux et un bilan de transit.

#### ► Un bilan principal de flux

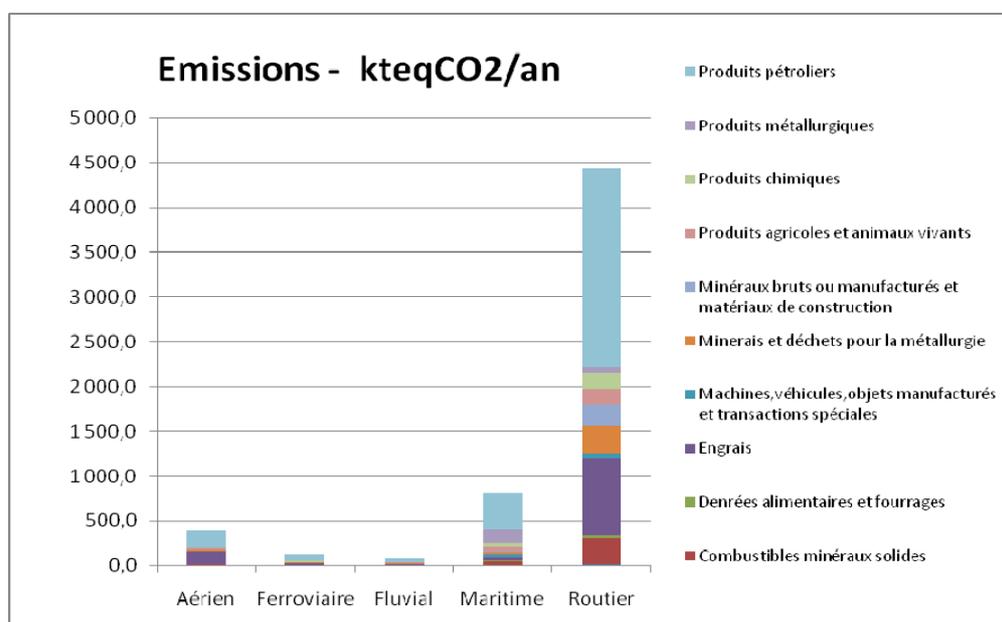
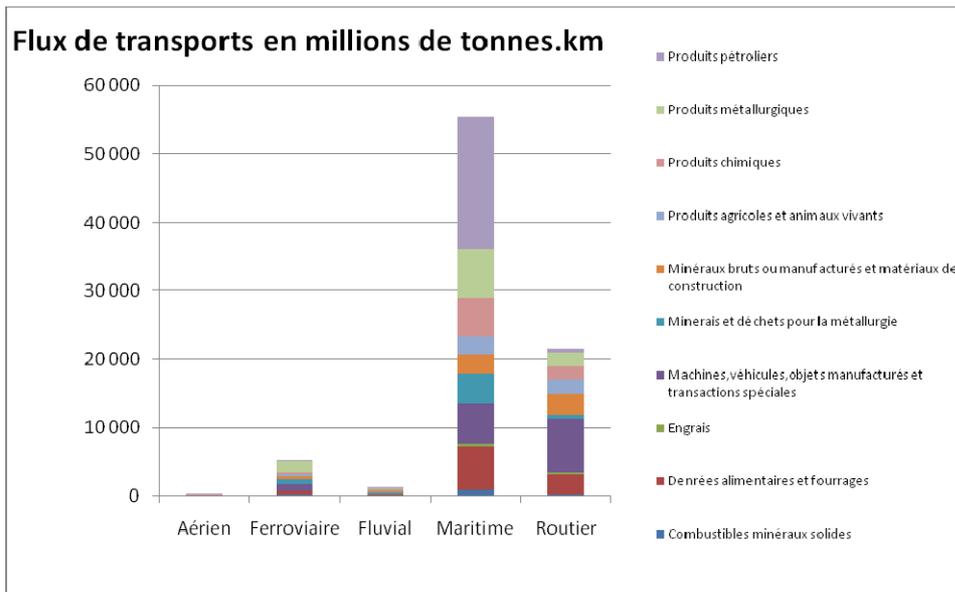
Le bilan de flux est établi à partir des données SiTRAM (2007), complétées par les données EuroStat sur les trafics fluviaux et sur les trafics routiers sous pavillons étrangers. Ce bilan prend ainsi en compte l'ensemble des flux entrants et sortants de la région, qu'ils soient liés à son activité productrice (génération de flux), consommatrice (attraction de flux) ou logistique (rupture de charge). Ils visent à refléter l'ensemble des flux captés par la région au regard de son activité économique – y compris l'activité logistique.

Le bilan est exprimé en tonnes.km, ainsi qu'en teqCO<sub>2</sub>, par mode de transport et types de marchandise. Pour assurer l'additivité du bilan avec les autres territoires, seuls sont considérés la moitié des trajets et ce depuis la dernière rupture de charge. Les émissions totales liées au bilan de flux s'élève à **2 900 kteqCO<sub>2</sub>** pour **83,4 milliard de tonnes.km**. On retiendra que le mode routier représente **25% des flux** par cette approche, mais **80% des émissions**.

<sup>5</sup> Source : DATAR, 2000

<sup>6</sup> Source : DATAR, 2000

<sup>7</sup> Source : SIRENE, 2004



• Tableaux de valeurs

<b>Millions Tonnes.km</b>						
NST	Aérien	Ferroviaire	Fluvial	Maritime	Routier	Total
Combustibles minéraux solides	0	296	101	849	165	1 412
Denrées alimentaires et fourrages	8	298	62	6 281	3 009	9 657
Engrais	0	16	55	500	220	792
Machines, véhicules, objets manufacturés et transactions spéciales	134	1 000	48	5 811	7 918	14 911
Minerais et déchets pour la métallurgie	0	722	190	4 525	585	6 022

Minéraux bruts ou manufacturés et matériaux de construction	1	461	242	2 712	2 998	6 414
Produits agricoles et animaux vivants	1	343	177	2 670	2 168	5 361
Produits chimiques	18	201	58	5 634	1 843	7 754
Produits métallurgiques	2	1 789	173	7 000	1 982	10 947
Produits pétroliers	0	44	26	19 500	633	20 203
Total général	166	5 171	1 131	55 482	21 522	83 472

<b>kteqCO2</b>						
NST	Aérien	Ferroviaire	Fluvial	Maritime	Routier	Total
Combustibles minéraux solides	0,0	3,1	3,4	6,3	15,0	27,9
Denrées alimentaires et fourrages	9,4	3,2	2,1	44,1	299,2	358,0
Engrais	0,0	0,2	1,9	3,7	26,0	31,8
Machines, véhicules, objets manufacturés et transactions spéciales	156,9	12,5	1,6	38,5	855,4	1 064,8
Minerais et déchets pour la métallurgie	0,2	7,6	6,4	31,2	60,9	106,4
Minéraux bruts ou manufacturés et matériaux de construction	1,4	4,8	8,2	20,5	310,8	345,7
Produits agricoles et animaux vivants	1,7	3,5	6,0	19,8	231,0	262,0
Produits chimiques	21,9	2,4	2,0	37,9	169,8	234,0
Produits métallurgiques	2,8	25,3	5,9	46,8	183,2	263,9
Produits pétroliers	0,3	0,5	0,9	156,7	65,8	224,2
Total général	194,6	63,1	38,4	405,5	2 217,0	2 918,5

## ► Un bilan lié au transit

Au-delà de ces flux lié à l'activité régionale, au regard de la position géographique de la région, les flux de transit doivent également être pris en compte.

Le diagnostic du SRIT établit que 60 Mtonnes transite annuellement sur les corridors régionaux, dont 17 Mt lié à un trafic étranger-étranger (transalpin, transpyrénées et transmanche). Sur l'ensemble de ces flux, le routier représente près de 75% de ces flux. Considérant que la traversée de la région s'effectue sur une portée de 80 à 120 km (suivant les axes), les émissions liées au transit sont estimées à **630 kteqCO2**.

### **Hypothèses sur les distances des axes en km**

Littoral (Rang du Fliers/Dunkerque)	125
Sud/Nord (Bapaume/Mouscron)	100
Sud/Est (Bapaume/Quiévrain)	80
Moyen	102

Les distances des axes sont établies avec un utilitaire type « Google Map ».

## III.2. Evolutions tendanciennes

Nous proposons de reprendre les évolutions de transports de marchandises utilisées dans le scénario « Virage Energies », issues des travaux d'ENERDATA pour le compte de la DGEC.

Les volumes de transport de marchandises à horizon 2050 sont généralement chiffrés par rapport à une croissance économique. Ainsi, Virage Energie, qui reprend les éléments du scénario ENERDATA réalisé à l'échelle de la France, prévoit une multiplication par 2,4 des flux de marchandises, soit une augmentation annuelle de 2%, sur la base d'une croissance économique annuelle de 1,9%. A l'horizon 2020, on peut ainsi considérer une augmentation de l'ordre de 25% des flux de marchandises à origine ou destination de la région.

Mode	Milliards de tonnes.km		Emissions (kteqCO2)	
	2010	2020	2010	2020
Avion	0,2	0,2	194,6	217,2
Fer	5,2	6,4	63,1	70,4
Fleuve	1,1	1,4	38,4	42,8
Mer	55,5	68,8	405,5	452,5
Route	21,5	26,7	2 217,0	2 474,2
Total	<b>83,5</b>	<b>103,5</b>	<b>2 918,5</b>	<b>3 257,1</b>

## III.3. Evaluation des potentiels

Dans le cadre de cette première analyse, trois potentiels d'actions principaux sont évalués :

- Les effets technologiques sur les camions
- Les effets de reports modaux
- Les effets de relocalisation
- Les effets organisationnels

Il reste également un ensemble de levier « organisationnels » liés à une optimisation des circuits logistiques et aux principes de « l'éco-conduite » qui n'ont pas reçu encore d'évaluation de potentiel. Ils peuvent néanmoins s'avérer des gisements importants et non-négligeables.

### ► Les effets technologiques

Un gain important est naturellement lié au potentiel technologique sur les poids lourds. Ils utilisent pour la majeure partie des moteurs turbo-diesel à injection directe, qui sont les moteurs avec les meilleurs rendements thermiques actuellement. Les rendements restent encore améliorables, et l'apparition de nouveaux combustibles, ou de nouvelles formes de motorisation, permettrait de dégager encore des gains significatifs.

Dans le cadre d'une évaluation de potentiel, nous estimerons en premier lieu, que les potentiels de gains sur la motorisation est de l'ordre de 10% sur un horizon 2020, lié à un effet d'amélioration des rendements. Ce qui nous propose un gain de l'ordre de **240 kteqCO2**.

Les différents facteurs liés à ces gains sont résumés dans le tableau suivant :

<b>Carburants plus propres</b>	Gaz liquide ou comprimé	
<b>Améliorer rendement énergétique du diesel (vers 60%)</b>	Augmenter le rendement thermique du moteur jusqu'à 55%	Pression plus élevée dans la chambre de combustion Meilleure isolation thermique de la chambre de combustion Récupération de la chaleur résiduelle
	Transmission	Réduction des frottements
	Résistance au roulement	Meilleurs pneus
	Masse	Matériaux plus légers : meilleur facteur de charge
<b>Nouvelles technologies</b>	Hybride	Véhicules de livraison ou de service en ville
	Pile à hydrogène	

### ► Les effets liés au report modal

Dans une première évaluation de potentiel, il a été choisi de faire supporter l'ensemble de la croissance de trafic au fleuve, et de substituer 15% des flux routiers existants par du fleuve.

Cette première hypothèse de travail – afin d'établir un premier ordre de grandeur – reste à affiner au regard des enrichissements de diagnostics qui pourront être établis.

Le tableau suivant permet de détailler ce potentiel estimé à **588 kteqCO<sub>2</sub>/an**. Il équivaut en une montée en charge des flux provenant du fleuve de l'ordre de 5 milliard de tonnes.km et une augmentation de 4,6 milliard de tonnes .km affrétés par le fer. Ces hypothèses devront être mises en regard des potentiels réels liées au développement des infrastructures sur le territoire.

		<i>Milliards de tonnes.km</i>		<i>Emissions (kteqCO<sub>2</sub>)</i>	
Mode		<i>2010</i>	<i>2020</i>	<i>2010</i>	<i>2020</i>
Tendanciel	Avion	0,2	0,2	194,6	217,2
	Fer	5,2	6,4	63,1	70,4
	Fleuve	1,1	1,4	38,4	42,8
	Mer	55,5	68,8	405,5	452,5
	Route	21,5	26,7	2 217,0	2 474,2
	<b>Total</b>	<b>83,5</b>	<b>103,5</b>	<b>2 918,5</b>	<b>3 257,1</b>
Premier Potentiel	Avion	0,2	0,2	194,6	217,2
	Fer	5,2	9,6	70,4	106,8
	Fleuve	1,1	6,6	42,8	196,3
	Mer	55,5	68,8	452,5	452,5
	Route	21,5	18,3	2 474,2	1 696,0
	<b>Total</b>	<b>83,5</b>	<b>103,5</b>	<b>3 234,5</b>	<b>2 668,9</b>

Gain	<b>588 kteqCO<sub>2</sub></b>
------	-------------------------------

### ► Les effets de relocalisation

Les potentiels liés aux effets de relocalisation des productions sont difficiles à estimer. Un premier exercice d'estimation a été mené afin d'identifier les ordres de grandeurs associés. Pour

cette raison, il s'agit à ce jour plus d'un exercice de « sensibilité » qu'un réel exercice d'évaluation du potentiel.

Pour cette estimation, l'ensemble des flux d'importation et d'exportation liés aux « Produits agricoles et animaux vivants » ont été réduit de **40%**. A noter que les flux liés à cette typologie de marchandise représentent 6% de l'ensemble des flux de marchandises issue ou à provenance du territoire.

Au final, le « potentiel » ainsi exprimé représente un gain de l'ordre de **90 kteqCO2**.

## ► Les effets organisationnels

Des effets importants d'optimisation des flux de camions peuvent être réalisés en conjugant 3 effets :

- L'augmentation de la charge utile des camions, notamment avec l'intégration progressive des 44T
- La diminution des taux de retours à vide
- L'augmentation du taux de remplissage des camions

Un gisement énergétique pour les horizons 2020 et 2050 a ainsi été estimé en jouant conjointement sur ces trois leviers. Les gains sont ainsi estimés à l'horizon 2050 à près de **360 ktep**

	2005 (base)	2020	2050
Charge Utile	22,8	26	32
Taux de remplissage	54%	62%	76%
Taux à vide	20%	15%	10%
Economie énergie		120	364

Les hypothèses de base sont issues du document méthodologique « Bilan Carbone V6 » revu dernièrement par l'ADEME.

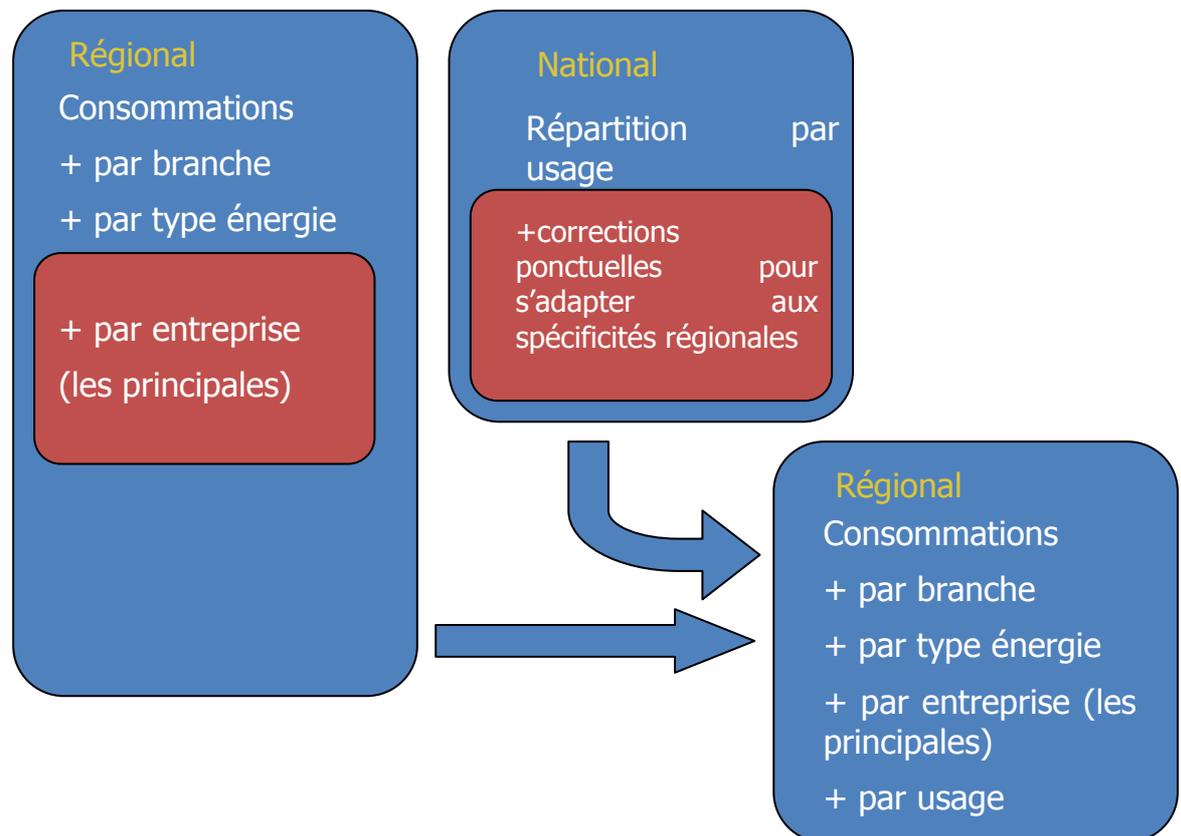
## IV. Secteur industrie

### IV.1. Méthodologie

La première étape de la modélisation consiste à reconstituer les données de consommation détaillées de l'industrie régionale, de manière à segmenter et organiser les données de la façon suivante :

- Par branche industrielle
  - Par sous-branche (si possible avec les productions industrielles en volume, pour juger de l'efficacité)
- Par type d'énergie
- Par usage

Figure 11 – Reconstitution des données de consommation



La Figure 12 synthétise le principe du modèle. Une fois élaborées les données d'entrées, des hypothèses de projection de l'activité dans chaque branche sont définies. Ces projections s'appuient sur des études prospectives régionales, nationales ou européennes, mais aussi viennent de la vision que l'on souhaite donner à l'industrie dans la région. Il a notamment été décidé en accord avec le commanditaire, de ne pas considérer de délocalisations d'unités de

production dont la motivation première serait la fuite de carbone ou la recherche de main d'œuvre bas coût.

La détermination des gisements d'économie d'énergie se déroule selon les étapes suivantes :

Les premières sources de réduction de consommation sont liées à la sobriété, on peut en effet envisager des réductions de production justifiées par un moindre usage de produit (exemple : diminution de la taille des voitures produites)...

Toujours sans toucher au niveau d'efficacité des technologies, il est aussi possible de réduire les consommations énergétiques en augmentant les taux de réutilisation (exemple : bouteilles consignées ou de recyclage (exemple : recyclage des métaux ou plastique).

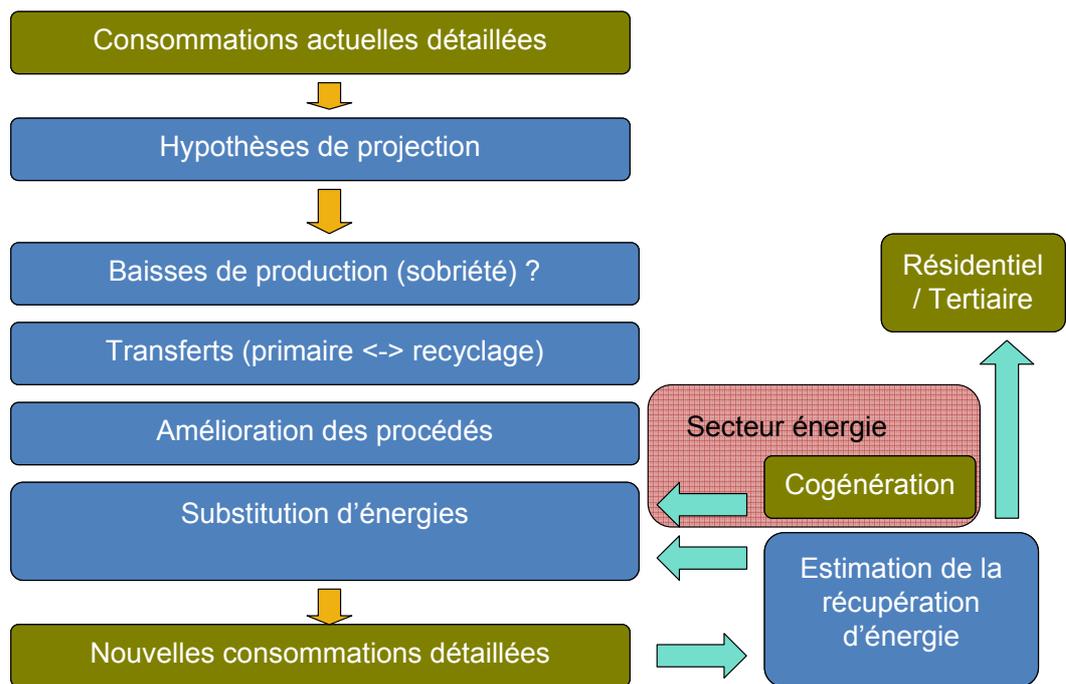
Cette partie est partiellement prise en compte dans les évolutions de production (pas de croissance retenue). Néanmoins des actions plus détaillées pourraient être développées (emballages consignés, baisse de la production de voiture et de leur taille en cohérence avec l'évolution de la part modale des voitures...), mais nécessiteraient des études complémentaires.

Une fois ces premières étapes déterminées, les gains d'efficacité des procédés industriels sont appliqués aux consommations futures de la région. Ces potentiels d'économie d'énergie dépendent d'une part des niveaux de performance des installations actuelles de la région (vétusté des installations, niveau de rénovation...), mais également des meilleures techniques aujourd'hui disponibles. Pour 2050, certaines technologies non encore disponibles au stade industriel mais existant au stade pilote ont été prises en compte (voir pour les détails les chapitres sectoriels). La description des techniques permettant des gains d'efficacité est découpé selon :

- Les opérations transverses, ce sont les utilisations énergétiques que l'on retrouve dans la majorité des secteurs industriels (moteur, éclairage, pompe, ventilateur...)
- Les procédés spécifiques : il s'agit ici particulièrement des procédés des Industries Grosses Consommatrices d'Énergie (IGCE).

Certains gains énergétiques nécessitent la substitution d'énergie. Ainsi, certains usages de l'électricité peuvent permettre des économies d'énergie intéressantes en substitution à des usages de combustible. Par exemple en agroalimentaire ou chimie, le recours à la compression mécanique de vapeur pour les opérations de concentration peut être qualifié d'électricité performante. Les gains en énergie finale doivent cependant être très importants pour permettre un gain réel en énergie primaire (le ratio réel actuel du système électrique européen se situe autour de 3). La modélisation des autres substitutions (gaz, biomasse, solaire...) aurait plus d'importance dans une étude complète, avec objectif de réduction des GES (ce qui n'est pas l'objet ici).

Figure 12 – Schéma de la modélisation de l'industrie



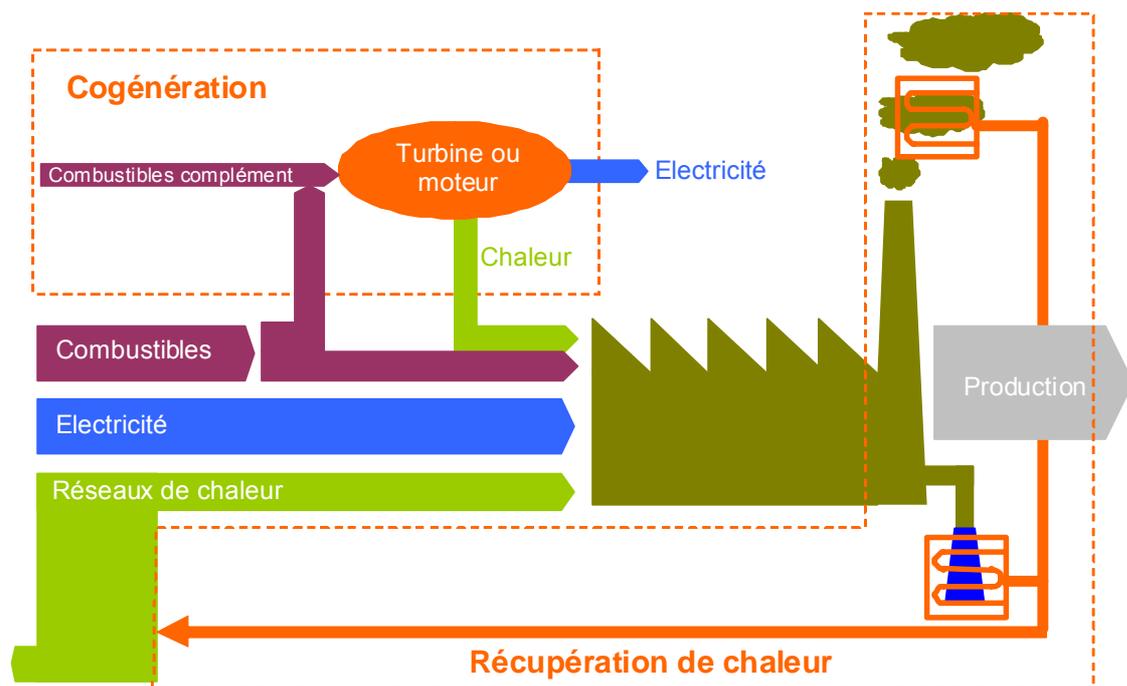
Source : E&E

L'importance de l'industrie dans la région Nord Pas de Calais conduit à proposer une itération supplémentaire dans ce calcul, de façon à estimer le gisement restant de chaleur récupérable, une fois appliquées les meilleures technologies disponibles. De même, l'alimentation des industries en chaleur à moyenne et haute température permet d'envisager une substitution des moyens de production d'électricité classiques par de la cogénération. Ces deux potentiels supplémentaires ont été identifiés puis quantifiés de façon simplifiée :

- **Récupération d'énergie** : bon nombre de procédés industriels, même optimisés, rejettent encore sous forme d'effluents (fumées, eau de refroidissement...), des quantités de chaleur importantes dans l'environnement. Des échangeurs de chaleurs peuvent permettre de récupérer cette énergie, et alimenter ainsi des réseaux permettant une valorisation en dehors du site industriel (dans une autre unité industrielle, ou un autre secteur – résidentiel ou tertiaire). Cette récupération est cependant tributaire du reste du bilan, par exemple les besoins en chaleur ou les valorisations du bois ou des effluents. Elle dépend donc non seulement de l'efficacité de la récupération (rendement des échangeurs, auxiliaires de pompage...) mais aussi d'un taux d'utilisation qui dépend du reste du système.
- **L'utilisation de turbines à gaz ou moteurs à combustion en substitution de brûleurs classiques**. La chaleur utile pour le procédé, initialement produite par combustion directe de gaz est substituée, par les gaz d'échappement d'une turbine à gaz voir d'un moteur. Il s'agit d'une **cogénération en amont du cycle industriel**. Cette production électrique permet ainsi de limiter l'énergie primaire utilisée dans la production électrique. Cette économie peut être portée au crédit du secteur énergétique. Une optimisation de ces productions dans le temps, fonction des autres productions fossiles ou des importations, pourrait aussi amener un bilan carbone positif.

Ces deux potentiels sont illustrés sur la Figure 13.

Figure 13 – Récupération d'énergie et cogénération amont dans l'industrie



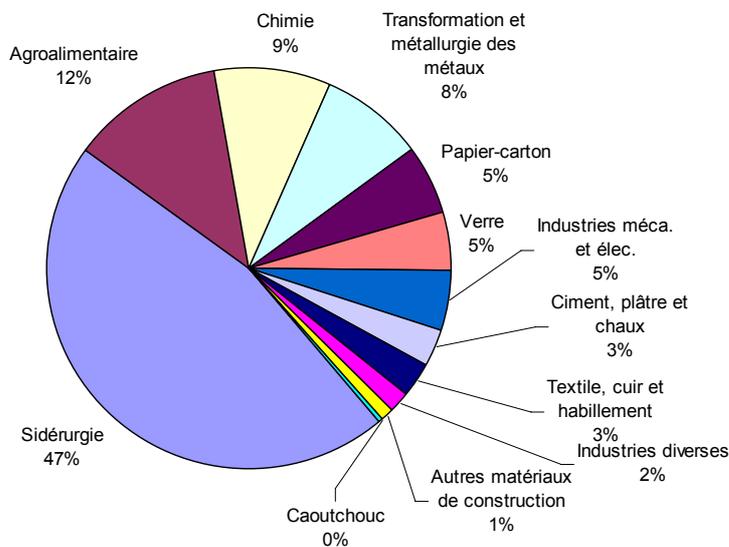
Source : E&E

## IV.2. Profil énergétique industriel de la région Nord-Pas-de-Calais

En 2005, année de référence de l'étude, l'industrie représente environ 7 Mtep de consommation d'énergie, soit 50% de la consommation finale d'énergie de la région (au niveau nationale, l'industrie représente seulement 27% de la consommation totale). Ces chiffres montrent donc le poids de l'industrie dans la région, notamment d'Industrie Grosse Consommatrice d'Énergie (IGCE).

La Figure 14 montre la répartition des consommations d'énergie par grand secteur. La sidérurgie, (pour 75% la production d'acier primaire) pèse pour près de la moitié de la consommation régionale industrielle. Ensuite on retrouve l'agroalimentaire et les industries lourdes (Chimie, Métaux, Papier, Verre, Ciment...). On note également une part importante d'industrie en mécanique et électricité.

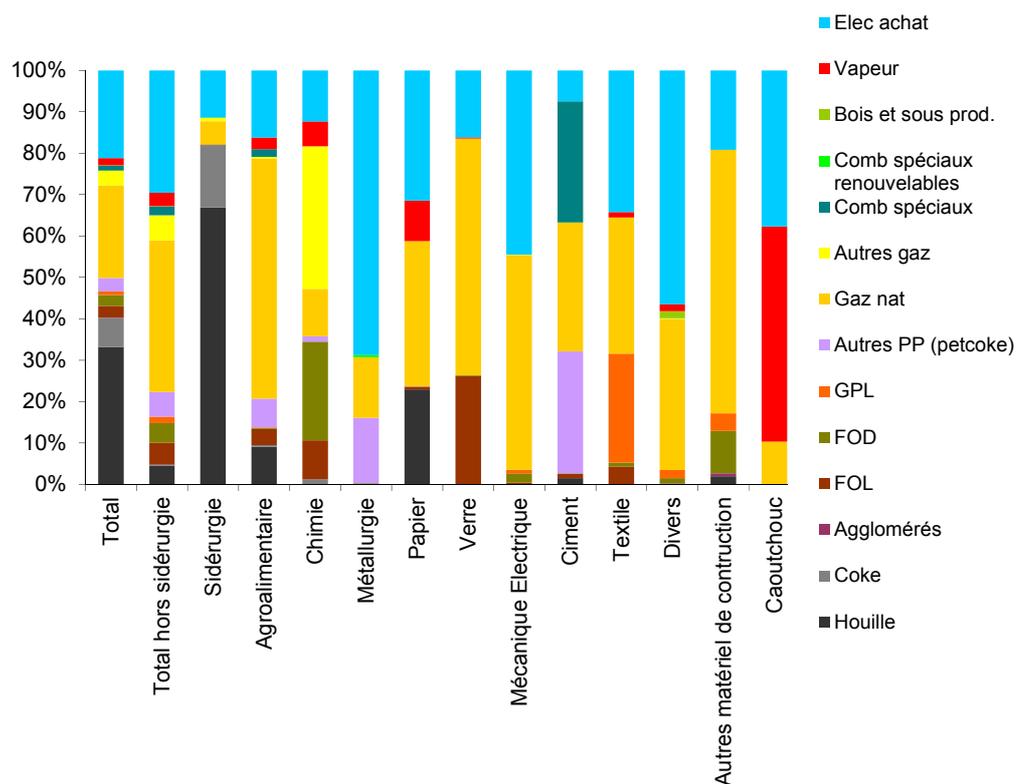
Figure 14 – Répartition sectorielle des consommations d'énergie dans la région Nord-Pas-de-Calais - 2005



Source : SESSI

La Figure 15 montre que le charbon reste la plus importante consommation avec une part de 30%. Il est principalement utilisé pour la production d'acier primaire (haut-fourneaux de Dunkerque). Il est suivi par le gaz naturel avec plus de 20% des usages. Le gaz naturel continue à se développer en raison de son coût plus faible que le fioul et ses faibles émissions de GES. L'électricité ne représente que 20% en énergie finale des consommations. La part vapeur correspond en général à l'externalisation de la production de vapeur pour des procédés spécifiques (papèterie, chimie, caoutchouc). Cette part pourrait augmenter si l'on augmente la récupération de chaleur inter-industrie.

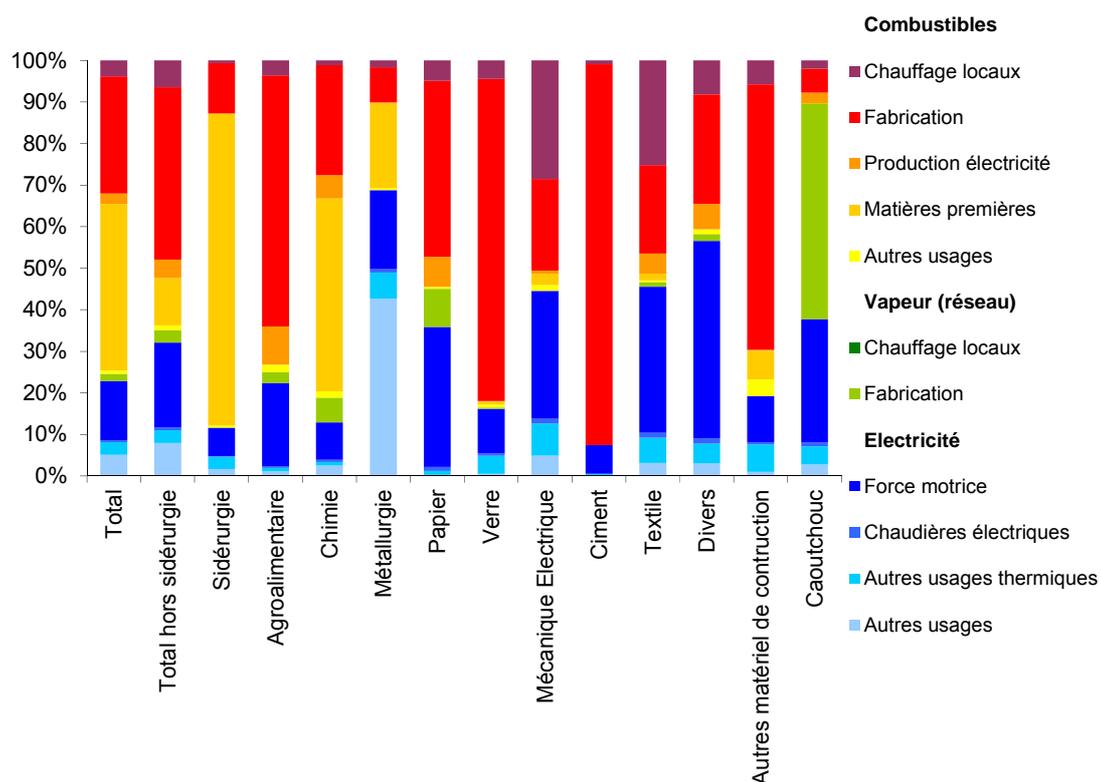
Figure 15 – Répartition des consommations d'énergie, par type d'énergie et par secteur industriel – Nord-Pas-de-Calais



Source : E&E, SESSI

Concernant les usages de l'énergie (Figure 16), la répartition dans la colonne « Total » laisse voir que l'usage principal de l'énergie se fait sous forme de matière première. Cette forte proportion provient en fait de la prédominance de la consommation énergétique des haut-fourneaux (voir IV.5.a). L'autre enseignement intéressant est que les 2/3 des consommations d'électricité se fait dans les moteurs. Pour les détails par secteur, se reporter aux chapitres spécifiques.

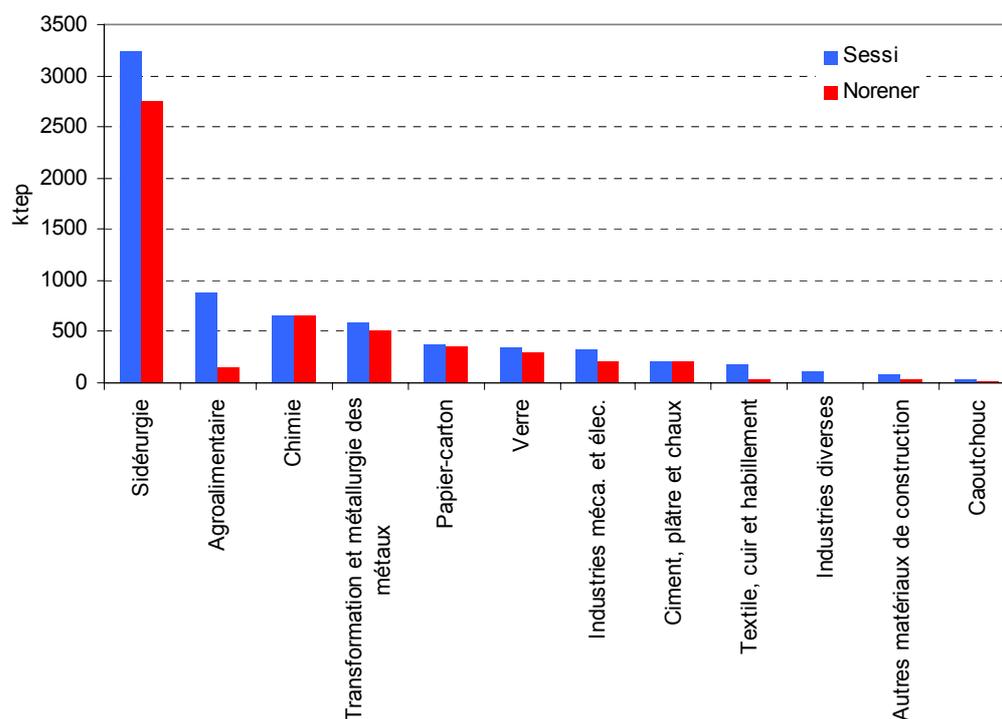
Figure 16 – Répartition par usage – par industrie – Nord - Pas de Calais - 2005



Source : E&E, SESSI

La description fine des secteurs industrielle a été permise avec l'utilisation à la base de données NORENER de la région. Elle comptabilise de manière détaillée 75% des consommations d'énergie de de l'industrie de la région, grâce à une enquête annuelle et des résultats par site industriel. La Figure 17 montre que l'enquête NORENER couvre correctement les secteurs majeurs (à l'exception de l'agro-alimentaire).

Figure 17 – Consommation énergétique industrielle – enquête SESSI et NORENER – Nord - Pas de Calais - 2005



Source : E&E, SESSI, NORENER

### IV.3. Efficacité énergétique dans les opérations transverses

Avant d'étudier chaque secteur industriel de manière détaillé, cette partie présente les différents usages de l'énergie que l'on retrouve dans différents secteurs. Elles concernent des opérations précises, appelées transverses, on peut distinguer :

- Le chauffage des locaux
- La production de chaleur
- Le transport et la distribution de la chaleur (pertes)
- Les moteurs électriques
- Le pompage
- La production air comprimé
- La ventilation
- L'éclairage
- La production de froid
- Les pertes dans les transformateurs électriques

### ► Chauffage des locaux

Comme dans les secteurs résidentiel et tertiaire, un gros gain d'efficacité est possible sur le chauffage des locaux, même si les locaux industriels peuvent avoir des spécificités défavorables (gros volumes, nécessité de transit fréquent avec l'extérieur,...). Il s'agit là bien sûr d'isoler mieux les bâtiments, mais également d'optimiser les systèmes en place : chauffer uniquement quand et où c'est nécessaire, déstratification des couche d'air...

### ► Production de chaleur

La production chaleur concerne principalement les chaudières. Les chaudières performantes actuelles peuvent atteindre de meilleurs rendements, notamment en ayant recours à des économiseurs et des réchauffeur d'air, ce qui permet de récupérer le maximum d'énergie des fumées.

### ► Transport et distribution de chaleur

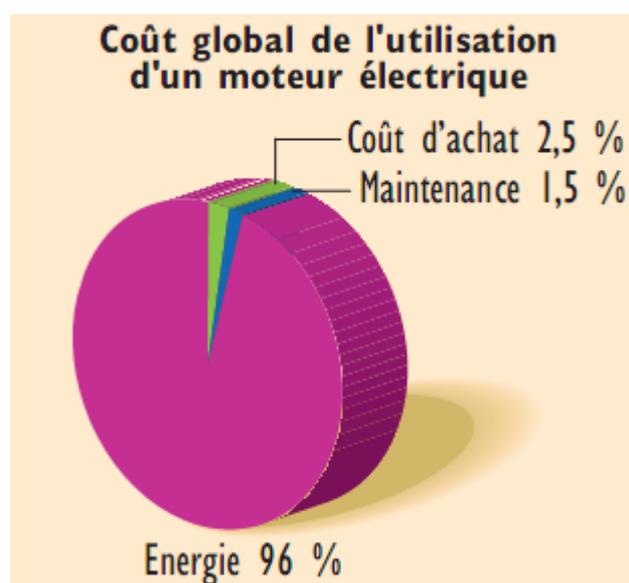
Cette action consiste principalement à bien calorifuger les conduites de chaleur.

### ► Moteurs électriques

C'est un chantier très important, car comme le montre la Figure 16, les moteurs représentent 70% des usages de l'électricité dans l'industrie. Des gains très importants sont possibles :

- bien dimensionner la machine que l'on souhaite entrainer, les surdimensionnements entraînent généralement une surconsommation (fonctionnement du moteur en dehors de la zone optimale).
- Utilisation des moteurs les plus efficaces (label EFF 1). Même s'il y a un surcout à l'achat, ce choix est largement rentable quand on sait, qu'aujourd'hui, en moyenne, le coût d'achat du moteur ne pèse que 2,5% du coût d'usage sur sa durée de vie (96% étant la facture d'énergie, voir Figure 18).
- Utilisation de variateurs de vitesse. L'usage des variateurs de fréquence dont le coût a largement diminué ces dernières années, permet d'adapter au mieux la vitesse du moteur au besoin. Sur une majorité d'usage les gains sont très importants.
- Bonne maintenance : du moteur en lui-même (graissage palier), et de la ligne de transmissions (alignement, tension courroie...)

Figure 18 – Répartitions des coûts d'utilisation d'un moteur électrique



Source : Guide technique Motor Challenge

## ► Fluide : Pompage, air comprimé, ventilation

Les machines tournantes de type ventilateur, compresseur ou pompe ont également un bon potentiel d'économie d'énergie :

- Choisir des machines de meilleurs rendements
- Optimiser la conception de circuits de fluide (éviter les pertes de charge inutile)
- Bonne maintenance : faire la chasse au fuite (c'est souvent le cas sur les installations d'air comprimé<sup>8</sup>), nettoyage des filtres...

## ► L'éclairage

Les gains d'efficacité sont encore largement possibles. Il s'agit d'utiliser des lampes à basse consommation, mais aussi d'optimiser les postes de travail pour profiter au maximum de la lumière naturelle, et d'éviter les sur éclairages.

## ► Production de froid

La production de froid se fait principalement par machine frigorifique avec compresseur. Les mesures permettant les gains regroupes celles des machines tournantes, et les usages thermiques :

- Bon usage du froid
- Compresseurs haute performance
- Récupération de la chaleur de compression

## ► Pertes transformateurs

Les industriels possèdent souvent leurs propres transformateurs. Au même titre que sur les réseaux de transport et distribution électrique, des gains sont possibles en utilisant des transformateurs de dernière technologie.

## ► Gisements retenus des opérations transverses

Au niveau national, la dernière étude CEREN de 2010 a estimé les potentiels de gisements « techniquement réalisable », voir Tableau 1. On entend par réalisable des actions qui ont déjà été mises en place industriellement.

Tableau 1 – Consommation d'énergie de l'industrie et gisements d'économies des opérations transverses – France - 2007

	Total industrie	Opération transverses de l'industrie			
	Consommation	Consommation	Consommation	Gisement	
	TWh	%	TWh	%	TWh
Combustibles	358,3	12%	43	53%	23
Electricité	134,6	78%	105	39%	41
Total	492,9	30%	148	43%	64,0

Source : Synthèse du «gisement d'économies d'énergie dans les opérations transverses de l'industrie" - CEREN - 2010

Le détail par opération donne :

<sup>8</sup> Voir [www.acenergie.fr](http://www.acenergie.fr), société régionale spécialisée dans l'amélioration des performances des réseaux d'air comprimé.

Tableau 2 – Détails des gisements d'économies maximum des opérations transverses – France - 2007

	Gisements par opération		Consommation actuelle	Potentiel du gisement
	part en % du gisement total	TWh	TWh	%
Chaufferies	12%	7,7	10	77%
Réseaux	8%	5,1	8	68%
Chauffage des locaux	19%	12,2	25	50%
Moteurs	29%	18,6	51	36%
Air comprimé	5%	2,9	9	33%
Froid	5%	3,2	9	36%
Ventilation	9%	5,8	16	37%
Pompage	6%	3,9	14	27%
Transformateur	2%	1,3	2	71%
Eclairage	5%	3,2	5	64%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>64,2</b>	<b>148</b>	<b>43%</b>

*Source : Synthèse du «gisement d'économies d'énergie dans les opérations transverses de l'industrie" - CEREN – 2010 – Interprétation E&E*

Lecture Tableau 2 : exemple de la ligne moteur

En France, les moteurs présentent un potentiel maximum de 18,6 TWh d'économies d'énergie. Cela représente 29% du gisement maximum d'économie d'énergie des opérations transverses.

L'opération transverse « moteur » consomme en 2007 51 TWh par an. Le gisement maximum sur l'opération moteur correspond donc à un gain de 36%.

Pour estimer les potentiels dans la région, les consommations de chacune de ces opérations transverses ont été reconstituées secteur par secteur, puis les potentiels proposés par le CEREN sont appliqués. On considère que seules les actions ayant un temps de retour sur investissement inférieure à 3 ans sont réalisées d'ici 2020, le reste est réalisé d'ici 2050. On obtient en synthèse le tableau suivant :

Tableau 3 - Estimations des potentiels d'économie d'énergie par opération transverse

	Tendanciel		Tendanciel corrigé		S_Gisement	
	2020	2050	2020	2050	2020	2050
Chaufferies	0%	0%	0%	0%	64%	77%
Réseaux	0%	0%	0%	0%	50%	68%
Chauffage des locaux	0%	0%	0%	0%	46%	50%
Moteurs	0%	0%	7%	14%	18%	36%
Air comprimé	0%	0%	7%	13%	19%	33%
Froid	0%	0%	0%	0%	18%	36%
Ventilation	0%	0%	7%	15%	19%	37%
Pompage	0%	0%	5%	11%	13%	27%
Transformateur	0%	0%	0%	0%	33%	71%
Eclairage	0%	0%	13%	26%	36%	64%

Source : CEREN, E&E

## IV.4. Résultats de potentiel global de l'industrie

### ▪ Récupération de chaleur

#### ▶ Définition

La récupération de chaleur est estimée en considérant qu'elle se fait à basse température (réseau de chaleur à 80 ou 90°C). Ce niveau de température est important car il fixe une limite physique de récupération, cette limite étant la nécessité d'avoir un gradient de température entre le milieu où l'on récupère la chaleur et le niveau de température de l'alimentation du réseau de chaleur.

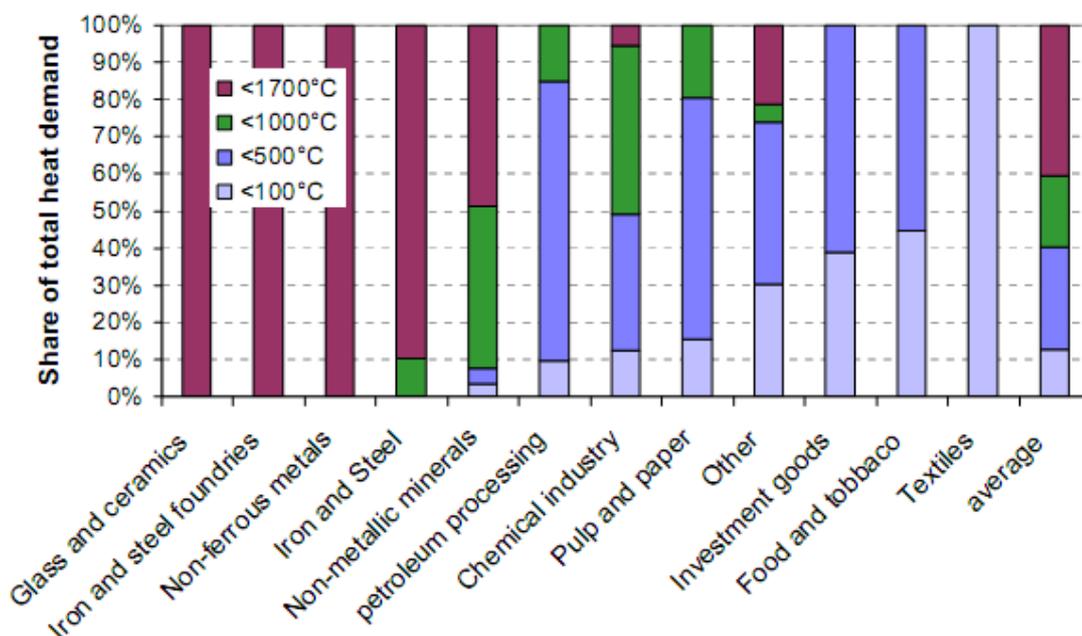
Ce potentiel pourrait être augmenté en utilisant des pompes à chaleur ce qui permet de prendre en compte des gisements à plus basse température. Ceci mériterait une étude détaillée combinée à celle des potentiels d'usage sur réseaux de chaleur urbain.

Dans cette estimation il faut bien avoir à l'esprit que le potentiel de récupération d'énergie pour une valorisation hors procédé est inversement proportionnel à l'efficacité du procédé. En effet, dans de nombreux procédés énergivores, une source majoritaire de réduction des consommations d'énergie consiste en l'utilisation d'énergie perdue à des fins de préchauffage.

De manière générale, les plus gros taux de récupération se trouvent sur les procédés nécessitant des hautes températures pour le procédé (industrie lourde), telle que la sidérurgie, la métallurgie, l'industrie chimique, la cimenterie... La Figure 19 présente pour les principales branches industrielles les niveaux de température des procédés.

A l'inverse, les procédés basse température sont les industries qui peuvent devenir consommatrices d'énergies provenant de réseaux de chaleur basse température. Des pompes à chaleur peuvent être alors installées pour relever que quelques dizaines de degré si nécessaire, là encore des études plus fines pourraient préciser les gains et le caractère plus ou moins coûteux de leur mise en œuvre.

Figure 19 – Demande de chaleur par branche industriel et niveau de température – Europe - 1994



Source : « Energy Savings Potentials in EU Member States », Franhofer Institute, Commission européenne, p225, 2009

Il n'a pas été envisagé dans cette étude, une conversion de la chaleur en électricité par cycle thermodynamique (Eau-vapeur ou ORC<sup>9</sup>). Bien que des installations de ce type existent (par exemple sur des cimenteries), elles sont (en Europe) encore peu rentables, à moins d'avoir des sources de températures à haute température. Avec l'amélioration des procédés de production, les sources de températures disponibles baissent. A moins d'améliorer les cycles de conversions (ORC, cycle Kalina, matériaux thermosensibles), ou de se situer sur des sites relativement isolés, il semble plus économique de valoriser cette récupération d'énergie directement sous forme de chaleur.

## ► Résultats

Ces résultats montrent pour chaque secteur le potentiel de récupération de chaleur basse température. Il a également été fait une estimation préliminaire des possibilités d'utilisation de chaleur basse température. Ces consommations pourraient être alimentées par des réseaux inter-industries.

### Lecture de la Figure 20, exemple pour 2020 :

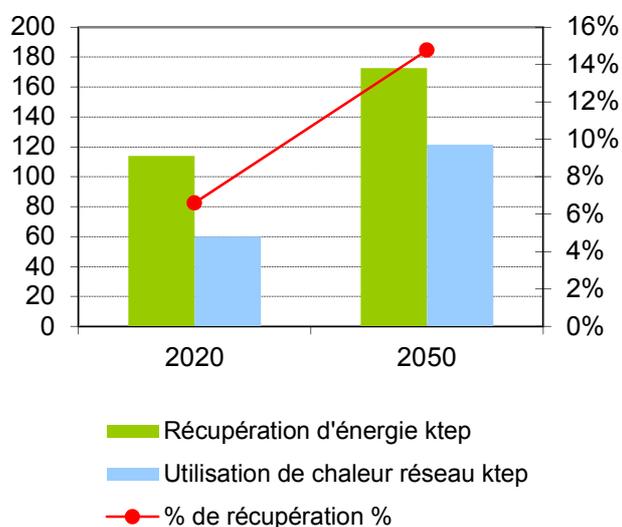
En 2020, il y a un potentiel de récupération de chaleur basse température de 114 ktep. Il représente 7% de l'ensemble des énergies à usage thermique consommée par ce secteur.

D'autre part on estime que le secteur industriel pourrait utiliser environ 60 ktep de chaleur basse température.

<sup>9</sup> ORC : Organic Rankine Cycle, cycle thermodynamique utilisant une fluide organique

Pour 2050, le potentiel de récupération est plus faible car entre temps, les procédés se sont améliorés, la part de perte valorisable a donc diminuée.

Figure 20 – Récupération et consommation de chaleur basse température – 2050



Source : E&E

Tableau 4 – Bilan récupération d'énergie – Industrie NPDC

S_Gisement		2020	2050
Champ d'application	ktep	1725	1168
% de récupération	%	7%	15%
Récupération d'énergie	ktep	114	173
Utilisation de chaleur réseau	ktep	60	121
<b>Reste pour autres secteurs</b>	<b>ktep</b>	<b>54</b>	<b>51</b>

Source : E&E

Au-delà des économies d'énergie décrites plus haut, le potentiel de récupération de chaleur est ici estimé de façon sommaire. Il conviendra d'estimer ce gisement en fonction des paramètres suivants :

- Coûts et longueurs de raccordement
- Valeur des chaleurs
- Risque de disparition de l'unité industrielle
- Saisonnalité des productions et des demandes possibles

Ces résultats reconstitués doivent être pris avec les réserves d'usage, une étude plus détaillée serait ici nécessaire pour leur donner une robustesse suffisante pour y consacrer une politique spécifique. Ils nous donnent cependant une idée de l'importance de l'enjeu pour des industries souvent proches des villes.

Les consommations de réseau recouvrent quasiment exclusivement des besoins en chauffage des industries (pour rappel, il est considéré que l'on réduit de 50% ces besoins d'ici 2050)

Au final, l'énergie récupérée est de 173 ktep en 2050.

Si l'on retranche les besoins de chauffage des locaux de l'industrie qui pourrait être satisfaits avec cette énergie basse température (en interne ou via des réseaux), le surplus qui peut alimenter les secteurs résidentiels et tertiaires est donc de 51 ktep.

En complément du bilan global du Tableau 4, les Figure 21 et Figure 22 illustrent les différentes quantités de chaleur récupérables par secteur. Le choix des taux de récupération est détaillé dans chaque partie sectoriel (§ IV.5)

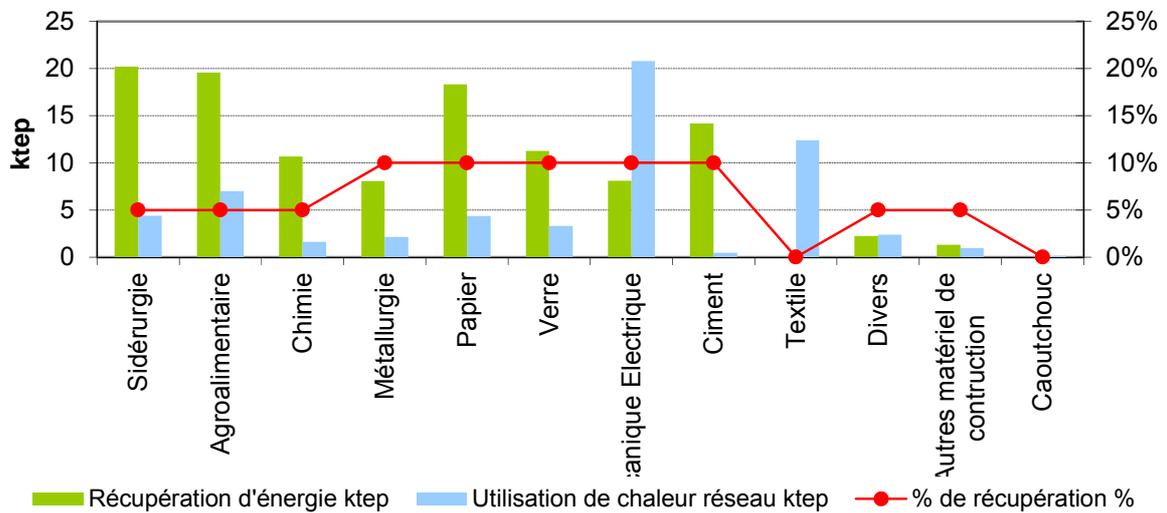
**Lecture des Figure 21 et Figure 22, exemple pour le secteur papetier :**

En 2020, il y a un potentiel de récupération de chaleur basse température de 18 ktep. Il représente 10% de l'ensemble des énergies à usage thermique consommée par ce secteur.

D'autre part on estime que ce secteur industriel pourrait utiliser environ 4,5 ktep de chaleur basse température.

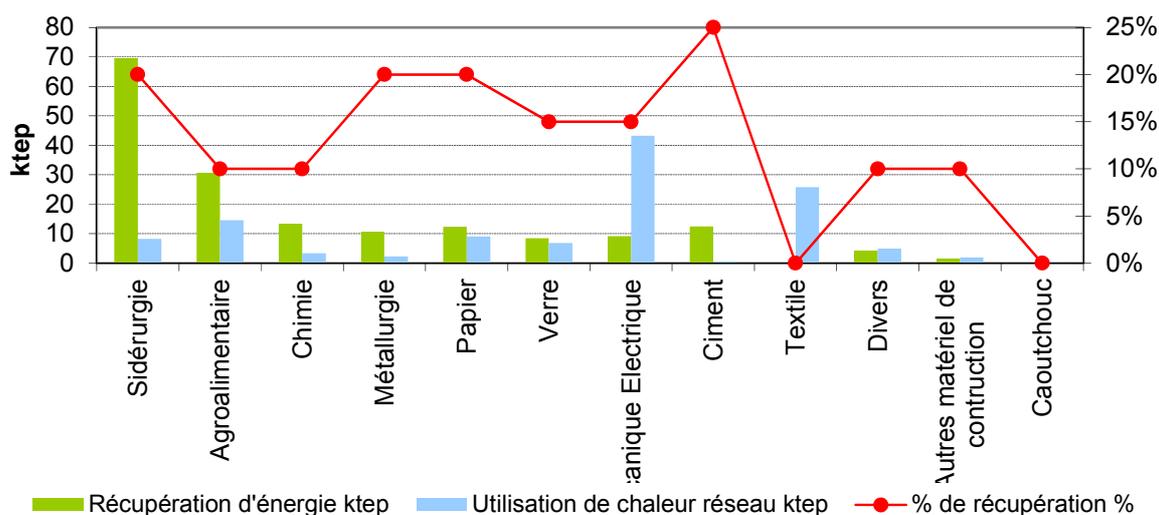
Pour 2050, le potentiel de récupération est plus faible car entre temps, les procédés se sont améliorés, la part de perte valorisable a donc diminuée.

Figure 21 – Récupération et consommation de chaleur basse température, par secteur – 2020



Source : E&E

Figure 22 – Récupération et consommation de chaleur basse température, par secteur – 2050



Source : E&E

## ► Gisement d'économie d'énergie

Le Tableau 5 présente les consommations de l'industrie, selon les 3 scénarios. Les résultats montrent que le potentiel d'économie d'énergie est de 35 à 41% sur le long terme, et environ 15% d'ici 2020. Ces résultats globaux peuvent sembler faibles, mais il faut rappeler encore une fois le poids du secteur sidérurgique (50% de la consommation énergétique régionale industrielle) : hors secteur sidérurgique le potentiel est compris entre 39% et 50% sur le long terme, et plus de 20% d'ici 2020, voir Tableau 6.

Les potentiels associés sur les GES sont donnés à titre indicatif : environ 13% d'ici 2020 et d'environ 35% en 2050. Pour être pertinent, il faudrait l'associer au potentiel des énergies renouvelables, et revalider éventuellement certains choix technologiques plus adaptés à l'optique « réduction de GES », mais pas forcément les plus efficaces en terme de consommation d'énergie, en particulier pour la sidérurgie.

Tableau 5 – gisements d'économies d'énergie et de CO2 – Industrie NPDC

		2005	2020	2050
<b>Tendanciel</b>				
Combustible	ktep	5437	5444	5444
Vapeur	ktep	122	123	123
Electricité	ktep	1645	1655	1655
Total*	ktep	7058	7075	7075
Emissions GES	ktCO2	23179	23209	23209
<b>Tendanciel corrigé</b>				
Combustible	ktep	5437	5319	5172
Vapeur	ktep	122	123	123
Electricité	ktep	1645	1561	1167
Total*	ktep	7058	6864	6323
Emissions GES	ktCO2	23179	22627	21676
<b>S_Gisement</b>				
Combustible	ktep	5437	4557	3120
Vapeur	ktep	122	155	237
Electricité	ktep	1645	1407	927
Total*	ktep	7058	5980	4145
Emissions GES	ktCO2	23179	20058	14595
<b>Gisement d'économies d'énergie</b>				
Potentiel min	ktep	0	883	2177
			13%	34%
	ktCO2	0	2569	7081
			11%	33%
Potentiel max	ktep	0	1095	2930
			15%	41%
	ktCO2	0	3151	8614
			14%	37%

\*la différence entre "Total" et combustible+vapeur+électricité correspond à l'autoproduction d'électricité

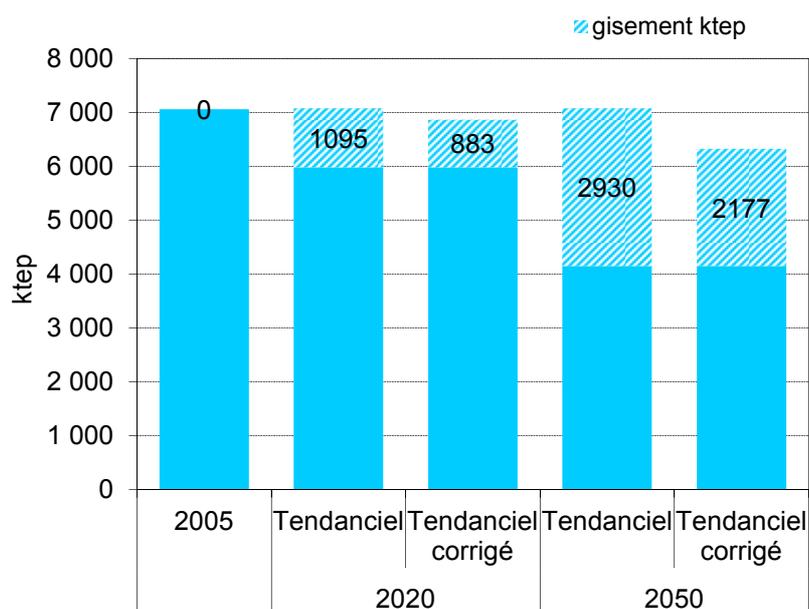
Source : E&E

Note d'explication des graphiques montrant les gisements d'économie (énergie et CO2) :

La totalité de la hauteur des barres montrent les niveaux de consommation d'énergie des scénarios « tendanciel » et « tendanciel corrigé ».

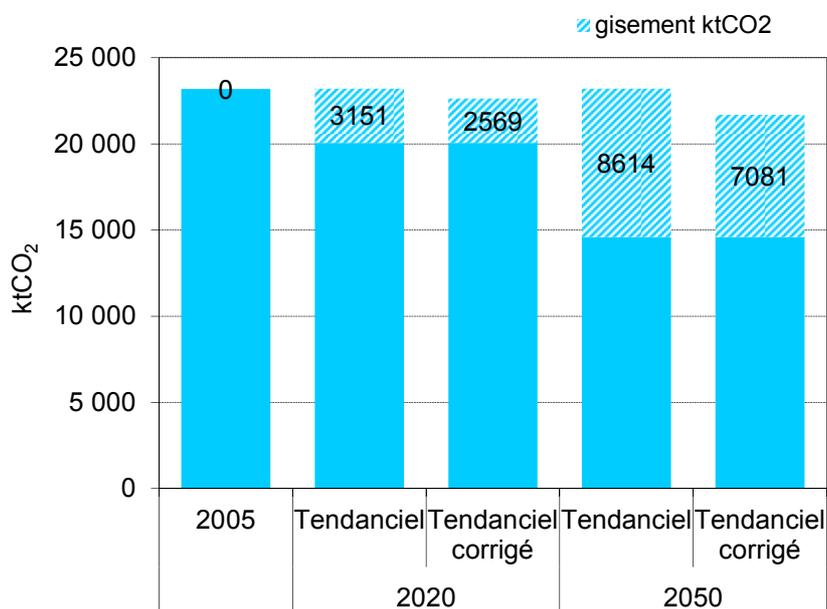
Pour les années 2020 et 2050, la partie hachurée montre le potentiel d'économie possible (il est estimé en faisant la différence entre chacun des scénarios et le scénario « S\_gisement »).

Figure 23 – Consommation d'énergie des scénarios avec leur potentiel d'économies - Industrie NPDC



Source : E&E

Figure 24 – Emissions de GES des scénarios avec leur potentiel d'économies - Industrie NPDC



Source : E&E

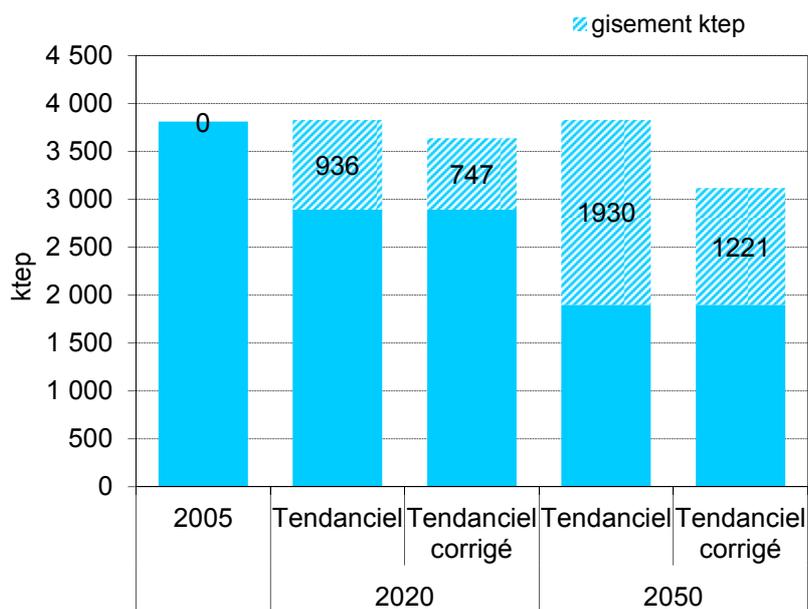
Tableau 6 – gisements d'économies d'énergie et de CO2 – Industrie (Hors sidérurgie) NPDC

		2005	2020	2050
<b>Tendanciel</b>				
Combustible	ktep	2563	2570	2570
Vapeur	ktep	121	122	122
Electricité	ktep	1267	1277	1277
Total*	ktep	3812	3830	3830
Emissions GES	ktCO2	9206	9236	9236
<b>Tendanciel corrigé</b>				
Combustible	ktep	2563	2445	2297
Vapeur	ktep	121	122	122
Electricité	ktep	1267	1205	833
Total*	ktep	3812	3640	3121
Emissions GES	ktCO2	9206	8675	7745
<b>S_Gisement</b>				
Combustible	ktep	2563	1768	1124
Vapeur	ktep	121	150	228
Electricité	ktep	1267	1106	679
Total*	ktep	3813	2893	1900
Emissions GES	ktCO2	9206	6459	4889
<b>Gisement d'économies d'énergie</b>				
Potentiel min	ktep	0	747	1221
			21%	39%
	ktCO2	0	2217	2856
			26%	37%
Potentiel max	ktep	0	936	1930
			24%	50%
	ktCO2	0	2777	4347
			30%	47%

\*la différence entre "Total" et combustible+vapeur+électricité correspond à l'autoproduction d'électricité

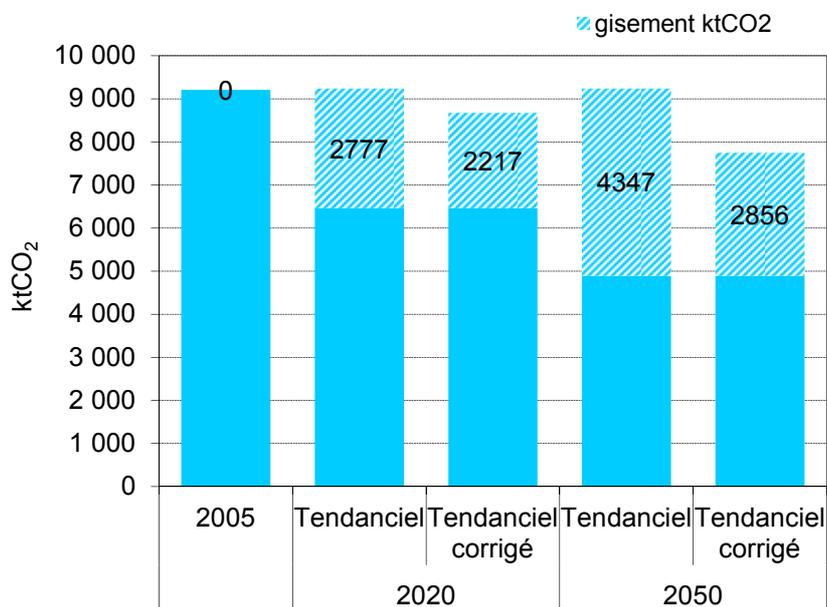
Source : E&E

Figure 25 – Consommation d'énergie des scénarios avec leur potentiel d'économies – Industrie (Hors sidérurgie) NPDC



Source : E&E

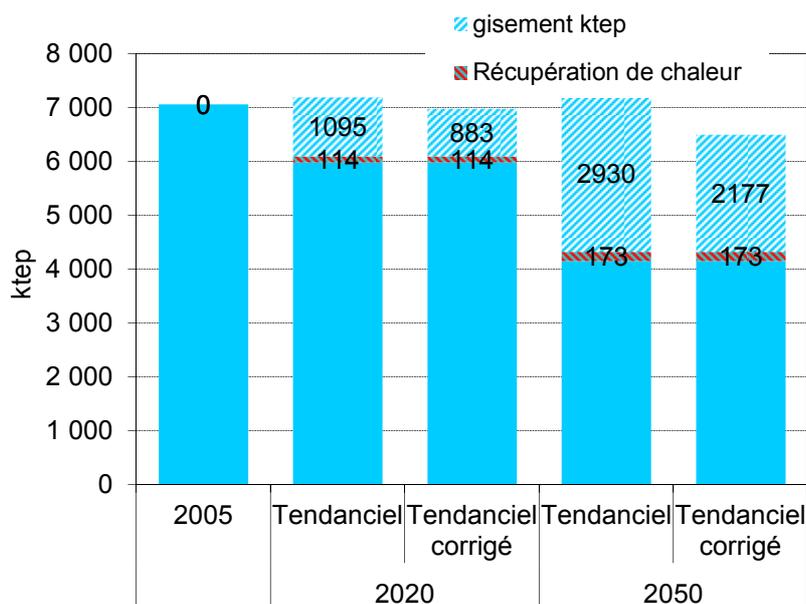
Figure 26 – Emissions de GES des scénarios avec leur potentiel d'économies - Industrie (Hors sidérurgie) NPDC



Source : E&E

D'autre part, si l'on attribue intégralement l'énergie récupérée pour les réseaux au secteur industriel, les gains sont augmentés d'autant :

Figure 27 – Consommation d'énergie des scénarios avec leur potentiel d'économies – Industrie NPDC



Source : E&E

## IV.5. Résultats par secteur

Dans ce chapitre, les secteurs industriels sont présentés par ordre décroissant de consommation d'énergie.

### IV.5.a. Sidérurgie

#### ► Description et évolution du secteur

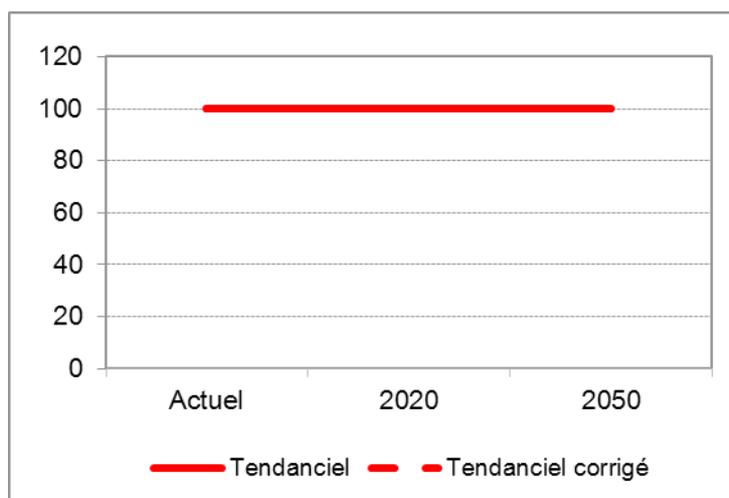
Cette industrie se sépare principalement en deux :

- Production d'acier par haut fourneaux (à partir principalement de minerais et coke de charbon)
- Recyclage de ferraille et première transformation de l'acier (fours électriques)

La première activité, malgré une optimisation énergétique importante (récupération de gaz sidérurgique, récupération d'énergie...) représente environ 50% de la consommation d'énergie finale, et 30% des émissions de CO<sub>2</sub> de la région pour son seul site de Dunkerque.

Les projections (Etude FONDDRI) montrent une consommation d'acier stable en Europe, et même une augmentation dans le reste du monde. Pour la présente étude, un maintien de la production est conforme avec l'idée de non délocalisation des procédés émetteurs. L'étude des gisements envisagera des possibilités accrues de recyclages et, bien sûr, l'amélioration ou la transformation des procédés.

Figure 28 – Evolution de la production - Sidérurgie



Source : Mittal - Autre source, DGEMP 2007<sup>10</sup> par Enerdata (à l'horizon 2030).

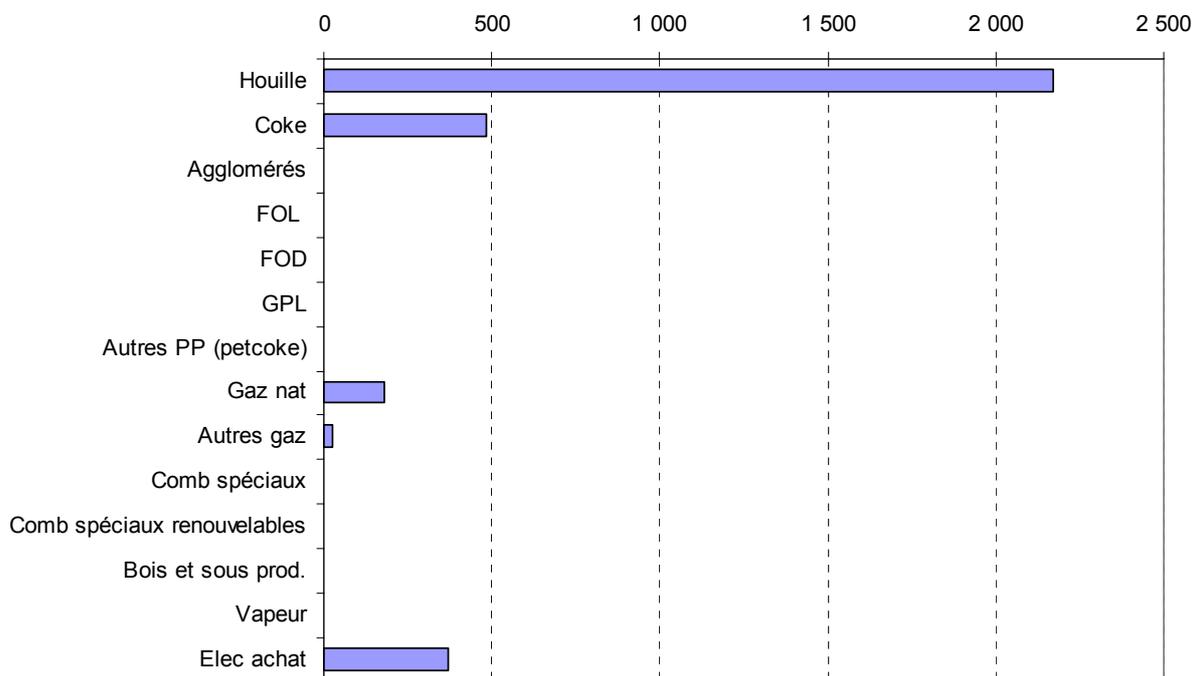
Pour le scénario « Gisement », nous considérons une augmentation du recyclage. Virage-énergie Nord-Pas de Calais dans son étude<sup>11</sup>, avait considéré une augmentation de recyclage de 16 points (passage de 64% à 80%, au niveau national). Cette évolution rapportée à la production d'acier primaire dans la région représente un transfert d'environ 0,9 Mt d'acier primaire vers le recyclage (aciérie électrique), soit un transfert d'environ 15% de la production d'acier primaire vers de l'acier recyclé.

<sup>10</sup> « Quantification du Scénario Grenelle à l'horizon 2020/2030 », Enerdata, 26/11/2008

<sup>11</sup> « Energies d'avenir en Nord-Pas de Calais », Virage-énergie NPDC, Janvier 2008

## ► Profil énergétique

Figure 29 – Consommation par type d'énergie – Sidérurgie - 2005



Source : SESSI

La spécificité du secteur est que la plus grande part d'énergie est utilisée en tant que matière première. Le charbon (ici de la houille) est transformé en coke (concentré carbone) avant d'être mélangé au minerai de fer. Le mélange entre en réaction de réduction dans le haut fourneau, pour former la fonte, matière première aux divers alliages d'acier.

Pour l'électricité, on trouve une forte part d'usage en moteur. Cette industrie lourde utilise beaucoup de ventilateurs, concasseurs, convoyeurs... On trouve également un usage thermique important dans les aciéries électriques (recyclage de ferraille, réalisation d'alliage d'acier...).

## ► Economies d'énergie

Court terme :

Pour l'acier primaire, sur le court terme, il ne semble pas qu'il y ait des possibilités d'amélioration des performances du procédé lui-même. Seules les améliorations sur les opérations transverses sont prises en compte.

Pour le recyclage des ferrailles : Les meilleures technologies actuellement en service consomment  $0,47 \text{ MWh/t}_{\text{acier}}$ <sup>12</sup>. Ces performances peuvent même être dès aujourd'hui abaissées de  $0,4 \text{ MWh/t}_{\text{acier}}$  en utilisant un préchauffeur. D'après les données Norener, il semble que les performances régionales soient proches de  $0,7 \text{ MWh/t}_{\text{acier}}$ . Un gain de plus de 50% semble donc accessible. Le gisement considéré est limité à 40%, étant donné que la consommation dépend également de la qualité des ferrailles traitées (les meilleures performances actuelles correspondent à des aciéries traitant des ferrailles de très bonne qualité, si l'on envisage d'augmenter le recyclage, il faudra sans doute aller chercher dans les ferrailles de moins bonne qualité). Pour l'horizon 2020, on retient un gain de 20% atteignable, le reste pour 2050.

<sup>12</sup> "World Best Practice Energy Intensity Values for Selected Industrial Sectors", Worrell Ecofys, 2007, p15

Long terme :

Pour l'acier primaire : Des technologies sont en cours de développement<sup>13</sup> :

- **Top Gas Recycling (TGR) Blast Furnace – Recirculation des gaz de haut-fourneau**

Dans cette solution, les gaz de haut-fourneau actuellement valorisés énergétiquement (ex : centrale électrique de DK6 à Dunkerque) seraient réintroduits dans le haut-fourneau en tant qu'agent réducteur. La quantité de coke de charbon nécessaire à la réduction du minerai de fer diminue, entraînant par la même occasion la réduction d'émissions de CO<sub>2</sub>.

Afin de permettre la capture du CO<sub>2</sub>, on peut également substituer l'air chaud injecté dans le four par de l'oxygène, afin d'avoir directement des fumées concentrées en CO<sub>2</sub> (sans di-azote, naturellement présent dans l'air).

Du strict point de vue énergétique, le recyclage des gaz n'apporte pas de réduction de consommation d'énergie puisque le gain sur le réducteur (le coke) est compensé par la consommation électrique nécessaire au traitement des gaz de recirculation<sup>14</sup>.

- **Réduction directe au gaz naturel**

Solution déjà utilisée aujourd'hui lorsque le gaz naturel est disponible et bon marché, elle permet une réduction de presque 50% des émissions de CO<sub>2</sub>. Elle nécessite une qualité de minerai supérieure. ULCOS propose des solutions pour réduire la consommation de gaz naturel. Pas retenu pour cette étude, car la région comme la France ne possède pas de gisement de gaz naturel.

- **Technologie Hisarna**

Cette technologie fait appel au procédé de bain de fusion. Elle n'utilise plus de coke, mais directement du charbon mais en bien moins grande quantité par rapport au haut-fourneau. Cette technologie permet également une modularité du réducteur, en substituant partiellement du charbon par de la biomasse, du gaz naturel ou même de l'hydrogène.

Un pilote de 60000T/an a été démarré à l'été 2010 aux Pays-Bas, une unité commerciale est visée pour 2017<sup>15</sup>. Le gain énergétique est de 20%.

- **L'électrolyse**

Grâce au passage d'un courant électrique dans un bain aqueux de minerai de fer, le procédé produit du fer et de l'oxygène. La production se fait donc sans émissions directes de CO<sub>2</sub>, excepté celles de l'électricité. Cette technologie est la moins mature (stade expérimental) mais beaucoup d'éléments permettent de prédire un bel avenir à cette technologie, déjà en application industrielle dans d'autres secteurs (Aluminium, Zinc...). Données de consommation encore inconnues.

- **Réduction directe par l'hydrogène**

La technologie est disponible, mais il faut pouvoir produire l'hydrogène nécessaire proprement et à moindre coût. Pas retenu pour cette étude.

- **Haut-fourneau à la biomasse ou déchets fatals**

Le charbon de bois remplace le coke dans le haut-fourneau. Si le bois est exploité de manière durable, le bilan CO<sub>2</sub> est quasi nul. De petites unités fonctionnent déjà au Brésil. Cette solution est, a priori, difficilement généralisable pour des raisons de ressources de biomasse.

Dans quelques pays (Japon, Allemagne), on injecte des plastiques usés dans le haut-fourneau afin de réduire l'utilisation de charbon. Cette solution ne peut être globale mais apporte quelques pourcents de réductions supplémentaires aux solutions actuelles.

**En conclusion, pour l'acier primaire sur le long terme on retient la technologie Hisarna qui permet une réduction de consommation d'énergie de 20%. La**

---

<sup>13</sup> Les données sont principalement issues des informations collectées sur le site : [www.ulcos.org](http://www.ulcos.org), et d'un atelier sur la sidérurgie organisé à Dunkerque en octobre 2009 par E&E Consultant.

<sup>14</sup> « A long-term view of CO<sub>2</sub> efficient manufacturing in European region », Delft, June 2010, p 37

<sup>15</sup> « A long-term view of CO<sub>2</sub> efficient manufacturing in European region », Delft, June 2010, p 32

**technologie par électrolyse, bien que très prometteuse n'est pas retenue car les performances sont encore trop difficiles à estimer.**

Pour le recyclage des ferrailles, on considère que toutes les aciéries sont équipées de la meilleure technologie actuelle, soit 40% de réduction.

► **Résultat global**

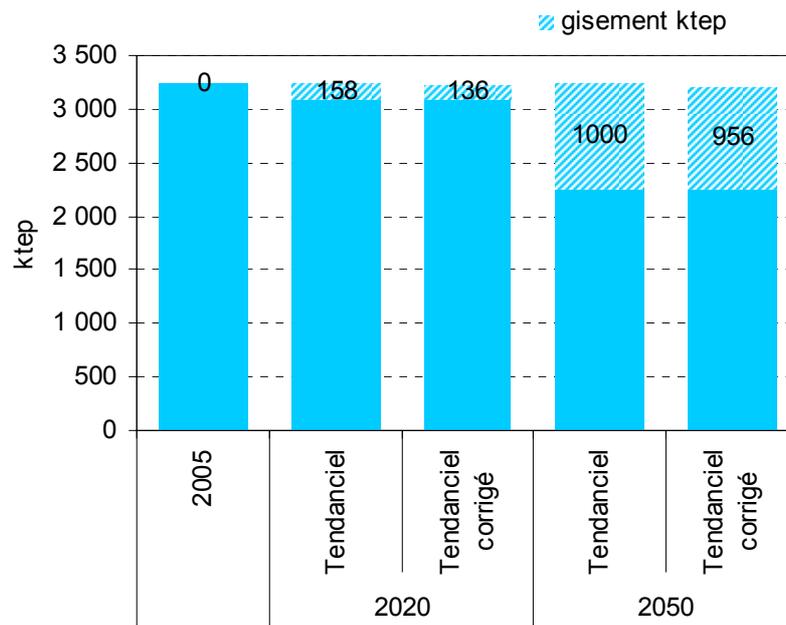
Tableau 7 – gisements d'économies d'énergie et de CO2 – Sidérurgie

		2005	2020	2050
<b>Tendanciel</b>				
Combustible	ktep	2874	2874	2874
Vapeur	ktep	1	1	1
Electricité	ktep	378	378	378
Total*	ktep	3245	3245	3245
Emissions GES	ktCO2	13973	13973	13973
<b>Tendanciel corrigé</b>				
Combustible	ktep	2874	2874	2874
Vapeur	ktep	1	1	1
Electricité	ktep	378	356	334
Total*	ktep	3245	3224	3202
Emissions GES	ktCO2	13973	13952	13931
<b>S_Gisement</b>				
Combustible	ktep	2874	2789	1996
Vapeur	ktep	1	5	9
Electricité	ktep	378	301	248
Total*	ktep	3245	3087	2245
Emissions GES	ktCO2	13973	13600	9707
<b>Gisement d'économies d'énergie</b>				
Potentiel min	ktep	0	136	956
			4%	30%
	ktCO2	0	352	4224
			3%	30%
Potentiel max	ktep	0	158	1000
			5%	31%
	ktCO2	0	373	4266
			3%	31%

\*la différence entre "Total" et combustible+vapeur+électricité correspond à l'autoproduction d'électricité

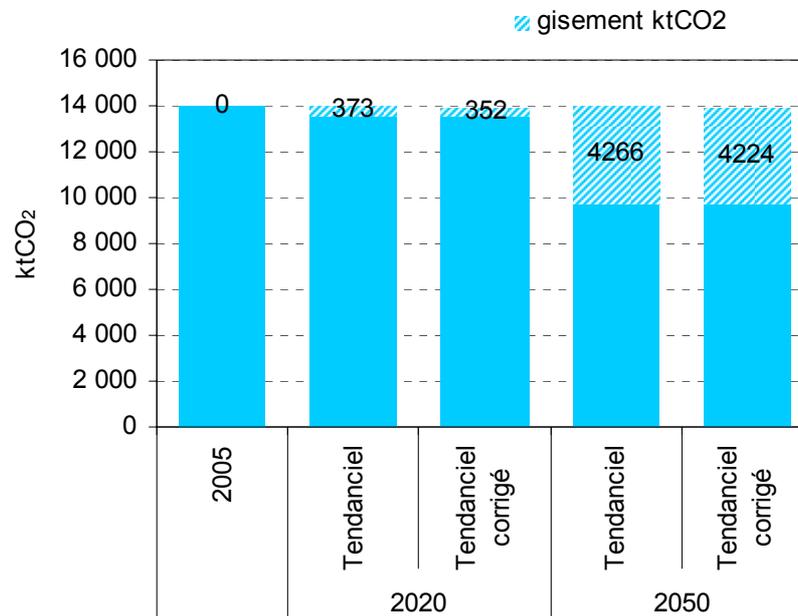
Source : E&E

Figure 30 – Consommation d'énergie des scénarios avec leur potentiel d'économies -Sidérurgie



Source : E&E

Figure 31 – Emissions de GES des scénarios avec leur potentiel d'économies - Sidérurgie



Source : E&E

## ► Potentiel de récupération de chaleur

L'usine sidérurgique d'Arcelor Mittal à Dunkerque récupère déjà aujourd'hui de la chaleur et alimente le réseau urbain (environ 50% des besoins de la ville, extension en cours). A terme on considère qu'environ 20% de l'énergie servant à la fabrication (la part matière première n'est donc pas prise en compte) peut être récupérée à la fois sur les haut-fourneaux mais aussi sur les aciéries électriques.

Tableau 8 – Potentiel de récupération d'énergie et d'utilisation d'énergie basse température – Sidérurgie

S_Gisement		2005	2020	2050
Champ d'application	ktep		404,1	347,8
% de récupération	%		5%	20%
Récupération d'énergie	ktep		20	70
Utilisation de chaleur réseau	ktep		4	8

Sources : E&E

## IV.5.b. Agroalimentaire

### ► Description et évolution du secteur

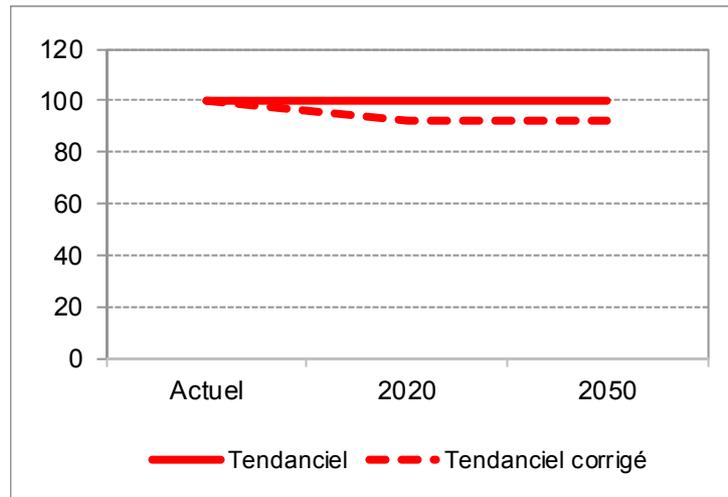
Il est intéressant de faire un parallèle entre le secteur agro-alimentaire dans son périmètre classique et le secteur « nutrition santé », ce que fait le rapport DREAL Enjeux 2009. Les chiffres d'affaire mais aussi l'emploi sont alors comparables, pour deux secteurs dont les valeurs ajoutées sont très différentes.

L'évolution décrite suggère une industrie dont la valeur ajoutée augmente fortement, mais dont les productions matérielles ne croissent pas autant.

En partant des données NORENER disponibles sur les consommations d'énergie, on distinguera trois segments de l'industrie : sucreries, brasseries, autres industries » :

- La production sucrière baisse notamment en raison de la réforme de la PAC (2013), mais aussi en raison d'une concurrence accrue de pays se développant : des pays comme le Brésil modernise leurs usines qui rivalisent avec les usines européennes, ainsi, bénéficiant de 3 récoltes annuelles au lieu d'une seule chez nous, même sans prendre en compte la différence de coût de main d'œuvre, la concurrence va être de plus en plus dure. Difficile dans ses conditions de justifier d'une industrie exportatrice. On retient une division par 2 de la production de sucre à l'horizon 2020 pour le scénario « tendanciel corrigé ».
- La brasserie conserve sa part de marché en volume
- Le reste de l'industrie agro-alimentaire connaît des évolutions diversifiées entre les productions non alimentaires en croissance, les productions laitières en stagnation, et les autres productions stables en volume (mais en croissance en terme de chiffre d'affaires).

Figure 32 – Evolution de la production - Agroalimentaire

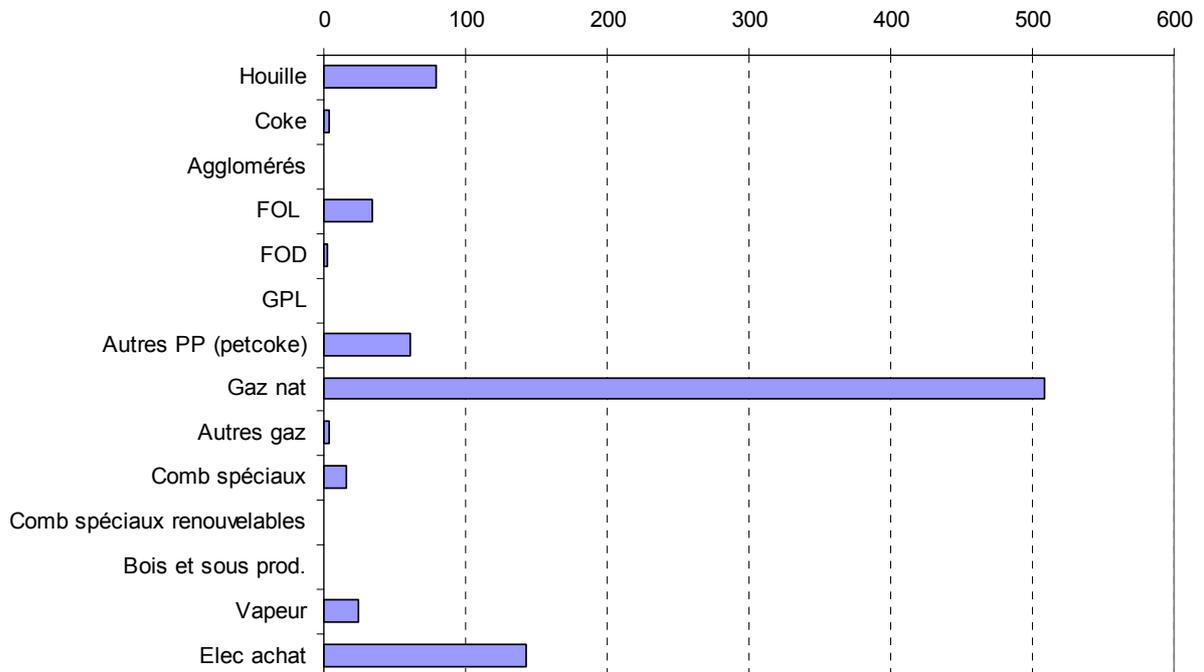


Source : E&E

La baisse de production sucrière entraîne une baisse de 8% des besoins (en se basant sur les consommations énergétiques). La production de biocarburants n'est pas considérée, car les co-produits sont alors en principe valorisés pour assurer aux unités un bilan positif en énergie.

### ► Profil énergétique

Figure 33 – Consommation par type d'énergie – Agroalimentaire - 2005



Source : SESSI

80% de la consommation d'énergie se fait sous forme combustible, avec une prépondérance pour le gaz naturel. Plus de 60% de l'énergie est du combustible utilisé pour la fabrication (chauffage, cuisson).

A noter que cette industrie est la plus concernée par les valorisations de la biomasse et des déchets, ce volet ENR n'est pas développé dans la présente étude.

### ► Economies d'énergie

Pour les brasseries, la moyenne mesurée avec les données NORENER (4 brasseries, les plus grandes parmi la soixantaine d'unités existantes) montre que les énergies spécifiques de brassage sont dans la moyenne : 130 MJ/hl. La fourchette de consommation unitaire actuelle européenne est de 100 à 200 MJ/hl<sup>16</sup>. Néanmoins, il reste des potentiels d'économie d'énergie en mettant en place des systèmes de récupération d'énergie (refroidissement du moût...) pour atteindre la fourchette basse. On considère que la moitié du gain est atteint d'ici 2020 (15% sur usage fabrication), le reste pour 2050 (30%).

- Sucreries : on considère une fermeture des sucreries d'ici 2020.

Le reste de l'agroalimentaire : L'agro-alimentaire a des besoins en chaleur basse température pour le chauffage de fluides, la cuisson, le séchage. Une chasse aux pertes d'une part, et une récupération de la chaleur sur les effluents peuvent permettre de baisser les consommations d'énergie de l'usage fabrication de 20%. Le recours à la technologie de la Compression Mécanique de Vapeur (CMV) ainsi que des pompes à chaleur, peut aussi apporter un gain d'énergie, même primaire. Ces éléments sont difficiles à chiffrer précisément pour la région, mais on peut néanmoins considérer que 20% des usages « fabrication » des combustibles peut être transféré sur l'électricité par de la CMV<sup>17</sup>.

#### *Court terme :*

- Brasseries : 15% sur l'usage fabrication
- Reste des IAA : 10% sur l'usage fabrication et 10% de transfert vers CMV (électricité, force motrice)
- Cogénération : 10%

#### *Long terme :*

- Brasseries : 30% sur l'usage fabrication
- Reste des IAA : 20% sur l'usage fabrication et 20% de transfert vers CMV (électricité, force motrice)
- Cogénération : 20%

### ► Résultat global

---

<sup>16</sup> BREF Agroalimentaire, « Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans Alimentaires des boissons et laitières », Commission européenne, 2001, p 225

<sup>17</sup> D'après : « Le bon usage de l'électricité », Global Chance, cahier N°27, 2010, p51

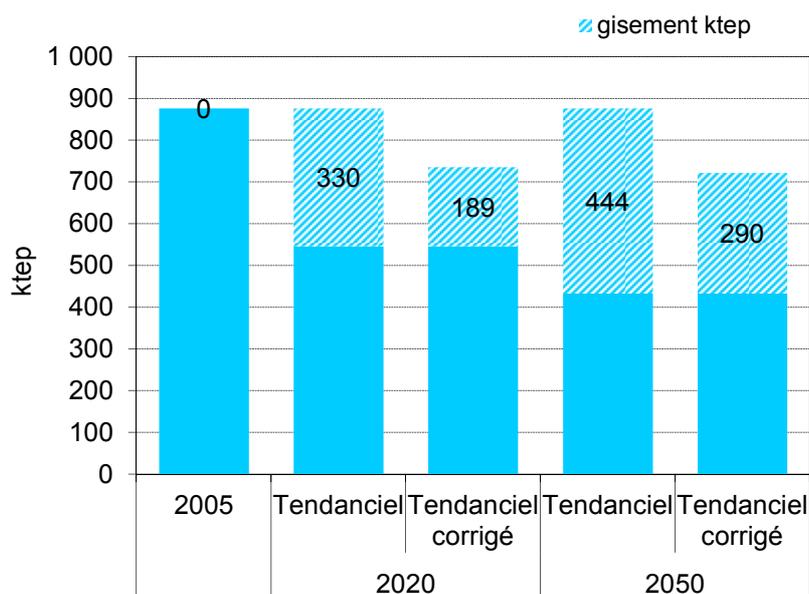
Au niveau français la CMV peut se substituer à environ 6TWh de combustible dans les industries d'agro alimentaire (IAA), soit 20% des usages « fabrication » des combustibles de l'IAA nationale.

Tableau 9 – gisements d'économies d'énergie et de CO2 - Agroalimentaire

		2005	2020	2050
<b>Tendanciel</b>				
Combustible	ktep	710	710	710
Vapeur	ktep	25	25	25
Electricité	ktep	212	212	212
Total*	ktep	876	876	876
Emissions GES	ktCO2	2522	2522	2522
<b>Tendanciel corrigé</b>				
Combustible	ktep	710	584	584
Vapeur	ktep	25	25	25
Electricité	ktep	212	188	174
Total*	ktep	876	736	722
Emissions GES	ktCO2	2522	2008	1995
<b>S_Gisement</b>				
Combustible	ktep	710	408	314
Vapeur	ktep	25	27	38
Electricité	ktep	212	173	142
Total*	ktep	877	546	433
Emissions GES	ktCO2	2522	1515	1384
<b>Gisement d'économies d'énergie</b>				
Potentiel min	ktep	0	189	290
			26%	40%
	ktCO2	0	493	610
			25%	31%
Potentiel max	ktep	0	330	444
			38%	51%
	ktCO2	0	1006	1137
			40%	45%

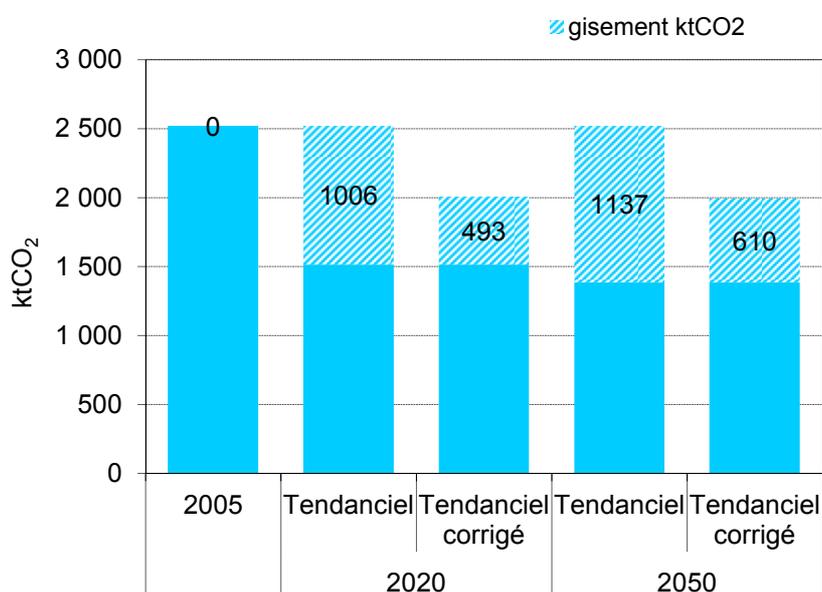
\*la différence entre "Total" et combustible+vapeur+électricité correspond à l'autoproduction d'électricité

Figure 34 – Consommation d'énergie des scénarios avec leur potentiel d'économies - Agroalimentaire



Source : E&E

Figure 35 – Emissions de GES des scénarios avec leur potentiel d'économies - Agroalimentaire



Source : E&E

### ► Potentiel de récupération de chaleur

En agroalimentaire les usages de chaleur se font majoritairement à faible température (voir Figure 19), les possibilités de récupération directes ne sont sans doute pas très élevées, bien que le fait que ces effluents soient majoritairement sous forme liquide rende la récupération de chaleur plus économique à mettre en œuvre (échangeurs de chaleur plus compacts).

Par contre l'utilisation de chaleur basse température a un bon potentiel dans ce secteur, avec une possibilité d'utiliser des pompes à chaleurs dans des bonnes conditions (faibles différences de températures, donc bons coefficients de performance)

On retient à terme une récupération de 5% en 2020 et 10% en 2050 ce qui est sans doute un minimum.

Tableau 10 – Potentiel de récupération d'énergie et d'utilisation d'énergie basse température – Agroalimentaire

S_Gisement		2005	2020	2050
Champ d'application	ktep		391,2	306,5
% de récupération			5%	10%
Récupération d'énergie	ktep		20	31
Utilisation de chaleur réseau	ktep		7	15

Sources : E&E

### IV.5.c. Chimie

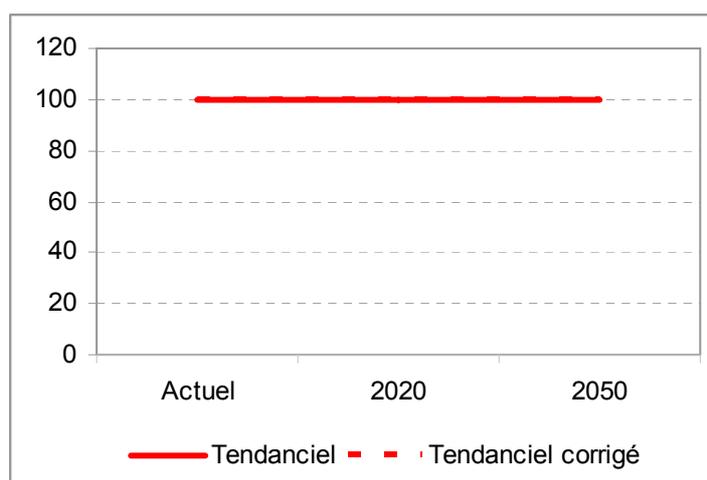
#### ► Description et évolution du secteur

Au niveau national, la chimie procède de tendances contradictoires, avec notamment la baisse de la production d'ammoniac, le développement des gaz industriels, et une progression de la chimie organique avant tout en valeur et peu en volume.

Dans le scénario tendanciel de la DGEMP de 2008 et destiné à l'AIE, la chimie reste constante, de même que dans le scénario Enerdata pour la DGEMP réalisé pour le Grenelle.

En région Nord-Pas-de-Calais, les fermetures d'unité peuvent avoir une incidence majeure. Nous avons considéré que les unités sont conservées, en particulier le vapo-craqueur de Dunkerque (Polimeri).

Figure 36 – Evolution de la production - Chimie

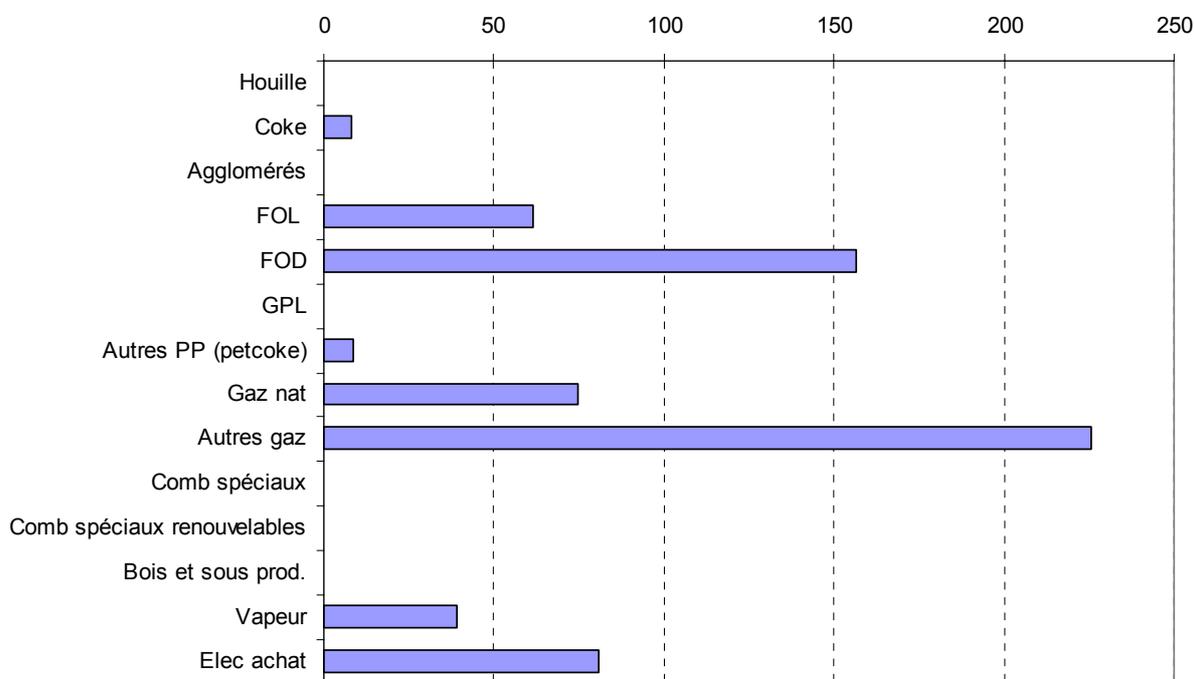


Source : E&E

A noter que certains classements placent Roquette Industrie, l'importante unité de produits issus de l'amidon située à Lestrem (62), dans la chimie, même si formellement il s'agit d'agro-alimentaire.

## ► Profil énergétique

Figure 37 – Consommation par type d'énergie – Chimie- 2005



Source : SESSI

La chimie utilise une diversité de combustibles, des combustibles classiques (fioul et gaz), mais aussi d'autres types : naphta, hydrogène, méthane.

Près de 50% de l'énergie est considérée comme matière première. Il reste une faible part de consommation électrique. On remarque également une part d'autoproduction d'électricité.

La production d'éthylène est traitée à part car elle représente environ la moitié de la consommation de produits énergétiques.

## ► Economies d'énergie

*Court terme :*

- Sur le court terme, il ne semble pas qu'il y ait des possibilités d'amélioration des performances du procédé lui-même. Seules les améliorations sur les opérations transverses sont prises en compte.
- Sur l'usage autoproduction, un gain de 10% est considéré.

*Long terme :*

- Pour la production d'éthylène, des solutions très prometteuses sont à des stades de développement plus ou moins avancés<sup>18</sup> (réacteur à onde de choc, craquage par catalyse, hydro-pyrolyse) : les gains peuvent aller de 40 à 60%. La fourchette basse est retenue pour l'étude (40%).

<sup>18</sup> "World Best Practice Energy Intensity Values for Selected Industrial Sectors », Worrell Ecofys, 2007, p44.

- Pour le reste, en plus des gains dans les secteurs transverses, on retient un gain de 15% sur les consommations électriques<sup>19</sup>.
- D'autre part, des gains importants sont également possible sur les opérations de chauffage et de concentration, en utilisant respectivement des réacteurs à induction (gains de 45 à 60%) et surtout la compression mécanique de vapeur (gains de 75 à 85%)<sup>20</sup>. Ces deux conversions nécessitent une conversion de combustibles à l'électricité. On retient que :
  - 5% des usages combustibles en fabrication sont remplacés par des technologies de réacteur à induction (50% de gains)
  - 10% des usages combustibles en fabrication sont remplacés par des technologies de compression mécanique de vapeur (80% de gains)

## ► Résultat global

Tableau 11 – gisements d'économies d'énergie et de CO2 - Chimie

		2005	2020	2050
<b>Tendanciel</b>				
Combustible	ktep	535	535	535
Vapeur	ktep	39	39	39
Electricité	ktep	85	85	85
Total*	ktep	655	655	655
Emissions GES	ktCO2	1278	1278	1278
<b>Tendanciel corrigé</b>				
Combustible	ktep	535	535	535
Vapeur	ktep	39	39	39
Electricité	ktep	85	79	73
Total*	ktep	655	649	643
Emissions GES	ktCO2	1278	1272	1267
<b>S_Gisement</b>				
Combustible	ktep	535	526	440
Vapeur	ktep	39	25	41
Electricité	ktep	85	69	57
Total*	ktep	655	616	534
Emissions GES	ktCO2	1278	1117	1203
<b>Gisement d'économies d'énergie</b>				
Potentiel min	ktep	0	33	110
			5%	17%
	ktCO2	0	156	63
			12%	5%
Potentiel max	ktep	0	39	122
			6%	19%
	ktCO2	0	161	75
			13%	6%

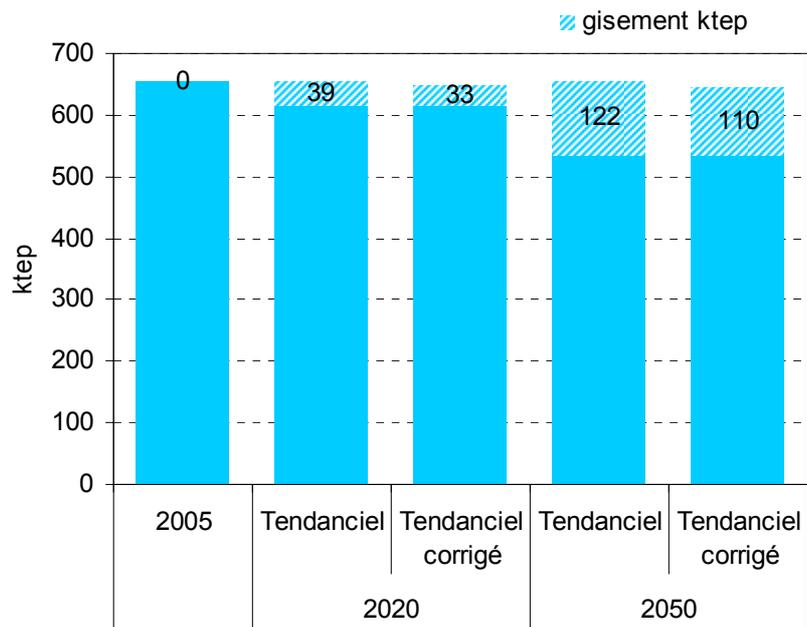
\*la différence entre "Total" et combustible+vapeur+électricité correspond à l'autoproduction d'électricité

<sup>19</sup> "Le bon usage de l'électricité", Global Chance, cahier N°27, 2010, p50

Un gain de 1TWh sur une consommation de 7TWh a été retenu à l'échelle française, nous retenons le même ratio pour le NPDC.

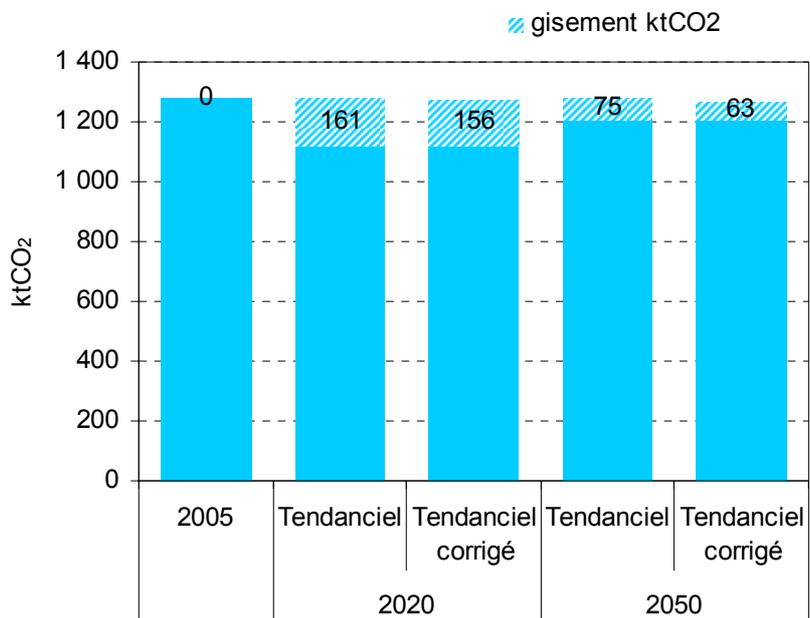
<sup>20</sup> bon usage de l'électricité", Global Chance, cahier N°27, 2010, p51

Figure 38 – Consommation d'énergie des scénarios avec leur potentiel d'économies - Chimie



Source : E&E

Figure 39 – Emissions de GES des scénarios avec leur potentiel d'économies – Chimie



Source : E&E

### ► Potentiel de récupération de chaleur

On retient un potentiel de récupération de 10% à l'horizon 2050.

Tableau 12 – Potentiel de récupération d'énergie et d'utilisation d'énergie basse température – Chimie

S_Gisement		2005	2020	2050
Champ d'application	ktep		213,3	134,4
% de récupération			5%	10%
Récupération d'énergie	ktep		11	13
Utilisation de chaleur réseau	ktep		2	3

Sources : E&E

#### IV.5.d. Métallurgie des non-ferreux

##### ► Description et évolution du secteur

L'industrie des non ferreux du Nord Pas de Calais, depuis la fermeture de Paris-Outreau (manganèse) et de la production de Métalleurop (plomb-zinc) est dominée par la production d'aluminium primaire à Dunkerque.

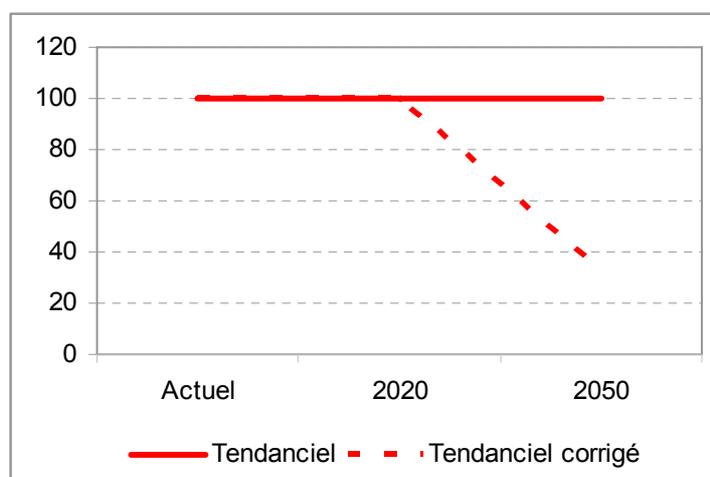
Ce secteur pose des questions particulières car il est dépendant d'un approvisionnement bon marché en énergie. L'installation de l'unité nordiste était elle-même le résultat d'une délocalisation et d'un regroupement d'unités plus petites depuis les Alpes, et d'un montage financier permettant à EDF d'écouler sa production excédentaire durant les années 90. La pérennité de cette unité est donc à la fois une question de marchés extérieurs et une question de prix de l'énergie.

La substitution de l'aluminium en lieu et place de l'acier ou d'autres matériaux n'est plus vraiment à l'ordre du jour. Les matériaux composites et les plastiques thermoplastiques moulés ont actuellement le vent en poupe dans l'automobile. De même, l'acier résiste dans la construction. L'une des études les plus prospectives, la projection FONDDRI, prend par exemple l'hypothèse que l'aluminium ne prend pas la place de l'acier.

Une hypothèse de maintien de l'aluminium est donc assez faible. Ainsi, la dernière projection de RTE prévoit « la disparition de la majorité des sites de production d'aluminium de première fusion ». C'est pourtant ce qui a été proposé pour la présente étude, dans l'esprit du scénario de « tendance » qui conserve les quantités produites par l'industrie régionale.

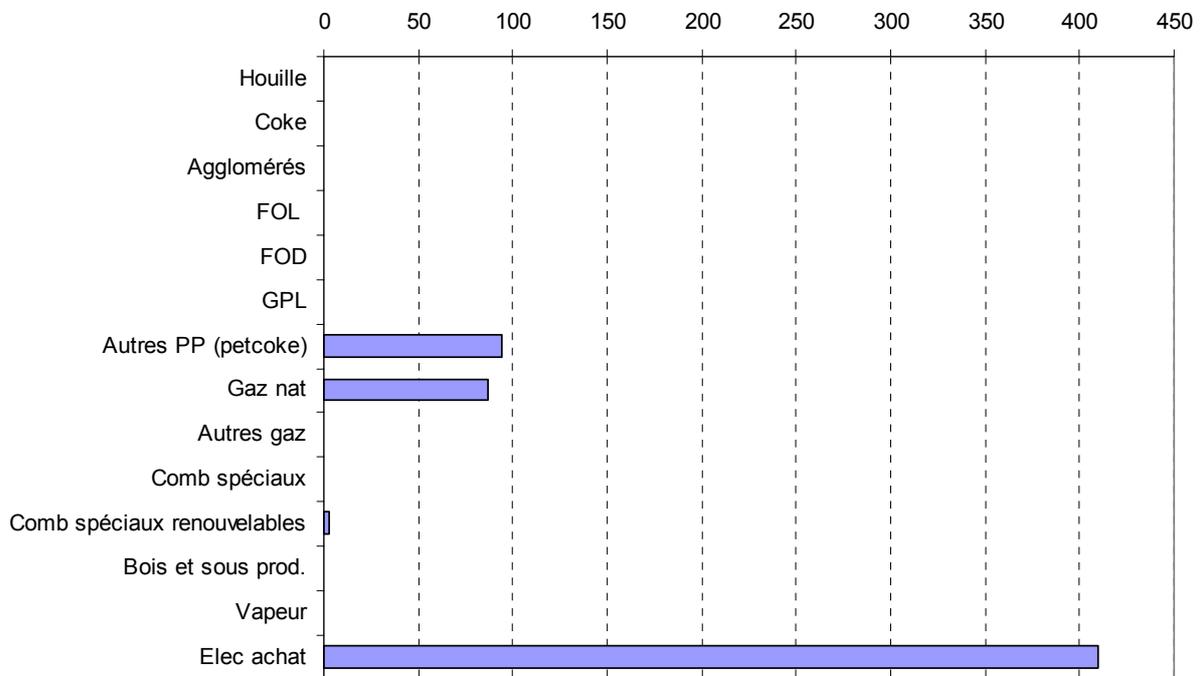
Dans le scénario « tendanciel corrigé », la production d'aluminium primaire n'existe plus en 2050.

Figure 40 – Evolution de la production - Métallurgie



## ► Profil énergétique

Figure 41 – Consommation par type d'énergie – Métallurgie- 2005



Source : SESSI

Les deux tiers de l'énergie du secteur sont de l'électricité, dont la majorité est utilisée pour l'électrolyse dans la production d'aluminium primaire.

## ► Economies d'énergie

### *Court terme :*

- Pour l'aluminium, sur le court terme, il ne semble pas qu'il y ait des possibilités d'amélioration des performances du procédé lui-même. Seules les améliorations sur les opérations transverses sont prises en compte.
- Pour le reste, on ne peut pas détailler ici chaque procédé, mais d'une manière générale, ces procédés font appel à des fours. On peut prévoir un gain de 10% sur ces usages<sup>21</sup>.

### *Long terme :*

- Sur le long terme, la production d'aluminium est arrêtée, il n'y a pas de mesures d'efficacité mises en œuvre.
- Pour le reste, on ne retient pas d'autres améliorations, hors opérations transverses.

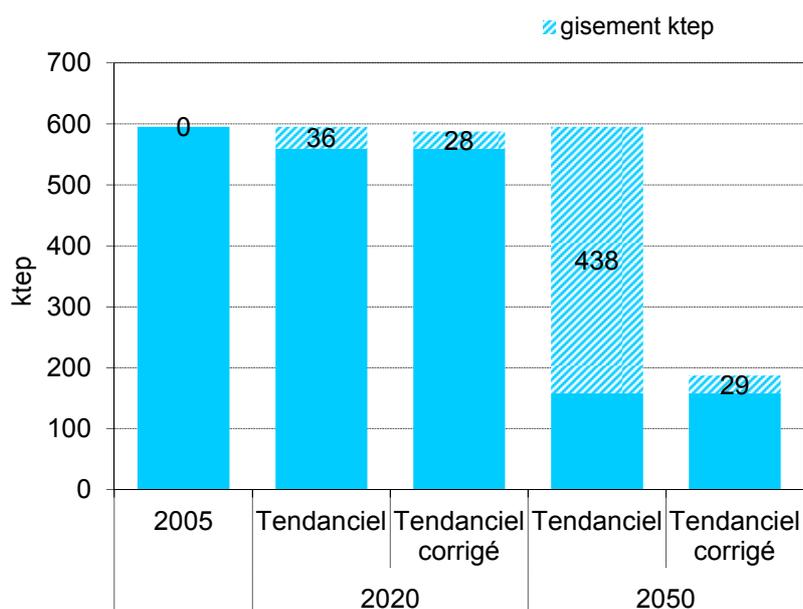
<sup>21</sup> "Le bon usage de l'électricité", Global Chance, cahier N°27, 2010, p50

## ► Résultat global

Tableau 13 – gisements d'économies d'énergie et de CO2 - Métallurgie

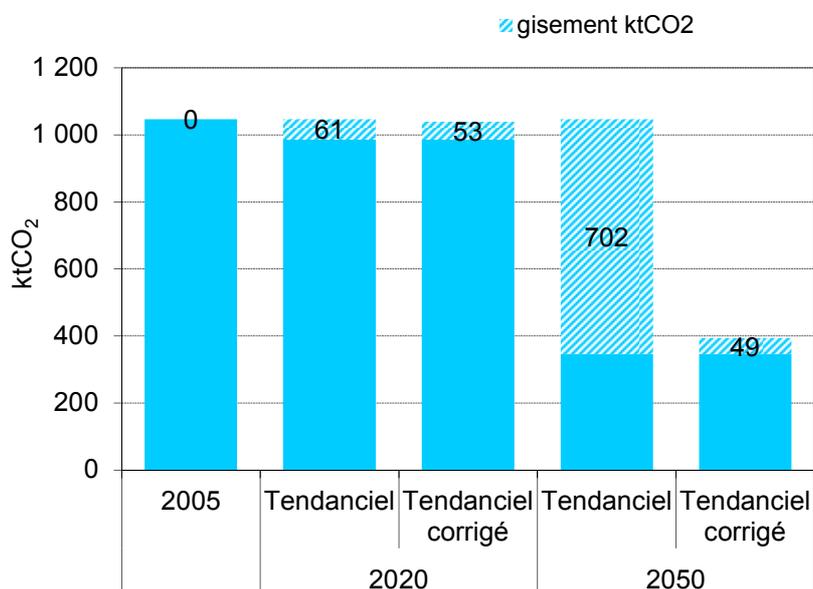
		2005	2020	2050
<b>Tendanciel</b>				
Combustible	ktep	186	186	186
Vapeur	ktep	0	0	0
Electricité	ktep	410	410	410
Total*	ktep	596	596	596
Emissions GES	ktCO2	1046	1046	1046
<b>Tendanciel corrigé</b>				
Combustible	ktep	186	186	99
Vapeur	ktep	0	0	0
Electricité	ktep	410	402	88
Total*	ktep	596	588	187
Emissions GES	ktCO2	1046	1039	393
<b>S Gisement</b>				
Combustible	ktep	186	174	88
Vapeur	ktep	0	2	2
Electricité	ktep	410	384	68
Total*	ktep	596	560	158
Emissions GES	ktCO2	1046	985	344
<b>Gisement d'économies d'énergie</b>				
Potentiel min	ktep	0	28	29
			5%	15%
	ktCO2	0	53	49
			5%	13%
Potentiel max	ktep	0	36	438
			6%	73%
	ktCO2	0	61	702
			6%	67%

Figure 42 – Consommation d'énergie des scénarios avec leur potentiel d'économies - Métallurgie



Source : E&E

Figure 43 – Emissions de GES des scénarios avec leur potentiel d'économies – Métallurgie Non ferreux



Source : E&E

### ► Potentiel de récupération de chaleur

Etant donnée les faibles améliorations prises en compte sur le procédé, on retient un potentiel de récupération d'énergie plus élevé : 20% à l'horizon 2050.

Tableau 14 – Potentiel de récupération d'énergie et d'utilisation d'énergie basse température – Métallurgie

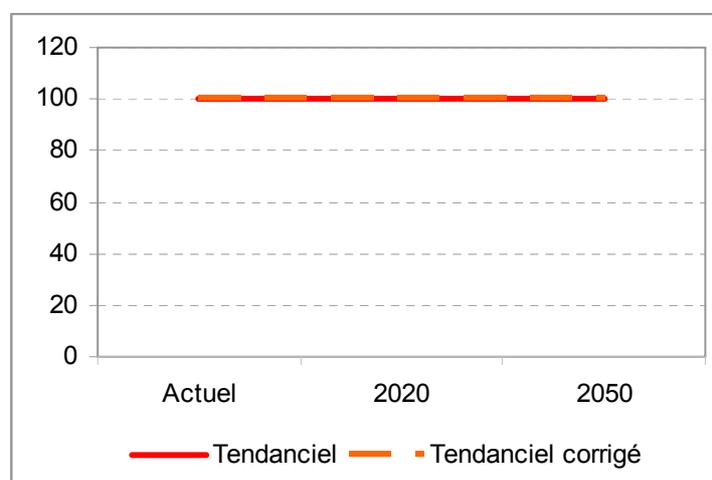
S_Gisement		2005	2020	2050
Champ d'application	ktep		80,4	53,1
% de récupération			10%	20%
Récupération d'énergie	ktep		8	11
Utilisation de chaleur réseau	ktep		2	2

Sources : E&E

#### IV.5.e. Papier Carton

##### ► Description et évolution du secteur

Figure 44 – Evolution de la production – Papier Carton



Source : E&E consultant

Pâte à papier : stable ; Papier : production double en 2030 ; Carton et emballages : diminution régulière. Au global on considère une stagnation de la production.

Le scénario de la DGEMP 2008 (p.5) prévoit l'augmentation de la production de papier en raison des conflits sur l'usage du bois dans les autres pays d'Europe.

La France est importatrice nette de papier et tente alors d'améliorer ce bilan. De plus, l'industrie en Nord-Pas-de-Calais possède un fort taux de recyclage ce qui lui permet de résister dans le cas d'un scénario de tension sur la ressource (Grenelle).

##### ► Procédé et Profil énergétique

Le secteur du papier carton est assez diversifié étant donné qu'il existe un grand nombre de type de papier/carton avec des usages différents (emballage, impression, sanitaire...).

On peut néanmoins distinguer deux parties distinctes du procédé :

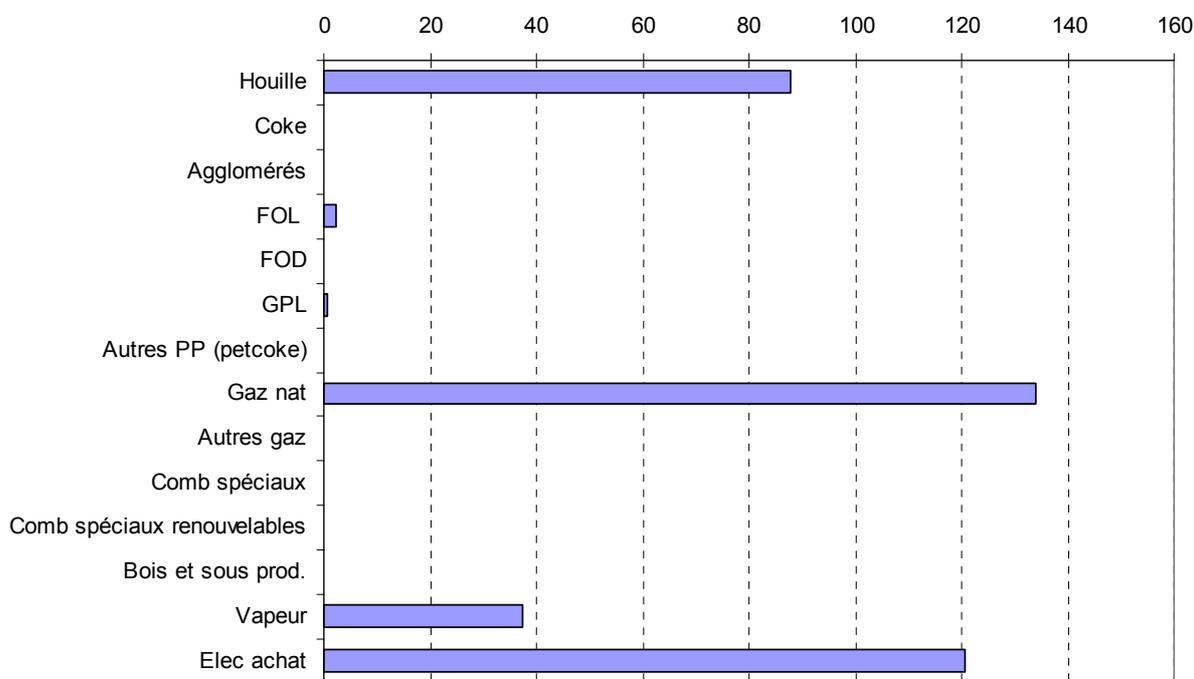
- Fabrication de la pâte
- Fabrication des feuilles

La plupart du temps ces deux procédés sont intégrés dans un même site de production. La fabrication de pâte se fait à partir de bois broyé (pâte primaire) et/ou à partir de papier recyclé

(pâte secondaire). Les procédés de fabrication des pâtes diffèrent en fonction des matières premières mais aussi de l'usage finale du papier.

L'énergie compte pour environ 13% des coûts de production.

Figure 45 – Consommation par type d'énergie – Papier Carton- 2005



Source : SESSI

La lecture de la Figure 16 montre que la consommation d'énergie se répartit de manière assez égale entre combustibles et électricité. A noter qu'une part importante de l'énergie est aussi apportée par la matière première (écorces, résidus de bois) ou des résidus de procédé (liqueur noire), ce qui n'apparaît pas sur les graphes. En fait la partie « production de la pâte » est autonome voire même exportatrice en énergie (export de chaleur et électricité)<sup>22</sup>.

La Figure 45 montre également une part importante de vapeur, l'industrie du papier est fortement utilisatrice de vapeur, notamment pour le séchage du papier. Cette vapeur est majoritairement produite en interne (avec en générale une production d'électricité en cogénération, voir Figure 16), mais ces achats de vapeur montrent une certaine externalisation de la production de vapeur.

## ► Economies d'énergie

*Court terme :*

Sur le court terme, en dehors des opérations transverses, il y a des gains possibles d'amélioration:

- Production d'électricité<sup>23</sup> (20% retenu, 10% pour la chaudière et 10% sur le turbogénérateur)

<sup>22</sup> « A long-term view of CO2 efficient manufacturing in European region », Delft, June 2010, p 65, Ou "BREF Industrie papetière", synthèse v1.0, Commission européenne, 2001

<sup>23</sup> "BREF Industrie papetière", synthèse v1.0, Commission européenne, 2001, p3

- Combustible, fabrication : 10%

*Long terme :*

Sur le long terme, l'opération de séchage pourrait être largement améliorée en récupérant l'énergie la chaleur latente des vapeurs d'eau sortant du sécheur. Le gain attendu est de l'ordre de 70 à 90%<sup>24</sup>. Cette technologie (Compression Mécanique de Vapeur, CMV) est déjà en œuvre dans d'autres branches industrielles.

► **Résultat global**

Tableau 15 – gisements d'économies d'énergie et de CO2 – Papier Carton

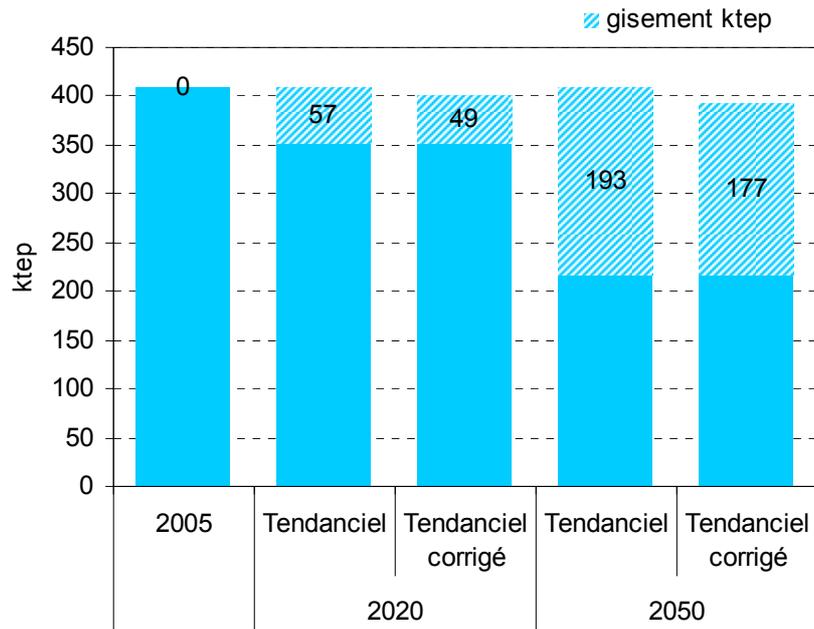
		2005	2020	2050
<b>Tendanciel</b>				
Combustible	ktep	225	225	225
Vapeur	ktep	38	38	38
Electricité	ktep	147	147	147
Total*	ktep	383	383	383
Emissions GES	ktCO2	1064	1064	1064
<b>Tendanciel corrigé</b>				
Combustible	ktep	225	225	225
Vapeur	ktep	38	38	38
Electricité	ktep	147	138	128
Total*	ktep	383	374	365
Emissions GES	ktCO2	1064	1055	1046
<b>S_Gisement</b>				
Combustible	ktep	225	188	60
Vapeur	ktep	38	40	44
Electricité	ktep	147	123	112
Total*	ktep	383	325	190
Emissions GES	ktCO2	1064	820	581
<b>Gisement d'économies d'énergie</b>				
Potentiel min	ktep	0	49	175
			13%	48%
	ktCO2	0	235	465
			22%	44%
Potentiel max	ktep	0	58	193
			15%	50%
	ktCO2	0	244	483
			23%	45%

\*la différence entre "Total" et combustible+vapeur+électricité correspond à l'autoproduction d'électricité

Sources : E&E

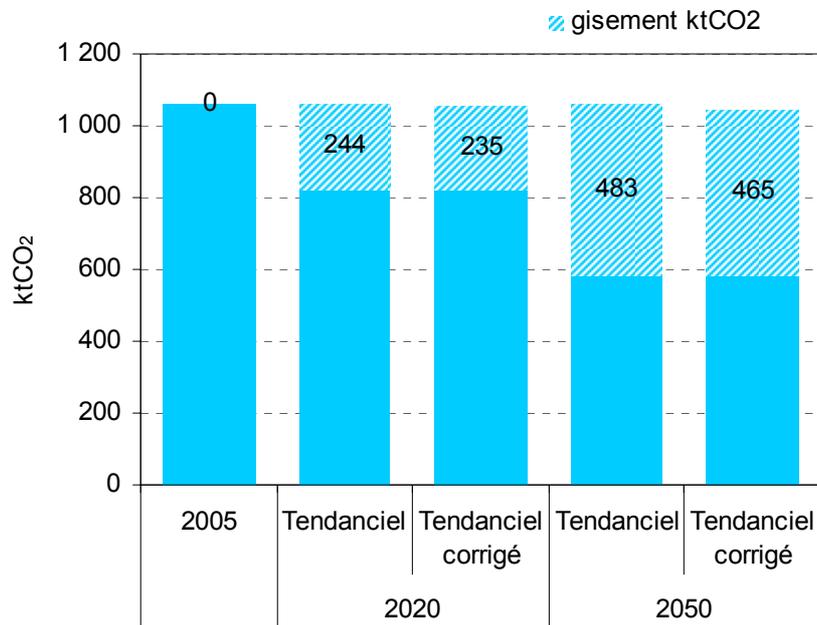
<sup>24</sup> « A long-term view of CO2 efficient manufacturing in European region », Delft, June 2010, p 69

Figure 46 – Consommation d'énergie des scénarios avec leur potentiel d'économies – Papier Carton



Source : E&E

Figure 47 – Emissions de GES des scénarios avec leur potentiel d'économies – Papier Carton



Source : E&E

### ► Potentiel de récupération de chaleur

Les usines à papier fabricant leur pâte possèdent des systèmes de cogénération (turbine vapeur à contre pression). Ces systèmes peuvent encore être améliorés.

Néanmoins, il reste encore des possibilités de récupération de chaleur secondaire pour un réseau à 80°C<sup>25</sup>. On retient 10% en 2020 et 20% en 2050 (ces pourcentages peuvent paraître élevés, mais ils s'appliquent que sur les combustibles « achetés », hors la majorité des combustibles des usines à papier sont des résidus de matières premières)

Tableau 16 – Potentiel de récupération d'énergie et d'utilisation d'énergie basse température – Papier Carton

S_Gisement		2005	2020	2050
Champ d'application	ktep		183,2	61,6
% de récupération			10%	20%
Récupération d'énergie	ktep		18	12
Utilisation de chaleur réseau	ktep		4	9

Sources : E&E

#### IV.5.f. Verre

##### ► Description et évolution du secteur

Deux dominantes dans la région : les verres creux sont en régression avec le déclin relatif et absolu des verreries d'Arques ; les verres techniques plats de la construction et de l'automobile sont en hausse (voir par exemple le rapport DREAL Enjeux NPDC 2009<sup>26</sup> p. 228)

Longtemps le premier employeur de la région dans une seule unité, les verreries d'Arques sont en déclin du fait de la mondialisation des productions (constructions d'unités de la société à Dubaï et en Chine).

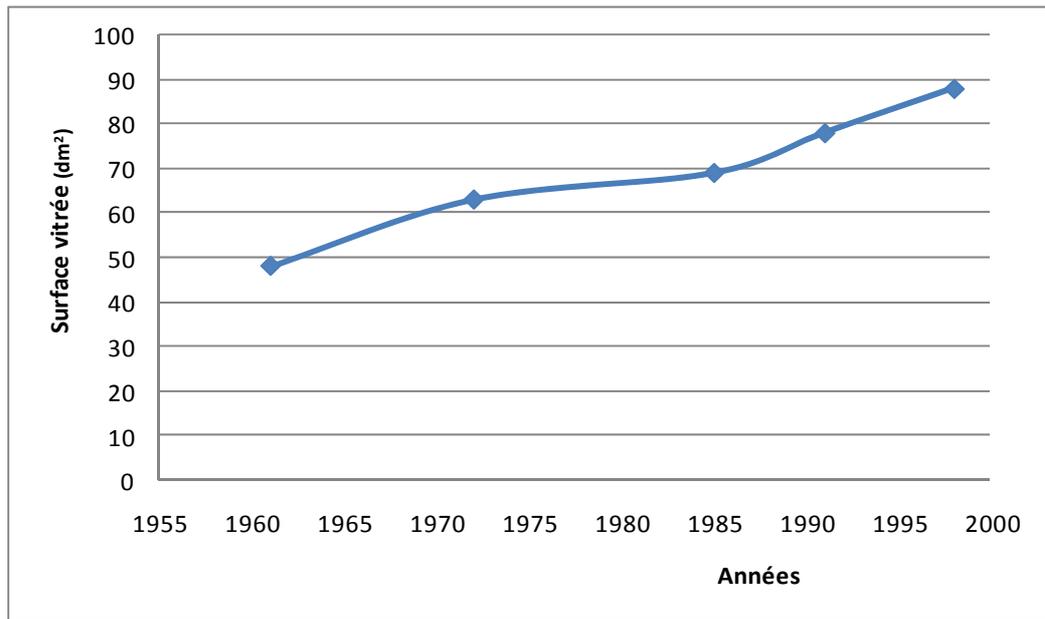
En revanche, le verre plat a toute sa place dans des scénarios de laisser-faire ou de diminution des émissions mondiales type « FONDDRI » car les vitrages peu émissifs ou anti-froid sont désormais un des éléments essentiels de la construction.

Dans l'automobile, la tendance conjoncturelle est celle de la crise des volumes. Néanmoins, la quantité de verre utilisée dans chaque véhicule tend à augmenter : vitrages larges, toits transparents... Dans un contexte de stabilité des marchés automobiles en Europe, la quantité de vitrage technique à destination des véhicules augmente (ainsi que dans les voitures et les trams).

<sup>25</sup> "BREF Industrie papetière", Commission européenne, 2001, p88

<sup>26</sup> P.228 DREAL 2009, « Enjeux pour l'industrie Nord Pas de Calais », DREAL, DRTEFP, Douai

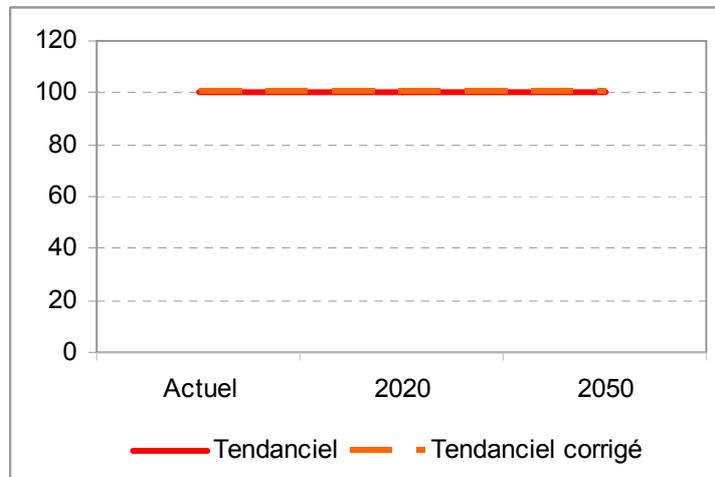
Tableau 17 - Evolution de la surface des pare-brise de véhicules



(source : ADEME, La climatisation automobile : données et références, 2003)

La résultante de ces tendances donne une estimation en laisser-faire de stabilité sur le long terme de ces industries.

Figure 48 – Evolution de la production - Verre



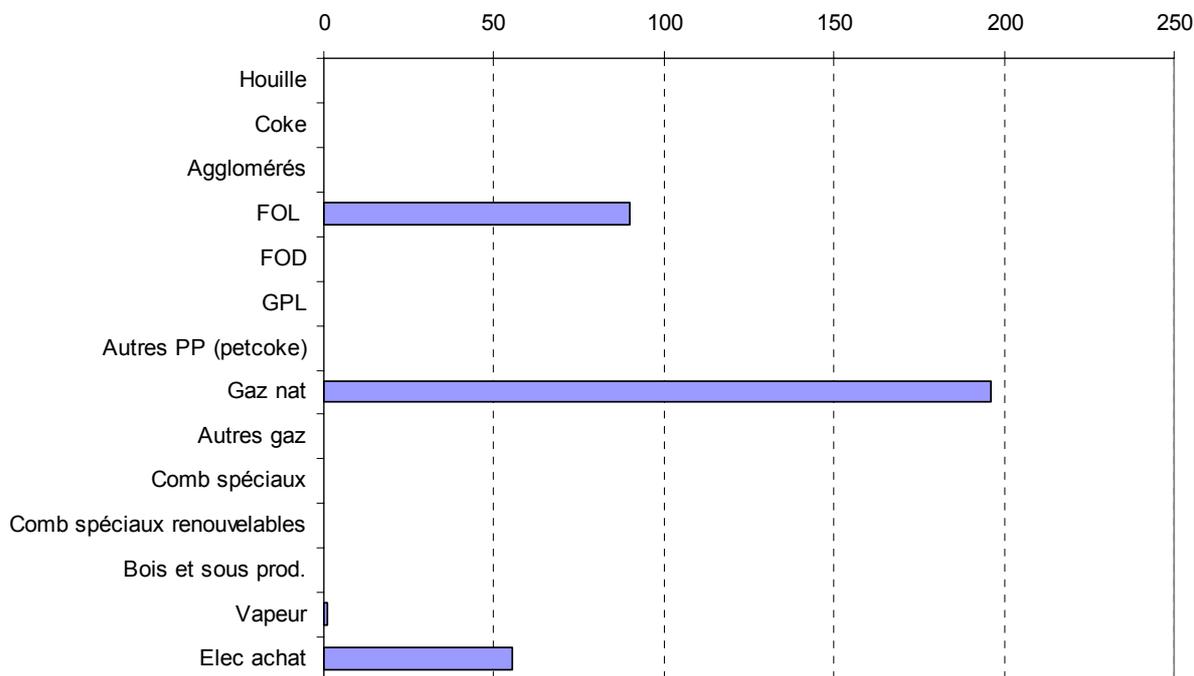
Source : E&E

Prévoir une discussion sur l'évolution des volumes :

- de verre plats : si en phase avec automobile
- verre creux : passage à la consigne

## ► Profil énergétique

Figure 49 – Consommation par type d'énergie – Verre- 2005



Source : SESSI

80% de l'énergie provient de combustible, principalement de gaz naturel. 75% de l'énergie alimente le four à fusion (haute température, 1100°C à 1600°C). L'énergie est une part importante de l'industrie du verre puisqu'elle représente presque 30% des coûts de production. Spécificité du verre, le fioul garde encore une place importante en raison de son comportement en combustion dans le procédé (flamme plus rayonnante).

## ► Economies d'énergie

Court terme :

Aujourd'hui les meilleures usines consomment moins de 8 GJ/t<sub>verre</sub> pour le four (on peut même descendre à 4 GJ/t<sub>verre</sub> pour des verres d'emballage classiques, avec un four à régénérateur) soit environ 10,5 GJ/t<sub>verre</sub> pour l'usine<sup>27</sup>. Les données issues des enquêtes Norener montrent que dans la région ces consommations spécifiques sont à plus de 20 GJ/t<sub>verre</sub>. Un fort gain d'environ 70% est donc accessible.

La durée de vie d'un four à combustible est d'environ 10 à 12 ans, on peut donc s'attendre à de rapides améliorations, même pour 2020<sup>28</sup>.

L'usage de calcin (morceau de verre recyclé) réduit assez peu les consommations d'énergie comparé au recyclage des métaux : l'ajout de 10% de calcin réduit d'environ 2 à 3% la

<sup>27</sup> BREF Verrerie, « Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie du verre », Commission européenne, 2001, p82-84

<sup>28</sup> BREF Verrerie, « Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie du verre », Commission européenne, 2001, p137

consommation d'énergie<sup>29</sup>. Le taux de calcin peut varier de 20 à 90%, dans l'union européenne il est de 48%.

Pour 2020, on retient un gain de 60% pour le four (permet d'atteindre 8 GJ/t<sub>verre</sub>)

Long terme :

L'amélioration des performances du four possède une limite, celle de l'énergie nécessaire à la fusion, entre 2,2 et 2,7 GJ/t, voir Tableau 18.

Tableau 18 – Energie nécessaire à la fusion des principaux types de verre

	<b>Verre sodocalcique (verre plat/verre d'emballage) GJ/tonne</b>	<b>verre aux borosilicates (8 % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) GJ/tonne</b>	<b>crystal au plomb 19 % PbO GJ/tonne</b>
Chaleur de réaction	0,49	0,41	0,40
Enthalpie du verre	1,89	1,70	1,69
Enthalpie des gaz émis	0,30	0,14	0,16
Energie théoriquement nécessaire	2,68	2,25	2,25

Source : BREF Verrerie

Des développements sont en cours pour se rapprocher de ces valeurs, des gains de 25% pourront sans doute être atteints par rapport aux meilleurs fours régénératifs. On peut aussi s'attendre que d'ici 2050, la part de calcin augmente (recyclage plus généralisé, et moins de croissance)

Un gain de 80% est retenu pour le four (correspond à environ 3,5 GJ/t<sub>verre</sub>)

<sup>29</sup> BREF Verrerie, « Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie du verre », Commission européenne, 2001, p243

## ► Résultat global

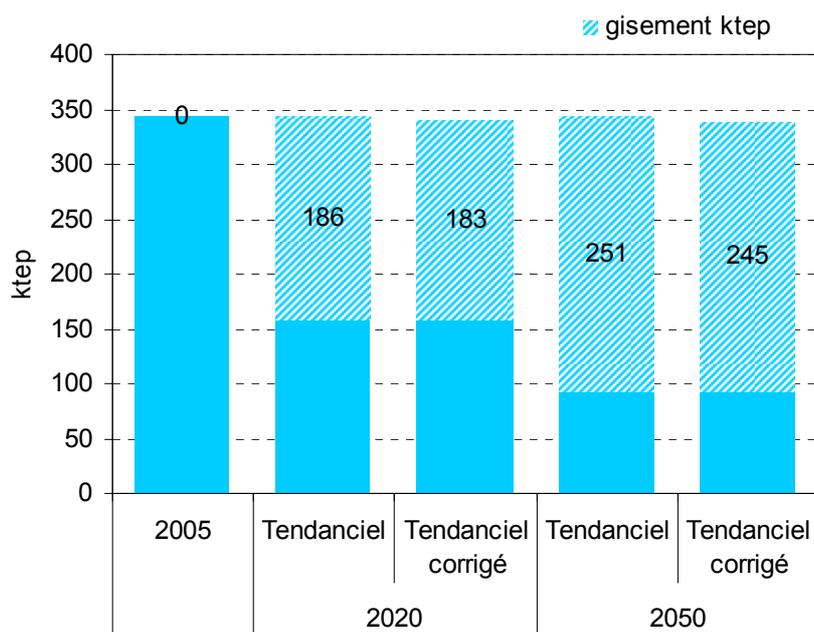
Tableau 19 – gisements d'économies d'énergie et de CO2 - Verre

		2005	2020	2050
<b>Tendanciel</b>				
Combustible	ktep	287	287	287
Vapeur	ktep	1	1	1
Electricité	ktep	55	55	55
Total*	ktep	343	343	343
Emissions GES	ktCO2	944	944	944
<b>Tendanciel corrigé</b>				
Combustible	ktep	287	287	287
Vapeur	ktep	1	1	1
Electricité	ktep	55	53	50
Total*	ktep	343	341	338
Emissions GES	ktCO2	944	941	938
<b>S_Gisement</b>				
Combustible	ktep	287	115	57
Vapeur	ktep	1	4	8
Electricité	ktep	56	38	27
Total*	ktep	343	158	93
Emissions GES	ktCO2	944	403	228
<b>Gisement d'économies d'énergie</b>				
Potentiel min	ktep	0	183	245
			54%	73%
	ktCO2	0	538	711
			57%	76%
Potentiel max	ktep	0	186	251
			54%	73%
	ktCO2	0	541	716
			57%	76%

\*la différence entre "Total" et combustible+vapeur+électricité correspond à l'autoproduction d'électricité

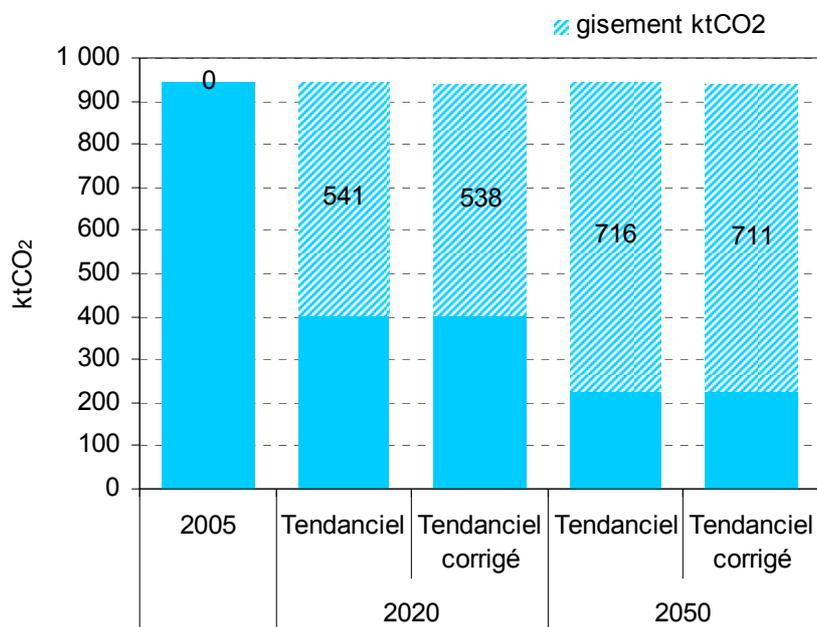
Source : E&E

Figure 50 – Consommation d'énergie des scénarios avec leur potentiel d'économies - Verre



Source : E&E

Figure 51 – Emissions de GES des scénarios avec leur potentiel d'économies - Verre



Source : E&E

### ► Potentiel de récupération de chaleur

Même en utilisant les fours les plus performants (four à régénération), le rendement global ne dépasse guère 50%. Parmi les pertes, environ 20% (de la puissance du four) part dans les fumées (température de 300 à 600°C). Certaines verreries installent des chaudières de

récupération, rarement pour une production électrique (les coûts sont encore trop élevés par rapport à la production classique d'électricité).

On retient donc 10% en 2020 et 15% en 2050.

Tableau 20 – Potentiel de récupération d'énergie et d'utilisation d'énergie basse température – Verre

S_Gisement		2005	2020	2050
Champ d'application	ktep		112,5	56,3
% de récupération			10%	15%
Récupération d'énergie	ktep		11	8
Utilisation de chaleur réseau	ktep		3	7

Sources : E&E

## IV.5.g. Industries mécaniques et électriques

### ► Description et évolution du secteur

Pour cette partie nous basons principalement sur l'industrie automobile qui représente une bonne partie de cette branche.

Il s'agit en effectifs de la première industrie de la région, concentrée notamment dans le bassin minier de Béthune à Valenciennes et Maubeuge en passant par Lens et Douai. Les équipementiers comme Valeo à Etaples (systèmes start and stop notamment), les pneumatiques (Bridgestone à Béthune) ou encore le verre (Saint-Gobain à Aniche) sont dépendants de cette activité.

Pour cette industrie de première importance, la projection pose cependant de grandes difficultés. A moyen terme, le chapitre automobile du rapport DREAL Enjeux 2009 (p.75) montre bien des menaces de court terme : délocalisation, apparition de modèles low-cost et ultra-low-cost, crises du marché national, apparition des motorisations électriques.

Sur le long terme, l'inconnue est triple, chaque aspect suffisant pour rendre la projection incertaine :

- Inconnue sur le type de véhicule utilisé à l'avenir et notamment son poids et sa motorisation
- Inconnue sur la part de marché du véhicule individuel, sur le type de possession ou d'usage et donc sur le nombre de véhicules en circulation en Europe et ailleurs
- Inconnue sur le positionnement des industriels du Nord Pas de Calais dans ces nouveaux véhicules

Le compromis proposé est une stabilité des marchés et de la position de la région sur ces marchés. Il correspond d'une part à une stabilisation en nombre des modèles vendus en Europe (marché de renouvellement) sur le moyen-long terme dans une optique « laisser faire » ; d'autre part au relativement bon positionnement des technologies utilisées pour le verre, les alternateurs, les accessoires, et à la proximité de la production des tôles d'acier qui continue de donner un atout au montage en région et limite la délocalisation.

Le maintien ou la disparition de l'industrie automobile appelle un commentaire particulier : l'étude a pour objet de déterminer les gisements d'économie d'énergie. Supprimer un secteur pourrait, de fait, laisser de côté la question de l'amélioration de son efficacité, sujet central de notre étude. Cela pose en outre deux questions :

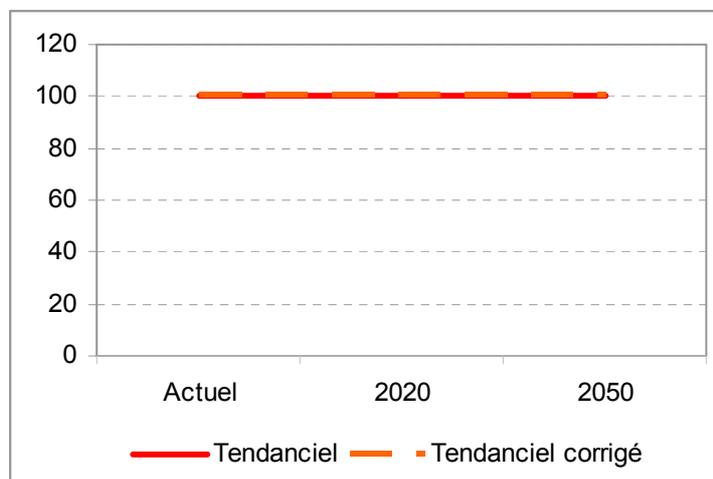
Celle des délocalisations pour des raisons économiques. Mais une délocalisation signifie simplement un déplacement des émissions de gaz à effet de serre, et ne peut être en conséquence considérée comme un gisement, même en écartant la question du développement économique.

Dans un scénario plus radical de report vers des modes de transport à la voiture individuelle (tel qu'esquissé par le Grenelle), on pourrait imaginer une forte diminution voire une disparition de cette activité. Considérer des changements de mode de vie tels que l'industrie automobile

disparaîtrait –et donc faire un gisement de cette disparition- est une question sociétale et sociale qui dépasse largement le cadre de la présente étude.

En conséquence, le maintien de l'activité automobile est cohérent dans l'exercice de détermination des gisements d'économie d'énergie que nous menons.

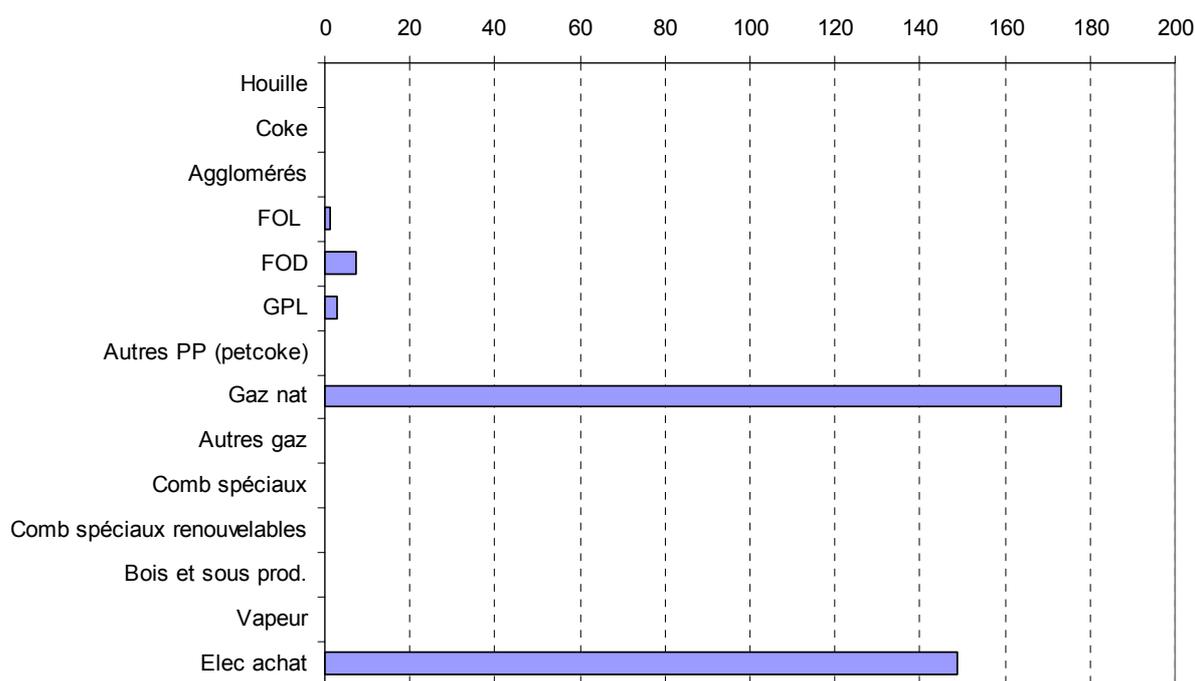
Figure 52 – Evolution de la production - Industries mécaniques et électriques



Source : E&E

### ► Profil énergétique

Figure 53 – Consommation par type d'énergie – Industries mécaniques et électriques- 2005



Source : SESSI

La consommation d'énergie se répartie assez bien entre électricité et combustible (quasi exclusivement du gaz).

Si l'on regarde les usages (Figure 16), la moitié du combustible sert au chauffage des locaux ou à des usages à basse température. Cette forte proportion est assez singulière dans l'industrie (avec le textile), elle est notamment liée au fait qu'il s'agit d'activités fortement utilisatrices de main d'œuvre, sur des chaînes de production à l'intérieur de bâtiments. L'usage de bains, de peintures, de séchage, de procédés de finition explique également les exigences de température dans les ateliers de montage.

Pour l'électricité on retrouve un usage majeur (environ 65%) pour la force motrice (machines transfert, convoyage, usinages, etc.).

### ► Economies d'énergie

*Court terme :*

Comme on le voit dans les répartitions par usage de la consommation d'énergie (Figure 16), la majeure partie de la consommation d'énergie se fait dans les secteurs transverses (chauffage locaux et bains, force motrice, éclairage).

On peut néanmoins considérer des améliorations des fours. Les fours à induction, au lieu de four à gaz permettent de gagner 60% d'efficacité (en énergie finale). On considère 50% de remplacement d'ici 2020.

*Long terme :*

On considère, en plus des améliorations sur les opérations transverses que l'intégralité des fours est remplacée par des fours à induction.

### ► Résultat global

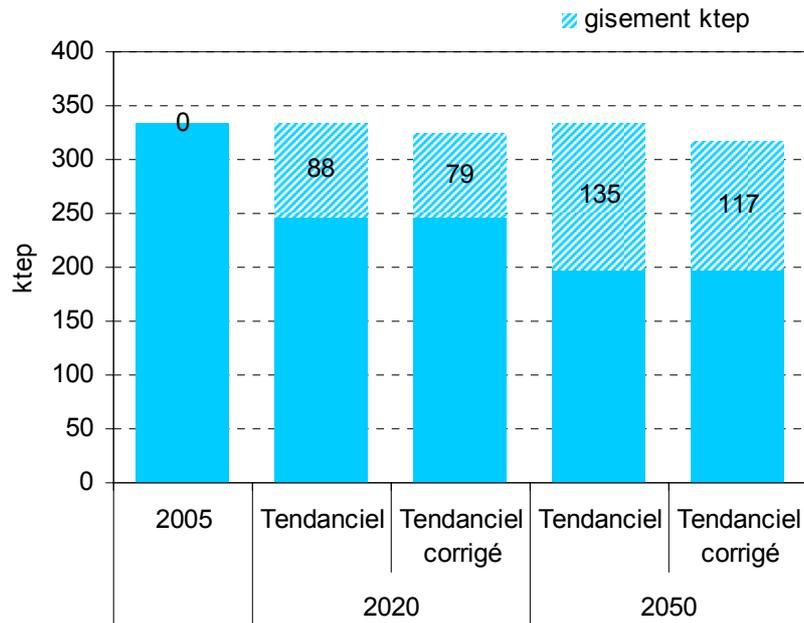
Tableau 21 – gisements d'économies d'énergie et de CO2 - Industries mécaniques et électriques

		2005	2020	2050
<b>Tendanciel</b>				
Combustible	ktep	185	185	185
Vapeur	ktep	0	0	0
Electricité	ktep	149	149	149
Total*	ktep	334	334	334
Emissions GES	ktCO2	671	671	671
<b>Tendanciel corrigé</b>				
Combustible	ktep	185	185	185
Vapeur	ktep	0	0	0
Electricité	ktep	149	140	131
Total*	ktep	334	325	316
Emissions GES	ktCO2	671	662	653
<b>S_Gisement</b>				
Combustible	ktep	185	84	21
Vapeur	ktep	0	21	43
Electricité	ktep	149	141	134
Total*	ktep	334	246	199
Emissions GES	ktCO2	671	519	483
<b>Gisement d'économies d'énergie</b>				
Potentiel min	ktep	0	79	117
			24%	37%
	ktCO2	0	143	170
			22%	26%
Potentiel max	ktep	0	88	135
			26%	40%
	ktCO2	0	152	188
			23%	28%

\*la différence entre "Total" et combustible+vapeur+électricité correspond à l'autoproduction d'électricité

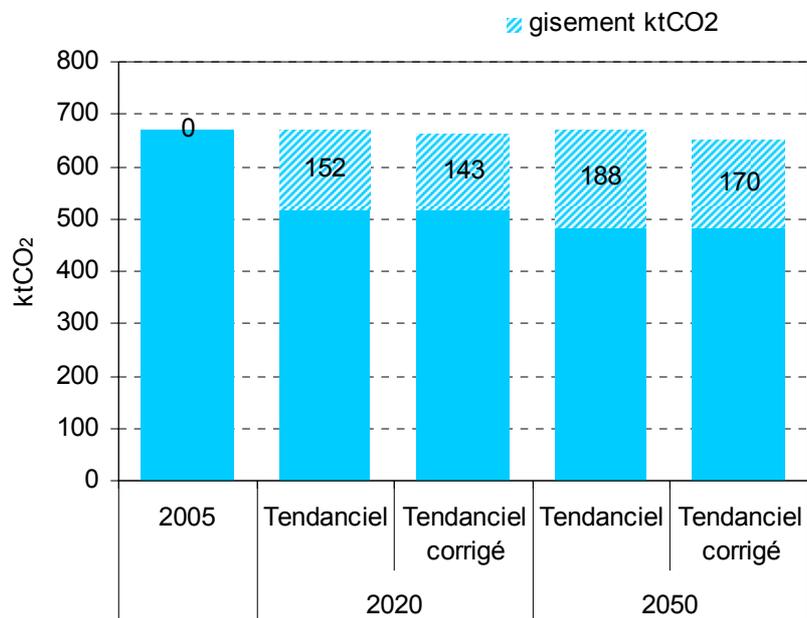
Source : E&E

Figure 54 – Consommation d'énergie des scénarios avec leur potentiel d'économies - Industries mécaniques et électriques



Source : E&E

Figure 55 – Emissions de GES des scénarios avec leur potentiel d'économies - Industries mécaniques et électriques



Source : E&E

### ► Potentiel de récupération de chaleur

On retient 10% en 2020 et 15% en 2050. Le potentiel en valeur absolue est très largement inférieur aux possibilités d'utilisation de chaleur basse température. A cela pourrait s'ajouter une

utilisation d'une production renouvelable à basse température le cas échéant (solaire thermique –non considéré dans la présente étude).

Tableau 22 – Potentiel de récupération d'énergie et d'utilisation d'énergie basse température – Industries mécaniques et électriques

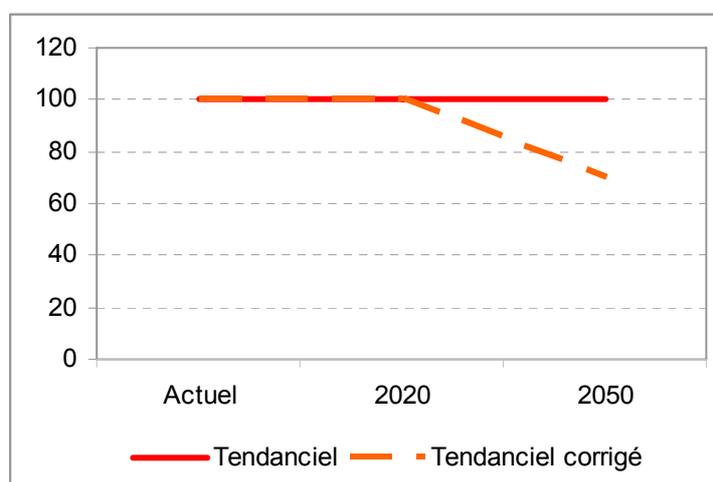
S_Gisement		2005	2020	2050
Champ d'application	ktep		80,9	61,1
% de récupération			10%	15%
Récupération d'énergie	ktep		8	9
Utilisation de chaleur réseau	ktep		21	43

Sources : E&E

#### IV.5.h. Ciment, Chaux, plâtre

##### ► Description et évolution du secteur

Figure 56 – Evolution de la production – Ciment, Chaux, plâtre



Source : E&E consultant

Dans le scénario à 2030 demandé par la DGEMP (actuelle DGEC) à Enerdata et destiné à interpréter le Grenelle de l'Environnement, la consommation diminue d'un tiers soit en France 2,9 MT en 2030 contre 4,4 en 2005. C'est cette évolution (Tendanciel corrigé) qui est retenue pour la région, avec une stabilisation à compter de 2030.

L'étude de long terme FONDDRI suggère une stabilisation de long terme après 2020 pour le monde entier. Mais contrairement à l'hypothèse que nous retenons, elle considère une capacité de production nettement moindre en Europe (division par trois en 2050).

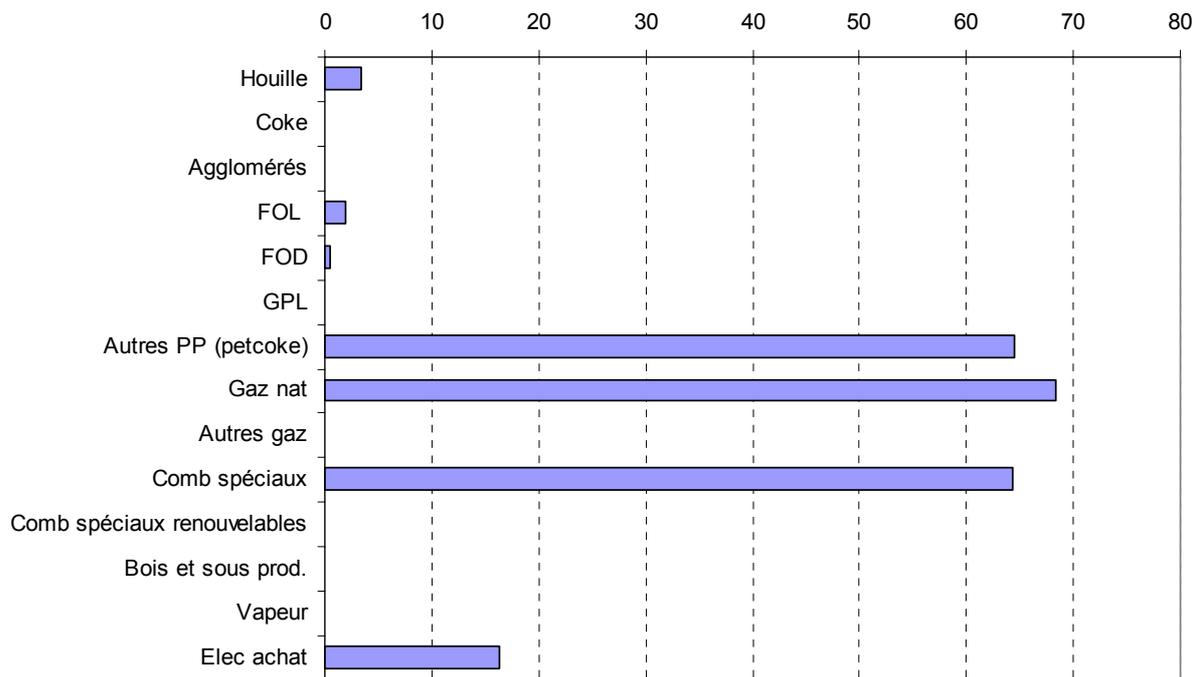
La DGEMP (Scénario 2008) suggère une production stable de ciment à 2030, mais délocalise une partie de la consommation de clinker ce qui revient en réalité aux mêmes bilans d'énergie et d'émission.

## ► Procédé et Profil énergétique

Les deux tiers de la consommation énergétique sont des cimenteries, le reste de la production de chaux. L'étude se concentre sur la production de ciment, prépondérante dans la région. De plus, le processus de fabrication de chaux est assez similaire (broyage et cuisson), avec un procédé à moins haute température.

A noter que ces deux procédés sont fortement émetteurs de CO<sub>2</sub>, leurs émissions ayant la spécificité de provenir autant la consommation d'énergie que du procédé lui-même (décarbonatation de la matière première principale, le calcaire : principalement CaCO<sub>3</sub> -> CaO + CO<sub>2</sub>). La décarbonisation des matières premières n'est pas prise en compte dans l'estimation des émissions faites dans cette étude.

Figure 57 – Consommation par type d'énergie – Ciment, Chaux, plâtre - 2005



Source : SESSI

Le procédé cimentier se résume en :

- Extraction des matières premières (principalement calcaire)
- Broyage
- Cuisson en vue d'obtenir du clinker
- Broyage du clinker (+ajouts divers selon qualité du ciment produit)

La lecture de la Figure 16 montre que la plus grande partie de l'énergie est sous forme de combustible (90%), servant à échauffer la matière dans le four (1400°C pour le ciment, 900°C pour la chaux). Cette grande consommation de combustible représente d'ailleurs une bonne part des coûts de production du ciment (environ 30%), c'est en particulier ce qui explique l'utilisation de combustibles dérivés ou spéciaux (Figure 57) : Coke de pétrole, brais, farines animales, huiles usagés, déchets divers... Dans certains cas, les combustibles sont gratuits voire subventionnés.

Les ateliers de broyage consomment la majorité de l'électricité.

## ► Economies d'énergie

### *Court terme :*

Les cimenteries du NPDC sont relativement vieilles et utilisent des procédés dit par « voie humide » ou « semi-humide » (de 4 à 7 GJ/tclinker, soit 0,09 à 0,17 GJ/tclinker)<sup>30</sup>. Ces procédés ajoutent de l'eau lors de la préparation matière, cette eau doit ensuite être évaporée, ce qui augmente énormément la consommation du four, comparé aux technologies actuelles des cimenteries neuves dites par « voie sèche » (jusqu'à moins de 3 GJ/t clinker, ou 0,07tep/tclinker).

Concernant le broyage, même si les matières premières peuvent avoir un impact sur les puissances de broyage, les ateliers modernes (broyeurs verticaux et surtout Horomill) peuvent consommer beaucoup moins que les broyeurs traditionnels (de 20 à 30% de moins, la moyenne est à 110 kWh/t<sub>ciment</sub>)<sup>31</sup>.

- Cuisson : environ 30% de gains sont réalisables (conversion à la voie sèche).
- Broyage : on retient 20%

### **Long terme :**

Pour envisager des gains plus importants, il faut envisager d'autres types de liant que le ciment Portland (ciment produit actuellement). Divers produits sont en cours de développement, on peut retenir les deux suivants :

- Novacement (start-up émanant d'un laboratoire d'Imperial College London) : l'idée est d'utiliser une autre matière première le silicate de manganèse, le procédé est assez proche sauf que la température du four est beaucoup plus faible (700°C). Le plus intéressant du procédé est qu'en plus de réduire la consommation d'énergie, il n'y a pas de décarbonatation des matières premières : au contraire, il permet une capture de carbone qui se retrouve ensuite piégé dans la matrice du ciment. Un pilote fonctionne déjà, une installation semi-industriel devrait voir le jour d'ici 2015.<sup>32</sup>
- Calera : Cette technologie, bien qu'à ses prémises, est particulièrement attrayante, puisque sa matière première ne provient plus de roches extraites, mais du CO<sub>2</sub> issu de fumées d'autres procédés industriels. L'idée consiste à « arroser » avec de l'eau de mer des fumées chargées en CO<sub>2</sub> pour le précipiter en carbonate (réaction similaire à la création des coraux)<sup>33</sup>.

A l'horizon 2050, on retient donc le procédé Novacem, permettant une réduction de 50% de la consommation de combustible. Pour la partie broyage, pas de gains supplémentaires pris en compte.

---

<sup>30</sup> « Diagnostique énergétique d'une cimenterie », IEPF, p3

<sup>31</sup> Voir « Cement technology roadmap 2009 » WBCSD/AIE, 2009, p6,

Et « Diagnostique énergétique d'une cimenterie », IEPF, p4

<sup>32</sup> « A long-term view of CO<sub>2</sub> efficient manufacturing in European region », Delft, June 2010, p 51-53

<sup>33</sup> « Cement technology roadmap 2009 » WBCSD/AIE, 2009, p5

## ► Résultat global

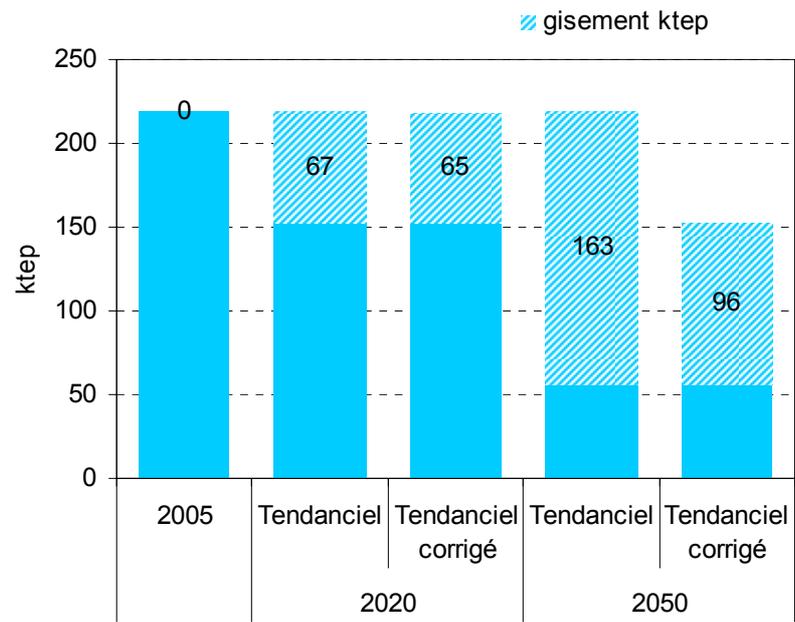
Tableau 23 – gisements d'économies d'énergie et de CO2 – Ciment, Chaux, plâtre

		2005	2020	2050
<b>Tendanciel</b>				
Combustible	ktep	203	203	203
Vapeur	ktep	0	0	0
Electricité	ktep	16	16	16
Total*	ktep	219	219	219
Emissions GES	ktCO2	779	779	779
<b>Tendanciel corrigé</b>				
Combustible	ktep	203	203	142
Vapeur	ktep	0	0	0
Electricité	ktep	16	15	10
Total*	ktep	219	218	152
Emissions GES	ktCO2	779	778	544
<b>S_Gisement</b>				
Combustible	ktep	203	141	49
Vapeur	ktep	0	0	1
Electricité	ktep	16	11	6
Total*	ktep	219	153	56
Emissions GES	ktCO2	779	544	194
<b>Gisement d'économies d'énergie</b>				
Potentiel min	ktep	0	65	96
			30%	63%
	ktCO2	0	234	350
Potentiel max	ktep	0	67	163
			30%	74%
	ktCO2	0	235	585
			30%	75%

\*la différence entre "Total" et combustible+vapeur+électricité correspond à l'autoproduction d'électricité

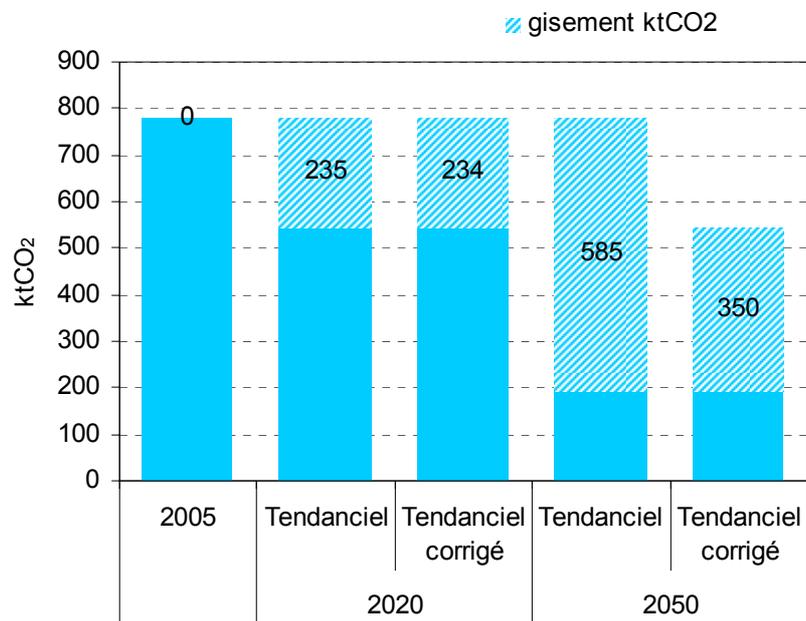
Sources : E&E

Figure 58 – Consommation d'énergie et gisement d'économies – Ciment, Chaux, plâtre



Source : E&E

Figure 59 – Emissions de GES des scénarios avec leur potentiel d'économies – Ciment, Chaux, plâtre



Source : E&E

### ► Potentiel de récupération de chaleur

Les deux principales pertes sur une ligne de cuisson de ciment sont la chaleur sensible des fumées sortie tour et celle de l'air d'exhaure du refroidisseur de clinker, elles représentent à elles deux environ 30% de la puissance introduite. Elle se répartie en 65% sortie tour, 35% sortie refroidisseur de clinker. Une partie de cette chaleur est utilisée pour le séchage des matières premières.

Pour les sites nécessitant peu de séchage, on peut envisager en récupérer les 2/3.

On retient ici un potentiel de 25% (les matières premières sont sans doute humides).

Tableau 24 – Potentiel de récupération d'énergie et d'utilisation d'énergie basse température – Ciment, Chaux, plâtre

S_Gisement		2005	2020	2050
Champ d'application	ktep		141,7	49,9
% de récupération			10%	25%
Récupération d'énergie	ktep		14	12
Utilisation de chaleur réseau	ktep		0	1

Sources : E&E

## IV.5.i. Textile

### ► Description et évolution du secteur

Le secteur textile est un secteur sinistré, il a perdu 60% de ses emplois dans la région les dix dernières années, suite à des délocalisations vers des pays à bas coûts salariaux<sup>34</sup>. Mais la région reste la 4<sup>ème</sup> région française dans ce secteur, et il semble que la baisse d'activité soit enrayée, avec un repositionnement sur la production textile, et plus particulièrement les textiles techniques. Cette activité nécessite beaucoup d'innovation et de recherches et développement pour faire face aux contraintes des utilisateurs. Les principaux secteurs de débouché sont : l'industrie, le médical et la santé<sup>35</sup>.

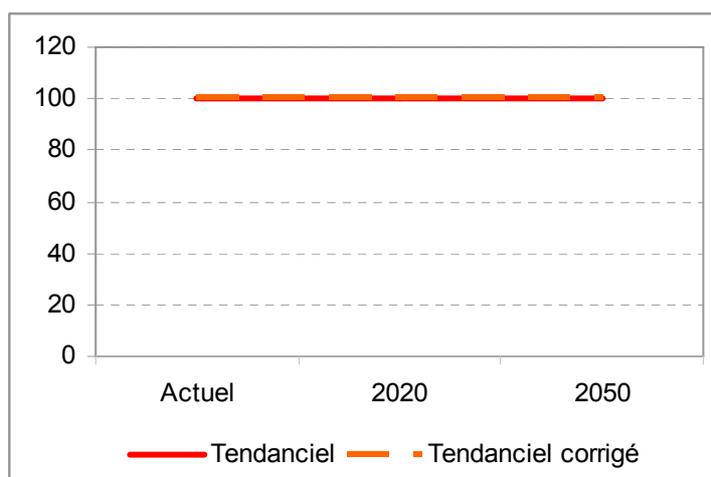
Pour soutenir cette filière la région possède l'un des deux pôles nationaux de compétitivité du textile.

Pour les projections, on considère que ce repositionnement du secteur permet de mettre fin à l'érosion de l'activité régionale textile, un maintien de production est considéré.

<sup>34</sup> « Enjeux pour l'industrie du NPDC », DREAL, 2009

<sup>35</sup> « Chiffres clés – Textile », MINEFI, 2007

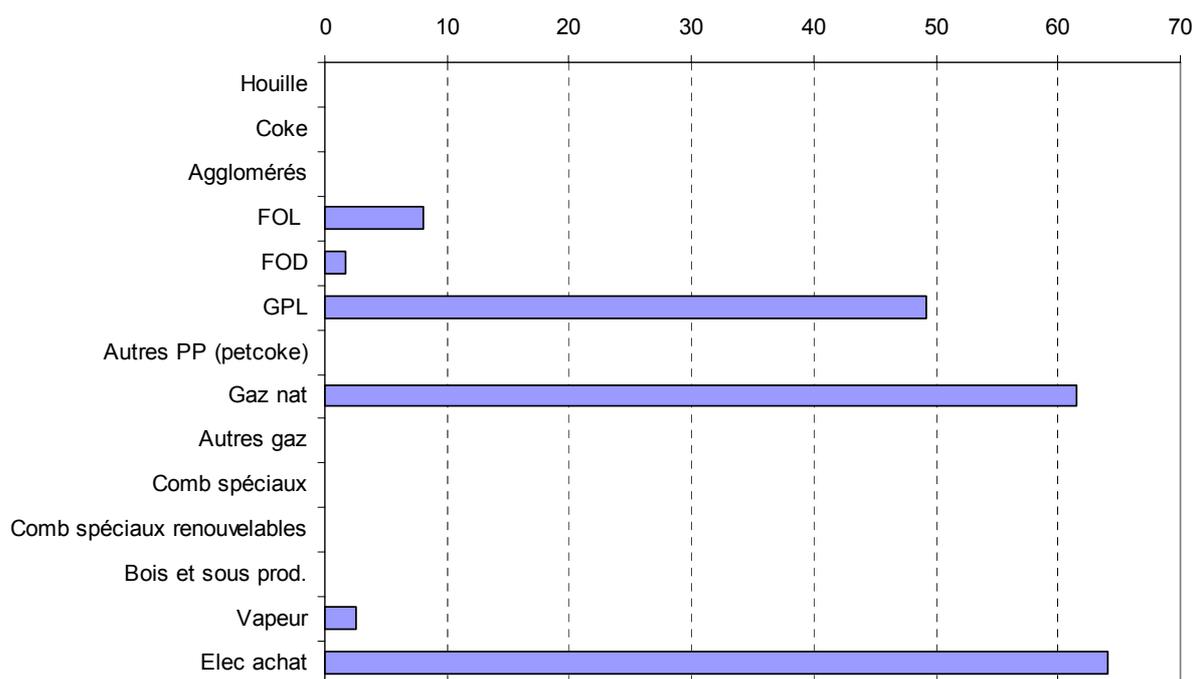
Figure 60 – Evolution de la production - Textile



Source : E&E

### ► Profil énergétique

Figure 61 – Consommation par type d'énergie – Textile- 2005



Source : SESSI

La consommation d'énergie se répartie en 2/3 combustible et 1/3 électricité.

Pour les usages, on est très proche de l'industrie mécanique et électrique, avec une forte part de chauffage des locaux et de force motrice. La force motrice est utilisée pour les diverses machines à tisser, les combustibles servent, en plus du chauffage des locaux, aux activités de lavage, teinture et séchage.

## ► Economies d'énergie

*Court terme :*

Les usages énergétiques du secteur textile font peu appel aux usages autres que ceux comptabilisés dans les usages transverses. On retient donc uniquement les gains sur les usages transverses.

*Long terme :*

On retient les gains sur les opérations transverses

## ► Résultat global

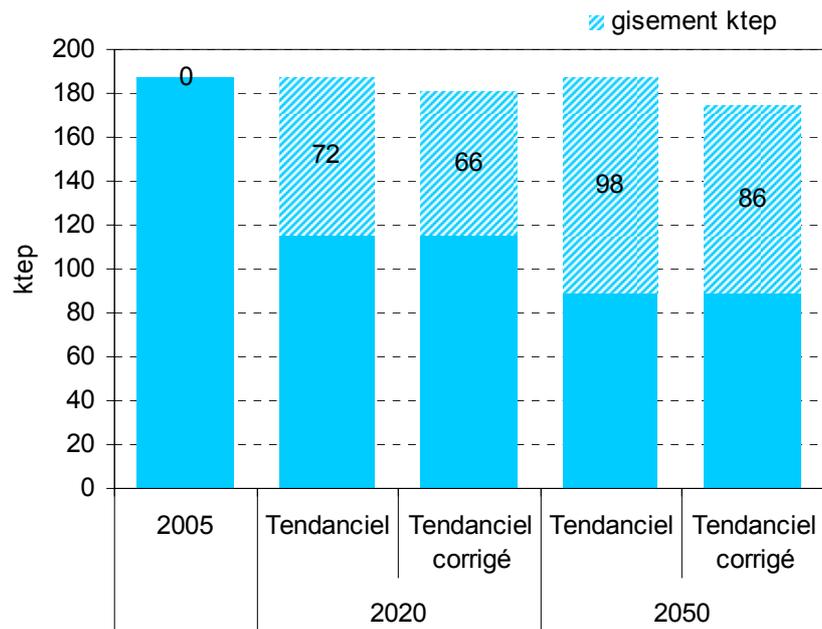
Tableau 25 – gisements d'économies d'énergie et de CO2 - Textile

		2005	2020	2050
<b>Tendanciel</b>				
Combustible	ktep	121	121	121
Vapeur	ktep	2	2	2
Electricité	ktep	103	103	103
Total*	ktep	187	187	187
Emissions GES	ktCO2	436	436	436
<b>Tendanciel corrigé</b>				
Combustible	ktep	121	121	121
Vapeur	ktep	2	2	2
Electricité	ktep	103	97	90
Total*	ktep	187	181	175
Emissions GES	ktCO2	436	430	424
<b>S_ Gisement</b>				
Combustible	ktep	121	54	31
Vapeur	ktep	2	15	28
Electricité	ktep	103	86	69
Total*	ktep	187	115	89
Emissions GES	ktCO2	436	245	204
<b>Gisement d'économies d'énergie</b>				
Potentiel min	ktep	0	66	86
			36%	49%
	ktCO2	0	185	220
Potentiel max			43%	52%
	ktep	0	72	98
			39%	53%
	ktCO2	0	192	232
			44%	53%

\*la différence entre "Total" et combustible+vapeur+électricité correspond à l'autoproduction d'électricité

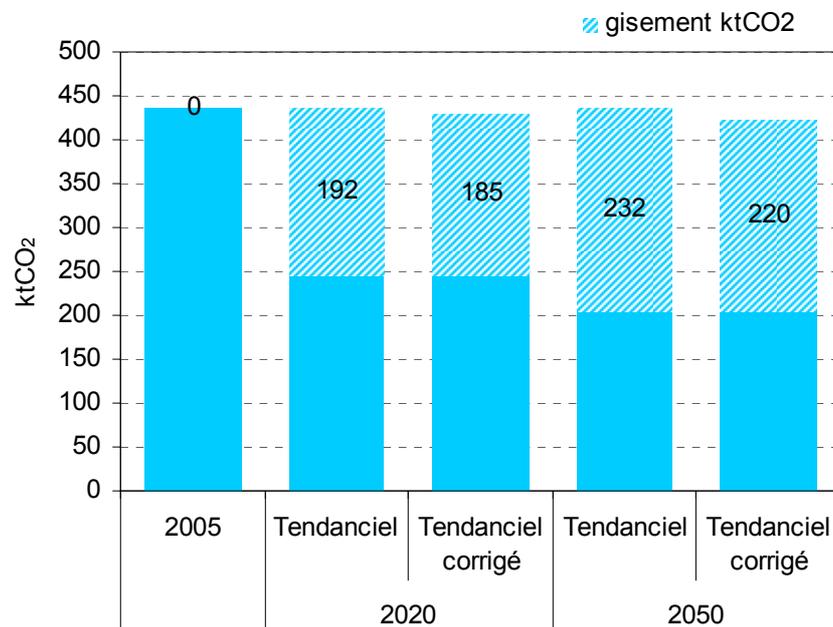
Source : E&E

Figure 62 – Consommation d'énergie des scénarios avec leur potentiel d'économies - Textile



Source : E&E

Figure 63 – Emissions de GES des scénarios avec leur potentiel d'économies - Textile



Source : E&E

### ► Potentiel de récupération de chaleur

On ne retient pas de récupération d'énergie dans le secteur textile puisque la majeure partie de l'amélioration des procédés de chauffage provient de l'utilisation des chaleurs contenues dans les effluents.

Par contre, le secteur peut largement augmenter l'utilisation de chaleur sur réseau pour ses besoins en chauffage de locaux. On peut aussi envisager, étant donné les faibles niveaux de température des procédés (Figure 19), une utilisation en procédé avec l'emploi d'une pompe à chaleur.

Tableau 26 – Potentiel de récupération d'énergie et d'utilisation d'énergie basse température – Textile

S_Gisement		2005	2020	2050
Champ d'application	ktep		43,4	35,9
% de récupération			0%	0%
Récupération d'énergie	ktep		0	0
Utilisation de chaleur réseau	ktep		12	26

Sources : E&E

## IV.5.j. Divers

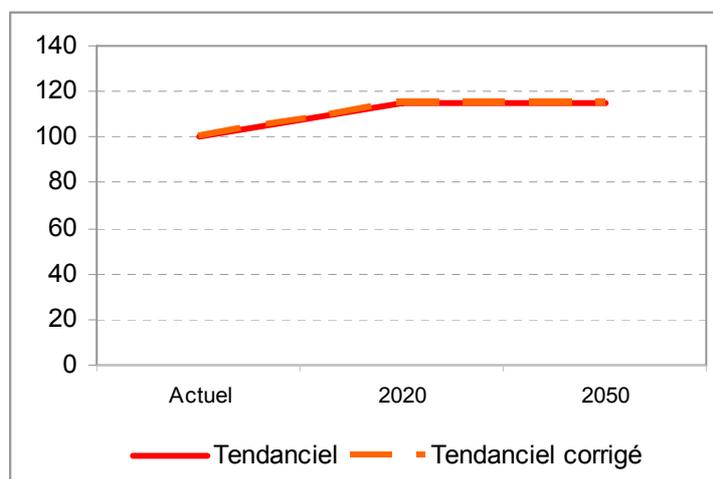
### ► Description et évolution du secteur

Le taux de croissance (du chiffre d'affaire) devrait être celui de l'économie en général si l'industrie a la même proportion à terme (soit 1,6%). A noter que la PPI chaleur 2009-2020 ne donne pas d'indication au-delà de 2020, que le tendancier DGEMP donne une croissance annuelle de 1,4% sur les "autres industries" et que l'exercice MIES-Radanne utilise un taux de croissance de 1,7%.

Nous proposons deux options : option A où la production suit le chiffre d'affaire (peu probable, +70% en 2050) ; option B, stagnation des productions physiques après 2020.

L'option B est choisie –il s'agit de productions physiques- même si les valeurs peuvent progresser nettement selon le positionnement des entreprises régionales.

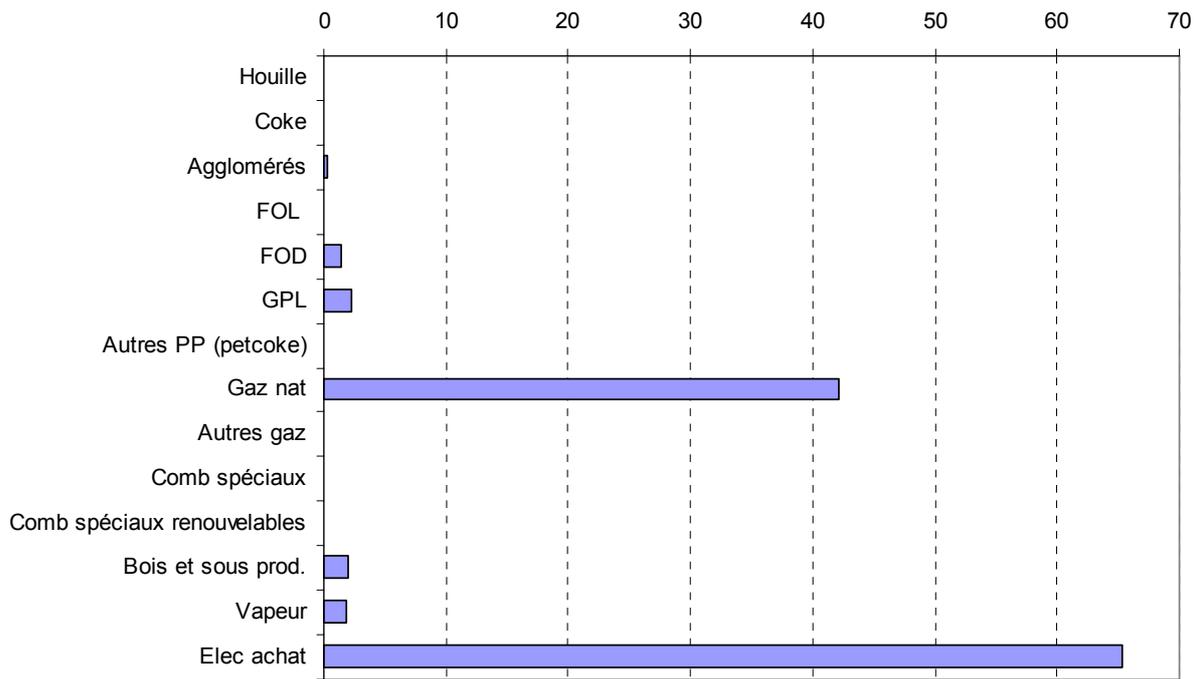
Figure 64 – Evolution de la production - Divers



Source : E&E

### ► Profil énergétique

Figure 65 – Consommation par type d'énergie – Divers- 2005



Source : SESSI

La consommation d'énergie se répartit entre électricité et combustibles à environ 60/40. La consommation de combustible est dominée par l'utilisation de gaz naturel.

### ► Economies d'énergie

*Court terme et long terme :*

Par manque de données détaillées, seules les améliorations des opérations transverses sont considérées.

## ► Résultat global

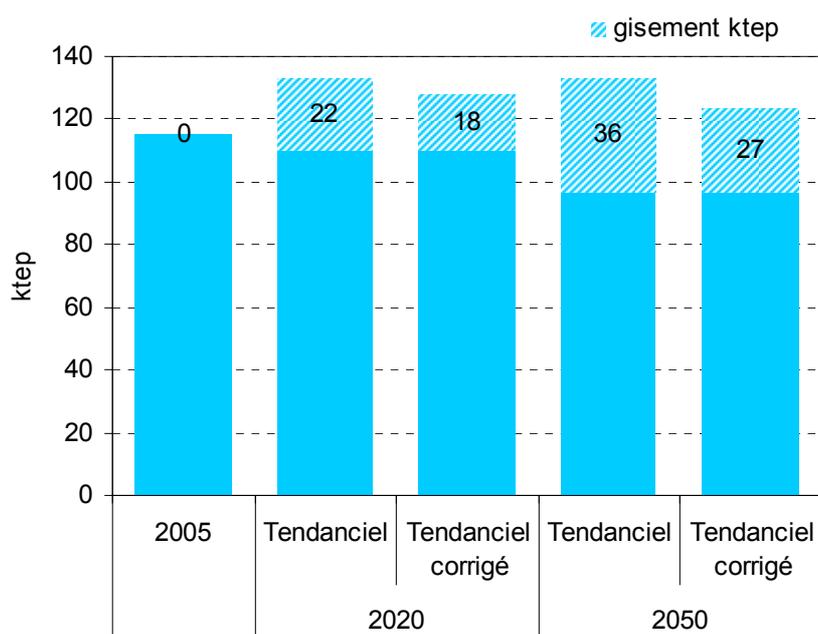
Tableau 27 – gisements d'économies d'énergie et de CO2 - Divers

		2005	2020	2050
<b>Tendanciel</b>				
Combustible	ktep	48	55	55
Vapeur	ktep	2	2	2
Electricité	ktep	65	75	75
Total*	ktep	115	133	133
Emissions GES	ktCO2	202	233	233
<b>Tendanciel corrigé</b>				
Combustible	ktep	48	55	55
Vapeur	ktep	2	2	2
Electricité	ktep	65	70	66
Total*	ktep	115	128	123
Emissions GES	ktCO2	202	228	224
<b>S_Gisement</b>				
Combustible	ktep	48	44	40
Vapeur	ktep	2	4	7
Electricité	ktep	65	62	50
Total*	ktep	115	110	97
Emissions GES	ktCO2	202	188	179
<b>Gisement d'économies d'énergie</b>				
Potentiel min	ktep	0	18	27
			14%	22%
	ktCO2	0	41	45
			18%	20%
Potentiel max	ktep	0	22	36
			17%	27%
	ktCO2	0	45	54
			19%	23%

\*la différence entre "Total" et combustible+vapeur+électricité correspond à l'autoproduction d'électricité

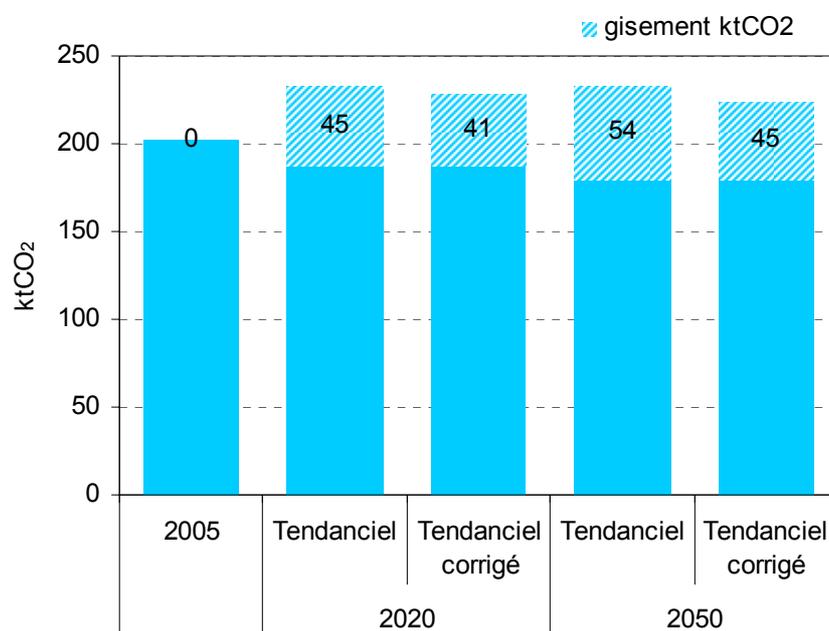
Source : E&E

Figure 66 – Consommation d'énergie des scénarios avec leur potentiel d'économies - Divers



Source : E&E

Figure 67 – Emissions de GES des scénarios avec leur potentiel d'économies - Divers



Source : E&E

### ► Potentiel de récupération de chaleur

Par manque de données, on ne retient une faible récupération de chaleur dans le secteur Divers.

Tableau 28 – Potentiel de récupération d'énergie et d'utilisation d'énergie basse température – Divers

S_Gisement		2005	2020	2050
Champ d'application	ktep		44,7	43,2
% de récupération			5%	10%
Récupération d'énergie	ktep		2	4
Utilisation de chaleur réseau	ktep		2	5

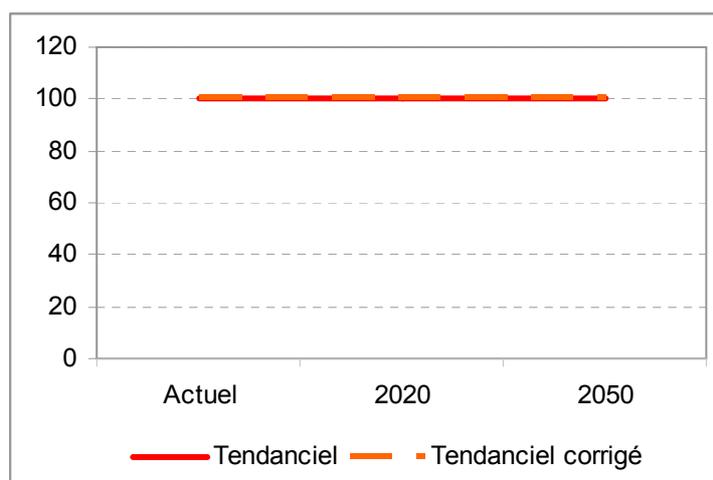
Sources : E&E

#### IV.5.k. Autres matériaux de construction

##### ► Description et évolution du secteur

Le DGEMP 2008 prévoit une stabilité. La consommation de matériaux de construction (tuiles, briques, parpaings...) suit les tendances de la construction. Leur croissance sera plus importante dans le cadre de scénarios alternatifs type Grenelle, car le besoin en matériaux d'isolation est plus important pour les réhabilitations thermiques du bâti. D'un autre côté, la prise en compte de l'énergie grise devrait également inciter à alléger les matériaux, notamment les matériaux les plus énergivores et sans doute un recours plus important à d'autres matériaux (bois, végétaux, matières recyclées...). Au bilan il n'est pas sûr que la consommation globale augmente. L'étude retient une production constante.

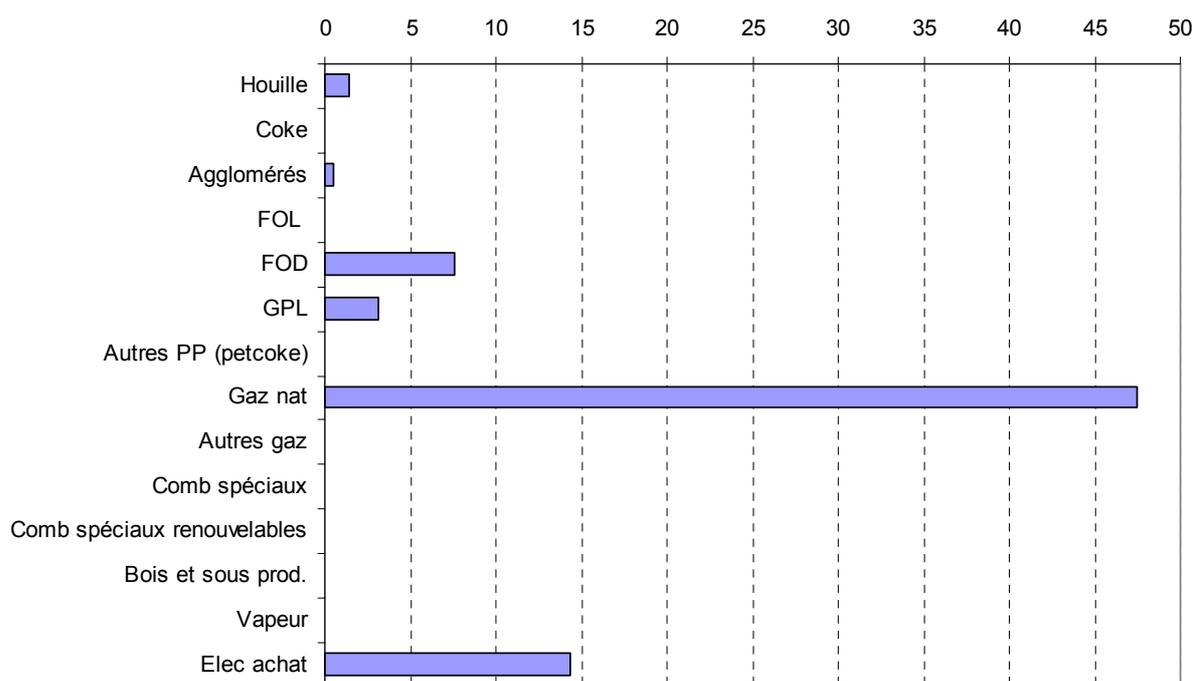
Figure 68 – Evolution de la production - Autres matériaux de construction



Source : E&E

### ► Profil énergétique

Figure 69 – Consommation par type d'énergie – Autres matériaux de construction- 2005



Source : SESSI

Le profil énergétique laisse apparaître une domination de l'utilisation de combustibles, principalement du gaz naturel. La Figure 16 permet de voir que 70% de l'énergie consommée est du combustible utilisé pour la fabrication : il s'agit principalement des fours de cuisson ou de séchage.

## ► Economies d'énergie

Les données disponibles sur ce secteur sont assez pauvres : NORENER recense 30% des consommations du secteur qui sont pour l'essentiel des productions de brique et tuile. Dans cette étude, les potentiels d'économie sont déduits de ce type de procédé, et appliqués à tout le secteur. Cette approximation induit une erreur limitée car, d'une part la production de briques et tuiles sont parmi les procédés les plus énergivores du secteur et, d'autre part, le poids de ce secteur dans les consommations globale de l'industrie du Nord-Pas-de-Calais est très faible (1%).

### *Court terme :*

Aujourd'hui une installation moderne de production de brique ou tuile consomme moins de 2,3 GJ/t<sub>produit</sub><sup>36</sup>. Sur les entreprises enquêtées par NORENER, la moyenne est de 5,2 GJ/t<sub>produit</sub> (soit 55% de réduction nécessaire pour atteindre les meilleures performances actuelles). Un fort gain est donc possible avec l'optimisation des fours (meilleure isolation, meilleure régulation, et récupération de chaleur entre équipements), pour 2020, 40% de gain est retenu.

### *Long terme :*

Dès aujourd'hui descendre à 2 GJ/t<sub>produit</sub> semble techniquement accessible.<sup>37</sup> En considérant ce niveau atteint en 2050, le gain retenu est de 60%.

## ► Résultat global

---

<sup>36</sup> « Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 Emissions », Agence Internationale de l'Energie, 2007, p 172

<sup>37</sup> « Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 Emissions », Agence Internationale de l'Energie, 2007, p 172

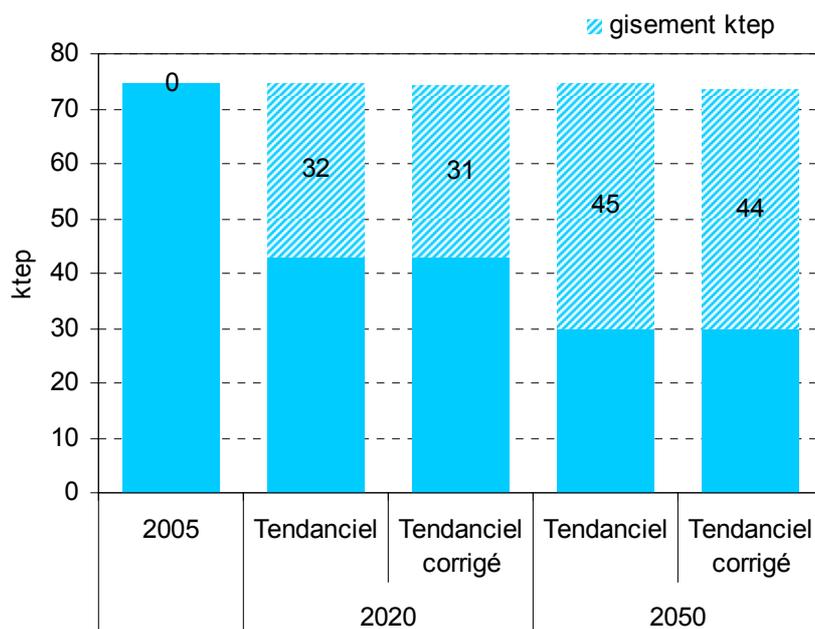
Tableau 29 – gisements d'économies d'énergie et de CO2 - Autres matériaux de construction

		2005	2020	2050
<b>Tendanciel</b>				
Combustible	ktep	60	60	60
Vapeur	ktep	0	0	0
Electricité	ktep	14	14	14
Total*	ktep	75	75	75
Emissions GES	ktCO2	194	194	194
<b>Tendanciel corrigé</b>				
Combustible	ktep	60	60	60
Vapeur	ktep	0	0	0
Electricité	ktep	14	14	13
Total*	ktep	75	74	73
Emissions GES	ktCO2	194	193	192
<b>S_Gisement</b>				
Combustible	ktep	60	32	21
Vapeur	ktep	0	1	2
Electricité	ktep	14	10	7
Total*	ktep	75	43	30
Emissions GES	ktCO2	194	109	75
<b>Gisement d'économies d'énergie</b>				
Potentiel min	ktep	0	31	44
			42%	60%
	ktCO2	0	84	117
			44%	61%
Potentiel max	ktep	0	32	45
			43%	60%
	ktCO2	0	85	118
			44%	61%

\*la différence entre "Total" et combustible+vapeur+électricité correspond à l'autoproduction d'électricité

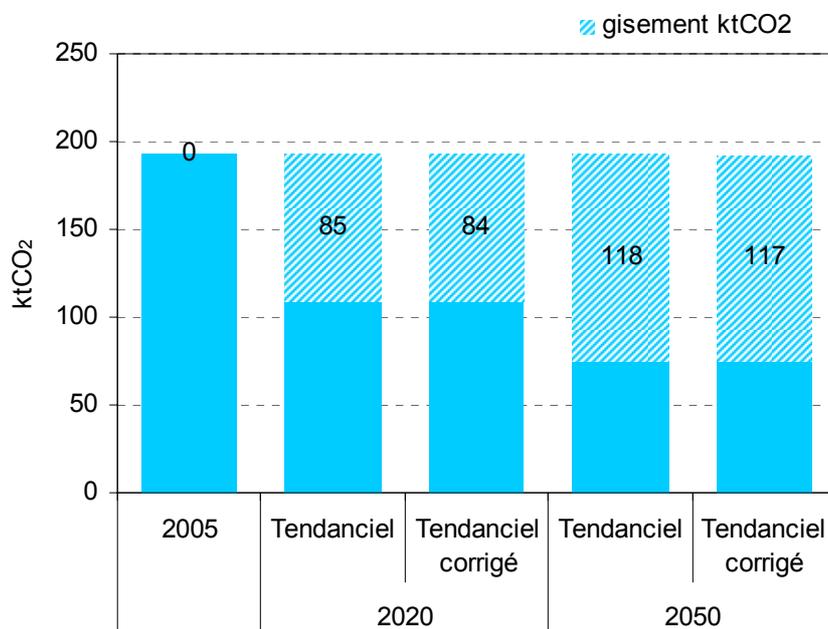
Source : E&E

Figure 70 – Consommation d'énergie des scénarios avec leur potentiel d'économies - Autres matériaux de construction



Source : E&E

Figure 71 – Emissions de GES des scénarios avec leur potentiel d'économies - Autres matériaux de construction



Source : E&E

### ► Potentiel de récupération de chaleur

Les hautes températures nécessaires pour le four induisent des pertes assez élevés particulièrement dans les fumées. Même si l'amélioration du procédé permettra de récupérer

une partie de la chaleur perdue, une part supplémentaire de récupération de chaleur basse température semble possible : 5 et 10% sont retenus aux horizons 2020 et 2050.

Tableau 30 – Potentiel de récupération d'énergie et d'utilisation d'énergie basse température – Autres matériaux de construction

S_Gisement		2005	2020	2050
Champ d'application	ktep		26,4	15,8
% de récupération			5%	10%
Récupération d'énergie	ktep		1	2
Utilisation de chaleur réseau	ktep		1	2

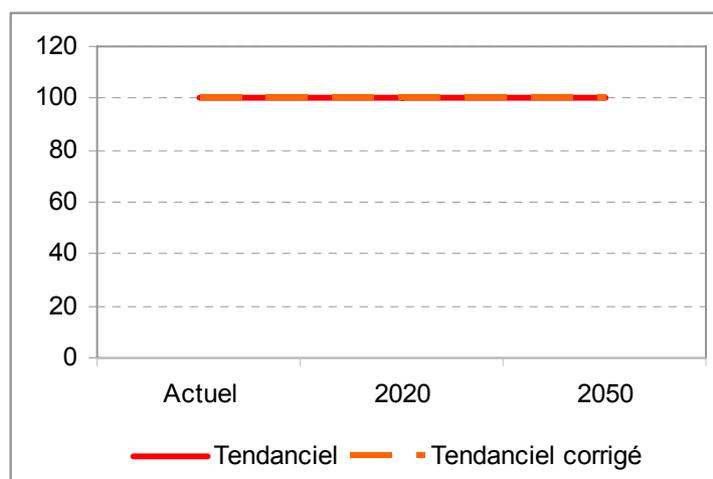
Sources : E&E

#### IV.5.1. Caoutchouc

##### ► Description et évolution du secteur

Ce secteur regroupe principalement la production de pneu et reste assez marginal dans la région qui possède néanmoins, un gros site de production avec plus de 1300 salariés à Béthune. La production est considérée stable, suivant le secteur automobile.

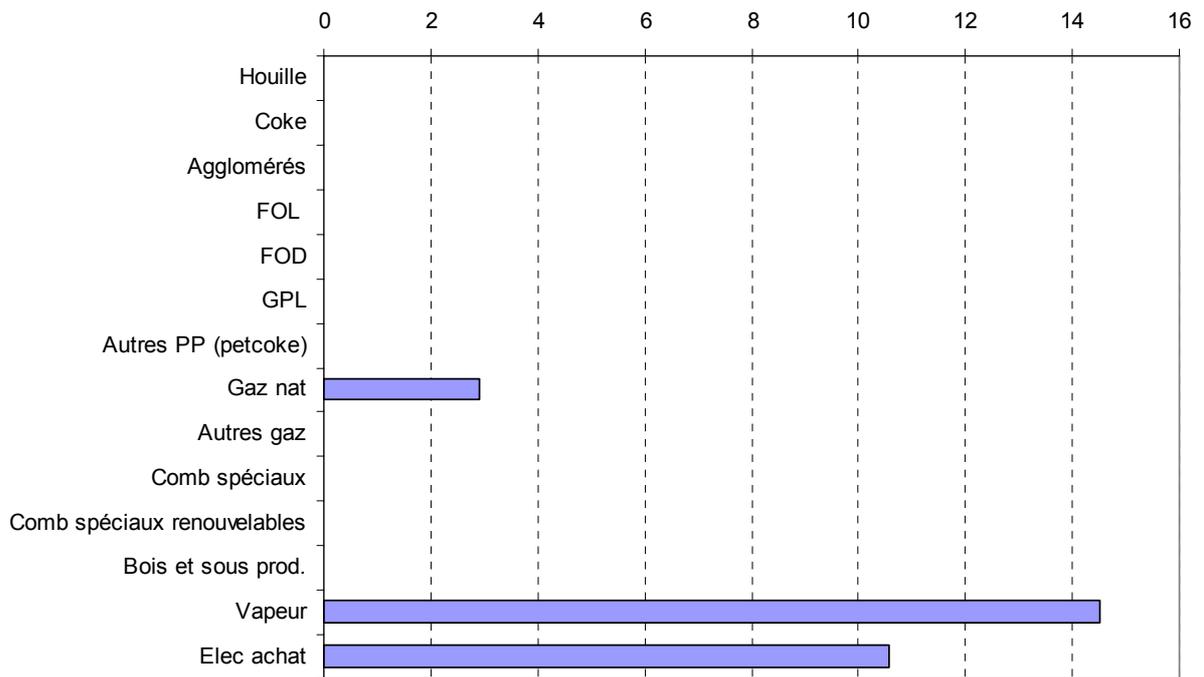
Figure 72 – Evolution de la production - Caoutchouc



Source : E&E

##### ► Profil énergétique

Figure 73 – Consommation par type d'énergie – Caoutchouc- 2005



Source : SESSI

La consommation d'énergie est dominée par la vapeur, nécessaire pour l'opération de vulcanisation.

### ► Economies d'énergie

Court terme et long terme :

Par manque de données détaillées, seules les améliorations des opérations transverses sont considérées.

### ► Résultat global

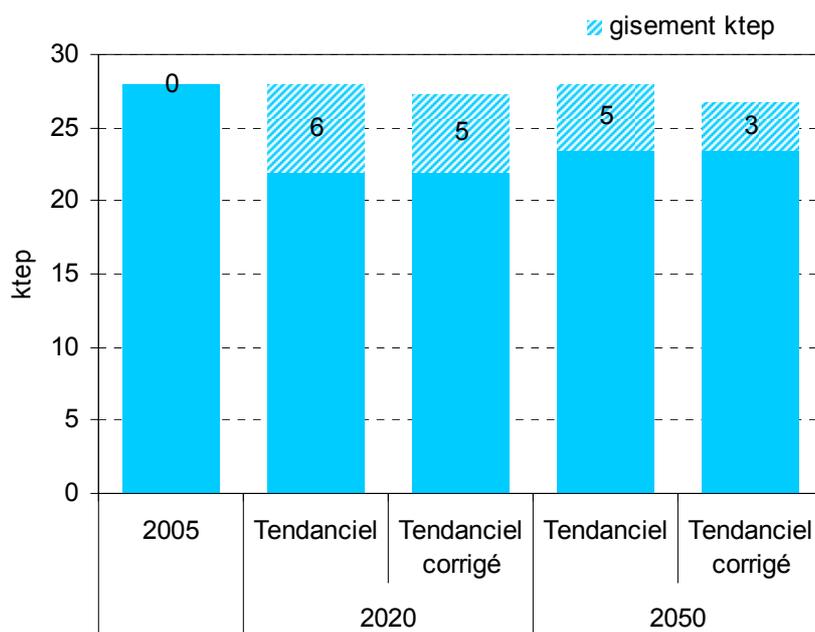
Tableau 31 – gisements d'économies d'énergie et de CO2 - Caoutchouc

		2005	2020	2050
<b>Tendanciel</b>				
Combustible	ktep	3	3	3
Vapeur	ktep	15	15	15
Electricité	ktep	11	11	11
Total*	ktep	28	28	28
Emissions GES	ktCO2	70	70	70
<b>Tendanciel corrigé</b>				
Combustible	ktep	3	3	3
Vapeur	ktep	15	15	15
Electricité	ktep	11	10	9
Total*	ktep	28	27	27
Emissions GES	ktCO2	70	69	69
<b>S_Gisement</b>				
Combustible	ktep	3	2	2
Vapeur	ktep	15	11	14
Electricité	ktep	11	9	7
Total*	ktep	28	22	23
Emissions GES	ktCO2	70	15	13
<b>Gisement d'économies d'énergie</b>				
Potentiel min	ktep	0	5	3
			20%	12%
	ktCO2	0	54	56
Potentiel max	ktep	0	6	5
			21%	16%
	ktCO2	0	55	57
			78%	81%

\*la différence entre "Total" et combustible+vapeur+électricité correspond à l'autoproduction d'électricité

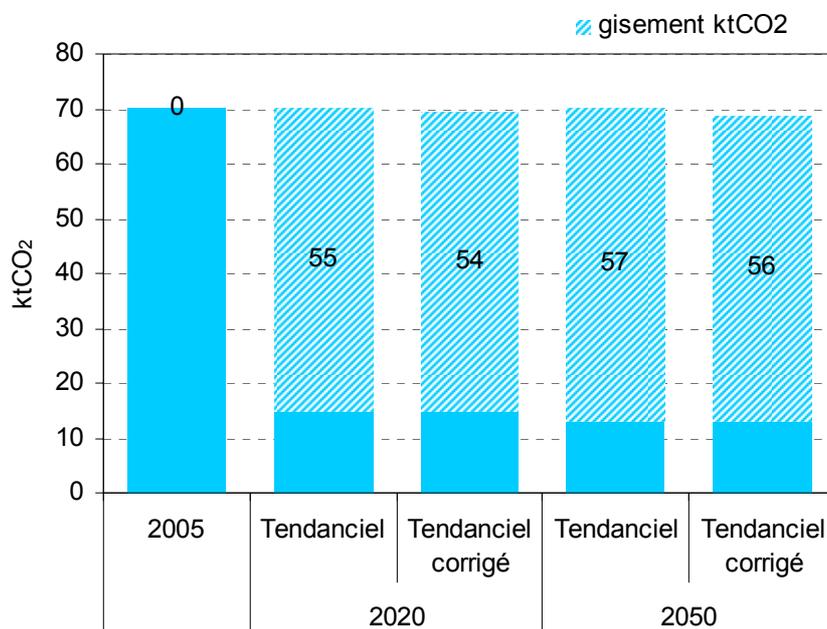
Source : E&E

Figure 74 – Consommation d'énergie des scénarios avec leur potentiel d'économies - Caoutchouc



Source : E&E

Figure 75 – Emissions de GES des scénarios avec leur potentiel d'économies - Caoutchouc



Source : E&E

### ► Potentiel de récupération de chaleur

Par manque de données, on ne retient pas de récupération d'énergie dans le secteur Caoutchouc.

Tableau 32 – Potentiel de récupération d'énergie et d'utilisation d'énergie basse température – Caoutchouc

			2020		2050	
		2005	Tendancier	endancier corrigé	Tendancier	endancier corrigé
S_Gisement	ktep	28	22	22	23	23
gisement	ktep	0	6	5	5	3
S_Gisement	ktCO2	70	15	15	13	13
gisement	ktCO2	0	55	54	57	56

Sources : E&E

#### **IV.5.m. Synthèse par secteur**

*Les 3 tableaux suivants synthétisent les différents résultats par secteur présentés précédemment.*



Tableau 34 – tableau de synthèse 2/3 – Industrie NPDC

	Métallurgie		Métallurgie		Papier		Papier		Verre		Verre		Méca_élec		Méca_élec		Ciment		Ciment		
	2005	2020	2005	2020	2005	2020	2005	2020	2005	2020	2005	2020	2005	2020	2005	2020	2005	2020	2005	2020	
<b>Tendanciel</b>																					
Combustible ktep	186	186	186	186	225	225	225	225	287	287	287	287	185	185	185	185	203	203	203	203	
Vapeur ktep	0	0	0	0	38	38	38	38	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
Electricité ktep	410	410	410	410	147	147	147	147	55	55	55	55	149	149	149	149	16	16	16	16	
Total* ktep	596	596	596	596	383	383	383	383	343	343	343	343	334	334	334	334	219	219	219	219	
Emissions GES kTCO2	1046	1046	1046	1046	1064	1064	1064	1064	944	944	944	944	671	671	671	671	779	779	779	779	
<b>Tendanciel corrigé</b>																					
Combustible ktep	186	186	99	99	225	225	225	225	287	287	287	287	185	185	185	185	203	203	203	142	
Vapeur ktep	0	0	0	0	38	38	38	38	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
Electricité ktep	410	402	88	88	147	138	128	128	55	53	50	50	149	140	131	131	16	15	15	10	
Total* ktep	596	588	187	187	383	374	365	365	343	341	338	338	334	325	316	316	219	218	218	152	
Emissions GES kTCO2	1046	1039	393	393	1064	1055	1046	1046	944	941	938	938	671	662	653	653	779	778	778	544	
<b>S_Gisement</b>																					
Combustible ktep	186	174	88	88	225	188	60	60	287	115	57	57	185	84	21	21	203	141	141	49	
Vapeur ktep	0	2	2	2	38	40	44	44	1	4	8	8	0	21	43	43	0	0	0	1	
Electricité ktep	410	384	68	68	147	123	112	112	56	38	27	27	149	141	134	134	16	11	11	6	
Total* ktep	596	560	158	158	363	325	190	190	343	158	93	93	334	246	199	199	219	153	153	56	
Emissions GES kTCO2	1046	985	344	344	1064	820	581	581	944	403	228	228	671	519	483	483	779	544	544	194	
<b>Gisement d'économies d'énergie</b>																					
Potentiel min ktep	0	28	29	29	0	49	175	175	0	183	245	245	0	79	117	117	0	65	65	96	
		5%	15%	15%		13%	48%	48%		54%	73%	73%		24%	37%	37%		30%	30%	63%	
TCO2	0	53	49	49	0	235	485	485	0	538	711	711	0	143	170	170	0	234	234	350	
		5%	13%	13%		22%	44%	44%		57%	76%	76%		22%	26%	26%		30%	30%	64%	
Potentiel max ktep	0	36	438	438	0	58	193	193	0	186	251	251	0	88	135	135	0	67	67	163	
		6%	73%	73%		15%	50%	50%		54%	73%	73%		26%	40%	40%		30%	30%	74%	
TCO2	0	61	702	702	0	244	483	483	0	541	716	716	0	152	188	188	0	235	235	565	
		6%	67%	67%		23%	45%	45%		57%	76%	76%		23%	28%	28%		30%	30%	75%	
* la différence entre "Total" et combustible-vapeur-électricité correspond à l'auto-production d'électricité																					
<b>Récupération d'énergie</b>																					
<b>S_Gisement</b>																					
Champ d'application ktep	0	80	53	53	0	183	62	62	0	113	56	56	0	81	61	61	0	142	142	50	
% de récupération	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Récupération d'énergie ktep	0	8	11	11	0	18	12	12	0	11	8	8	0	8	9	9	0	14	14	12	
Utilisation de chaleur réseau ktep	0	2	2	2	0	4	9	9	0	3	7	7	0	21	43	43	0	0	0	1	
<b>Reste pour autres secteurs ktep</b>	0	6	8	8	0	14	3	3	0	8	2	2	0	-13	-34	-34	0	14	14	12	

Source : E&F

Tableau 35 – tableau de synthèse 3/3 – Industrie NPDC

		Textile			Divers			Mat_cons			Caout		
		2005	2020	2050	2005	2020	2050	2005	2020	2050	2005	2020	2050
<b>Tendanciel</b>													
Combustible	ktep	121	121	121	48	55	60	60	60	3	3	3	3
Vapeur	ktep	2	2	2	2	2	0	0	0	15	15	15	15
Electricité	ktep	103	103	103	65	75	14	14	14	11	11	11	11
Total*	ktep	187	187	187	115	133	75	75	75	28	28	28	28
Emissions GES	ktCO2	436	436	436	202	233	194	194	194	70	70	70	70
<b>Tendanciel corrigé</b>													
Combustible	ktep	121	121	121	48	55	60	60	60	3	3	3	3
Vapeur	ktep	2	2	2	2	2	0	0	0	15	15	15	15
Electricité	ktep	103	97	90	65	70	14	14	13	11	10	9	9
Total*	ktep	187	181	175	115	128	75	74	73	28	27	27	27
Emissions GES	ktCO2	436	430	424	202	228	194	193	192	70	69	69	69
<b>S. Gisement</b>													
Combustible	ktep	121	54	31	48	44	60	32	21	3	2	2	2
Vapeur	ktep	2	15	28	2	4	0	1	2	15	11	14	14
Electricité	ktep	103	86	69	65	62	14	10	7	11	9	7	7
Total*	ktep	187	115	89	115	110	75	43	30	28	22	23	23
Emissions GES	ktCO2	436	245	204	202	188	194	109	75	70	15	13	13
<b>Gisement d'économies d'énergie</b>													
Potentiel min	ktep	0	66	86	0	18	0	31	44	0	5	3	3
			36%	49%		14%		42%	60%		20%	72%	72%
	ktCO2	0	185	220	0	41	0	84	117	0	54	56	56
			43%	52%		18%		44%	61%		78%	81%	81%
Potentiel max	ktep	0	72	98	0	22	0	32	45	0	6	5	5
			39%	53%		17%		43%	60%		21%	16%	16%
	ktCO2	0	192	232	0	45	0	85	118	0	55	57	57
			44%	53%		19%		44%	61%		78%	81%	81%
*la différence entre "Total" et combustible+vapeur+électricité corres pond à l'auto production d'électricité													
Récupération d'énergie													
<b>S. Gisement</b>													
Champ d'application	ktep	0	43	36	0	45	43	26	16	0	3	3	3
% de récupération	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Récupération d'énergie	ktep	0	0	0	0	2	4	1	2	0	0	0	0
Utilisation de chaleur réseau	ktep	0	12	26	0	2	5	1	2	0	0	0	0
Reste pour autres secteurs	ktep	0	-12	-26	0	0	-1	0	0	0	0	0	0

Source : E&F

## V. Secteur énergie

### V.1. Périmètre

Dans le présent chapitre, deux potentiels sont décrits, et pourront notamment être proposés dans le travail de définition des politiques (Lot 2). Ces potentiels concernent la cogénération et la récupération des effluents de centrales électrique d'une part, et la limitation des pertes électriques en ligne et dans les transformateurs.

La région produit de l'électricité à partir d'uranium, de gaz et de charbon, importe du gaz, produit du gaz de mines. Elle transforme du pétrole brut dans une raffinerie en cours de fermeture à Dunkerque. Passons en revue ces énergies :

La raffinerie des Flandres à Mardyck (Total) a traité environ 8% du total national des produits pétroliers. Mais cette unité de production de carburant est actuellement à l'arrêt et sa fermeture a été confirmée. Elle ne peut donc être prise en compte dans les potentiels d'économie d'énergie.

Une autre importation importante est celle du terminal charbonnier de Dunkerque, premier de France. Ce terminal dessert pour partie l'Angleterre et plus des usines sidérurgiques régionales, et son périmètre dépasse ainsi la région. La consommation de charbon est concentrée dans l'activité sidérurgique et a ainsi déjà été traitée.

Une consommation résiduelle de charbon par des centrales thermiques dans le Nord et en Lorraine est soumise aux contraintes des directives européennes sur la pollution de l'air, qui limitent leur fonctionnement chaque année et imposeront leur arrêt au plus tard en 2015. Cette activité ne peut donc faire l'objet de programmes d'économie à l'horizon de l'étude. La région compte deux centrales thermiques à charbon. 250 MW à Hornaing sont exploités par les anciens Charbonnages de France devenus SNET, filiale du groupe EON. 250 MW à Bouchain sont exploités par l'EDF. Ces deux centrales produisent environ 1,5 TWh par an, pour l'essentiel en hiver.

La centrale DK6 est basée pour environ la moitié de sa production sur un recyclage de gaz pauvres sidérurgiques, ce qui constitue en soi un recyclage de l'énergie de la sidérurgie. Le reste de la production de la centrale vient du gaz naturel. Elle produit environ 3 TWh annuellement.

La centrale de Gravelines, elle, produit environ 38 TWh dans six tranches, ce qui en fait la plus puissante d'Europe. La chaleur résiduelle est d'environ 12 000 MW qui sont dissipés en mer. Il n'existe pas actuellement de projet de récupération massive de cette chaleur.

Pour le gaz naturel, la région est le point d'entrée de deux gazoducs depuis la Norvège et la Hollande, respectivement à Loon-Plage (terminal relié à la Mer du Nord) et à Taisnières (gisements de Groningue via la Belgique). Ces deux points concentrent environ 60% des importations françaises de gaz.

Ces capacités d'importation déjà considérables pourraient encore augmenter par la construction par EDF d'un terminal méthanier. Le gaz à -160°C est stocké et regazéifié en cédant jusqu'à 10% de son énergie. Ce projet de terminal du Clipon peut donc faire l'objet de valorisation ou non du froid. Ceci représente une puissance de froid permanente, équivalente à plusieurs dizaines de MW s'ils devaient être fournis par des groupes frigorifiques, dont une grande partie serait dissipée via un émissaire liquide dans le port ou au-delà, selon les informations publiées lors des débats publics sur ce projet. Cette quantité considérable pourrait faire l'objet d'une utilisation spécifique. Cependant, la date retenue pour l'étude (2005) et l'absence d'horizon pour la construction du terminal, dont le chantier a été repoussé par la crise, ne permet pas de développer ce point.

Enfin, la région représente un nœud important d'échanges électriques entre Belgique, Grande-Bretagne, Pays-Bas, Allemagne d'une part, et la Normandie et la Région Parisienne d'autre part. Elle sert même parfois au transit du courant entre les régions belges.

Le développement le plus important pour la présente étude est celui des centrales à gaz en cycle combiné. Sur les 35 projets actuellement autorisés par l'Etat, trois se trouvent dans la région : Pont sur Sambre (Poweo) actuellement en service ; Hornaing (SNET) où une centrale charbon est encore exploitée ; Monchy-au-bois près d'Arras, par un groupe suisse ; enfin, à Blaringhem, Poweo souhaite construire une autre centrale. Selon une étude de E&E sur les sites français faisant l'objet d'autorisations, deux des sites (Monchy et Blaringhem) sont à considérer avec réserves tant la situation nationale est potentiellement surcapacitaire. En effet, le réseau RTE dans ses documents de projection montre qu'une quinzaine seulement des centrales sont nécessaires dans le cadre des scénarios de production électrique. Ces centrales seront aussi concernées par la mise aux enchères des quotas échangeables de CO2 ce qui peut renchérir leur fonctionnement. Les opérateurs sont des nouveaux entrants dans le marché français de l'électricité, qui souhaite disposer d'une puissance en propre pour ne pas dépendre des autres opérateurs. Vu le nombre de projets actuellement autorisés, il est peu probable que ces centrales pourront fonctionner plus d'un quart à un tiers de l'année. De même, leur utilisation en semi-base ou en pointe dégrade le rendement de ces machines, qui pourrait ne pas dépasser 50% contre 58% en théorie.

Dans aucun de ces sites il n'est envisagé de récupération de chaleur ou de soutirage de vapeur pour l'industrie. Le rendement primaire de l'électricité de la région va donc rester très défavorable, puisque seules les productions éoliennes fourniront une électricité peu énergivore. Chacune des centrales au gaz diffusera des effluents chauds pour une puissance de l'ordre de 350 MWth sur 2000 à 5000 heures (soit entre 700 GWh et 1750 GWh par centrale ou encore de 60 à 150 ktep). Au total dans un scénario médian (3 centrales construites au final, et une moyenne de fonctionnement de 4000 heures), la chaleur perdue se monte à environ 360 ktep (4200 MWh) ce qui place cet enjeu parmi les « gros gisements » de la région.

A titre de comparaison, la cogénération au gaz dans la région représente dans la région une chaleur récupérée de 4400 GWh au total soit la même quantité. Actuellement aucune contrainte de localisation ou incitation en vue de la récupération ultérieure de ces effluents perdus ou leur transmission à distance n'est envisagée.

Cependant, il ne s'agit pas d'un déplacement de production –puisque la production électrique régionale est très excédentaire– mais bien d'une consommation supplémentaire et d'émissions associées qui alourdissent la réalisation des engagements de notre pays et de la région. En particulier, l'application régionale « mécanique » de la directive sur les énergies renouvelables est rendue plus difficile.

Trois réponses peuvent être envisagées à cette situation :

- Une localisation ou une relocalisation des installations permettant l'alimentation de consommations régionales urbaines ou industrielles, via des réseaux de chaleur ou des utilisations industrielles faisant appel ou non à des pompes à chaleur.
- Une limitation du fonctionnement de ces centrales via des règles de marché contraignantes ou à l'inverse une rémunération suffisante des puissances fournies en pointe pour amortir les installations sur moins d'heures.
- Une substitution de ces productions par un maintien de la cogénération traditionnelle ou par des productions de courte durée, décrites dans la partie suivante. Actuellement, l'extinction des contrats de cogénération et l'absence de perspective rendent difficile l'estimation des quantités qui se maintiendront sous les conditions du marché.

Enfin, ces potentiels sont dépendants de l'avenir du secteur électrique, puisqu'une diminution de la part du nucléaire au profit des énergies renouvelables électriques se traduira mécaniquement par une diminution des consommations d'énergie primaires.

Le bilan du secteur de l'énergie est également contingent au potentiel des énergies renouvelables (solaire, bois, etc.). Cette question des énergies renouvelables et de leur potentiel ne fait cependant pas partie du périmètre de la présente étude. Les potentiels de l'énergie bois, tant en consommation qu'en production, seront à prendre en considération pour consolider les projections.

## V.2. Cogénération

La cogénération actuelle dans la région est donnée par le tableau suivant :

<b>La cogénération dans le Nord Pas de Calais (juillet 2010, MEEDDM)</b>							
	Unité	2002	2004	2005	2006	2007	2008
- Thermique en cogénération	MW	563	539	545	549	542	481
- Thermique en cogénération	N	70	72	75	75	75	72
<b>Production d'électricité et de chaleur en cogénération</b>	Unité	2002	2004	2005	2006	2007	2008
Production d'électricité dans les centrales de cogénération	GWh	2 156	2 284	2 136	1 871	2 031	1 959
Production vendue d'électricité par les centrales de cogénération	GWh	1 043	1 174	1 050	1 009	1 041	1 083
Production de chaleur par les centrales de cogénération	GWh	5 362	5 796	5 738	4 397	5 128	4 638
<b>Combustibles consommés en cogénération</b>							
<b>Consommation d'énergie dans les centrales de cogénération</b>	GWh PCI						
- Charbon dans les centrales de cogénération	GWh PCI	9 395	9 926	9 841	8 456	8 799	8 195
- Produits pétroliers dans les centrales de cogénération	GWh PCI	1 803	1 992	1 967	1 582	1 343	867
- Gaz dans les centrales de cogénération	GWh PCI	607	517	627	514	489	623
- Gaz dans les centrales de cogénération	GWh PCI	6 335	6 536	6 198	5 731	6 243	6 109
Pour mémoire, consommation totale de gaz dans les centrales thermiques							
- Gaz dans les centrales thermiques	GWh PCI	6 807	6 859	11 190	9 133	10 850	10 279

La cogénération existante mériterait à elle seule des développements importants sur l'utilisation optimale ou non des ressources présentes. Pour l'essentiel, elle est déjà incluse dans les développements sur l'industrie.

Pour des raisons de praticité, le scénario de référence sans actions a conservé la cogénération existante. En réalité, une partie de cette production va disparaître faute de garanties d'achat, ce qui pourrait dégrader les conditions moyennes de rendement du secteur électrique (tout en diminuant probablement les émissions). Cette option est donc conservatrice vis-à-vis des potentiels d'économie d'énergie.

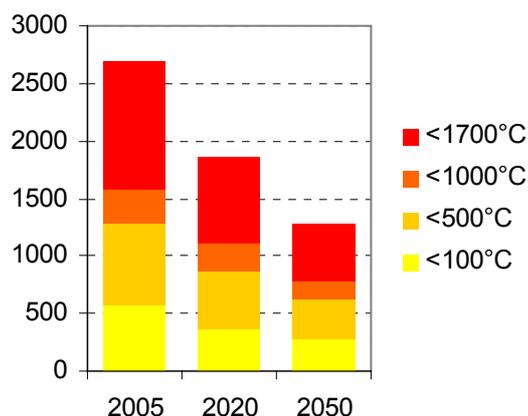
Le paragraphe présent observe la possibilité d'une extension de la cogénération à des productions se substituant à des centrales thermiques, en amont des process et des consommations de l'industrie, voire mettant en œuvre des installations sur réseau de chaleur.

Ce principe a été déjà abordé dans la synthèse de l'industrie (§IV.1). Il s'agit ici d'améliorer le rendement global du système en substituant une partie de la production des centrales CCG au gaz, éloignées des centres de consommation de la chaleur.

Pour pouvoir piloter par la consommation d'électricité ces installations, il est alors nécessaire que les productions de chaleur soient redondantes, par exemple par des brûleurs ou chaudières installés en parallèle des turbines ou des moteurs concernés. Ces turbines deviennent ainsi des moyens de production de pointe ou semi-base, avec des rendements supérieurs aux meilleures CCG actuels.

La Figure 76 montre la consommation d'énergie, par niveau de température, des usages thermiques dans l'industrie du Nord-Pas-de-Calais.

Figure 76 – Répartition des consommations d'énergie dans l'industrie du NPDC, par niveau de température – scénario S\_gisement



		2005	2020	2050
<100°C	ktep	567	360	283
<500°C	ktep	711	506	346
<1000°C	ktep	294	242	144
<1700°C	ktep	1108	747	510

Source : E&E

Nous pouvons déduire de ces consommations un potentiel cogénérateur pour les différents niveaux de température.

Pour cela nous avons considéré deux technologies matures, la turbine à gaz et le moteur, en partant des ratios suivants :

	Electricité	Chaleur	Pertes	Ratio E/C
Turbine	35%	55%	10%	0,63
Moteur	45%	35%	20%	1,28

Les chaleurs substituables sont estimées à 50% pour les utilisations à moins de 100°C (notamment chauffage), celles supérieures à 500°C à 10%, un taux limité lié à l'obligation d'utiliser une post-combustion de réchauffe des gaz dans de telles installations ; un taux plus élevé (90%) pour les utilisations à moins de 500°C qui peuvent être installées en sortie de la turbine à gaz. Cependant, ces derniers potentiels ne sont pas directement accessibles pour des systèmes récupérateurs existants lorsque l'on vise des températures plus élevées. Les potentiels accessibles à l'horizon 2020 méritent d'être précisés site par site en fonction des niveaux d'investissement et des facteurs d'utilisation attendus.

A ces taux techniques s'ajoute le facteur d'utilisation limité à une saison puisque la production thermique n'a de sens qu'en période de pointe hivernale. Ramené à 3000 h par an, la production s'élève ainsi à 931 GWh en 2020 et 1351 GWh en 2050.

Par rapport à une centrale à gaz à cycle combiné, ce programme va substituer une quantité de gaz donnée par la différence des rendements marginaux, soit 885 GWh en 2020 et 1038 GWh en 2050, ou encore respectivement 76 et 89 ktep.

Le calcul simplifié est présenté dans le tableau suivant :

<b>Production électrique de pointe en cogénération pilotée</b>				
		2005	2020	2050
Potentiel chaleur cogénéritable (total annuel)	GWh	0	3104	4502
Electricité cogénérée sur base de 3000 heures ou moins	GWh	0	931	1351
Consommation gaz complémentaire	GWh	0	978	1418
L'électricité produite se substitue à de la production de CCG gaz				
Gaz substitué	GWh	0	1863	2456
Economie d'énergie primaire (gaz)	GWh	0	885	1038
	ktep	<b>0</b>	<b>76</b>	<b>89</b>
E&E Consultant 2010				

Ces potentiels supplémentaires par rapport aux cogénérations existantes sont dus à plusieurs facteurs, en particulier le besoin de pointe qui incite à trouver des potentiels pilotables depuis les gestionnaires de la répartition électrique et non des cogénérations pilotées par la consommation de chaleur.

Le facteur d'utilisation dégradé par rapport à une installation de base (typiquement moins d'un tiers de l'année) et les coûts du pilotage sont compensés par le gain carbone important (seuls les besoins de pointe sont assurés par ce système), par les avancées technologiques (électronique de puissance, pilotage des dispositifs anti-pollution) et par le fait de pouvoir arbitrer entre les coûts des énergies (achat de gaz ou d'électricité, voire stockage thermique temporaire) qui donne aux opérateurs un atout économique important. On peut aussi considérer que la cogénération passe d'un régime permanent (4000 heures et au-delà) à un régime tenant compte à la fois du carbone substitué, des pointes assurées, et des prix des énergies. Ce type d'installation pilotée par les besoins électriques a par exemple été décrit par Worrell<sup>38</sup>.

A noter que le cycle Cheng, basé sur une turbine de 20 à 30 MW, peut correspondre à ce type d'usage plus souple que la cogénération classique, aussi bien sur réseau de chaleur que sur process industriel. Cette turbine possède en effet un ratio électricité-chaleur plus important que celui de la turbine simple, car elle peut augmenter sa puissance électrique en cas de besoin important.

Le « clustering »

Il s'agit de rendre possible l'installation d'une cogénération à simple voire à double cycle en mutualisant les besoins en chaleur sur une zone industrielle comprenant plusieurs grosses unités. Les rendements et les ratios électricité-chaleur sont alors nettement plus favorables.

Le regroupement ou « clustering » est par exemple décrit par le bureau Pöyeri dans son rapport de 2008 sur la Grande-Bretagne<sup>39</sup>, qui identifie dans ce pays des sites propices pour une puissance de 11 à 16 GWe pour une consommation de chaleur de 8 à 11 GWth soit un ratio électricité-chaleur de 1,5 pour 1 environ. Cela permet d'assurer une rentabilité aux projets même sur des durées de fonctionnement limitées, et peut également assurer un gain carbone élevé par rapport aux centrales ne produisant que de l'électricité. Dans ce cas, la centrale dessert un ou plusieurs sites et injecte sur le réseau en haute tension.

<sup>38</sup> Owen Bailey and Ernst Worrell. "Clean Energy Technologies: A Preliminary Inventory of the Potential for Electricity Generation" Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory, September 2005 (LBNL-57451).

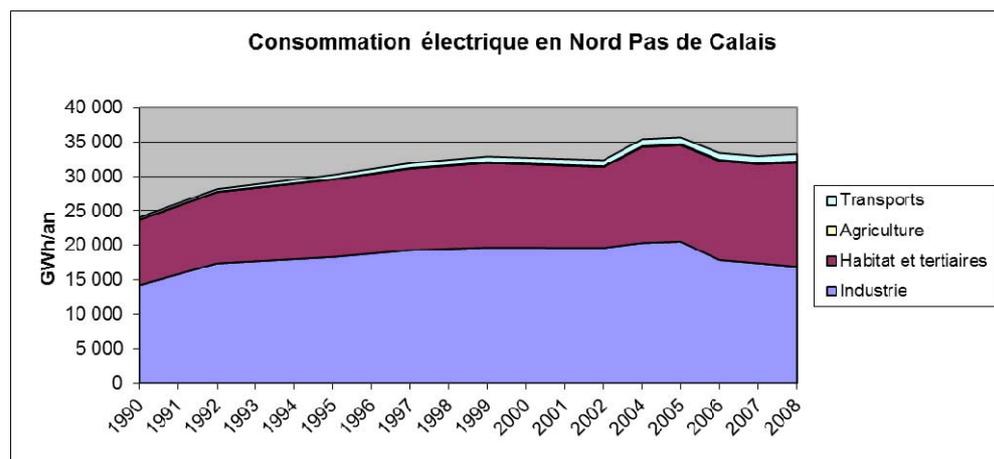
<sup>39</sup> "POTENTIAL FOR CCGT CHP GENERATION AT INDUSTRIAL SITES IN THE UK", Pöyry 2008, Oxford UK

### V.3. Transformateurs électriques et économies dans les réseaux

Dans cette partie, on évalue l'ordre de grandeur des pertes sur les réseaux et les transformateurs dans le Nord Pas de Calais, puis l'échelle des potentiels accessibles.

Tout d'abord, les pertes dépendent fortement du niveau de consommation. Dans le Nord Pas de Calais, seul un tiers des consommations s'effectue en basse et moyenne tension, le restant est soit livré à du grand tertiaire soit aux industries. Ainsi, le Nord Pas de Calais représente 5% de la consommation française en Basse Tension (BT), mais 15% des livraisons en Haute Tension (RTE).

En 2009 ce sont 10,9 TWh qui sont consommés en BT, pour 23,1 en HT. On notera que le tertiaire consomme désormais une part importante des consommations HT, une évolution due au développement du tertiaire de grands bureaux depuis deux décennies dans la région, et aussi au chauffage électrique et aux consommations spécifiques croissants dans ces immeubles :



La consommation en basse tension se répartit de la manière suivante (2009) :

	Nord-Pas-de-Calais	France métropolitaine
<b>Total électricité basse tension (GWh)</b>	9 973	189 071
<i>dont :</i>		
<i>Usages domestiques et agricoles</i>	7 784	147 104
<i>Eclairage public</i>	402	5 526
<i>Usages professionnels et divers</i>	1 786	36 436
<b>Consommation par habitant (en milliers de kWh/habitant et par an)</b>	2,5	3,1

Source : Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer - Service de l'Observation et des Statistiques (SOeS) 2010

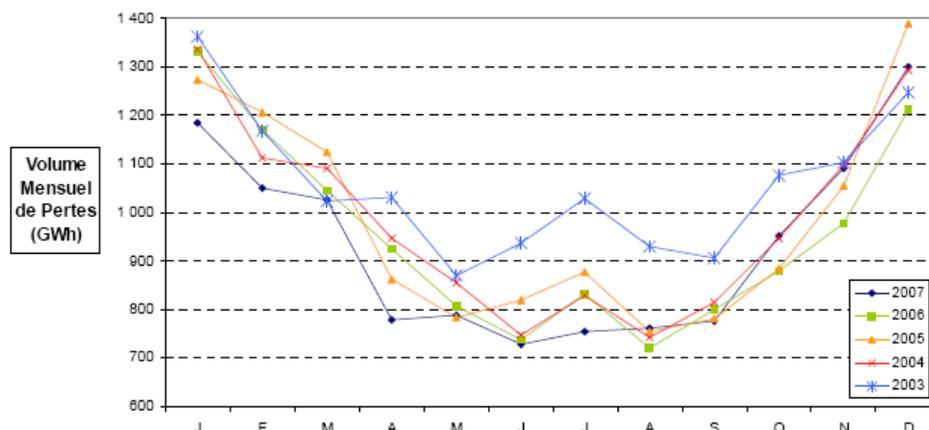
#### ► Caractérisation des pertes

En haute tension les pertes sont estimées à 2,5% sur l'année. Ces pertes sont réparties à part similaire entre les trois niveaux de tension (400kV, 225 kV, <150 kV). Plus la tension est élevée, moins la perte est liée à la consommation.

La variabilité saisonnière de ces pertes est très marquée, comme l'illustre le graphe suivant basé sur la perte au niveau national dans le réseau RTE. Ceci est dû à la fois à la variation des consommations mais aussi aux conditions météorologiques. Un temps pluvieux entraînera beaucoup plus de pertes sur les différents réseaux.

Ainsi, selon RTE, les pertes sur le réseau national HT ces dernières années varient entre 1400 GWh par mois (décembre-janvier) et 750 GWh (juillet-août) soit un ratio hiver-été de 1,9 ce qui est très élevé. Pour les niveaux de tension inférieurs, ce ratio est encore plus élevé.

## Variabilité annuelle



### Les volumes de pertes varient en fonction des aléas (météo, plan de production, contraintes environnementales, travaux sur le réseau ...)

Selon RTE, les pertes sur le réseau HT sont avant tout liées aux effets Joule en ligne (78%), et sont donc nettement fonction des niveaux de tension considérés. Les effets de couronne ont un impact inférieur à 10%. Les transformateurs consomment en tant que pertes à vide pour 5% et en effet Joule pour 6%. Enfin, les postes ont une consommation interne de l'ordre de 3%.

Les pertes des transformateurs sont dues à la magnétisation du circuit (pertes à vide) et à la circulation de courant dans les enroulements (pertes dues à la charge). Ainsi, les pertes à vide sont indépendantes de la charge et sont présentes dès que l'appareil est connecté au réseau. Les pertes dues à la charge sont proportionnelles au carré du courant qui traverse les bobinages, donc fonction de la charge. Enfin, les transformateurs consomment de la puissance réactive qui peut aussi correspondre à des consommations importantes lorsque les circuits sont inadaptés.

Les échauffements dus aux pertes sont évacués par le système de refroidissement. Pour des appareils utilisés dans l'industrie il est par ailleurs envisageable de récupérer l'eau chaude produite pour des applications à basse température.

### ► Les pertes en MT/BT

En moyenne et basse tension sur le réseau ERDF, les pertes sont de l'ordre de 5 à 6% en moyenne sur l'année, avec une saisonnalité encore plus marquée que pour la haute tension.

Ainsi, avant même de prendre en compte le potentiel technique d'amélioration des équipements ou de leur gestion, il convient donc de remarquer que les pertes sont en grande proportion saisonnières et directement liées au développement des usages thermiques de l'électricité (chauffage électrique...). Plus on considère les niveaux bas de tension, plus les intensités –et donc les pertes– seront importantes, suivant la formule  $RI=V$ ,  $V$  étant peu ou prou constant pour un équipement donné.

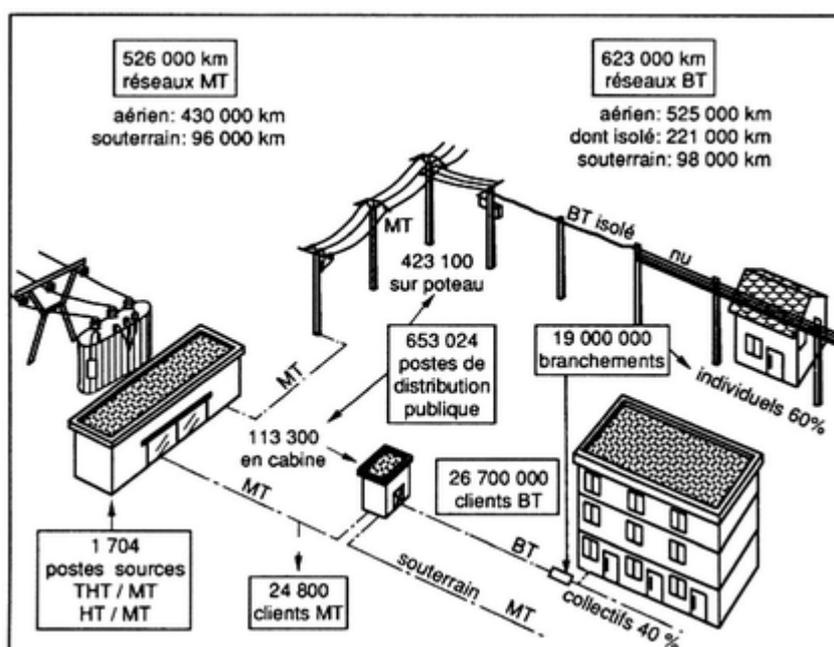
Les consommations des équipements thermiques, qui peuvent représenter la moitié de la pointe nationale, vont peser d'un poids disproportionné dans les pertes, un phénomène encore accentué pour les zones purement résidentielles. Des niveaux de 12 à 15% de pertes

attribuables aux usages thermiques (chauffage électrique) sont couramment cités par les opérateurs.

De tels taux peuvent être mis en regard des tarifs avantageux encore aujourd'hui consentis aux usagers, tel le système EJP ou Tempo qui incitent à certaines limitations d'usage en échange d'une forte réduction de la facture. Ces tarifications sont financées par les usagers non thermiques. Au total au niveau national, les 70 TWh de chauffage électrique dans l'habitat et le tertiaire engendrent donc des pertes « supplémentaires » dues à la saisonnalité atteignant plusieurs milliers de GWh. Ces quantités impressionnantes n'atteignent pas les compteurs, et sont donc financées par l'ensemble des usagers non thermiques.

Une politique de fort transfert du chauffage en pointe, ou encore la limitation de la pointe par des signaux tarifaires ou non tarifaires, vont donc avoir des bénéfices importants en terme de pertes au réseau, alors que ces politiques sont avant tout motivées par les besoins d'investissement dans des centrales de pointe, de sûreté d'approvisionnement national ou régional, etc...

### ► Les pertes aux transformateurs



Source : EDF 2000.

Les transformateurs sont des appareils déjà très performants, mais les quantités d'énergie qui y transitent sont également très importantes. Les nouvelles technologies combinent à la fois des matériaux d'entrefer magnétique plus performants, des géométries et dimensionnements optimisés, pour aboutir à des performances pouvant diviser par deux les pertes voire plus. Pour les besoins de l'exercice, on considère un potentiel des nouvelles générations d'équipement de 40% par rapport aux appareils des parcs existants.

Les transformateurs de distribution publique font l'objet d'une fiche normalisée d'opération d'économie d'énergie donnant droit à un certificat d'économie d'énergie<sup>40</sup>.

Il s'agit aussi d'un des secteurs concernés par les évolutions européennes via un accord volontaire de branche.

Estimation quantifiée

On considèrera que les transformateurs représentent 11% des pertes réseau en Haute Tension et 20% en Basse Tension. Le potentiel d'économies d'énergie est alors de l'ordre de 88,5 GWh

<sup>40</sup> Opération RES-EL-02 « Transformateur à haut rendement pour la distribution publique d'électricité »

ou 0,26% de la consommation régionale, comme illustré dans les tableaux suivants, qui estiment les pertes totales des réseaux publics, puis la part attribuable aux transformateurs.

Estimation des pertes en Nord Pas de Calais (en % et en GWh)			
	Consommations	Pertes RTE	Pertes ERDF
		2,5 %	6 %
BT	10700	267,5	642
HT	23100	577,5	
	total des pertes	845	642
E&E d'après RTE et INSEE 2009			

Ces pertes s'appliquent à la distribution publique d'électricité, tandis que de nombreux transformateurs chez les clients livrés en haute tension sont décomptés dans le tertiaire ou l'industrie.

On peut alors en déduire une estimation des pertes et gains potentiels dans les transformateurs à l'horizon de long terme :

Pertes aux transformateurs (%)		
Base 40% de gain	HT	BT
% des pertes transformateurs dans les pertes totales	11%	20%
Perte totale des transformateurs (GWh)	92,95	128,4
Potentiel (GWh)	37,18	51,36
Total		88,54

Cependant, ce chiffre de potentiel reste difficile à interpréter en termes de politiques publiques car aucune donnée n'a été accessible sur l'âge présent des transformateurs et des postes. Une première étape pourra être que les financeurs de ces équipements (départements via le Fonds d'Amortissement des Charges d'Electrification ou FACE) et les collectivités concédantes (communes ou intercommunales) organisent la transparence des dépenses et des parcs existants et l'imposent au concessionnaire ERDF.

A l'horizon 2020 ce chiffre ultime peut être divisé par quatre si l'on considère un rythme « naturel » de remplacement pour ces équipements de durée de vie longue (ainsi la fiche RES-EL-02 prévoit une durée de vie conventionnelle de 30 ans. Ce sont plusieurs dizaines de milliers de transformateurs qui sont alors concernés (sur 750 000 postes BT environ en France). La rotation peut cependant être accélérée d'une part si le surcoût peut être amorti sur une période courte dans un contexte d'exigence forte sur l'économie d'énergie, d'autre part par les évolutions nécessaires des réseaux (introduction de communications et de productions locales) qui justifient une évolution des matériels.

A minima, une exigence de performance accrue pourrait être posée sur les installations faisant l'objet de subventions publiques, ce qui sera sans doute le cas pour des équipements liés à l'alimentation des véhicules électriques.

Ce sont donc des gains de l'ordre de 20 à 40 GWh qui peuvent être accessibles dans l'horizon court, tandis que le potentiel ultime est de l'ordre de 88 GWh (sur la base d'une consommation constante d'électricité régionale).

Le chiffre peut sembler faible au regard des usages thermiques de l'électricité (chauffage électrique) ou encore vis-à-vis des moteurs (près de 50% des usages totaux en région).

Cependant, on le comparera à la consommation d'éclairage public dans la région, soit 402 GWh (INSEE). Cette dernière a pourtant fait l'objet de l'attention soutenue des organes spécialisés (Agence Régionale de l'Energie puis ADEME...), pour un potentiel d'économies d'un ordre de grandeur à peine supérieur.

De plus, les réseaux subissent actuellement une transformation importante due au passage à un comptage communicant et à l'introduction généralisée de micro-productions (solaire). Il serait alors paradoxal que les équipements ne suivent pas cette modernisation.

## V.4. Synthèse secteur énergie

---

Sur le secteur de l'énergie, le choix sur l'évolution du mix énergétique aura une grande importance sur le ratio énergie primaire / énergie finale. Ce mix dépend en grande partie du développement des énergies renouvelables ou non et renvoie donc au volet « potentiel des énergies renouvelables ». Néanmoins, deux leviers supplémentaires paraissent intéressants à mobiliser : développement de la cogénération industrielle de pointe ou de semi-base, ainsi la limitation des pertes sur les transformateurs du réseau électriques. Les potentiels attendus de gain sont résumés dans le tableau suivant :

Gisements d'économie d'énergie

	2020	2050
Cogénération industrie	76 ktep	89 ktep
Efficacité transformateur	40 TWh	89 TWh

## VI. Secteur Tertiaire

NB : Dans le cadre de cette étude, le secteur Tertiaire n'a pas fait l'objet d'une évaluation approfondie comme pour les secteurs résidentiels, transport et industrie (qui forment les enjeux principaux de la région). Seuls des éléments d'appréciation ont pu être formulés.

### VI.1. Définition du secteur

Nous reprenons ici la définition du secteur telle qu'elle est proposée par l'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 services 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 périmètre couvert par les estimations de consommations énergétiques et de polluants atmosphériques est limité aux bâtiments tertiaires, tel qu'entendu dans les systèmes de comptabilités nationaux.

Dans le cadre de cet exercice:

- Administration : les bâtiments de bureaux publics tels que ceux de l'Etat et des collectivités locales.
- Bureaux : les locaux servant de bureaux aux entreprises privées.
- Cafés-Hôtels-Restaurants : les cafés et restaurants (incluant les cantines et restaurant d'entreprises), ainsi que les activités d'hébergement. Pour des raisons de commodité de lecture, cette catégorie est intitulée dans le document « CAHORE ».
- Commerces : tous les locaux de commerce de gros ou de commerce de détail.
- Enseignement-Recherche : les bâtiments de l'enseignement primaire, secondaire et supérieur ainsi que les laboratoires et les activités de formation continue ou toute autre activité de formation.
- Santé-action sociale : les établissements de santé tels que les hôpitaux ou les cliniques, ainsi que les centres d'accueil pour personnes handicapées, crèches, activités thermales. Sont exclues les formes d'activités proches de l'habitat communautaire (ex : maisons de retraite).
- Autres : un ensemble d'activités diverses de loisirs (cinémas, radio, télévisions), des installations sportives ou de locaux dédiés aux transports (gares, aéroport). Il regroupe en fait un ensemble d'équipements très hétérogène, ayant des comportements thermiques très variables.

### VI.2. Parc Tertiaire

Le parc tertiaire en Nord-Pas de Calais est estimé à un total de 49 millions de m<sup>2</sup>, pour environ 6% des surfaces nationales.

La répartition du parc Tertiaire régional est représentée en Figure 77 de manière agrégée. Le parc se répartit comme la moyenne nationale avec une prédominance des surfaces de Commerces, suivies par l'enseignement, les bureaux et la Santé.

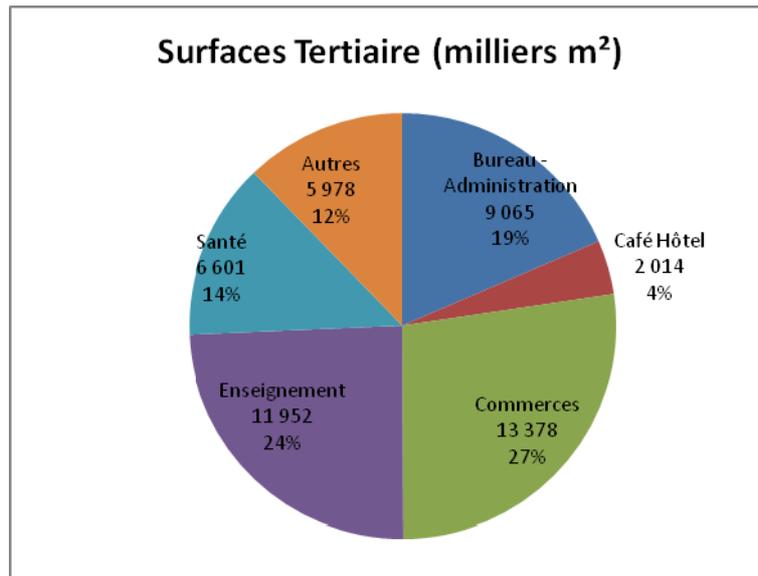


Figure 77 : Répartition des surfaces Tertiaires en NPdC  
Source :Energies Demain

#### ► Bilan énergétique du parc Tertiaire

Le parc Tertiaire consomme 17 000 GWh/an en énergie finale, ce qui représente environ 10% des consommations régionales. La région se caractérise par une consommation de fioul particulièrement élevée (cf. Figure 78). L'électricité reste l'énergie la plus consommée.

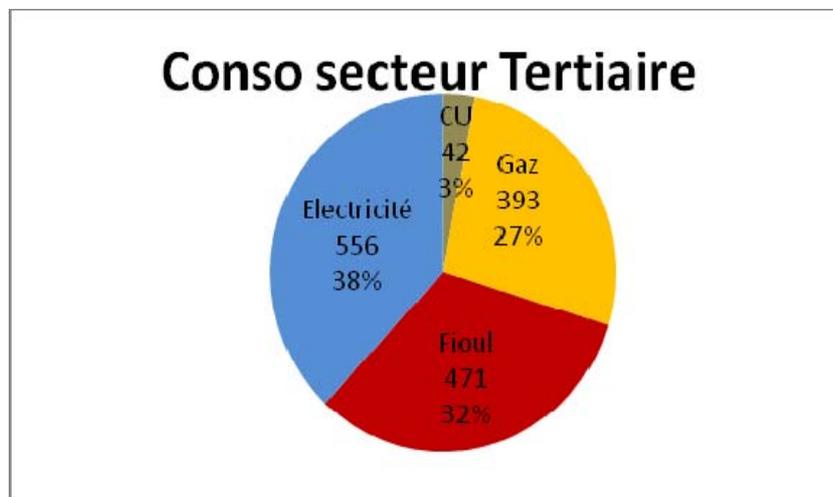


Figure 78 : Répartition des consommations du parc Tertiaire par énergie  
Source : NORENER

Les évolutions des consommations entre 1990 et 2008, montre une augmentation de la consommation globale du secteur tertiaire de 37%, principalement explicable par l'intensité constructive sur ce secteur, notamment sur les bureaux. A noter que sur cette même période, la consommation de l'électricité a progressé de 59%. La hausse soudaine des consommations, principalement de fioul, depuis 2007, après 5 ans de baisse n'est pas totalement expliquée. Surtout que cette hausse survient dans un contexte de prix élevé de cette énergie.

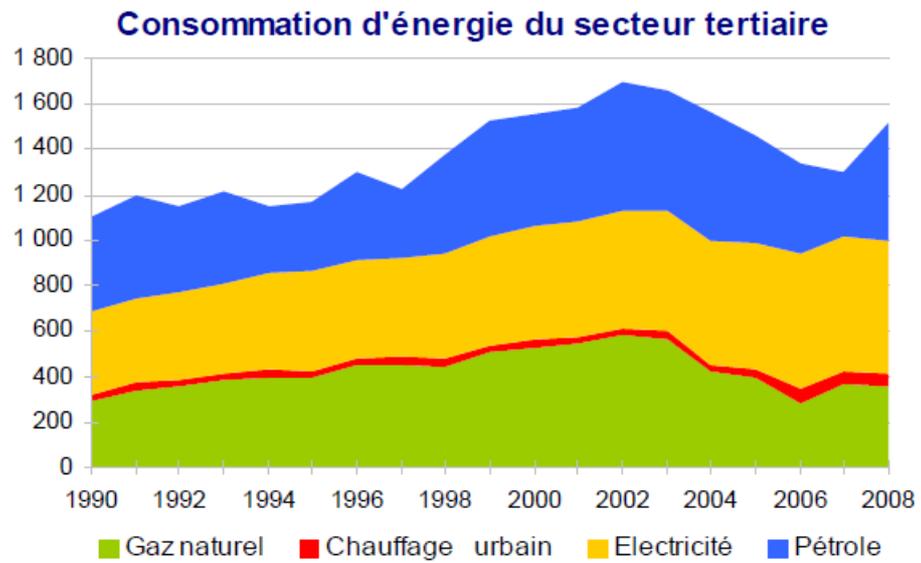
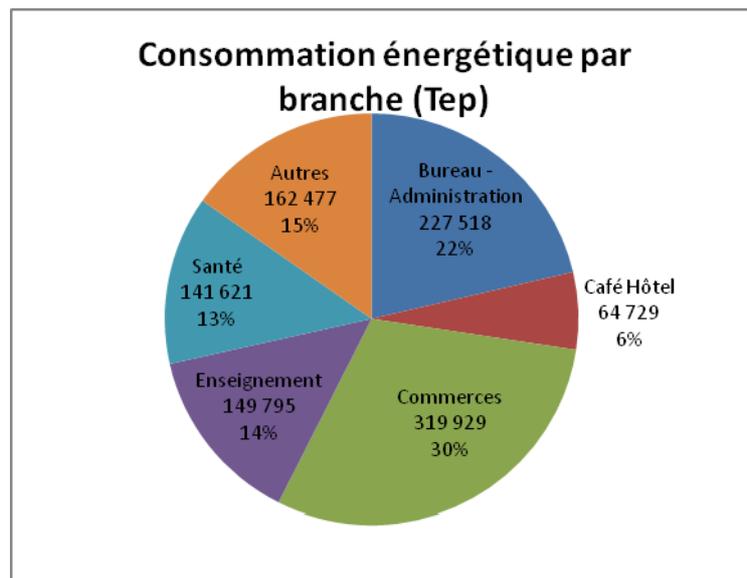


Figure 79 Evolution de la consommation du secteur Tertiaire depuis 1990  
Source : NORENER

## ► Décomposition des consommations énergétiques Tertiaires

- Consommations par branches



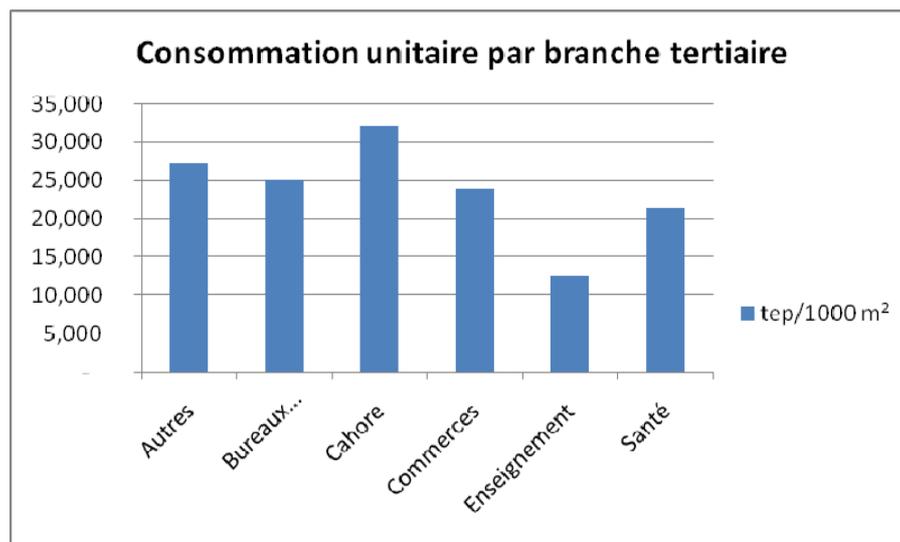
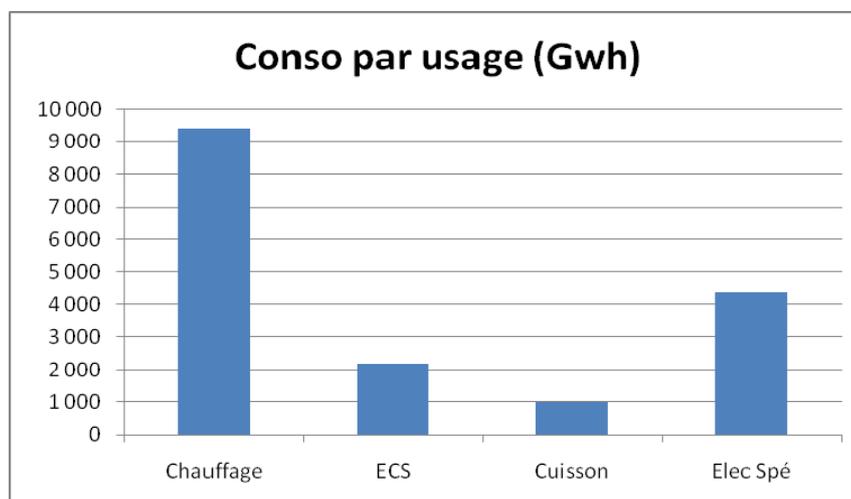


Figure 80 : Consommations d'énergies unitaires par 1000 m<sup>2</sup>

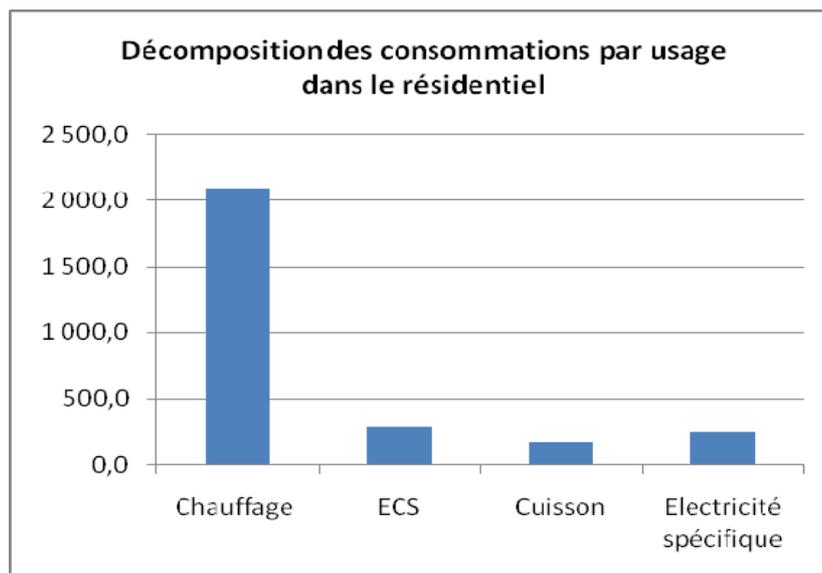
En observant le ratio d'énergie consommée par m<sup>2</sup>, (cf. ), on observe que la branche Café-Hôtel-Restaurant (CAHORE) possède des consommations unitaires élevées – lié notamment à des consommations élevées pour la cuisson et l'eau chaude - mais pour un parc, en m<sup>2</sup>, assez faible. A contrario, le parc Enseignement est second en termes de surfaces, mais possédant des consommations unitaires relativement faibles, sa part dans les consommations est plus faible.

- **Consommations globales par usages**

L'analyse des consommations par usage dans le Tertiaire montre la part importante de l'électricité spécifique, après le chauffage.



Ceci est particulièrement remarquable si on compare cette distribution des usages à celle du résidentiel.

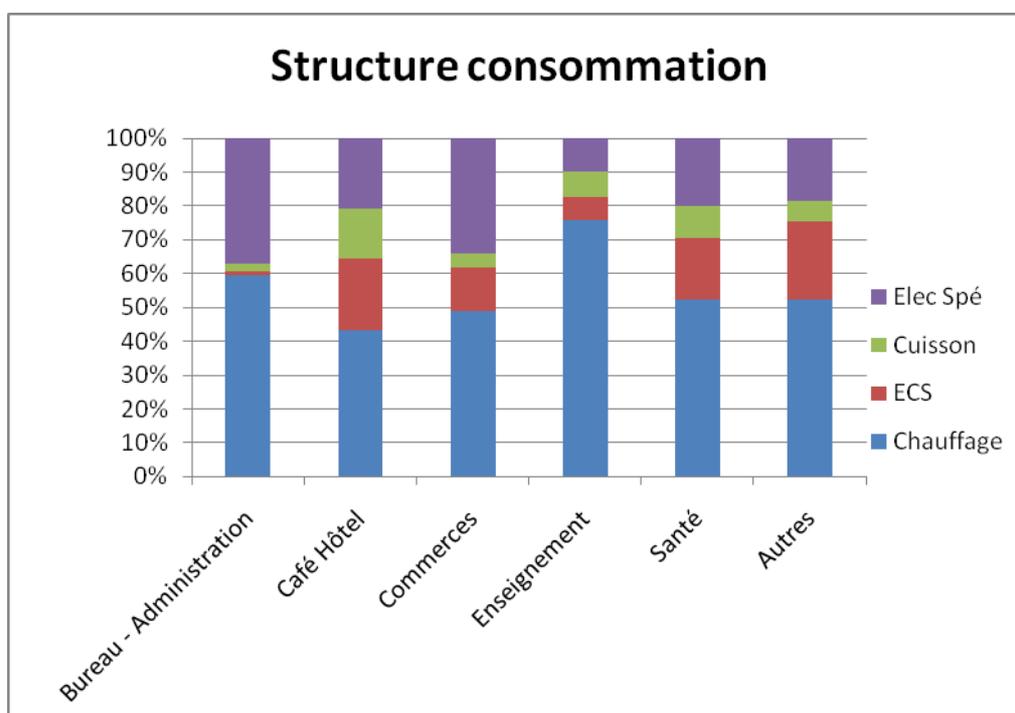


- **Consommations par usages et par branches**

La répartition des consommations par usage est différente selon les branches tertiaires considérées.

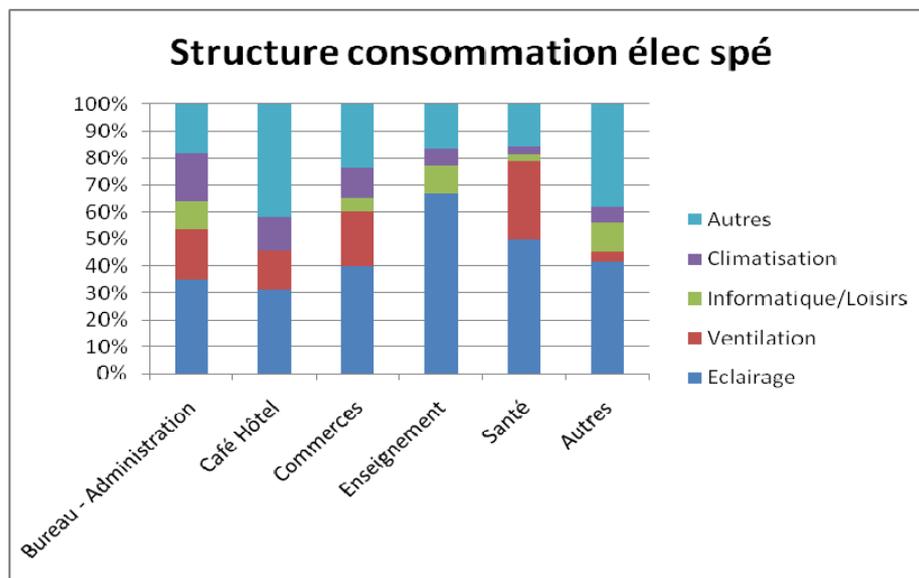
- Ainsi les branches « Bureaux-Administration » et « Commerces » se distinguent par leur usage d'électricité particulièrement important.
- Les consommations d'ECS se concentrent dans les branches CAHORE, Habitat communautaire et Santé.

**Les différents leviers d'actions en termes d'efficacité énergétique seront donc à distinguer selon les branches.** C'est ce qui rend ce secteur si difficile à appréhender, car il désigne un ensemble de comportements thermiques très différents.



- **Structure des consommations d'électricité spécifique**

De façon notable par rapport au secteur du bâtiment, la consommation d'électricité pour l'éclairage occupe une part importante des consommations globales d'électricité spécifique du secteur Tertiaire (40%). Ce niveau de consommation élevé explique en partie les évolutions plus importantes sur la consommation d'électricité observées sur ce secteur. En particulier, les usages de climatisation et de ventilation sont eux particulièrement importants dans les branches « Santé », « Bureaux-Administration » et « CAHORE ».



## VI.3. Potentiels de réduction

L'amélioration des performances énergétiques des bâtiments procède de deux catégories d'actions :

- les travaux sur le bâti, pour renforcer l'isolation des parois et limiter les déperditions de chaleur ;
- L'introduction de systèmes performants de chauffage, climatisation et d'EnR.
- l'exploitation efficace des équipements consommant de l'énergie et la réalisation de travaux d'amélioration de ces équipements. Ces actions permettent le plus souvent de réduire la consommation d'énergie de 10 à 25 %.

### VI.3.a. La construction neuve

#### ► Les réglementations thermiques

Les bâtiments neufs tertiaires doivent respecter des réglementations thermiques permettant de limiter leur consommation en chauffage, ECS, éclairage, ventilation et climatisation.

Les prochains bâtiments neufs tertiaires devront respecter les prochaines réglementations thermiques, la RT 2012. Cette réglementation fixe un niveau « BBC » à respecter (60 kWh/m<sup>2</sup>). Compte tenu des niveaux de consommation actuels des bâtiments neufs (autour de 150 kWh/m<sup>2</sup>), l'objectif est très ambitieux.

En 2020 les bâtiments tertiaires devront être « BEPOS », c'est-à-dire produire plus d'énergie qu'il n'en consomme pour les usages cités précédemment.

Ces réglementations sont ambitieuses et tout l'enjeu sera de les faire respecter. En effet la mise en œuvre des travaux et le comportement des usagers provoquent souvent un dépassement conséquent des consommations réelles par rapport aux consommations théoriques normatives.

### ► Impact indirect : la mixité fonctionnelle

La localisation des nouveaux services tertiaires pose un autre enjeu en lien avec les transports. Une localisation harmonieuse des nouveaux services au plus près des usagers et des employés permet de diminuer les distances de transport, et donc l'usage de la voiture particulière ce qui entraîne une baisse des émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants atmosphériques.

Aussi on pourra interroger les enjeux du neuf sur le secteur Tertiaire au regard des performances énergétiques comme celle de la mixité urbaine.

### VI.3.b. Réhabilitation thermique

La réhabilitation thermique des bâtiments existants est un gisement important de réduction des consommations puisque le chauffage reste le premier poste de consommation énergétique.

Ainsi se pose la question d'identifier les branches prioritaires, en prenant en compte les facilités de mise en œuvre des travaux, des coûts et de l'ambition que l'on souhaite fixer à la performance énergétique finale. Pour ces raisons le parc public pourrait être une cible prioritaire pour sa facilité.

### ► Exemple d'impact liées à la réhabilitation : Bureaux

Les bureaux peuvent être présents dans différents types de bâtiments comme un :

- Immeuble à plateau large (Tour),
- Immeuble à plateau mince (Tour),
- Immeuble de centre-ville
- Petit immeuble en zone péri-urbaine (zone d'activité)
- Immeuble résidentiel mixtes

Nous nous intéressons aux deux typologies les plus représentatives du parc en termes de surfaces : les immeubles à plateau large et les immeubles de centre-ville (65% du parc de bureaux).

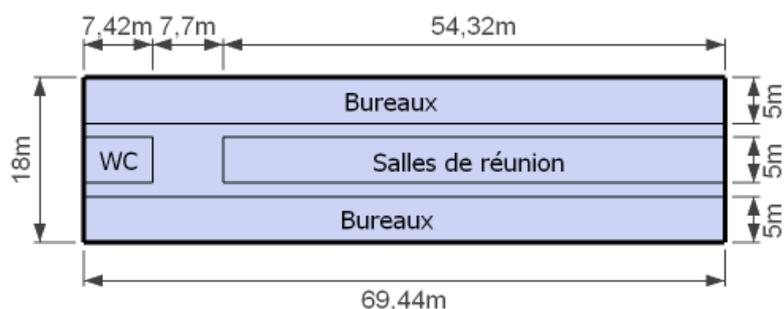
- Cas d'un immeuble à plateau large

Ce bâtiment peut être décrit par les paramètres suivants :

Nbr moyen de niveau : 10  
Taux d'ouverture :

- o 50% av. 1980
- o 85% ap. 1980

Mitoyenneté : 0%  
Béton non-isolé  
Toiture terrasse non isolée  
Double vitrage



Un tel bâtiment consomme en moyenne pour le chauffage : 266 kWh/m<sup>2</sup>

Deux types d'isolations peuvent être entreprises :

#### ► Isolation 1 : une isolation basique

- Isolation mur extérieur (8 cm)
- Isolation toiture sous étanchéité (6 cm)
- Conservation vitrage

Consommation après isolation : 218 kWh/m<sup>2</sup> . Soit 18% de gains.

#### ► Isolation 2 : une isolation plus ambitieuse

- Isolation mur extérieur (12 cm)

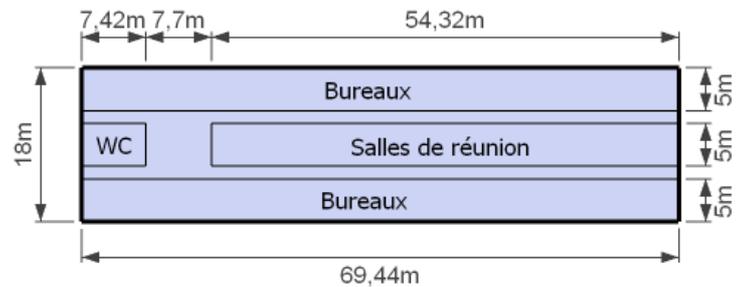
- Isolation toiture sous étanchéité (10 cm)
- Changement fenêtre

Consommation après isolation : 110 kWh/m<sup>2</sup> . Soit 58% de gains.

### ► Cas d'un immeuble de centre ville

Ce bâtiment peut être décrit par les paramètres suivants :

Nbr moyen de niveau : 3  
 Taux d'ouverture : 27%  
 Mitoyenneté : 20%  
 Maçonneries simples  
 Combles perdus  
 Simple vitrage



Un tel bâtiment consomme en moyenne pour le chauffage : 246 kWh/m<sup>2</sup>

#### ► Isolation test

- Isolant Comble (14 cm)
- Isolation paroi (8 cm)
- Double vitrage

Consommation après isolation : 142 kWh/m<sup>2</sup> . Soit 42% de gains.

On retiendra pour l'exercice des ordres de grandeurs de gains liés à la réhabilitation des logements - sur les consommations de chauffage – de l'ordre de 30%.

### VI.3.c. GTA/GTB - Maintenance

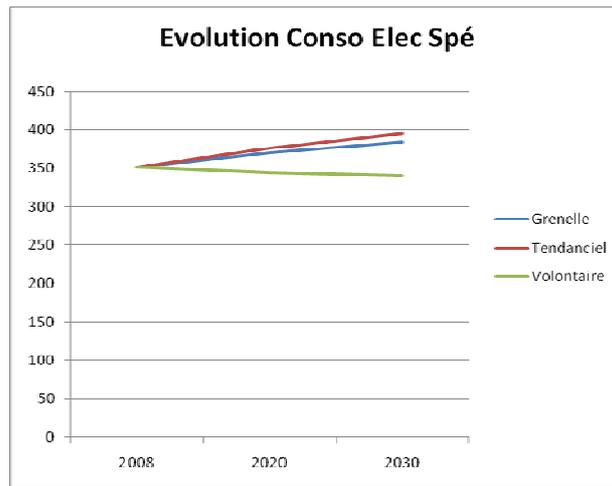
La bonne maintenance bâtiments tertiaires reste un levier d'économie d'énergie important, en particuliers sur les grands ensembles (Tours de bureaux, Centres commerciaux, Universités...) ont recours à des services d'exploitations des installations de chauffage, ventilation, climatisation...

Les actions techniques pouvant être mises en place – souvent par l'opérateur de maintenance - peuvent porter sur le bâti, sur les équipements techniques, sur l'exploitation (conditions d'usage et comportement des usagers inclus), sur la maintenance ou sur plusieurs domaines à la fois. Des marges d'économies importantes peuvent ainsi être dégagées de l'ordre de 20% des dépenses énergétiques.

### VI.3.d. Electricité spécifique

Les consommations d'électricité spécifique dans le bâtiment tertiaire sont particulièrement élevées, de l'ordre de 40%. Ces consommations augmentent unitaire de façon significative, liées à la pénétration de nouveaux usages et au développement de l'usage de la climatisation.

La directive Européenne Eco-conception vise à réduire les consommations de différents appareils électriques et tend à infléchir cette tendance, néanmoins son impact reste globalement marginal. Des actions supplémentaires peuvent être imaginée telle que la diminution de la puissance des ordinateurs ou la diminution de l'usage de la climatisation.



## VII. Annexes

	PAC A/E	PAC A/A	PAC S/E
Investissement	++	+	++++
COP (Coefficient De Performance)	2 - 4	1.5 - 3	4 - 5
Avantages	<p>Système simple</p> <p>Adaptation possible au réseau de chauffage existant</p>	<p>Rafratchissement possible et bien maîtrisé</p> <p>Couplage avec VMC</p>	<p>Performances</p> <p>Adaptée aux climats rigoureux</p> <p>Adaptation possible au réseau de chauffage existant</p>
Contraintes	<p>Nécessite équipement très performant pour climats rigoureux</p> <p>Attention au bruit</p>	<p>N'assure pas l'ECS</p> <p>Passage de gaines de soufflage</p> <p>N'assure pas forcément la totalité du chauffage</p> <p>Performances plus faibles qu'autres PAC.</p> <p>Attention au bruit</p>	<p>Nécessite terrain</p> <p>Nécessite installateur bien qualifié</p> <p>Coûts</p>