



Guide du parc d'activités bas carbone

Colophon

La présente publication a été élaborée par les membres du Programme INTERREG IVA 2 Mers en charge du projet «Réponses à l'Économie du Carbone» (Answers to the Carbon Economy - ACE). Les six partenaires, issus de trois États Membres de l'Union Européenne (Royaume-Uni: les organismes Hastings Borough Council et Sea Change Sussex; Belgique: wvi, la Ville et l'Université de Gand; France: ECOPAL), ont activement collaboré et apporté leur contribution dans le cadre de ce recueil. La publication s'appuie, en partie, sur des études de cas réalisées durant le projet mené dans la région des 2 Mers mais également sur des travaux de recherche effectués par deux élèves doctorants de l'Université de Gand dans le cadre du projet.

Le projet ACE est cofinancé par le Programme INTERREG IVA 2 Mers (Fonds Européen de Développement Régional) qui vise à promouvoir la coopération transfrontalière entre les régions côtières de quatre États Membres: la France (Nord-Pas-de-Calais), l'Angleterre (Sud-Ouest, Sud-Est, Est), la Belgique (Flandre) et les Pays-Bas (région de la côte Sud). Pour plus d'informations sur le Programme INTERREG IVA 2 Mers, vous pouvez consulter le site <http://www.interreg4a-2mers.eu>.

Pour télécharger la publication, cliquez sur le lien suivant: <http://www.ace-low-carbon-economy.eu/fr/resultats/manuel/>

Pour tout autre renseignement, merci de nous contacter par mail à l'adresse suivante: mrbb@ugent.be

La reproduction est autorisée à condition qu'il soit fait mention de la source. Toute utilisation/reproduction de documents, propriété de tiers, couverts par le droit d'auteur et identifiés en tant que tels, nécessite l'autorisation préalable du (des) titulaire(s) du droit d'auteur.

ISBN: 9789082233018

NUR: 950

Dépôt légal: D/2014/13.442/2

Authors: Timmerman J., Deckmyn C., Vandeveld L. et Van Eetvelde G.

Translated from English into French by Wilkens c.s. Vertalers & Tolken

1^e édition – septembre 2014

Project team

- HBC: Pranesh Datta, Sara Marshall
- ECOPAL: Peggy Ricart
- wvi: Marianne Vancleemput, Kathy Danneels, Jeroen Verbeke
- City of Ghent: Björn De Grande, Barbara Govaert
- Ghent University: Christof Deckmyn, Jonas Timmerman, Véronique Victor
- Sea Change Sussex: John Williams

Clause d'exonération de responsabilité

Les organisations mentionnées dans le présent guide ne sont, en aucun cas, cautionnées par les membres du partenariat. Cette publication n'engage que ses auteurs. Les Autorités du Programme INTERREG IVA 2 Mers ne sauraient être tenues responsables de toute utilisation qui pourrait être faite des informations figurant au présent document.

**Guide
du parc d'activités
bas carbone
un manuel dédié
au développement
et à la gestion efficace
des énergies en entreprises
et parcs d'activités
pour une diminution
de la consommation carbone**

Contenu

1	PROJECT ACE	7
1.1	Contexte	8
1.2	Objectifs	8
1.3	Partenaires	8
1.4	Guide du parc d'activités bas carbone	8
1.5	Présentation du Guide	9
2	POLITIQUE CLIMATIQUE ET ÉNERGÉTIQUE	11
2.1	Introduction	12
2.2	Changement climatique	12
2.2.1	L'effet de serre	12
2.2.2	Réchauffement planétaire	12
2.3	Rôle de l'industrie	13
2.3.1	Émissions de gaz à effet de serre	13
2.3.2	Consommation finale d'énergie	15
2.4	Politique européenne en matière de climat et d'énergie	15
2.4.1	Protocole de Kyoto	16
2.4.2	Europe 2020	16
2.4.3	Paquet Climat-Énergie	17
2.4.4	Directive sur la Performance Énergétique des Bâtiments	20
2.4.5	Cadre 2030	20
2.4.6	Feuille de Route 2050	20
2.4.7	Directive sur les Émissions Industrielles	21
2.4.8	Réglementation sur les émissions de gaz fluorés	21
2.4.9	Instruments d'Horizon 2020	21
2.4.10	Récapitulatif	22
2.4.11	Enjeux politiques	22
2.4.12	Sources	24
2.5	Politique climatique et énergétique à l'échelle nationale, régionale et locale	25
2.6	Mesures nationales et régionales en matière d'énergie pour l'industrie	26
2.6.1	Belgique	27
2.6.2	France	31
2.6.3	Royaume-Uni	33
2.6.4	Pays-Bas	37
2.6.5	Allemagne	39
2.6.6	Tableau comparatif - Mesures nationales en matière d'énergie	42
3	PARC D'ACTIVITÉS BAS CARBONE	43
3.1	Introduction	44
3.2	Concepts de durabilité appliqués aux parcs d'activités	44
3.2.1	Parcs industriels durables	44
3.2.2	Parcs éco-industriels	45
3.2.3	Parcs industriels verts	45
3.2.4	Parc d'activités bas carbone	46
3.3	Trias Energetica	46
3.4	Niveaux d'application des mesures énergétiques	47
3.5	Empreinte carbone	48
3.6	Neutralité carbone	50

3.7	Politique et réglementation	51
3.8	Mesures incitatives et actions de sensibilisation	52
3.9	Exemples à l'échelle mondiale	52
3.10	Sources	53
4	SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE D'UN PARC D'ACTIVITÉS	55
4.1	Introduction	56
4.2	Superstructure d'un système énergétique	56
4.3	Présentation des mesures énergétiques en matière de technologies	57
4.4	Aligner la qualité thermodynamique de la production d'énergie et du besoin énergétique	57
4.4.1	Définitions	57
4.4.2	La théorie de l'exergie en quelques mots	58
4.4.3	Facteur qualité	58
4.4.4	Rendement exergétique des systèmes de chauffage et de climatisation	59
4.4.5	Aligner l'apport et le besoin énergétique	60
4.5	Modèle énergétique	61
4.5.1	Profils temporels de la production d'énergie et du besoin énergétique	61
4.5.2	Modèle énergétique techno-économique	62
4.5.3	Classification des modèles	63
4.5.4	Applications aux systèmes énergétiques des parcs d'activités	64
4.6	Sources	65
5	CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DANS LES ENTREPRISES	67
5.1	Introduction	68
5.2	Profil de consommation énergétique d'une entreprise	68
5.2.1	Services énergétiques ou fonctions énergétiques	68
5.2.2	Profils temporels	70
5.2.3	Niveaux de température des besoins thermiques	70
5.3	Gestion de l'énergie	71
5.3.1	Norme ISO 50001	72
5.3.2	Audit énergétique	72
5.3.3	Suivi énergétique	73
5.3.4	Système de gestion de l'énergie	75
5.3.5	Études de cas	75
5.4	Efficacité énergétique	78
5.4.1	Mesures en matière d'efficacité énergétique - Bâtiments	78
5.4.2	Réglementation sur la performance énergétique des bâtiments	82
5.4.3	BREEAM	83
5.4.4	Mesures en matière d'efficacité énergétique - Process	83
5.4.5	Réglementation sur la performance énergétique des process	85
5.4.6	Évaluation des investissements	86
5.4.7	Obstacles	86
5.4.8	Études de cas	87
5.5	Analyse Pinch	87
5.5.1	Calcul des charges de chauffage et de climatisation	87
5.5.2	Calcul de la récupération maximale de chaleur et de consommation minimale d'énergie pour le chauffage et la climatisation	88
5.5.3	Intégration de technologies de conversion d'énergie	89
5.5.4	Conception d'un réseau d'échangeurs de chaleur	90
5.5.5	Règles	90
5.6	Analyse Totale de Sites	90
5.7	Sources	92

6	PRODUCTION D'ÉNERGIE BAS CARBONE	93
6.1	Introduction	94
6.2	Sources énergétiques	94
6.3	Technologies de conversion d'énergie	94
6.4	Technologies de stockage de l'énergie	95
6.5	Production d'énergies renouvelables	95
6.5.1	Énergie solaire	95
6.5.2	Énergie éolienne	98
6.5.3	Énergie géothermique	98
6.5.4	Biomasse	101
6.6	Pompes à chaleur et cycles de réfrigération	102
6.7	Production combinée de chaleur et d'électricité	103
6.8	Chaudières à condensation	104
6.9	Garanties d'origine et certificats	104
6.9.1	UE	104
6.9.2	Flandre	104
6.9.3	Bruxelles	106
6.9.4	Wallonie	106
6.9.5	France	106
6.9.6	Royaume-Uni	106
6.10	Études de cas	107
6.10.1	Parc d'activités The Loop	107
6.10.2	Site de la Sucrierie de Furnes	107
6.10.3	Parc d'activités De Spie	107
6.10.4	Immeuble de bureaux partagés à Furnes	107
6.11	Sources	108
7	CLUSTER ÉNERGÉTIQUE	111
7.1	Concepts d'écologie industrielle	112
7.2	Cluster énergétique physique	112
7.2.1	Production collective d'énergie	112
7.2.2	Réseaux énergétiques locaux	113
7.2.3	Échange de chaleur	113
7.2.4	Échange de ressources	114
7.3	Cluster de services énergétiques	114
7.4	Profils énergétiques complémentaires	114
7.5	Production collective d'énergie - Business plans	115
7.6	Sociétés de Services énergétiques	115
7.7	Réseaux de chauffage urbain et de chauffage local	116
7.8	Micro-réseaux intelligents	116
7.9	Faisabilité d'un cluster énergétique	117
7.10	Rôle du promoteur de parc d'activités dans le concept de cluster énergétique	117
7.11	Cluster énergétique - Obstacles et solutions	117
7.12	Études de cas	118
7.12.1	The Loop	118
7.12.2	Gent Zuid 1	118
7.12.3	Roeselare West	118
7.12.4	Échange de chaleur entre l'incinérateur de déchets et les serres	118
7.12.5	Carte thermique et modèle de feuille de calcul pour les réseaux de chaleur	118
7.12.6	Site de la Sucrierie de Furnes	118
7.13	Sources	119

8	GESTION INTELLIGENTE DE L'ÉNERGIE	121
8.1	Introduction	122
8.2	Micro-réseaux	122
8.2.1	Réinventer le réseau	122
8.2.2	Du parc d'activités au micro-réseau	122
8.2.3	Structure et caractéristiques	123
8.2.4	Sources énergétiques distribuées	123
8.2.5	Demande d'électricité	124
8.3	Gestion de l'énergie	124
8.3.1	Système de gestion de l'énergie	125
8.3.2	Architecture des systèmes de contrôle	127
8.4	Sources	128
9	PARC D'ACTIVITÉS: PROJETS NOUVEAUX ET RÉFECTIONS	129
9.1	Développement d'un nouveau parc d'activités bas carbone	130
9.1.1	Phases de développement	130
9.1.2	Intégration des mesures à faible émission de carbone dans le cadre du développement d'un parc d'activités	130
9.1.3	Conditions d'attribution	133
9.2	Réfection bas carbone d'un parc d'activités existant	134
9.3	Combinaison de la réfection et de l'expansion bas carbone d'un parc d'activités déjà existant	137
9.4	Suivi du parc d'activités en matière de durabilité	137
9.5	Études de cas	137
9.6	Sources	138
10	ÉTUDES DE CAS	139
10.1	Programme d'orientation sur la gestion de l'énergie	140
10.2	Parc d'activités Gent Zuid 1	142
10.3	Parc d'activités Wiedauwkaai/Wondelgemse Meersen	144
10.4	Parc d'activités The Loop	149
10.5	Parc d'activités Roeselare West	154
10.6	Zone d'horticulture en serre de Roeselare	158
10.7	Carte de chaleur résiduelle et modèle de calcul pour les réseaux de chaleur	160
10.8	Site de la Sucrierie de Furnes	162
10.9	Modèle économique pour la production collective d'énergie renouvelable	166
10.10	Bornes de recharge électriques	168
10.11	Parc d'activités De Spie	170
10.12	Immeuble partagés à Furnes	173
10.13	Soutenir les entreprises sur les parcs d'activités bas carbone	177
10.14	Réseau de chaleur - Parc industriel «2 Synthe»	179
10.15	Collecte collective et substitution des déchets	180
10.16	Projet de rénovation Theaklen Drive	183

LOW

CARBON

BUSINESS

PARK

MANUAL

Chapitre 1

Projet ACE

1 Projet ACE

1.1 Contexte

Le projet « Réponses à l'Économie du Carbone » (ACE) fait partie intégrante du Programme INTERREG IVA 2 Mers, une initiative qui vise à promouvoir la coopération transfrontalière entre les régions côtières de quatre États Membres de l'Union Européenne : la France (Nord-Pas-de-Calais), l'Angleterre (Sud-Ouest, Sud-Est, Est), la Belgique (Flandre) et les Pays-Bas (région de la côte Sud). Le projet ACE aborde le deuxième axe prioritaire fixé par le Programme des 2 Mers qui s'attache à promouvoir et développer un environnement sain et sûr. Le projet est financé par le Fonds Européen de Développement Régional, la Communauté Urbaine de Dunkerque et Enterprise Flanders et dispose d'un budget global d'un peu plus de 4 millions d'euros.

1.2 Objectifs

Le projet ACE répond à la politique de la Communauté Européenne en matière d'énergie et de changement climatique et à sa volonté de transiter vers une croissance économique durable. Au travers de la réalisation de ces objectifs, le projet offre l'opportunité d'améliorer la compétitivité des entreprises et des parcs d'activités situés dans les zones concernées. ACE soutient ses partenaires en proposant et en menant à bien des initiatives et des projets visant à réduire les émissions de carbone tout en favorisant le partage des connaissances et des bonnes pratiques. Les mesures prises pour réduire les émissions de carbone liées à la consommation d'énergie, tant sur le plan juridique, économique, social, technique, qu'en matière d'espace, s'inscrivent à trois niveaux : depuis l'entreprise jusqu'au parc d'activités, en passant par le réseau d'entreprises (et ceci même à l'échelle régionale).

1.3 Partenaires

Les réponses à l'Économie du Carbone ne peuvent se trouver en travaillant en vase clos ou en se retranchant derrière les barrières internationales. Les grandes idées doivent être vite partagées afin d'en optimiser l'impact. Ainsi, un partenariat regroupant six membres a été mis en place et opère sous la houlette du chef de file, le *Hastings Borough Council* (HBC). Deux des membres se trouvent au Sud-Est de l'Angleterre (HBC et *Sea Change Sussex*), l'un d'entre eux au Nord de la France (ECOPAL) et les trois autres en Flandre, Belgique (wvi : *West Flanders Intermunicipal Association*, la Ville et l'Université de Gand).



1.4 Guide du parc d'activités bas carbone

Le Guide du Parc d'Activités Bas Carbone constitue l'un des éléments majeurs du projet ACE. Il combine l'expérience des six partenaires issus de trois États Membres de l'Union Européenne et tient compte des enseignements tirés au cours des trois années qu'a duré le projet. Ce guide, destiné aux entreprises et aux promoteurs de parcs d'activités, est un référentiel listant les mesures énergétiques à faible émission de carbone existantes et fournit également diverses informations détaillées. Il rapporte, en outre, la mise en œuvre effective de ces mesures au travers d'études de cas pratiques réalisées par les partenaires. En conclusion, ce guide a pour objet d'accompagner les promoteurs et les gestionnaires de parcs d'activités, les autorités locales et les entreprises dans leur transition vers une économie à faible émission de carbone.

1.5 Présentation du Guide

- Le **Chapitre 2** décrit succinctement les changements qui s'opèrent au niveau du climat et précise la part de responsabilité qu'endosse le secteur de l'industrie dans la consommation finale d'énergie, au niveau européen et au niveau national, ainsi que les émissions de carbone qui y sont associées. Il passe en revue les politiques européennes et nationales/régionales qui existent en matière d'énergie et de changement climatique et dénombre les mesures qui touchent plus particulièrement les entreprises et les parcs d'activités. On y trouve une comparaison détaillée des mesures de politique énergétique qui sont en place en Belgique, en France, au Royaume-Uni, aux Pays-Bas et en Allemagne.
- Le **Chapitre 3** introduit la notion de durabilité appliquée aux parcs d'activités et fournit des exemples à l'échelle mondiale. Il décrit ensuite la stratégie prioritaire portant sur les mesures énergétiques à faible émission de carbone (Trias Energetica) ainsi que les différents niveaux auxquels elles peuvent s'appliquer (entreprise, réseau d'entreprises, parc d'activités et, par extension, à l'échelle régionale). Enfin, les concepts majeurs d'empreinte carbone et de neutralité carbone sont exposés et les auteurs procèdent à une analyse des politiques et réglementations relatives au développement de parcs d'activités bas carbone.
- Le **Chapitre 4** dépeint l'implantation générale du système énergétique d'un parc d'activités et précise les moyens techniques mis en œuvre au sein du système dans le cadre des mesures énergétiques à faible émission de carbone. Il décrit plus en détail toute l'importance de trouver une correspondance optimale des niveaux de température au niveau de l'offre et de la demande de chaleur. On y trouve, par conséquent, quelques définitions thermodynamiques. L'utilisation de modèles énergétiques techno-économiques est également mise en avant. Ceux-ci permettent d'optimiser la configuration et le fonctionnement d'un système énergétique dans une optique de moindres coûts et d'émissions de carbone réduites au maximum.
- Au **Chapitre 5**, le profil de consommation énergétique d'une entreprise est ventilé en fonction de la nature de la dépense énergétique (consommation liée à l'utilisation du bâtiment ou aux process de fabrication). Il présente les différentes méthodes de gestion de l'énergie qui existent à l'échelle de l'entreprise (certification, audit énergétique, système de suivi/gestion énergétique). Le chapitre énumère également les mesures d'efficacité énergétique liées à l'utilisation du bâtiment et aux process de fabrication et examine la réglementation applicable en la matière. Enfin, il décrit les méthodes d'Analyse Pinch et d'Analyse Totale de Site qui peuvent être utilisées pour estimer le potentiel d'échange thermique entre les différents process au niveau d'une entreprise, voire même d'un parc d'activités.
- Le **Chapitre 6** met l'accent sur les technologies de production d'énergies renouvelables ou efficaces. L'énergie solaire, éolienne, géothermique et la bioénergie sont passées en revue en termes de disponibilité de ressources, de types de technologies utilisées et de performance offerte. Il explique, par la suite, le fonctionnement et l'utilisation qui peut être faite des pompes à chaleur. Le chapitre présente le principe de la cogénération et fournit la description d'une chaudière à condensation. Pour finir, les auteurs analysent les systèmes européens de garanties d'origine et de certificats pour la production d'énergie verte et la cogénération.
- Le **Chapitre 7** expose les différentes possibilités et avantages qu'offre le rapprochement d'entreprises en termes d'approvisionnement énergétique et d'accès aux services énergétiques (clusters énergétiques). Il démontre dans quelle mesure les synergies énergétiques peuvent être exploitées entre entreprises bénéficiant de profils énergétiques complémentaires. Il élabore des hypothèses de business plans pour la production d'énergie collective et décrit le rôle potentiel que tiendraient les Sociétés de Services Énergétiques. Il aborde les notions de réseaux de chauffage urbain et de micro-réseaux intelligents. Puis, il explique de quelle façon les promoteurs de parcs d'activités peuvent encourager la mise en place de clusters énergétiques et les obstacles à surmonter. Enfin, le concept de cluster énergétique est illustré au travers d'études de cas pratiques ACE.

- Le **Chapitre 8** se concentre sur les micro-réseaux et la gestion de l'énergie. Il décrit la structure et les caractéristiques des micro-réseaux et fournit des exemples à l'échelle mondiale. La question de la gestion de l'énergie est également abordée dans ce chapitre, tant au niveau des unités de production d'énergie individuelles qu'en termes d'échange d'énergie avec le réseau électrique et de demande énergétique (délestage, écrêtage des pointes, contrôle de la charge active).
- Le **Chapitre 9** définit une méthode progressive pour la rénovation d'un parc d'activités existant en un modèle bas carbone ou la création d'un nouveau parc d'activités bas carbone. Le tableau de bord figurant à ce chapitre indique la marche à suivre dans le cadre de la mise en œuvre de mesures énergétiques à faible émission de carbone en listant les différentes phases de développement du projet et précise également les acteurs impliqués.
- Au **Chapitre 10** figurent des informations détaillées concernant seize études de cas menées sous l'égide de l'ACE. Cette section traite de la mise en œuvre pratique de mesures énergétiques à faible émission de carbone et mentionne les possibles obstacles sur le plan technologique, économique, juridique, social ou en matière d'espace. Chaque étude de cas est analysée en s'appuyant sur l'expérience des partenaires impliqués.

LOW
CARBON

Chapitre 2

**Politique climatique
et énergétique**

BUSINESS
PARK

MANUAL

2 Politique climatique et énergétique

2.1 Introduction

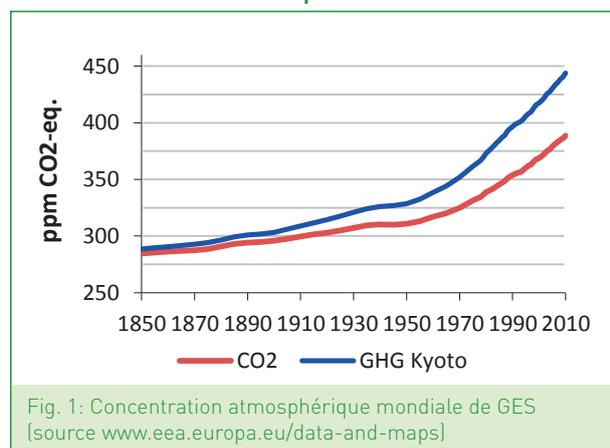
Afin d'atténuer les changements climatiques, il est essentiel de réduire de façon drastique les émissions mondiales de gaz à effet de serre dans les prochaines décennies. Diverses politiques en matière d'énergie et de climat sont en cours d'élaboration à différents échelons administratifs. Le présent chapitre insiste plus particulièrement sur les mesures prises dans les secteurs de l'industrie et de l'énergie car ces filières sont en grande partie à l'origine des émissions de gaz à effet de serre. Dans un premier temps, il aborde la politique européenne en matière de climat et d'énergie et sa transposition à l'échelle nationale. Puis, les mesures nationales applicables aux secteurs de l'industrie et de l'énergie sont identifiées et classifiées en fonction de leur approche. Cette analyse est menée non seulement pour la Flandre, la France et le Royaume-Uni mais également pour Bruxelles, la Wallonie, les Pays-Bas et l'Allemagne.

2.2 Changement climatique

2.2.1 L'effet de serre

Environ un tiers du rayonnement solaire qui atteint la Terre est directement réfléchi dans l'espace par la surface du globe et l'atmosphère. Le reste se trouve absorbé et transformé en rayonnement infrarouge long, plus connu sous le nom de chaleur. Lorsque cette chaleur est réémise par la surface de la Terre, une partie est absorbée par les gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère alors que l'autre partie s'échappe vers l'espace. Les molécules de gaz à effet de serre restituent la chaleur emmagasinée dans toutes les directions, réchauffant ainsi les océans, la surface terrestre et l'atmosphère. Cet effet de serre naturel contribue à maintenir une température moyenne au sol, propice à la vie sur Terre, qui se situe aux alentours de 15°C.

2.2.2 Réchauffement planétaire



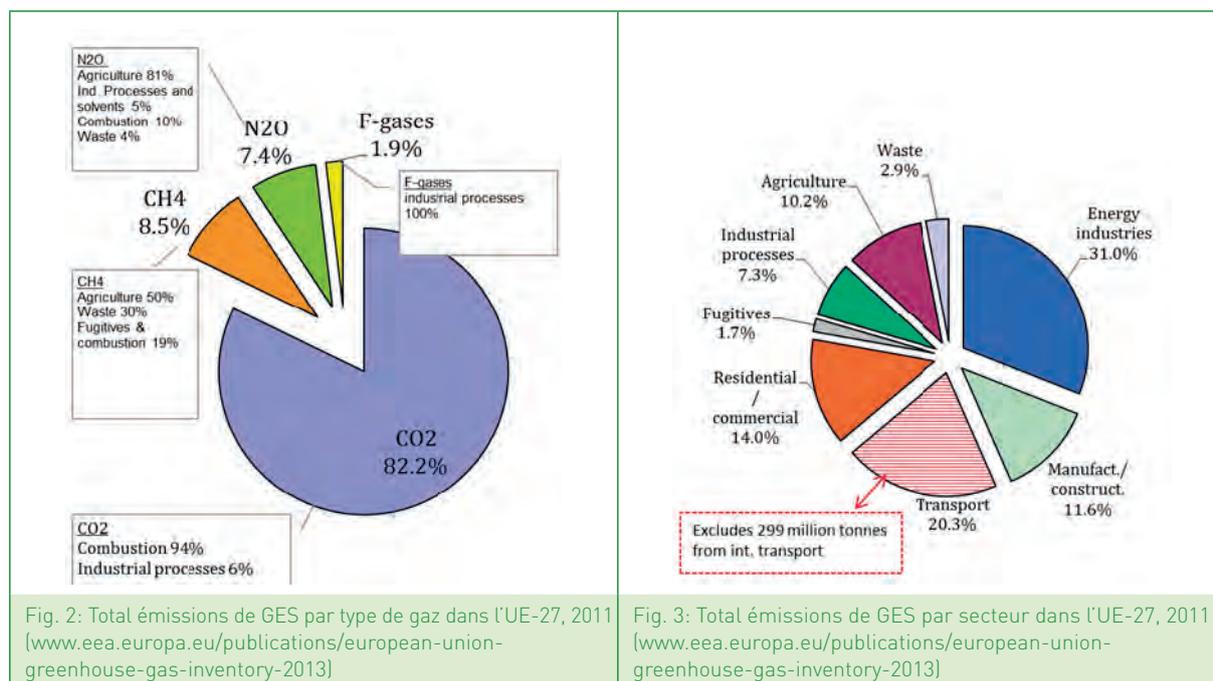
Au cours des dernières décennies, les émissions anthropiques (générées par l'homme) de gaz à effet de serre (GES) ont considérablement augmenté, se calquant sur l'industrialisation et la croissance démographique. L'équilibre naturel existant entre les sources et les puits de gaz à effet de serre se trouve perturbé, ce qui entraîne une élévation des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre (voir Fig. 1). Cette distorsion conduit à une augmentation progressive de l'effet de serre, communément appelée réchauffement planétaire. Cet effet se traduit par une hausse générale de la température à la surface du globe, la fonte des glaces polaires et des glaciers, une élévation du niveau de la mer, des phénomènes climatiques extrêmes,

tels que la sécheresse, les vagues de chaleur, les inondations, l'acidification des océans, etc. Cette situation a de graves répercussions sur la population, l'économie et l'environnement. Une augmentation de la température moyenne, à l'échelle mondiale, de 2°C par rapport à celle observée à l'ère préindustrielle est considérée comme le point de non-retour au-delà duquel la stabilité du climat n'est plus assurée. Pour ne pas dépasser ce seuil critique de façon quasi certaine, les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre doivent être stabilisées à un niveau inférieur à 400 ppm d'équivalents CO₂; lorsque ce chiffre passe à 450 ppm, la certitude de maintenir la stabilité du climat n'est plus que de 50%. Néanmoins, à l'heure actuelle, la concentration atteint déjà 478 ppm et augmente à raison de 2,1 ppm par an. Les émissions mondiales de GES devraient atteindre leur point culminant en 2020 et doivent, afin de pallier à cette menace, diminuer de moitié en 2050 comparativement à 1990. La politique et les mesures climatiques qui seront prises à l'échelle mon-

diale, dès à présent et au cours des prochaines décennies, seront déterminantes quant à la gravité des changements climatiques.

Les principaux facteurs du réchauffement climatique sont le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O), les hydrofluocarbones (HFC), les perfluocarbones (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF₆) qui proviennent de la combustion de combustibles (y compris la combustion dans le secteur de l'industrie), des réactions chimiques intervenant dans les process industriels, des solvants, du traitement des déchets et de l'agriculture (voir Fig. 2). Comme le potentiel d'absorption de la chaleur diffère pour chacun de ces gaz à effet de serre, leur Potentiel de Réchauffement Planétaire (PRP) est exprimé comparativement à celui du dioxyde de carbone sur des périodes de 20, 100 ou 500 ans. Sur la base d'un horizon fixé à 100 ans, les PRP sont les suivants: CO₂: 1, CH₄: 25, N₂O: 298, SF₆: 22 800, etc. Les valeurs de PRP sont publiées par le GIEC mais font l'objet d'une révision dans le cadre du 5^{ème} rapport d'évaluation de l'organisme afin de tenir compte des réponses du cycle climat-carbone. Une carte interactive détaillée, élaborée par le magazine *New Scientist*, montre l'évolution du réchauffement planétaire entre 1894 et 2013.

Sites internet	
478 ppm:	globalchange.mit.edu/news-events/news/news_id/273
Seuil critique de 2° C:	ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/future/docs/brochure_2c_en.pdf
Évolution du CO ₂ (vidéo)	www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/history.html
PRP:	www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html
Carte du <i>New Scientist</i>	warmingworld.newscientistapps.com
Évolution du réchauffement planétaire:	www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&v=gaJJtS_WDml



2.3 Rôle de l'industrie

2.3.1 Émissions de gaz à effet de serre

Tant à l'échelon mondial qu'au niveau régional, les secteurs de l'énergie et de l'industrie sont tous deux à l'origine, pour une large part, des émissions de gaz à effet de serre (GES) (voir Fig. 3). Aux fins d'élaboration des politiques, il est utile d'attribuer les émissions aux secteurs d'utilisation finale et, en l'occurrence, au

secteur de l'industrie (voir Tableau 1). Le secteur de l'énergie produit de l'électricité et de la chaleur et approvisionne la filière industrielle en fonction de ses besoins. En conséquence, les émissions de GES provenant du secteur de l'industrie peuvent être distinguées selon qu'il s'agit d'**émissions directes**, liées à la combustion de combustibles intervenant au sein du secteur lui-même, et d'**émissions indirectes**, associées à la chaleur et à l'électricité en provenance du secteur de l'énergie. Les process industriels (chimiques, biologiques) peuvent également être à l'origine de la production de gaz à effet de serre. Ces émissions sont considérées comme le fruit d'un usage non énergétique.

Il s'avère fastidieux d'évaluer le poids des émissions indirectes sur la base des balances énergétiques d'un pays. C'est la raison pour laquelle on utilise parfois la notion d'**intensité carbone**, qui exprime la valeur des émissions moyennes rapportée à l'électricité en gCO₂/kWh. Ces facteurs dépendent du type de combustibles brûlés ainsi que de l'efficacité des technologies utilisées pour la production d'électricité dans le secteur de l'énergie (voir dernière colonne du Tableau 1). L'intensité carbone des sources d'énergies renouvelables est égale à zéro.

Tableau 1: Émissions de CO₂ issues de la combustion de combustibles et d'un usage non énergétique dans le secteur de l'industrie (2010), intensité carbone de la production d'électricité (2010)

Émissions de CO ₂ (millions de tonnes)	Total	Industries de transformation et construction*		Intensité carbone g CO ₂ /kWh _{electr.}		
		hors émissions indirectes	yc émissions indirectes			
Belgique	106,4	24,6	→23,1%	35,1	→33,0%	220
France	357,8	62,6	→17,5%	75,1	→21,0%	79
Royaume-Uni	483,5	51,1	→10,6%	109,0	→22,5%	461
Pays-Bas	187,0	42,3	→22,6%	63,9	→34,2%	415
Allemagne	761,6	116,0	→15,2%	244,5	→32,1%	457
UE-27	3659,5	546,9	→14,9%	1005,9	→27,5%	347

*hors autoproducteurs non répertoriés

source: www.iea.org/publications/freepublications/publication/name,32870,en.html

À la Fig. 4, les émissions de CO₂ liées à la combustion de combustibles (émissions directes) dans le domaine industriel au sein de l'UE sont affectées en fonction des principaux sous-secteurs. Les émissions liées à un usage non énergétique ou à l'électricité ou la chaleur importée (émissions indirectes) ne sont pas prises en compte. Le graphique se base sur des données fournies par l'AIE. Les secteurs de la sidérurgie, des minéraux non métalliques, de la chimie et de la pétrochimie sont les plus gros émetteurs de CO₂, suivis par le secteur de l'alimentation et du tabac ainsi que la filière du papier, de la pâte à papier et de l'impression.

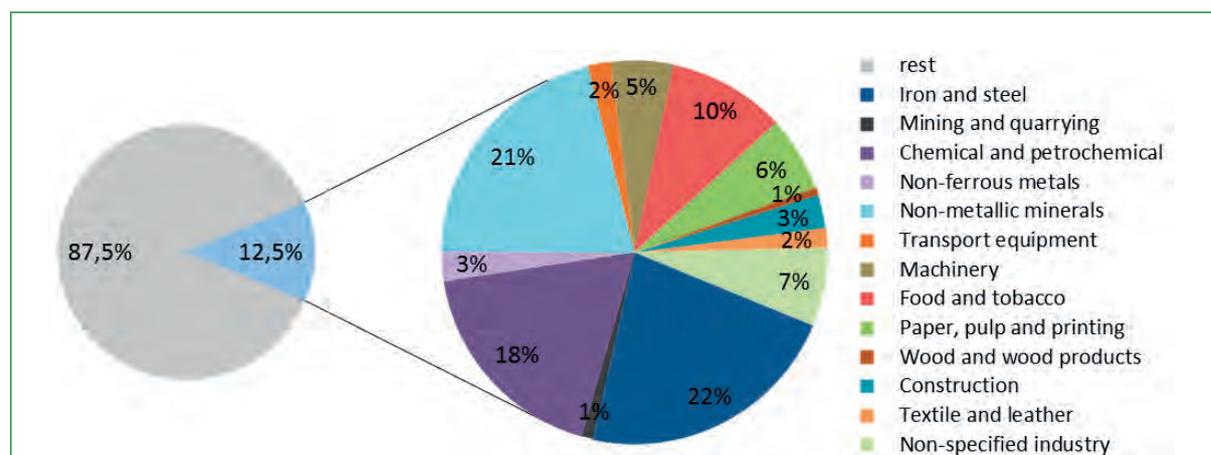
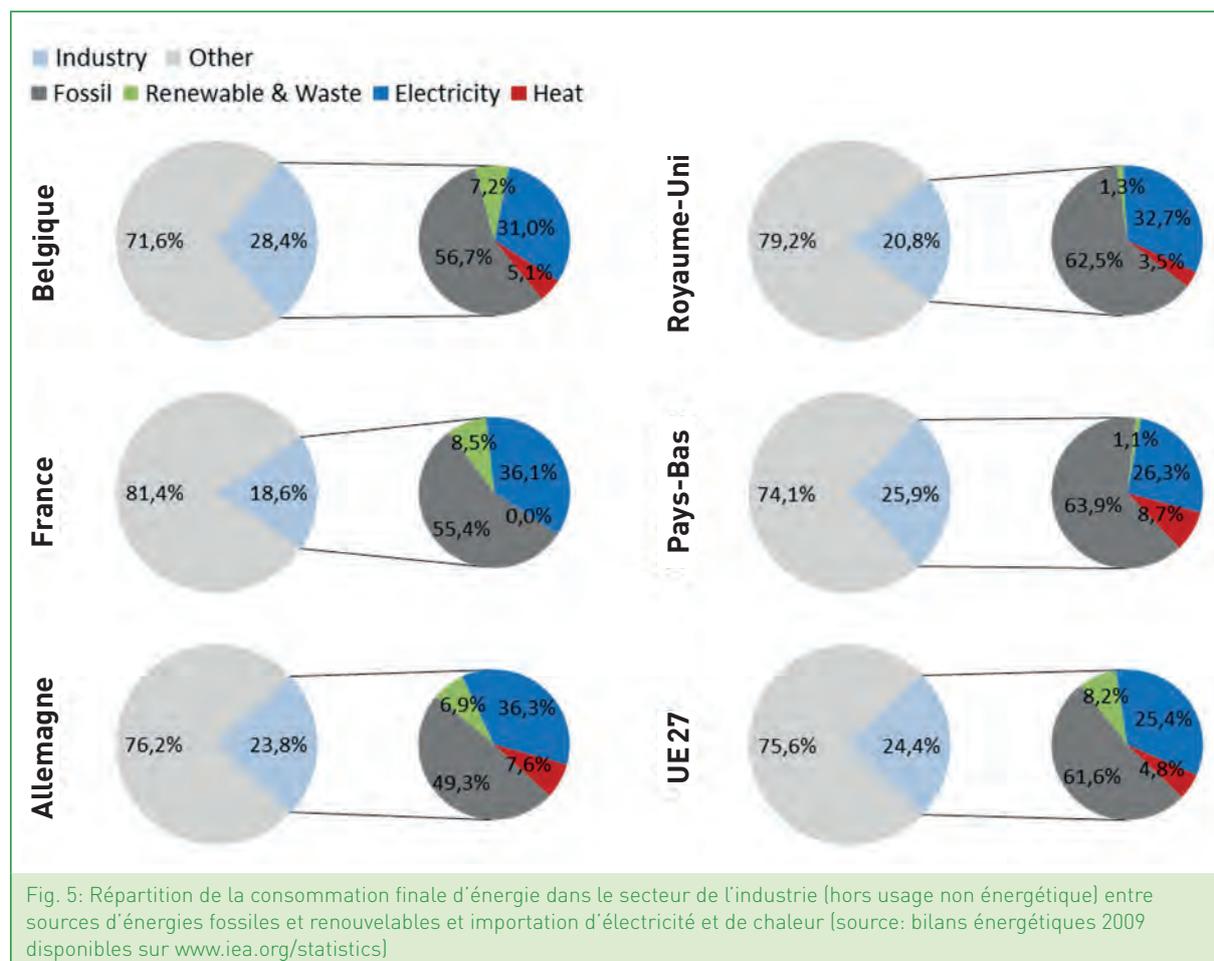


Fig. 4: Émissions de CO₂ issues de la combustion de combustibles du secteur et des sous-secteurs de l'industrie au sein de l'UE 27, données 2010 fournies par l'AIE

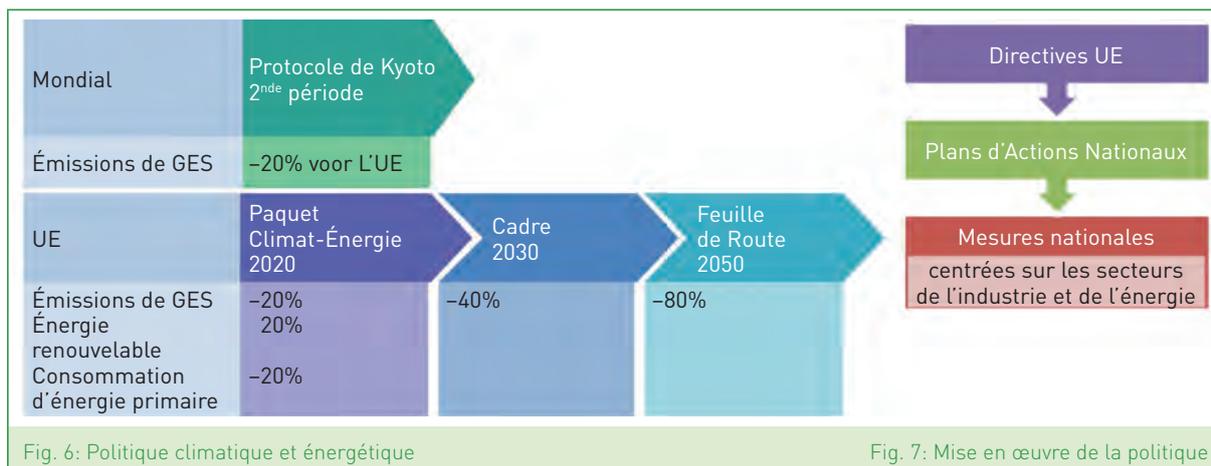
2.3.2 Consommation finale d'énergie

La Fig. 5 précise, pour chacun des pays mentionnés, la part que tient le secteur industriel dans la consommation totale finale d'énergie. La consommation des vecteurs d'énergie à des fins non énergétiques n'est pas prise en compte. Puis, la consommation finale d'énergie enregistrée dans le secteur de l'industrie est rapportée à l'utilisation directe de sources d'énergies fossiles ou renouvelables et à l'importation de chaleur et d'électricité en provenance de/produites par la filière de l'énergie. La part des énergies renouvelables liée au poste chaleur/électricité varie en fonction des pays et dépend de la combinaison des technologies utilisées, dans le secteur de l'énergie, pour la production de chaleur et d'électricité. Il est également important de tenir compte du bouquet énergétique national lorsqu'on calcule la quantité d'énergie primaire correspondant à une certaine quantité de chaleur ou d'électricité importée. Les graphiques de la Fig. 5 s'appuient sur les bilans énergétiques nationaux 2009 fournis par l'Agence Internationale de l'Énergie (www.iea.org/statistics).



2.4 Politique européenne en matière de climat et d'énergie

Ce paragraphe donne un aperçu de la politique climatique en place au sein de l'UE. Au niveau mondial, l'UE s'est engagée à honorer les objectifs fixés par le Protocole de Kyoto. En outre, elle a défini et engagé une voie de transition vers une économie bas carbone, dont les éléments clés sont: Le Paquet Climat-Énergie (2020), le Cadre 2030 et la Feuille de Route 2050 (Fig. 6). Le Paquet Climat-Énergie comprend des directives qui, outre d'autres recommandations relatives au climat et à l'énergie, doivent être transposées en Plans d'Actions Nationaux. Ceux-ci doivent être mis en œuvre par les autorités nationales au travers de mesures concrètes à l'échelle du pays concerné (Fig. 7). En outre, le Paquet Climat-Énergie fait partie intégrante de la stratégie globale «Europe 2020».



2.4.1 Protocole de Kyoto

Le Protocole de Kyoto est le seul traité ayant valeur légale à l'échelle mondiale en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Il a été adopté en 1997 et est entré en vigueur début 2005. Le panier GES du Protocole comprend le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O), l'hexafluorure de soufre (SF₆), les hydrofluocarbones (HFC), les perfluocarbones (PFC) et, à compter de 2013, également le trifluorure d'azote (NF₃). Étant donné que le CO₂ est le principal facteur contribuant au réchauffement de la planète en termes absolus, les émissions des autres gaz à effet de serre sont converties en quantités correspondantes de CO₂ qui auraient le même potentiel de réchauffement planétaire sur une échelle de temps définie (équivalents CO₂). Les objectifs de réduction sont ainsi définis en émissions totales de GES exprimées en équivalents CO₂.

Au cours de la **première période d'engagement**, entre 2008 et 2012, les pays développés prenant part au programme devaient réduire leurs émissions annuelles de GES, sur l'ensemble de la période, en moyenne de 5% en dessous des niveaux enregistrés en 1990. Cependant, en 2002, les quinze États Membres de l'UE à l'époque ont réévalué leur objectif de réduction collectif à 8% en deçà des niveaux atteints en 1990. Cette décision a été traduite, au travers de l'**Accord de Répartition de la Charge (BSA)**, en objectifs nationaux oscillant entre - 28 et + 27% en fonction de la richesse relative d'un pays (Royaume-Uni: - 12,5%, France: 0%, Belgique: - 7,5%, Pays-Bas: - 6%, Allemagne: - 21%). Les pays ayant intégré l'UE ultérieurement ont défini des objectifs individuels. L'année de base standard pour la réduction des émissions est fixée à 1990 mais certains pays en transition vers une économie de marché utilisent des années de base différentes. En outre, s'agissant des HFC, des PFC et du SF₆, certains pays se basent sur l'année 1995. En 2011, les émissions annuelles de l'UE-15 étaient déjà inférieures de 14,9% et les émissions annuelles de l'UE-27 jusqu'à 18,4% aux niveaux de 1990.

Lors de la **seconde période d'engagement**, s'étalant entre 2013 et 2020, les 28 États Membres de l'UE et l'Islande s'engagent à maintenir conjointement leurs émissions annuelles à une moyenne de 20% en deçà des niveaux de 1990 sur l'ensemble de la période. Au niveau national, les mêmes années de base que celles définies pour la première période d'engagement s'appliquent.

Pour remplir les objectifs de Kyoto, les pays doivent tout d'abord prendre des mesures internes afin de réduire leurs émissions ou d'améliorer leurs puits de carbone. En outre, les crédits d'émissions peuvent être échangés entre pays développés ou obtenus en finançant des projets de réduction des émissions dans les pays développés comme dans les pays en voie de développement. Pour les pays de l'UE, c'est le Système Communautaire d'Échange de Quotas d'Émission (SCEQE) qui en assure le contrôle (voir 2.4.3).

2.4.2 Europe 2020

La croissance intelligente, durable et inclusive apparaît comme l'une des principales priorités de la stratégie globale Europe 2020 (voir Fig. 8). Cette priorité est entérinée au travers de **cinq objectifs clés** qui sont l'emploi, la recherche et le développement, l'éducation, le climat et l'énergie et la lutte contre l'inclusion sociale et la pauvreté. Ces grands objectifs ont ensuite été transposés à l'échelle nationale. **Sept initiatives phares**

fournissent un cadre pour la réalisation de ces objectifs. Les objectifs définis en matière de climat et d'énergie sont regroupés dans le Paquet Climat-Énergie et sont désignés comme les objectifs 20/20/20. La mise en œuvre de la stratégie Europe 2020 viendra améliorer la sécurité des approvisionnements en électricité et renforcer la compétitivité de l'industrie. En outre, la Commission Européenne entend accroître le pourcentage du PIB de l'industrie à 20% d'ici à 2020 afin d'établir une solide base industrielle.



Fig. 8: Stratégie Europe 2020

2.4.3 Paquet Climat-Énergie

Pour contrôler les émissions de gaz à effet de serre, l'Union Européenne a défini trois grands objectifs d'ici à 2020, mieux connus sous le terme «**objectifs 20/20/20**» : réduction des **émissions** annuelles de gaz à effet de serre de **20%** par rapport aux niveaux de 1990, augmentation de la part des **énergies renouvelables** dans la consommation finale d'énergie à hauteur de **20%** et réduction de la **consommation annuelle d'énergie primaire de 20%** par rapport aux estimations établies sur la base d'un scénario de Maintien du Statu Quo (MSQ) pour 2020. Le pourcentage de réduction des émissions pourrait même passer à 30% si les autres économies majeures au niveau mondial intensifient leurs efforts. Les deux premiers objectifs sont exposés en détail et déclinés à l'échelon national dans le **Paquet Climat-Énergie** lancé en 2009. Ce document, qui institue un cadre juridique par le biais de directives européennes, impose aux États Membres des objectifs chiffrés devant figurer aux législations et politiques nationales.

Réduction des émissions de 20%

Pour des raisons pratiques, la cible de réduction des gaz à effet de serre a été reformulée en un objectif de moins 14% d'émissions comparé à 2005. Les efforts sont partagés entre deux systèmes de comptabilisation des émissions, à savoir le Système Communautaire d'Échange de Quotas d'Émission (SCEQE) et la Décision relative à la Répartition des Efforts (DRE). Le SCEQE fixe un objectif collectif de réduction des émissions de 21% alors que, dans le cadre de la DRE, des objectifs sont fixés à l'échelle nationale afin de réduire globalement les émissions de 10% par rapport aux niveaux de 2005.

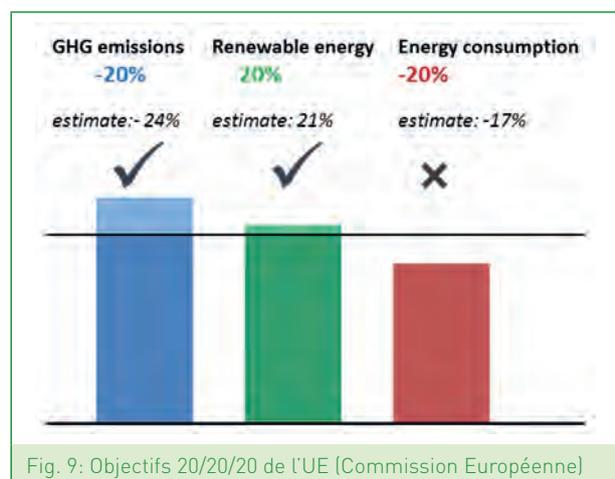


Fig. 9: Objectifs 20/20/20 de l'UE (Commission Européenne)

Système Communautaire d'Échange de Quotas d'Émission (SCEQE):

Le Système Communautaire d'Échange de Quotas d'Émission de l'Union Européenne est un instrument politique visant à réduire de façon progressive l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre au niveau européen. Il s'applique aux émissions de dioxyde de carbone (CO₂) générées par les centrales électriques, les installations industrielles à forte consommation d'énergie et les compagnies aériennes, aux émissions de

protoxyde d'azote (N₂O) provenant de la production de certains acides et aux émissions de perfluorocarbones (PFC) produites par l'industrie de l'aluminium. Chaque année, les entreprises intégrées au sein du système doivent soumettre un quota d'émission par tonne d'équivalents CO₂ émis. Tout crédit manquant expose les contrevenants à une sévère amende. La réduction des émissions globales est obtenue en diminuant progressivement le montant total des quotas disponibles dans le système. En fonction du secteur, une partie des quotas disponibles est attribuée gratuitement, conformément aux règles harmonisées au niveau européen qui récompensent les bonnes pratiques en matière de production bas carbone.

Les industries qui subissent une forte concurrence de régions extérieures à l'UE bénéficiant d'une législation plus souple en matière de climat se voient attribuer une part plus importante de crédits gratuits. Afin de couvrir totalement leurs émissions, les entreprises peuvent acheter des crédits supplémentaires aux enchères auprès d'autres entreprises ou de projets de réduction d'émissions à l'échelle planétaire. Les quotas excédentaires peuvent, d'autre part, être vendus aux enchères ou conservés pour une utilisation ultérieure. Cependant, ils ne peuvent être utilisés qu'une seule fois et sont détruits après présentation. La moitié au moins des revenus générés par la mise aux enchères des quotas doit être investie dans les technologies à faible intensité de carbone en Europe ou dans d'autres pays. En conclusion, l'objectif du SCEQE était de mettre un prix sur les émissions de carbone et d'inciter les entreprises à investir dans les technologies visant à réduire les émissions.

Le SCEQE a été mis en place en 2003 dans le cadre de la Directive sur les Échanges des Quotas d'Émissions (ETD) qui a fait l'objet d'une révision en 2009. Dans sa troisième période d'échange (2013-2020), le SCEQE réunit plus de 11 000 centrales électriques et sites industriels dans 31 pays (28 pays de l'UE plus l'Islande, la Norvège et le Liechtenstein) ainsi que des compagnies aériennes nationales et internationales. En conséquence, le système couvre environ 45% du total des émissions sur 2013. La réglementation impose aux centrales électriques et aux sites industriels de rabaisser leur plafond d'émissions, dans un premier temps à 2,04 milliards de tonnes de CO₂ en 2013, pour ensuite le diminuer, chaque année, de 1,74% de la moyenne annuelle 2008-2012, afin d'atteindre un pourcentage de réduction égal à 21 en 2020 comparé aux niveaux de 2005. À noter que l'aviation est assujettie à un plafond et une réglementation distincts. Depuis 2013, l'attribution de quotas à titre gratuit est progressivement abandonnée au profit du système des enchères, qui devient la méthode de référence. Dans la plupart des pays, pour ce qui est du secteur de l'électricité, tous les crédits sont dorénavant exclusivement mis aux enchères. Cependant, dans l'industrie manufacturière, 80% des crédits ont été attribués à titre gratuit en 2013, pour passer à 30% en 2020. Le registre de l'Union, une base de données en ligne, assure la comptabilisation de tous les quotas délivrés au sein du SCEQE. Malheureusement, le SCEQE est actuellement confronté à un problème de court terme: la crise économique a donné lieu à un excédent de quotas d'émissions qui est venu abaisser le prix du carbone.

Décision relative à la Répartition des Efforts (DRE):

La Décision relative à la Répartition des Efforts fixe des objectifs de réduction des émissions pour la plupart des secteurs non intégrés au SCEQE, tels que le transport (hors aviation), le bâtiment, l'agriculture, la gestion des déchets et les secteurs de l'énergie et de l'industrie non soumis au système d'échange. En 2020, l'ensemble des émissions couvertes par le DRE devra avoir diminué de 10% par rapport aux niveaux de 2005. Cette ambition a été traduite en objectifs nationaux de réduction, allant de - 20% à + 20% selon la richesse relative de chaque pays. L'augmentation des émissions observée chez les pays les moins riches, comparé aux niveaux de 2005, suggère néanmoins une réduction lorsqu'on les rapproche des émissions prévues sur la base d'un scénario de Maintien du Statu Quo. À l'échelle nationale, les émissions doivent diminuer de manière linéaire chaque année, à compter de 2013, depuis les niveaux définis sur la base de la moyenne 2008-2010 jusqu'à atteindre la valeur cible proposée pour 2020. Pour atteindre ces objectifs, les pays et régions peuvent utiliser des mécanismes de flexibilité et acquérir des crédits d'émissions supplémentaires. Les objectifs de répartition des efforts sont présentés dans le Tableau 2 (Belgique: - 15%, France: - 14%, Royaume-Uni: - 16%, Pays-Bas: - 16%, Allemagne: - 14%)

Outre la réduction des émissions de carbone, le CO₂ produit par les sites industriels et les centrales électriques peut être capté puis stocké dans des formations géologiques souterraines, là où il ne contribue plus au réchauffement de la planète. La Directive sur la Capture et le Stockage du Carbone (CCSD) établit un cadre juridique visant à assurer une mise en œuvre des technologies de capture et de stockage du carbone qui soit sans danger pour l'environnement.

20% d'énergies renouvelables

La **Directive sur les énergies renouvelables (ENR)** offre un cadre législatif visant à promouvoir l'utilisation de sources d'énergies renouvelables et l'adoption de modes de transport plus propres. Elle transpose l'objectif collectif de l'UE, qui vise à instaurer une part de 20% d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie, en objectifs nationaux contraignants allant de 10% à 49% selon les situations de départ et le potentiel des différents États Membres (Belgique: 13%, France: 23 %, Royaume-Uni: 15 %, Pays-Bas: 14 %, Allemagne: 18 %). De plus, s'agissant du secteur du transport, chaque État Membre doit atteindre une part de 10% d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie en 2020. Dans ce contexte, les biocarburants et les bioliquides ne sont pris en compte que dans la mesure où ils sont qualifiés de «durables». Pour mettre cela en pratique, des **Plans d'Actions Nationaux en matière d'Énergies Renouvelables (NREAP)** définissant les énergies renouvelables et procédures devant être adoptées dans le cadre de l'utilisation des biocarburants sont mis en place. Les États Membres peuvent échanger des quantités d'énergie provenant de sources renouvelables en utilisant un transfert statistique ou en prenant part à des projets collectifs d'énergies renouvelables au sein ou à l'extérieur de l'UE.

20% de réduction de la consommation d'énergie primaire

D'ici à 2020, l'UE entend réduire sa consommation annuelle d'énergie primaire de 20% comparé aux projections. Cependant, l'objectif en matière d'efficacité énergétique n'est pas directement abordé dans le Paquet Climat-Énergie mais au travers de la **Directive sur l'Efficacité Énergétique (DEE)**. La Directive sur l'Efficacité Énergétique abroge et fusionne la Directive relative à l'Efficacité Énergétique dans les utilisations finales, les services énergétiques, la Directive sur la Cogénération émise et réforme les **Directives sur l'Écoconception et l'Étiquetage Énergétique (EED et ELD)**.

En résumé, la DEE instaure un cadre légal pour la mise en œuvre des politiques et mesures proposées par le **Plan pour l'Efficacité Énergétique (PEE)** en matière d'efficacité énergétique. Ces mesures couvrent chaque maillon de la chaîne énergétique, depuis la production jusqu'à la consommation finale. Les secteurs de l'énergie, de l'industrie, du bâtiment et du transport présentent plus particulièrement de gros potentiels en termes d'économies d'énergie. Le secteur public, qui devrait ouvrir la marche, est tenu d'améliorer l'efficacité énergétique sur 3% de la surface au sol des immeubles du gouvernement à compter de 2014. Les mesures visent à promouvoir la production combinée de chaleur et d'électricité dans le secteur de l'énergie et de l'industrie, les systèmes de chauffage et de refroidissement urbain, les réseaux intelligents, le suivi de la consommation d'énergie et les audits pour les petites et moyennes entreprises, les systèmes de gestion de l'énergie, les compteurs intelligents pour les bâtiments, l'étiquetage de la performance énergétique des bâtiments et des appareils, l'écoconception des produits, etc.

Les États Membres de l'UE doivent établir des **Plans Nationaux d'Actions en matière d'Efficacité Énergétique (PNAEE)** décrivant les stratégies et mesures mises en œuvre à l'échelon du pays afin d'atteindre les objectifs 2020 en matière d'efficacité énergétique. Ces plans nationaux doivent faire l'objet d'une révision et d'une amélioration tous les trois ans.

Récapitulatif des objectifs nationaux 2020

Le Tableau 2 résume les objectifs nationaux à horizon 2020 incombant aux pays analysés dans le présent chapitre aux termes du Paquet Climat-Énergie et du Protocole de Kyoto.

Tableau 2: Objectifs nationaux 2020 aux termes du Protocole de Kyoto et du Paquet Climat-Énergie

Objectifs nationaux 2020		Belgique	France	Royaume-Uni	Pays-Bas	Allemagne
2^{de} période Kyoto						
Réduction des émissions		-20%	-20%	-20%	-20%	-20%
année de base CO ₂ /CH ₄ /N ₂ O		1990	1990	1990	1990	1990
année de base F-gaz		1995	1990	1995	1995	1995
Paquet Climat-Énergie						
réduction des émissions	ESD	-15%	-14%	-16%	-16%	-14%
année de base		2005	2005	2005	2005	2005
Énergies renouvelables	RED	13%	23%	15%	14%	18%
Efficacité énergétique	EED	Valeurs-cibles indicatives, définitions différentes voir: ec.europa.eu/energy/efficiency/eed/reporting_en.htm				

2.4.4 Directive sur la Performance Énergétique des Bâtiments

La **Directive sur la Performance Énergétique des Bâtiments (DPEB)** instaure un cadre juridique encourageant la réduction de la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment, qui représente actuellement 40% de la consommation d'énergie totale de l'UE. Aux termes de cette directive, les États Membres de l'UE doivent établir des exigences minimales en matière de niveau et de certification de la performance énergétique pour les bâtiments existants et les nouveaux bâtiments, complétées par un contrôle régulier des chaudières et des systèmes de climatisation et intégrer des technologies à faible émission de carbone pour le chauffage, le refroidissement et la production d'électricité. D'ici à 2021, tous les nouveaux édifices devront être classifiés comme **bâtiments dont la consommation d'énergie est quasi nulle (NZEB)**. Chaque État Membre doit élaborer un plan *NZEB* à l'échelle nationale.

2.4.5 Cadre 2030

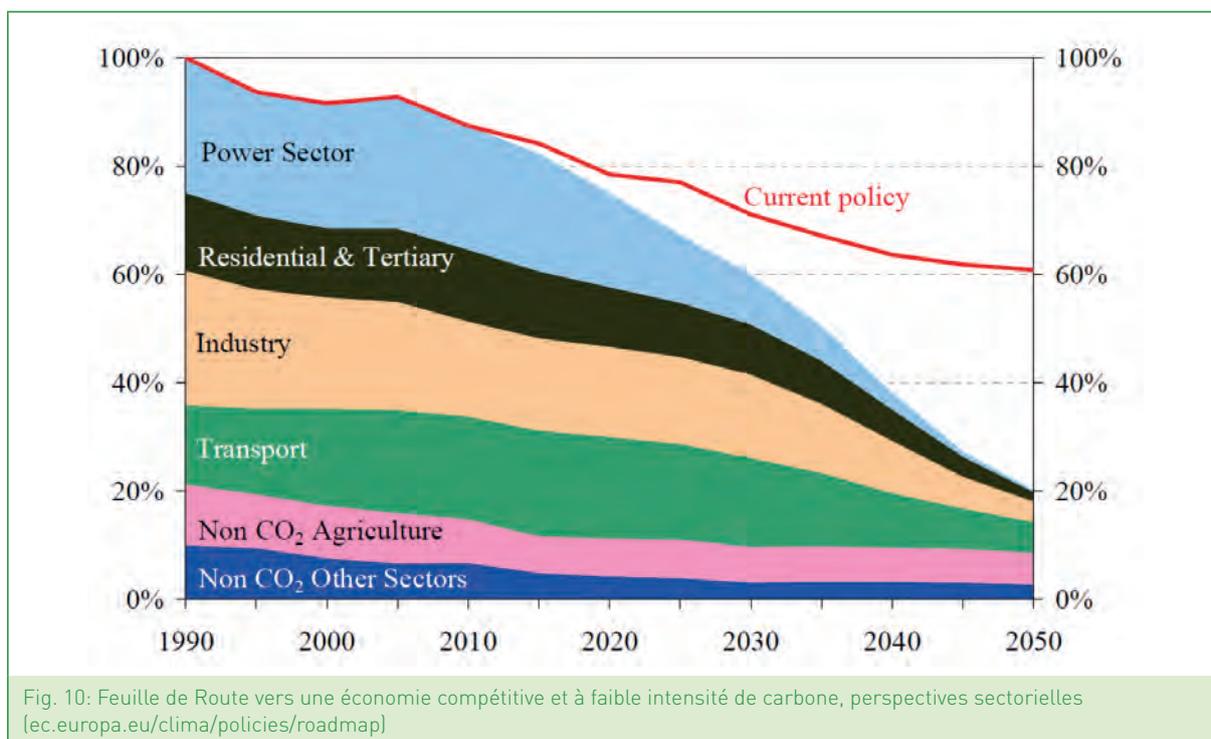
L'UE élabore actuellement un livre vert définissant, à horizon 2030, un cadre pour les politiques qu'elle souhaite mettre en œuvre en matière de changement climatique et d'énergie, qui s'appuie sur les enseignements tirés de l'élaboration du cadre 2020 et tient compte des voies dictées par la Feuille de Route 2050.

2.4.6 Feuille de Route 2050

La «Feuille de Route vers une économie compétitive et à faible intensité de carbone» rédigée par l'UE propose une méthode présentant un bon rapport coût/efficacité pour réduire les émissions de gaz à effet de serre de 80 à 95% d'ici 2050 par rapport aux niveaux de 1990, avec des étapes intermédiaires à 40% en 2030 et 60% en 2040. Les efforts sont partagés entre différents secteurs économiques, en fonction de leur potentiel technologique et économique à réduire les émissions.

C'est le secteur de l'énergie électrique qui présente le plus fort potentiel et pourrait presque totalement supprimer les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050 en utilisant pleinement les technologies renouvelables et à faible intensité de carbone. Cela implique de rabaisser fortement le plafond d'émissions SCEQE pour le secteur de l'électricité et d'investir dans les réseaux intelligents. Une partie de l'énergie utilisée sur les postes transport et chauffage passera des combustibles fossiles à l'électricité, alors que le transport lourd et l'aviation reposeront sur l'utilisation de biocarburants. Dans le domaine du transport, les émissions pourraient être réduites de 60% en améliorant l'efficacité des moteurs traditionnels et des carburants, puis en passant à l'utilisation de moteurs hybrides et électriques et en améliorant l'exploitation des réseaux de transport.

Les émissions provenant des secteurs résidentiel et tertiaire peuvent être réduites d'environ 90% en augmentant la performance énergétique des bâtiments existants, en introduisant des technologies à faible intensité de carbone pour la production individuelle d'électricité et le chauffage des locaux et en assurant la promotion du chauffage urbain. De plus, les bâtiments dont la consommation d'énergie est quasi nulle deviendront la norme de construction standard à compter de 2021. Les industries énergivores pourraient réduire leurs émissions d'environ 80% en faisant appel à des process plus propres et plus performants et à des technologies de capture et de stockage du carbone. Les émissions provenant du secteur de l'agriculture doivent être réduites par la mise en place de pratiques d'élevage plus performantes et la transformation des déchets animaux en biogaz. Au final, la feuille de route relative à la réduction des émissions devrait permettre d'abaisser la consommation d'énergie de 30% par rapport aux niveaux 2005 d'ici 2050. Un axe spécifique est défini pour le secteur de l'énergie dans le cadre de la Feuille de Route Énergie 2050 (voir Fig. 10).



2.4.7 Directive sur les Émissions Industrielles

La **Directive relative à la Prévention et à la Réduction Intégrées de la Pollution (IPPCD)** ainsi que six autres directives sectorielles seront remplacées en 2014 par la **Directive sur les Émissions Industrielles (IED)** qui bénéficie d'une portée beaucoup plus large. Cette dernière directive vise à réduire la pollution provenant de sources industrielles au niveau de l'UE, tout particulièrement les émissions de gaz à effet de serre et de substances acidifiantes, les eaux usées et les déchets. Elle recherche une utilisation plus efficace de l'énergie et des matières. Par conséquent, l'obtention des permis environnementaux dépend de l'évaluation favorable de l'ensemble de la performance environnementale d'une entreprise et le recours aux Meilleures Techniques Disponibles (MTD) telles que décrites dans les documents de référence MTD (*BREF*).

2.4.8 Réglementation sur les émissions de gaz fluorés

Le Règlement F-gaz vise à limiter les émissions de gaz fluorés générés par les process industriels et les installations de refroidissement et pompes à chaleur à l'échelle de l'UE. Les mesures prévoient le contrôle, l'étiquetage, les restrictions à l'utilisation de certains produits et de substances contenant des gaz fluorés, la certification du personnel, un accès limité aux produits contenant des gaz fluorés, la proposition de solutions alternatives, etc. Ce règlement est repris dans les législations nationales.

2.4.9 Instruments d'Horizon 2020

L'**initiative phare «Union de l'Innovation»** (2014-2020) développée dans le cadre de la stratégie Europe 2020 entend assurer la compétitivité de l'Europe et est financièrement mis en œuvre au travers du **programme Horizon 2020**. L'objectif essentiel d'Horizon 2020 est de favoriser le rapprochement entre la recherche et le marché. Par conséquent, des PPP (Partenariats Public-Privé), des PTE (Plateformes Technologiques Européennes) et des ITC (Innovations Technologiques Conjointes) sont mises en place pour définir les feuilles de route et priorités en matière de recherche industrielle et d'innovation.

Le **SPIRE** (Une industrie de Transformation Durable grâce à l'Efficacité Énergétique et des Ressources) est un partenariat public-privé instauré entre la Commission Européenne et l'industrie de transformation européenne, couvrant notamment les secteurs du ciment, des céramiques, des produits chimiques, de l'ingénierie, des minéraux et des minerais, des métaux non ferreux, de l'acier et de l'eau. Ce partenariat encourage et facilite le développement des technologies et solutions qui s'avèrent nécessaires pour assurer le développe-

ment durable de l'industrie de transformation européenne en termes de compétitivité, d'écologie et d'emploi. Pour 2030, le programme SPIRE a fixé deux objectifs, conformes à la stratégie européenne en matière de climat et d'énergie. Le premier objectif consiste à réduire le recours à l'énergie fossile de 30% par rapport aux niveaux actuels (2008-2011). Ensuite, le programme entend réduire de 20% l'utilisation des principales matières premières non renouvelables comparé à la situation actuelle. Afin d'atteindre ces objectifs, une feuille de route a été rédigée et identifie les mesures devant être prises en matière de ressources énergétiques et matérielles. Ces mesures comptent l'optimisation des systèmes énergétiques, la récupération de l'énergie, le recours aux énergies renouvelables et la cogénération, l'optimisation des process, la mise en place de procédés innovants en matière d'économies d'énergie, le recyclage, les matières premières renouvelables, l'intensification des process, la symbiose industrielle, un meilleur partage des connaissances et des bonnes pratiques, l'élargissement de l'implication sociétale, etc.

2.4.10 Récapitulatif

Année	Politique	Objectifs UE	Objectifs Nationaux	Plans Nationaux
2012	Protocole de Kyoto 2008-2012 BSA	moyenne ém. -8% EU-15	EU-15: moyenne ém -28% à +27%; reste UE: -5% à -8% vs. années de base différentes	
2020	Protocole de Kyoto** 2013-2020 Paquet Climat-Énergie	moyenne ém. -20% EU, Croatie, Islande Ém. -20% (-30%)	moyenne ém. -20%	
	ETD rév. (SCEQE)	Ém. -21% vs. 2005		
	DRE (non SCEQE)	Ém. -10% vs. 2005	Ém. -20% à +20% vs. 2005	
	ENR	20% RE (transport: 10%)	10% à 49% RE	NREAP
	EED*	PEC -20%	Valeurs-Cibles indicatives	NEEAP
	CCSD			
	DPEB		bâtiment neuf: NZEB d'ici à 2021	NZEB NP
2030 2040 2050	} Cadre 2030 Feuille de Route 2050	Ém. -40% Ém. -60% Ém. -80-95%		

IED, EDD, ELD, Règlement F-gaz, PPP, PTE

Ém. émissions de gaz à effet de serre en équivalents CO₂,
réduction par rapport aux niveaux de 1990, sauf autre année de base mentionnée au tableau

PEC consommation annuelle d'énergie primaire, réduction par rapport aux niveaux prévus pour 2020

RE part d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie

rev. révision

* ne fait pas directement partie du Paquet Climat-Énergie

** Le Protocole de Kyoto et le Paquet Climat-Énergie élaboré par l'UE ne couvrent pas les mêmes secteurs économiques et le Protocole de Kyoto utilise des années de base différentes pour certains pays plutôt que de n'en utiliser qu'une seule pour l'ensemble des pays.

2.4.11 Enjeux politiques

Kyoto

Malgré tous les efforts déployés, le Protocole de Kyoto s'avère insuffisant pour réduire les émissions mondiales de gaz à effet de serre car les grandes économies émergentes des pays en voie de développement (par ex. la Chine, l'Inde, le Brésil, l'Indonésie) ne se voient pas imposer des objectifs contraignants, mais également parce que le document n'a jamais été ratifié par les États-Unis et que le Canada a retiré son soutien.

Lors de la seconde période de Kyoto, seuls l'UE et un nombre restreint d'autres pays prennent part au programme, ne couvrant ainsi qu'une faible part des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial (13,4% en 2010). En 2013, les émissions mondiales de dioxyde de carbone se sont établies à environ 60% au-dessus des niveaux de 1990. Un nouveau cadre juridique mondial définissant des objectifs contraignants globaux en matière de réduction des émissions doit, en conséquence, être établi. Ce sujet a été traité lors des conférences internationales sur le climat qui ont suivi et qui sont organisées, chaque année, par la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC). La conférence sur le climat qui se tiendra à Paris en 2015 devrait, au final, aboutir à la signature d'un nouveau traité international à effet de 2020.

Malgré les conclusions alarmantes émises par le GIEC sur les changements climatiques induits par l'homme, la Conférence sur le Changement Climatique tenue à Varsovie en 2013 n'a été le témoin que de maigres avancées en la matière et les principales organisations environnementales et sociales ont quitté la table des négociations. Maintenir la hausse des températures à l'échelle du globe en dessous du seuil de 2°C semble devenu quasiment impossible.

SCEQE de l'UE

Le SCEQE mis en place par l'UE doit faire face à des difficultés à court terme. En 2013, le prix du carbone s'est effondré aux alentours de 5 € par tonne d'équivalents CO₂ du fait d'un excédent de quotas d'émissions sur le marché (voir Fig. 11). Il y a deux raisons à ce **surplus** de crédits d'émissions.

Tout d'abord, au début de la seconde période d'échanges du SCEQE (2008-2012), le volume total de quotas d'émissions n'a diminué que de 6,5% comparé aux niveaux de 2005. Bon nombre de ces quotas (90%) ont été attribués aux entreprises à titre gratuit, au prorata de leurs émissions au titre de la première période. Lorsque la **crise financière** est venue nous frapper à la fin de l'année 2008, la production industrielle a chuté, ce qui a généré un surplus croissant de quotas non utilisés entraînant, de fait, la baisse du prix du carbone (voir Fig. 11).



Fig. 11: Prix du carbone (www.pointcarbon.com)

Puis, un certain nombre de sociétés chinoises de l'industrie chimique ont inondé le marché des certificats de carbone, ce qui a contribué à aggraver l'excédent et rabaisser encore plus le prix du carbone. Une grande partie de ces certificats provenaient d'un **producteur de réfrigérants** qui limitait les émissions du sous-produit HFC-23 en le capturant et en l'incinérant. Ce gaz à effet de serre est 11 700 fois plus puissant que le CO₂; c'est la raison pour laquelle un grand nombre de certificats ont été créés et vendus sur le marché. La société en question a même augmenté sa capacité de production dans le seul but d'acquérir plus de crédits de carbone. Depuis mai 2013, le SCEQE refuse tous les nouveaux certificats de ce type. Néanmoins, des certificats de carbone bon marché avaient déjà été achetés en grande quantité par les grands pollueurs industriels afin de s'assurer un taux d'émissions suffisant pour l'avenir. Dès lors, les investissements dans les technologies à faible intensité de carbone sont différés.

Les industries à base de combustibles fossiles, particulièrement énergivores, affirment que la politique climatique européenne fragilise leur position sur le marché vis-à-vis des régions hors de l'Europe qui bénéficient d'une législation plus clémente en matière de climat, les obligeant à fermer leurs usines ou à délocaliser leurs activités de production. Ce phénomène, aussi appelé **fuite de carbone**, aurait des conséquences négatives sur l'économie locale. Les émissions devraient diminuer en Europe mais augmenter proportionnellement dans le reste du monde. De ce fait, un certain nombre de gouvernements ont décidé d'octroyer des quotas d'émissions gratuits aux entreprises du SCEQE et aux installations sujettes aux fuites de carbone ou de compenser les coûts liés aux crédits d'émissions facturés au travers des prix de l'électricité. Cette opération est clairement favorable à la prolongation de la durée de vie opérationnelle des technologies plus anciennes et moins performantes.

Afin d'atteindre les objectifs de réduction des émissions, les pays et les entreprises peuvent obtenir des crédits d'émissions supplémentaires via des projets de **compensation du carbone**. En raison de la faiblesse des réglementations, certains projets de compensation sont sujets à caution voire même contre-productifs

2.4.12 Sources

Sites internet	
Europe 2020:	ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/index_en.htm
Kyoto:	unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php ec.europa.eu/clima/policies/g-gas
Kyoto: années de base	unfccc.int/ghg_data/kp_data_unfccc/base_year_data/items/4354.php
Paquet Climat-Énergie (ETD, ESD, RED, CCSD):	ec.europa.eu/clima/policies/package
Cible PIB industrie:	ec.europa.eu/enterprise/initiatives/mission-growth
EED, PEE, DPEB, EDD, ELD:	ec.europa.eu/energy/efficiency
Feuille de Route 2050:	ec.europa.eu/clima/policies/roadmap
Feuille de Route Énergie 2050:	ec.europa.eu/energy/energy2020/roadmap
Livre Vert 2030:	ec.europa.eu/energy/green_paper_2030_en.htm
EID:	ec.europa.eu/environment/air/pollutants/stationary
BREF:	eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference
F-gaz:	ec.europa.eu/clima/policies/f-gas
Horizon 2020:	ec.europa.eu/research/horizon2020/index_en.cfm
SPIRE:	www.spire2030.eu
1990-2013: + 60% de CO ₂	www.globalcarbonproject.org/carbonbudget
GIEC:	www.ipcc.ch www.climatechange2013.org
Projet HFC-23:	cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1136817489.89/view
Subventions comb. fossiles:	www.iisd.org/gsi/fossil-fuel-subsidies
Marché du carbone:	www.pointcarbon.com
Legislative documents	
ETD:	eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2003L0087:20090625:EN:PDF
DRE:	eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0136:0148:EN:PDF
CCSD:	eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0114:0135:EN:PDF
ENR:	eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:EN:PDF
EED:	eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:EN:PDF
PEE:	eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0109:FIN:EN:PDF
DPEB:	eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:EN:PDF
Feuille de Route 2050:	eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0112:FIN:EN:PDF
Feuille de Route Énergie 2050:	eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0885:FIN:EN:PDF
Références	
AIE 2012. <i>CO₂ Emissions from Fuel Combustion Highlights</i> - Édition 2012.	
GIEC 2013. Summary for Policymakers. In: STOCKER, T. F., QIN, D., PLATTNER, G.-K., TIGNOR, M., ALLEN, S. K., BOSCHUNG, J., NAUELS, A., XIA, Y., BEX, V. & MIDGLEY, P. M. (eds.) <i>Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change</i> . Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, USA.: Cambridge University Press	
MUKERJEE, M. 2009. A Mechanism of Hot Air A popular carbon-off set scheme may do little to cut emissions. <i>Scientific American</i> , 300, 18-+.	
VALENTINO, S. 2013. <i>Europese klimaatfraude brengt gezondheid Gentse jongeren in gevaar. MO*</i> . Bruxelles: Wereldmediahuis vzw.	

2.5 Politique climatique et énergétique à l'échelle nationale, régionale et locale

Les objectifs fixés à l'échelon national en termes d'émissions de GES, d'énergies renouvelables et d'efficacité énergétique et imposés au travers du Paquet Climat-Énergie mis en place par l'UE doivent être reflétés dans les politiques et réglementations nationales. Les États Membres sont tenus de présenter à la Commission Européenne des plans d'actions nationaux qui décrivent en détail les mesures qu'ils prendront dans le cadre de la Directive sur les énergies renouvelables (*RED*), la Directive sur l'Efficacité Énergétique (*EED*) et la Directive sur la Performance Énergétique des Bâtiments (*DPEB*). Au niveau national, ces plans peuvent être constitués de plans régionaux ou inclure différents plans thématiques.

En Belgique, par exemple, le Plan d'Action Chaleur Verte fait partie intégrante du Plan d'Action National en matière d'Énergies Renouvelables qui compte un plan fédéral et trois plans régionaux. Des plans nationaux ou régionaux abordant tous les objectifs 20/20/20 en même temps peuvent également être mis en place comme, par exemple, le Plan d'Atténuation des Risques Flamand (*FMP*) qui offre un cadre permettant d'atteindre l'objectif de réduction des émissions pour les secteurs non SCEQE. Les mesures définies dans les différents plans sont transposées en réglementations, comme par exemple le Décret Flamand sur l'Énergie et la Décision Énergie, qui régulent tout ce qui concerne l'énergie.

Certains pays, comme l'Allemagne, avaient déjà élaboré une politique intensive en matière de climat et d'énergie, bien avant la mise en place du Paquet Climat-Énergie. La Loi sur les Énergies Renouvelables (*REA*), qui fixe les tarifs de rachat de l'énergie renouvelable depuis 2000, a été complétée en 2009 par la Loi sur la Chaleur Renouvelable (*REHA*), imposant une part de chaleur renouvelable pour chauffer les espaces. La Loi sur la Cogénération (*CHPA*) date de 2002 et subventionne les installations de cogénération qualitatives.

Le Pacte des Maires a été instauré par l'UE afin matérialiser le Paquet Climat-Énergie à l'échelle des villes et des communautés. Les parties impliquées doivent inventorier les gaz à effet de serre et mettre en place un plan d'action sur les énergies renouvelables (signatures: Belgique: 67, France: 112, Royaume-Uni: 33, Pays-Bas: 16, Allemagne: 53). Un certain nombre de villes européennes se sont même fixées des objectifs plus ambitieux et visent à long terme la neutralité climatique (par ex. Gand, Louvain, Malines et Anvers en Belgique, Copenhague au Danemark)

Sites internet

<i>NREAP</i> :	ec.europa.eu/energy/renewables/action_plan_en.htm
<i>FMP</i> :	www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/milieuvriendelijke/Nuttige_documenten/Nationaal_actieplan_HE.pdf
<i>REA, REHA</i> :	www.erneuerbare-energien.de/die-themen/gesetze-verordnungen
<i>CHPA</i> :	www.bafa.de/bafa/de/energie/kraft_waerme_kopplung/
<i>CoM</i> :	www.covenantofmayors.eu/index_en.htm

2.6 Mesures nationales et régionales en matière d'énergie pour l'industrie

La politique européenne en matière de climat et d'énergie est inscrite dans les politiques nationales et régionales qui sont, à leur tour, mises en œuvre au travers d'une série de mesures. Les mesures prises dans les secteurs de l'industrie et de l'énergie peuvent être subdivisées en fonction de leur approche: réglementation, soutien financier, fonds et prêts, accords volontaires et diffusion d'informations.

Les normes en matière de construction se calquent sur la DPEB et la réglementation relative aux permis environnementaux pour les process industriels. De plus, les installations de production d'énergie sont basées sur l'EID ou l'ancienne Directive IPPCD. Les produits et équipements sont couverts par les directives européennes sur écoconception et l'étiquetage énergétique. Les émissions de gaz fluorés provenant des process et équipements industriels sont contrôlés par une réglementation à l'échelle européenne. Les mécanismes de soutien financier comptent les déductions fiscales, l'aide à l'investissement (proratisée), les primes à l'énergie (fixes), certificats pour la production d'énergie ou la réduction des émissions de carbone, les subventions offertes dans le cadre des études, audits et activités de recherche et développement, les subventions pour les systèmes de suivi énergétique ainsi que les subventions pour le développement des parcs d'activités. La diffusion d'informations est assurée au travers de conseils, de campagnes de sensibilisation, de programmes de formation et de sites internet de nature informative.

Tableau 3: types de mesures

Réglementation	<ul style="list-style-type: none"> • Construction • Process • Produit
Soutien financier	<ul style="list-style-type: none"> • Déductions fiscales • Aide à l'investissement • Primes à l'énergie • Aide à l'exploitation • Certificats • Subventions pour les audits, études et R&D • Subventions pour le suivi énergétique • Subvention pour le développement des parcs d'activités
Fonds et prêts	
Accords volontaires	
Diffusion d'informations	

Les mesures sont tout d'abord présentées par pays ou par région puis un tableau comparatif donne une vue d'ensemble à l'échelle internationale. Les mesures qui ne visent pas spécifiquement l'efficacité énergétique ou l'éco-efficacité, les énergies renouvelables ou les émissions de gaz à effet de serre ne sont pas prises en compte.

Sources pour la synthèse des mesures à l'international

Mesures en matière d'efficacité énergétique pour les PME	www.energiesparen.be/node/3687
Mesures en matière d'efficacité énergétique des bâtiments	www.sustainablebuildingscentre.org/pages/beep
Réseau pour la performance énergétique globale des bâtiments	www.gbpn.org
Taxes et mesures incitatives pour les énergies renouvelables	www.kpmg.com/Global/en/IssuesAndInsights/ArticlesPublications/Documents/taxes-incentives-renewable-energy-2012.pdf
Base de données sur les politiques d'efficacité énergétique dans le secteur industriel	iepd.iipnetwork.org

2.6.1 Belgique

2.6.1.1 Réglementation

Secteur de la construction

La réglementation sur la Performance Énergétique et le Climat Intérieur (**PBE**), qui instaure des objectifs en matière d'efficacité énergétique et d'isolation, entend restreindre la consommation d'énergie pour le chauffage des locaux et impose l'utilisation d'une quote-part minimum d'énergies renouvelables pour les nouveaux bâtiments ou les bâtiments ayant fait l'objet de rénovations majeures. En Flandre, à Bruxelles et en Wallonie, la performance énergétique d'un bâtiment est évaluée à l'aide du même outil logiciel obligatoire PBE. Les objectifs y sont cependant définis différemment entre les trois régions (voir 5.4.2). En Flandre, pour les nouveaux projets de construction, il est obligatoire de réaliser une étude de faisabilité relative à la mise en place de systèmes d'énergies renouvelables.

Process

Conformément à l'*IPPCD*, le **Décret sur la Planification Énergétique** mis en place par le gouvernement flamand encourage le recours aux technologies les plus efficaces sur le plan énergétique qui se montrent économiquement viables (Meilleures Techniques Disponibles Économiquement Viables, *BATNEEC*) pour les processus énergivores. Les entreprises doivent identifier et analyser ces investissements dans le cadre d'une **étude énergétique** ou d'un **plan énergétique** lié(e) au permis environnemental (voir 5.4.5). Bruxelles a adopté une réglementation intégrée, appelée **COBRACE** (*Code of Brussels for Air, the Climate and Energy Control*). En Wallonie, les principes édictés par l'*IPPCD* sont repris dans le **Décret relatif aux Permis Environnementaux**.

2.6.1.2 Soutien financier

Déductions fiscales

Le gouvernement fédéral encourage les investissements industriels axés sur l'utilisation rationnelle de l'énergie, l'efficacité énergétique et la récupération de la chaleur résiduelle en réduisant la part du bénéfice imposable sur la base d'un certain pourcentage. Cette **déduction majorée pour investissements** représentait 14,5% au titre de l'exercice 2013. En Flandre, les nouveaux bâtiments qui répondent ou dépassent le niveau de performance énergétique requis au titre de la réglementation PBE bénéficient automatiquement d'un **abattement sur leur taxe foncière**. Un niveau énergétique de E50 (E40 à compter de 2014) ou moindre ouvre droit à une réduction d'impôt de 50% alors que la taxe foncière est intégralement versée pour un niveau à E30 ou moindre, sur une période de cinq ans dans les deux cas. Les **scans énergétiques** sont également **déductibles fiscalement**. À Bruxelles et en Wallonie, il n'existe aucune autre mesure régionale incitative sur le plan fiscal concernant les investissements liés à l'efficacité énergétique.

Aide à l'investissement

Les entreprises flamandes équipées d'un raccordement au réseau à hauteur de 70kV peuvent recevoir des subventions de la part du gestionnaire du réseau de transport d'électricité en Belgique, **Elia**, dans le cadre des investissements liés à l'efficacité énergétique. Les investissements doivent être étayés par une étude énergétique et avoir une durée de retour sur investissements comprise entre 2 et 5 ans. Les projets éligibles aux certificats verts ou PCCE ne sont pas pris en compte. La subvention représente jusqu'à 40% des coûts de l'investissement et est plafonnée à 200 000 €. Le gouvernement flamand encourage les entreprises à investir dans les technologies vertes de pointe et propres en finançant une partie des coûts d'investissements supplémentaires. La **Prime Écologie** n'est valable que pour un nombre limité de meilleures techniques disponibles et ne peut être cumulée avec les certificats verts ou PCCE, ni avec la garantie verte (voir Fout: Bron van verwijzing niet gevonden). L'**Aide à la Stratégie Écologie** est destinée aux technologies exceptionnelles, qui apportent directement des solutions aux problèmes environnementaux ou énergétiques et qui ont recours à des circuits fermés en matière d'énergies et de matières, tels que les systèmes géothermiques, les réseaux de chauffage, l'utilisation du CO₂ en tant que ressource, etc. Les deux primes couvrent jusqu'à 70% des coûts d'investissements supplémentaires, leur montant total était plafonné à 1 million € pour 3 ans.

À Bruxelles, les PME peuvent récupérer jusqu'à 30-40% de leurs investissements en matière d'efficacité énergétique et d'énergies renouvelables grâce à l'**«Aide à l'Investissement pour un Meilleur Environnement»**. Cette subvention peut augmenter de 5% sur présentation d'un certificat ISO 14000 ou du label «Entreprise

Écodynamique». En Wallonie, le même mécanisme d'aide à l'investissement existe pour les technologies recherchant l'efficacité énergétique et le recours aux énergies renouvelables (hors photovoltaïque) et la PCCE (**Aide à l'investissement Environnement et Utilisation durable de l'énergie**). La subvention représente entre 30 et 40% (50% pour la cogénération) des coûts additionnels générés par rapport aux technologies traditionnelles.

Primes à l'énergie

En Flandre, les **gestionnaires de réseaux** ont l'obligation de faire la promotion de l'utilisation rationnelle de l'énergie auprès de leurs clients au travers de campagnes de sensibilisation et de mesures financières incitatives. Des primes sont accordées pour l'installation de pompes à chaleur et de chaudières solaires. En outre, pour les bâtiments existants, une aide financière est octroyée pour l'isolation des toits, des combles, des planchers et des murs, l'installation de vitrage haute performance, l'optimisation des systèmes de chauffage, le *relighting* et les mesures d'économies d'énergie justifiées par un audit énergétique.

Bruxelles offre des **primes** à l'énergie pour l'isolation de l'enveloppe du bâtiment et le niveau global de performance thermique atteint, pour les systèmes de ventilation et de chauffage efficaces, y compris les pompes à chaleur, pour la production d'énergies renouvelables et la cogénération et pour d'autres types d'investissements visant à accroître la performance énergétique dans les bâtiments tertiaires et industriels nouveaux ou déjà existants. Les toitures végétales, les pare-soleils et le *relighting* sont également éligibles à la prime.

La Wallonie accorde des **primes** pour l'installation de générateurs d'air chaud à condensation ou radiants, de chaudières à condensation, de chaudières à biogaz autoalimentées, de chaudières solaires, de systèmes de cogénération, de pompes à chaleur pour la production d'eau chaude sanitaire, d'isolation, de *relighting*, de dispositifs de récupération de la chaleur des gaz, de systèmes visant à optimiser la gestion des installations électriques, de mécanismes d'optimisation des cycles de refroidissement, de brûleurs au gaz naturel pour les process industriels, de systèmes de modulation pour chaudières et brûleurs, de pompes régulées à fréquence variable, de ventilateurs et de compresseurs et pour le raccordement de générateurs de chaleur à un réseau de chauffage urbain.

Aide à l'exploitation

La Flandre, la Belgique et la Wallonie ne bénéficient pas de régimes de tarifs de rachat pour encourager la production d'électricité à base d'énergies renouvelables. Cependant, en Flandre, la production de **chaleur verte** (> 1MW), les réseaux de chauffage et les systèmes de récupération de la chaleur résiduelle ouvrent droit à une aide financière. Les primes sont versées à intervalles réguliers sur une période de dix ans, au prorata de la chaleur produite. Les entreprises peuvent faire une demande de soutien financier dans le cadre d'un **appel** semestriel.

Certificats

En Flandre, la production d'énergies renouvelables et la production combinée de chaleur et d'électricité (PCCE) sont financièrement récompensées via les systèmes d'**énergie verte** et de **certificats CPPE (EV et CCPPE)**. Le nombre de certificats octroyés est proportionnel à la quantité d'électricité verte produite ou de l'énergie primaire économisée via la PCCE. Bruxelles et la Wallonie, cependant, ne disposent pas de systèmes de certificats distincts pour l'énergie verte et la PCCE. Elles offrent plutôt des **certificats verts (CV)** pour les installations de CPPE ou de production d'énergies renouvelables qualitatives, au prorata des réductions d'émissions de CO₂ réalisées par rapport aux installations standards. À Bruxelles, un certificat est émis pour 217 kg de CO₂ économisé alors qu'en Wallonie, un certificat correspond à une réduction de CO₂ de 456 kg. Les gestionnaires de réseaux opérant à l'échelle fédérale et régionale sont obligés d'acheter ces certificats à un prix minimum garanti, qui, en Flandre, dépend des technologies utilisées. Pour plus d'informations, voir 6.9.

Subventions pour les audits, études et la recherche et le développement

La Flandre n'offre pas de mesures financières incitatives pour les audits ou les études énergétiques. Bruxelles émet des primes pour les audits énergétiques, les **études de conception énergétique** et les **tests d'infiltrométrie**. La Wallonie offre un concours financier à certains **audits**, concernant la consommation énergétique globale, la consommation électrique, les pertes thermiques attribuables à l'enveloppe du bâtiment (thermographie infrarouge), couplés à des **études de faisabilité** dans le cadre de la production d'énergies renouvelables (vent et biogaz) et aux audits allant dans le sens de la mise en place d'un plan visant à améliorer la performance énergétique globale. La Wallonie offre également une prime pour la certification de produits qui contribuent à une bonne gestion de l'énergie.

Subventions pour le suivi énergétique

La Wallonie et Bruxelles offrent des primes pour les systèmes de suivi énergétique.

Subventions pour le développement de parcs d'activités

En Flandre uniquement, **les subventions** offertes pour le **développement de parcs d'activités** sont liées à la consommation d'électricité neutre en carbone (voir 3.7). La réglementation a été modifiée en 2013 et se concentre à présent sur le réaménagement des friches industrielles et des terres incultes qui ne peuvent être développées sans soutien financier. La province de la Flandre orientale accorde une subvention supplémentaire aux parcs d'activités durables, représentant jusqu'à 75% des investissements éligibles, moyennant un plafond de 15 000 €.

2.6.1.3 Fonds et prêts

En Flandre, les crédits d'investissements octroyés pour les technologies d'économie d'énergie peuvent bénéficier d'un taux d'intérêt réduit grâce à la **Garantie Verte**. Elle concerne une liste limitée de technologies, avec une durée de retour sur investissements maximum de 10 ans. La Garantie Verte ne peut s'appliquer qu'à hauteur de 75% maximum du montant total du crédit. À Bruxelles et en Wallonie, il n'existe pas de fonds spécifiques dédiés aux technologies vertes, à l'exception de **Novalia**, en Wallonie, qui propose des emprunts subordonnés pour les investissements réalisés dans les process et produits innovants.

2.6.1.4 Accords volontaires

En Flandre, les Conventions d'Audit et de Benchmarking (voir 5.4.5) sont remplacées par l'**Accord sur la Politique Énergétique**. Aux termes de cet accord, les entreprises industrielles s'engagent à mettre en œuvre des mesures rentables en matière d'efficacité énergétique et de réaliser des études énergétiques régulièrement. En retour, le gouvernement flamand ne leur impose pas de mesures supplémentaires concernant l'efficacité énergétique et les émissions. Bruxelles n'a pas mis en place de tels accords. En Wallonie, les **Accords de Branche** sont des conventions passées entre les secteurs industriels et le gouvernement wallon, similaires aux Conventions d'Audit et de Benchmarking mises en place en Flandre. Les entreprises qui signent cet accord s'engagent à favoriser l'adoption de mesures en matière d'efficacité énergétique et d'énergies renouvelables et de soumettre un rapport d'activité annuel. En retour, elles bénéficient de divers avantages administratifs et financiers, tels que des réductions sur les impôts et taxes, l'exonération de la future taxe carbone et une subvention à hauteur de 75% pour les audits énergétiques réalisés.

2.6.1.5 Diffusion d'informations

Le gouvernement flamand mandate des **conseillers en énergie** auprès des fédérations professionnelles et des organisations non gouvernementales afin de conseiller les PME, les ménages et les professionnels du bâtiment en matière d'efficacité énergétique et de production d'énergies renouvelables. *Enterprise Flanders (Agentschap Ondernemen)* offre un scan énergétique gratuit (5.3.5) ou un scan d'éco-efficacité aux PME intéressées. Les entreprises qui utilisent le scan bénéficient d'un bonus complémentaire pour la Prime Écologie. *Enterprise Flanders* a créé un outil de self-scanning, disponible sur son site internet.

Sur son site internet **energiesparen.be**, l'Agence Flamande de l'Énergie (VEA) fournit des informations précises à toutes les parties prenantes s'agissant de la réglementation et des avantages financiers octroyés dans le cadre des mesures en matière d'efficacité énergétique et de production d'énergies renouvelables. *Enterprise Flanders* dispense des informations sur la réglementation liée à l'énergie et sur les aides financières proposées, tout particulièrement pour les PME, sur son site **agentschapondernemen.be**.

À Bruxelles, le **Facilitateur Bâtiment Durable** est un service public qui offre son appui dans le cadre des constructions nouvelles, de la rénovation et de la gestion des bâtiments dans une perspective de durabilité. La région de Bruxelles accorde le label «Entreprise Écodynamique» (*Ecodynamische Onderneming*) aux entreprises qui témoignent de bonnes pratiques en matière de gestion environnementale concernant l'énergie, les déchets, les ressources et la mobilité. Des séminaires et des sessions de formation portant sur les bâtiments durables sont organisés et les informations sont diffusées via le site internet **www.leefmilieubrussel.be**.

Le gouvernement wallon a créé un réseau de **Facilitateurs** qui épaulent les entreprises en leur fournissant des informations et des orientations sur les mesures énergétiques. Il organise également la **formation** des gestionnaires et auditeurs de l'énergie au sein des entreprises, des cours sur la performance énergétique des bâtiments, et publie des rapports techniques. Un état des lieux précis des mesures énergétiques est disponible sur le site **energie.wallonie.be**.

2.6.1.6 Sources

Flandre	
Réglementation	
Construction	www.energiesparen.be/bouwenverbouwen www.energiesparen.be/milieuvriendelijke/wetgeving
Process	www.energiesparen.be/energieplanning
Soutien financier	
Déductions fiscales	www.energiesparen.be/verhoogdeinvesteringsaftrek www.onroerendevoorheffing.be/nlapps/docs/default.asp?id=170
Aide à l'investissement	www.agentschapondernemen.be/themas/ecologiepremie www.elia.be/nl/producten-en-diensten/reg-actieplan www.energiesparen.be/node/3934
Primes à l'énergie	www.eandis.be/eandis/klant/k_overzicht_premies_P.htm
Aide à l'exploitation	
Audits, études, R&D	
Suivi énergétique	
Certificats	www.vreg.be/systeem-groenestroomcertificaten-en-garanties-van-oorsprong www.vreg.be/systeem-warmte-krachtcertificaten
Parcs d'activités	www.agentschapondernemen.be/maatregel/ontwikkeling-en-herontwikkeling-van-bedrijventerreinen www.agentschapondernemen.be/maatregel/provinciale-subsidie-duurzame-bedrijventerreinen-oost-vlaanderen
Fonds et prêts	www.energiesparen.be/node/3301
Accords volontaires	www.agentschapondernemen.be/artikel/moet-ik-een-energiebeleidsovereenkomst-afsluiten energiesparen.be/node/3341
Informations	www.energiesparen.be/KMO agentschapondernemen.be

Bruxelles	
Réglementation	
Construction	www.leefmilieubrussel.be/Templates/Professionnels/informer.aspx?id=32586
Process	www.leefmilieubrussel.be/Templates/news.aspx?id=37885
Soutien financier	
Déductions fiscales	www.energiesparen.be/verhoogdeinvesteringsaftrek
Aide à l'investissement	www.werk-economie-emploi.irisnet.be/nl/pme-investir-pour-ameliorer-notre-environnement
Primes à l'énergie	www.leefmilieubrussel.be/Templates/Professionnels/informer.aspx?id=36443
Aide à l'exploitation	
Audits, études, R&D	www.leefmilieubrussel.be/Templates/Professionnels/informer.aspx?id=36443
Suivi énergétique	www.leefmilieubrussel.be/Templates/Professionnels/informer.aspx?id=36443
Certificats	www.leefmilieubrussel.be/Templates/Professionnels/informer.aspx?id=32621 www.elia.be/nl/producten-en-diensten/groenestroomcertificaten/Minimumprice-legalframe-documentatie.leefmilieubrussel.be/documents/IF_Energie_berekening_GSC_NL_juni2012.PDF?langtype=2067
Parcs d'activités	
Fonds et prêts	
Accords volontaires	
Informations	www.leefmilieubrussel.be/Templates/Professionnels/informer.aspx?id=32196 www.leefmilieubrussel.be/Templates/Professionnels/niveau2.aspx?maintaxid=11771&taxid=11789

Wallonie	
Réglementation	
Construction	energie.wallonie.be/fr/la-reglementation-peb.html?IDC=6232
Process	environnement.wallonie.be/aerw/pe/
Soutien financier	
Déductions fiscales	www.energiesparen.be/verhoogdeinvesteringsaftrek
Aide à l'investissement	forms6.wallonie.be/formulaires/BrochureENV-UDE.pdf
Primes à l'énergie	energie.wallonie.be/nl/aides-et-prim.es.html?IDC=6358 energie.wallonie.be/fr/prim.es-energie.html?IDC=7029
Aide à l'exploitation	
Audits, études, R&D	energie.wallonie.be/fr/etudes-audit-global-comptabilite-energetique-amure.html?IDC=6374
Suivi énergétique	energie.wallonie.be/nl/mise-en-place-d-un-systeme-de-comptabilite-energetique-amure.html?IDC=6374&IDD=12271
Certificats	energie.wallonie.be/nl/systeme-d-octroi-de-certificats-verts.html?IDC=6384&IDD=12277 www.energik.be/belcogen
Parcs d'activités	
Fonds et prêts	energie.wallonie.be/nl/soutien-a-la-recherche-industrielle-de-base-au-sein-des-pme-et-des-grandes-entreprises.html?IDC=7625&IDD=63635
Accords volontaires	energie.wallonie.be/nl/les-accords-de-branche.html?IDC=6244
Informations	energie.wallonie.be/fr/demander-conseil.html?IDC=7886 energie.wallonie.be/fr/la-formation.html?IDC=6136

2.6.2 France

2.6.2.1 Réglementation

Secteur de la construction

La «**Réglementation Thermique 2012**» fixe les objectifs en matière de performance énergétique devant être atteints pour les nouveaux bâtiments et les bâtiments déjà existants. Elle se concentre sur la conception de bâtiments bioclimatiques performants et limite la consommation annuelle d'énergie primaire liée à l'utilisation des bâtiments. La surchauffe en été doit être évitée. Pour les rénovations non résidentielles importantes, la consommation d'énergie liée à l'utilisation du bâtiment doit être inférieure à une valeur de référence et doit être réduite d'au moins 30% par rapport à la situation initiale. Pour les rénovations moins importantes, la mise en place de matériaux de construction efficaces sur le plan énergétique est obligatoire. De plus amples informations sont fournies au paragraphe 5.4.2.

Process

Les dispositions législatives de la Directive IPPC ont été intégrées aux **réglementations** environnementales nationales pour les **installations ICPE** (Installations Classifiées pour la Protection Environnementale) qui font partie intégrante du **Code de l'Environnement**.

2.6.2.2 Soutien financier

Aide à l'investissement

Les investissements réalisés dans le cadre de la production d'énergies renouvelables et d'efficacité énergétique sont promus au travers de **subventions**, représentant un pourcentage des coûts d'investissements, et de **primes** à l'énergie. Elles sont octroyées par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et ses directions régionales.

Primes à l'énergie

Voir aide à l'investissement

Aide à l'exploitation

Le Fonds Chaleur, géré par l'ADEME, accorde des subventions échelonnées sur 20 ans pour la production de chaleur renouvelable provenant d'installations telles que les systèmes de chauffage à biomasse, les capteurs thermosolaires, les pompes à chaleur géothermiques, etc. Ces primes couvrent entre 20 et 60% des coûts d'investissements. Les installations de la valorisation de la biomasse importantes produisant plus de 11,6 GWh de chaleur par an peuvent déposer une demande de subvention dans le cadre d'un appel national annuel, nommé BCIAT (Biomasse Chaleur Industrie Agriculture Tertiaire). Tous les projets pour la production de chaleur renouvelable moins importants sont subventionnés par les directions régionales de l'ADEME.

Les gestionnaires de réseaux sont tenus d'acheter de l'électricité provenant de producteurs d'énergies renouvelables et de PCCE à des tarifs de rachat fixes, liés aux technologies utilisées, sur une période de 15 à 20 ans. Pour le biogaz produit localement, il y a également un approvisionnement obligatoire similaire à l'opérateur du réseau de gaz à un tarif de rachat défini est juridiquement possible mais n'a pas encore été mis en pratique.

À compter de 2013, le gouvernement français a renforcé les aides financières pour l'énergie solaire photovoltaïque. Les systèmes PV en toiture ou isolés offrant une puissance nominale supérieure à 100 kWc peuvent demander des subventions dans le cadre d'un appel annuel. Les systèmes PV en toiture moins importants reçoivent un appui financier via un tarif de rachat qui est ajusté chaque trimestre.

Certificats

Les grands fournisseurs d'énergie sont soumis à des objectifs triennaux en matière d'économies d'énergie, proportionnels à leurs volumes de ventes, et sont tenus de présenter une quantité correspondante de Certificats d'Économies d'Énergie (CEE). Ils peuvent acquérir des CEE en réalisant des programmes d'économies d'énergie éligibles chez leurs clients ou peuvent les acheter sur le marché auprès de tierces parties (autorités locales, agences immobilières, propriétaires) qui ont, elles-mêmes, mis en œuvre des mesures d'économies d'énergie éligibles. Les grandes entreprises ne peuvent obtenir individuellement des certificats mais peuvent s'en procurer en coopérant avec les fournisseurs d'énergie.

Subventions pour les audits, études et la recherche et le développement

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) subventionne les audits et études réalisées par les entreprises dans le cadre des émissions environnementales, de l'efficacité énergétique et de la production d'énergies renouvelables, ainsi que les projets innovants. L'ADEME finance également les analyses et études de faisabilité portant sur les sujets suivants: pollution de l'air, empreinte carbone, récupération des déchets, efficacité énergétique, énergies et matières renouvelables, gestion environnementale et produits respectueux de l'environnement, sites et sols pollués et transport.

2.6.2.3 Fonds et prêts

Les investissements réalisés dans les installations géothermiques profondes sont sujets à incertitude s'agissant des caractéristiques de la ressource souterraine. En conséquence, un **fonds** spécial a été mis en place afin de réduire les risques à court terme liés aux forages infructueux et les risques à long terme liés à la durabilité de la ressource et les dommages occasionnés aux installations sur une période de 20 ans. Le fonds **AQUAPAC** offre une garantie similaire pour les installations hydrothermiques peu profondes utilisant des pompes à chaleur d'une capacité supérieure à 30 kW. **OSEO**, rebaptisé **Bpifrance** en 2013, octroie également des prêts verts aux PME afin qu'elles puissent investir dans l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables.

2.6.2.4 Accords volontaires

France: Plusieurs accords volontaires ont été mis en place entre les entreprises individuelles ou les **branches** industrielles et le gouvernement. Ces accords visent à réduire les émissions de CO₂ et les polluants et à accroître la part de biomasse utilisée pour la combustion.

2.6.2.5 Diffusion d'informations

France: L'ADEME organise des sessions de formation et des séminaires, dispense des conseils et assure la promotion de l'éco-entrepreneuriat. Les informations sont diffusées via le site www.developpement-durable.gouv.fr and www2.ademe.fr.

2.6.2.6 Sources

France	
Réglementation	
Construction	www.rt-batiment.fr
Process	www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?idSectionTA=LEGISCTA000006108640&cidTexte=LEGITEXT000006074220&dateTexte=20120601 www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/reglementation-icpe-et-droit-environnemental-42439210/installations-classees-pour-la-protection-de-l-environnement-icpe-g4102/
Soutien financier	
Déductions fiscales	
Aide à l'investissement	www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?nocache=yes&m=3&sort=-1&cid=96&catid=14984&p1=0 www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=25480
Primes à l'énergie	idem investment support
Aide à l'exploitation	www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=25130 www.developpement-durable.gouv.fr/Les-tarifs-d-achat-de-l,12195.html www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/0825_plan_d_action_national_ENRversion_finale.pdf www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/DP_photovoltaique.pdf www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Dossier_de_presse_Methanisation.pdf
Audits, études, R&D	www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?nocache=yes&m=3&sort=-1&cid=96&catid=14981&p1=0
Suivi énergétique	
Certificats	www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=25007 www.developpement-durable.gouv.fr/-Certificats-d-economies-d-energie,188-.html www.eceee.org/events/eceee_events/energy-efficiency-obligations/2_ademe
Parcs d'activités	
Fonds et prêts	www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=25007 www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=25480
Accords volontaires	www.developpement-durable.gouv.fr/spip.php?page=article&id_article=11827
Informations	www.developpement-durable.gouv.fr www2.ademe.fr

2.6.3 Royaume-Uni

2.6.3.1 Réglementation

Secteur de la construction

Les **Règles de la Construction 2010** formulent des exigences en matière d'efficacité énergétique pour la construction de nouveaux bâtiments et la rénovation ou l'extension de bâtiments existants. Les sites industriels, les ateliers et les bâtiments agricoles non résidentiels sont exclus de cette réglementation, à la condition qu'ils présentent un faible besoin en énergie pour le chauffage ou la climatisation des locaux. Il existe des règles plus souples pour les bâtiments non exclus et qui affichent un faible besoin énergétique, où seul le chauffage local est utilisé ou sert uniquement de protection antigel. Pour tous les types de bâtiments couverts par les Règles de la Construction, des Certificats de Performance Énergétique (CPE) sont requis dans le cadre des nouvelles constructions et pour les bâtiments existants qui sont loués ou vendus. Les règles définissant les exigences minimales en matière de CPE sont actuellement en cours d'élaboration. Probablement d'ici à 2018, un niveau minimum de CPE à E sera requis pour toutes les locations ou simplement pour les locations ayant fait l'objet d'une rénovation.

Process

Les entreprises qui affichent une consommation électrique annuelle supérieure à 6000 MWh et qui ne sont pas couvertes par le SCEQE de l'UE ou par les Accords sur les Changements Climatiques (ACC) doivent

prendre part au programme contractuel d'efficacité énergétique «Engagement de Réduction en faveur de la réduction des émissions de Carbone (ERC)». Elles doivent déclarer leurs émissions de carbone et acheter et présenter des quotas pour chaque tonne émise. L'ERC concerne les grandes installations non énergivores, comme les supermarchés, les compagnies des eaux, les banques, les autorités locales et les ministères. En outre, l'EID est mise en œuvre dans le cadre des «**Règles des Permis d'Environnement 2013**».

2.6.3.2 Soutien financier

Déductions fiscales

Dans le cadre du Régime de **Déduction Majorée pour Amortissement** en matière d'énergie (**ECA**), les entreprises peuvent prétendre, la première année, à un allègement fiscal à hauteur de 100% des investissements réalisés en matière de technologies et produits économes en énergie tels qu'ils figurent dans la Liste des Technologies Énergétiques (LTE).

Aide à l'investissement

Le projet pilote **Réduction de la Consommation d'Électricité** entend encourager une baisse permanente de la consommation d'électricité. Les entreprises qui mettent en œuvre des mesures qui présentent une réduction vérifiable de leur consommation électrique, comme l'utilisation de moteurs, de climatisation et d'éclairage plus efficaces, pourront prétendre à une aide financière. Ce projet pilote recevra des financements à hauteur d'au moins 20 millions £. Il sera lancé au printemps 2014 pour une durée pouvant aller jusqu'à 24 mois.

Aide à l'exploitation

Le régime de **tarifs de rachat (FIT)** soutient la production d'électricité pauvre en carbone à **petite échelle**, d'une puissance inférieure à 5 MW (PV, vent, hydroélectricité, micro-génération ou digestion anaérobie) et propose un tarif de production pour l'électricité générée et un tarif export pour le surplus d'électricité transféré au réseau. Les tarifs dépendent de la taille et du type de technologie installée ainsi que du temps d'installation. Ces tarifs sont payés par le fournisseur d'électricité au producteur et seront récupérés par le fournisseur via les factures d'électricité qu'il adresse à ses clients.

Le programme non domestique **Incitatif pour le Chauffage Renouvelable (RHI)** subventionne la production de chauffage renouvelable, la production de bio-méthane pour injection et les réseaux de chauffage pour les entreprises, l'industrie et les secteurs publics. Parmi les technologies admissibles, on retrouve les pompes à chaleur utilisant le sol ou l'eau comme source de chaleur, les installations géothermiques profondes, les capteurs thermosolaires, le biogaz ou les installations alimentées à la biomasse et l'injection de bio-méthane. Les bénéficiaires reçoivent trois versements mensuels, selon le type et la taille de la technologie et correspondant à la quantité d'énergie produite, répartis sur 20 ans.

Le mécanisme du **Marché de Capacité**, qui fait partie de la Réforme du Marché de l'Électricité, vise à s'assurer qu'une capacité suffisante sera disponible pour assurer l'approvisionnement en électricité à l'avenir. Au travers d'un processus d'adjudication concurrentiel, il offre des aides financières (**Paiements de capacité**) aux fournisseurs de capacité. En retour, ceux-ci s'engagent à assurer un approvisionnement en énergie au besoin, sous peine de sanctions. La première enchère aura lieu en 2014 afin d'assurer une capacité suffisante pour l'hiver 2018-2019.

Le programme de l'Obligation relative aux énergies Renouvelables (**RO**), décrit au prochain paragraphe, sera remplacé par le programme des Réformes du Marché de l'Électricité (**EMR**), à l'issue d'une période transitoire (2014-2017) durant laquelle les deux cadres coexisteront. Le programme **EMR** lance des **Contrats pour Différence (CfD)**, des conventions passées entre producteurs d'électricité pauvre en carbone admissibles (énergies renouvelables, énergie nucléaire et technologies de CSC) et des fournisseurs ou des consommateurs d'électricité, qui garantissent des «prix d'exercice» convenus à l'avance pour l'électricité. Lorsque le prix moyen (de référence) du marché en matière d'électricité est inférieur au prix d'exercice, le producteur recevra la différence à titre de compensation. En revanche, lorsque le prix du marché est supérieur au prix d'exercice, les producteurs d'énergie devront reverser la différence aux fournisseurs ou aux consommateurs d'électricité. Cela offre un cadre incitatif stable et prévisible pour les entreprises qui souhaitent investir dans la production bas carbone.

Certificats

Le système de certificats mis en place au **Royaume-Uni** est similaire au système flamand mais couvre également la production d'énergies renouvelables ainsi que la cogénération. Dans le cadre de l'Obligation relative aux énergies Renouvelables (*RO*), les fournisseurs d'électricité sont tenus de présenter annuellement un nombre croissant de **Certificats d'Obligation relative aux énergies Renouvelables (ROC)** qu'ils peuvent obtenir via l'autoproduction ou en les achetant auprès d'autres grands producteurs d'électricité. Les fournisseurs qui ne se soumettent pas à cette obligation sont passibles d'amendes. Ainsi, les *ROC* constituent une incitation financière aux investissements dans l'électricité renouvelable et les installations PCCE. Le nombre de *ROC* octroyé à une installation est égal au montant de MWh produits, multiplié par un taux progressif dépendant de la technologie utilisée (voir aussi 6.9.6).

2.6.3.3 Fonds et prêts

Le **Fonds pour l'Efficacité Énergétique (FEE)** mis en place par le *Carbon Trust* et les Services Financiers de Siemens propose des solutions de financement flexibles et abordables sous forme de baux, de prêts à taux réduit et de locations avec option d'achat pour l'acquisition de technologies à haute efficacité énergétique. Combinées aux économies d'énergie réalisées, ces formes de financement génèrent d'emblée un flux monétaire positif. Le cadre instauré par l'**Accord Vert** encourage l'efficacité énergétique et le recours aux énergies renouvelables dans les entreprises (et les foyers) en permettant l'implémentation de solutions à moindres ou sans coûts initiaux. Ces solutions sont mises en place par un fournisseur approuvé Accord Vert qui récupère les coûts de l'investissement auprès du fournisseur d'électricité de l'entreprise. Ce dernier est remboursé via des acomptes ajoutés à la facture d'électricité de l'entreprise, de telle façon que le montant total de la facture reste inférieur à celui que le client aurait dû payer en l'absence de mesures.

2.6.3.4 Accords volontaires

Les **Accords volontaires sur les Changements Climatiques (ACC)** fixe des objectifs en matière d'efficacité énergétique et de réduction des émissions de GES pour les entreprises énergivores. Afin de parvenir à une amélioration globale de l'efficacité énergétique de 11% d'ici 2020 par rapport aux niveaux de 2008, des objectifs précis sont imposés à 51 secteurs industriels. Les entreprises prenant part aux ACC bénéficient d'une réduction sur la **Taxe sur le Changement Climatique (TCC)** à hauteur de 90% pour l'électricité et 65% pour le gaz naturel, le gaz de pétrole liquéfié et les combustibles solides.

Cette Taxe, figurant sur la facture d'électricité d'un client, vise à encourager les entreprises à réduire leur consommation d'énergie ou à faire appel aux énergies renouvelables. Sont exemptés de la Taxe sur le Changement Climatique les combustibles fournis par de l'électricité produite par des installations PCCE, répondant aux critères de qualité. L'électricité est générée à partir de sources d'énergies renouvelables et les combustibles fournis aux autoproducteurs. Depuis avril 2013, l'approvisionnement en combustibles fossiles dans le secteur de l'électricité est soumis à un barème spécial dans le cadre de la Taxe sur le Changement Climatique. Ces taux *CPS* (Soutien au Prix du Carbone) visent à définir un prix pour les émissions de carbone et à encourager l'industrie de la production d'électricité à investir dans les technologies à faible émission de carbone. Pour les installations PCCE, seul les apports de combustibles fossiles liés à la production d'électricité sont taxés.

2.6.3.5 Diffusion d'informations

Le gouvernement propose un outil pour aider les entreprises à mesurer et à déclarer les impacts sur l'environnement, tels que les émissions de gaz à effet de serre. Le *Carbon Trust* aide les entreprises à réduire leur empreinte écologique en leur offrant une expertise et un encadrement adaptés sur différents sujets: développement d'une stratégie commerciale durable, suivi et estimation des impacts sur l'environnement, identification, mise en œuvre et financement de technologies bas carbone permettant de réduire les coûts et de mesures d'efficacité énergétique, et outils logiciels gratuits. Les entreprises engagées sur le plan de l'environnement peuvent également intégrer le **Répertoire Vert des Entreprises** édité par le *Carbon Trust*. Le site **www.gov.uk** présente l'ensemble des ministères concernés par le sujet, y compris le Ministère de l'Énergie et du Changement Climatique, ainsi que toutes les politiques en place actuellement, et notamment toutes celles qui se rapportent à l'énergie, au climat et à l'environnement. Les sites **www.carbontrust.com** et **www.environment-agency.gov.uk** fournissent également de nombreuses informations aux entreprises dans le cadre des problématiques de l'environnement et de l'énergie.

2.6.3.6 Sources

Royaume-Uni	
Réglementation	
Construction	www.planningportal.gov.uk/buildingregulations/approveddocuments/partl/approved www.planningportal.gov.uk/buildingregulations/approveddocuments/partj/approved www.legislation.gov.uk/ukxi/2010/2214/made
Process	www.gov.uk/government/policies/reducing-demand-for-energy-from-industry-businesses-and-the-public-sector--2/supporting-pages/crc-energy-efficiency-scheme www.environment-agency.gov.uk/business/145770.aspx
Soutien financier	
Déductions fiscales	www.gov.uk/government/policies/reducing-demand-for-energy-from-industry-businesses-and-the-public-sector--2/supporting-pages/enhanced-capital-allowances-ecas www.hmrc.gov.uk/capital-allowances/fya/energy.htm
Aide à l'investissement	
Primes à l'énergie	
Aide à l'exploitation	www.gov.uk/government/policies/increasing-the-use-of-low-carbon-technologies/supporting-pages/feed-in-tariffs-scheme www.gov.uk/renewableheatincentive www.gov.uk/government/publications/electricity-market-reform-capacity-market-proposals www.gov.uk/government/publications/electricity-market-reform-contracts-for-difference www.gov.uk/government/policies/reducing-demand-for-energy-from-industry-businesses-and-the-public-sector--2/supporting-pages/electricity-demand-reduction-project
Audits, études, R&D	
Suivi énergétique	
Certificats	www.gov.uk/government/policies/increasing-the-use-of-low-carbon-technologies/supporting-pages/the-renewables-obligation-ro
Parcs d'activités	
Fonds et prêts	www.carbontrust.com/client-services/technology/implementation www.gov.uk/green-deal-energy-saving-measures/how-the-green-deal-works
Accords volontaires	www.environment-agency.gov.uk/business/topics/pollution/136236.aspx www.gov.uk/government/news/industry-agree-stretching-energy-efficiency-targets-with-government www.hmrc.gov.uk/climate-change-levy/index.htm
Informations	www.gov.uk/measuring-and-reporting-environmental-impacts-guidance-for-businesses www.carbontrust.com www.environment-agency.gov.uk

2.6.4 Pays-Bas

2.6.4.1 Réglementation

Secteur de la construction

La Réglementation sur la Performance Énergétique (**EPG**) définit des coefficients de performance énergétique (CPE) devant être atteints pour tous les nouveaux bâtiments, en fonction de la vocation de l'édifice (bureaux: CPE = 1,1). Pour les bâtiments à vocation industrielle, cependant, aucun coefficient CPE n'est imposé et aucun outil logiciel n'est obligatoire.

Process

L'EID est mis en place pour amender une série de réglementations existantes (**Décret sur les Activités et Loi sur la Protection de l'Environnement**).

2.6.4.2 Soutien financier

Déductions fiscales

La **Déduction pour Investissement Énergétique (EIA)** accorde un abaissement du revenu imposable d'une entreprise à hauteur de 41,5% de ses investissements dans les technologies renouvelables ou à haute efficacité énergétique. Les technologies admissibles figurent à la Liste Énergie 2013 et couvrent les catégories suivantes: la construction, les process, le transport et les énergies renouvelables. Les investissements réalisés en matière de conseil énergétique peuvent également être admissibles à l'EIA. La **Déduction pour Investissement Environnemental (MIA)** accorde une réduction du revenu imposable d'une entreprise représentant entre 13,5 et 36% de ses investissements dans les technologies respectueuses de l'environnement figurant sur une liste restreinte. La **Déduction Arbitraire pour les Investissements en faveur de l'Environnement (Vamil 2013)** autorise une dépréciation allant jusqu'à 75% des investissements réalisés dans ces technologies sur un exercice choisi, permettant ainsi d'alléger l'impôt sur les bénéfices sur l'année sélectionnée.

Aide à l'exploitation

Le régime de subvention **SDE+** est destiné à compenser les surcoûts liés à la production d'électricité, de chaleur ou de gaz renouvelable, comparée à la production à base de combustibles fossiles. Le tarif de rachat du kWh augmente tout au long de l'année au travers de six phases subséquentes, de sorte que ce sont les technologies les moins chères qui sont d'emblée mises en avant. La subvention est accordée pour une période de 5, 12 ou 15 ans.

Subventions pour les audits, études et la recherche et le développement

Il n'existe pas de mesures financières incitatives plus particulièrement destinées aux audits et études liés à l'efficacité énergétique ou les énergies renouvelables. Le programme de **Subventions pour la Recherche en matière d'Énergie** soutient la recherche et le développement dans le domaine des nouvelles technologies qui contribuent à la gestion durable de l'énergie.

2.6.4.3 Fonds et prêts

Les projets respectueux de l'environnement sont encadrés par la **Réglementation sur les Projets Verts** mise en place par le gouvernement néerlandais qui permet aux banques d'offrir des crédits à taux réduit.

2.6.4.4 Accords volontaires

Les **Accords Pluriannuels en matière d'Efficacité Énergétique** cherche à améliorer l'efficacité énergétique des entreprises (et des municipalités) à un rythme annuel moyen de 2% en assurant la promotion de la gestion énergétique, des mesures d'efficacité énergétique liées aux process et aux chaînes de production et des énergies renouvelables. Les entreprises qui signe cet accord s'engagent à remplir les objectifs proposés et reçoivent le soutien du gouvernement en retour. Les entreprises et les municipalités non SCEQE peuvent adhérer à l'accord **MJA3**, alors que l'accord **MEE** n'est destiné qu'aux entreprises SCEQE. Aux termes de la convention MJA3, les entreprises doivent mettre en place un système de gestion systématique de l'énergie dans un délai de 3 ans, sur la base des normes ISO 14001 et 50001. Elles doivent également assurer le suivi de leur consommation d'énergie et le déclarer auprès de l'Agence NL (*Agentschap NL*) afin que cette dernière puisse contrôler si les objectifs sont atteints. Les entreprises doivent présenter un Plan d'Efficacité Énergé-

tique (PEE) pour la période 2013-2016, identifiant les mesures prises et planifiant leur mise en œuvre. Aux termes du Décret sur les Activités et de la Loi sur la Protection de l'Environnement, doivent être implémentées les mesures présentant une VAN positive à un taux de réduction de 15% ou, à défaut, une durée de retour sur investissements pouvant aller jusqu'à 5 ans. Une première version de ces mesures doit être disponible dans les neuf premiers mois. Enfin, la mise en place de systèmes de production ou de rachat d'énergies renouvelables est obligatoire.

Le contrat MEE n'impose pas aux entreprises d'adopter un programme de gestion de l'énergie et ne fixe pas non plus d'objectifs en matière d'énergies renouvelables. Il exige d'assurer le suivi énergétique et d'en faire la déclaration, et de présenter un Plan d'Efficacité Énergétique. En contrepartie, l'Agence NL aide les entreprises à tenir leurs engagements en leur fournissant des informations utiles et en les orientant vers des sociétés de conseils compétentes. En outre, les entreprises grosses consommatrices d'énergie, présentant une consommation d'électricité supérieure à 10 GWh (hors réduction chimique, électrolyse et process métallurgiques), sont admissibles au «Régime de Remboursement de la Taxe sur l'Énergie» inscrite à la «Loi sur les Taxes Environnementales».

2.6.4.5 2.6.4.5 Diffusion d'informations

Le gouvernement aide les entreprises à surmonter les obstacles réglementaires, financiers et ceux relatifs à l'organisation qu'elles sont susceptibles de rencontrer dans le cadre de projets durables en dispensant des conseils personnalisés (**Accords Verts**). Le site national d'informations www.agentschapnl.nl accompagne les entreprises dans leur développement durable et innovant.

2.6.4.6 Sources

Pays-Bas	
Réglementation	
Construction	www.agentschapnl.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/energieprestatie-nieuwbouw-epn/regelgeving/bepalingsmethode
Process	www.infomil.nl/onderwerpen/duurzame/bbt-ippc-brefs/richtlijn/implementatie/wijzigingen
Soutien financier	
Déductions fiscales	www.agentschapnl.nl/subsidies-regelingen/energie-investeringsaftrek-eia www.agentschapnl.nl/subsidies-regelingen/miavamil www.antwoordvoorbedrijven.nl/subsidies/zoek
Aide à l'investissement	
Primes à l'énergie	
Aide à l'exploitation	
Audits, études, R&D	www.agentschapnl.nl/subsidies-regelingen/energieonderzoek-subsidie-eos/formulieren-eos
Suivi énergétique	
Certificats	
Parcs d'activités	
Fonds et prêts	www.agentschapnl.nl/subsidies-regelingen/groen-beleggen
Accords volontaires	www.agentschapnl.nl/subsidies-regelingen/meerjarenafspraken-energie-efficiency
Informations	www.agentschapnl.nl www.agentschapnl.nl/subsidies-regelingen/miavamil/onderwerpen-toegelicht/green-deals

2.6.5 Allemagne

2.6.5.1 2.6.5.1 Réglementation

Secteur de la construction

Le **Règlement sur les Économies d'Énergie (EnEV)** contrôle l'efficacité énergétique des bâtiments résidentiels et non résidentiels. La consommation annuelle d'énergie primaire liée à l'utilisation du bâtiment, calculée à l'aide d'un outil logiciel obligatoire, ne doit pas dépasser la valeur de référence correspondant à ce type de bâtiment. Le calcul tient compte des systèmes de CVC (chauffage, ventilation et climatisation), de l'eau chaude, de l'éclairage (non résidentiel uniquement), de la conception bioclimatique et de la production individuelle d'énergies renouvelables. La **Loi sur la Chaleur Renouvelable (EEWG)** exige qu'une part minimum de chaleur renouvelable soit utilisée pour chauffer ou climatiser les espaces dans les nouveaux bâtiments. Les quotas minima de chaleur renouvelable sont liés aux technologies utilisées: 15% pour les capteurs d'énergie solaire, 50% pour les installations qui récupèrent la chaleur géothermique ou la chaleur de l'environnement, 50% pour les installations fonctionnant à la biomasse solide ou liquide, 30% pour le biogaz. Les solutions alternatives admissibles comptent la récupération de la chaleur résiduelle, la chaleur produite par les installations PCCE performantes, l'isolation de l'enveloppe du bâtiment présentant une amélioration de l'efficacité de 15% par rapport à la réglementation en place ou le raccordement à un réseau de chauffage urbain.

Process

L'EID est transposée en droit allemand et vient modifier un ensemble de lois existantes (Loi Fédérale sur la Lutte contre la Pollution, Loi sur la Gestion du Cycle de Vie, Loi sur les Ressources en Eau, Législation concernant les Évaluations des Incidences sur l'Environnement).

2.6.5.2 Soutien financier

Aide à l'investissement

Les investissements liés à l'efficacité énergétique réalisés pour la mise en place de systèmes de climatisation ou de réfrigération, nouveaux ou déjà existants, sont subventionnés par l'Office Fédéral Allemand de l'Économie et du Contrôle des Exportations (**BAFA**) à hauteur de 15 à 25% des coûts d'investissements. Un avantage supplémentaire de 25 à 35% peut être octroyé dans le cas de systèmes innovants. L'**Initiative Nationale sur le Climat** subventionne également les projets de systèmes de refroidissement ainsi que les audits réalisés par les entreprises. Il est financé par la vente aux enchères de quotas d'émissions.

Primes à l'énergie

Le **BAFA** subventionne la production de chauffage à base d'**énergies renouvelables**. Cette subvention est accessible pour les capteurs d'énergie solaire, les pompes à chaleur, les chaudières alimentées à la biomasse et destinées à la production de chaleur industrielle, l'eau chaude, le chauffage urbain et le chauffage et la climatisation des espaces dans les bâtiments existants. Des primes peuvent venir s'ajouter lorsque l'investissement couvre plusieurs technologies en même temps, lorsqu'une technologie est appliquée à une construction à haute efficacité énergétique, lors de l'installation d'une chaudière à condensation, lorsque le système thermosolaire est raccordé au réseau de chauffage ou lors de l'utilisation d'une pompe très performante.

Les technologies innovantes reçoivent un appui financier dans le cadre de logements multifamiliaux et de bâtiments non résidentiels, nouveaux ou déjà existants. Ces technologies englobent les grandes centrales thermiques solaires à vocation industrielle ou dédiées au chauffage des locaux et les chaudières à biomasse autoalimentées. Les centrales de **PCCE** produisant jusqu'à 20 kW sont subventionnées au moyen d'une prime unique. Les réseaux de chauffage et de climatisation perçoivent 100 € par mètre de nouvelle conduite d'alimentation installée, représentant jusqu'à 30 à 40% des coûts de l'investissement, plafonnés à 10 millions €. Le BAFA encourage le recours aux **technologies transversales** hautement performantes au sein des PME selon deux axes. Tout d'abord, les moteurs électriques à haute efficacité énergétique, les pompes, les systèmes de climatisation, les systèmes à air comprimé et les systèmes qui récupèrent la chaleur de ces deux derniers dispositifs sont subventionnés de façon individuelle. Les investissements compris entre 5 000 et 3 000 € sont admissibles et peuvent être subventionnés à hauteur de 30% pour les PME et à hauteur de 20%

pour les entreprises plus importantes. Dans un second temps, une approche globale d'optimisation de l'ensemble du système énergétique est mise en avant. Une prime plafonnée à 100 000 € peut être octroyée, sous réserve qu'une étude énergétique soit menée et qu'au moins deux technologies transversales soient implémentées moyennant un investissement minimum de 30 000 €. La réduction enregistrée en matière de consommation finale d'énergie doit également atteindre au moins 25%.

Aide à l'exploitation

Conformément aux dispositions de La Loi sur la Cogénération, les installations de PCCE de toutes tailles perçoivent une subvention du fournisseur d'électricité pour l'énergie qu'elles produisent sur une période donnée alors que les installations de micro-génération se voient octroyer une prime unique. La **Loi sur les Énergies Renouvelables** a défini des tarifs de rachat et l'accès au réseau de l'électricité provenant de sources renouvelables est priorisé. Les gestionnaires de réseaux sont tenus d'acheter de l'électricité verte auprès des exploitants de centrales à prix fixe sur une période de 20 ans, défini en fonction du type et de la taille des technologies utilisées, afin d'assurer un retour sur investissement indépendamment du prix de l'électricité pratiqué sur la bourse de l'électricité. En outre, les biocarburants sont favorisés par la réglementation fiscale.

Subventions pour les audits, études et la recherche et le développement

Dans son programme «**Conseils pour l'Efficacité Énergétique à l'attention des PME**», la banque de développement du gouvernement, KfW, subventionne les audits énergétiques réalisés par les PME.

Subventions pour le suivi énergétique

80% des coûts d'acquisition et 20% des coûts de certification des systèmes de suivi énergétique mis en place au sein d'entreprises sont subventionnés par le BAFA, moyennant un maximum de 8 000 €.

2.6.5.3 Fonds et prêts

KfW propose des **prêts verts** abordables, avec un différé de remboursement pouvant couvrir jusqu'aux 3 premières années, pour les investissements réalisés dans les technologies respectueuses de l'environnement, à haute efficacité énergétique, innovantes et renouvelables. Elle couvre également le risque lié aux installations géothermiques.

2.6.5.4 Accords volontaires

Dans le cadre de l'**Accord sur les Changements Climatiques** daté de 2000, le gouvernement allemand a fixé des objectifs en matière d'efficacité énergétique et de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour 19 associations professionnelles. Ils doivent être remplis d'ici à 2012 et les associations sont, en contrepartie, exemptées de réglementations environnementales européennes supplémentaires et des audits énergétiques obligatoires. Les objectifs sont spécifiques à chaque secteur car ils varient en termes de portée, de quantité de gaz à effet de serre intégrée à l'inventaire et de définition de la cible (émissions spécifiques ou absolues). À noter toutefois que l'objectif global de réduire les émissions de 35% par rapport aux niveaux de 1990 a été atteint en 2010, bien que fixé pour 2012.

2.6.5.5 Diffusion d'informations

Le **Partenariat pour la Protection du Climat et l'Énergie** repose sur deux piliers. Tout d'abord, l'initiative «**Entreprises pour la Protection du Climat**» (*klimaschutz-unternehmen*) regroupe les entreprises qui s'engagent à intégrer l'efficacité énergétique et la protection du climat dans leur stratégie, à suivre leurs résultats et à mener régulièrement des audits énergétiques et des audits en matière d'émissions. Les bonnes pratiques sont mises en avant. Ensuite, le *Deutsche Industrie- und Handelskammertag (DIHK)* et la Chambre de Commerce et d'Industrie allemande organisent des réunions d'informations et mettent des conseillers en énergie à disposition gratuitement, et accordent également des subventions pour former certains membres du personnel en qualité de gestionnaires de l'énergie. Les sites www.bafa.de et www.kfw.de fournissent des informations liées aux questions que peuvent se poser les entreprises sur le climat et l'énergie.

2.6.5.6 Sources

Allemagne	
Réglementation	
Construction	www.buildup.eu/publications/30238 www.erneuerbare-energien.de/die-themen/gesetze-verordnungen/waermegesetz-eewaermeg
Process	www.bfu-ag.de/index.php/en/industriemissionen-ied
Soutien financier	
Déductions fiscales	
Aide à l'investissement	www.bafa.de/bafa/de/energie/kaelteanlagen/index.html www.bmu.de/en/topics/climate-energy/climate-initiative/general-information www.klimaschutz.de/en/taxonomy/term/31
Primes à l'énergie	www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/index.html www.bafa.de/bafa/de/energie/kraft_waerme_kopplung/index.html www.bafa.de/bafa/de/energie/querschnittstechnologien/index.html
Aide à l'exploitation	www.bafa.de/bafa/de/energie/kraft_waerme_kopplung/index.html energytransition.de/2012/10/renewable-energy-act-with-feed-in-tariffs/ www.res-legal.eu/search-by-country/germany/single/s/res-e/t/promotion/aid/feed-in-tariff-eeg-feed-in-tariff/lastp/135
Audits, études, R&D	www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/index-2.html
Suivi énergétique	www.bafa.de/bafa/de/energie/energiemanagementsysteme/index.html
Certificats	
Parcs d'activités	
Fonds et prêts	www.kfw.de/kfw.de-2.html
Accords volontaires	iepd.iipnetwork.org/node/249 www.bdi.eu/Klimaschutzvereinbarung.htm
Informations	www.klimaschutz-unternehmen.de energie-und-rohstoffe.ihk.de iepd.iipnetwork.org/node/255 www.bafa.de www.kfw.de

2.6.6 Tableau comparatif - Mesures nationales en matière d'énergie

International overview policy measures industry

	Flanders	Brussels	Wallonia	France	United Kingdom	Netherlands	Germany
Regulation Building	EPB regulation	EPB regulation	EPB regulation	Règlementation Thermique 2012	The Building Regulations 2010	Energy Performance Regulation (EPG)	Energy Conservation Regulation (EnEV), Renewable Energy Heat Act (EEWG)
Process	Energy Planning Decree	COBRACE	Decree Environmental Permits	regulations for ICPE installations	Environmental Permitting Regulations 2013, Carbon Reduction Commitment (CRC)	Activities Decree and Law Environmental Management	IED in different national environmental laws
Financial support							
Tax deduction	federal enhanced investment deduction, property tax rebate, energy scans tax deductible	federal enhanced investment deduction	federal enhanced investment deduction	-	Enhanced Capital Allowances (ECAs)	investment Deductions EIA and MIA/Vamit 2013	-
Investment support	investment support Elia, Ecology Premium and Strategic Ecology Support, Green heat call	investment support for a better environment	Aide à l'investissement Environnement et Utilisation durable de l'énergie	regional subsidies ADEME	Electricity Demand Reduction pilot	-	BAFA airco and refrigeration, National Climate Initiative
Energy premiums	premiums grid operator	energy premiums regional government	energy premiums Regional government	regional premiums ADEME	-	-	BAFA renewable heat, CHP, cross cutting technologies
Exploitation support	-	-	-	Heat Fund, feed-in tariffs For renewable and CHP electricity	feed-in tariffs renewable electricity, Renewable Heat Incentive (RHI), Capacity Payments	SDE+	electricity feed-in tariffs (Renewable Energy Act, CHP Act)
Certificates	Green power and CHP certificates (GPCs and CHPCs)	Green certificates for CO2 savings (GCS)	Green certificates for CO2 savings (GCS)	Energy Saving Certificates (ESCs)	Renewables Obligation Certificates (ROCs), Contracts for Difference (CFDs)	-	-
Subsidies audits, studies and R&D	-	energy audit, design study, blowerdoor test	energy audits, Feasibility studies	subsidies audits and Studies ADEME	-	Energy Research Subsidy	SME Energy Efficiency Advice KfW
Subsidies energy monitoring	-	subsidies regional government	subsidies regional Government	-	-	-	BAFA
Subsidies business park development	coupled to carbon neutral Electricity consumption	-	-	-	-	-	-
Funds and loans	Green Warranty	-	subordinated loan Novalia For innovative projects	Geothermy fund, AQUAPAC, OSEO	Energy Efficiency Financing (EEF) Carbon Trust, Green Deal	Regulation Green Projects	green loans KfW
Voluntary agreements	Energy Policy Agreements	-	Accord de Branche	with industry branches Or individual firms	Climate Change Agreements (CCAs)	Multyear Agreements Energy Efficiency MJA3, MEE	Climate Change Agreement
Information dissemination							
Consultancy	Energy consultants, Free energyscan AO	Facilitator Sustainable Buildings	Network Energy Facilitators	ADEME	Environmental impact tool, Carbon Trust	Green Deals	DIHK
Sensitising		Label Eco-Dynamic Enterprise		ADEME eco-entreprise	Carbon Trust Business Directory		Companies for Climate Protection
Informative websites, sensitising, education, Training	www.energiesparen.be, www.agentschapondermensen.be	www.leefmilieu.brussel.be	energie.wallonie.be	www.developpement-durable.gouv.fr, www2.ademe.fr	www.govuk, www.carbontrust.com, www.environment-agency.gov.uk	www.agentschap.nl	www.bafa.de, www.kfw.de

LOW
CARBON
BUSINESS
PARK
MANUAL

Chapitre 3

**Parc d'activités
bas carbone**

3 Parc d'Activités Bas Carbone

3.1 Introduction

Le présent chapitre définit le concept des parcs d'activités bas carbone et identifie quatre types d'organisations pouvant bénéficier de mesures énergétiques à faible émission de carbone, dans le droit fil de la stratégie Trias Energetica. Il expose ensuite la notion d'empreinte carbone prise en tant qu'outil de mesure des émissions de gaz à effet de serre et détaille les conditions inhérentes à la neutralité carbone et à la consommation d'électricité carboneutre. Puis, le chapitre suggère quelques actions d'incitation et de sensibilisation pouvant être mises en place sur le sujet. Enfin, les auteurs décrivent quelques parcs d'activités bas carbone implantés à l'échelle mondiale.

3.2 Concepts de durabilité appliqués aux parcs d'activités

On distingue un certain nombre d'approches différentes en matière de durabilité appliquée aux parcs d'activités. Les parcs industriels durables mettent l'accent sur la coopération inter-entreprises dans tous les domaines, alors que les parcs éco-industriels cherchent plus particulièrement à valoriser les synergies existantes au niveau de la chaîne d'approvisionnement de l'énergie, des matières et de l'eau (symbiose industrielle). Les parcs industriels verts, quant à eux, regroupent plusieurs entreprises attachées au développement durable à titre individuel. Les parcs d'activités bas carbone associent les caractéristiques des parcs éco-industriels et des parcs industriels verts (voir Fig. 12).

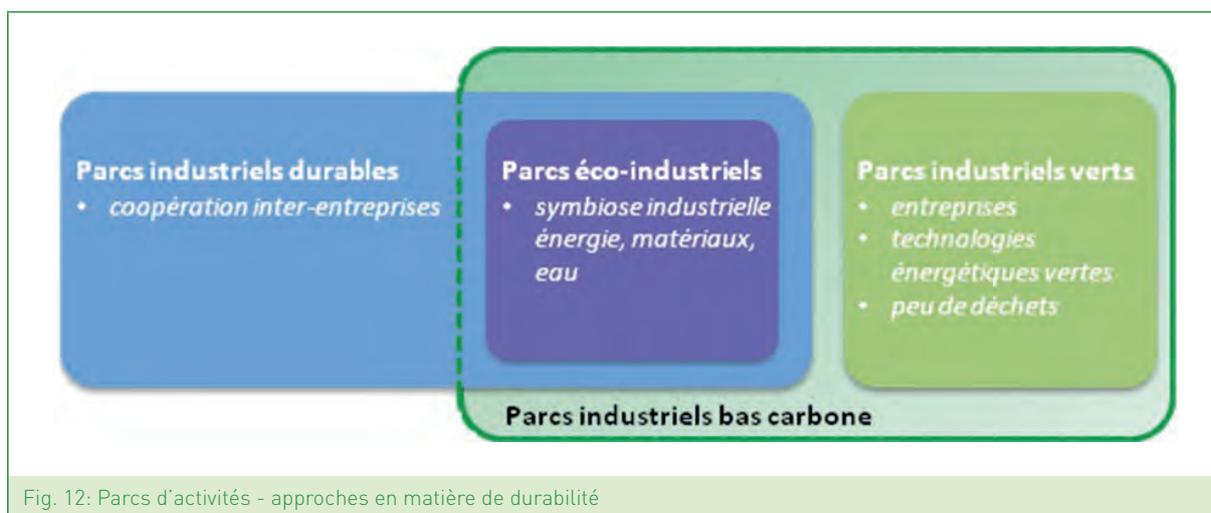


Fig. 12: Parcs d'activités - approches en matière de durabilité

3.2.1 Parcs industriels durables

Les parcs industriels durables cherchent à tirer parti des avantages technologiques, économiques, écologiques, sociaux et en matière d'espace qu'offre la coopération inter-entreprises dans le domaine de la gestion des installations et des services publics, des infrastructures et des process industriels. Plus concrètement, la coopération inter-entreprises peut intégrer l'organisation collective de l'approvisionnement en énergie et en ressources, le traitement des eaux usées, la maintenance des matériels de transport et l'entretien des espaces verts, l'usage collectif des équipements et des installations (centre de fitness ou garderie), l'échange de flux de matériaux ou d'énergie entre les entreprises concernées ou avec les structures environnantes, etc. Afin d'assurer la pleine intégration d'un tel concept, différentes mesures et actions doivent être prises à chaque étape du développement du parc; Ces dernières peuvent être facilitées par la mise en place d'une gestion multidisciplinaire du parc d'activités. La coopération volontaire entre entreprises suppose des retombées positives à court terme, une meilleure compétitivité à moyen terme et l'instauration d'une relation durable entre toutes les parties prenantes sur le long terme.

3.2.2 Parcs éco-industriels

Au niveau des parcs éco-industriels, les entreprises s'appuient plus particulièrement sur les synergies identifiées au cœur des chaînes d'approvisionnement de l'énergie, de matériaux, d'eau et de services afin d'améliorer le rendement économique tout en réduisant les impacts sur l'environnement. Dans ce type de configuration, aussi appelée symbiose industrielle, les déchets générés par une entreprise deviennent ressources pour une autre et la chaleur est mise en cascade et échangée entre les différentes entreprises. Afin de développer le potentiel synergétique, il convient de regrouper les entreprises disposant de profils complémentaires en termes de ressources (eau, matériaux et énergie). De plus, les parcs éco-industriels doivent être intégrés au métabolisme industriel de la région. Le parc éco-industriel de Kalundborg au Danemark est un exemple notoire en matière de symbiose industrielle. Actuellement, on dénombre 27 relations symbiotiques, mises en place en matière d'énergie, d'eau et de matériaux, et partagées entre neuf entreprises publiques et privées. Le projet est aujourd'hui en phase d'expansion (voir Fig. 13).

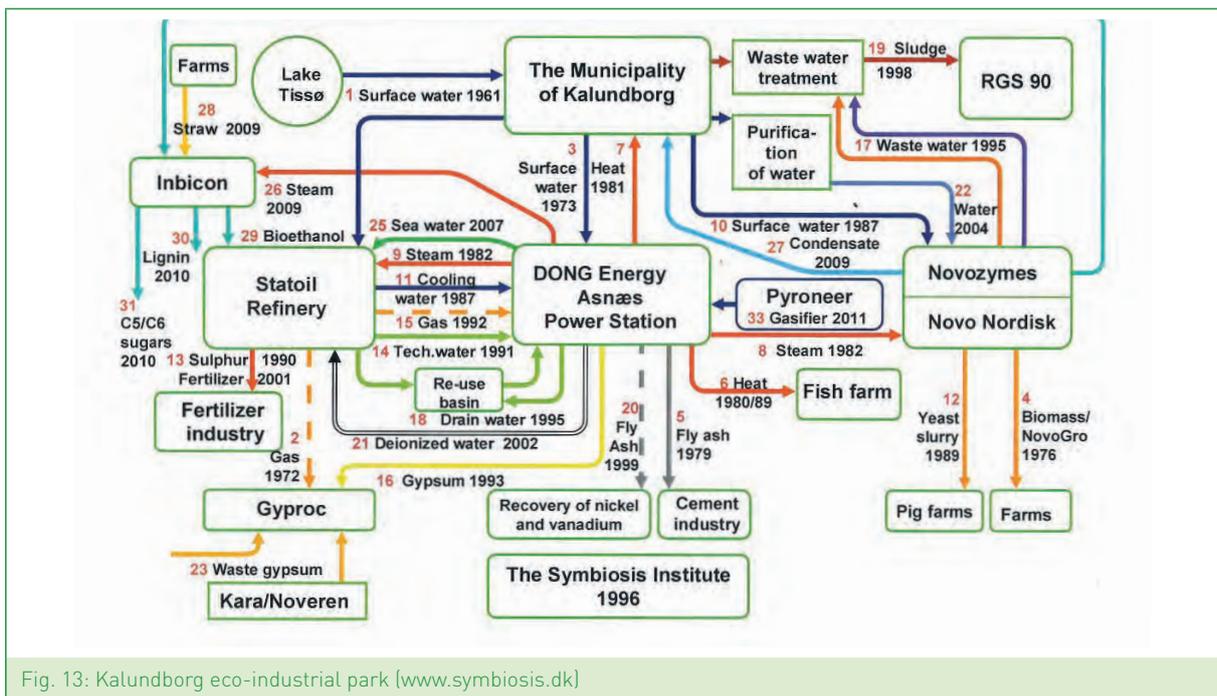


Fig. 13: Kalundborg eco-industrial park (www.symbiosis.dk)

Le parc éco-industriel de Kymenlaakso en Finlande s'alimente des différentes relations symbiotiques existant entre l'usine de pâtes et de papiers de Kymi, une centrale électrique, trois usines chimiques, un fournisseur d'énergie régional et une station d'épuration municipale. L'usine de pâtes et de papiers produit une partie de sa propre énergie en incinérant les déchets (liqueur noire) issus de la fabrication de la pâte à papier. Le reste des besoins en vapeur, électricité et chaleur sont fournis par la centrale électrique, alors que la production excédentaire de chaleur et d'électricité est revendue aux usines chimiques. La centrale électrique récupère de l'écorce, des copeaux de bois, des suspensions de fibres et de la tourbe traitée qu'elle récupère auprès de l'usine de pâtes et de papiers et s'en sert comme combustible; elle revend de l'électricité et de la chaleur au fournisseur d'énergie régional qui, à son tour, vend de l'électricité à la station d'épuration municipale.

Lorsqu'on se projette à l'échelle régionale, le potentiel de symbiose industrielle augmente car davantage de synergies se créent et de nouveaux partenaires potentiels apparaissent. Au Royaume-Uni, la symbiose industrielle à l'échelle régionale est encouragée et soutenue par le Programme National pour la Symbiose Industrielle (NISP), une base de données nationale référencant l'offre et la demande d'environ 12 500 entreprises en matière d'énergie, d'eau, de matériaux, de logistique, de capital et de connaissances. L'extension de ce programme à d'autres pays est prévue.

3.2.3 Parcs industriels verts

Les parcs industriels verts consistent en un regroupement d'entreprises qui ont recours aux technologies et aux process utilisant des énergies renouvelables dans le but de réduire leurs émissions et minimiser la pro-

duction de déchets, sans pour autant rechercher et tirer parti des synergies . Jusqu'à présent, la plupart des parcs d'activités qui sont éligibles à l'aide financière proposée par la Flandre, soumise à la condition de consommer de l'électricité carboneutre, sont des parcs industriels verts.

3.2.4 Parc d'activités bas carbone

Les Parc d'Activités Bas Carbone regroupent les avantages des parcs industriels verts et des parcs éco-industriels. L'emploi d'énergies renouvelables et l'utilisation de process et de produits écologiques sont associés à la recherche et l'exploitation de synergies au niveau des chaînes d'approvisionnement en énergie, en matériaux et en eau, afin de réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre tout en générant des retombées économiques.

Les avantages que présentent les parcs d'activités bas carbone sont multiples. Les synergies qui se créent entre les chaînes d'approvisionnement des entreprises permettent de réduire le besoin en ressources énergétiques, en matières premières et en eau douce et, dans le même temps, les déchets peuvent être recyclés, valorisés sur le plan énergétique, voire même totalement éliminés lorsque la filière des ressources est bouclée. L'économie qui en résulte en termes de coûts opérationnels et de production est significative. Le recours à des process et équipements propres et performants, ainsi que la production et l'achat d'énergies renouvelables viennent réduire les émissions de gaz à effet de serre et autres substances polluantes. Les pénalités et taxes environnementales, actuelles et futures, peuvent ainsi être évitées. En outre, la production locale d'énergies renouvelables permet aux entreprises de moins subir la fluctuation des prix des énergies fossiles, s'avère bénéfique pour l'emploi dans la région et contribue à renforcer l'ancrage local. Cela offre également l'opportunité aux entreprises, aux gestionnaires de parcs d'activités et aux sociétés locales de services énergétiques de contrôler leur approvisionnement énergétique. L'excédent d'énergie renouvelable produite localement peut être revendu, créant ainsi un produit d'exportation supplémentaire. Ensuite, les entreprises installées sur des parcs d'activités bas carbone témoignent d'un engagement social et écologique et peuvent se servir de cet atout pour attirer de nouveaux clients. Enfin, les initiatives couronnées de succès, telles que le parc de Kalundborg, prouvent que le réflexe de l'innovation se déclenche entre et au sein des entreprises, ce qui constitue, pour elles, un challenge positif.

Tableau 4: avantages des parcs d'activités bas carbone

<i>Écologiques</i>	<i>Économiques</i>	<i>Stratégiques et sociaux</i>
<ul style="list-style-type: none"> • baisse de la consommation de ressources énergétiques, de matières premières et d'eau • recyclage, revalorisation et élimination des déchets • réduction des émissions de gaz à effet de serre et autres gaz et substances polluants • environnement de travail plus sain 	<ul style="list-style-type: none"> • réduction des coûts opérationnels et de production • évitement des taxes et pénalités environnementales • possibilité d'aide financière pour les investissements innovants et durables • bon amortissement, même à court terme, des investissements réalisés pour un grand nombre de technologies durables • mutation de l'énergie excédentaire en produit d'exportation 	<ul style="list-style-type: none"> • plus grande indépendance énergétique • promotion de l'emploi de la région meilleur ancrage local • symbole d'engagement social et écologique • image d'entreprise responsable et durable • impulsion d'innovation, challenge, attraction de talents

3.3 Trias Energetica

La stratégie Trias Energetica, proposée par Lysen , définit une approche globale en trois étapes afin de diminuer les émissions de carbone liées à la consommation d'énergie:

1. Réduire le besoin énergétique
2. Accroître la production d'énergies renouvelables
3. Répondre aux autres besoins énergétiques en utilisant les combustibles fossiles de la manière la plus efficace possible.

Afin d'adapter cette stratégie prioritaire, figurant à la liste des mesures énergétiques, à la gestion de l'énergie à faible intensité de carbone sur les parcs d'activités, Maes et al. ont défini différentes étapes intermédiaires. La première étape consiste à réduire le besoin énergétique (voir 5.2.1). La seconde étape vise à améliorer l'efficacité des équipements fournissant ces énergies. La troisième étape s'attache à récupérer la chaleur résiduelle par le biais des échanges thermiques et à valoriser les déchets sur le plan énergétique. Cette dernière étape peut également comprendre la capture et le stockage du carbone. L'utilisation d'énergie produite à base de combustibles fossiles doit toutefois être évitée autant que possible.

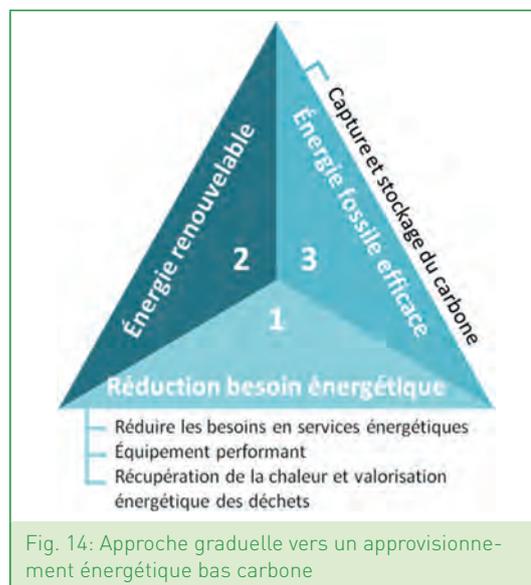


Fig. 14: Approche graduelle vers un approvisionnement énergétique bas carbone

3.4 Niveaux d'application des mesures énergétiques

Les mesures énergétiques associées à la stratégie Trias Energetica peuvent être prises à quatre niveaux différents: l'entreprise, le réseau d'entreprises, le parc d'activités et la région (voir Fig. 15).



Fig. 15: Niveaux d'application du concept de parc d'activités bas carbone: entreprise, réseau, parc d'activités, région (image: parc d'activités Sappenleen à Poperinge en Belgique)

Les mesures énergétiques développées à l'échelle de l'entreprise comprennent: l'amélioration de la performance des bâtiments et des process, la récupération et l'échange de chaleur et de déchets entre les process ou les services énergétiques et la production individuelle ou l'achat d'énergie basée sur la cogénération ou les énergies renouvelables, etc. Au niveau du réseau d'entreprises, certaines installations (comme les services de restauration, le traitement des eaux usées) ou les services logistiques de différentes entreprises, ou encore les activités nécessitant les mêmes types de services énergétiques peuvent se regrouper dans des bâtiments collectifs, la chaleur perdue peut être échangée entre deux entreprises grâce à des liens thermiques directs ou les déchets produits par une usine peuvent être valorisés sur le plan énergétique au sein d'une autre structure. La production ou l'achat d'énergie produite grâce à la cogénération ou les énergies renouvelables peuvent également être organisés conjointement.

S'agissant du **parc d'activités**, la zone peut être aménagée de telle sorte que les entreprises présentant des profils énergétiques complémentaires soient regroupées et certaines de leurs activités peuvent être rassemblées dans les mêmes bâtiments. De plus, il est possible de prévoir la mise en place, à l'échelle du parc, d'un système collectif de production d'énergie, d'un réseau et d'un système de gestion énergétique où les services énergétiques peuvent être fournis sur une base collective. Lorsqu'on étend le champ d'application de ce concept à la **région** environnante, les parcs d'activités peuvent être connectés au réseau local de chauffage urbain ou utiliser les sources d'énergie ou les déchets provenant des environs.

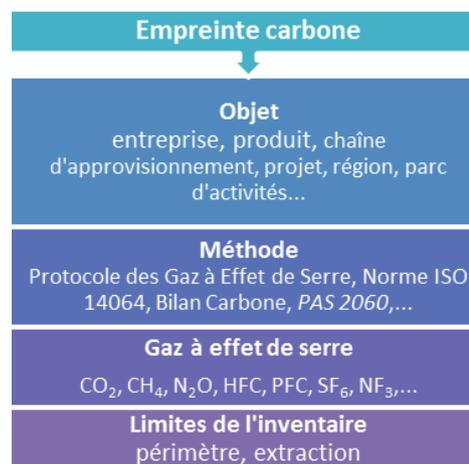
Tableau 5: niveaux d'application des parcs d'activités bas carbone

Niveau	Réduction du besoin énergétique et amélioration de l'efficacité énergétique	Récupération et échange de chaleur, valorisation des déchets en énergie	Renewable energy and cog Énergies renouvelables et cogénération
Entreprise	amélioration de la performance énergétique des bâtiments et des process	échange direct entre les process/services énergétiques	production individuelle ou achat
Réseau	partage des bâtiments, rassemblement des fonctions et services (énergétiques) des entreprises	échange entre les différentes entreprises via des liens directs	production ou achat conjoints
Parc d'activités	partage des bâtiments, approvisionnement collectif en matière de services (énergétiques), système collectif de gestion de l'énergie	échange entre les entreprises via des réseaux	système collectif de production d'énergie, réseau intelligent, regroupement des profils énergétiques complémentaires
Région		connexion au réseau régional	énergies renouvelables et déchets provenant de la région

3.5 Empreinte carbone

L'empreinte carbone d'une entreprise correspond à l'inventaire annuel des émissions de gaz à effet de serre qui lui sont attribuées, établi selon une méthodologie choisie et au sein d'un périmètre défini. Ce concept ne se limite pas aux entreprises et peut également très bien s'appliquer aux produits, aux chaînes d'approvisionnement, aux projets, aux régions ou aux parcs d'activités. Un certain nombre de méthodologies, telles que le Protocole des Gaz à Effet de Serre, la norme ISO 14064 et le Bilan Carbone, ont été mises au point pour calculer l'empreinte carbone et sont considérées comme les normes de référence en matière de comptabilisation des gaz à effet de serre.

Le **Protocole des Gaz à Effet de Serre et la Norme ISO 14064** recensent les émissions des 6 gaz de Kyoto (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC, PFC, SF_6), exprimés en équivalents CO_2 , selon trois périmètres complémentaires (voir Fig. 16). Le **périmètre 1** regroupe toutes les émissions provenant de sources qui appartiennent directement ou sont contrôlées par l'entreprise à l'étude. Elles comptent les émissions issues de la combustion de combustibles au sein d'installations fixes destinées à la production d'électricité, de chaleur ou de vapeur (par ex. les chaudières, les fours, les turbines) ou de véhicules de l'entreprise, les émissions provenant des process physiques et chimiques et les fuites de gaz non intentionnelles. Le **périmètre 2** inclut les émissions indirectes liées à l'électricité, la vapeur, les fluides de chauffage et l'eau de refroidissement importés par l'entreprise pour son usage personnel. Le **périmètre 3** compte les émissions indirectes induites par le cycle de vie des produits et les chaînes d'approvisionnement de l'entreprise. On y retrouve les émissions liées à l'extraction et au traitement des matières premières achetées, à la production des biens et services acquis, au transport, à la distri-



bution, à l'utilisation de traitements en fin de cycle de vie des produits, à l'élimination des déchets, aux activités externalisées, aux trajets des employés, aux voyages d'affaires, etc. Les émissions provenant de la combustion de combustibles au titre du périmètre 1 peuvent être évaluées, sur la base de la consommation énergétique type annuelle d'une entreprise, en multipliant les consommations de combustibles avec les facteurs d'émission de carbone correspondants. Pour calculer les émissions au titre du périmètre 2, qui sont liées à l'électricité importée, on utilise soit la moyenne du réseau, soit un facteur d'émission contractuel.

Sur le site dédié au Protocole des Gaz à Effet de Serre, on retrouve des documents de référence et des outils de calcul, spécialement adaptés aux sous-secteurs industriels très consommateurs d'énergie, mais également aux petites entreprises sédentaires. De plus, la norme analysant l'empreinte carbone des 500 plus grandes entreprises dans le monde est définie dans le Projet de Divulgence des Émissions de Carbone (CDP). Depuis 2013, le Protocole des Gaz à Effet de Serre exige que le trifluorure d'azote (NF₃) figure également à l'inventaire des gaz à effet de serre. Ce gaz à effet de serre provient essentiellement de la fabrication de semi-conducteurs et de panneaux LCD, ainsi que de certains panneaux solaires et lasers chimiques. Sur une période de 100 ans, il s'avère 17 200 fois plus puissant que le dioxyde de carbone pour piéger la chaleur dans l'atmosphère.

Le **Bilan Carbone**, mis en place par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), ne s'attache pas à l'exactitude mais plutôt à l'exhaustivité pour identifier les principales sources d'émissions et définir des actions efficaces à même de réduire l'empreinte carbone. Aux 6 gaz référencés dans le Protocole de Kyoto, il ajoute les CFC et la vapeur d'eau et applique des facteurs d'émission moyens. Par défaut, le Bilan Carbone liste l'ensemble des émissions directes et indirectes, mais trois niveaux d'extraction peuvent être recensés. L'extraction interne (au sein de l'entreprise) comprend les émissions liées à la combustion de combustibles au cœur d'installations fixes destinées à la production d'électricité, de chaleur ou de vapeur, les émissions liées aux process et les émissions fugitives (fuites). L'extraction intermédiaire inclut, outre l'extraction interne, les émissions indirectes provenant de l'électricité et de la vapeur importées, du transport à l'intérieur de l'entreprise, des trajets des employés et des voyages d'affaires. Enfin, l'extraction globale regroupe toutes les émissions directes et indirectes liées aux activités de l'entreprise (voir Fig. 17). Le champ d'application du SCEQE de l'UE (Directive) est, pour chaque entreprise ou installation intégrée au système, similaire au niveau d'extraction interne défini au Bilan Carbone mais ne comprend que les émissions de CO₂, N₂O et de PFC.

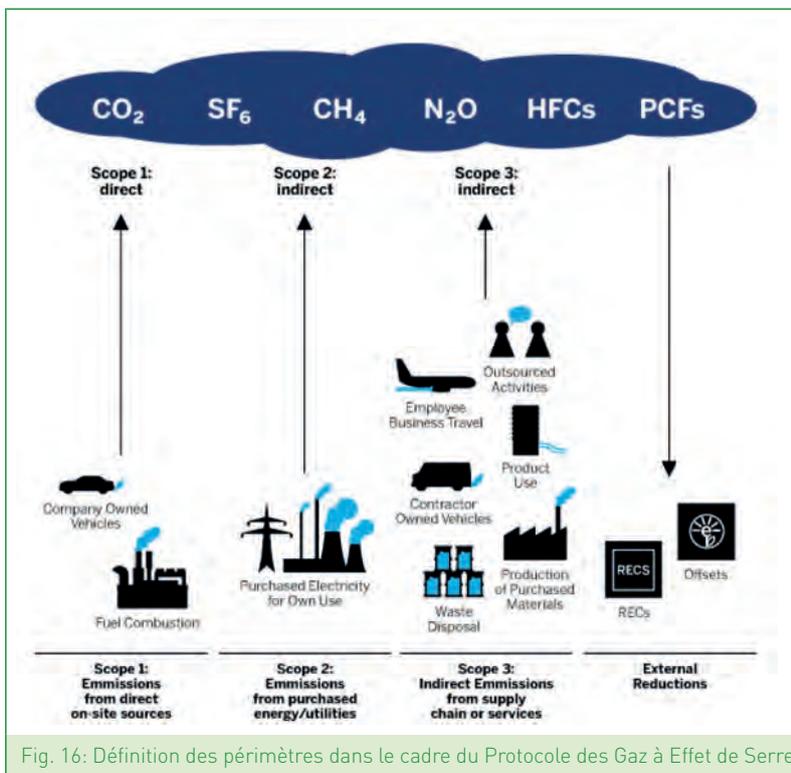


Fig. 16: Définition des périmètres dans le cadre du Protocole des Gaz à Effet de Serre

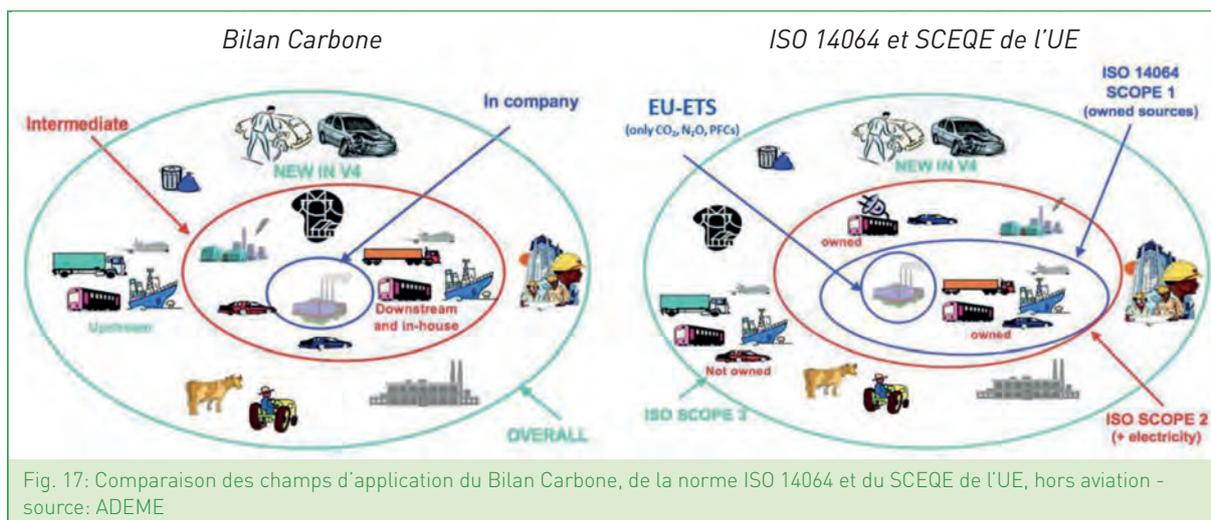


Fig. 17: Comparaison des champs d'application du Bilan Carbone, de la norme ISO 14064 et du SCEQE de l'UE, hors aviation - source: ADEME

3.6 Neutralité carbone

La **neutralité carbone** est atteinte lorsque les émissions de gaz à effet de serre à l'intérieur des périmètres de la méthode sélectionnée sont totalement évitées ou lorsqu'elles se trouvent entièrement compensées par la réduction des émissions externes (compensations du carbone). Dès lors, la neutralité carbone peut se définir de différentes façons. La norme internationale **PAS 2060** (Spécification Publiquement Disponible), mise au point en 2010 par l'Institut Britannique de Normalisation, standardise la définition de l'empreinte carbone pour les entreprises. Elle détermine les limites de l'inventaire (périmètre 1, 2 et une partie du périmètre 3 de la Norme ISO 14064) et la liste des gaz à effet de serre devant être comptabilisés, et expose les mesures énergétiques qui doivent être prises.

La neutralité carbone à l'échelle de la chaîne d'approvisionnement d'une entreprise est communément appelée la **consommation énergétique carboneutre**. L'empreinte englobe les émissions directes et indirectes de gaz à effet de serre provenant de l'extraction, du traitement et du transport des vecteurs énergétiques, de leur utilisation ou de leur conversion et de la mise en place de systèmes de conversion d'énergie.

Un parc d'activités peut être déclaré carboneutre s'il parvient à une consommation énergétique carboneutre, mais la définition de ce concept n'a pas encore été normalisée jusqu'à présent. Dans le cadre des subventions liées au développement des parcs d'activités en Flandre, la neutralité carbone se réfère à la **consommation d'électricité neutre en carbone (voir 3.7)**. Dans ce cas, l'empreinte carbone se limite aux émissions de dioxyde de carbone (CO₂), totalisées sur l'ensemble du parc d'activités, provenant de la combustion sur site de combustibles servant à la production d'électricité ou liées à l'électricité achetée. Cela correspond aux périmètres 1 et 2 des émissions de dioxyde de carbone de la chaîne d'approvisionnement en électricité du parc d'activités. La manière la plus simple de parvenir à une consommation électrique neutre en carbone consiste à produire localement ou acheter de l'électricité renouvelable car elle est considérée comme carboneutre. Il faut, cependant, noter que dans ce cas, les émissions résultant de la récolte, du traitement et du transport des combustibles renouvelables ainsi que de la mise en place d'installations de conversion énergie ne sont pas prises en compte. Les énergies non renouvelables peuvent également porter l'étiquette verte en cas d'achat d'un montant correspondant de garanties d'origine (voir 6.9.1). Les entreprises et les parcs d'activités peuvent acquérir des crédits d'émissions de carbone pour parvenir à la neutralité carbone et la réduction de leurs émissions actuelles est ainsi sujette à la fiabilité du système d'échange de quotas d'émissions. Par conséquent, il peut s'avérer plus efficace de réduire l'empreinte carbone sur site, sans compensation, plutôt que de viser la neutralité carbone en utilisant les mécanismes de compensation. Il faut favoriser les efforts déployés sur site.

3.7 Politique et réglementation

Au niveau européen ou national, aucune politique spécifique relative à la création de parcs d'activités bas carbone n'a été mise en place, à l'exception de la région flamande. En Flandre, le développement des parcs d'activités est réglementé par le **Plan de Structure Territoriale pour la Flandre** élaboré par le gouvernement flamand. Ce plan définit des orientations quant à la localisation des parcs d'activités et des entreprises, à l'aménagement du territoire et à l'implantation des infrastructures sur les parcs d'activités.

Pour compenser le manque de priorité accordée aux mesures énergétiques sur la période de 2007 à 2012, les **subventions** accordées au titre de l'expansion, de l'aménagement ou du réaménagement des **parcs d'activités** en Flandre étaient accordées à la condition d'afficher une neutralité carbone en matière de consommation d'électricité. Cette condition peut être remplie en achetant ou en produisant de l'électricité verte, ou encore en compensant les émissions de carbone issues de l'utilisation d'électricité provenant de sources non renouvelables. L'électricité à base de sources non renouvelables peut être estampillée verte grâce à l'achat d'un montant correspondant de garanties d'origine (voir 6.9.1). Depuis le début de l'année 2012, la situation a changé: la subvention est dorénavant uniquement accessible à la reconversion de friches industrielles ou de terres incultes qui ne peuvent être aménagées de manière rentable. La condition liée à la consommation d'électricité carboneutre est cependant maintenue. Pour compenser le manque de priorité accordée aux mesures énergétiques sur la période de 2007 à 2012, les subventions accordées au titre de l'expansion, de l'aménagement ou du réaménagement des parcs d'activités en Flandre étaient accordées à la condition d'afficher une neutralité carbone en matière de consommation d'électricité. Cette condition peut être remplie en achetant ou en produisant de l'électricité verte, ou encore en compensant les émissions de carbone issues de l'utilisation d'électricité provenant de sources non renouvelables. L'électricité à base de sources non renouvelables peut être estampillée verte grâce à l'achat d'un montant correspondant de garanties d'origine (voir 6.9.1). Depuis le début de l'année 2012, la situation a changé: la subvention est dorénavant uniquement accessible à la reconversion de friches industrielles ou de terres incultes qui ne peuvent être aménagées de manière rentable. La condition liée à la **consommation d'électricité carboneutre** est cependant maintenue.

Tel que mentionné au «Décret sur les Subventions des Parcs d'Activités» les subventions sont accordées aux promoteurs de parcs d'activités lors de la phase préliminaire, de la phase d'aménagement ou de réaménagement, ou lors de la phase de gestion (voir Tableau 6). Pour pouvoir prétendre à un financement, le promoteur doit déposer un plan d'aménagement/de réaménagement, un plan d'attribution, un plan de gestion et un plan de neutralité carbone. Le plan d'**aménagement/réaménagement** est un plan d'actions pour une utilisation efficace et durable des espaces. Le **plan d'attribution** liste les conditions d'attribution à l'attention des entreprises candidates et le **plan de gestion** décrit les mesures d'exploitation durable mises en œuvre pour le parc d'activités. Le **plan de neutralité** carbone expose les mesures mises en place sur le parc d'activités en matière de consommation d'électricité carboneutre. Aux fins d'atteindre les objectifs fixés en termes de qualité et de neutralité carbone, un certain nombre d'obligations, auxquelles les entreprises candidates doivent se conformer, sont formulées. Seules les entreprises intervenant sur des nouveaux lots doivent répondre à la condition de neutralité carbone pour pouvoir percevoir les subventions. Si les exigences ne sont pas remplies, les subventions peuvent être récupérées par le promoteur du parc d'activités.

Tableau 6: Subventions pour le développement de parcs d'activités dans le cadre du Décret sur les Subventions des Parcs d'Activités

Phase	Sub-vention	Maximum	Coûts admissibles
Phase préliminaire	50%	€ 200.000	recherches, études de faisabilité, gestion des process
Phase d'aménagement/ réaménagement	50%		nfrastructure collective et publique pour la mobilité,
projets non rentables	60%		approvisionnement énergétique et traitement des
projets stratégiques	85%		déchets, équipements collectifs, espaces verts
parc d'activités obsolètes			
Phase de gestion	50%	€ 200.000	gestion du personnel et des frais généraux du parc

3.8 Mesures incitatives et actions de sensibilisation

En complément des avantages cités au 3.2.4, différentes actions peuvent être mises en place pour inciter les entreprises à adhérer à la transition vers une économie bas carbone. L'**approche du bâton** impose aux entreprises d'atteindre certains objectifs en matière d'énergies renouvelables, d'efficacité énergétique et d'émissions de gaz à effet de serre. Ces objectifs peuvent, par exemple, être dictés par l'autorité qui délivre les permis environnementaux ou par les promoteurs de parcs d'activités, y compris les conditions de vente et d'attribution (voir 9.1.3). L'**approche de la carotte** récompense les entreprises lorsqu'elles atteignent certains objectifs ou réalisent certains investissements en matière de technologies et de process énergétiques propres ou renouvelables. Cette récompense comprend un investissement financier ou un soutien opérationnel de la part de l'autorité (voir chapitre 2) ou de l'organisme de gestion du parc. Les récompenses stratégiques, non financières, comptent par exemple les labels qui témoignent de l'engagement social et écologique, de l'esprit de qualité et d'innovation dont fait preuve une entreprise. En outre, les produits et services durables peuvent également recevoir un label. L'**approche de la carotte et du bâton** associe les obligations, pouvant donner lieu à sanctions, et les récompenses.

Les conditions de vente des parcs d'activités pourraient prévoir un engagement concret de réduction des émissions de carbone, matérialisé par la mise en œuvre de mesures spécifiques, en échange de l'octroi, par la direction du parc, de réductions sur les services et installations. Toutefois, les entreprises peuvent également mener des actions bas carbone à titre volontaire. Par conséquent, la diffusion des informations relatives aux pratiques de réduction des émissions doit être assurée au travers d'audits énergétiques, de magazines, de sites internet, de formations, de conférences, etc.

3.9 Exemples à l'échelle mondiale

Un certain nombre de parcs d'activités nouvellement mis en place au niveau mondial intègrent les concepts de durabilité et de faible intensité de carbone, comme par exemple Ecofactorij et Hessenpoort aux Pays-Bas, Evolis en Belgique et TaigaNova et Innovista au Canada.

Ecofactorij est un tout nouveau parc d'activités, dédié aux entreprises de production et de distribution à grande échelle et situé à Apeldoorn, dont le principal objectif est d'assurer la durabilité et la neutralité carbone. L'organisme qui a été désigné pour assurer la gestion du parc est installé dans un bâtiment basse consommation équipé d'un poêle à pellets, de panneaux à sel thermiques pour réguler l'air ambiant et de cellules photovoltaïques. Le parc dispose également de son propre réseau électrique privé, auquel cinq éoliennes seront raccordées, et de nombreuses entreprises y sont équipées de systèmes individuels de stockage de froid et de chaleur.

Sur le parc d'activités **Hessenpoort**, plusieurs entreprises disposent de systèmes individuels de stockage de froid et de chaleur et de cellules photovoltaïques et une étude a été réalisée dans le cadre de la possible adaptation d'une usine de fermentation de la biomasse afin de produire de l'énergie collective. À Kortrijk, en Belgique, l'organisme intercommunal Leiedal aménage un nouveau parc d'activités, **Evolis**, qui dispose de sa propre gestion. Quatre éoliennes ont été installées et un espace est réservé pour une future cogénération biomasse.

Taiga Nova, à Fort McMurray, et **Innovista**, à Hinton, sont des parcs éco-industriels destinés aux industries légères ou moyennes. Les principes de durabilité se retrouvent dans l'aménagement des espaces du parc et figurent dans un ensemble de directives, obligatoires ou facultatives, en matière d'aménagement à destination des entreprises. Ces directives se rapportent à la consommation, la production et l'efficacité énergétique, l'échange de déchets et de chaleur résiduelle, l'infrastructure, la mobilité et les espaces verts. Les entreprises candidates sont évaluées au regard du nombre de mesures de durabilité qu'elles souhaitent mettre en place. À noter que l'inscription des principes de durabilité ne se limite pas à l'échelle du parc d'activités et que des initiatives de plus grande envergure voient le jour.

L'**Initiative de Rotterdam pour le Climat** vise à réduire les émissions de carbone au sein du territoire de 50% d'ici 2025 par rapport aux niveaux de 1990. Dans le même temps, le secteur de l'industrie pétrochimique doit

opter pour des solutions alternatives en termes de matières premières et de combustibles. À Londres, l'ensemble du **Pôle Entreprises Vertes** œuvre pour la création d'emplois pour l'économie bas carbone en attirant les entreprises vers les produits, services et technologies à faible intensité de carbone, la valorisation des déchets et les énergies renouvelables.

3.10 Sources

Sites internet	
Protocole GES:	www.ghgprotocol.org
Outils protocole GES:	www.ghgprotocol.org/calculation-tools
Film protocole GES:	www.youtube.com/watch?v=_urMCfkPdus
Bureaux protocole GES:	www.ghgprotocol.org/files/ghgp/tools/working9-5.pdf
Fig. 16	www.sapintegratedreport.com/2012/en/performance/non-financial-notes/2.html
Bilan Carbone	www.associationbilancarbhone.fr/
PAS 2060	www.bsigroup.com/en-GB/PAS-2060-Carbon-Neutrality www.carbon-clear.com/resource/white-papers/P10
CDP	www.cdproject.net

Références
ADEME 2007. <i>Bilan Carbone Companies and Local Authorities Version, Methodological Guide (Version 5.0): Objectifs and Principals for the Counting of Émissions de gaz à effet de serre.</i>
LYSEN, E. H. 1996. <i>The Trias Energica: Solar Energy Strategies for Developing Countries.</i> In: NOVEM (ed.) <i>Eurosun Conference.</i> Freiburg.
MAES, T. 2011. <i>Reductie van CO₂-emissies op bedrijventerreinen in Vlaanderen door energiemanagement en energieplanning.</i> Université de Gand
ROBERTS, B. H. 2004. <i>The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: an Australian case study.</i> <i>Journal of Cleaner Production</i> , 12, 997-1010.
SOKKA, L., PAKARINEN, S. & MELANEN, M. 2011. <i>Industrial symbiosis contributing to more sustainable energy use – an example from the forest industry in Kymenlaakso, Finland.</i> <i>Journal of Cleaner Production</i> , 19, 285-293.
VAN EETVELDE, G., DERIDDER, K., SEGERS, S., MAES, T. & CRIVITS, M. <i>Sustainability scanning of eco-industrial parks. European Roundtable on Sustainable Consumption and Production, 11th, Proceedings, 2007 Basel, Switzerland.</i>
VLAAMSE REGERING 2007. <i>Besluit van de Vlaamse Regering houdende subsidiëring van bedrijventerreinen.</i>
VLAAMSE REGERING 2013. <i>Besluit van de Vlaamse Regering houdende subsidiëring van bedrijventerreinen.</i>

LOW
CARBON

Chapitre 4

Systeme énergétique d'un parc d'activités

PARK

MANUAL

4 Système énergétique d'un parc d'activités

4.1 Introduction

Ce chapitre nous donne des éclairages sur la configuration d'un système énergétique à l'échelle d'un parc d'activités. Les solutions technologiques mises en œuvre afin d'améliorer l'efficacité énergétique globale du système et de réduire ses émissions de carbone sont décrites et situées au niveau du système. Il accorde une attention particulière à la correspondance optimale qu'il convient de trouver entre les technologies de production d'énergie et les services énergétiques en termes de profil de température. À cet effet, le concept majeur d'exergie est abordé et brièvement décrit. Afin d'analyser le fonctionnement passé ou futur du système ou déterminer dans quelles technologies investir en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre à moindre coût, le système énergétique doit être modélisé sur les plans technique et économique. Les différents types de modèles techno-économiques et leurs applications sont ainsi décrits. Les flux énergétiques circulant dans le système peuvent faire l'objet d'un inventaire sur une base annuelle ou mensuelle au moyen d'un bilan énergétique.

L'approche **holistique** ou systémique décrite dans le présent chapitre accompagne la prise de décision en matière de choix des composants et de configuration du système. Il s'adresse tout particulièrement aux personnes impliquées dans l'organisation ou la conception de systèmes énergétiques (responsable technique d'une entreprise, promoteur de parcs d'activités, entreprise d'ingénierie, entreprise de services énergétiques, ...). Bien que ce chapitre vise un large public, le paragraphe 4.4 peut s'avérer quelque peu difficile pour les non-initiés.

4.2 Superstructure d'un système énergétique

L'ensemble de la superstructure intuitive du système énergétique d'un parc d'activités est présenté à la Fig. 18: les **sources d'énergie** sont transformées par les **technologies de conversion d'énergie** (voir 5.6) sous des formes (chaleur et électricité) adaptées aux **services énergétiques** (voir 5.2.1). Ces technologies de conversion peuvent être directement connectées aux entreprises de façon individuelle ou être d'abord raccordées à un **réseau local d'énergie**, disposant d'installations de **stockage**, approvisionnant plusieurs entreprises (voir 7.5 et 7.8). Le **réseau local**, ainsi que les entreprises individuelles, peuvent échanger de l'énergie avec le réseau électrique régional ou le **réseau de chauffage urbain**.

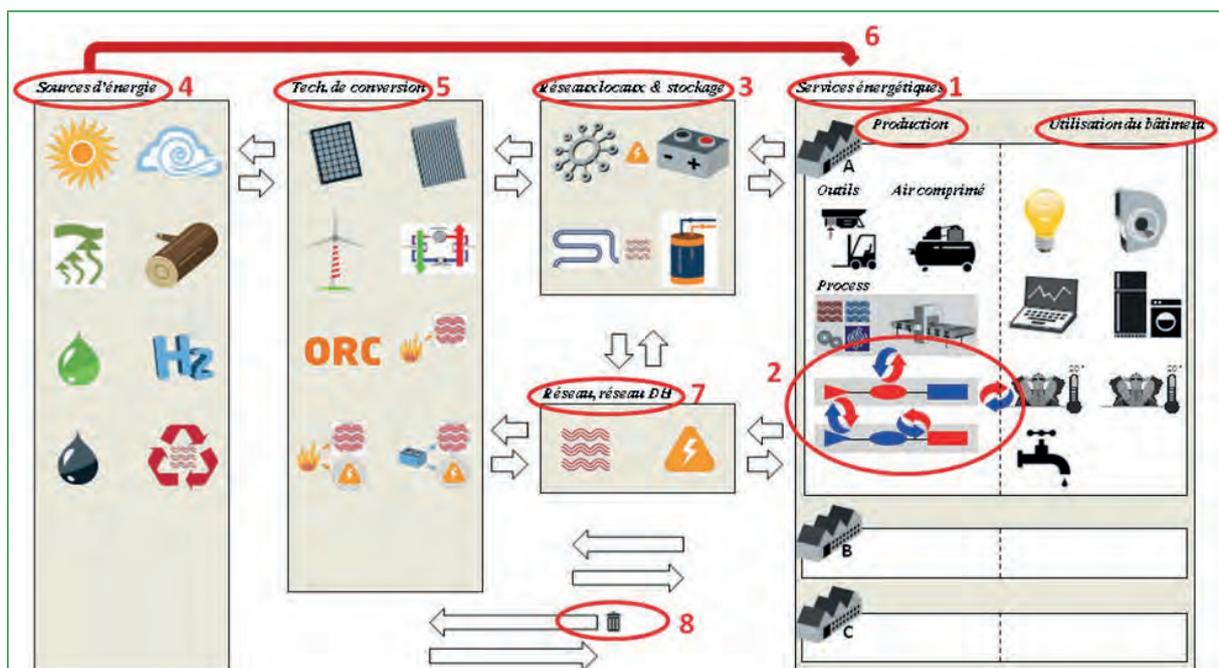


Fig. 18: Superstructure indicative d'un système énergétique et indication des mesures énergétiques en matière de technologies

4.3 Présentation des mesures énergétiques en matière de technologies

L'efficacité globale d'un système énergétique peut être améliorée et ses émissions de carbone réduites par la mise en œuvre d'une série de **mesures technologiques**, telles que mentionnées à la Fig. 18. **(1)** Conformément à la stratégie Trias Energetica (voir 3.3), les mesures énergétiques doivent, dans un premier temps, s'attacher à **réduire le besoin** en services énergétiques liés à l'utilisation du bâtiment et aux process de fabrication à l'échelle de l'entreprise. Ces mesures prévoient l'installation de dispositifs performants, l'optimisation du fonctionnement des équipements, la mise en place d'une isolation suffisante, le choix de process efficaces et la conception de produits bas carbone (voir 5.4). **(2)** Dans un second temps, la **récupération de chaleur** au niveau de l'entreprise, au travers d'échanges thermiques entre les unités de production, les process et les services énergétiques dédiés à l'utilisation du bâtiment, offre de nombreuses opportunités (voir). **(3)** Puis, les **réseaux locaux et les capacités de stockage** favorisent l'échange de chaleur résiduelle et d'excédent d'électricité entre les entreprises et permettent la mise en place d'un système collectif de production d'énergie pour répondre à un profil collectif de demande énergétique (voir chapitre 7). **(4)** En outre, une énergie zéro carbone peut être produite à partir de sources d'**énergies renouvelables** et de technologies de conversion appropriées (voir chapitre 6). **(5)** De plus, en ayant recours aux **technologies les plus efficaces**, les pertes énergétiques durant la conversion sont réduites. **(6)** En **synchronisant** les services énergétiques et la production d'énergie en termes de qualité énergétique (profil de température), la destruction de la **qualité** inhérente à l'énergie est moindre (voir 4.4). **(7)** Toute différence entre la production locale d'énergie et la consommation, qui ne peut être compensée en chargeant ou en déchargeant les installations de stockage, se trouve rééquilibrée par l'**exportation** de l'énergie excédentaire vers l'**importation** d'énergie bas carbone depuis le réseau public de distribution d'électricité et le réseau de chauffage urbain. **(8)** Enfin, **les déchets** générés dans le cadre des process industriels peuvent être recyclés dans le système en tant que sources d'énergies «renouvelables». Ces mesures technologiques impliquent clairement tous les niveaux visés au paragraphe 3.4: l'entreprise, le réseau d'entreprises, le parc d'activités et la région.

4.4 Aligner la qualité thermodynamique de la production d'énergie et du besoin énergétique

Pour mieux comprendre l'importance de trouver une correspondance optimale entre l'offre et la demande énergétique, il convient d'avoir un minimum de connaissances en matière d'analyse exergétique. Quelques concepts clés sont brièvement présentés ci-dessous. Les principes sources à la base du paragraphe 4.4 sont Torio et Schmidt et Moran et al.

4.4.1 Définitions

L'**énergie thermique** est contenue par la matière (par ex. l'air dans une pièce) et est apparentée à sa température. Elle comprend à la fois la chaleur sensible et la chaleur latente, qui est liée aux changements d'état (condensation, évaporation, ...). L'**énergie thermique «chaude»** correspond à un surplus d'énergie thermique (est plus chaude que) par rapport à l'environnement, alors que l'**énergie thermique «froide»** indique un manque d'énergie thermique (est plus froide que) par rapport à l'environnement. Un **besoin en chauffage** et un **besoin en climatisation** traduisent la nécessité d'accroître ou de diminuer l'énergie thermique de la matière (par ex. l'air dans une pièce).

Le transfert de **chaleur** ne se rapporte pas à la matière et désigne l'échange d'énergie entre deux systèmes résultant de la différence de température. Le froid se réfère au transfert de chaleur à des températures inférieures à la température T_0 de l'environnement.

4.4.2 La théorie de l'exergie en quelques mots

L'**exergie** exprime la **qualité** de l'énergie, qui correspond à la capacité de produire un **travail** mécanique ou électrique.

Par définition, l'exergie ramenée à une quantité d'énergie correspond au **travail théorique maximum** (mécanique ou électrique) qui peut en être retiré (Fig. 19), lorsqu'elle est ramenée à l'équilibre par rapport à un **environnement** de référence en utilisant un processus réversible.

Un système thermodynamique peut recevoir de la **chaleur**, produire un **travail** mécanique ou électrique et être soumis à des entrées et sorties **massives** (voir Fig. 20). Tous ces échanges d'énergie et de matière s'accompagnent de transferts d'exergie :

Transfert de chaleur: L'exergie associée au transfert de chaleur (par conduction ou convection) peut se définir par le travail pouvant être fourni par un moteur théorique, communément appelé un cycle de Carnot, opérant entre la source de chaleur elle-même et l'environnement de référence. La chaleur ne pouvant jamais être totalement convertie en travail (2nd principe de la thermodynamique), son contenu exergétique est toujours inférieur à son contenu énergétique. Cette définition vaut aussi bien pour le transfert de chaleur au-dessus ou en-dessous de la température T_0 de l'environnement (voir Fig. 21).

Énergie thermique: L'exergie liée à l'énergie thermique contenue dans une quantité de matière équivaut à l'exergie du transfert de chaleur pouvant être obtenue en ramenant la matière à l'équilibre avec son environnement. Cette chaleur peut être constituée, en partie, d'un transfert de chaleur latente qui intervient à température constante et, en partie, d'un transfert de chaleur sensible qui se produit lors de changements de température, lorsque le système se rapproche du point d'équilibre.

Travail: Le contenu exergétique du transfert d'énergie par le travail est égal à son contenu énergétique car il peut être entièrement converti en une autre forme d'énergie.

Dans le cadre d'une analyse exergétique des bâtiments, le besoin exergétique correspond à la quantité minimum de travail nécessaire pour maintenir les températures au niveau requis, en fournissant de l'énergie (chauffage) ou en retirant de l'énergie (climatisation). L'air ambiant extérieur peut servir d'environnement de référence. De fait, la température de référence T_0 varie dans le temps.

4.4.3 Facteur qualité

Le facteur qualité q de l'énergie correspond au rapport entre le contenu exergétique et le contenu énergétique. S'agissant du transfert de chaleur, q se calcule à l'aide de l'équation (1), qui est également valable pour la chaleur latente de la matière. Pour la chaleur sensible de la matière, il convient cependant d'utiliser l'équation (2). À l'inverse, le transfert d'énergie par le travail dispose d'un facteur qualité égal à 1, voir équation (3). Ces formules sont présentées sous forme de graphique à la Fig. 22. À des températures situées au-dessus de la température T_0 de l'environnement de référence, les facteurs qualité donnés par les équations (1) et (2) augmentent avec la température T de la source de chaleur. En-dessous de T_0 , ils augmentent avec des températures à la baisse. Afin de faciliter la comparaison de l'énergie selon qu'elle se situe en-dessus ou au-dessus de la température T_0 de l'environnement, le facteur qualité est mis entre accolades. Bien sûr, si la température T_0 varie tout au long de l'année, la valeur du facteur qualité se calque sur cette

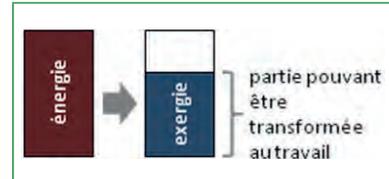


Fig. 19: Exergie

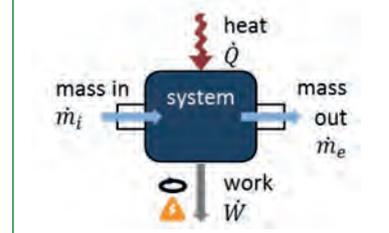


Fig. 20: Système thermodynamique

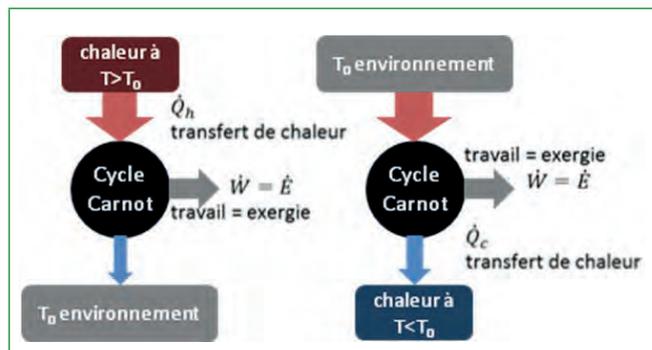


Fig. 21: Exergie du transfert de chaleur = travail produit par le cycle de Carnot entre la source de chaleur et l'environnement

évolution. Lorsqu'une quantité de matière est réchauffée ou refroidie pour passer d'une température T1 à une température T2, le facteur qualité se détermine à l'aide de la formule (4), qui s'inspire de l'équation (2). Cette formule peut être utilisée pour évaluer la qualité d'un chauffage urbain ou d'un chauffage thermosolaire sur la base des températures d'entrée et de sortie, alors que l'équation (1) s'applique aux sources de chaleur infinies, telles que la chaleur géothermique, ou aux besoins en chauffage, comme le chauffage des locaux.

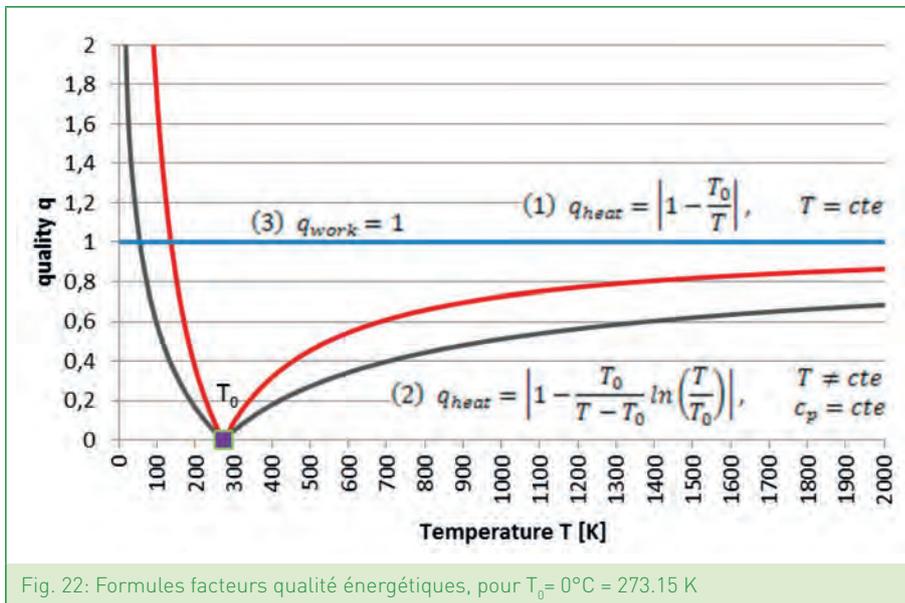


Fig. 22: Formules facteurs qualité énergétiques, pour $T_0 = 0^\circ\text{C} = 273,15\text{ K}$

Certains facteurs qualité sont donnés à titre d'exemple dans le Tableau 7. Les combustibles disposent d'un facteur de combustion de l'ordre de 0,9, en raison des températures très élevées atteintes lors de la combustion (environ 2 000°C). En revanche, les besoins énergétiques liés au chauffage des locaux et à l'eau chaude sanitaire affichent des facteurs qualité moindres, respectivement de 7% et 13%, car les températures requises sont relativement proches de la température de l'environnement de référence. Parmi les sources de chaleur à faible facteur qualité, on retrouve le chauffage urbain, la chaleur thermosolaire et la chaleur géothermique. Néanmoins, étant donné que la température de la chaleur produite par un système thermosolaire ou par une pompe géothermique superficielle varie considérablement au gré de la température de référence extérieure, les facteurs qualité peuvent également montrer de fortes fluctuations au cours de l'année.

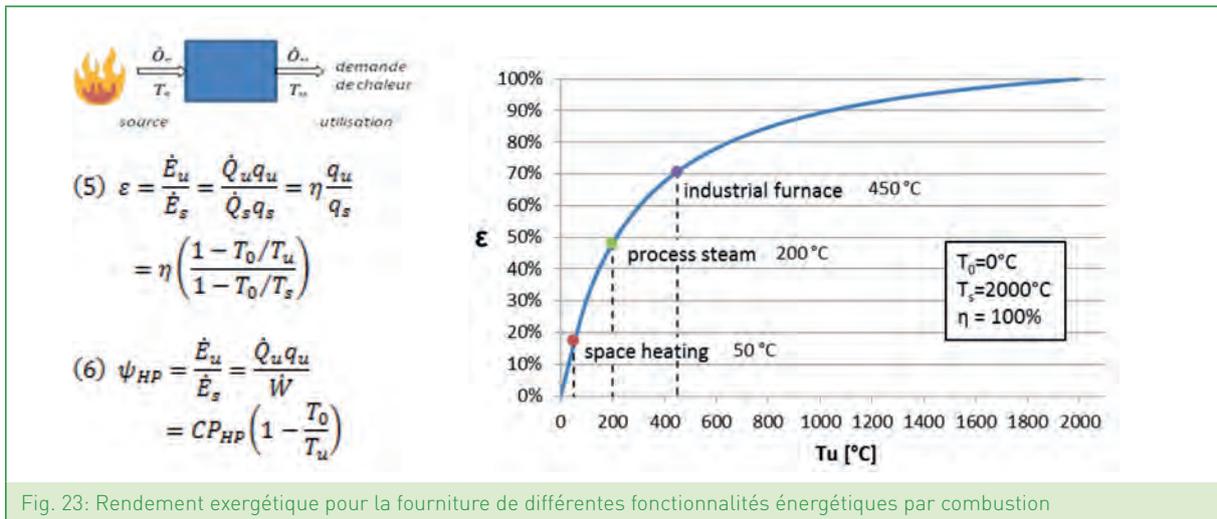
Tableau 7: Calcul des facteurs qualité

equations	facteurs qualité	T_0	T_1	T_2	q	éq.
(1) $q_{chaleur} = \left 1 - \frac{T_0}{T} \right $ $T = cte$	apport d'énergie électricité	[°C]	[°C]	[°C]	1	(3)
(2) $q_{chaleur} = \left 1 - \frac{T_0}{T - T_0} \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) \right $ $T \neq cte$ $c_p = cte$	combustion de combustibles	0	2000		0,88	(1)
	chauffage urbain	0	90	70	0,23	(4)
	chaleur thermosolaire	0	70	50	0,18	(4)
(3) $q_{travail} = 1$	chauffage urbain basse T	0	50	30	0,13	(4)
	chaleur géothermique	0	10		0,04	(1)
(4) $q_{chaleur} = \left 1 - \frac{T_0}{T_2 - T_1} \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \right $ $T \neq cte$ $c_p = cte$	besoin énergétique chauffage des locaux	0	20		0,07	(1)

4.4.4 Rendement exergetique des systèmes de chauffage et de climatisation

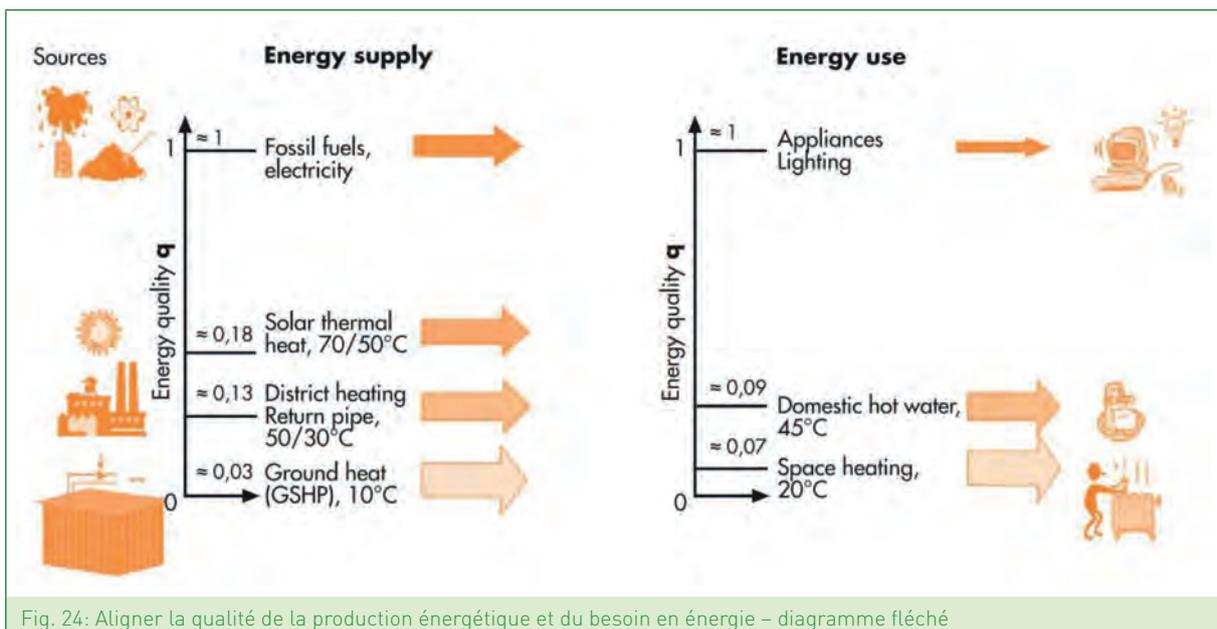
Le rendement exergetique est utile pour comparer les performances des différents systèmes de chauffage et de climatisation. Pour un système de chauffage basé sur la combustion, le rendement exergetique ε correspond au rapport entre le transfert exergetique \dot{E}_u accompagnant la production de chaleur utile à température T_u et le transfert exergetique \dot{E}_s accompagnant l'apport de chaleur à température T_s (voir équation 5). Pour les pompes à chaleur, le rendement exergetique peut être calculé de la même façon, en établissant le rapport entre l'exergie liée à la production de chaleur et le travail électrique attendu (équation 6).

Prenons un système de chauffage en circuit fermé avec une température de combustion $T_s = 2000\text{ °C}$ et un rendement énergétique $\eta = 100\%$. Pour un tel système, la Fig. 23 présente le rendement exergetique en fonction de la température demandée ($T_0 = 0\text{ °C}$). Le graphique démontre que pour une température requise de 50 °C (température d'entrée d'un radiateur basse T), le rendement exergetique atteint seulement 18% alors que le rendement énergétique est égal à 100%. Cependant, lorsque le même système est utilisé afin de produire une chaleur à 450 °C , pour un four industriel par exemple, le rendement exergetique grimpe jusqu'à 68%. Le rendement exergetique d'un système de chauffage basé sur la combustion est clairement plus élevé lorsqu'il est utilisé pour les fours industriels que pour le chauffage des locaux. Lorsque la qualité, et donc les températures, de la source d'énergie et du besoin énergétique sont ajustées, alors le rendement exergetique se rapproche du rendement énergétique.



4.4.5 Aligner l'apport et le besoin énergétique

Lorsque l'énergie requise pour un besoin en chauffage (ou en climatisation) à faible facteur qualité est produite par une source d'énergie à haut facteur qualité, une grande partie de l'exergie est détruite sans être concrètement utilisée. Tel qu'il est démontré au paragraphe 4.4.4, cela résulte en un faible rendement exergetique. Ainsi, il est important de faire correspondre les besoins énergétiques et les sources d'énergie de qualité comparable. Le graphique fléché à la Fig. 24 schématise le rapprochement de l'offre et de la demande en matière de qualité. Bien sûr, ces facteurs qualité dépendent de la température T_0 de l'environnement de référence sélectionnée.



Lors de l'utilisation d'un système énergétique efficace sur le plan exergetique, le chauffage basse température et l'eau chaude doivent être produits à base de sources d'exergie à faible facteur qualité (chaleur thermosolaire, chaleur géothermique, récupération de chaleur résiduelle, ...) plutôt qu'en utilisant la combustion de combustibles ou électricité. Pour permettre l'introduction de ces sources à basse température, les systèmes d'émissions à haute température traditionnels tels que les radiateurs tournant à un régime de 90/70°C doivent être remplacés par des dispositifs à basse température comme le chauffage géothermique ou les matériaux de construction activés thermiquement. Il est clairement établi qu'un système de chauffage géothermique connecté à une chaudière gaz ne fonctionne pas mieux qu'un radiateur traditionnel couplé à la même chaudière. De même, les systèmes de climatisation à haute température, tels que les plafonds froids qui offrent un refroidissement à des températures proches de la température intérieure, favorisent le recours aux sources exergetiques à faible facteur qualité. En outre, la consommation d'électricité via les pompes, les ventilateurs et les pompes à chaleur doit être réduite.

Le recours à la production combinée de chaleur et d'électricité est privilégié afin d'exploiter au maximum le contenu exergetique à haut facteur qualité des combustibles. Dans une usine de cogénération, la chaleur de combustion à haut facteur qualité entraîne une turbine à vapeur couplée à un générateur électrique, alors que la chaleur résiduelle, de température inférieure, peut être utilisée dans le cadre des process industriels. En outre, lorsque la chaleur est mise en cascade pour répondre à différents besoins en chauffage à des températures moindres, la destruction d'exergie peut être réduite de façon significative.

Les sources d'énergies renouvelables, comme la chaleur thermosolaire et la chaleur géothermique, ainsi que la chaleur résiduelle, s'adaptent aux basses températures et, de fait, aux faibles facteurs qualité. Par conséquent, en les réservant aux besoins à faible facteur qualité, ces technologies renouvelables peuvent être plus largement mises en œuvre. Par ailleurs, les ressources renouvelables offrant un bon rendement qualité en matière d'énergie tels que les biocarburants, l'énergie éolienne, l'énergie solaire concentrée, l'énergie photovoltaïque et le géothermie profonde doivent être rapprochées des besoins à haut facteur qualité afin d'assurer une utilisation optimale de l'énergie.

Le **rapport énergétique primaire** correspond au ratio existant entre l'énergie utile produite et l'apport d'énergie fossile. Contrairement au facteur qualité (voir 4.4.3), il tient compte de la nature de la source énergétique (fossile ou renouvelable). Dans la mesure où l'analyse exergetique ne fait pas la distinction entre les sources d'énergies renouvelables et fossiles, cette valeur doit être considérée comme complémentaire aux principes de conception bas carbone. Dans le cadre de la conception d'un système énergétique durable, les besoins énergétiques sont réduits et le recours aux énergies renouvelables est maximisé; en conséquence, toutes les sources d'énergie sont adaptées aux besoins énergétiques de qualité comparable.

4.5 Modèle énergétique

4.5.1 Profils temporels de la production d'énergie et du besoin énergétique

Le fonctionnement effectif d'un système énergétique à chaque intervalle de temps dépend du comportement de ses composants dans le temps (voir Fig. 25), déterminé selon:

- les profils temporels des sources d'énergie incontrôlable (solaire, éolienne, ...)
- les profils temporels des besoins en services énergétiques (éclairage, chauffage/climatisation des locaux, chauffage à vocation industrielle, ...)
- stratégies de répartition des vecteurs d'énergie contrôlable (combustibles)

Pour qu'un système énergétique soit à l'équilibre, l'offre énergétique doit correspondre à la demande énergétique à chaque intervalle de temps. Ainsi, la différence entre la production d'énergie incontrôlable (solaire, éolienne, ...) et le besoin énergétique est compensée par l'apport de vecteurs d'énergie contrôlable (combustibles), l'activation du système de stockage de l'énergie ou l'approvisionnement énergétique auprès de réseaux externes. Par conséquent, le fonctionnement d'un système énergétique apparaît comme une interaction complexe entre ses composants variant dans le temps.

Les technologies énergétiques photovoltaïques et thermosolaires sont sujettes aux variations interannuelles du rayonnement solaire. L'énergie solaire n'est disponible que dans la journée, est accessible plus longtemps et est d'une plus grande intensité en été qu'en hiver. Les éoliennes se calquent sur les variations interannuelles de la vitesse du vent. Dans certaines régions, la vitesse moyenne des éoliennes terrestres tend à être plus élevée le jour que la nuit et l'énergie éolienne est plus accessible en hiver qu'en été. Du côté de la demande du système énergétique, des profils temporels types peuvent être recensés pour certains services énergétiques. Le profil temporel d'un système d'éclairage extérieur automatisé, par exemple, peut être déduit du profil temporel de la lumière du jour sur une base annuelle. Pour le chauffage des locaux, le profil dépend des températures extérieures et du rayonnement solaire. De plus, les profils temporels d'un bon nombre de services énergétiques se calquent sur le calendrier d'exploitation des entreprises.

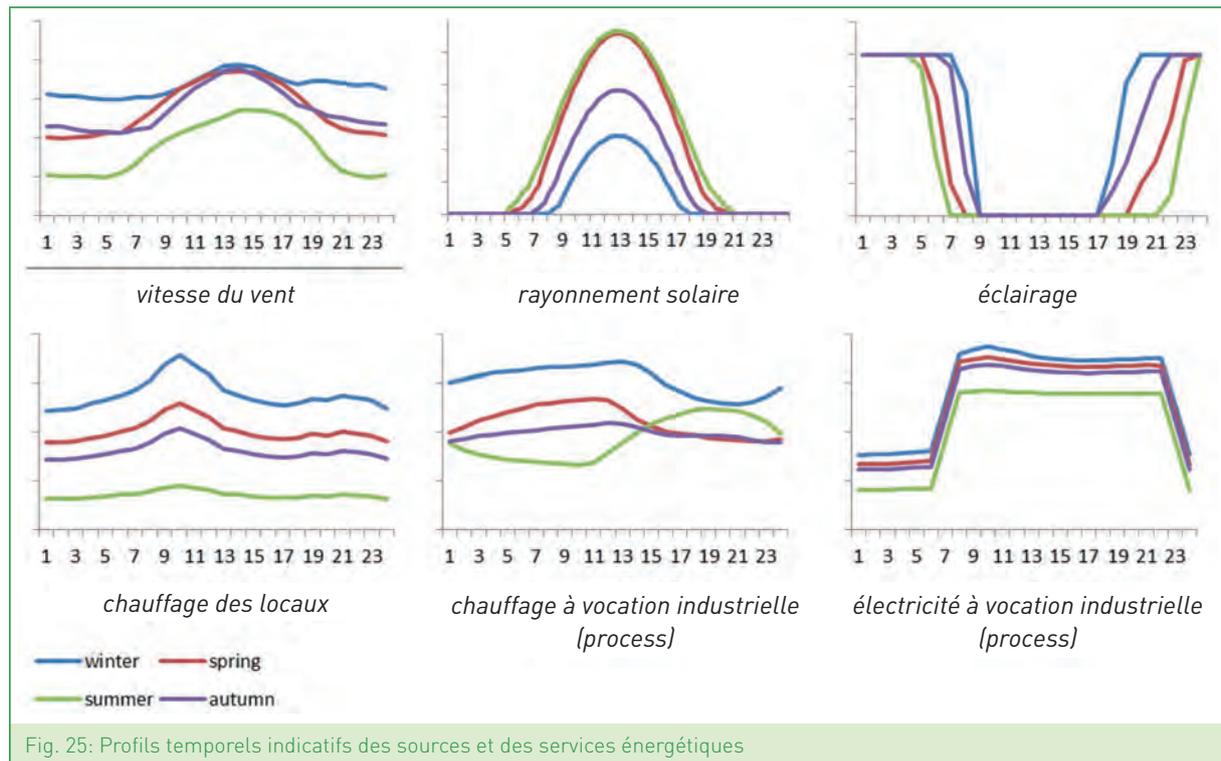


Fig. 25: Profils temporels indicatifs des sources et des services énergétiques

4.5.2 Modèle énergétique techno-économique

Lorsqu'on optimise les composants individuels d'un système énergétique sans tenir compte de l'architecture du système dans son ensemble, on risque de négliger les opportunités qui s'offrent en termes d'amélioration de fonctionnement et de configuration du système. Cela peut même avoir une influence négative sur l'efficacité énergétique globale du système. Par conséquent, les phases d'analyse et de conception (de base ou de réflexion) requièrent une approche holistique, telle que prévue dans le cadre des modèles énergétiques techno-économiques.

Un **modèle énergétique techno-économique** est une représentation mathématique d'un système énergétique. Il dépeint les caractéristiques techno-économiques et environnementales des composants individuels du système et décrit les interconnexions qui existent entre ces derniers. La superstructure du cadre de modélisation énergétique EnergyPLAN, représentant tous les scénarios possibles en termes de composants et d'interactions, est donnée à titre d'exemple à la Fig. 26. La description du modèle précise, de plus, les profils temporels des technologies d'énergie incontrôlable et des besoins en services énergétiques, les stratégies de répartition des vecteurs d'énergie, ainsi que les niveaux de température des technologies produisant de la chaleur et des besoins thermiques.

Les modèles énergétiques techno-économiques ont deux prérogatives: soit ils **évaluent** la performance (énergétique, économique, environnementale) d'un système énergétique donné, soit ils **optimisent** la configuration et le fonctionnement d'un système afin d'obtenir un compromis optimal entre les indicateurs de

performance (énergétique, économique, environnementale). Ces modèles sont utilisés pour définir le meilleur concept ou pour analyser le comportement passé ou à venir des systèmes énergétiques.

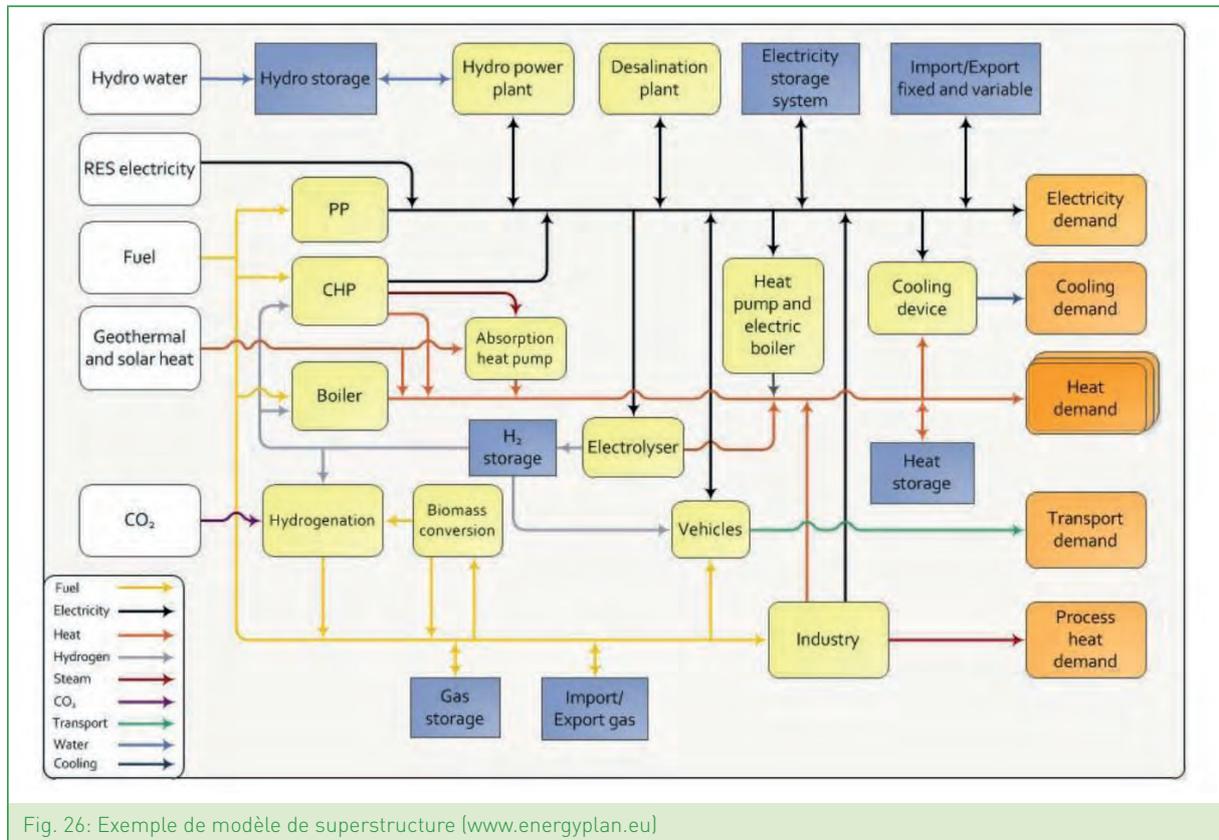


Fig. 26: Exemple de modèle de superstructure (www.energyplan.eu)

4.5.3 Classification des modèles

Une classification des outils de modélisation et une description complète de leurs principales caractéristiques, ainsi que leurs possibles applications, sont proposées par Timmerman et al : **(a) Les modèles d'évolution des systèmes énergétiques** identifient la solution la moins coûteuse pour placer un système énergétique dans une optique d'avenir à long terme établie. **(b) Les modèles d'optimisation des systèmes énergétiques** calculent la configuration et le mode de fonctionnement les moins coûteux sur une année représentative. **(c) Les modèles de simulation des systèmes énergétiques** servent à comparer différentes configurations ou à analyser diverses stratégies de fonctionnement sur une année représentative. **(d) Les modèles de comptabilité des systèmes énergétiques** permettent d'évaluer rapidement la performance énergétique, économique et environnementale d'un système énergétique donné par rapport à un scénario de référence. **(e) Les modèles d'intégration des systèmes énergétiques** se concentrent sur une intégration optimale des technologies de conversion de l'énergie, en commençant par les besoins en énergie thermique qui se trouvent minimisés par l'échange de chaleur entre les cycles de process, sur la base d'une Analyse Pinch (voir 5.5). Ces différents modèles ont été utilisés dans le cadre d'analyses de systèmes énergétiques, tant à l'international que pour des projets locaux. Les modèles d'intégration des systèmes énergétiques sont conçus, avant tout, pour optimiser la conception de systèmes d'énergie thermique complexes, par exemple pour les installations et process industriels et les réseaux de chauffage, mais ont aussi récemment été utilisés pour des analyses énergétiques à l'échelle communale ou régionale. Il existe une différence notable entre les différents modèles: les modèles a, b et certains modèles e font appel à un algorithme d'optimisation pour **calculer** automatiquement la **configuration optimale** du système (ou définir des configurations presque optimales), alors que les modèles c et d évaluent la performance de **configurations définies par les utilisateurs**.

4.5.4 Applications aux systèmes énergétiques des parcs d'activités

Il n'existe, jusqu'à présent, aucun modèle énergétique techno-économique spécialement adapté aux parcs d'activités. En conséquence, le développement d'un tel modèle, alliant les fonctions des différentes catégories décrites ci-dessus, revêt un caractère prioritaire. Pour qu'il soit adapté aux parcs d'activités, un modèle énergétique doit comporter les propriétés suivantes: outre les flux **électriques**, les flux d'**énergie thermique** doivent également être pris en compte; ils sont définis au moyen de **courbes température-chaleur** afin de bien évaluer les niveaux de température. Les besoins en énergie thermique sont réduits, a priori, en modélisant l'**échange de chaleur** entre les entreprises via des liens thermiques ou des réseaux, sur la base d'une Analyse Totale de Site (voir 5.6). Les principales tendances relatives aux profils temporels annuels des technologies de production d'énergie incontrôlable et des besoins en services énergétiques sont répertoriées avec une **précision temporelle** suffisamment élevée et adaptée à chaque cas. Pour les technologies de production d'énergie contrôlable, des **stratégies de fonctionnement** types sont intégrées. Le **rendement à charge partielle** entre les limites de fonctionnement et les **coûts d'investissements liés à la taille** de l'exploitation sont modélisés afin de reproduire le plus fidèlement possible les caractéristiques techno-économiques des différentes unités technologiques. On fait la distinction entre les divers **services énergétiques** composant la demande globale en électricité et en énergie thermique. Un algorithme d'**optimisation** recherche automatiquement les meilleures configurations et évite d'avoir recours à un analyste pour établir ces projections. En outre, afin de trouver plus facilement un compromis entre plusieurs objectifs contradictoires, tels que la réduction des coûts et/ou des émissions de carbone, on utilise des méthodes d'**optimisation multi-objective**.

Les valeurs optimales de configuration et de fonctionnement calculées sur la base du modèle dépendent des objectifs de performance qui ont été définis. Toute une série d'objectifs peuvent être envisagés: réduction ou limitation des coûts totaux actualisés inhérents au système (ou des coûts d'investissement, des coûts opérationnels, des coûts d'importation, ...), du volume des émissions de carbone, de la consommation d'énergies fossiles, du volume total d'énergie échangée avec les réseaux externes, de la perte de qualité thermodynamique, etc. La maximisation ou la détermination de seuils minimum peuvent être décidées, c'est le cas de l'efficacité énergétique globale, des profits réalisés à l'échelle d'un générateur individuel ou du système, de la part de production ou de consommation d'énergies renouvelables, etc. En règle générale, les coûts totaux actualisés sont réduits au minimum, tout en limitant les émissions de carbone et les échanges d'énergie, et en intégrant un quota minimum pour la production d'énergies renouvelables.

Exigences

- Présenter:
 - ✓ Les flux électriques et d'énergie thermique
 - ✓ Les courbes chaleur-température pour les flux d'énergie thermique
 - ✓ L'échange de chaleur entre les entreprises via des liens thermiques ou des réseaux
 - ✓ Les principales tendances relatives aux profils temporels annuels des technologies de production d'énergie incontrôlable et des besoins en services énergétiques
 - ✓ Les stratégies de fonctionnement des technologies de production d'énergie contrôlable
 - ✓ Le rendement à charge partielle et les coûts en matière de technologie, liés à la taille de l'exploitation
 - ✓ Distinction des services énergétiques

Objectifs

- Réduire ou limiter
 - ✓ Total des coûts actualisés inhérents au système
 - ✓ Émissions de CO₂
 - ✓ Consommation de combustibles fossiles
 - ✓ Échange d'énergie avec les réseaux externes
- Maximiser ou seuil minimum
 - ✓ Efficacité énergétique globale
 - ✓ Profits à l'échelle d'un générateur individuel ou du système
 - ✓ Introduction d'énergies renouvelables

Results

- Configuration: ✓ Technologies, capacities, (if applicable: investment plan over time)
- Operation: ✓ Dispatch of technologies

4.6 Sources

References

- MORAN, M. J., SHAPIRO, H. N., BOETTNER, D. D. & BAILEY, M. B. 2011. *Principles of Engineering Thermodynamics, SI Version, 7th Edition*.
- TIMMERMAN, J., DECKMYN, C., VANDELDE, L. & VAN EETVELDE, G. *Techno-economic energy models for low carbon business parks. 16th Conference on process integration, modelling and optimisation for energy saving and pollution reduction*, du 29 septembre au 2 octobre 2013 à Rhodes, Grèce *Chemical Engineering Transactions*, 571-576.
- TORIO, H. & SCHMIDT, D. 2011. *Detailed Exergy Assessment Guidebook for the Built Environment In: PROGRAMME, I. E. R. (ed.) Annex 49: Low Exergy Systems for High-Performance Buildings and Communities, Final Report*. Allemagne Fraunhofer IBP.

LOW
CARBON
BUS
PARK
MANUAL

Chapitre 5

Consommation énergétique dans les entreprises

5 Consommation énergétique dans les entreprises

5.1 Introduction

Dans le présent chapitre, le profil de consommation énergétique d'une entreprise est ventilé en fonction de la nature de la dépense énergétique (consommation liée à l'utilisation du bâtiment ou au process de fabrication). Il présente les variations temporelles qui affectent les services énergétiques et analyse les différentes plages de température caractérisant les besoins en énergie thermique. Afin d'identifier les mesures énergétiques les plus efficaces, il est essentiel de bien appréhender le profil de consommation énergétique d'une entreprise. Par conséquent, une démarche progressive vers une gestion efficace de l'énergie est proposée: audit énergétique, système de suivi énergétique, système de gestion de l'énergie. Le chapitre liste les mesures d'efficacité énergétique liées à l'utilisation du bâtiment et aux process de fabrication et fournit quelques exemples. Enfin, il aborde les méthodes d'Analyse Pinch et d'Analyse Totale de Site. La méthode Pinch détermine dans quelle mesure le besoin en énergie thermique peut être réduit en pratiquant des échanges thermiques directs entre les process d'une entreprise. L'Analyse Totale de Site prolonge la méthode Pinch à l'échelle des parcs d'activités, mais n'autorise que les échanges thermiques entre les entreprises via des liens thermiques ou des réseaux de chaleur. Les deux derniers paragraphes sont plus théoriques mais fournissent des informations techniques sur la notion d'échange de chaleur, tant au niveau de l'entreprise et que du parc d'activités.

5.2 Profil de consommation énergétique d'une entreprise

Pour bien définir le profil énergétique d'une entreprise, il faut passer par plusieurs étapes (voir Fig. 27). Il convient, dans un premier temps, d'inventorier les consommations annuelles de l'ensemble des vecteurs énergétiques (électricité et combustibles). Ensuite, ces consommations sont attribuées aux différents services énergétiques de l'entreprise. Puis, les profils temporels sont affectés à chaque service énergétique ou, de manière plus générale, à la consommation d'un vecteur d'énergie (en définissant, par exemple, la distribution annuelle des valeurs horaires). Les niveaux de température de tous les besoins en énergie thermique sont alors définis. Une fois que toutes ces

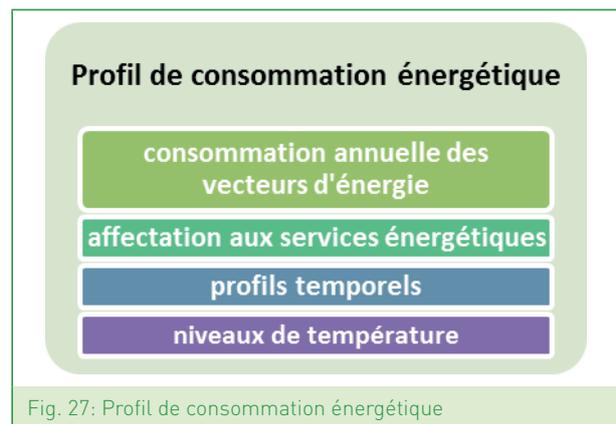


Fig. 27: Profil de consommation énergétique

informations ont été récoltées, le profil énergétique est parfaitement maîtrisé. Les données énergétiques peuvent être obtenues en réalisant un audit énergétique ou une campagne ponctuelle de suivi énergétique, ou encore être accessibles via un système permanent de suivi ou de gestion énergétique (voir 5.3).

5.2.1 Services énergétiques ou fonctions énergétiques

La consommation annuelle de différents vecteurs énergétiques (électricité et combustibles) au sein d'une entreprise peut être attribuée à différents services énergétiques (ou fonctions énergétiques), liés soit à l'utilisation et l'occupation des bâtiments, soit à la production industrielle. Ce profil énergétique annuel peut être schématisé en utilisant un diagramme à secteurs pour chacun des vecteurs énergétiques (voir Fig. 28). Ces diagrammes peuvent être élaborés sur la base d'un audit énergétique (voir 5.3.2).

Il est impossible d'établir des profils énergétiques représentatifs sur la base d'une année pour chaque type d'entreprise. En effet, même au sein d'un même sous-secteur industriel, on peut observer d'importantes variations au niveau du profil de consommation énergétique annuelle en raison des différences existantes en termes de type et de taux de rendement des process, de taux d'occupation, de performance des bâtiments, etc. Cependant, on peut obtenir un aperçu de la distribution relative à la consommation énergétique (électricité et combustibles) entre les différents services énergétiques sur la base d'une analyse globale du secteur industriel et de ses sous-secteurs à l'échelle régionale ou nationale. Ce type d'analyse a été menée pour l'industrie allemande et ses sous-secteurs (voir Fig. 29) par l'Institut Fraunhofer et peut également servir de base pour évaluer le profil énergétique des secteurs industriels d'autres pays.

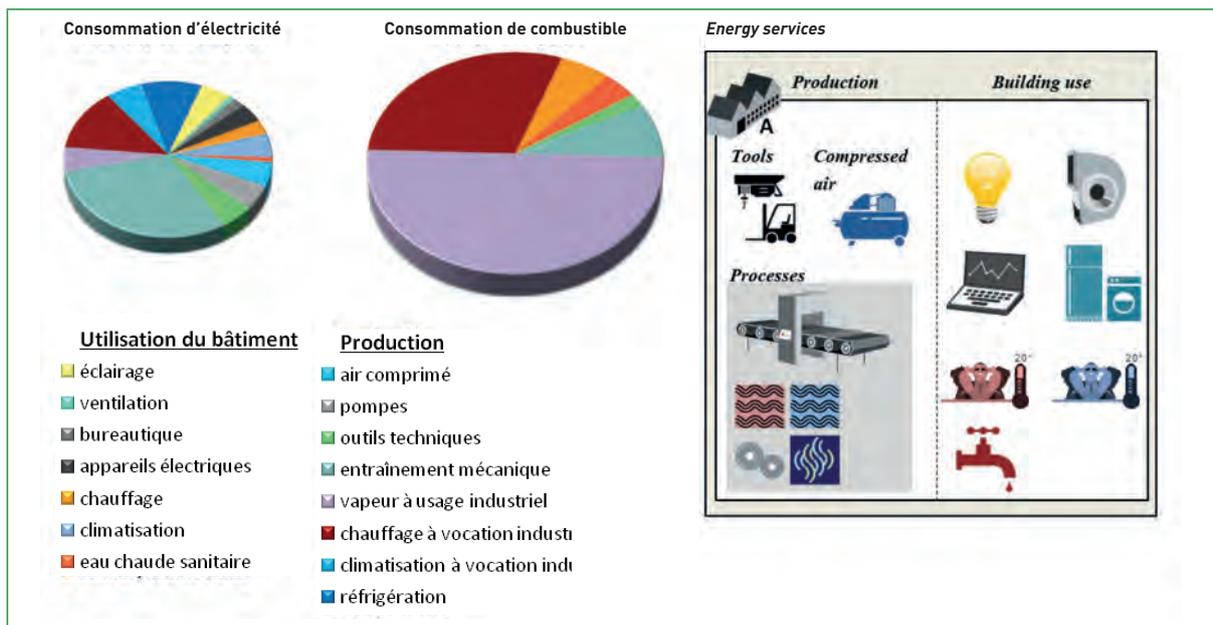


Fig. 28: Services énergétiques et répartition de la consommation annuelle des vecteurs énergétiques (exemple fictif)

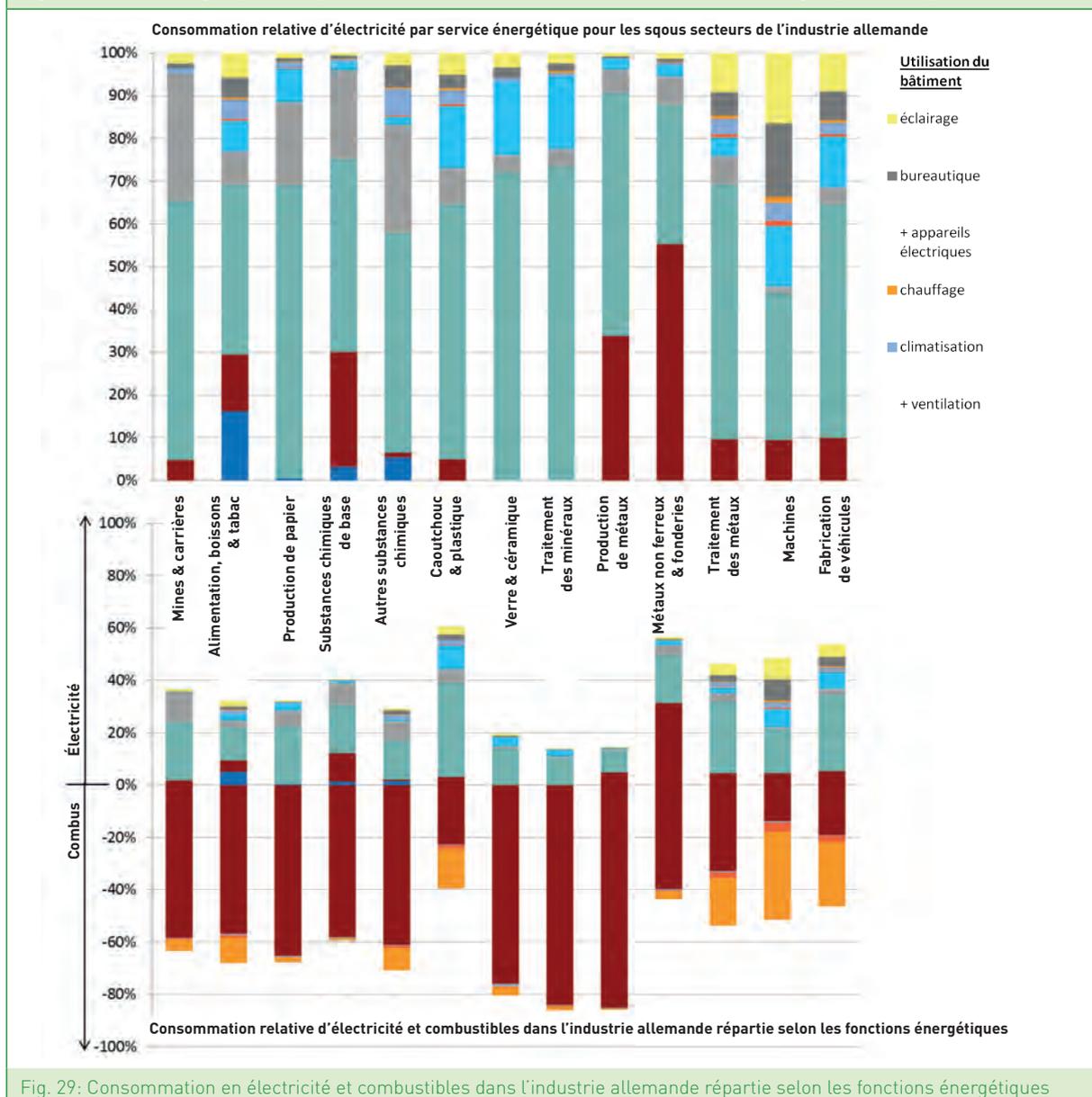


Fig. 29: Consommation en électricité et combustibles dans l'industrie allemande répartie selon les fonctions énergétiques

5.2.2 Profils temporels

Les profils temporels des services énergétiques correspondent aux variations liées aux conditions naturelles, au calendrier d'exploitation des entreprises, ou aux deux facteurs à la fois. L'éclairage, le chauffage et la climatisation des locaux et l'eau chaude sanitaire sont tributaires du rythme jour/nuit, des variations saisonnières en matière de luminosité et de la température extérieure, mais également des horaires de travail hebdomadaires et quotidiens. Un système d'éclairage extérieur automatisé ne dépend pas du calendrier de travail. Les autres fonctions énergétiques se calquent essentiellement sur les horaires de travail hebdomadaires et quotidiens.

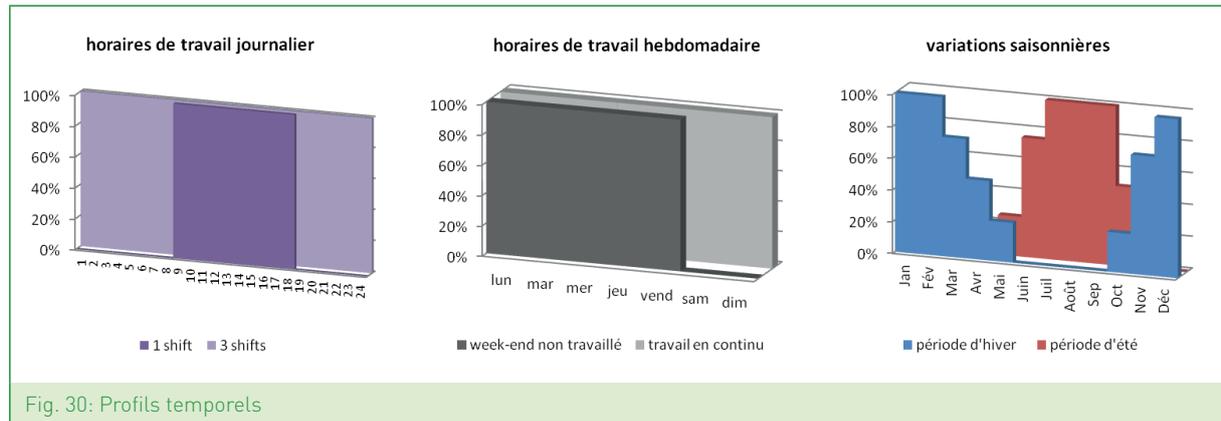


Fig. 30: Profils temporels

Le régulateur flamand de l'énergie (VREG) fournit des profils de charges synthétiques pour les consommateurs d'électricité et de gaz non résidentiels (voir Fig. 31). Ces profils artificiels, disposant d'une durée de 15 minutes, tiennent compte des périodes de vacances, des horaires de travail hebdomadaires et quotidiens et également des variations diurnes et saisonnières. Comme toutes les entreprises ne disposent pas de compteurs pour mesurer leur consommation de gaz et d'électricité sur un laps de temps de 15 minutes, les fournisseurs d'énergie utilisent ces profils pour évaluer la consommation de leurs clients. Lorsque les profils temporels ne sont pas disponibles au niveau de certains services énergétiques individuels, on peut avoir recours à ces profils synthétiques pour avoir une idée approximative du profil énergétique d'une entreprise. Le VREG offre également des profils de charge synthétiques pour la consommation d'électricité et de gaz des consommateurs résidentiels, ainsi qu'un profil temporel d'électricité concernant l'éclairage public.

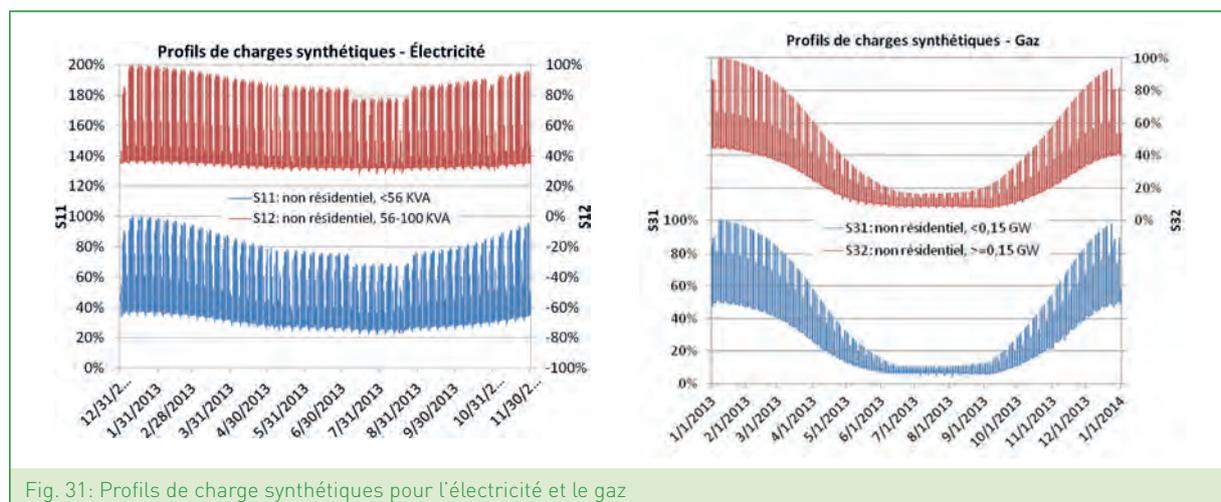


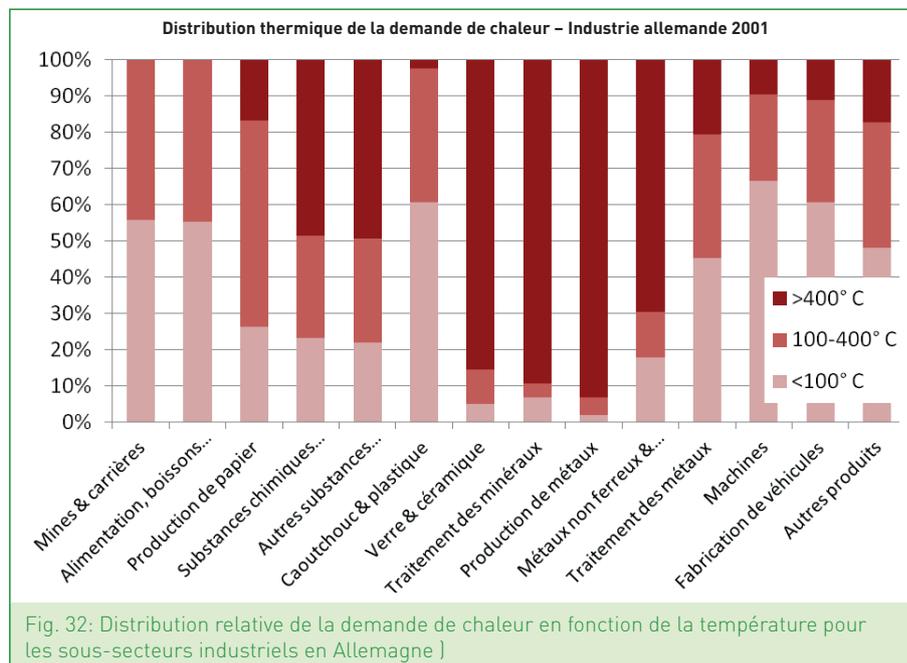
Fig. 31: Profils de charge synthétiques pour l'électricité et le gaz

5.2.3 Niveaux de température des besoins thermiques

De nombreux services énergétiques liés à l'**utilisation du bâtiment** requièrent de l'énergie thermique. Le **chauffage des locaux** sert à assurer une température intérieure agréable, avoisinant 20°C durant la journée et 16°C durant la nuit. La température minimum de la chaleur à produire dépend du système d'émission de chaleur. Les systèmes d'émission haute température, tels que les radiateurs et les convecteurs traditionnels,

nécessitent une température d'alimentation de plus de 55°C, alors que les systèmes d'émission basse température, tels que les planchers, les murs et les plafonds chauffants ou encore les systèmes d'activation du noyau en béton, tournent à des régimes inférieurs à 55°C. Pour produire de l'**eau chaude sanitaire**, la température doit atteindre au moins 60°C pour prévenir l'incubation de colonies de bactéries. La **climatisation des locaux** est assurée en extrayant la chaleur contenue dans l'air intérieur et en l'échangeant avec l'air extérieur. Les systèmes de climatisation traditionnels, tels que les systèmes de refroidissement à compression, prélèvent la chaleur à des températures approchant 0°C. Les systèmes de climatisation haute température, quant à eux, extraient la chaleur à des températures légèrement en-dessous de la température de l'air ambiant. Le chauffage et la climatisation des espaces peuvent également être obtenus en préchauffant ou en prérefrigérant l'air frais de l'extérieur, avant de l'injecter dans le bâtiment. Pour tous les systèmes de chauffage et de climatisation, le même principe s'impose: plus l'écart de température est faible entre le système d'émission et l'air ambiant, plus la surface de l'échangeur thermique doit être importante.

Les tâches inhérentes aux process industriels (lavage, rinçage, nettoyage, séchage, pasteurisation, blanchiment, cuisson et fusion) exigent une chaleur à une température inférieure ou légèrement supérieure à 100°C, lorsque les actions de distillation, de stérilisation, de vaporisation, de dessiccation/assèchement, etc. requièrent des températures plus élevées. Des températures de process très élevées sont utilisées dans l'industrie minérale (ciment), métallurgique, non-ferreuse, le secteur du verre et de la céramique et l'industrie chimique. Tout comme pour les profils énergétiques annuels, il n'est pas possible d'affecter de façon précise des niveaux de température en fonction du type d'entreprise car il existe beaucoup de différences entre les process utilisés. Cependant, on peut obtenir, à l'échelle nationale, la répartition entre la chaleur à basse (> 100°C), moyenne (100°C – 400°C) et haute (> 400°C) température selon les sous-secteurs industriels. La Fig. 32 présente la distribution des besoins thermiques pour les sous-secteurs industriels allemands en 2001. Ces chiffres peuvent servir à obtenir une vision approximative de la distribution thermique dans les sous-secteurs industriels d'autres pays.



5.3 Gestion de l'énergie

La gestion énergétique vise à **cartographier, ajuster et contrôler** le profil énergétique d'une entreprise afin de réduire sa consommation d'énergie, ainsi que les coûts et les émissions de carbone associés. Une gestion efficace de l'énergie requiert trois éléments essentiels: un **audit énergétique**, un **système de suivi énergé-**

tique et un **système de gestion énergétique** (voir Fig. 33 et les paragraphes 5.3.2, 5.3.3 et 5.3.4). Dans un premier temps, dans le cadre d'un audit énergétique, le profil de consommation énergétique de l'entreprise est analysé et les mesures d'économies d'énergie potentielles sont identifiées. Dans un second temps, un système de suivi énergétique est mis en place afin de définir plus en détails la consommation d'énergie des différents services énergétiques et de détecter les écarts éventuels par rapport aux habitudes de consommation d'énergie. Dans un troisième temps, on installe un système de gestion énergétique afin de suivre et de contrôler les équipements et les process simultanément. Le Guide de Planification et de Gestion de l'Efficacité Énergétique, élaboré par l'Office de l'Efficacité Énergétique de Ressources Naturelles Canada, constitue une aide précieuse en matière de gestion efficace de l'énergie. Le Programme d'Économie d'Énergie dans l'Industrie Canadienne a également édité un manuel complet et des feuilles de calcul, aisément exploitables, sur le thème des audits énergétiques et du suivi de la consommation d'énergie. L'Agence pour l'énergie aux Pays-Bas (Agence NL) expose les avantages de la gestion énergétique pour les entreprises dans le cadre d'un clip vidéo en ligne particulièrement instructif (voir 5.7).



Fig. 33: Les 3 piliers de la gestion énergétique

5.3.1 Norme ISO 50001

L'ISO 50001 est une norme internationale portant sur la gestion de l'énergie; les entreprises peuvent obtenir la certification ISO 50001 si leur système de gestion énergétique est conforme aux directives et aux règles imposées par la Norme. Dans le cadre de la Norme ISO 50001, la notion de «système de gestion de l'énergie» (*EnMS*) se rapporte au processus d'élaboration et de mise en place d'une politique énergétique dans le but d'atteindre des objectifs de rendement énergétique, plutôt qu'au système électronique qui assure le suivi et le contrôle des équipements et des process. La Norme repose sur une démarche continue «Planifier-Faire-Vérifier-Agir» (PFVA) et intègre la gestion énergétique dans les pratiques au quotidien. Lors de la phase Planifier, la politique énergétique de l'entreprise est élaborée et traduite en plans d'actions concrets. Après avoir analysé le profil de consommation énergétique de l'entreprise à l'étude, on identifie des indicateurs clés de performance énergétique et on fixe les objectifs à atteindre. La phase Faire comprend la mise en œuvre des mesures énergétiques portant sur les aspects techniques et l'organisation, telles que définies dans le plan d'actions. Ensuite, durant la phase Vérifier, les résultats du suivi énergétique sont analysés, les indicateurs de performance énergétique sont évalués et les mesures correctives qui s'imposent sont identifiées. Ces mesures sont ensuite appliquées dans le cadre de la phase Agir afin d'améliorer la performance énergétique et les procédures de l'*EnMS*.

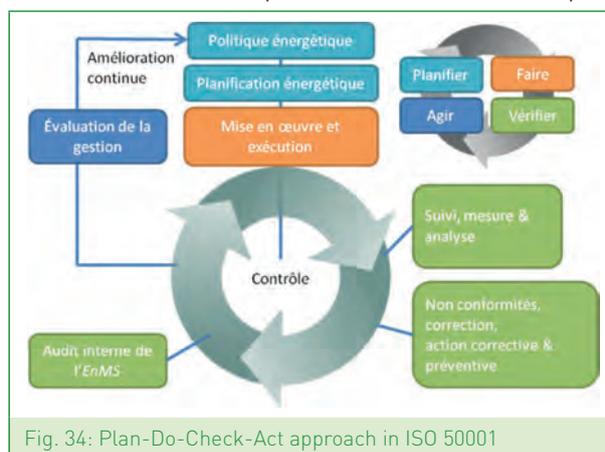


Fig. 34: Plan-Do-Check-Act approach in ISO 50001

5.3.2 Audit énergétique

La première étape d'un audit énergétique consiste à évaluer le profil de consommation énergétique annuel de l'entreprise, en partant des données énergétiques (mensuelles) figurant sur les **factures d'énergie** (électricité, gaz, combustibles). Ensuite, l'ensemble des équipements et unités de production sont **inventoriés**, avec le détail des capacités nominales, des niveaux de température, des horaires de fonctionnement annuels et des facteurs de charge (voir Tableau 8). C'est sur cette base que la consommation annuelle des vecteurs énergétiques est rapportée aux services énergétiques. L'audit permet de repérer les grands consommateurs d'énergie et de détecter les écarts par rapport aux modes de consommation énergétique attendus sur une base mensuelle. Les mesures d'économies d'énergie les plus rentables peuvent d'ores et déjà ressortir de

cette première analyse. Dans les mesures à effet rapide, on retrouve, par exemple, la détection et le colmatage des fuites d'air, la modification des consignes de température pour le chauffage et la climatisation des locaux, la récupération de chaleur entre les process, l'installation d'ampoules économes en énergie, etc. (voir aussi 5.4 et 5.5). L'audit énergétique est une étape préparatoire importante avant le lancement d'une campagne de suivi énergétique car il pose les bases pour la conception du système de suivi énergétique. Une description plus détaillée des différentes étapes composant le processus d'audit figure en annexe.

Tableau 8: Modèle d'inventaire de la consommation énergétique / exemple d'une entreprise de transformation de l'acier

Service de l'entreprise Service énergétique Unité de production / dispositif Exemple			# d'unités	Consommation nominale d'électricité kW	Consommation nominale de combustible kW	Niveaux de température °C	Horaires de fonctionnement / année h	Facteur de charge %
A		hall de production						
	A.1	prétraitement de l'acier						
	A.1.1	machines de coupe						
	A.1.2	machines à laminier						
	A.1.3	machine de cintrage						
	A.1.4	poinçonneuse						
	A.2	durcissement de l'acier						
	A.2.1	four de trempe						
	A.2.2	four de revenu						
	A.3	traitement final						
	A.3.1	poste de soudure						
	A.3.2	fraiseuse						
	A.3.3	presse à imprimer						
	A.4	air comprimé						
	A.4.1	compresseur						
B		bureaux						
	B.1	éclairage						
	B.2	...appareils électriques						
	B.2.1	ordinateurs						
	B.3	chauffage des locaux						
	B.4	ventilation						
...						

5.3.3 Suivi énergétique

Un audit énergétique ne donne qu'un aperçu approximatif et rapide ponctuel du profil énergétique d'une entreprise sur la base de la ou des année(s) passée(s). On obtient des informations plus perspicaces en ayant recours à un système de suivi énergétique, qui évalue les services énergétiques au sein de l'entreprise, en continu et en temps réel. Plus précisément, un système de suivi énergétique mesure et enregistre les caractéristiques énergétiques et physiques (courant électrique, tension, puissance active et réactive, débit massique, température, etc.) des appareils et des process avec une grande exactitude et une bonne précision temporelle. Les séries de données mesurées peuvent être représentées de façon numérique ou sous forme de graphique, avec indication des valeurs min/max, des tendances, des avertissements et alarmes (voir Fig. 35). De cette façon, les principales caractéristiques et les événements marquants (charge de base, pic de

consommation, horaires de fonctionnement, phases de démarrage et d'arrêt) peuvent être facilement identifiés. Les écarts par rapport aux habitudes de consommation énergétique peuvent être rapidement détectés afin de procéder aux réajustements nécessaires dans les meilleurs délais. Le chapitre 6.5 du guide «Outils pour Économiser l'Énergie» donne des orientations pratiques pour interpréter les séries temporelles des données énergétiques mesurées. L'inventaire de consommation énergétique issu de la phase d'audit (voir Tableau 8) peut être comparé aux résultats de suivi énergétique et ajusté si nécessaire.

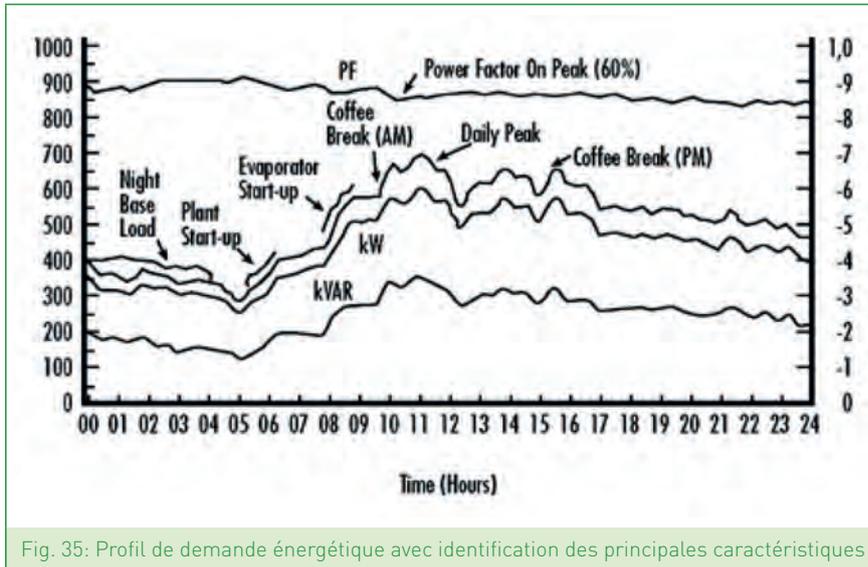


Fig. 35: Profil de demande énergétique avec identification des principales caractéristiques

Relevé périodique manuel des compteurs principaux

La forme la plus basique de suivi énergétique consiste à relever les compteurs principaux de l'entreprise de façon manuelle (électricité et gaz) à intervalles réguliers. En pratique, seule une résolution temporelle limitée peut être obtenue de cette façon, mais aucun coût supplémentaire n'est induit pour la lecture, en dehors des coûts du personnel. Certains fournisseurs d'énergie mettent un outil à disposition en ligne; il permet d'afficher la consommation énergétique totale d'une usine, depuis un niveau mensuel jusqu'à une base trimestrielle.

Enregistrement automatique par le compteur d'énergie

On obtient une image plus précise du profil énergétique d'une entreprise lorsqu'on équipe les appareils et installations de production de compteurs qui enregistrent automatiquement les données relatives à la consommation d'énergie.

- Les ampèremètres ne mesurent que le courant électrique. Les wattmètres quantifient à la fois le courant et la tension électrique et calculent automatiquement la puissance active, la puissance réactive et le facteur de puissance. Des versions enfichables de ces compteurs peuvent être temporairement clipsées sur un fil électrique.
- Les débitmètres évaluent le débit des fluides (gaz ou liquide) dans les conduites. Il existe une grande variété de débitmètres, chacun disposant de principes de fonctionnement différents. La consommation de gaz peut être estimée à l'aide d'un compteur à gaz, qui n'est autre qu'un débitmètre adapté. Les installations industrielles consommant du gaz disposent souvent d'un compteur à gaz intégré avec principe de mesure magnétique à sortie impulsion, qui peut être relevé à l'aide d'un compteur d'impulsions.

Les données mesurées peuvent être traitées de différentes façons. L'une des options consiste à équiper chaque compteur d'énergie d'une carte mémoire de façon à stocker les données localement. Autre option: on peut connecter physiquement les compteurs d'énergie à un enregistreur de données, au moyen d'un câble réseau destiné à la transmission de données, ou directement sur le réseau de données de l'entreprise. On peut également prévoir une connexion sans fil entre les compteurs et les enregistreurs de données. Les données peuvent être stockées dans un enregistreur de données ou être transmises à un serveur web via le protocole TCP/IP. Les **compteurs d'énergie intelligents** associent le principe du compteur-enregistreur à la technologie de communication bidirectionnelle dans un même appareil. Le paragraphe 5.3.5.3 présente la mise en œuvre pratique des compteurs intelligents.

Un système complet de suivi énergétique visualise les paramètres énergétiques de tous les principaux services énergétiques en temps réel. Les systèmes de suivi énergétique peuvent également être utilisés pour contrôler la production d'énergie locale, au moyen de capteurs qui recueillent des données météorologiques et de compteurs qui enregistrent la performance du système de production énergétique.

5.3.4 Système de gestion de l'énergie

Un système de gestion énergétique est un système électronique qui permet à la fois d'assurer le suivi et le contrôle des process et des appareils dans un environnement industriel. Il interprète et visualise les paramètres énergétiques mesurés en temps réel, calcule les points de consigne optimaux et transmet ces paramètres aux dispositifs et unités de traitement. Ce type de système est capable de détecter les éventuelles irrégularités et déclencher une alarme ou prendre les mesures à même de résoudre le problème. Il inventorie l'ensemble des flux énergétiques et les coûts y afférents. De plus, des stratégies de réponse à la demande, qui adaptent le niveau d'activité des process au cours du marché comptant de l'énergie ou aux conditions climatiques, peuvent être implémentées. La configuration du système présentée à la Fig. 36 comporte une plateforme logicielle, un matériel d'acquisition de données ou un réseau de communication sans fil. La communication entre les différents composants du système pourrait également être organisée sur l'intranet de l'entreprise.

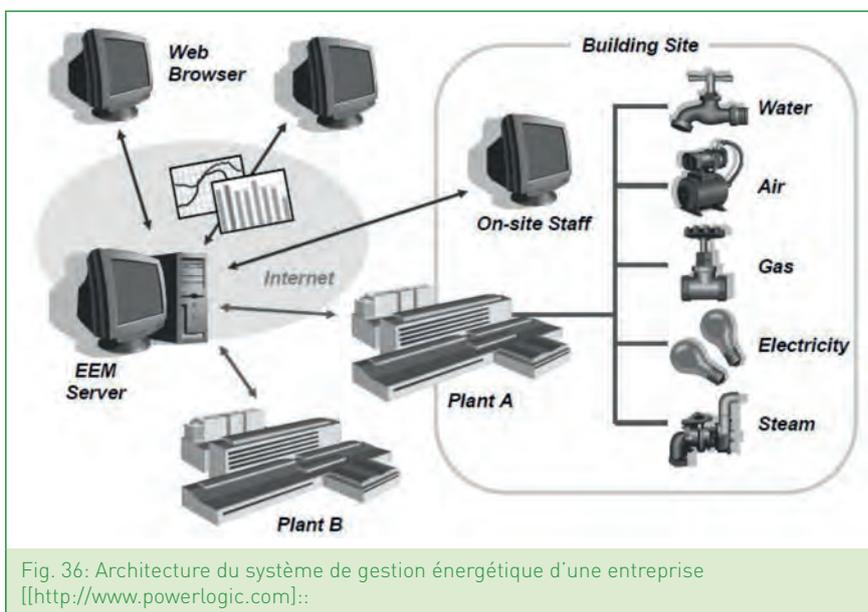


Fig. 36: Architecture du système de gestion énergétique d'une entreprise
 [[<http://www.powerlogic.com>]::]

5.3.5 Études de cas

5.3.5.1 Scan énergétique et suivi énergétique - Parc d'activités Sappenleen

Le projet ACE dispose d'un budget alloué à la collecte des données énergétiques au sein des entreprises. Dans le cadre de cette enveloppe, les entreprises installées sur le parc d'activités Sappenleen à Poperinge, en Flandre, se sont vues proposer, à titre gratuit, un scan énergétique ainsi qu'une campagne de suivi énergétique, sous réserve que les résultats puissent être utilisés pour la recherche. Après une session d'information organisée à Sappenleen, trois entreprises ont répondu positivement à l'offre: Weweler-Colaert, Connect Group ainsi qu'une imprimerie (Fig. 37). Chacune des entreprises a bénéficié d'un scan énergétique qui a fait l'objet d'une analyse par Enterprise Flanders, secondée par l'Université de Gand. S'inspirant du rapport issu du scan énergétique, l'Université de Grand a élaboré un plan de suivi énergétique et adressé, pour chacune des entreprises faisant l'objet du suivi, un appel d'offre séparé pour le relevé des mesures énergétiques. Ensuite, les différents concurrents ont été évalués en termes de qualité et de tarifs.

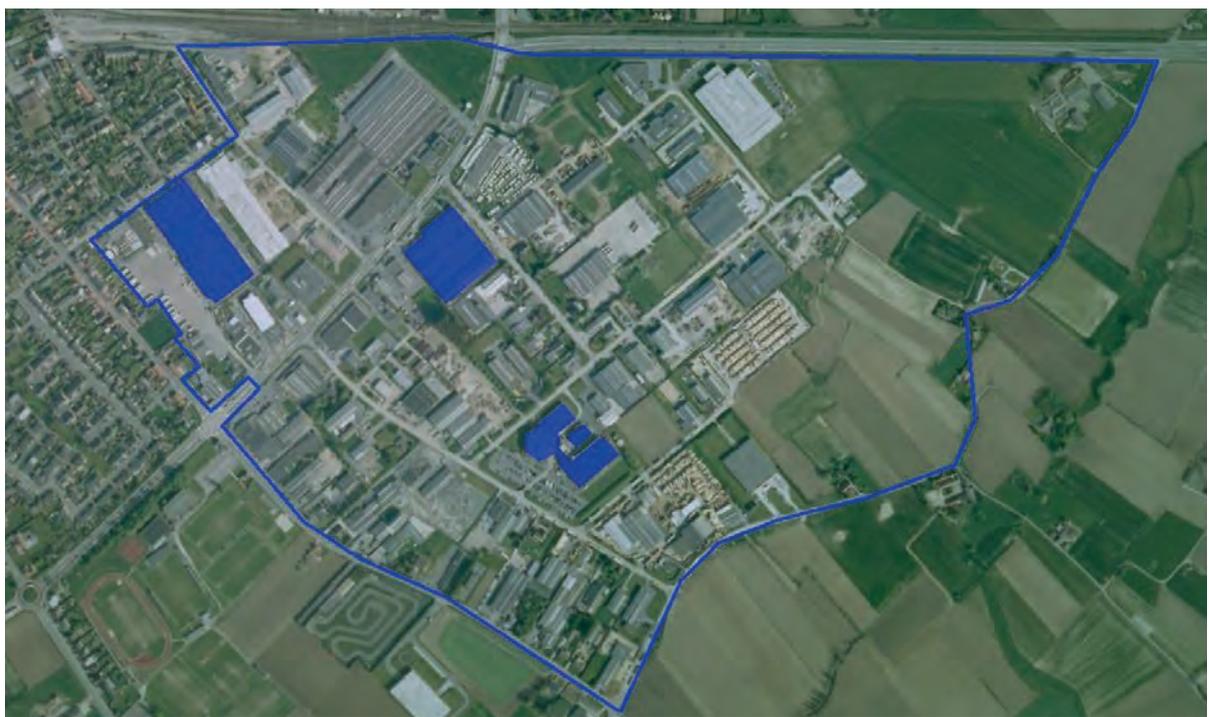


Fig. 37: Localisation scan énergétique et suivi énergétique

Scan énergétique

Le scan énergétique a permis d'affecter la consommation énergétique aux services énergétiques concernés, d'identifier les gains rapides pouvant être réalisés et d'établir une répartition des coûts liés au gaz et à l'électricité. Les diagrammes figurant à la Fig. 38 donnent un rapide aperçu du profil énergétique annuel d'une entreprise, du poids que représente chaque service énergétique dans la consommation d'électricité et de combustibles, des gros consommateurs d'énergie et du ratio existant entre la consommation totale annuelle d'électricité et de combustibles. Les flux énergétiques ont été cartographiés de façon plus précise dans le cadre du plan de suivi. Soit les outils techniques n'interviennent pas dans les process, soit ils ne sont utilisés qu'occasionnellement ou ils entrent en jeu dans le cadre de plusieurs process.

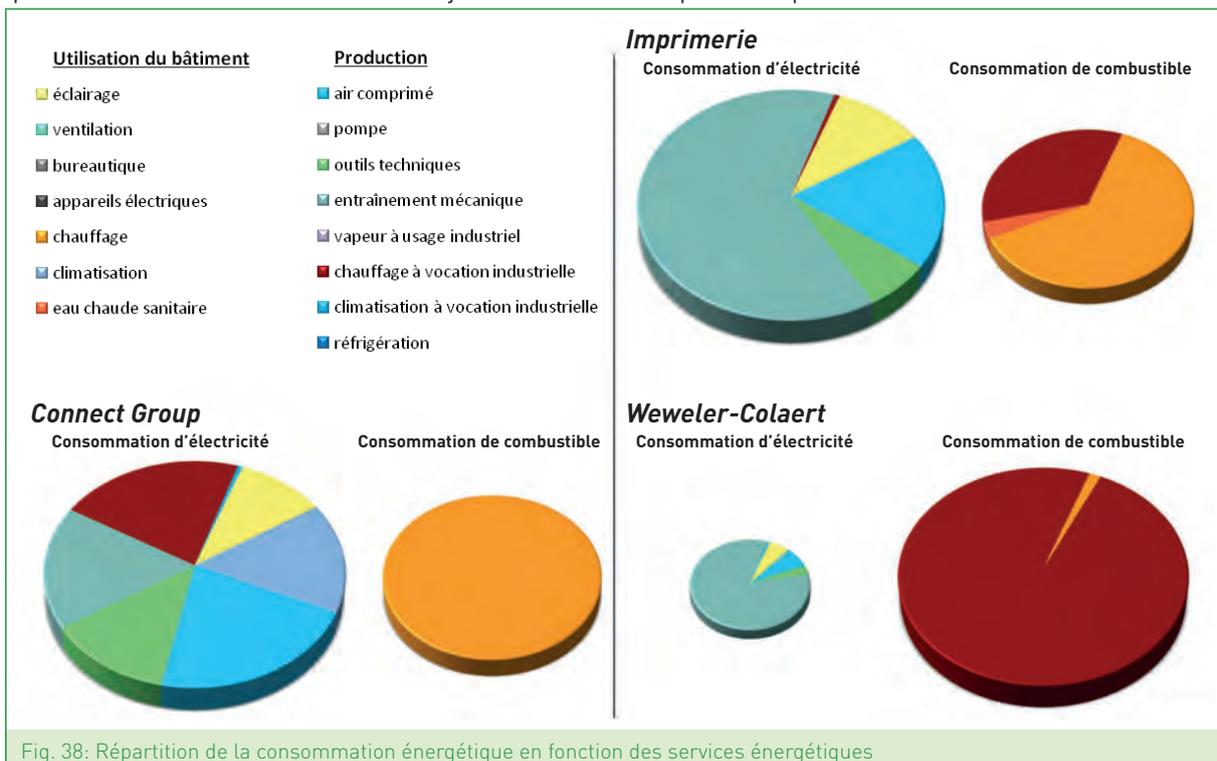


Fig. 38: Répartition de la consommation énergétique en fonction des services énergétiques

Les mesures d'économies d'énergie identifiées lors du scan énergétique sont les suivantes: ajuster le fonctionnement du chauffage central dédié aux bureaux et des générateurs d'air chaud installés dans le hall de production, éliminer la consommation d'électricité liée au mode veille, installer un éclairage basse consommation et des détecteurs de présence, isoler les installations et les conduites, récupérer et réutiliser la chaleur résiduelle issue des process de fabrication, colmater les fuites d'air comprimé, remplacer les moteurs existants par des moteurs électriques à régulation de fréquence bien plus performants, optimiser l'installation de production de vide, améliorer l'isolation et l'étanchéité à l'air des espaces chauffés ou climatisés, etc.

Suivi énergétique

La préparation des appels d'offres et les visites qui ont suivi au sein des entreprises ont permis de vérifier et d'affiner les résultats approximatifs obtenus lors du scan énergétique. Les entreprises concernées ont également acquis une meilleure connaissance de la structure de leur circuit de distribution électrique interne et identifié de possibles améliorations et simplifications. Durant la campagne de suivi énergétique, les principaux consommateurs d'énergie repérés lors du scan énergétique ont fait l'objet d'un suivi sur environ 4 semaines. Les données énergétiques sont traitées et mises à la disposition des entreprises et seront utilisées, à titre confidentiel, par l'Université de Gand dans le cadre de la recherche énergétique.

Examen préliminaire sur la base du scan énergétique

Weweler Colaert NV fabrique des systèmes de suspension et des ressorts pour le marché de l'automobile de gamme lourde. Les possibilités d'amélioration du système énergétique de l'entreprise ont été discutées lors d'un entretien avec l'Université de Gand. Le profil du compteur électrique général montre un faible facteur de charge en raison des fortes pointes enregistrées au niveau de la consommation d'électricité. Comme les coûts liés à l'électricité dépendent largement des périodes de pointe de la demande, ceux-ci devraient être aplanis voire évités. Ce scénario passe par une meilleure répartition dans le temps des phases de démarrage des équipements. Par exemple, une partie des installations fonctionnant sur le créneau du matin peuvent déjà commencer à tourner quinze minutes avant la fin du quart de nuit.

Les process de fabrication comprennent des activités de façonnage (poinçonnage, laminage, cintrage) et de durcissement à chaud. Dans l'ensemble du process, le plus gros poste consommateur de gaz s'avère être l'installation de durcissement, où les ressorts en acier sont tout d'abord portés à une température d'environ 940°C dans un four à gaz puis rapidement refroidis dans un bain d'huile pour redescendre à une température d'environ 80°C. Le bain d'huile est maintenu à une température constante grâce à un circuit d'eau de refroidissement, qui évacue la chaleur emmagasinée vers l'extérieur via un système de ventilation. Ce mode de refroidissement permet de produire une large quantité de vapeur d'eau à l'année. Le circuit de refroidissement est réalimenté, en partie, par les eaux pluviales et, en partie, par de l'eau potable, ce qui induit un coût annuel élevé. Pour l'instant, le chauffage des bureaux est assuré par une chaudière gaz et les entrepôts ne sont pas chauffés. Le circuit de refroidissement équipant l'installation de durcissement pourrait être raccordé au système de chauffage central des bureaux et venir chauffer les entrepôts. De cette façon, la chaleur résiduelle restituée par le circuit de refroidissement est utilisée utilement comme chauffage. Par conséquent, la consommation de gaz liée au chauffage est ramenée à zéro et le besoin en eau de refroidissement diminue.

Les fours dédiés au façonnage à chaud sont ouverts d'un côté afin de permettre la manipulation des ressorts. Ainsi, ils ne peuvent être facilement isolés et il s'avère difficile de récupérer la chaleur résiduelle pour qu'elle soit réutilisée ailleurs. Par le passé, d'importantes économies d'énergie ont été réalisées en combinant plusieurs traitements automatisés dans une même unité de chauffe. Le fait que l'entreprise produise un grand nombre de produits de tailles différentes (lots de petite à moyenne taille) restreint les possibilités quant au regroupement des installations sur une même ligne de production.

En 2013, VDL Weweler BV a fait construire un nouveau bâtiment sur le parc d'activités Ecofactorij (voir 3.9). Sur ce site, la production est moindre mais couvre des lots de plus grande taille qu'à Poperinge. Plutôt que les fours à gaz, on utilise l'induction pour chauffer l'acier. Les ressorts sont d'abord formés à chaud puis durcis dans le cadre d'un process continu, et la chaleur résiduelle récupérée durant la première phase est réutilisée lors de la seconde. Ce procédé permet de réduire les besoins énergétiques de 35% et réduit le temps de production. L'acier est durci dans un bain de sel et la chaleur résiduelle qui en émane est utilisée pour assurer le chauffage par le sol dans les halls industriels. Les bureaux sont chauffés et climatisés au moyen d'une pompe géothermique.

5.3.5.2 Programme d'orientation, véritable tremplin vers la Norme ISO 50001

La ville de Gand a lancé un programme d'orientation sur la gestion énergétique, au titre duquel les entreprises se voient offrir un audit énergétique gratuit puis une assistance et des conseils pendant un an (pour plus d'informations, voir 10.4). Pour beaucoup d'entreprises, le programme constitue un véritable tremplin vers un système de gestion énergétique certifié ISO 50001. Ce type de système permet aux entreprises de suivre et d'analyser leur propre consommation d'énergie.

5.3.5.3 Suivi énergétique à Theaklen Drive

Les compteurs intelligents prennent des relevés automatiques et précis de la consommation d'électricité et de gaz sur une base horaire. Les séries de données mesurées peuvent être relevées à distance et représentées de façon numérique ou sous forme de graphique. Le suivi énergétique permet aux entreprises d'analyser la consommation d'énergie liée à leurs activités et de repérer les pics de consommation inhabituels ou imprévus. Le Hastings Borough Council a fait installer des compteurs intelligents sur les unités d'exploitation de la Zone Industrielle de Ponswood à Theaklen Drive afin de contrôler la consommation d'électricité. Les relevés apparaissant à la Fig. 39 montrent une hausse de la consommation moyenne d'électricité à partir du 28 octobre 2013, reflétant la mise en route du système de chauffage lorsque les températures baissent à l'extérieur.

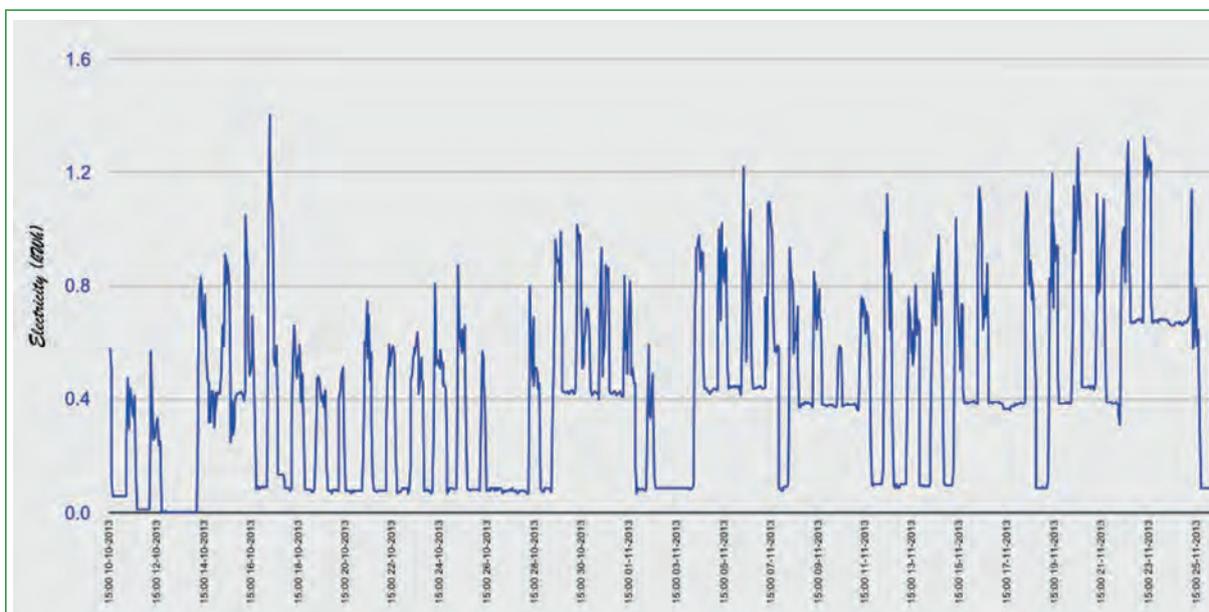


Fig. 39: Relevés des compteurs intelligents, Zone Industrielle de Ponswood, 34 Theaklen Drive

5.4 Efficacité énergétique

Les mesures visant à améliorer le profil de consommation énergétique d'une entreprise peuvent être rattachées aux services énergétiques qui sont liés, soit à la performance énergétique du bâtiment, soit aux activités et process de fabrication de l'entreprise. Ce paragraphe décrit les différents types de mesures et les réglementations en vigueur en matière d'amélioration de la performance énergétique des bâtiments et des process. Une grande attention doit être portée à ces mesures énergétiques durant la phase de conception des nouveaux bâtiments ou lors du démarrage d'un chantier de réfection de bâtiments existants.

5.4.1 Mesures en matière d'efficacité énergétique - Bâtiments

La **performance énergétique** d'un bâtiment peut être sensiblement améliorée en faisant les bons choix en termes d'**aménagement du bâtiment**, d'**enveloppe du bâtiment** et d'**installations techniques** (voir résumé au Tableau 9).

Premièrement, l'**aménagement d'un bâtiment**, lorsqu'il est bien conçu, réduit les besoins énergétiques liés au chauffage, à la climatisation et à l'éclairage. Plus concrètement, la conception de bâtiments **compacts** et le **regroupement** ou l'**empilement** de plusieurs corps de bâtiments permettent de minimiser la surface de déperdition de chaleur et, par conséquent, l'échange de chaleur avec l'extérieur. Pour utiliser de façon optimale le rayonnement solaire à des fins de chauffage et d'éclairage, il convient de prévoir de **larges baies vitrées** aux façades est, sud et ouest de la construction, tout en limitant les fenêtres au nord du bâtiment. Des **puits de lumière** peuvent être intégrés à la toiture. En revanche, lorsque le soleil est au zénith en été et que les températures grimpent trop, il faut protéger les fenêtres situées au sud à l'aide de **pare-soleils** ou avec des arbres à feuilles caduques. Les pièces souvent utilisées en hiver et qui doivent être chauffées, telles que les bureaux et les pièces à vivre, sont idéalement situées en **façades sud et ouest**, alors que les pièces qui présentent les caractéristiques inverses, telles que les espaces de rangement, les locaux techniques, les locaux sanitaires ainsi que les halls industriels, doivent être orientées au **nord ou à l'est**. Pour éviter la surchauffe durant la période estivale, les locaux produisant beaucoup de chaleur interne, tels que les bureaux très fréquentés, les salles d'exposition et les halls industriels accueillant des process thermiques, doivent être prévus en façades nord et est, plus fraîches. Les espaces chauffés doivent être **regroupés** et **séparés thermiquement** des pièces qui n'exigent pas d'être chauffées, ceci afin de limiter les déperditions de chaleur. L'incubateur Greenbridge à Oostende en Belgique est un exemple de construction écoénergétique (voir Fig. 40)



Fig. 40: Bâtiment industriel écoénergétique - Incubateur Greenbridge

Deuxièmement, l'**enveloppe du bâtiment** doit être correctement **isolée** et **étanche à l'air** afin d'éviter l'échange de chaleur non intentionnel avec l'extérieur, à savoir une déperdition de chaleur en hiver et un gain de chaleur en été (voir Fig. 41). La qualité de l'enveloppe du bâtiment peut être testée au moyen d'un scan thermographique ou d'un test d'infiltrométrie. Dans les bâtiments **passifs**, on peut même se passer de chauffage et de climatisation. Une parfaite étanchéité à l'air ne peut être obtenue sur les halls industriels qui disposent de portes donnant sur l'extérieur. Les déplacements d'air excessifs et la déperdition de chaleur qui en résulte peuvent néanmoins être limités en installant des portes industrielles à **fermeture automatique** ou à enroulement rapide. De plus, les **couleurs** extérieures de l'enveloppe du bâtiment jouent un rôle important, en ce sens que les façades et toits aux teintes claires réfléchissent une grande part du rayonnement solaire, évitant ainsi la surchauffe. Cette dernière propriété est également attribuée aux **toitures et aux murs végétalisés**. La chaleur excédentaire produite en été est absorbée durant la journée par la masse thermique des grands murs et des dalles, et peut être évacuée par la ventilation pendant la nuit.

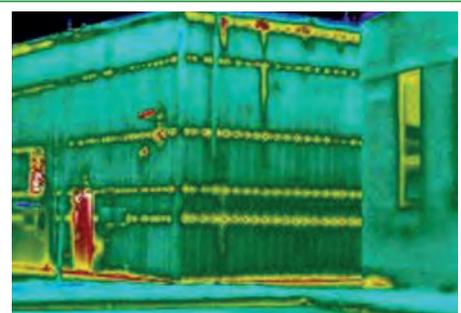


Fig. 41: Étude thermographique montrant les déperditions de chaleur au travers de l'enveloppe du bâtiment

Troisièmement, la mise en place d'**installations techniques** efficaces améliore la performance thermique du bâtiment. Pour être étanche à l'air, l'enveloppe d'un bâtiment doit être équipée d'un **système de ventilation** contrôlée afin d'assurer la qualité de l'air intérieur. On distingue quatre **types de systèmes de ventilation**,

selon que la pulsion, l'extraction ou les deux sont activées mécaniquement ou de façon naturelle. Dans le cas d'une ventilation entièrement naturelle, l'air peut être **préchauffé** au moyen de **collecteurs d'air chaud ou de serres**. Lorsqu'on utilise un système de ventilation mécanique, en hiver, un **échangeur thermique** peut préchauffer l'air entrant grâce à la chaleur récupérée de l'air sortant, alors qu'en été, l'air entrant peut être prérefroidi au travers de **conduits enterrés**. Les systèmes hybrides combinent les propriétés du refroidissement mécanique et naturel, ne conservant que les avantages des deux méthodes.

Les maisons, les bureaux et les halls industriels de petite taille peuvent être chauffés via des **systèmes de chauffage central**, qui distribuent la chaleur depuis un point central vers plusieurs pièces dans le bâtiment. Il existe différentes options en termes de technologies de **production de chaleur**. La technologie de production de chaleur à combustion la plus performante sur le plan énergétique est la **chaudière à condensation**, pour laquelle le gaz naturel constitue le combustible fossile émettant le moins de carbone, tandis que le biocarburant offre une alternative renouvelable. Si l'on veut pousser un peu plus loin l'efficacité exergétique (voir 4.4), la chaleur peut également être générée en tant que produit secondaire de la production d'électricité, au sein d'une installation de **micro-génération** à combustion ou à pile à combustible (voir 6.7). De même, la chaleur peut être extraite du sol, des eaux souterraines, des eaux de surface ou de l'air extérieur à l'aide d'échangeurs thermiques et portée à un niveau de température plus élevé grâce à une **pompe géothermique** (voir 6.5.3.2 et 6.6). Ce système convient mieux aux régimes de températures plus basses. En outre, la chaleur solaire peut être directement recueillie par des **capteurs thermosolaires** à des températures suffisamment élevées (voir 6.5.1.5). En Flandre, les valeurs de référence pour le chauffage des locaux oscillent entre 100 kWh/m² pour les bureaux et 50 kWh/m² pour les halls industriels.

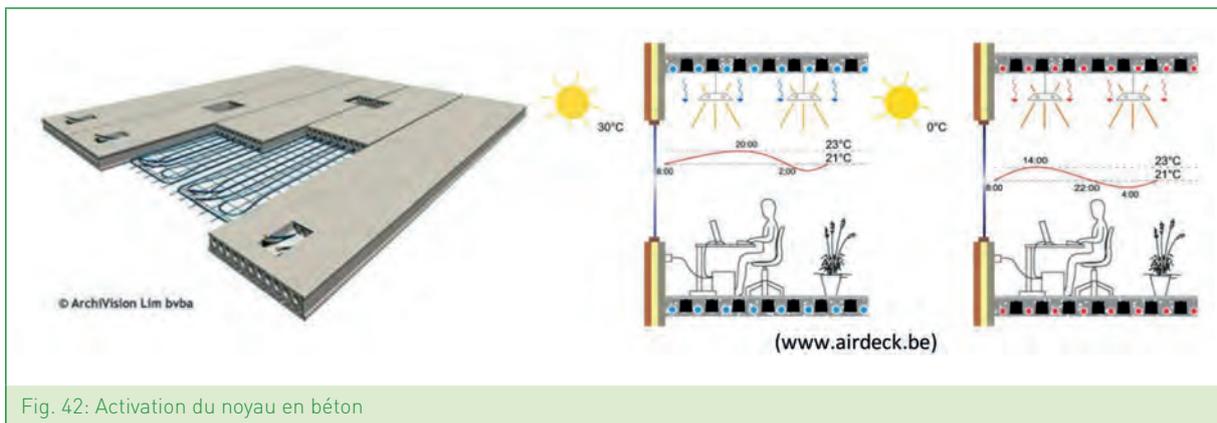


Fig. 42: Activation du noyau en béton

Par ailleurs, on distingue différentes technologies en matière d'**émission de chaleur**. À un régime de température plus élevé, les radiateurs constituent une pratique courante, mais à des températures plus basses, on peut avoir recours aux systèmes de **chauffage par le sol, les murs ou les plafonds** et à des **radiateurs surdimensionnés**. Un système d'**activation du noyau en béton** peut, d'autre part, être utilisé pour la chauffage et la climatisation des locaux. L'eau froide (16°C) ou chaude (25-30°C) traverse des tubes intégrés dans les dalles de plancher en béton, refroidissant ou réchauffant ainsi la masse thermique du béton. Le béton régule ensuite la température ambiante, tandis que sa grande inertie thermique assure un transfert de chaleur progressif, tout en aplanissant et en décalant les pics de température. Ce procédé peut être couplé à un système de pompe géothermique. Les systèmes de chauffage par le sol et les plafonds ainsi que d'activation du noyau en béton reposent sur le rayonnement thermique, alors que les radiateurs font également appel à la convection et peuvent causer des fuites d'air non intentionnelles. Notons qu'un système émission de chaleur basse température doit être alimenté par une source de chaleur de même régime thermique afin de faire coïncider les niveaux de qualité énergétique. À défaut, l'efficacité exergétique ne se trouve pas améliorée par rapport aux systèmes de chauffage traditionnels à combustion utilisant le gaz naturel (voir 4.4). Un tout nouveau système de climatisation fait appel à des matériaux à changement de phase (MCP) intégrés aux murs et aux sols, qui libèrent ou absorbent la chaleur lorsqu'ils atteignent un certain niveau de température. Ce système a été installé dans le Centre d'Information du parc d'activités Ecofactorij (voir 3.9).

Pour les halls industriels de grande taille, il se peut que la déperdition de chaleur dans les conduites de distribution du système de chauffage central devienne trop élevée. Dans ce cas, il est plus judicieux de produire de la chaleur ponctuellement au moyen de **générateurs d'air chaud décentralisés** fonctionnant au gaz ou à l'électricité, associés à des **déstratificateurs**. Si le volume d'air intérieur est trop important, et lorsque les postes de travail sont dispersés, les pièces sont occupées de façon intermittente ou l'étanchéité à l'air et l'isolation sont de qualité médiocre, des **panneaux rayonnants de plafond** et des **chauffages radiants ou à tubes radiants**. Ces systèmes augmentent la température sensible sans chauffer la totalité du volume d'air ambiant. Dans tous les cas, il est essentiel que le système de contrôle du chauffage, de la climatisation et de la ventilation soit bien réglé. Pour la production d'eau chaude sanitaire, il est possible d'utiliser des pompes à chaleur, des panneaux solaires thermiques, des geysers modulaires individuellement ou en les combinant.

Grâce aux larges fenêtres et aux couleurs claires recouvrant les plafonds et les murs, la lumière du jour pénètre profondément dans le bâtiment, ce qui permet de réduire le besoin en éclairage artificiel à l'intérieur durant la journée. La pénétration de la lumière naturelle peut même être améliorée encore en installant des puits de lumière dans le toit (voir Fig. 43). Il s'agit de miroirs qui suivent le mouvement du soleil et dirige la lumière du jour ainsi captée vers l'intérieur du bâtiment. De plus, la mise en place de détecteurs de présence ou de minuteries permet d'éviter que la lumière ne reste allumée où et quand cela n'est pas nécessaire, quand les capteurs de lumière du jour et les variateurs de lumière adaptent l'intensité de l'éclairage au niveau de lumière incidente. La performance de l'éclairage artificiel peut être améliorée en utilisant des lampes et armatures efficaces, des ballasts électroniques, etc. Un système d'éclairage est jugé efficace si sa consommation se limite entre 1,5 à 2 W/m² pour 100 lux d'intensité lumineuse. Les bureaux doivent recevoir une intensité lumineuse d'au moins 500 lux, les postes de travail une valeur comprise entre 200 et 300 lux et les halls de stockage une valeur comprise entre 100 et 200 lux. Dès lors, l'éclairage des bureaux se solde par une consommation d'électricité d'environ 7.5 W/m² à 10 W/m². Les LED et les ampoules fluorescentes (par exemple les TLS) sont les modes d'éclairage intérieur les plus écoénergétiques, leur performance atteignant respectivement 110 lumen/W et 90 lumen/W. Tout comme l'éclairage intérieur, l'éclairage extérieur peut également être contrôlé au moyen de capteurs de lumière du jour, de détecteurs de présence ou de minuteries. Les lampes à hydruure métallique et à sodium comptent parmi les systèmes d'éclairage extérieur les plus performants sur le marché.

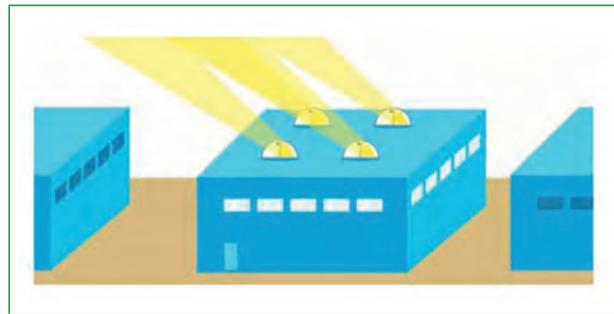


Fig. 43: Puits de lumière (www.econation.be)

Tableau 9: Mesures énergétiques -Construction

aménagement du bâtiment	installations techniques	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ design compact ✓ regroupement ou empilage des bâtiments ✓ orientation optimale des fenêtres ✓ puits de lumière ✓ pare-soleils ou arbres à feuilles caduques ✓ orientation optimale des pièces ✓ regroupement des espaces chauffés 	<p>ventilation</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ préchauffage de l'air de ventilation (collecteurs d'air chaud, serres) ✓ prérefroidissement de l'air de ventilation (conduits enterrés) ✓ récupération de la chaleur de la conduite de ventilation <p>lighting</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ couleurs intérieures claires ✓ puits de lumière ✓ capteurs de lumière, détecteurs de présence ✓ LED ou ampoules fluorescentes ✓ lampes à hydruure métallique & à sodium 	<p>chauffage & climatisation des locaux</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ chaudière à condensation ✓ micro-génération ✓ pompes à chaleur (géothermiques) ✓ capteurs thermosolaires ✓ chauffage par le sol, les murs ou les plafonds ✓ radiateurs surdimensionnés ✓ activation du noyau en béton ✓ matériaux à changement de phase ✓ chauffages décentralisés ✓ chauffages radiants
enveloppe du bâtiment		
<ul style="list-style-type: none"> ✓ insulation ✓ étanchéité à l'air ✓ norme de construction passive ✓ portes à fermeture rapide ✓ couleurs extérieures claires ✓ toitures et murs végétalisés 		

5.4.2 Réglementation sur la performance énergétique des bâtiments

Belgique

En Belgique, les bâtiments nouveaux ou faisant l'objet de rénovations majeures, destinés à accueillir des personnes et nécessitant de l'énergie pour réguler la température de l'air ambiant, doivent se conformer à la **réglementation PBE**. Cette réglementation impose des objectifs en matière d'isolation thermique, de performance énergétique et de climat intérieur en fonction de la destination du bâtiment (maison, école, bureau, hall industriel, etc.). La performance énergétique est indiquée par le niveau d'énergie (**niveau E**), qui exprime le ratio de la consommation nette en énergie primaire d'un bâtiment, calculé sur la base de la situation actuelle, par rapport à celui défini dans le cadre d'une situation de référence. Pour les bureaux et les bâtiments industriels, les niveaux E tiennent compte de la consommation d'énergie liée à l'utilisation du bâtiment (éclairage, chauffage et climatisation des locaux, ventilation, humidification, énergie auxiliaire), des charges thermiques internes et de la production individuelle d'énergies renouvelables (PV, PCCE). Le **niveau K** indique le niveau d'isolation globale du bâtiment. La Flandre, Bruxelles et la Wallonie utilisent le même outil de calcul mais utilisent des points de consigne différents.

La réglementation PBE flamande préconise un niveau E maximum de E70 pour les nouveaux bâtiments administratifs et les logements ayant déposé des demandes de permis de construire en 2012 et 2013. À compter de 2014, un niveau E de E60 est demandé. Tous les types de constructions nouvelles sont soumis à un niveau K maximum de K40 et doivent respecter des coefficients de trans-

fert de chaleur maximums (**valeurs U**) ou des résistances thermiques minimales (**valeurs R**) pour tous les composants de l'enveloppe du bâtiment. La ventilation est, elle aussi, assujettie à des exigences minimales. Pour les nouveaux logements, le besoin énergétique annuel net pour le chauffage des locaux doit rester en deçà de 70kWh/m². De plus, aux termes de la Directive sur les énergies renouvelables de l'UE, une part minimum d'énergies renouvelables est imposée pour les bureaux, les écoles et les maisons. Au niveau des maisons individuelles, cette exigence peut être remplie en installant des capteurs thermosolaires, des panneaux photovoltaïques, une chaudière à biomasse, une cogénération biomasse, ou une pompe à chaleur, ou encore en se raccordant au système de chauffage ou de climatisation urbain. Une autre option consiste à s'impliquer dans un projet d'énergies renouvelables à l'échelle de la province. Pour les logements collectifs, les bureaux et les écoles, un minimum de 10 kWh/and par m² de surface au sol doit provenir des systèmes cités précédemment, sous peine de voir le niveau E maximum à atteindre abaissé de 10%. La réglementation PBE va progressivement se renforcer pour parvenir à une norme de construction à consommation d'énergie quasi nulle en 2021. Toute vente ou location de constructions résidentielles impose la fourniture d'un certificat de performance énergétique (**CPE**), ce qui n'est pour l'instant pas le cas pour les bâtiments industriels. Une comparaison des objectifs de performance actuels pour les bureaux et les bâtiments industriels en Flandre, à Bruxelles et en Wallonie figure au Tableau 10.

Tableau 10: Objectifs PBE régions belges en 2014

Objectifs		Flandre	Wallonie	Bruxelles
Bureaux	Niveau K	K40	K45	K45
	Valeurs U	U _{max}	U _{max}	U _{max}
	Niveau E	E60	E80	E75
	RE	part min.		
Industriel	Niveau K	K40	K55	-
	Valeurs U	U _{max}	U _{max}	-
	Niveau E	-	-	-

France

En France, la «**Réglementation Thermique 2012**» (RT 2012) fixe trois types d'objectifs en matière de performance énergétique portant sur les **nouveaux bâtiments ou les extensions de bâtiments**, y compris les bureaux et la plupart des bâtiments industriels. Dans un premier temps, le bâtiment doit adopter un modèle de conception bioclimatique efficace, par le biais d'une orientation optimale des fenêtres et d'une bonne isolation, afin de réduire les besoins énergétiques liés au chauffage, à la climatisation et à l'éclairage. La conception bioclimatique s'évalue au regard d'un coefficient qui doit être inférieur à une certaine valeur de référence, le Bbiomax, qui varie en fonction de l'emplacement géographique et de l'altitude. Dans un second temps, la consommation annuelle en énergie primaire liée à l'utilisation du bâtiment (éclairage, CVC, eau chaude, systèmes de récupération de chaleur et auxiliaires) ne doit pas dépasser une valeur de référence. Cette valeur, le Cpemax, oscille entre 40 et 65 kWh/m²/an pour les constructions résidentielles et entre 48 et 72 kWh/m²/an pour les bureaux, en fonction de la zone climatique, de l'altitude, du type et de la taille du bâtiment et des

combustibles utilisés. Dans un troisième temps, la surchauffe en été pendant 5 jours consécutifs doit être évitée.

Dans le cadre de la «Réglementation Thermique Existant Globale», pour les **rénovations** non résidentielles importantes, la consommation d'énergie liée à l'utilisation du bâtiment doit être inférieure à une valeur de référence et doit être réduite d'au moins 30% par rapport à la situation initiale. En outre, durant l'été, la température intérieure ne doit pas dépasser un certain seuil. Les rénovations moins importantes doivent se conformer à la «Réglementation Thermique Existant par Élément» afin d'assurer la mise en place de matériaux de construction efficaces sur le plan énergétique.

Royaume-Uni

Au **Royaume-Uni**, les **Règles de la Construction 2010** n'imposent pas d'objectifs en matière de performance énergétique aux sites industriels, aux ateliers et aux bâtiments agricoles non résidentiels, à la condition qu'ils présentent un faible besoin en énergie pour le chauffage ou la climatisation des locaux. Cependant, lors de la construction, la vente ou la location de bâtiments résidentiels et non résidentiels, tels que les usines, les bureaux, les locaux commerciaux et les bâtiments du secteur public, un certificat de performance énergétique est requis. À compter de 2018, le gouvernement britannique entend instaurer une exigence minimum de niveau D ou supérieure en matière de CPE.

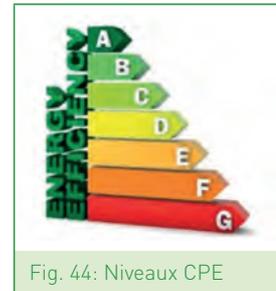


Fig. 44: Niveaux CPE

5.4.3 BREEAM

The Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) est une norme volontaire internationale pour la conception et le fonctionnement durables des bâtiments. La BREEAM mesure la performance environnementale des bâtiments sur la base d'une liste de mesures comparatives, pour arriver à un score final pondéré et un niveau de classification (voir Fig. 45). Un certain nombre de pays ont adapté le schéma de la BREEAM à leur propre situation.



Fig. 45: Niveaux de classification BREEAM

5.4.4 Mesures en matière d'efficacité énergétique - Process

Afin de réduire la **consommation énergétique** des process industriels, différentes mesures peuvent être prises en termes de conception des produits, d'élaboration des process, de matériel, de contrôle, de fonctionnement, de suivi et de maintenance (voir Tableau 11).

L'empreinte énergétique et matérielle d'un produit peut être réduite de façon considérable tout au long de son cycle de vie lorsqu'on le fabrique dans une optique durable. La **conception de produits durables** implique que le produit soit complètement recyclable (du berceau au berceau), qu'il soit facilement réparable ou encore qu'il bénéficie d'une longue durée de vie.

Afin d'organiser les process de façon optimale, toutes les **options possibles** portant sur la fabrication d'un produit donné doivent être analysées et comparées. À titre d'exemple, l'actuelle méthode de fabrication de l'acier, qui affiche une très forte intensité de carbone, pourrait être à l'avenir remplacée par l'électrolyse, entraînée par de l'électricité renouvelable. Autre exemple: une entreprise fabricant des ressorts en acier a remplacé le four à gaz servant au chauffage de l'acier par un four à induction (voir 5.3.5.1).

Pour les process thermiques complexes, la **conception intelligente de process thermodynamiques** (intégration des process ou Analyse Pinch) peut aider à réaliser d'importantes économies d'énergie (voir 5.5). La chaleur résiduelle peut être recyclée au cœur même du process via l'**échange de chaleur** entre différents flux industriels, réduisant ainsi l'importation d'énergie thermique. Dans ce cas, la chaleur est mise en cascade à travers les process depuis les utilités haute température vers les utilités basse température. L'échange peut être soit direct, de flux à flux, ou indirect, via un système intermédiaire de transfert de chaleur comme un

réseau de vapeur ou d'eau chaude. De tels réseaux permettent également l'échange de chaleur entre différentes installations de production au sein d'une même entreprise, voire même entre différentes entreprises. Le potentiel d'échange de chaleur interne peut être majoré en relevant le niveau de température de la chaleur résiduelle basse température à l'aide de **pompes à chaleur**.

Les **turbines à vapeur et les modules ORC** permettent de convertir la chaleur résiduelle en électricité. Tout comme les pompes à chaleur, ces générateurs électriques peuvent s'intégrer soit entre deux flux industriels ou entre un process et l'environnement. Une légère **modification des conditions d'exploitation**, telle qu'un ajustement de la pression et de la température, peut suffire à réduire le recours aux sources d'énergie externes. Enfin, pour éviter les pertes d'exergie inutiles, les besoins externes en chauffage et en climatisation doivent être assouvis à des **températures** aussi proches que possible des températures requises par le process. Par conséquent, il est important de sélectionner les technologies de chauffage, de climatisation et de réfrigération appropriées (voir 4.4). En abaissant les niveaux de température des process, on facilite également l'introduction de sources de chaleur renouvelable basse énergie, telles que l'énergie thermosolaire ou géothermique.

On peut réaliser d'importantes économies d'énergie en améliorant l'**efficacité** énergétique du **matériel** composant un process. Par exemple, les moteurs électriques modernes, qui peuvent fonctionner à différents régimes, s'avèrent plus performants que les anciens modèles; les chaudières à condensation utilisent également la chaleur latente contenue dans les gaz d'échappement et les technologies alternatives de réfrigération consomment moins d'énergie que les procédés traditionnels. Afin de limiter les déperditions thermiques lors de la production de chaleur ou de froid, le stockage et la distribution, ces systèmes doivent être correctement isolés. Les systèmes à air comprimé doivent être évités dans la mesure du possible car ils sont sujets aux fuites et affichent une efficacité intrinsèquement basse.

On peut également améliorer la performance énergétique en équipant le process d'un **système de contrôle de process** adapté, qui assure le dispatching des différentes unités de production. Lorsque les process tournent à un régime proche de leur capacité maximale, à savoir à un facteur de charge élevé, l'efficacité énergétique s'en trouve améliorée. L'**intensification** des process est une façon d'optimiser l'efficacité des réactions des process tout en réduisant les besoins en matériaux et en énergie et en limitant les déchets.

Autre mesure énergétique importante: le **contrôle** continu de la performance et des conditions d'exploitation des process, qui permet de détecter, à un stade précoce, les éventuelles fuites, détériorations du matériel et mauvais ajustements des process de façon à éviter les coûts inutiles (voir 5.3.3). Sinon, les audits énergétiques menés à l'occasion peuvent donner un aperçu de la gestion énergétique d'une entreprise. Un **entretien** fréquent des installations contribue à rallonger la durée de vie du matériel.

Tableau 11: Mesures énergétiques - Process

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • conception de produits durables • solutions alternatives pour l'élaboration des process • conception intelligente de process thermodynamiques <ul style="list-style-type: none"> ✓ échange de chaleur entre les flux industriels ✓ pompes à chaleur, turbines à vapeur et modules ORC • suivi des process • entretien fréquent | <ul style="list-style-type: none"> • équipement performant <ul style="list-style-type: none"> ✓ machines à régulation de fréquence ✓ chaudières à condensation ✓ isolation des process thermiques ✓ éviter l'air comprimé • contrôle et fonctionnement des process <ul style="list-style-type: none"> ✓ facteurs de charge maximums ✓ Intensification des process |
|--|---|

5.4.5 Réglementation sur la performance énergétique des process

Belgique

Conformément au **Décret sur la Planification Énergétique** mis en place par le gouvernement flamand, les entreprises ou installations qui sont considérées comme **énergivores** doivent avoir recours aux technologies les plus efficaces sur le plan énergétique et qui se montrent économiquement viables (**Meilleures Techniques Disponibles**) et de mettre en œuvre des **mesures énergétiques** économiquement réalisables à même de réduire leur consommation d'énergie spécifique. Ainsi, lorsqu'on dépose une demande de permis environnemental ou son renouvellement, il convient de produire un plan énergétique ainsi que les résultats d'une étude énergétique. Le **plan énergétique** est élaboré par un expert agréé et propose une liste des mesures en matière d'efficacité énergétique. Toutes les mesures figurant sur cette liste et présentant un taux de rentabilité interne (TRI) > 15% doivent être implémentées dans les 3 ans. Dans le cadre d'une **étude énergétique**, une entreprise doit prouver qu'elle utilise les meilleures techniques disponibles et que toutes les mesures en matière d'efficacité énergétique disposant d'un TRI > 15% ont été mises en place. Le plan énergétique concerne les entreprises ou installations existantes affichant une consommation d'énergie primaire > 0,5 PJ par an. Les entreprises présentant une consommation comprise entre 0,1 et 0,5 PJ par an doivent également soumettre un plan énergétique dans le cadre du premier renouvellement de leur permis environnemental à suivre. L'**étude énergétique** s'applique aux entreprises ou installations **nouvelles** affichant une consommation d'énergie primaire > 0,1 PJ par an ou à des **modifications** d'entités existantes entraînant un surplus de consommation supérieur à 10 TJ par an.



Les entreprises flamandes qui ne se soumettaient pas à ces exigences minimales pouvaient, jusqu'à 2013, adhérer aux Conventions d'Audit ou de Benchmarking. La **Convention de Benchmarking** est dédiée aux entreprises enregistrant une consommation d'énergie primaire de plus de 0,5 PJ par an. Les entreprises membres doivent **comparer** les **consommations d'énergie spécifique** de leurs installations de production par rapport aux installations mondiales les plus efficaces sur le plan énergétique et instaurer progressivement des mesures d'optimisation visant à les faire passer au-dessus d'un TRI défini. En contrepartie, le gouvernement flamand dispense ces entreprises d'obligations additionnelles en matière de consommation énergétique et d'émissions de carbone sur le plan régional, fédéral, européen ou mondial.

La **Convention d'Audit** est un accord similaire, mais moins strict, destiné aux entreprises qui affichent une consommation d'énergie primaire comprise entre 0,1 and 0,5 PJ. Aux termes de cet accord, il n'est pas nécessaire de procéder à une comparaison de la consommation d'énergie spécifique comme dans la Convention de Benchmarking et un audit énergétique standard suffit. Cependant, les entreprises liées par la Convention d'Audit ne sont pas exemptées des mesures européennes concernant les échanges de permis d'émissions de carbone. De plus, les adhérents à la Convention peuvent obtenir des réductions sur les impôts et taxes. **Bruxelles** n'a pas mis en place d'accords volontaires et, en **Wallonie**, les Accords de Branche sont des conventions passées entre les secteurs industriels et le gouvernement wallon, similaires à celles mises en place en Flandre.

En Flandre, les Conventions d'Audit et de Benchmarking seront remplacées par l'**Accord sur la Politique Énergétique** (2014-2020). Les entreprises qui signent cet accord sont tenues de réaliser un audit énergétique tous les 4 ans de manière à identifier les mesures énergétiques rentables. Pour les entreprises non SCEQE, les mesures offrant un TRI supérieur à 12,5% sont considérées comme rentables, alors que pour les entités SCEQE, une limite inférieure fixée à 14% est imposée. Les résultats de l'audit sont résumés dans le plan énergétique, qui comprend une liste des mesures énergétiques rentables et un calendrier planifiant leur mise en œuvre, ainsi qu'une analyse de l'évolution de la consommation d'énergie spécifique. Les entreprises s'engagent également à mener des études de faisabilité quant à la PCCE, les réseaux de chauffage et de climatisation et les systèmes de gestion énergétique. L'accord vise à améliorer l'efficacité énergétique de 1% par an. Les entreprises qui se soumettent aux conditions posées par cet accord sont exemptées de mesures additionnelles en matière d'efficacité énergétique et d'émissions de carbone sur le plan régional.

France, Royaume-Uni

Voir chapitre 2

5.4.6 Évaluation des investissements

Pour mesurer la performance d'un investissement, différents indicateurs peuvent être utilisés, comme le délai de récupération, la valeur actuelle nette et le taux de rentabilité interne. Le **délai de récupération** simple (DR) en années équivaut à la somme d'agent devant être investie I , divisée par le cash-flow net annuel attendu C .

Ici, le cash-flow net est égal aux revenus annuels diminués des coûts annuels, ou égal aux économies réalisées sur l'année comparées à un scénario de base. À noter cependant que le délai de récupération ne tient pas compte de la valeur temps de l'argent et ne fournit pas non plus d'informations sur la phase postérieure au délai de récupération.

La **valeur actuelle nette** (VAN) constitue un meilleur indicateur; elle correspond à la somme des valeurs actualisées des cash-flows nets annuels C_n sur un nombre d'années prédéfini N . Le cash-flow net annuel inclut les revenus, les coûts liés à l'investissement, les coûts de fonctionnement et de maintenance (ou les économies comparées à un scénario de base), les subventions et les taxes. Pour calculer la valeur actualisée d'un cash-flow net annuel C_n en année n , il convient de le diviser par $(1+r)^n$. Dans cette formule, le taux d'actualisation r traduit le fait qu'une somme d'argent projetée dans le futur vaut moins que la même somme d'argent aujourd'hui, étant donné que l'argent rapporte des intérêts aujourd'hui. La **période de remboursement actualisée** indique après combien d'années le seuil de rentabilité est atteint (VAN = 0).

Autre indicateur, le **taux de rentabilité interne** (TRI), qui mesure la valeur du taux d'intérêt r qui se traduirait par une valeur actuelle nette de zéro, sur une période totale de N années. En d'autres termes, le TRI indique le taux maximum à partir duquel la valeur de l'argent est susceptible de diminuer à l'avenir afin de maintenir la VAN à une valeur positive à la fin de la période de N années. L'écart mesuré entre le taux effectif d'actualisation et le TRI détermine l'efficacité de l'investissement. Cela revient à définir dans quelle mesure l'investissement dépasse le seuil de rentabilité. Ce sont les projets dont le TRI dépasse une valeur plancher acceptable ou le coût du capital qui doivent être développés car ils sont économiquement rentables. Le coût du capital correspond au taux de rendement requis sur un investissement alternatif à risque équivalent. Le TRI ne doit, cependant, pas être utilisé pour comparer des projets de durée différente. La VAN s'avère être l'indicateur le plus précis pour comparer des projets différents.

5.4.7 Obstacles

Divers obstacles viennent ralentir la mise en place des mesures en matière d'efficacité énergétique. Souvent, ce sont les investissements liés au cœur de métier de l'entreprise qui sont privilégiés, au détriment des mesures d'efficacité énergétique, jugées non prioritaires. Les investissements ne sont jugés économiquement viables que lorsqu'ils présentent des délais de récupération très courts (< 2 ans) ou un taux de rentabilité interne élevé (> 30%). De cette façon, les opportunités d'investissements qui s'avèrent rentables sur des échelles de temps un peu plus longues sont écartées. Le délai de récupération simple n'est pas une mesure exacte car il ne tient pas compte de la valeur temps de l'argent. Il est préférable d'utiliser la valeur actuelle nette (VAN), la période de remboursement actualisée ou le taux de rentabilité interne (TRI).

Parmi les autres obstacles à la mise en place des mesures d'efficacité énergétique, on peut citer le manque de vision holistique et de connaissances techniques, une faible implication dans les questions environnementales et des préjugés quant à la sécurité de l'approvisionnement énergétique. La différence au niveau de l'avantage financier accordé au propriétaire et au locataire (= mesure incitative partagée) constitue également une entrave. Ce problème peut être contourné par une tierce partie, telle qu'une Entreprise de Services Énergétiques (ESE) (voir 7.6). Lorsqu'une entreprise loue ses bâtiments seulement sur une période courte à moyenne, elle ne peut bénéficier de la valeur résiduelle des investissements liés à l'efficacité énergétique du bâtiment, tandis que le propriétaire ne retire aucun bénéfice direct inhérent à la réduction des coûts d'exploitation quotidiens.

Tableau 12: Indicateurs de performance des investissements

$$PP = I/C$$

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{C_n}{(1+r)^n}$$

$$0 = \sum_{n=0}^N \frac{C_n}{(1+IRR)^n}$$

5.4.8 Études de cas

Les unités d'exploitation de la Zone Industrielle de Ponswood à Theaklen Drive ont été rénovées par le *Hastings Borough Council (HBC)* (voir 10.16). Sur la base d'un scan thermographique, l'organisme a décidé de remplacer l'isolation sur les murs, le toit et les plinthes du périmètre. Des tubes fluorescents et des conduits solaires ont été installés sur le toit afin de faciliter la pénétration de la lumière naturelle.



Fig. 47: Puits de lumière ou tubes solaires – Theaklen Drive

5.5 Analyse Pinch

Une entreprise qui présente d'importants besoins en chauffage ou en climatisation à vocation industrielle peut économiser de l'énergie en procédant à un échange de chaleur entre ses différents cycles de production (parties de process). L'Analyse Pinch est un outil pratique qui permet d'évaluer le potentiel écoénergétique de cet échange de chaleur. Plus précisément, l'intégration de l'énergie ou Analyse Pinch est une méthodologie qui vise à minimiser les besoins en énergie thermique des process industriels via un **échange de chaleur** entre les flux industriels, des **modifications** rationalisées des conditions d'exploitation et une **intégration optimale** des technologies et des ressources de conversion d'énergie. Cette méthodologie compte différentes étapes: (1) calcul des charges de chauffage et de climatisation, (2) calcul de la récupération maximale de chaleur et de la consommation minimale d'énergie pour le chauffage et la climatisation, (3) intégration de technologies de conversion énergétique et (4) conception d'un réseau d'échangeurs de chaleur. Dans ce contexte, un process industriel se rapporte aux flux de matières qui ont besoin soit d'être chauffés (courants froids) soit d'être refroidis (courants chauds). Un réseau d'échangeurs de chaleur bien conçu permet aux entreprises qui ont d'importants besoins externes en matière de chauffage et de climatisation pour leurs process de réduire leur consommation d'énergie de 30% ou plus.

5.5.1 Calcul des charges de chauffage et de climatisation

Pour chaque flux industriel, on détermine la **charge de chauffage ou de climatisation** requise en fonction de la température. On peut le faire à l'aide d'un modèle thermodynamique qui simule mathématiquement le process ou sur la base de mesures existantes. Outre les courants provenant des process industriels, on peut également tenir compte des courants issus des services énergétiques, tels que le chauffage et la climatisation des locaux. Les profils de température de tous les courants industriels chauds et froids se trouvent combinés pour tracer respectivement les Courbes Composites Chaude et Froide (voir Fig. 48).

Stream	Stream type	Supply Temperature (°C)	Target Temperature (°C)	Duty (kW)	CP (kJ/kg°C)
1	Hot	200	100	2000	20
2	Hot	150	60	3600	40
3	Cold	80	120	3200	80
4	Cold	50	220	2550	15

Données utiles:

- débit massique (kg/s)
- capacité calorifique spécifique (kJ/kg°C)
- températures de départ et températures cibles (°C)
- chaleur latente pour les courants avec changement de phase (kJ/kg)
- utilités disponibles
- échangeurs de chaleur existants

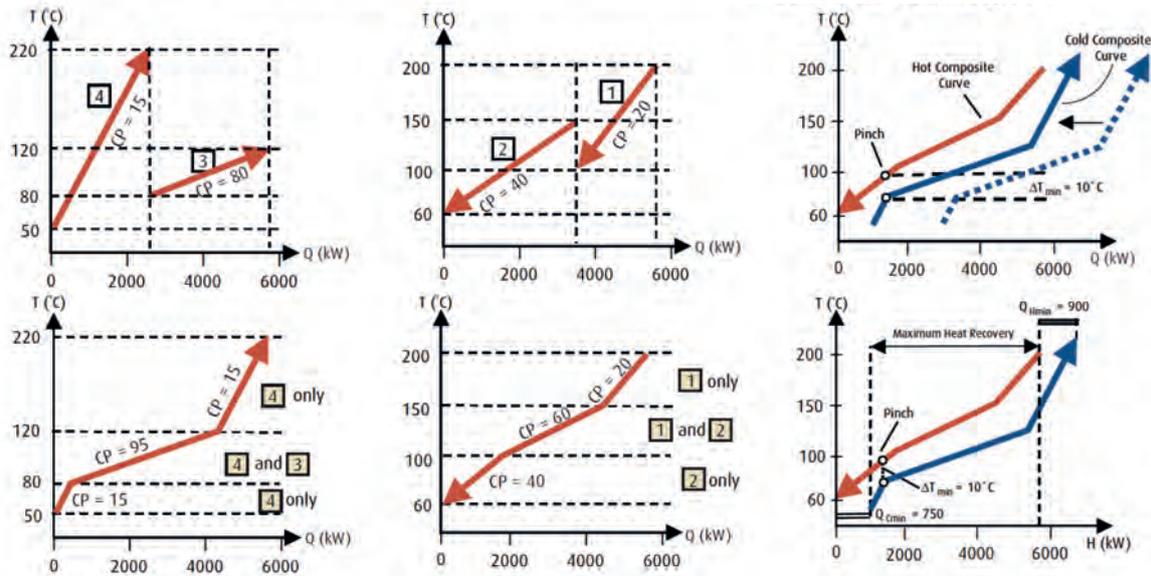


Fig. 48: Tracé des Courbes Composites Chaude et Froide et calcul de la récupération maximale de chaleur

5.5.2 Calcul de la récupération maximale de chaleur et de consommation minimale d'énergie pour le chauffage et la climatisation

L'écart le plus faible entre les Courbes Composites Chaude et Froide, obtenu en se déplaçant le long de l'axe de l'enthalpie tout en conservant une différence minimale de température positive ΔT_{min} , donne la récupération maximale théorique de chaleur via un échange de chaleur contre-courant entre les courants chauds et froids. Le pincement de température minimum provient du compromis entre les coûts liés à l'énergie (utilités) et les coûts d'investissements relatifs à l'échangeur de chaleur. Les autres besoins externes en chauffage et en climatisation se définissent comme la consommation minimale d'énergie pour le chauffage et la climatisation et le point d'écart le plus faible est appelé le point Pinch (voir Fig. 48). Au-dessus du point Pinch, les process nécessitent un apport de chaleur externe (puits de chaleur) alors qu'en-dessous du point Pinch, l'excédent de chaleur doit être rejeté (source de chaleur). La Courbe Grand Composite est dessinée en déplaçant les Courbes Composites Chaude et Froide l'une vers l'autre le long de l'axe des températures sur une distance $\Delta T_{min}/2$ et en traçant la différence de charge thermique entre ces courbes. Cette courbe schématise la façon dont la chaleur est mise en cascade depuis l'utilité de chauffe à travers les process jusqu'à l'utilité de refroidissement (voir Fig. 49).

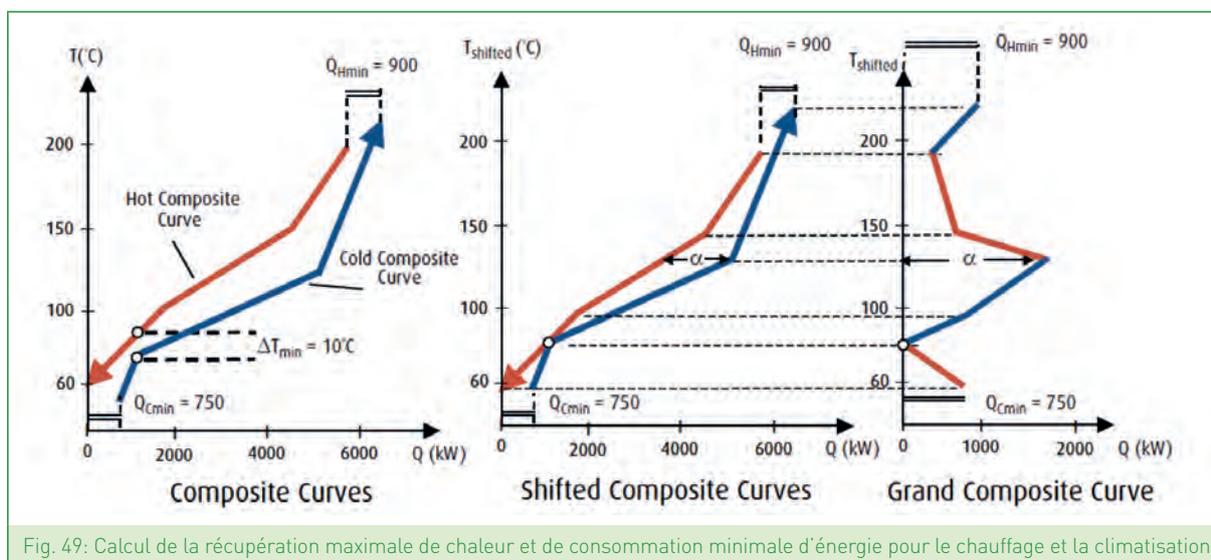
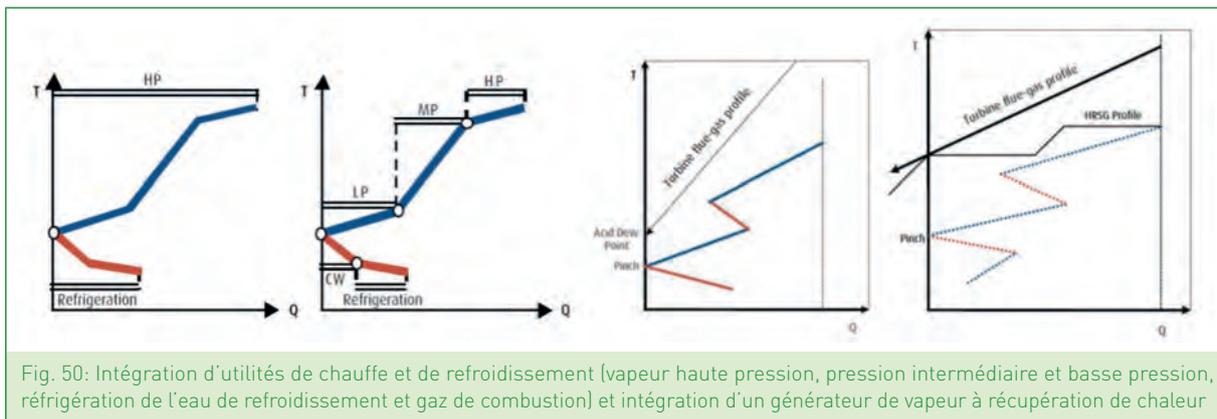


Fig. 49: Calcul de la récupération maximale de chaleur et de consommation minimale d'énergie pour le chauffage et la climatisation

5.5.3 Intégration de technologies de conversion d'énergie

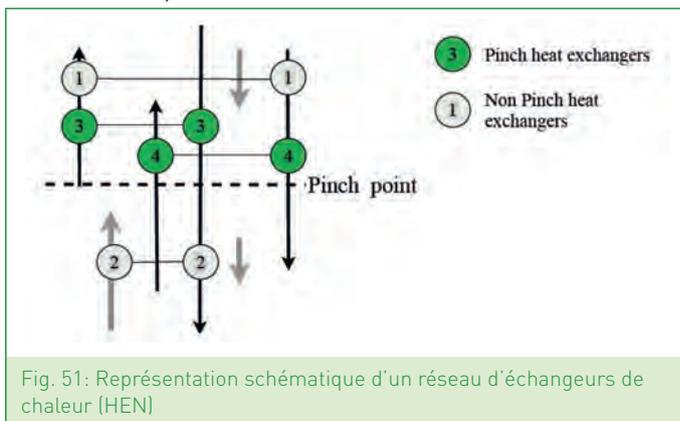
Partant de la Courbe Grand Composite, la consommation d'énergie liée au chauffage et à la climatisation peut être réduite de façon significative en modifiant les conditions d'exploitation ou en corrigeant les éventuels échangeurs de chaleur qui traversent le point de pincement et qui s'avèrent pénalisants. Le rapport entre les Courbes Composites Chaude et Froide peut être amélioré en faisant passer les courants chauds situés sous le point Pinch au-dessus de celui-ci et les courants froids situés au-dessus du point Pinch en-dessous de celui-ci (le principe plus-moins).

En parallèle, il convient d'optimiser le choix des technologies d'approvisionnement en chaleur et froid de façon à ce que leurs profils de température-chaleur soient aussi proches que possible de ceux des courants industriels, afin que la perte de qualité thermodynamique (exergie) soit réduite au minimum. On peut y arriver en augmentant la quantité de chaleur fournie aux températures les plus basses puis de chaleur extraite aux températures les plus élevées, jusqu'à activer les points de pincement des utilités, tout en réduisant le débit massique des combustibles utilisés. Enfin, les courants générés par les utilités de chauffe et de refroidissement doivent couvrir la Courbe Grand Composite des process. Dans la plupart des cas, l'optimisation d'un système énergétique s'obtient en minimisant à la fois les coûts totaux et les émissions, qui apparaissent comme des objectifs contradictoires. Ce problème peut être contourné en ayant recours à la méthode d'optimisation multi-objective et les solutions optimales peuvent être présentées au travers d'une courbe Pareto qui traduit le compromis entre différents objectifs. Pour les écarts de température ne permettant pas d'utiliser la chaleur, celle-ci peut être transformée en électricité (carboneutre) à l'aide, par exemple, d'un générateur de vapeur à récupération de chaleur (GVRC). Les pompes à chaleur sont utilisées pour porter la chaleur résiduelle basse température à un niveau de température plus élevé, où elle peut être récupérée par les courants froids.



5.5.4 Conception d'un réseau d'échangeurs de chaleur

Lors de l'étape ultime, on procède à la conception et l'optimisation du réseau d'échangeurs de chaleur qui permet un échange thermique entre les courants chauds et froids, mais également entre les flux issus des utilités et des process.



5.5.5 Règles

Il existe un certain nombre de règles fondamentales qui contribuent à minimiser les besoins énergétiques:

- Pas de transfert de chaleur à travers le point de pincement, sauf dans le cas de l'utilisation d'une pompe à chaleur
- Ne pas utiliser d'utilité de refroidissement au-dessus du point Pinch ou d'utilité de chauffe en-dessous du point Pinch
- Ne pas mélanger les courants présentant des différences de température
- Ne pas inclure les courants issus des utilités dans les données extraites, sauf s'ils ne peuvent pas être remplacés.

5.6 Analyse Totale de Site

L'Analyse Pinch vise une récupération maximale de chaleur au travers d'un échange direct de chaleur entre les courants industriels chauds et froids, à l'échelle d'une entreprise (voir 5.5). L'Analyse Totale de Site, en revanche, se concentre sur l'échange de chaleur entre les courants industriels chauds et froids entre différentes entreprises via un ou plusieurs réseaux d'échange de chaleur, également appelés réseaux d'utilités. Les vecteurs de transfert de chaleur utilisés dans le cadre de ces réseaux sont la vapeur (très) haute pression, pression intermédiaire et basse pression (THP, HP, PI), l'eau chaude (EC) ou l'eau de refroidissement (ER).

Dans le cadre d'une Analyse Totale de Site, un process peut être représenté soit comme une boîte noire, grise ou blanche, selon le degré de détail avec lequel il peut être analysé. L'approche «boîte noire» présente sim-

plement les courants industriels en affichant le profil de consommation de leurs utilités de chauffe et de refroidissement (c'est-à-dire la demande en vapeur, eau chaude, eau de refroidissement). Dans l'approche «boîte grise», ce sont les courants réels chauds et froids issus des process qui sont présentés (comme au 5.5.1). Dans l'approche «boîte blanche» (ou détaillée), un process est représenté sous les traits d'une Courbe Grand Composite résultant de la récupération maximale de chaleur via un échange de chaleur entre les courants industriels chauds et froids (Analyse Pinch comme au 5.5.2). Tous les profils des boîtes noires et grises qui doivent être refroidies ainsi que les sources de chaleur des profils des boîtes blanches sont réunis pour former le profil global des sources du site (voir Fig. 52). De la même manière, tous les profils des boîtes noires et grises qui doivent être réchauffés ainsi que les puits de chaleur des profils des boîtes blanches sont réunis pour former le profil global des puits du site.

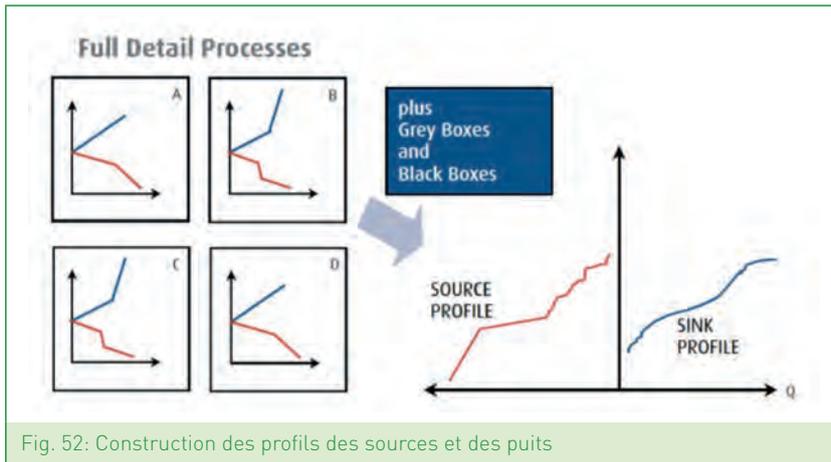


Fig. 52: Construction des profils des sources et des puits

Le potentiel de transfert de chaleur depuis la source de chaleur totale du site vers le puits total du site via les réseaux d'échange de chaleur (utilités) peut à présent être calculé (voir Fig. 53). En résumé, l'Analyse Totale de Site estime le potentiel théorique d'échange thermique entre des entreprises utilisant différents réseaux d'échange de chaleur. Liew et al. ont élaboré une méthode numérique détaillée et ont présenté un exemple.

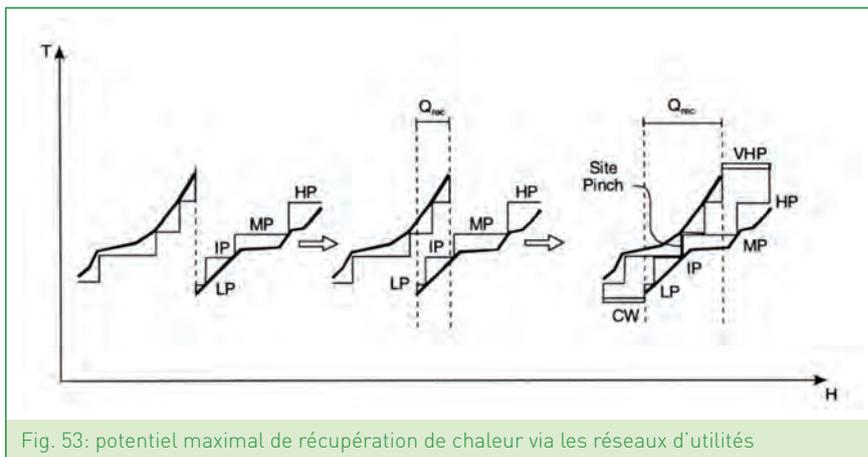


Fig. 53: potentiel maximal de récupération de chaleur via les réseaux d'utilités

5.7 Sources

Sites internet	
Profils de charge synthétiques	www.vreg.be/verbruiksprofielen-0
Guide de Planification et de Gestion de l'Efficacité Énergétique	oeenrncan.gc.ca/sites/oeenrncan.gc.ca/files/pdf/publications/infosource/pub/cipec/Managementguide_E.pdf
Clip vidéo sur la gestion de l'énergie - Agence NL	www.youtube.com/watch?v=ol7DeW93dEA&feature=youtu.be
<i>Energy Savings Toolbox – An Energy Audit Manual and Tool</i>	oeenrncan.gc.ca/industrial/technical-info/9156
Norme ISO 50001	www.iso.org/iso/home/standards/management-standards/iso50001.htm
PBE	www.energiesparen.be/epb/welkeeisen www.energiesparen.be/bouwenverbouwen www.meeroverepb.be
RT 2012	www.rt-batiment.fr
Construction	www.planningportal.gov.uk/buildingregulations/approveddocuments/partl/approved
Règles de la Construction 2010	www.planningportal.gov.uk/buildingregulations/approveddocuments/partj/approved
CPE RU	www.gov.uk/government/collections/energy-performance-certificates
BREEAM	www.breeam.org
Plan énergétique, étude énergétique	www.energiesparen.be/energieplanning
Accords sur la Politique Énergétique	docs.vlaamsparlement.be/docs/stukken/2012-2013/g1849-1.pdf
Guide Pinch	canmetenergy.nrcan.gc.ca/publications/3047

Références

- ALLANORE, A., YIN, L. & SADOWAY, D. R. 2013. *A new anode material for oxygen evolution in molten oxide electrolysis*. *Nature*, 497, 353-356.
- CANMET 2003. *Pinch analysis: for the efficient use of energy, water and hydrogen*. Natural Resources Canada.
- CIPEC, C. I. P. F. E. C. 2011. *Energy Savings Toolbox – An Energy Audit Manual and Tool*.
- DIFS, K., DANESTIG, M. & TRYGG, L. 2009. *Increased use of district heating in industrial processes – Impacts on heat load duration*. *Applied Energy*, 86, 2327-2334.
- LIEW, P. Y., WAN ALWI, S. R., VARBANOV, P. S., MANAN, Z. A. & KLEMEŠ, J. J. 2012. *A numerical technique for Total Site sensitivity analysis*. *Applied Thermal Engineering*, 40, 397-408.
- MAES, T. 2011. *Reductie van CO₂-emissies op bedrijventerreinen in Vlaanderen door energiemangement en energieplanning*. Université de Gand.
- Office de l'Efficacité Énergétique de Ressources Naturelles Canada, 2002 *Energy Efficiency Planning and Management Guide*.
- SCHLOMANN, B., ROHDE, C. & EICHHAMMER, W. 2010. *Erstellung von Anwendungsbilanzen für das Verarbeitende Gewerbe - Pilotstudie für die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzene.V. (AGEB) - Entwurf*. Karlsruhe: Fraunhofer IBP.
2010. *Lage-temperatuurverwarming wordt de standaard*. WTCB-Dossiers – Nr. 4/2009 – Katern nr. 15.
- ZHU, F. X. X. & VAIDEESWARAN, L. 2000. *Recent research development of process integration in analysis and optimisation of energy systems*. *Applied Thermal Engineering*, 20, 1381-1392.

LOW
CARBON
BUSINESS
PARK
MANUAL

Chapitre 6

**Production
d'énergie
bas carbone**

6 Production d'énergie bas carbone

6.1 Introduction

Les technologies de conversion d'énergie doivent transformer les sources énergétiques importées ou extraites localement en électricité, en chaleur ou en travail mécanique afin de répondre aux besoins en énergie affichés par le système énergétique (voir 4.2). Le présent chapitre donne un aperçu des différentes sources qui existent (renouvelables et non renouvelables) ainsi que des technologies qui peuvent être mises en place à l'échelle d'un parc d'activités. L'énergie solaire, éolienne, géothermique et la bioénergie sont passées en revue en termes de disponibilité de ressources, de types de technologies utilisées et de performance offerte. Il explique, ensuite, le fonctionnement, le niveau de performance et l'utilisation qui peut être faite des pompes à chaleur. Le chapitre aborde, en outre, le principe de la cogénération et fournit la description d'une chaudière à condensation. Pour finir, les auteurs analysent les systèmes de garanties d'origine et de certificats pour la production d'énergie verte et la cogénération applicables en Belgique, en France et au Royaume-Uni.

6.2 Sources énergétiques

Les sources énergétiques peuvent être considérées comme renouvelables ou non renouvelables (voir Tableau 13). Les sources d'énergie non renouvelables sont épuisables et ont des effets dommageables sur l'environnement, alors que les sources d'énergies renouvelables sont intarissables et leur exploitation ne donne pas lieu à la production de déchets dangereux, ni à l'émission de gaz à effet de serre. Si l'on prend l'exemple du système énergétique d'un parc d'activités, les combustibles fossiles tels que le charbon, le gaz naturel, le pétrole et les autres produits pétroliers sont des sources d'énergie non renouvelables. Le vent, le rayonnement solaire, la chaleur géothermique ou environnementale, la biomasse, les dérivés de biocarburants (solides, liquides ou gazeux) et l'hydrogène sont, en revanche, des sources d'énergies renouvelables. Il existe une grande différence entre les caractéristiques des sources d'énergies renouvelables. Le vent et l'énergie solaire présentent un comportement intermittent tandis que la chaleur géothermique et la chaleur environnementale peuvent être exploitées au besoin. À noter que la biomasse, les biocarburants et l'hydrogène peuvent tout de même être stockés et transformés et offrent ainsi une certaine maîtrise. On ne trouve pas l'hydrogène à l'état brut dans la nature; il provient des combustibles fossiles ou est produit par hydrolyse. L'hydrogène peut porter l'étiquette «source d'énergie renouvelable» uniquement lorsque l'hydrolyse est faite à base d'électricité verte. Dans le cadre d'un process ou d'une entreprise, la chaleur résiduelle provenant de l'extérieur peut également être considérée comme une source d'énergie.

Tableau 13: Types de sources énergétiques

<i>Non renouvelables</i>	<i>Renouvelables</i>
• Charbon	• Vent
• Gaz naturel	• Rayonnement solaire
• Pétrole & dérivés	• Chaleur géothermique
	• Chaleur environnementale
	• Biomasse & biocarburant
	• Hydrogène
	• (chaleur résiduelle)

6.3 Technologies de conversion d'énergie

Les technologies de conversion d'énergie (voir Tableau 14) transforment les sources énergétiques en chaleur, en électricité ou en travail mécanique. Parmi les technologies renouvelables, on retrouve les panneaux photovoltaïques, les capteurs thermosolaires, les systèmes d'énergie solaire concentrée (ESC), les éoliennes et les installations géothermiques. Les chaudières à combustion et les centrales thermiques peuvent fonctionner avec des combustibles fossiles et des sources d'énergies renouvelables.

On distingue différents types de centrales thermiques. Dans une centrale à vapeur, le combustible est brûlé dans une chaudière pour produire de la vapeur qui se dilate dans une turbine à vapeur, entraînant un géné-

rateur électrique. Dans une centrale à gaz, un mélange d'air comprimé et de combustible est enflammé et les gaz de combustion se dilatent dans une turbine à gaz qui entraîne le générateur électrique. Une centrale à cycle combinée allie les deux systèmes en utilisant la chaleur des gaz d'échappement issus de la turbine à gaz pour générer de la vapeur qui servira à la turbine à vapeur. Les autres types de centrales thermiques fonctionnent avec des moteurs alternatifs ou un moteur Stirling.

Certaines centrales thermiques peuvent également fonctionner à base de chaleur solaire, de chaleur géothermique ou de chaleur résiduelle plutôt qu'en utilisant la chaleur de combustion, comme les centrales à vapeur ou le moteur Stirling. Les piles à combustible produisent directement de l'électricité via une réaction électrochimique associant de l'hydrogène à de l'oxygène et l'eau ne constitue qu'un sous-produit. Selon le type de pile à combustible, l'hydrogène est ajouté sous forme pure ou sous forme de gaz naturel, de gaz de charbon ou de biogaz. La production combinée de chaleur et d'électricité ne se rapporte pas à une technologie en particulier mais à la récupération et à une réutilisation concrète de la chaleur résiduelle provenant de la production d'électricité pour les processus industriels ou le chauffage des locaux.

Tableau 14: Types de technologies de conversion d'énergie

Non renouvelables & renouvelables	Renouvelables
• centrales thermiques (turbines à vapeur ou à gaz, centrales combinées, moteurs)	• panneaux PV
• chaudières	• capteurs thermosolaires
• piles à combustible	• ESC
	• éoliennes
	• installations géothermiques

6.4 Technologies de stockage de l'énergie

La chaleur peut être stockée sous la forme de chaleur sensible dans un réservoir d'eau, de graphite ou d'huile, dans le sol, via le changement de phase de certains matériaux ou par le biais de processus thermochimiques. Les possibilités qui s'offrent en matière de stockage de l'électricité à l'échelle d'un parc d'activité comptent les batteries plomb-acide, les batteries lithium-ion, les condensateurs électriques et les volants d'inertie, ainsi que la conversion en air comprimé et son stockage. Pour les installations connectées au réseau, c'est le réseau lui-même qui assure le stockage de l'électricité.

6.5 Production d'énergies renouvelables

6.5.1 Énergie solaire

6.5.1.1 Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire annuel moyen d'un endroit défini dépend de sa latitude et des conditions climatiques locales. En Europe, l'intensité du rayonnement solaire sur une surface horizontale oscille entre 1 900 kWh/m²/an au sud de l'Espagne et moins de 800 kWh/m²/an au nord du Royaume-Uni. S'agissant plus particulièrement de la zone couverte par le projet ACE, la Flandre reçoit environ 1 000 kWh/m²/an alors que la région de Dunkerque et la côte sud du Royaume-Uni peuvent se baser sur 1 150 kWh/m²/an (voir Tableau 15). Le rayonnement solaire connaît des variations au quotidien (jour/nuit) et à l'année (saisons). Les conditions atmosphériques viennent toutefois perturber ces cycles prévisibles et une partie de la lumière solaire incidente est diffusée par les nuages.

Les modules solaires peuvent être installés sur les toits inclinés et plats, fixés aux murs ou intégrés aux fenêtres et aux pare-soleils. Dans la région du projet ACE, pour capter entre 1 100 et 1 340 kWh/m²/an de rayonnement solaire, l'inclinaison opti-

Tableau 15: Rayonnement solaire zone du projet ACE

Rayonnement [kWh/m²/y]	<i>Flandres</i>	<i>CU de Dunkirk Hastings</i>
horizontal	1000	1150
Inclinaison opt. direction sud	1100	1340
suivi	1390	1770

male est d'environ 35° par rapport à l'horizontal et les panneaux doivent être orientés sud. Dans le cas d'une inclinaison comprise entre 20 à 60° et une orientation axée sud-est à sud-ouest, la déperdition de rayonnement solaire se limite à 5-10% par rapport à la position optimale. Les systèmes de suivi solaire positionnent toujours la surface du panneau de façon perpendiculaire par rapport aux rayons du soleil en tournant autour de deux axes, parvenant ainsi à capter une puissance comprise entre 1 390 et 1 770 kWh/m²/an (voir Tableau 15 et Fig. 54). Il faut éviter les zones d'ombre et les panneaux doivent être placés de façon à être suffisamment ventilés par les courants d'air extérieurs. Des cartes indiquant le potentiel d'ensoleillement sont disponibles sur re.jrc.ec.europa.eu/pvgis.



Fig. 54: Système de suivi solaire à Greenbridge (argus.powermonitor.be)

6.5.1.2 Technologies photovoltaïques

Les panneaux photovoltaïques convertissent le rayonnement solaire en courant électrique continu en utilisant l'effet photovoltaïque de semi-conducteurs. Avant d'alimenter le réseau, ce courant continu doit d'abord être transformé en courant alternatif à l'aide d'un inverseur. Il existe des modules PV de configuration et des matériaux différents sur le marché, mais les deux principales technologies utilisées sont celles du silicium cristallin et à couche mince (voir Tableau 16). Le silicium cristallin est la technologie dominante et compte trois modèles qui varient en fonction du mode de fabrication des cellules: monocristallines, polycristallines ou à film de silicium épitaxié. Toutes les cellules de silicium sont reliées électriquement en série, encapsulées et configurées de manière à former des modules faciles à manipuler. La technologie à couche mince utilise, quant à elle, une fine couche de matériau photovoltaïque d'un micromètre d'épaisseur qu'elle dépose sur un substrat peu coûteux tel que l'acier, le verre ou le plastique. On distingue quatre variantes de la technologie à couche mince, selon la nature de la couche active utilisée: silicium amorphe, silicium amorphe et microforme multi-jonctions, tellurure de cadmium (CdTe) et association cuivre-indium-gallium-sélénium (CIGS). On voit apparaître de nouvelles technologies PV, qui offrent un meilleur potentiel en termes d'efficacité et de réduction des coûts que les procédés de silicium cristallin et à couche mince. Il s'agit notamment des centrales photovoltaïques à concentration, qui regroupent plusieurs miroirs ou lentilles capables de concentrer une plus grande superficie de rayons du soleil sur une cellule solaire multi-jonctions particulièrement performante, des cellules solaires organiques et des cellules solaires photochimiques à colorant.

Tableau 16: Types de technologies photovoltaïques et rendement nominal

Silicium cristallin	η	Couche mince	η	Technologies émergentes
mono	13-19	amorphe	4-8	à concentration
poly	11-15	multi-jonctions	7-9	organiques
film de silicium épitaxié	-	CdTe	10-11	photochimiques à colorant
		CIGS	7-12	

En moyenne, le rendement nominal de conversion (η) atteint actuellement 15% pour les modules de silicium cristallin et 7% pour les modules de silicium amorphe et les modules multi-jonctions, alors que ceux utilisant des matériaux de substitution affichent un rendement d'environ 10% (voir Tableau 16). Les pertes occasionnées au niveau des convertisseurs sont négligeables car la performance est de 98%. La durée de vie des panneaux s'étend sur 25 ans voire plus, alors que, dans la zone du projet ACE, il faut moins de 3 ans pour équilibrer l'énergie intégrée par l'ensemble de l'installation PV. Les fabricants garantissent même une puissance de crête de 80% après 25 ans. Le prix des installations PV a diminué de manière constante au cours des dernières décennies et totalise environ 1 800 €/kWc à mi-2013.

6.5.1.3 Problèmes liés à l'installation

Il s'avère souvent difficile de fixer les panneaux PV directement sur le toit des bâtiments, en raison des difficultés que pose la membrane d'étanchéité. Les systèmes PV lestés offrent une solution de remplacement, à la condition que la capacité de charge de la structure du toit le permette. La technologie à couche mince peut

proposer une alternative aux réseaux de panneaux solaires à moyen et à long terme. La couche mince pourra également être intégrée au cœur de la membrane d'étanchéité, ce qui évitera les problèmes liés à la charge.

6.5.1.4 Calcul de la capacité réelle de production d'électricité des systèmes PV

La puissance nominale d'un panneau solaire (P_{STC}) est exprimée en Watt crête (Wc). Elle est mesurée sur la base de Conditions d'Essai Normalisées (STC), qui prévoient un rayonnement incident (I_{STC}) de 1000 W/m² avec un spectre défini et une température de surface du module de 25° C. Le rendement nominal du panneau traduit le ratio de la puissance nominale par rapport au rayonnement total incident qu'il reçoit en surface (A): $\eta = P_{STC}/(A \times I_{STC})$.

À titre d'exemple, un module de 1 m² offrant un rendement de 15% affiche une puissance nominale de 150 Wc ou requiert, pour un rendement de 1 kWc, une surface de 6,67 m².

Comme les conditions locales de l'environnement diffèrent des Conditions d'Essai Normalisées et que des pertes énergétiques se produisent au cœur de l'installation PV, les rendements théoriques doivent être revus à la baisse sur la base d'un ratio de performance (RP) ou facteur qualité. Ce ratio dépend à la fois de la situation géographique et du système PV utilisé (par exemple, RP = 0,75 pour un système PV de silicium cristallin dans la zone du projet ACE). Le rendement effectif des modules PV (E) peut s'exprimer en termes de production annuelle d'électricité par kilowatt crête (1) ou par m² de module (2).

$$E = RP \times \eta \times I_{\text{solaires}} \times A$$

$$\eta_{\text{nom}} = \frac{P_{STC}}{I_{STC} \times A}$$

$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \frac{E}{P_{STC}} = RP \times \frac{I_{\text{solaires}}}{I_{STC}} \quad (1) \\ \frac{E}{A} = RP \times \eta \times I_{\text{solaires}} \quad (2) \end{array} \right.$$

Pour les panneaux de silicium cristallin fixes orientés sud, selon une inclinaison optimale, le rendement électrique annuel effectif dans la zone du projet ACE est d'environ 850 kWh/kWc/an. De même, sur la base d'un module offrant une performance de 0,15, le rendement annuel correspondra à 127,5 kWh/m²/an. La méthode de calcul utilisée pour chacune de ces valeurs figure au Tableau 17. Pour les panneaux verticaux positionnés de façon optimale, le rendement énergétique est compris entre 500 – 600 kWh/kWc.

Tableau 17: Exemple de calcul du rendement effectif d'un système PV

lieu :	Flandre	$I_{\text{solaires}} = 1100 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{an}}$ (voir Tableau 15)
inclinaison :	optimale	
orientation :	sud	
technologie :	silicium cristallin	
$\frac{E}{P_{STC}} = 0,75 \times 1100 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{an}} \times \frac{\text{m}^2}{\text{kW}} = 825 \frac{\text{kWh}}{\text{kW.an}} \rightarrow 825 \frac{\text{kWh}_e}{\text{kWc.an}}$		
$\frac{E}{A} = 0,75 \times 1100 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{an}} \times 0,15 = 124 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{an}} \rightarrow 124 \frac{\text{kWh}_e}{\text{m}^2 \text{an}}$		

6.5.1.5 Systèmes thermosolaires

Les capteurs thermosolaires convertissent le rayonnement solaire en chaleur et la transmettent à un fluide circulant en circuit fermé au sein d'une citerne. L'eau contenue dans cette citerne peut alors être utilisée pour fournir de l'eau chaude sanitaire ou pour le chauffage des locaux par l'intermédiaire de radiateurs ou de systèmes de chauffage par le sol. Les températures peuvent atteindre jusqu'à 100° C. On peut également s'en servir dans le cadre des process industriels, pour faciliter le préchauffage ou le lavage. Il existe de nombreux modèles, tels que les capteurs plats et les capteurs à tubes sous vide. Le positionnement optimal est similaire à celui des panneaux photovoltaïques. Les systèmes hybrides associent des capteurs solaires à une chaudière gaz à condensation afin de limiter la surface de captage et d'assurer une relève en cas de panne. Les systèmes d'énergie thermosolaire concentrée regroupent plusieurs miroirs ou lentilles, disposant d'une surface de captage importante, qui renvoie le rayonnement solaire sur une surface de capteur plus petite,

atteignant des températures jusqu'à 250° C. La chaleur ainsi produite peut servir à alimenter une centrale thermique ou à activer une réaction thermochimique.

6.5.2 Énergie éolienne

Le vent présente un caractère intermittent mais son intensité tend à être plus élevée durant la nuit et augmente considérablement avec l'altitude. En Flandre, à 75 m d'altitude, la vitesse moyenne annuelle du vent atteint entre 5 m/s à l'intérieur des terres et environ 9 m/s sur la côte et les éoliennes de grande puissance produisent 2 000 heures à pleine charge. Une éolienne transforme l'énergie du vent en courant électrique continu. La masse d'air qui traverse les lames en forme d'aile font tourner le rotor autour de son axe, entraînant ainsi un générateur électrique. Pour réduire les déperditions occasionnées durant le transport de l'énergie, la tension est ensuite élevée grâce à un transformateur intégré au sein ou à l'extérieur de l'éolienne. C'est la surface du rotor d'une éolienne qui détermine sa puissance nominale et son rendement de conversion. Les rendements annuels varient en fonction de la puissance nominale, de la hauteur du rotor, de la disponibilité de l'éolienne à l'année ainsi que du profil annuel de vitesse du vent. Sur le plan technique, il existe différents modèles sur le marché: les éoliennes à axe horizontal deux, trois ou plusieurs lames et les éoliennes à axe vertical équipées de lames de conception différente. Les éoliennes à axe horizontal trois lames sont les plus couramment utilisées et peuvent atteindre des hauteurs de 150 m et offrir une capacité nominale comprise entre 2 et 5 MW. Pour éviter toute interférence, les éoliennes perpendiculaires à la direction des vents dominants doivent être espacées d'au moins 4 à 5 fois le diamètre du rotor, alors que pour un positionnement parallèle, l'espacement doit dépasser 7 à 8 fois le diamètre du rotor.

La réglementation flamande distingue trois catégories d'éoliennes: les éoliennes de petite puissance ou éoliennes urbaines (< 15m), les éoliennes de moyenne (> 15m, < 300kW) et de grande puissance (> 15m, > 300kW). La province de la Flandre orientale a identifié et réservé des zones dédiées au développement d'éoliennes de grande puissance, d'une superficie suffisante pour lui permettre d'atteindre un nombre de 300 modules sur le territoire d'ici 2020 (www.energielandschap.be). La classification des éoliennes en termes de taille varie selon les pays. Au Royaume-Uni par exemple, les éoliennes sont classées en fonction de leur puissance nominale: micro-éoliennes (< 1,5 kW), petites éoliennes (1,5-50 kW), éolienne de taille moyenne (50-500 kW) et grandes éoliennes (> 500 kW).

Lors de la recherche d'emplacements appropriés pour l'installation d'éoliennes, il convient d'analyser les éventuels impacts sur l'environnement, tels que la pollution visuelle, les ombres portées sur les bâtiments, les nuisances sonores, les interférences avec un radar aérien ainsi que le périmètre de sécurité en cas de défaillance technique. Lorsque la communauté locale participe au développement d'un parc éolien et bénéficie des avantages qui en découlent, le projet est souvent mieux accepté. La mise en place d'éoliennes urbaines est particulièrement tributaire des conditions locales de vent. Il n'existe pas encore de normes pour les éoliennes de petite puissance et leurs performances techniques comme économiques varient énormément. Pour plus d'informations sur les petites éoliennes, veuillez consulter les sites www.windkracht13.be et www.swtfieldlab.ugent.be.

6.5.3 Énergie géothermique

6.5.3.1 Chaleur géothermique

La chaleur géothermique provient de la chaleur retenue par le noyau de la Terre depuis sa formation, de la friction entre les plaques tectoniques et le manteau sous-jacent et de la désintégration radioactive des minéraux au cœur de la croûte terrestre. Cette chaleur est progressivement transférée à la surface par des phénomènes de conduction et de convection, selon une moyenne de 0,063 W/m². La surface supérieure de la Terre se réchauffe en été via l'absorption du rayonnement solaire et se refroidit en hiver via l'émission de rayonnement thermique. Les précipitations qui s'infiltrent dans le sol contribuent également à faire remonter la chaleur à la surface. À 5 m en-dessous de la surface de la Terre, les températures oscillent entre 8 et 12° C. En revanche, à 20 m en-dessous de la surface, les variations saisonnières sont totalement amorties en raison de la faible conductivité du sol et il y règne une température constante d'environ 10° C. À des profondeurs plus importantes, la température augmente de 3° C tous les 100 m (voir Fig. 55). Cela implique que la température minimum requise pour répondre aux besoins de chauffage direct, à savoir 40° C, ne peut se trouver

qu'à 1 000 m de profondeur. À noter cependant que dans les régions présentant une activité volcanique, on peut trouver de la chaleur à des températures plus élevées non loin de la surface. L'**énergie géothermique superficielle** se rapporte à la chaleur emmagasinée dans le sol jusqu'à une profondeur de 400 à 500 m sous la surface, à des températures relativement basses, alors que l'**énergie géothermique profonde** se réfère à la chaleur située en-dessous de 500 m de profondeur et présentant des températures plus élevées. L'énergie géothermique ne peut être qualifiée de renouvelable que dans la mesure où l'extraction de chaleur et le réapprovisionnement sont à l'équilibre .

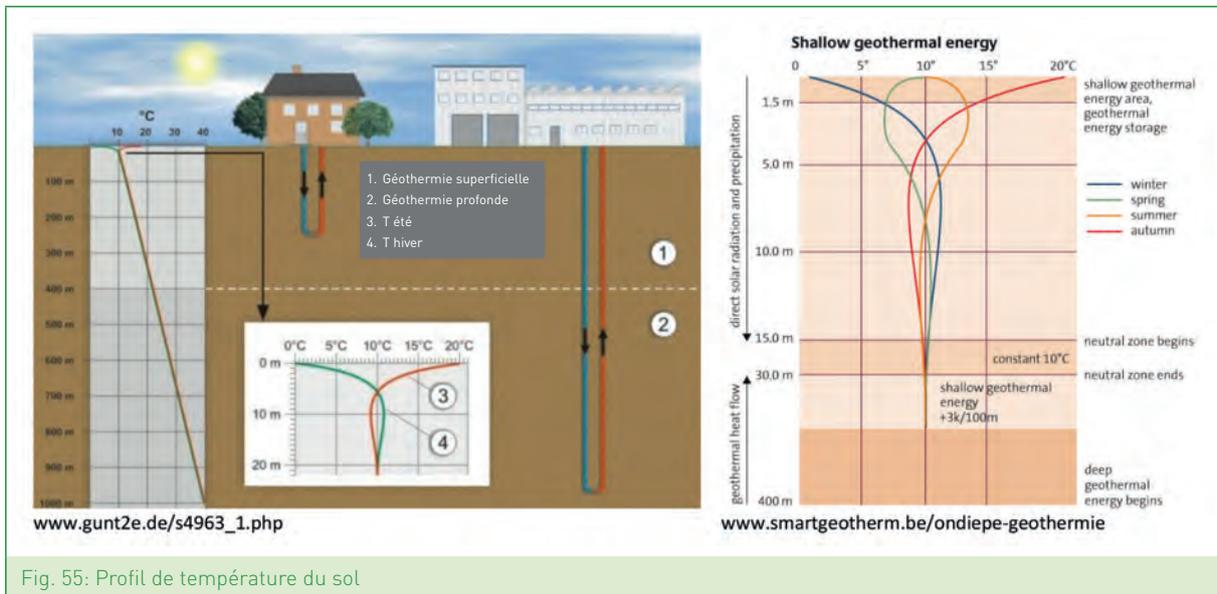


Fig. 55: Profil de température du sol

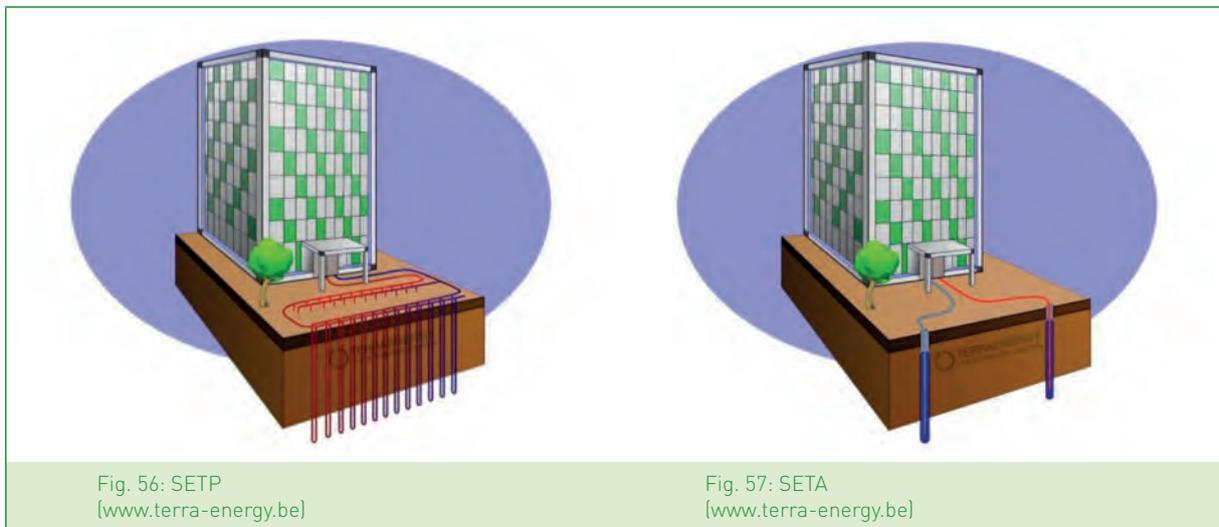
6.5.3.2 Technologies géothermiques superficielles

Les **systèmes géothermiques superficiels** peuvent être utilisés pour **extraire la chaleur** du sol, la porter à une température adéquate et la réinjecter dans un système de chauffage des locaux. La première option pour extraire la chaleur du sol consiste à utiliser un circuit fermé dans lequel circule une eau glycolique. Ce circuit peut être conçu sous la forme d'une série de sondes géothermiques verticales, insérées dans 25 à 300 m de forages profonds, ou sous la forme d'une boucle horizontale, enfouie suffisamment pour éviter le gel. Une autre solution consiste à intégrer le circuit aux fondations en béton d'un bâtiment (pieux, parois moulées). Le doublet géothermique est un système ouvert au sein duquel l'eau souterraine extraite d'un aquifère est pompée au travers d'un forage vertical. Après extraction de la chaleur, l'eau réfrigérée est réinjectée dans le même aquifère via un second forage situé à distance du premier. Dans les systèmes géothermiques superficiels, la température du fluide caloporteur (eau glycolique ou souterraine) n'est pas suffisamment élevée pour assurer le chauffage direct des locaux; ainsi, il passe tout d'abord par une pompe à chaleur. La pompe à chaleur extrait la chaleur contenue dans l'eau, élève sa température et injecte la chaleur au système de chauffage du bâtiment. Afin de limiter la consommation d'électricité de la pompe à chaleur, il est préférable de faire appel à des systèmes de chauffage basse température, tels que le chauffage par le sol ou l'activation du noyau en béton. Autre variante de système ouvert: les conduits enterrés, qui sont utilisés pour réchauffer ou refroidir l'air de ventilation. Un résumé des différentes technologies figure au Tableau 18.

Selon le type de sol, des sondes géothermiques verticales fournissent de 20 à 70 W de chaleur par mètre de conduit (depuis les sols sablonneux aux sols argileux, en passant par les sols rocheux). Les systèmes à boucle horizontale peuvent produire entre 10 à 35 W de chaleur par m² (sur sols sablonneux ou argileux). Le rendement d'un doublet géothermique dépend du débit d'extraction et de la baisse de température au sein du système de chauffage et le dispositif ne peut être utilisé que sur des sols sablonneux, disposant de suffisamment de débit d'eau souterraine .

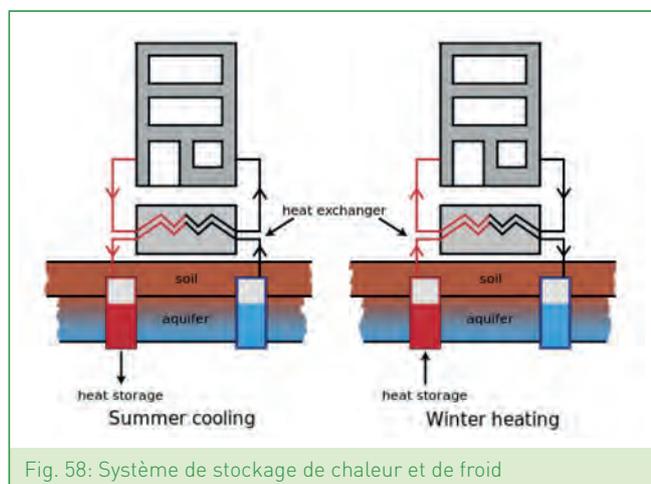
6.5.3.3 Utilisation des technologies géothermiques superficielles pour le stockage thermique saisonnier de l'énergie (STES)

En raison du pouvoir d'isolation élevé que présente le sol, les systèmes géothermiques superficiels à forage vertical (sondes, pieux énergétiques, hydrothermie) sont parfaitement adaptés pour le **stockage thermique saisonnier de l'énergie (STES)**. L'excédent de chaleur issu des installations de PCCE, la chaleur résiduelle provenant des process industriels, la chaleur émise par les équipements de climatisation ou encore la chaleur récoltée par les capteurs solaires de type asphalté pendant l'été peut être stockée dans le sol pour être utilisée à des fins de chauffage durant l'hiver suivant. Du fait de l'augmentation de température qui s'opère dans le sol, la performance des pompes à chaleur se trouve, elle aussi, améliorée. Lorsque la chaleur stockée affiche des températures élevées, on peut se passer de pompes à chaleur. De la même façon, le sol peut être refroidi durant l'hiver à l'aide d'échangeurs thermiques qui se trouvent en contact avec l'air extérieur, tels que les capteurs solaires de type asphalté. Lorsque le débit du fluide caloporteur est inversé durant l'été suivant, le «froid stocké» peut servir à la climatisation des locaux.



Plus concrètement, les systèmes géothermiques superficiels à forage vertical peuvent être utilisés pour assurer un **service de chauffage et de climatisation combiné avec stockage thermique saisonnier de l'énergie**. À cet égard, on utilise les termes de Stockage de l'Énergie Thermique en Puits (SETP) et Stockage de l'Énergie Thermique en Acquifère (SETA) pour désigner ces systèmes (voir Fig. 56 et Fig. 57). Durant l'été, la température du sol est inférieure à celle de l'air ambiant et le système peut donc être directement utilisé pour climatiser les locaux. La chaleur extraite du bâtiment est alors transférée vers le sol, relevant ainsi la température de la source géothermique pour les besoins de chauffage en hiver. La source peut également être reconstituée en été grâce aux capteurs thermosolaires.

Un système de stockage de chaleur et de froid est un système SETA (voir Fig. 58). Il s'agit d'un système ouvert connecté à un aquifère au sein duquel le débit de l'eau souterraine peut être inversé. Lorsque le bâtiment est climatisé en été, l'eau est pompée depuis le réservoir froid, traverse un échangeur de chaleur couplé au circuit du bâtiment et est injectée dans le réservoir chaud. En hiver, la circulation de l'eau est inversée. Il existe également des systèmes à débit unidirectionnel. Les mines et tunnels inondés offrent également la possibilité d'extraire la chaleur géothermique et de la stocker.



6.5.3.4 Systèmes géothermiques profonds

Les **systèmes géothermiques profonds** extraient la chaleur sur des profondeurs démarant à 500 m et pouvant aller jusqu'à plusieurs kilomètres. Selon le niveau de température, ils peuvent soit fournir directement la chaleur aux réseaux d'énergie thermique pour l'utiliser dans le cadre des process industriels ou du chauffage des locaux, soit alimenter une centrale thermique, telle qu'une centrale à vapeur, une usine utilisant le Cycle Organique de Rankine (COR) ou un moteur Stirling. Les systèmes hydrothermaux, de la même façon que les technologies superficielles, puisent l'eau chaude dans un aquifère au travers d'un forage et la restitue via un second forage après en avoir extrait la chaleur. Les systèmes géothermiques avancés, quant à eux, fissurent artificiellement les couches de roches sèches à de très grandes profondeurs, comprises entre 3 et 6 km, et à des températures supérieures à 150° C. L'eau, ou un autre vecteur de transfert de chaleur, est pompée sous haute pression depuis le puits d'injection, où elle est chauffée par la roche. L'eau chaude regagne la surface via un forage d'extraction. Comme dans la configuration superficielle, les sondes géothermiques profondes sont des systèmes fermés au sein desquels un vecteur de transfert de chaleur est mis en circulation en vue d'extraire la chaleur géothermique. Les systèmes hydrothermaux ne peuvent être mis en place que dans les régions disposant d'aquifères suffisamment perméables, tandis que les sondes géothermiques profondes peuvent être installées n'importe où. Un résumé des différentes technologies figure au Tableau 18.

Tableau 18: Types de technologies géothermiques

Systèmes géothermiques	Circuit	Techniques	Utilisation
Géothermie superficielle			
• sondes verticales	fermé: eau glycolée	extraction de chaleur, <i>STES</i>	chauffage/climatisation locaux
• boucle horizontale	fermé: eau glycolée	extraction de chaleur	chauffage/climatisation locaux
• pieux énergétiques	fermé: eau glycolée	extraction de chaleur, <i>STES</i>	chauffage/climatisation locaux
• doublet géothermique	ouvert: eau souterraine	extraction de chaleur, <i>STES</i>	chauffage/climatisation locaux
• conduits enterrés	ouvert: air	échange de chaleur	préchauffage/prérefroidissement de l'air de ventilation
Géothermie profonde			
• sondes verticales	fermé: eau	extraction de chaleur	chauffage des locaux/process
• hydrothermie	ouvert: eau souterraine	extraction de chaleur	{ chauffage des locaux/process production d'électricité
• géothermie avancée	ouvert: eau/autre fluide	extraction de chaleur	

6.5.4 Biomasse

Par définition, la **biomasse** est un matériau d'origine biologique (végétale ou animale) récente. Prise dans le contexte des ressources énergétiques, la biomasse se rapporte à la fraction biodégradable des déchets industriels et domestiques et à la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus issus de l'agriculture et de la sylviculture. Elle comprend notamment les cultures énergétiques dédiées, le bois et les résidus de bois, les résidus alimentaires et les déchets verts, les vieux papiers, les boues, le fumier, etc. Certaines formes de **biomasse brute**, telles que le bois, peuvent être brûlées directement mais, dans la plupart des cas, la biomasse doit être d'abord manipulée et transformée en biocarburants solides, liquides ou gazeux, selon son utilisation finale.

Les **biocarburants solides** sont fabriqués par compression de la biomasse en granules, en cubes ou en palets, alors que les **biocarburants liquides** sont le résultat de différents process biologiques et chimiques. Le biogaz est issu de la digestion anaérobie de résidus organiques humides ou directement extrait des sites d'enfouissement, alors que le gaz de production est généré par gazéification de biomasse sèche. Les techniques de fermentation et de transestérification permettent de transformer les cultures énergétiques en biocarburants liquides.

Les biocarburants peuvent être convertis en chaleur, en électricité ou en travail mécanique par combustion, par l'entremise de **centrales thermiques et de chaudières à combustion**. Lorsqu'elle est exploitée dans une

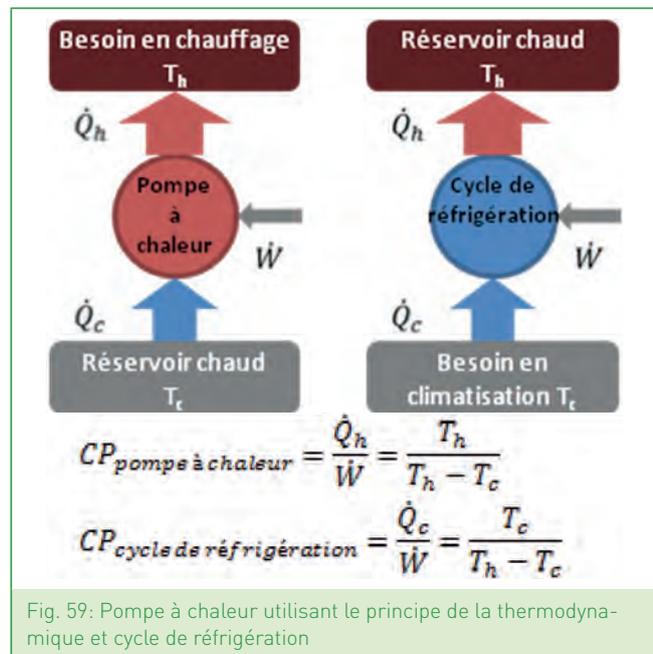
optique durable, la biomasse constitue une source d'énergie neutre en carbone car, en brûlant, elle émet exactement la même quantité de carbone qu'elle en collecte dans l'environnement durant son cycle de vie. Il faut cependant également tenir compte des émissions de carbone liées à sa récolte, son traitement et son transport.

6.6 Pompes à chaleur et cycles de réfrigération

On fait appel à des pompes à chaleur pour réchauffer l'eau sanitaire, les bâtiments et les process. Une **pompe à chaleur** prélève de la chaleur dans un réservoir froid à température T_c par évaporation de son fluide actif (réfrigérant), comprime ensuite la vapeur jusqu'à ce qu'elle atteigne des températures suffisamment élevées puis restitue la chaleur dans un réservoir chaud à température T_h ($> T_c$) par condensation de la vapeur. Enfin, le liquide condensé passe par une vanne d'expansion afin de réduire sa température et sa pression et retourne à l'évaporateur. Les échangeurs de chaleur présents dans l'évaporateur et le condensateur permettent l'échange thermique entre le fluide actif et les réservoirs chaud et froid. Le sol, les eaux usées, les eaux de surface ou souterraines et l'air extérieur sont des réservoirs potentiellement exploitables en matière d'extraction de chaleur. Les pompes à chaleur peuvent également servir à augmenter le niveau de température de la chaleur résiduelle et de la chaleur solaire ou à transférer la chaleur vers un réseau dédié. Plusieurs techniques sont disponibles: les pompes à chaleur à compression qui fonctionnent à l'électricité et les pompes à chaleur à absorption ou adsorption qui sont actionnées par la chaleur.

Le coefficient de performance (**CP**) exprime le ratio existant entre la chaleur restituée par la pompe à chaleur et sa consommation électrique et dépend de l'élévation de température ($T_h - T_c$) requise (voir Fig. 59). Les pompes à chaleur de qualité affichent un CP de 3 à 7. Une pompe à chaleur bénéficiant d'un CP de 4 consomme 1 kW d'électricité pour extraire 3 kW de chaleur de la source froide et les 4 kW produits servent à satisfaire le besoin thermique. Le facteur de performance saisonnier (**FPS**) tient compte de la variation de température de la source de chaleur tout au long de l'année et est inférieur au CP.

Les **cycles de réfrigération** ont le même principe de fonctionnement que les pompes à chaleur mais, au lieu de restituer la chaleur dans un réservoir chaud, leur rôle est de soustraire la chaleur d'un réservoir froid (voir Fig. 59). Les pompes à chaleur réversibles associent les caractéristiques d'un évaporateur et d'un condensateur et peuvent donc se calquer sur le mode de fonctionnement d'un cycle de réfrigération.



On utilise les **pompes à chaleur géothermiques** pour extraire la chaleur présente dans la subsurface en vue de chauffer les locaux ou de produire de l'eau chaude (voir 6.5.3.2). La chaleur est prélevée dans le sol par un circuit d'eau glycolée qui traverse des échangeurs thermiques souterrains verticaux ou horizontaux ou via le pompage de l'eau souterraine. La chaleur est transférée à une pompe à chaleur, qui augmente sa température, puis rejoint le circuit du système de chauffage. On peut également se servir d'une pompe à chaleur géothermique réversible pour assurer une climatisation active des locaux durant l'été. L'air ambiant nécessitant d'être climatisé est plus chaud que le sol; de cette façon, il n'est pas nécessaire d'opérer une compression de vapeur et on évite la consommation électrique y associée, affichant ainsi un CP compris entre 15 et 20. On parle alors de climatisation passive ou de climatisation naturelle des espaces.

6.7 Production combinée de chaleur et d'électricité

Une centrale thermique ne peut transformer qu'une partie de la chaleur qu'elle reçoit en travail mécanique, puis en énergie électrique. Cet état de fait résulte du second principe de la thermodynamique, qui exige qu'une partie de la chaleur soit transférée vers un réservoir de froid. Dans les cas où l'installation est modifiée ou conçue de sorte que cette chaleur résiduelle puisse être récupérée et utilisée afin de chauffer les process industriels, de produire de l'eau chaude ou de chauffer les locaux, on parle alors de **cogénération ou d'installation de production combinée de chaleur et d'électricité**.

Les installations CPPE peuvent fonctionner avec des combustibles fossiles, des biocarburants ou de l'hydrogène. Les technologies adaptées à la cogénération comptent la turbine à vapeur, la turbine à gaz, la centrale à cycle combinée, le moteur alternatif à combustion interne, la pile à combustible, le module Cycle de Rankine et le moteur Stirling (voir 6.3). Dans le cas d'une **turbine à vapeur**, la cogénération intervient par vidange de la vapeur, après que celle-ci ait été partiellement ou complètement expansée, et transfert du fluide obtenu à la charge thermique. S'il s'agit d'une turbine à vapeur à contrepression, le débit de vapeur vient alimenter la totalité de la charge thermique, alors que pour une turbine à vapeur à condensation, une partie du flux est directement transféré au condensateur après expansion. Par conséquent, pour la première, la production d'électricité se calque sur la charge thermique alors que, pour la seconde, la production d'électricité et de chaleur sont, dans une certaine mesure, indépendantes l'une de l'autre. La chaleur extraite du condensateur peut également être utilisée.

Dans le cas d'une **turbine à gaz** ou une installation de micro-turbines, la cogénération implique que la chaleur emmagasinée dans les gaz d'échappement soit récupérée au moyen d'une chaudière à vapeur ou d'un échangeur thermique à des fins de séchage ou de chauffage haute température. Dans le cas de la cogénération via un **moteur** alternatif à combustion interne (gaz ou diesel), la chaleur n'est pas seulement extraite des gaz d'échappement, comme pour la turbine à gaz, mais également des circuits de refroidissement du moteur au moyen d'un échangeur thermique. Les **piles à combustible** produisent des réactions électrochimiques exothermiques, ce qui les rend idéales pour la cogénération. Une installation **COR** peut se comparer à une turbine à vapeur et convient donc également à la production combinée de chaleur et d'électricité via la récupération de la chaleur résiduelle. De plus, le fluide actif s'évapore à des températures beaucoup plus basses que l'eau, ce qui le rend apte à la production d'électricité à base de chaleur géothermique ou résiduelle basse température. S'agissant du **cycle Stirling**, la chaleur provenant d'une source thermique externe est transférée vers un réservoir froid extérieur, tout en produisant de l'électricité. La cogénération est bouclée lorsqu'on utilise la chaleur issue du réservoir froid pour une charge thermique.

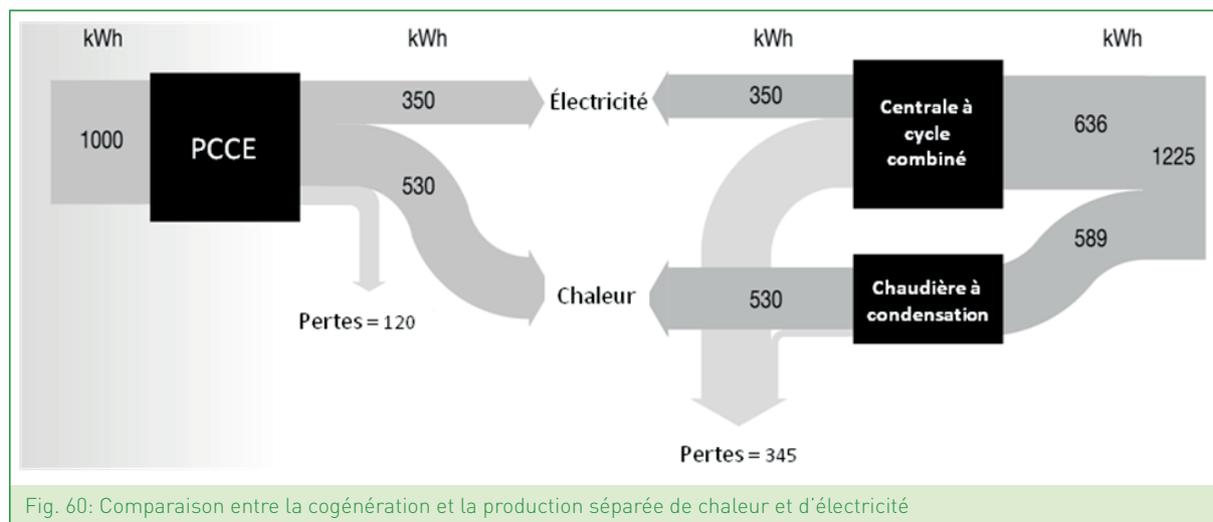


Fig. 60: Comparaison entre la cogénération et la production séparée de chaleur et d'électricité

Si on la compare à la production séparée de chaleur et d'électricité, la cogénération vient réduire la consommation d'énergie primaire de 15% à 30%. Pour la production séparée de chaleur et d'électricité, des normes de rendement ont été définies en fonction de la source énergétique utilisée (combustible) et de la tension générée. L'électricité est généralement importée du réseau (ce qui correspond à un rendement énergétique

primaire de 55%) et la chaleur est produite via une chaudière à condensation, qui affiche un rendement de 90% (voir Fig. 60). Pour tenir compte de la teneur plus faible en énergie des biocarburants par rapport aux carburants fossiles, on peut appliquer une norme de rendement inférieure pour la production séparée dans le cadre des installations de PCCE exploitant la biomasse. Lorsque l'excédent de chaleur issu d'une installation de PCCE en été sert à alimenter un refroidisseur à absorption, on peut ainsi produire de l'électricité, de la chaleur et du froid simultanément. On parle alors de trigénération.

6.8 Chaudières à condensation

On utilise des chaudières à condensation pour produire de la vapeur qui viendra alimenter les process industriels et produire de l'électricité. La vapeur est obtenue en évaporant l'eau à l'aide de la chaleur des gaz d'échappement. Dans une chaudière à tubes d'eau, les gaz d'échappement passent sur des tubes remplis d'eau, alors que dans une chaudière à tubes de fumée, les gaz de combustion circulent à l'intérieur de tubes immergés dans un récipient sous pression rempli d'eau. La vapeur peut être saturée, surchauffée ou super-critique. Les chaudières à tubes d'eau conviennent mieux à la production de vapeur haute pression car les tubes sont plus petits et résistent mieux à la pression. La performance peut se trouver améliorée si l'on récupère la chaleur contenue dans les gaz d'échappement pour préchauffer l'eau d'alimentation ou l'air de combustion. On peut également obtenir un meilleur rendement en affinant l'échange thermique par la création de turbulences dans les tuyaux d'une chaudière à tubes de fumée et par l'isolation des tuyaux et des vannes. Dans une chaudière à condensation, la vapeur d'eau emmagasinée dans les gaz de combustion se trouve condensée et la chaleur latente qui en résulte est utilisée pour préchauffer l'eau froide qui alimente la chaudière. Cela augmente la performance énergétique d'environ 10% par rapport aux chaudières traditionnelles.

6.9 Garanties d'origine et certificats

6.9.1 UE

Les **garanties d'origine** sont des documents électroniques qui indiquent la provenance de l'électricité venant alimenter le réseau. Les garanties **vertes** d'origine attestent que, quelque part dans l'UE, 1 MWh d'électricité a été produit à base de sources d'énergies renouvelables et injecté dans le réseau électrique. De même, les garanties **bleues** s'appliquent à l'énergie électrique provenant de la **cogénération**. Il est impossible de combiner les deux types de garanties. Au sein de l'UE, ces garanties sont attribuées aux producteurs d'électricité par les membres de l'Association des Organismes Émetteurs. En Flandre, cela relève de la responsabilité du VREG. Si les fournisseurs d'électricité veulent vendre de l'énergie estampillée verte ou bleue, ils doivent acquérir un nombre correspondant de garanties d'origine vertes ou bleues. Ils peuvent s'en procurer en produisant de l'électricité verte ou bleue et en la transférant au réseau, ou encore en les achetant auprès de producteurs. Lors de la vente d'électricité au consommateur, la garantie ne peut être utilisée qu'une seule fois pour prouver l'origine de l'énergie et doit ensuite être détruite. Les garanties d'origine peuvent être négociées indépendamment de la vente d'électricité. Greenpeace Belgique donne un aperçu du véritable label vert des fournisseurs d'électricité belges sur son site.

6.9.2 Flandre

Le gouvernement flamand a, aussi, mis en place un système de certificats visant à favoriser la production d'électricité verte et la production combinée de chaleur et d'électricité sur son territoire. Les **certificats électricité verte** prouvent que 1 MWh d'électricité a été produit à base de sources d'énergies renouvelables alors que les **certificats CPPE** attestent que 1 MWh d'énergie primaire a été économisé grâce à la production combinée et non pas séparée de chaleur et d'électricité. Les certificats CPPE exigent qu'une part minimum d'énergie primaire soit économisée et que la technologie utilisée soit reconnue «cogénération qualitative». Pour bénéficier des certificats électricité verte et CPPE, l'énergie doit être produite sur le territoire flamand. L'électricité produite doit également servir au niveau local, comme par exemple venir alimenter le réseau. Ces deux types de certificats sont **délivrés aux producteurs d'énergie** par le VREG, qui gère également la base de données inhérente à la certification.

Chaque année, les **fournisseurs d'électricité flamands sont tenus de présenter** un nombre progressivement croissant de certificats verts et CPPE au VREG. S'ils ne se soumettent pas à cette obligation, ils reçoivent une pénalité pour chaque certificat manquant. Pour obtenir les certificats nécessaires, les fournisseurs d'électricité peuvent assurer leur propre production ou acheter les certificats auprès des producteurs d'électricité. Par conséquent, ce système de certification fonctionne comme un régime de subvention à l'attention des installations de production d'électricité verte. Les producteurs peuvent vendre des certificats sur le marché bilatéral de certificats à un prix négocié, à la Bourse des Certificats Verts (BelPEX) à un prix de marché ou auprès de gestionnaires de réseaux de transport et de distribution d'électricité à un prix minimum, sous réserve que les installations soient connectées au réseau. Le prix minimum, payé par le gestionnaire de réseau pendant une période donnée, est fonction de la technologie utilisée et de la date de mise en service. Les certificats électricité verte sont valables cinq ans et les certificats PCCE six ans. Ils ne peuvent être soumis à la VREG qu'une seule fois et peuvent être négociés indépendamment de la vente d'électricité. Ils peuvent, en outre, être combinés.

À noter que le système de certification a été modifié pour les installations mises en service après janvier 2013. Le nombre de certificats obtenus est à présent déterminé en multipliant la quantité de MWh d'électricité verte produite ou d'énergie primaire économisée via la cogénération avec un **facteur de banding** spécifique associé à la technologie et au projet. En d'autres termes, la quantité d'électricité verte à produire ou d'énergie primaire à économiser pour obtenir un certificat est égale au quotient de 1MWh par un facteur de banding. De plus, le prix minimum des certificats pour les installations connectées au réseau a été fixé à 93 € par certificat électricité verte et 31 € par certificat CPPE. Une réglementation spécifique a été mise en œuvre pour les installations photovoltaïques. Aucune réglementation n'a été mise en place pour les certificats chaleur verte.

6.9.2.1 Installations photovoltaïques

Jusqu'à 2013, les gestionnaires de réseaux opérant en Flandre étaient **tenus** d'acheter des **certificats électricité verte** auprès d'installations PV à un **prix minimum** et sur une certaine durée, basé sur (et diminuant avec) la date de mise en service. En 2013, le régime de subvention des installations PV a été modifié afin de fixer le taux de rentabilité à 5%. Chaque certificat coûte 93 € et doit être payé sur une période de 15 ans. Pour un certificat, la quantité d'électricité verte à produire est égale au quotient de 1MWh par un facteur de banding, en fonction de la taille de l'installation. Les facteurs de banding sont revus tous les six mois par l'Agence Flamande de l'Énergie.

Par exemple, pour des systèmes installés en 2013, les facteurs de banding pour la période du 1er janvier au 31 juillet 2013 étaient les suivants:

$P_{STC} \leq 10 \text{ kW}$:	0,23	donnant lieu à une subvention de	21 €/MWh
$10 \text{ kW} < P_{STC} \leq 250 \text{ kW}$:	0,63		59 €/MWh
$250 \text{ kW} < P_{STC} \leq 750 \text{ kW}$:	0,49		46 €/MWh

Pour les systèmes installés sur le deuxième semestre 2014, les facteurs de banding sont les suivants:

$P_{STC} \leq 10 \text{ kW}$	0,00	donnant lieu à une subvention de	0 €/MWh
$10 \text{ kW} < P_{STC} \leq 250 \text{ kW}$:	0,687		64 €/MWh
$250 \text{ kW} < P_{STC} \leq 750 \text{ kW}$:	0,593		55 €/MWh

Ceci implique que les installations < 10 kW ne se verront plus attribuer de certificats électricité verte.

Les installations PV produisant moins de 10 kW sont connectées au réseau via un compteur électrique inversé et seule la consommation nette positive à l'année est facturée. Pour les installations les plus importantes, la consommation électrique doit être comptabilisée à part et il faut installer un compteur d'injection. L'électricité produite est injectée dans le réseau à un prix négocié avec un fournisseur d'électricité et les producteurs sont, à leur tour, soumis à des taxes d'injection.

6.9.3 Bruxelles

À **Bruxelles**, les fournisseurs d'électricité doivent présenter un nombre progressivement croissant de certificats électricité verte (CEV) chaque année, en fonction de leur volume de ventes; à défaut, ils reçoivent une pénalité de 100 € pour chaque certificat manquant. Ils peuvent obtenir des certificats via l'autoproduction ou en les achetant sur le marché de certificats. Les certificats électricité verte sont émis par le Régulateur Bruxellois pour l'Énergie (**BRUGEL**) aux installations de CPPE ou de production d'énergies renouvelables qualitatives, au prorata des réductions d'émissions de CO₂ réalisées par rapport à des installations référencées et sous réserve qu'elles parviennent à réduire leurs émissions d'au moins 5%. En règle générale, sur la base d'une centrale électrique au gaz naturel affichant une performance de 55% et émettant 217 kg de CO₂ par MWh de gaz brûlé, un certificat est issu pour 217 kg de CO₂ économisés. Cela signifie qu'un producteur d'électricité renouvelable carboneutre reçoit $1/0,55 = 1,82$ certificats par MWh d'électricité produit. Notons cependant que pour le photovoltaïque, les installations de CPPE fonctionnant au gaz naturel dans les logements collectifs et les usines de bio-méthanisation, un coefficient spécifique est appliqué en fonction de la technologie utilisée. Pour les capacités supérieures à 1 MW, un certificat maximum est émis par MWh. Les gestionnaires de réseaux doivent acheter les certificats à un prix minimum de 65 € l'un durant une période définie.

6.9.4 Wallonie

Le système de certification verte **wallon** est similaire à celui mis en place à Bruxelles. Les **certificats verts** sont émis par la Commission Wallonne pour l'Énergie (**CWAPE**) aux installations de CPPE ou de production d'énergies renouvelables qualitatives, au prorata des réductions d'émissions de CO₂ réalisées par rapport à des installations référencées et sous réserve qu'elles parviennent à réduire leurs émissions d'au moins 10%. En règle générale, sur la base d'une centrale électrique au gaz naturel émettant 456 kg de CO₂ par MWh d'électricité produit, un certificat est issu pour 456 kg de CO₂ économisés. Ainsi, un producteur d'électricité renouvelable carboneutre recevra un certificat par MWh d'électricité produit. Pour les usines de cogénération, la production de chaleur doit également être prise en compte. De plus, les garanties d'origine sont une condition préalable indispensable pour les systèmes de certification wallon et bruxellois. Les gestionnaires de réseaux doivent acheter les certificats à un prix minimum de 65 € l'un durant une période définie.

6.9.5 France

Les grands fournisseurs d'énergie sont soumis à des objectifs en matière d'économies d'énergie, proportionnels à leurs volumes de ventes. Ces objectifs triennaux s'élèvent au total à 345 TWh d'énergie finale économisée pour la période 2011-2013 et seront revus à la hausse pour la période 2014-2016. À la fin de chaque période, les fournisseurs d'énergie doivent présenter un certain nombre de certificats d'économies d'énergie (**CEE**), proportionnel à la quantité d'énergie économisée, sous peine de devoir verser une pénalité de 0,02 € par kWh manquant. Les fournisseurs d'énergie peuvent acquérir des certificats en implémentant des programmes d'économies d'énergie chez leurs clients ou peuvent les acheter sur le marché auprès de tierces parties qui mettent en œuvre des projets d'économies d'énergie éligibles. Ces tierces parties comptent les autorités locales, l'Agence Nationale pour le Logement, les organismes de logement social ou les bailleurs sociaux mais les actions individuelles initiées par les grandes entreprises ne sont pas éligibles. Une liste des mesures éligibles en matière d'économies d'énergie a été établie pour les secteurs des bâtiments résidentiels et tertiaires, de l'industrie, des réseaux d'énergie, du transport et de l'agriculture. Actuellement, la majorité (80%) des certificats concerne des mesures d'économies d'énergie (isolation, chauffage performant, ventilation, éclairage) dans les bâtiments résidentiels. Dans l'industrie, les certificats concernent surtout le contrôle électronique de vitesse des moteurs asynchrones.

6.9.6 Royaume-Uni

Le système de certification mis en place au **Royaume-Uni** est similaire au système flamand mais couvre également la production d'énergies renouvelables ainsi que la cogénération. Les fournisseurs d'électricité sont tenus de présenter annuellement un nombre croissant de Certificats d'Obligation relative aux énergies Renouvelables (ROC) qu'ils peuvent obtenir via l'autoproduction ou en les achetant auprès d'autres producteurs d'électricité. Les fournisseurs qui ne se soumettent pas à cette obligation sont passibles d'amendes. Le nombre de ROC octroyé à une installation est égal à la quantité de MWh produite, multipliée par un facteur de banding déterminé en fonction de la technologie utilisée.

6.10 Études de cas

6.10.1 Parc d'activités The Loop

Différentes technologies énergétiques ont été prises en compte dans le cadre de l'étude de faisabilité portant sur la production d'énergie collective au sein du parc d'activités The Loop à Gand (Belgique): les chaudières à condensation, les installations de cogénération et une boucle d'eau reliée au cours d'eau voisin. La boucle d'eau permet de rafraîchir les locaux à la mi-saison et de climatiser les espaces en été lorsqu'elle est couplée à un refroidisseur à compression, et de chauffer les locaux en hiver lorsqu'elle est associée à une pompe à chaleur centrale ou des pompes à chaleur individuelles et une chaudière à gaz de remplacement. Pour plus d'informations voir 10.1.

6.10.2 Site de la Sucrierie de Furnes

Sur le site de la Sucrierie de Furnes (Belgique), une étude de faisabilité a été réalisée pour la mise en place d'un réseau de chaleur alimenté soit par la chaleur résiduelle fournie par un parc d'activités voisin en combinaison avec une chaudière à gaz, soit par une installation de cogénération au gaz naturel associée à une chaudière à gaz à condensation. Pour plus d'informations voir 10.8.

6.10.3 Parc d'activités De Spie

Dans le cadre de la production d'énergie carboneutre envisagée sur le parc d'activités De Spie à Gand (Belgique), le potentiel de nombreuses technologies d'énergies renouvelables a été évalué: l'énergie solaire, l'énergie éolienne, la cogénération, l'énergie géothermique, le chauffage ainsi que la climatisation au moyen des eaux usées. Pour plus d'informations voir 10.11.

6.10.4 Immeuble de bureaux partagés à Furnes

Différentes technologies pour le chauffage et la climatisation des locaux ont été étudiées pour l'immeuble de bureaux partagés installé sur un nouveau parc d'activités à Furnes (Belgique): la pompe géothermique à sonde verticale, la thermopompe à air, la chaudière à gaz à condensation et les générateurs d'air chaud à condensation. Le potentiel et la faisabilité d'un système PV ont également été analysés. Pour plus d'informations voir 10.12.

6.11 Sources

Sites internet	
Cartes sur le potentiel d'ensoleillement	re.jrc.ec.europa.eu/pvgis
RP des systèmes PV	www.photon.info/photon_lab_modul_ertragsm_cert_en.photon www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_energy_yield.php
Éoliennes de petite puissance	www.windkracht13.be www.swtfieldlab.ugent.be
Éoliennes - classification Royaume-Uni	www.renewableuk.com/en/publications/index.cfm/Small-and-Medium-Wind-UK-Market-Report-2013
Énergie géothermique	www.terra-energy.be www.meeroverepb.be/pages/kdb.php?id=250 www.renewables-made-in-germany.com/en/start/geothermie.html
Fig. 58	en.wikipedia.org/wiki/Seasonal_thermal_energy_storage
Stockage de chaleur et de froid	www.provincie.drenthe.nl/wko
Garanties d'origine	www.vreg.be/garantie-van-oorsprong
Test fournisseurs électricité verte	www.greenpeace.org/belgium/nl/groene-stroom

Certificats	
Flandre	
Certificats électricité verte	www.vreg.be/systeem-groenestroomcertificaten-en-garanties-van-oorsprong
Certificats PCCE	www.vreg.be/systeem-warmte-krachtcertificaten www.vreg.be/hoe-wordt-het-aantal-toe-te-kennen-gsc-berekend
Calcul certificats électricité verte et certificats PCCE	www.vreg.be/hoe-wordt-het-aantal-toe-te-kennen-gsc-berekend www.vreg.be/hoe-wordt-het-aantal-warmte-krachtcertificaten-berekend
Facteurs de banding	www.energiesparen.be/monitoring_evaluatie
Certificats électricité verte PV	www.vreg.be/uitbetaling-groenestroomcertificaten
Bruxelles	
Certificats électricité verte	www.leefmilieubrussel.be/Templates/Professionnels/informer.aspx?id=32621
Tarifs minimums	www.elia.be/nl/producten-en-diensten/groenestroomcertificaten/Minimumprice-legalframe
Calcul certificats électricité verte	documentatie.leefmilieubrussel.be/documents/IF_Energie_berekening_GSC_NL_juni2012.PDF?langtype=2067
Wallonie	
Certificats verts	energie.wallonie.be/nl/systeme-d-octroi-de-certificats-verts.html?IDC=6384&IDD=12277
France	
Certificats d'économies d'énergie	www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=25007 www.developpement-durable.gouv.fr/-Certificats-d-economies-d-energie,188-.html www.eceee.org/events/eceee_events/energy-efficiency-obligations/2_ademe
Royaume-Uni	
Obligation relative aux énergies renouvelables Certificats	www.gov.uk/government/policies/increasing-the-use-of-low-carbon-technologies/supporting-pages/the-renewables-obligation-ro

Références

- COGEN 2006. *Basishandboek warmtekrachtkoppeling*.
- DAOUD, I. & LEBBE, Y. 2009. *Inleiding tot Warmtekrachtkoppeling*.
- DE BOEVER, E., LAGROU, D. & LAENEN, B. 2012. *Beknopte wegwijzer, geothermie in België*.
- DREESEN, R. & LAENEN, B. 2010. Technology watch: geothermie en het potentieel in Vlaanderen.
- ETSAP 2010. *Industrial Combustion Boilers*.
- FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS ISE 2012. *Photovoltaics Report*. Freiburg, Allemagne
- HULD, T., ŠÚRI, M. & DUNLOP, E. D. 2008a. *Comparison of potential solar electricity output from fixed-inclined and two-axis tracking photovoltaic modules in Europe. Progress in Photovoltaics: Research and Utilisation*, 16, 47-59.
- HULD, T., ŠÚRI, M. & DUNLOP, E. D. 2008b. *Geographical variation of the conversion efficiency of crystalline silicon photovoltaic modules in Europe. Progress in Photovoltaics: Research and Utilisation*, 16, 595-607.
- IEA-ETSAP & IRENA 2013. *Technology Policy Brief E11 Photovoltaic Solar Power*.
- VAN DE MEULEBROECKE, A., SUIJKERBUIJK, M., VERHAERT, I., HENDRIKSEN, L., SOURBRON, M. & STEENDAM, K. 2007. *Code van goede praktijk voor de toepassing van warmtepompsystemen in de woningbouw*.
- VREG 2013. *Mededeling van de Vlaamse Regulator van de Elektriciteits- en Gasmarkt van 28 mei 2013*. Bruxelles.

LOW
CARBON
BUSINESS
PARK
MANUAL

Chapitre 7

**Cluster
énergétique**

7 Cluster énergétique

7.1 Concepts d'écologie industrielle

L'écologie industrielle est une approche pluridisciplinaire qui veut que l'énergie, l'eau et les courants de matière qui transitent par les circuits industriels, comme au sein des parcs industriels par exemple, soient cartographiés et analysés. Elle vise à identifier les synergies interentreprises porteuses, à même d'encourager l'utilisation durable des ressources et de réduire l'impact sur l'environnement. Elle privilégie les systèmes fonctionnant en circuit fermé, dans lesquels les flux (de déchets) résiduels sont réutilisés dans le système, plutôt que les systèmes en boucle ouverte. La mise en œuvre de telles synergies se rapporte à la symbiose industrielle, qui constitue également un concept majeur pour les parcs éco-industriels. Le complexe éco-industriel de Kalundborg au Danemark est un exemple de notoriété mondiale en la matière (voir 3.2.2).

La notion de cluster énergétique à l'échelle des parcs industriels se réfère à toutes les formes de coopération interentreprises visant à exploiter les synergies au niveau du système énergétique du parc (présenté au chapitre 4). Le cluster représente une stratégie efficace pour, à la fois, réduire les émissions nuisibles à l'environnement et minimiser les coûts. Citons quelques exemples concrets de cluster énergétique: la production collective d'énergie, les réseaux locaux de distribution de l'énergie, l'échange de chaleur entre différentes entreprises et l'échange de ressources. Outre la clusterisation énergétique physique, les services (liés à l'énergie) peuvent, eux aussi, être regroupés comme par exemple l'achat et la vente d'énergie, le suivi et la gestion énergétique et l'entretien des installations. Si l'on analyse le cluster énergétique sous un angle commercial, on peut dire que le gain financier est le stimulus tandis que la réduction des impacts sur l'environnement en constitue l'avantage. À titre d'exemple, sans symbiose industrielle, les émissions de CO₂ du parc éco-industriel de Kymi en Finlande seraient supérieures de 40 à 75% (voir 3.2.2). De plus, le cluster énergétique peut s'étendre au-delà des frontières du parc d'activités pour prendre en compte les synergies présentes au niveau de la région.

Écologie industrielle - perspective énergétique

Cluster énergétique = Synergies énergétiques

• Cluster physique

- Production collective d'énergie
- Réseaux énergétiques locaux
- Échange de chaleur
- Échange de ressources

• Cluster de services

- Achat/vente collectif(ve) d'énergie
- Système collectif de suivi/gestion de l'approvisionnement en énergie
- Entretien collectif

7.2 Cluster énergétique physique

7.2.1 Production collective d'énergie

La production collective d'énergie se matérialise par la mise en place d'installations de production d'énergie, à caractère collectif ou appartenant à des tiers, tournées vers la demande d'énergie cumulée. Plus concrètement, l'énergie couvre, dans ce contexte, la chaleur, l'électricité et les combustibles. La production collective d'énergie peut s'appliquer à un groupe d'entreprises ou au parc d'activités tout entier, et peut même s'étendre au niveau de la région. Elle présente de nombreux avantages comparée à la production individuelle d'énergie. Tout d'abord, la demande d'énergie cumulée se montre plus stable que les profils individuels et les pics sont aplanis. Cela réduit le niveau de capacité maximale requis et, de fait, le coût global des installations. L'économie d'échelle réduit les frais liés aux investissements, à l'exploitation et à l'entretien. En outre, les installations importantes affichent une meilleure performance que les structures plus petites, ce qui entraîne une baisse des coûts d'exploitation et des dépenses en matière de combustibles, ainsi qu'une réduction des émissions y associées. Pour la même capacité, une installation collective peut présenter une empreinte spatiale moins importante qu'une série de structures individuelles. Les technologies alternatives de production d'énergie bas carbone, qui s'avèrent trop coûteuses à plus petite échelle, peuvent devenir économiquement viables pour les plus grands ensembles. Les investissements lourds, comme ceux requis dans le cadre des installations géothermiques, peuvent ne pas être financièrement accessibles pour une seule entreprise, mais devenir possibles pour un cluster d'entreprises. Les petites entreprises et même les parties intéressées,

situées en dehors du parc d'activités, ont la possibilité de prendre part à la production collective d'énergie. La charge inhérente à l'organisation ne pèse plus sur les entreprises individuelles car la production collective d'énergie est assurée par une société collective (voir 7.5) ou une tierce partie (voir 7.6). Ces sociétés garantissent, par contrat, la sécurité de l'approvisionnement. Un système collectif énergétique peut également être conçu comme un ensemble d'unités plus petites, ceci pour éviter les trop grandes installations.

Par exemple, une pompe géothermique collective dédiée à un groupe de bâtiments peut se révéler plus rentable sur le plan économique que des pompes individuelles. Les entreprises qui présentent essentiellement des besoins en électricité peuvent se rapprocher d'organisations qui requièrent surtout de la chaleur pour faire tourner une installation de cogénération de manière efficace.

Dans le cadre du présent paragraphe, les centrales électriques virtuelles sont des clusters virtuels regroupant des installations de production d'énergie distribuée, s'étendant au-delà des frontières géographiques, et gérées de façon centralisée pour vendre conjointement l'électricité produite ou assurer une certaine stabilité et fournir des services auxiliaires au réseau.

7.2.2 Réseaux énergétiques locaux

Les réseaux énergétiques locaux sont indispensables pour distribuer l'énergie produite par les installations de production collective auprès des entreprises individuelles. Une autre solution consiste à utiliser ces réseaux pour connecter les installations de production individuelle d'énergie de sorte que la capacité excédentaire (temporaire) d'une entreprise soit rendue disponible et vendue aux autres entités. Les réseaux énergétiques sont décrits plus en détail aux paragraphes 7.7 et 7.8.

7.2.3 Échange de chaleur

La chaleur résiduelle issue des process industriels et l'excédent de chaleur provenant des installations de production d'énergie peuvent être échangés entre différentes structures via des liens thermiques directs ou des réseaux de chaleur (vapeur ou eau). Cependant, à l'échelle de l'entreprise, il convient de se concentrer, dans un premier temps, sur les options économiquement viables en matière d'intégration énergétique (voir 5.5). L'Analyse Totale de Site se veut un outil pratique pour identifier les opportunités d'intégration énergétique au niveau d'un cluster ou d'un parc d'activités, en tenant compte de l'infrastructure du réseau de chaleur existant. La méthode estime le potentiel théorique d'échange thermique entre des entreprises ou des process via un ou plusieurs réseaux d'échange de chaleur. Pour une description plus détaillée, voir 5.6.

Le cluster chimique de Stenungsund en Suède se compose de cinq grandes entreprises chimiques qui tirent le plus grand parti des relations symbiotiques en termes de ressources et d'énergie. Au cœur du cluster, un vapocraqueur produit des oléfines et des combustibles à partir d'hydrocarbures saturés. Les oléfines servent de matière première pour les autres process au sein du cluster et les combustibles sont brûlés pour produire de la chaleur (voir Fig. 61). La récupération de chaleur au niveau des usines est optimisée grâce aux réseaux de chaleur individuels (vapeur, huile chaude). Une Analyse Totale de Site a été réalisée pour estimer les économies d'énergie qui pourraient être réalisées en connectant (intégrant) les systèmes vapeur existants de chacune des usines. Il a été établi que l'utilisation de combustible pour la production de chaleur pouvait être évitée, à la condition d'intégrer une boucle d'eau chaude.

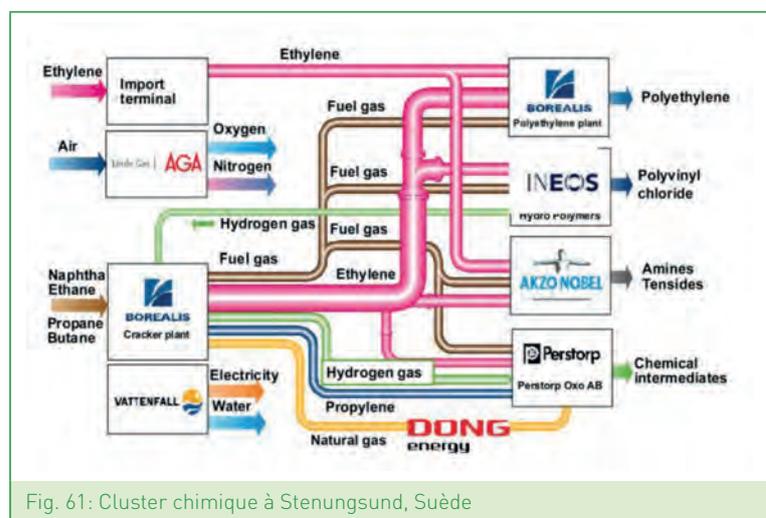


Fig. 61: Cluster chimique à Stenungsund, Suède

7.2.4 Échange de ressources

Outre la chaleur, les ressources, telles que les déchets, la biomasse, les biocarburants et l'hydrogène, peuvent également faire l'objet d'un échange entre les entreprises afin d'être utilisées comme combustible. Cette option nécessite la mise en place de liens directs ou de réseaux. Par exemple, les résidus biologiques provenant de l'industrie alimentaire, ainsi que le fumier ou les boues issues des égouts peuvent être transformés en biogaz par fermentation au sein d'usines de traitement des déchets. Ce biogaz peut alors être utilisé dans l'installation de cogénération d'une entreprise voisine. Les copeaux de bois provenant de l'industrie de la transformation du bois ou les résidus d'élagage peuvent également servir de combustible pour la cogénération.

7.3 Cluster de services énergétiques

L'achat ou la vente groupé(e) d'énergie (électricité, combustible, chaleur), l'acquisition collective de systèmes de suivi ou de gestion de l'énergie, l'entretien des installations assuré conjointement, etc., contribuent à réduire les coûts de façon importante. Le pouvoir de négociation se trouve renforcé vis-à-vis des fournisseurs potentiels desdits services. Le gestionnaire du parc ou l'association locale des entreprises peuvent, tous deux, favoriser le regroupement des services. Lorsque les entreprises achètent de l'électricité auprès d'un fournisseur habilité de façon conjointe, la demande cumulée s'avère plus stable et enregistre moins de pics de consommation que lors de demandes individuelles. De cette façon, on observe une diminution des taxes relatives aux demandes de pointe. La réponse à la demande peut même s'adapter de façon à éviter les pics en déplaçant les demandes dans le temps (déplacement de la charge) ou en les limitant (écrêtage) (voir 8.3.1.3). De même, une partie de la demande peut être temporairement couverte par un producteur d'énergie local. La réponse à la demande est illustrée dans le projet néerlandais Agrogas, où la consommation de gaz de différentes entreprises d'horticulture en serre fait l'objet d'une analyse par un gestionnaire .

7.4 Profils énergétiques complémentaires

Les profils énergétiques des entreprises sont dits complémentaires lorsqu'ils offrent des effets de synergie exploitables au travers d'un cluster énergétique. Plus particulièrement, les fonctions énergétiques (voir 5.2.1) au sein de différentes entreprises peuvent s'avérer complémentaires quant à leur nature et/ou leur profil temporel. La chaleur résiduelle émise lors du refroidissement d'entrepôts (réfrigérateurs) ou de datacenters peut, par exemple, servir à chauffer les bâtiments adjacents durant la saison froide. Lorsqu'il n'y a pas besoin de chauffage, comme pendant la belle saison, la chaleur peut alors être stockée dans le sol ou rejetée dans l'environnement. Autre exemple: la chaleur qui doit être évacuée des serres en été, peut être stockée dans le sol (Stockage de l'Énergie Thermique en Puits) pour être utilisée lors de la saison froide, pour le chauffage basse température des bâtiments adjacents. Les profils temporels des demandes d'électricité et de chaleur dans les bureaux et les habitations peuvent également se révéler complémentaires. En conséquence, le profil de la demande combinée est plus régulier que les profils individuels, ce qui se montre avantageux pour une installation de cogénération collective par exemple.

Le stockage de l'énergie permet d'améliorer la complémentarité des services énergétiques. Citons l'exemple des entreprises d'horticulture en serre qui n'utilisent pas l'éclairage d'assimilation; les demandes inhérentes à la fertilisation au CO₂ et au chauffage ne coïncident pas dans le temps. La fertilisation au CO₂ doit être réalisée durant la journée pour assurer la croissance des récoltes et le chauffage est surtout nécessaire durant la nuit . On peut utiliser une installation de cogénération pour répondre à ces deux besoins.

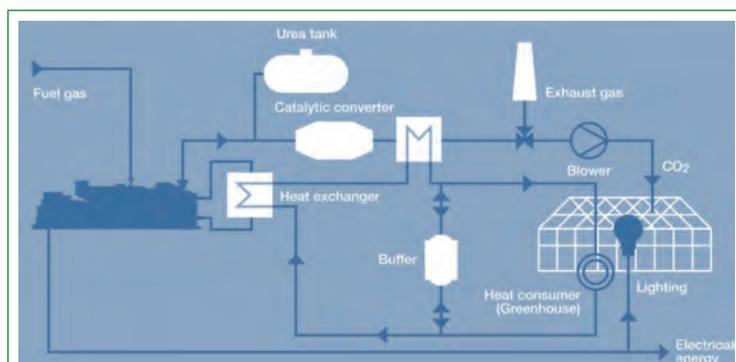


Fig. 62: Cogénération pour des services énergétiques complémentaires dans les serres (www.clarke-energy.com)

Or, la cogénération doit tourner en journée car le CO₂ vient instantanément fertiliser les récoltes, et le surplus d'électricité peut être vendu au réseau lors des pics de demande journaliers. En stockant la chaleur produite durant la journée sous la forme d'eau chaude et en l'utilisant pour chauffer les espaces la nuit, on améliore la complémentarité des services énergétiques. À noter que pour les serres équipées d'un éclairage d'assimilation, l'exploitation de la cogénération sera calquée sur les horaires d'éclairage.

7.5 Production collective d'énergie - Business plans

Il existe différents modèles économiques portant sur la production collective d'énergie. Selon une première configuration, une société unique finance la construction et l'exploitation de l'installation et vend l'énergie produite aux consommateurs (par exemple, les entreprises installées sur un parc d'activités). La société ainsi créée peut impliquer les entreprises mais aussi des tierces parties, comme des entreprises du secteur de l'énergie, des banques, des promoteurs de parcs, le gouvernement, des particuliers, etc., qui participent via l'achat d'actions ou l'octroi de crédits. Ecopower cvba (www.ecopower.be) est un bon exemple de ce type de structure. Dans le cadre du deuxième modèle économique, la construction et l'exploitation de l'installation sont séparées de la vente de l'énergie produite et sont assurées, respectivement, par une société de production et une société d'approvisionnement. Les entreprises peuvent s'investir dans une des sociétés ou les deux à la fois. La société de production vend l'énergie produite à la société d'approvisionnement ou loue son installation. La société d'approvisionnement vend, à son tour, l'énergie à un grand nombre d'entreprises individuelles ou à un parc d'activités. Le tandem constitué de Fortech bvba (www.fortech.be) et de Wase Wind cvba (www.wasewind.be) peut être cité en exemple. Le troisième modèle économique associe une société de production, comme ci-dessus, et une société d'achat. La dernière entité achète de l'énergie auprès de la société de production et d'autres acteurs du marché. Les entreprises peuvent s'investir dans une des sociétés ou les deux à la fois. La livraison effective de l'énergie aux consommateurs finaux est assurée par un fournisseur d'énergie.

7.6 Sociétés de Services énergétiques

Au-delà des modèles économiques relatifs à la production collective d'énergie exposés plus haut, dans lesquels les entreprises s'investissent dans les différentes entités, les projets énergétiques peuvent aussi être entièrement externalisés auprès d'une tierce partie. Une Entreprise de Services Énergétiques (ESE) fournit des services énergétiques, implémente des mesures d'efficacité énergétique ou conduit des audits énergétiques dans l'installation ou les locaux du client final. Les projets de type ESE peuvent porter sur la conception, la construction, l'exploitation et la maintenance des installations de production d'énergie (PCCE, éolien, solaire) mais aussi sur des installations et équipements servant à fournir des services énergétiques (chauffage, climatisation, éclairage...), ainsi que sur l'audit, le suivi et la gestion énergétique. Dans ce cas, l'organisation et la coordination des projets énergétiques sont à la charge de l'ESE et les clients (entreprises) peuvent ainsi se concentrer sur leur cœur de métier.

L'ESE finance ou organise le financement des projets énergétiques et leur rémunération est partiellement ou entièrement fonction de l'énergie produite ou des économies d'énergie réalisées. Le client rembourse progressivement l'équivalent des économies d'énergie générées par le projet. Les ESE apporteront leur expertise pour identifier les synergies énergétiques exploitables afin de mener à bien le projet de la façon la plus rentable possible and mettre un place un suivi énergétique rigoureux. Sur les parcs d'activités, elles chercheront à exploiter les synergies existant entre les entreprises (= cluster énergétique) pour assurer un service efficace en matière d'énergie auprès de leurs clients. Afin de favoriser l'introduction des ESE sur les parcs d'activités bas carbone, il est important que ces structures soient tournées vers la carboneutralité. Le financement des projets peut se faire par l'ESE, le client final, une tierce partie ou une combinaison de ces entités. Marino et al. ont réalisé une étude sur le marché mondial des ESE. Notons que les ESE peuvent contribuer à la production énergétique ainsi qu'à des projets en matière d'efficacité énergétique, à l'échelle d'une entreprise (voir 5.4) tout comme d'un cluster d'entreprises.

Les ESE publiques se concentrent sur les édifices publics alors que les ESE privées interviennent également dans les secteurs de l'industrie, du commerce, du logement, etc. En Belgique, par exemple, des ESE publiques ont été créées par le gouvernement fédéral (Fedesco) et le gouvernement flamand (Vlaams Energie Bedrijf),

en tant que nouveaux services dédiés à la gestion des réseaux de distribution de l'énergie. À l'international, les grands fournisseurs d'énergie commencent, eux aussi, à offrir des services ESE et tentent ainsi de tirer parti des synergies locales en matière d'énergie. Le fonctionnement des ESE privées repose sur des Contrats de Performance Énergétique (CPE), selon lesquels le paiement est lié à un critère de performance énergétique défini contractuellement, qui est vérifié et suivi pendant toute la durée du contrat.

7.7 Réseaux de chauffage urbain et de chauffage local

Sur un parc d'activités, la chaleur peut être échangée entre les différentes entreprises au moyen de liens thermiques directs ou via un réseau de chaleur local. En outre, l'excédent de chaleur provenant du parc d'activités peut très bien être réinjecté dans le **réseau régional de chauffage urbain**. Il peut alors être utilisé pour chauffer les espaces en proche centre-ville, dans les hôpitaux ou les complexes sportifs ou pour chauffer une piscine publique ou des serres. Inversement, le réseau de chaleur du parc peut être connecté à une source d'énergie externe, comme un incinérateur de déchets ou une centrale électrique. Le fait de connecter le réseau de chaleur local au réseau de chauffage urbain offre une sécurité supplémentaire en termes d'offre et de demande de chaleur.

Les réseaux traditionnels de chauffage urbain présentent une structure descendante, à savoir que la production de chaleur est centralisée et le fluide ensuite distribué aux particuliers. De la même façon que pour les réseaux d'électricité, une évolution vers des réseaux thermiques intelligents favorisera le recours à la production décentralisée et renouvelable de chaleur. Une des stratégies pourrait consister à mettre en place des réseaux thermiques locaux dans un premier temps, pour les connecter de façon à former un réseau de chaleur régional au final. Le chauffage urbain peut d'abord être alimenté par la cogénération ou la chaleur résiduelle, qui serait ensuite complétée ou remplacée par des sources de chaleur renouvelables. Les déperditions de chaleur et les coûts liés aux réseaux de chauffage sont proportionnels à l'étendue du réseau. Pour un réseau de chaleur donné, affichant une température d'alimentation de 100° C, les déperditions de chaleur peuvent représenter 1 à 1,5° C/km. De ce fait, l'offre et la demande de chaleur doivent être **regroupées géographiquement**. Les réseaux de chauffage urbain impliquent des coûts d'investissements élevés et de longs délais de récupération; de ce fait, des contrats d'approvisionnement et de demande énergétique à long terme sont exigés. En raison de la grande longévité de ces réseaux, les délais de récupération courts ne sont pas jugés raisonnables. Pour que ces réseaux puissent facilement s'adapter à l'évolution des besoins énergétiques et aux opportunités nouvelles, tout en garantissant la sécurité de l'approvisionnement et de la demande, la flexibilité et la solidité sont d'une importance capitale. On peut assurer la solidité de l'ensemble en prévoyant des installations de secours et des systèmes de stockage. Un manuel complet sur le chauffage urbain a été élaboré par Frederiksen et Werner .

7.8 Micro-réseaux intelligents

Le réseau électrique traditionnel dispose d'une architecture solide organisée de haut en bas. L'électricité est produite de façon centralisée puis véhiculée, via le réseau de transport d'électricité, vers les réseaux de distribution locaux qui assurent l'approvisionnement des clients. Cette configuration à sens unique se révèle cependant inappropriée pour l'intégration à grande échelle de la production d'électricité décentralisée. Ainsi, il est nécessaire d'adopter une nouvelle approche ascendante bidirectionnelle, mieux adaptée à l'intégration des prosommateurs (les consommateurs et producteurs d'énergie à la fois). Les micro-réseaux équipés d'une commande intelligente sont capables d'ajuster la consommation d'énergie locale à la production et au stockage local(e) d'énergie, tout en exportant le surplus d'électricité vers ou en important le déficit d'électricité depuis le réseau de distribution d'électricité public. Les micro-réseaux peuvent fournir des services et prestations accessoires à la fois au gestionnaire du réseau de distribution d'électricité et aux entités intégrées au micro-réseau . Contrairement aux réseaux de chaleur, les réseaux d'électricité affichent des pertes d'énergie limitées. Les parcs d'activités offrent une bonne dimension géographique pour la mise en œuvre de micro-réseaux intelligents. La notion de centrales électriques virtuelles permet même d'étendre le concept des micro-réseaux au-delà des limites géographiques des parcs d'activités.

7.9 Faisabilité d'un cluster énergétique

La faisabilité des projets de clusters énergétiques se heurte à des contraintes techniques, d'espace, économiques, juridiques et sociales. Tout d'abord, le potentiel exploitable en matière d'énergies renouvelables se limite au potentiel technique offert par les technologies de conversion disponibles et est tributaire des restrictions imposées en matière d'aménagement des espaces et d'émissions de GES. Les technologies de nature différente peuvent également s'interférer, s'entraver ou s'exclure mutuellement. De plus, la viabilité économique, exprimée en retour sur investissement, délai de récupération ou valeur actuelle nette, doit être garantie aux investisseurs. Différents scénarios doivent ainsi être sélectionnés et comparés, limitant encore le potentiel. Cette faisabilité économique doit également être analysée sous un angle juridique, notamment au niveau des autorisations relatives aux installations, réseaux et connexions au réseau régional, de la structure juridique du cluster et du modèle économique envisagé. Les parties impliquées doivent également tout faire pour que le projet de cluster énergétique soit couronné de succès.

7.10 Rôle du promoteur de parc d'activités dans le concept de cluster énergétique

Le rôle du promoteur/gestionnaire du parc d'activités dans le cadre d'un projet de cluster énergétique peut consister à attirer les entreprises bénéficiant de profils énergétiques complémentaires lors de la phase de lancement, à aider les entreprises à repérer les opportunités de coopération interentreprises en matière d'énergie et à éliminer les obstacles susceptibles d'entraver la mise en place de ces synergies énergétiques. Lors de l'aménagement du parc, le promoteur peut également réserver des espaces pour la production collective d'énergie, les réseaux ou les liens directs entre entreprises. Si cela s'avère possible, le promoteur peut également créer une société dédiée à la production collective d'énergie ou agir via une ESE. Bien entendu, l'objectif est toujours de produire de l'énergie (électricité) carboneutre.

7.11 Cluster énergétique - Obstacles et solutions

Au niveau des investissements réalisés en matière d'efficacité énergétique dans les bâtiments ou d'optimisation et d'intégration des process, les entreprises attendent des délais de récupération courts (< 2 max 3 ans) et des TRI élevés (voir 5.4.6 et 5.4.7). De cette façon, les opportunités d'investissements qui s'avèrent rentables sur des échelles de temps un peu plus longues sont écartées. En outre, la valeur actuelle nette (VAN), la période de remboursement actualisée ou le taux de rentabilité interne (TRI) sont des indicateurs de performance des investissements plus précis (voir 5.4.6). Ces remarques sont également valables pour les projets de clusters énergétiques impliquant différentes entreprises.

Dans le cadre de projets de production collective d'énergie ou d'échange de chaleur, la qualité, la sécurité et la continuité de l'approvisionnement sont des facteurs clés et relèvent d'une obligation contractuelle, ce qui impose un stress supplémentaire aux entreprises concernées. L'ESE peut, dans ce cas, offrir une solution car elle assume ces responsabilités et fournit des installations de secours, afin de porter les synergies énergétiques.

Malheureusement, les projets de clusters énergétiques sont parfois contrariés par une législation inadaptée. En Flandre, par exemple, les liaisons électriques et gazières directes ainsi que les réseaux fermés d'électricité et de gaz sont autorisés, à condition qu'ils soient situés sur un site industriel. En revanche, actuellement, lorsque le gaz ou l'électricité fait l'objet d'un échange entre différents sites industriels, le régulateur flamand de l'énergie (VREG) décide ou non d'autoriser le projet, après consultation du gestionnaire du réseau local. Cet avis est souvent négatif car les intérêts du gestionnaire de réseau (maximiser la distribution aux clients, assurer la sécurité d'approvisionnement) et ceux des producteurs et consommateurs d'énergie du secteur industriel (optimisation, réduction des coûts) sont divergents. Afin de résoudre ce problème et poser les jalons d'une exploitation efficace des synergies énergétiques entre les entreprises, il est important qu'un dialogue constructif soit instauré entre les entreprises, le gouvernement et les gestionnaires de réseaux.

7.12 Études de cas

7.12.1 The Loop

La ville de Gand a réalisé une étude de faisabilité pour la mise en place, sur le parc d'activités «The Loop», d'un système de production collective d'énergie pour répondre aux besoins d'électricité, de chauffage et/ou de climatisation des locaux. Différents systèmes ont été étudiés, notamment la cogénération collective et les chaudières au gaz naturel, à bois ou à bio-huile, ainsi qu'un réseau de chaleur alimenté par la chaleur produite par l'incinérateur de déchets de l'entreprise de gestion des déchets IVAGO. À côté de ces options, la faisabilité d'une boucle d'eau reliée au cours d'eau voisin a été étudiée. Ce circuit d'eau permettrait de rafraîchir les locaux à la mi-saison et de climatiser les espaces en été lorsqu'elle est couplée à un refroidisseur à compression, et de chauffer les locaux en hiver lorsqu'elle est associée à une pompe à chaleur centrale ou des pompes à chaleur individuelles et une chaudière à gaz de remplacement. Pour plus d'informations voir 10.1.

7.12.2 Gent Zuid 1

La ville de Gand a étudié la possible création d'un cluster énergétique sur le parc d'activités Gent Zuid 1. Dans un premier temps, l'analyse a porté sur l'éventuelle exploitation d'une usine de fermentation existante, sur la base de la biomasse et des déchets biologiques disponibles localement, couplée à une installation de cogénération dans le but de transformer le biogaz obtenu en électricité et en chaleur. Ensuite, l'accent a été mis sur la création d'un réseau de vapeur ou d'un lien de vapeur depuis IVAGO vers les entreprises affichant des besoins thermiques suffisants. On pourrait envisager un lien de vapeur avec une entreprise définie, sous réserve que le système soit complété par une installation de secours pour la production de chaleur. Une description de cette étude de cas figure au paragraphe 10.2.

7.12.3 Roeselare West

Wvi a examiné s'il était envisageable d'étendre le réseau de chaleur existant, desservant actuellement vingt-deux structures publiques et privées, au projet de développement du parc d'activités Roeselare West situé à proximité, ainsi qu'à de futurs logements plus éloignés. Le réseau de chaleur est alimenté par la chaleur produite par l'incinérateur de déchets de l'entreprise de gestion des déchets MIROM. À Roeselare West, la chaleur fournie sera essentiellement utilisée pour le chauffage des locaux, dans une entreprise nécessitant des températures plus élevées pour ses process. Pour plus d'informations voir 10.5.

7.12.4 Échange de chaleur entre l'incinérateur de déchets et les serres

Wvi a évalué la possibilité d'utiliser la chaleur basse température provenant de l'incinérateur de déchets de MIROM pour répondre aux besoins de chauffage de la future zone de serres adjacente. Durant les périodes de pointe de la demande, un service d'appoint serait assuré par une installation de cogénération au gaz naturel, tandis que le dioxyde de carbone résultant de la combustion servirait à la fertilisation des récoltes. Pour plus d'informations voir 10.6.

7.12.5 Carte thermique et modèle de feuille de calcul pour les réseaux de chaleur

Wvi a élaboré une carte thermique qui inventorie les sources de chaleur résiduelle disponibles dans sa zone de travail et établi un modèle de feuille de calcul pour mesurer la faisabilité des réseaux de chaleur. Pour plus d'informations voir 10.6.

7.12.6 Site de la Sucrierie de Furnes

Le projet de réaménagement de la friche industrielle de la Sucrierie de Furnes sera composé de logements, d'espaces de loisirs et d'entreprises. Wvi a procédé à une estimation des futurs besoins de chaleur de la nouvelle zone d'activités et identifié les sources potentielles de chaleur résiduelle utilisables sur le parc d'activités «Veurne Industrial Park 1» voisin. La faisabilité d'un réseau de chaleur alimenté soit par la chaleur résiduelle disponible en combinaison avec une chaudière à gaz, soit par une installation de cogénération au gaz naturel associée à une chaudière à gaz supplémentaire a été étudiée. Pour plus d'informations voir 10.8.

7.13 Sources

Sites internet

Étude de marché ESE	iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/publication/energy-service-companies-market-europe-status-report-2010
Info ESE	iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/esco
Entreprise Flamande de l'Énergie	vlaamsenergiebedrijf.eu
BELESCO	www.belesco.be
FEDESCO	www.fedesco.be
Exemples d'ESE	www.terra-energy.be , www.anesco.co.uk ,...

Références

- FREDERIKSEN, S. & WERNER, S. 2013. *District heating and cooling*, Lund, Sweden, Studentlitteratur AB.
- HACKL, R., HARVEY, S. & ANDERSSON, E. 2010. *Total Site Analysis (TSA) Stenungsund*. Göteborg, Suède: Chalmers University of Technology, Department of Energy and Environment, Division of Heat and Power Technology.
- KONZ, W. & VAN DEN THILLART, C. 2002. *Industriële symbiose op bedrijventerreinen*. Technische Universiteit Eindhoven.
- MAES, T. 2011. *Reductie van CO₂-emissies op bedrijventerreinen in Vlaanderen door energiemanagement en energieplanning*. Université de Gand.
- MAES, T., VAN EETVELDE, G., DE RAS, E., BLOCK, C., PISMAN, A., VERHOFSTEDÉ, B., VANDENDRIESSCHE, F. & VANDEVELDE, L. 2011. *Gestion de l'énergie on industriel parks in Flandres*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 1988-2005.
- MARINO, A., BERTOLDI, P., REZESSY, S. & BOZA-KISS, B. 2010. *Energy service companies market in Europe - Status report 2010*. Ispra, Italie: European Commission - Joint Research Centre - Institute for Energy.
- ROBERTS, B. H. 2004. *The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: an Australian case study*. *Journal of Cleaner Production*, 12, 997-1010.
- VAN EETVELDE, G., DE ZUTTER, B., DERIDDER, K., DE ROUCK, V. & DEVOS, D. (eds.) 2005. *Groeiboeken Duurzame Bedrijventerreinen - juridisch, economisch, ruimtelijk en technisch bekeken*, Gand.
- VAN GASTEL, T. 2002. *Geen bureu maar wel samen energie inkopen : Agrogas: de eerste 'virtuele cluster'*. *Vakblad voor de bloemisterij*, 57, 48-49.
- VANDOORN, T., VANDEVELDE, L., VAN EETVELDE, G., MEERSMAN, B. & ZWAENEPOEL, B. 2012. *Slimme Microgrids en Virtual Power Plants, bouwstenen van het net van de toekomst*. *Elektrotechnisch ingenieur*, 140, 18-21.
- VANDOORN, T. L., VASQUEZ, J. C., DE KOONING, J., GUERRERO, J. M. & VANDEVELDE, L. 2013. *Microgrids Hierarchical Control and an Overview of the Control and Reserve Management Strategies*. *Ieee Industrial Electronics Magazine*, 7, 42-55.
- VANSTEENBRUGGE, J., GABAY, S., TIMMERMAN, J. & VAN EETVELDE, G. 2014. *Energy clustering in greenhouse horticulture - submitted*. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*.
- ZWAENEPOEL, B., VANSTEENBRUGGE, J., VANDOORN, T., VAN EETVELDE, G. & VANDEVELDE, L. 2014. *Ancillary services for the electrical grid by waste heat - submitted*. *Applied Thermal Engineering*, 20, 1381-1392.

LOW
CARBON

Chapitre 8

**Gestion intelligente
de l'énergie**

BUSINESS
PARK

MANUAL

8 Gestion intelligente de l'énergie

8.1 Introduction

Le concept directeur du développement des réseaux énergétiques intelligents consiste à clusteriser les ressources énergétiques distribuées (RED) et les consommateurs d'énergie. Les réseaux énergétiques intelligents deviennent de plus en plus nombreux, surtout sur les parcs industriels, et le concept de cluster énergétique peut s'intégrer à l'infrastructure physique de la région. Ce chapitre traite des systèmes intelligents de gestion énergétique et met l'accent sur la planification et la gestion de l'énergie dans le domaine des parcs industriels.

8.2 Micro-réseaux

8.2.1 Réinventer le réseau

La production décentralisée (PD) et le stockage décentralisé (SD) deviennent partie intégrante de la structure énergétique moderne. Malheureusement, les réseaux énergétiques traditionnels ne sont pas adaptés aux mouvements d'énergie bidirectionnels qui circulent dans les réseaux de distribution dans ce type de configuration. De plus, les réseaux de distribution ne sont pas gérés de façon active, à savoir qu'ils constituent des installations annexes passives du réseau de transport de l'énergie, servant à assurer le contrôle et la stabilité des flux. La croissance constante de la production décentralisée d'électricité et la nature imprévisible de la consommation d'électricité créent encore plus d'instabilité. Afin de garantir un approvisionnement fiable et durable en électricité, il est nécessaire d'améliorer les réseaux électriques sur le plan technologique. L'un des volets essentiels de cette stratégie innovante consiste à intégrer des réseaux d'électricité intelligents au cœur du réseau principal.

8.2.2 Du parc d'activités au micro-réseau

Un micro-réseau vise essentiellement à assurer l'intégration et la coopération coordonnée des unités PD au sein du réseau électrique principal, afin d'utiliser l'énergie de façon optimale, d'améliorer la fiabilité de l'approvisionnement énergétique et devenir une entité maîtrisable dans le réseau principal. Ces réseaux à petite échelle sont à même de fournir de l'électricité à un large éventail de clients, notamment les propriétés résidentielles, les collèges, les hôpitaux, les entités commerciales, les sites industriels, les bases militaires et même les installations éloignées du réseau électrique, comme les plateformes de forage. Les parcs industriels peuvent être gérés comme des micro-réseaux, par exemple pour minimiser la dépendance énergétique, accroître la compétitivité économique et fonctionner comme un parc d'activités bas carbone.

8.2.2.1 Utilisation des micro-réseaux

Comme beaucoup de groupes situés en zones isolées et de communautés insulaires, les agriculteurs de North Kohala ont trouvé une alternative pour remplacer le diesel, qui s'avère polluant et onéreux, dans le cadre de la production d'électricité. Ce projet de micro-réseau, connu sous le nom de *SkyGrid Energy*, est pleinement opérationnel depuis avril 2013 (voir Fig. 63). Le système comprend une éolienne NPS 100, qui est la principale source d'énergie, un groupe de batteries et des panneaux solaires. Grâce à ce système, il est actuellement possible de pomper suffisamment d'eau à l'année pour irriguer 400 acres de terres agricoles et soutenir quatorze fermes et entreprises agricoles participantes.



Fig. 63: Micro-réseau SkyGrid Energy - North Kohala, Hawaii



Fig. 64: Académie Mont-Cenis, Herne, Allemagne

On trouve un bel exemple de prototype de micro-réseau sur le site d'une ancienne mine de charbon de Mont-Cenis dans l'État de Nordrhein-Westfalen en Allemagne (voir Fig. 64). Un bâtiment de 12 000 m², abritant une académie de formation, est alimenté par un groupe photovoltaïque de 1 MW intégré au toit et à la façade de la structure en verre du bâtiment et par une installation de cogénération, nourrie par le méthane s'échappant de la mine de charbon désaffectée. Une batterie de 1.2MWh assure une intégration harmonieuse au sein du réseau d'électricité au niveau local et la chaleur est utilisée pour l'académie, les logements environnants et un hôpital situé à proximité

8.2.3 Structure et caractéristiques

La Fig. 65 est une représentation schématique d'un micro-réseau. Un micro-réseau est un réseau à petite échelle, connecté au réseau électrique principal via une sous-station de transformation. Il compte des unités RED et différents types d'utilisateurs finaux d'électricité et/ou de chaleur. Les unités RED, qui assurent la production distribuée (PD) et le stockage distribué (SD), présentent des capacités et des caractéristiques différentes. La connexion électrique entre le réseau électrique principal et le micro-réseau constitue le point de couplage commun (PCC) et permet le contrôle du micro-réseau qui peut alors fonctionner en mode connecté ou indépendamment du réseau électrique principal.

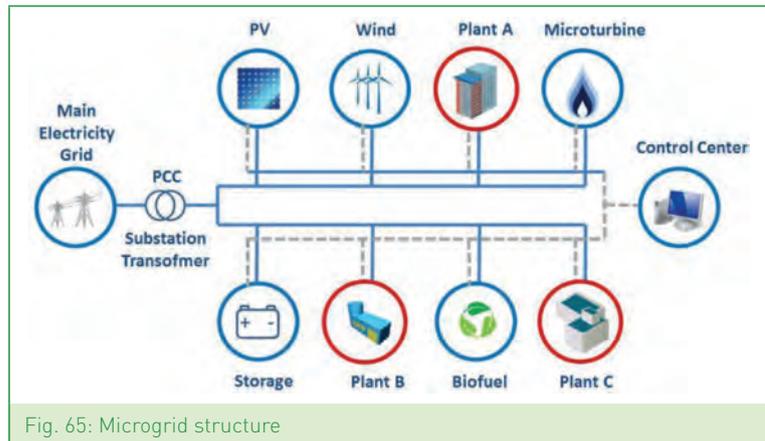


Fig. 65: Microgrid structure

D'un point de vue spatial, on distingue trois types de micro-réseaux: les campus «parcelle unique» ou «propriétaire unique», les campus «multiparcelles» ou «multipropriétaires» et les sites éloignés hors réseau. Sur le plan de la structure du système, les micro-réseaux se différencient par leur interaction avec le réseau électrique principal, selon qu'ils sont raccordés au réseau, hors réseau (îlotés) et hybrides. Grâce à la sous-station de transformation, le micro-réseau peut fonctionner en mode connecté au réseau. Lorsqu'il est déconnecté du réseau principal, le micro-réseau reste autonome sur le plan opérationnel, tel une entité îlotée, et doit offrir une capacité de production suffisante pour répondre aux charges critiques.

8.2.4 Sources énergétiques distribuées

Les sources énergétiques distribuées peuvent se raccorder au micro-réseau à l'aide d'unités rotatives ou de dispositifs à couple électronique. La plupart des unités PD et SD sont interfacées via des convertisseurs électroniques de puissance, qui présentent différentes stratégies et caractéristiques de contrôle par rapport aux unités rotatives traditionnelles. C'est la raison pour laquelle les stratégies de contrôle et le comportement dynamique d'un micro-réseau diffèrent du système d'alimentation classique (réseau électrique principal). Une unité RED comprend une source d'énergie primaire, une interface et un dispositif de commutation au point de connexion (PC) de l'unité, tel que présenté en figure 66.

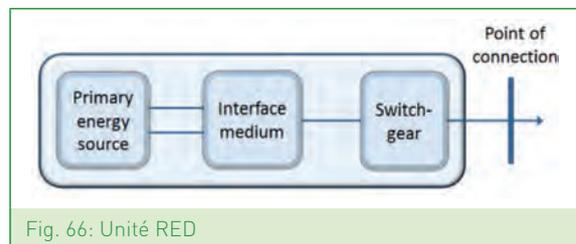


Fig. 66: Unité RED

Dans le cadre d'une unité PD traditionnelle, l'unité rotative joue le rôle de l'interface entre la source et le micro-réseau et convertit la puissance de la source d'énergie primaire en énergie électrique. Un générateur à induction, entraîné par une éolienne à vitesse constante, est un bon exemple d'unité PD traditionnelle: le générateur tient lieu d'interface, tandis que le vent constitue la source d'énergie primaire. L'interface d'une unité PD à couple électronique est assurée par un convertisseur de couple qui offre un niveau supplémentaire de conversion et de contrôle. Au niveau de la source du convertisseur, la puissance d'entrée peut être reçue en CA (courant alternatif), en fréquence fixe ou variable ou en CC (courant continu). Du côté du micro-réseau

du convertisseur, la fréquence est de 50Hz. Pour les unités de stockage, les sources d'énergie primaire doivent être remplacées par un support de stockage.

La maîtrise de la puissance de sortie du dispositif PD dépend du type d'unité et on peut, à cet égard, faire une distinction entre les unités «dispatchables» et «non dispatchables». La puissance de sortie d'une unité PD dispatchable peut être activée ou désactivée, ou ajustée à la demande. Les générateurs thermiques fonctionnant aux combustibles fossiles, à savoir les générateurs diesel, les micro-turbines à gaz, les centrales à biomasse et les piles à combustible, sont des unités dispatchables. Pour les technologies basées sur les énergies renouvelables et dites non dispatchables, telles que les panneaux photovoltaïques et les éoliennes, la puissance de sortie est fonction des conditions de fonctionnement optimales. Une éolienne, par exemple, fonctionne dans une optique de recherche du maximum de puissance afin d'exploiter autant que possible la puissance du vent. Ainsi, la puissance de sortie d'une unité PD non dispatchable varie en fonction de la force des vents.

8.2.5 Demande d'électricité

Les micro-réseaux couvrent la demande en énergie thermique et électrique. La demande énergétique peut se décomposer en deux groupes, les charges prioritaires et les charges non prioritaires. Une charge prioritaire, telle que celle dédiée aux processus opérationnels critiques, requiert un approvisionnement constant en énergie. Les charges non prioritaires peuvent être considérées comme maîtrisables. Elles peuvent être déplacées ou réduites pour atténuer les pics et lisser ainsi le profil de charge. La demande d'électricité du micro-réseau peut également être planifiée en fonction de la puissance délivrée par les sources d'énergies renouvelables intermittentes.

8.3 Gestion de l'énergie

Les modifications rapides de charge et les changements intervenant au niveau de la puissance de sortie d'unités RED à couple électronique non contrôlables peuvent affecter le niveau de tension et la stabilité de puissance lorsque des mesures appropriées n'ont pas été prises. Le comportement incertain de la demande et de l'offre d'énergie électrique nécessite un fonctionnement haute cadence des commandes de dispatching au sein de l'architecture de contrôle du micro-réseau. On peut utiliser un système de gestion énergétique (EnMS) pour contrôler et gérer l'énergie au cœur d'un micro-réseau. Le système de gestion de l'énergie ajuste la consommation et la production de façon dynamique, et vice versa, conjointement avec le stockage. La Fig. 67 donne une représentation schématique d'un système de gestion de l'énergie à l'échelle du parc d'activités.

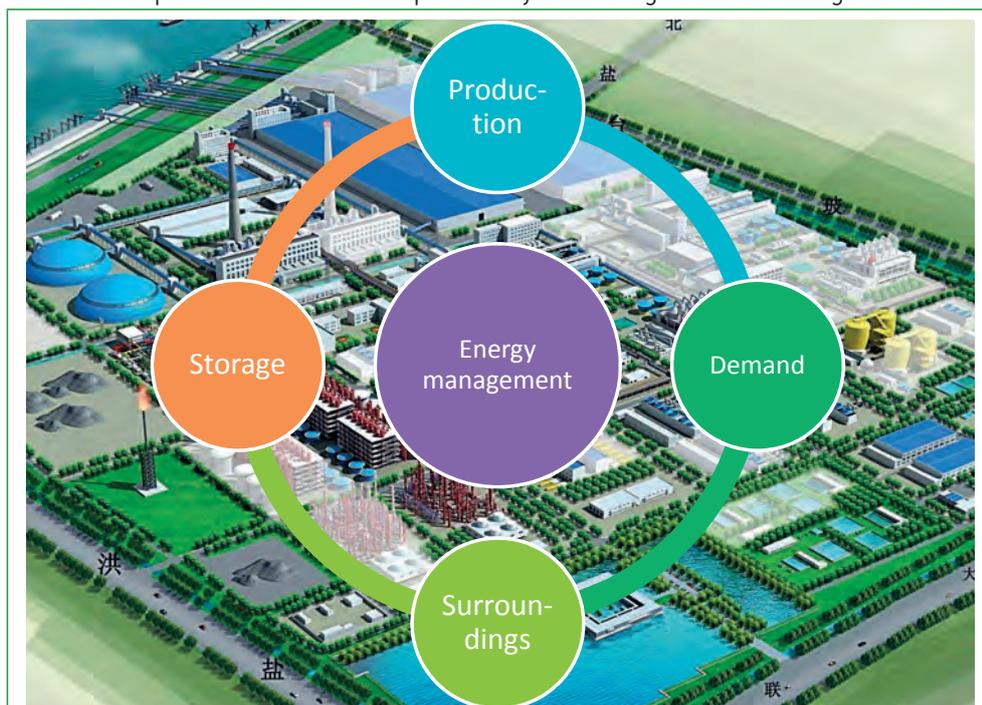


Fig. 67: Gestion de l'énergie sur les parcs d'activités

8.3.1 Système de gestion de l'énergie

Le diagramme de la figure 68 représente un système de gestion énergétique d'un micro-réseau. Le bloc de gestion en temps réel reçoit les données actuelles et prévisionnelles relatives aux différentes charges, aux unités RED et aux informations du marché. Une fois l'information reçue, le bloc de gestion pratique un contrôle ajusté du flux énergétique, de la production de sortie, du niveau de consommation du réseau électrique principal, des sources dispatchables et des charges maîtrisables .

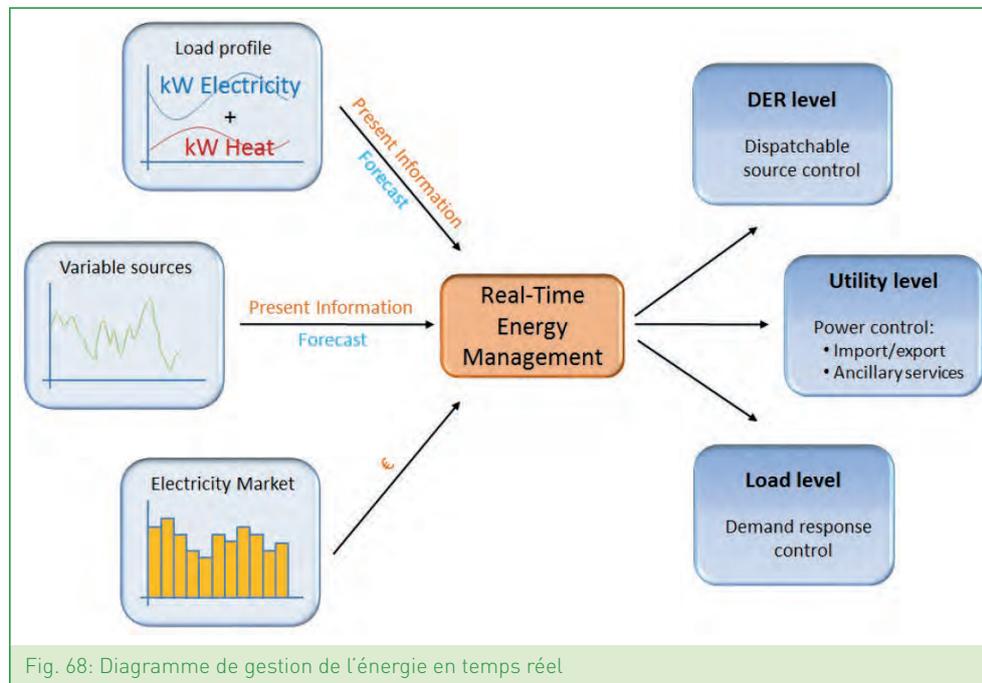


Fig. 68: Diagramme de gestion de l'énergie en temps réel

On peut classer les services offerts par le système de gestion de l'énergie en trois catégories:

8.3.1.1 Au niveau des unités RED

L'EnMS distribue la puissance entre les différentes unités RED afin de se calquer sur le profil de la demande d'énergie et de contrôler la tension et la fréquence. Lorsque des instabilités viennent occasionnellement perturber le micro-réseau, l'EnMS réagit de façon dynamique et vient restaurer la tension et la fréquence. Conformément à la stratégie de contrôle du micro-réseau, la puissance de sortie de la SER sera optimisée et le coût et les émissions de CO₂ liés à la production d'énergie à base de combustibles fossiles seront réduits. En ce sens, il est important de tenir compte de certains paramètres, tels que les limitations de la puissance de sortie, les intervalles à respecter pour l'entretien, les temps de mise en service, etc.

En effet, l'efficacité opérationnelle du micro-réseau dépend essentiellement de la planification des opérations de stockage. Extraire au maximum les énergies renouvelables lorsqu'elles sont disponibles, et les utiliser à la fois durant les périodes en cours mais également les périodes à venir grâce aux unités de stockage, contribuera à restreindre le coût et les émissions en diminuant la quantité d'énergie produite par les générateurs thermiques à base de combustibles fossiles. Le stockage peut également servir à aplanir les pics de consommation ou, s'il s'agit d'une opération de micro-réseau dans une optique de profit, l'énergie peut être achetée (et stockée) auprès du réseau électrique principal lorsque le tarif est favorable.

8.3.1.2 Du point de vue utilité

En mode connecté, le réseau électrique principal est sensé absorber ou distribuer le différentiel entre l'alimentation et la demande en électricité au sein du micro-réseau. Lorsque l'échange de puissance entre le réseau électrique principal et le micro-réseau est réduit du fait de stratégies opérationnelles ou d'obligations contractuelles, on peut planifier la charge et la production au sein du micro-réseau. Afin de contrôler l'importation de l'énergie depuis ou son exportation vers le réseau électrique principal, chaque unité RED doit fonctionner selon un niveau de puissance fixé à l'avance par le système de gestion de l'énergie. En minimisant l'importation d'énergie, on évite les pics de fréquentation (écrêtage) et on observe, de fait, une importante

réduction des coûts. Le système de gestion énergétique d'un micro-réseau fournit également des prestations accessoires, comme l'équilibrage de la puissance et la régulation de tension.

8.3.1.3 Au niveau de la charge

En mode autonome, lorsqu'aucun réseau électrique principal n'est disponible, la puissance de sortie des unités RED doit couvrir la demande totale d'électricité (charge) du micro-réseau. Lorsque la production locale s'avère insuffisante pour répondre à la demande totale, il convient d'appliquer une stratégie de gestion axée sur la demande. Le système de gestion énergétique du micro-réseau assure un service de gestion axée sur la demande (GAC), qui englobe notamment la réponse à la demande (RD). La RD vise à instaurer des actions et méthodes en vue de réduire, aplanir ou déplacer les pics de pointe. La GAC se rapporte à toutes les interventions sur les profils de demande, destinées à modifier les horaires, le niveau de la demande instantanée ou la consommation électrique totale. De nombreuses méthodes peuvent être suivies par les industries et les installations en matière de gestion de la charge.

Délestage

En cas d'insuffisance au niveau de l'approvisionnement électrique du micro-réseau, la demande totale doit être rapidement réduite afin d'éviter que l'ensemble du micro-réseau devienne instable. Le délestage correspond à la déconnexion volontaire de certaines parties du micro-réseau. Cette méthode est très directe mais fait partie intégrante de la gestion des situations d'urgence au niveau des micro-réseaux.

Déplacement de la charge

Selon cette technique, les charges sont rééchelonnées de manière à les déplacer depuis les périodes de pointe vers les périodes creuses. Lorsqu'on déplace les charges sur une période définie, cela ne modifie pas le volume de la demande énergétique. Au contraire, cette méthode permet d'augmenter ou de réduire le volume de la demande sur une certaine période, mais la consommation totale d'énergie sur l'ensemble de la période demeure inchangée. Il n'est pas toujours possible de rééchelonner ou de déplacer une charge, selon qu'elle est prioritaire ou non. La figure 69 présente un exemple de situation dans laquelle les pics peuvent être déplacés dans le temps.



Fig. 69: Écrêtage

Contrôle de la charge active

Afin de répondre à la demande locale d'électricité, les charges de micro-réseaux seront ajustées à la puissance générée localement. La méthode du contrôle de la charge active ajuste le niveau des charges non prioritaires.

8.3.2 Architecture des systèmes de contrôle

Il existe, au cœur de l'architecture des systèmes de gestion de l'énergie d'un micro-réseau, deux modes de contrôle différents, à savoir le contrôle distribué ou le contrôle décentralisé. Ces deux types de contrôle comptent trois niveaux hiérarchiques, tels que présentés dans la figure 70.

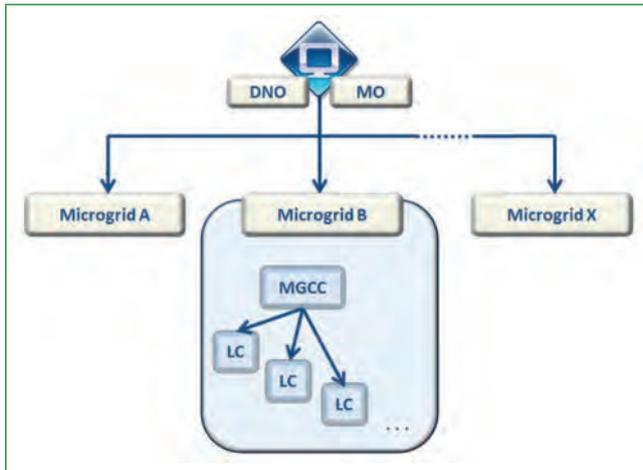


Fig. 70: Architecture du système de contrôle d'un micro-réseau

- 1) le gestionnaire du réseau de distribution (GRD) et l'opérateur de marché (OM)
- 2) contrôleur central de micro-réseau (CCM)
- 3) contrôleurs locaux (CL) couplés à chacune des unités RED et/ou charge

Le gestionnaire du réseau de distribution (GRD) est responsable de l'acheminement de l'électricité dans les zones de moyenne à basse tension, pouvant compter plus d'un micro-réseau. L'opérateur de marché (OM) intervient au même niveau et est responsable du fonctionnement du marché. Le GRD et l'OM appartiennent tous deux au réseau électrique principal et non pas au micro-réseau. Le contrôleur central de micro-réseau (CCM) fait office de lien entre les GRD/OM et le micro-réseau et est en charge de l'optimisation du fonctionnement du micro-réseau en assurant la coordination des contrôleurs locaux (CL). Le contrôleur local (CL) est capable d'un certain degré d'intelligence et permet de contrôler les unités RED et les charges maîtrisables au cœur du micro-réseau. Lors d'une opération centralisée, chaque LC reçoit des points de consigne de la part des CCM concernés, alors que pour une opération décentralisée, les décisions sont prises localement. La figure 71 compare l'architecture centralisée et décentralisée.

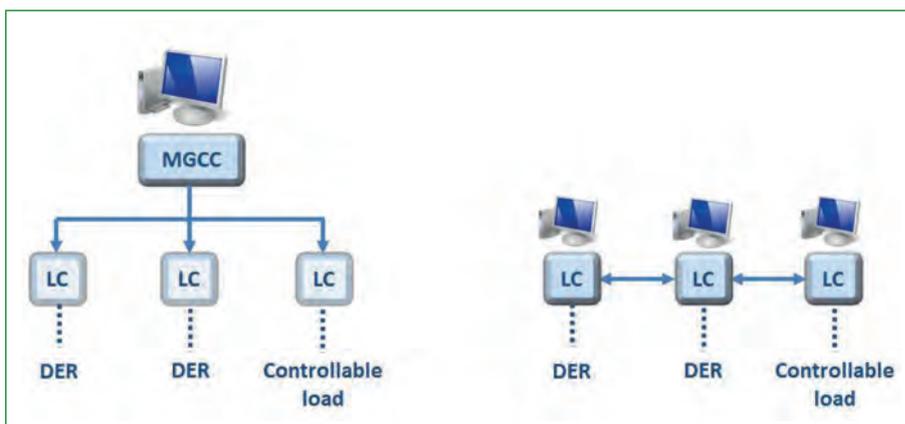


Fig. 71: Systèmes de gestion énergétique: centralisés vs. distribués

Dans les deux applications, certaines décisions sont prises uniquement au niveau local, comme par exemple la régulation de la tension. Les systèmes de gestion énergétique centralisés ont l'avantage d'afficher un bon rendement mais posent le problème du point de défaillance unique. Ce système requiert un contrôleur central très puissant et dispose d'une infrastructure de communication laborieuse, comptant des connexions entre le MCC et chacune des unités composant le réseau. Le problème du point de défaillance unique peut

être évité avec un système de gestion énergétique décentralisé. L'infrastructure de communication d'un système décentralisé est plus souple, grâce à la fonction plug-and-play des unités PD et des charges. Au niveau des parcs industriels, les charges et unités PD locales appartiennent à différents propriétaires et les décisions sont prises localement et de façon indépendante. Ainsi, le contrôle décentralisé s'avère être une solution efficace pour les parcs d'activités.

8.4 Sources

Sites internet

SkyGrid	www.vermontbiz.com/news/june/vermonts-northern-power-nps-100-wind-turbine-powers-microgrid-hawaii
Explications sur les micro-réseaux	www.science.smith.edu/~jcardell/Courses/EGR325/Readings/Microgrid_UK.pdf

Références

- CHOWDHURY, S. & CROSSLEY, P. 2009. *Microgrids and Active Distribution Networks*, Institution of Engineering and Technology.
- DIMEAS, A. L. & HATZIARGYRIOU, N. D. 2005. *Operation of a multiagent system for Microgrid control*. *Ieee Transactions on Power Systems*, 20, 1447-1455.
- JAYAWARDENA, A. V., MEEGAHAPOLA, L. G., PERERA, S. & ROBINSON, D. A. 2012. *Dynamic Characteristics of a Hybrid Microgrid with Inverter and Non-Inverter Interfaced Renewable Energy Sources: A Case Study*. *2012 Ieee International Conference on Power System Technology (Powercon)*.
- KATIRAEI, F., IRAVANI, R., HATZIARGYRIOU, N. & DIMEAS, A. 2008. *Microgrids management*. *Ieee Power & Energy Magazine*, 6, 54-65.
- OLIVARES, D. E., CANIZARES, C. A. & KAZERANI, M. 2011. *A Centralized Optimal Energy Management System for Microgrids*. *2011 Ieee Power and Energy Society General Meeting*.
- PALENSKY, P. & DIETRICH, D. 2011. *Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads*. *Ieee Transactions on Industrial Informatics*, 7, 381-388.
- VANDOORN, T. 2013. *Voltage-based Droop Control of Converter-interfaced Distributed Generation Units in Microgrids*. PhD, Université de Gand.

LOW CARBON

Chapitre 9

Parc d'activités: projets nouveaux et réfections

PARK

MANUAL

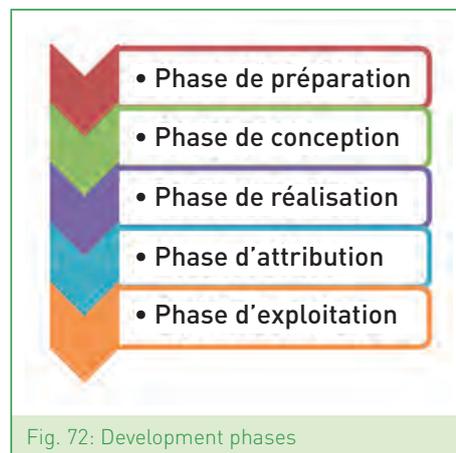
9 Parc d'activités: projets nouveaux et réfections

9.1 Développement d'un nouveau parc d'activités bas carbone

Le présent paragraphe décrit les différentes phases intervenant dans le cadre du développement d'un nouveau parc d'activités et traite de l'intégration systémique des mesures énergétiques à faible émission de carbone tout au long du processus.

9.1.1 Phases de développement

Une fois l'emplacement du futur parc d'activités choisi, cinq phases se succèdent au niveau du processus d'élaboration (voir Fig. 72). La première phase est la **phase de préparation**: elle consiste à définir le rôle que jouera le parc d'activités au niveau de la région, à cartographier les potentiels sociaux-économiques du terrain et à procéder à une analyse financière du projet. Dans l'intervalle, un partenariat est mis en place, les tâches et les responsabilités sont réparties entre les différentes parties prenantes. Cette phase est suivie par la **phase de conception**: on décide de l'emplacement des infrastructures et des lots commerciaux, en tenant compte des contraintes physiques et réglementaires, des mesures prises en matière d'économie bas carbone et des activités économiques susceptibles de s'y installer. Ensuite vient la **phase de réalisation**: elle comprend la construction et le suivi des infrastructures, ainsi que la préparation des lots. On peut, lors de cette étape, construire des bâtiments partagés. Durant la **phase d'attribution**, les lots de construction et les modules commerciaux sont vendus, mis en crédit-bail ou loués auprès des entreprises candidates qui ont été sélectionnées, selon des conditions et orientations exprimant les objectifs qualité du parc d'activités. Durant la **phase d'exploitation**, lorsque les entreprises sont en activité, la gestion du parc, pour être efficace, doit s'assurer que les objectifs qualité sont atteints et maintenus, en procédant à une évaluation, un ajustement constants et en prenant des mesures concrètes. Cette phase se caractérise également par une répétition des phases antérieures, à chaque fois qu'une nouvelle entreprise rejoint le parc, que l'infrastructure est étendue ou améliorée ou lorsque les objectifs qualité sont modifiés.



9.1.2 Intégration des mesures à faible émission de carbone dans le cadre du développement d'un parc d'activités

Les mesures à faible émission de carbone identifiées dans le cadre du présent document doivent être intégrées tout au long des phases de développement du parc d'activités. Les paragraphes à suivre décrivent les actions qu'il est nécessaire de prendre afin d'y parvenir. Un résumé de ces actions figure au Tableau 19 et au Tableau 20. Le développement d'un parc d'activités bas carbone réclame une interaction soutenue entre les différentes parties prenantes (le promoteur et le gestionnaire du parc d'activités, le consultant en énergie, les autorités, les entreprises, l'entrepreneur et l'architecte). Le promoteur du parc joue un rôle essentiel lors des phases de préparation, conception, réalisation et attribution, alors que le gestionnaire du parc devra, lui, s'impliquer durant la phase d'exploitation.

9.1.2.1 Phase de préparation

Initiation du projet

Lors de la phase de préparation, le promoteur du parc crée un réseau regroupant tous les intervenants et lance le processus de développement. Il définit l'orientation économique (type d'activités économiques et taille des entreprises) ou le thème du parc, dans le respect des orientations et selon la vision définie dans le cadre des plans régionaux et locaux d'aménagement du territoire. Une analyse de marché est réalisée afin d'identifier quels types d'entreprises sont susceptibles d'être attirées par le projet. Les ambitions et cibles en

matière d'efficacité énergétique, de production d'énergies renouvelables et de réduction des émissions de carbone sont alors fixées, sur la base des politiques nationales et locales relatives à l'énergie et au climat. Tout au long du processus de développement, le promoteur et le gestionnaire du parc vérifient si ces objectifs sont atteints. On décide ensuite quelle méthode d'attribution sera utilisée: vente ou mise en crédit-bail de lots, de bâtiments ou de modules. Un consultant en énergie doit être nommé afin de suivre et d'accompagner le processus de développement. De plus, des dossiers de demande de subventions éventuelles sont déposés (voir 3.7 pour les subventions octroyées pour le développement des parcs d'activités bas carbone en Flandre).

Analyse du terrain

Les réglementations en vigueur en matière d'aménagement du territoire et le plan des infrastructures existantes sont consultés et on procède à une première évaluation de la surface totale disponible pour les bâtiments.

Estimation de la consommation énergétique

Une estimation approximative des profils énergétiques des types d'entreprises identifiées lors de l'analyse de marché est réalisée.

Évaluation du potentiel en termes d'énergies renouvelables

On vérifie la disponibilité de sources d'énergies renouvelables (voir 6.5) sur le terrain, en évaluant les données climatiques (ensoleillement vitesse du vent) et les données géotechniques. Ensuite, le potentiel de production d'énergies renouvelables spécifique au terrain fait l'objet d'une estimation globale, en tenant compte des caractéristiques techniques des technologies énergétiques, des réglementations en matière d'aménagement du territoire et des constructions qui s'appliquent pour la zone du parc d'activités. Il se peut, par exemple, que les réglementations en matière d'aménagement du territoire n'autorisent pas l'implantation d'éoliennes sur le terrain.

Évaluation de la faisabilité d'un cluster énergétique

Sur la base d'une estimation des profils énergétiques, on détermine la possible création d'un cluster énergétique entre les entreprises et la région. Il sera tenu compte des opportunités de mise en place de clusters énergétiques lors de la phase de conception. Le chapitre 7 décrit de façon détaillée la notion de cluster énergétique, y compris l'échange de chaleur résiduelle via des liens thermiques ou des réseaux de chaleur, l'échange de ressources, la production collective d'énergie et les services collectifs liés à l'énergie.

9.1.2.2 Phase de conception

Performance énergétique des bâtiments: exigences en matière de conception

Lors de la phase de conception, les orientations et exigences en matière de performance énergétique des bâtiments sont définies. Les entreprises qui s'installent sur le parc d'activités doivent se conformer à ces exigences en implémentant une série de mesures à faible émission de carbone. Ces mesures concernent l'aménagement des espaces sur le parc d'activités, l'aménagement du bâtiment, l'enveloppe du bâtiment et les installations techniques (voir 5.4.1). Le recours à des technologies individuelles de production d'énergies renouvelables, telles que les systèmes photovoltaïques, peut également être imposé. La structure du bâtiment et les installations techniques doivent ainsi pouvoir s'adapter à ces technologies. Dans le cas de l'installation d'un réseau de chaleur, les entreprises peuvent être tenues de se connecter au réseau et d'installer des systèmes de chauffage basse température. Ces exigences en matière de conception s'appliquent également aux bâtiments construits par le promoteur du parc.

Performance énergétique des process: exigences en matière de conception

Un ensemble d'orientations et d'exigences est élaboré au niveau de l'efficacité énergétique des process. Les entreprises candidates devront se conformer à ces exigences en implémentant une série de mesures à faible émission de carbone concernant les process (voir 5.4.4). Ces mesures comprennent l'étude des procédés de production alternatifs, la conception intelligente et efficace des process thermodynamiques, l'installation d'équipements plus performants, la mise en place d'un système de contrôle de process pour assurer le dispatching des différentes unités de production, l'installation d'un système de suivi, etc.

Facilitation du cluster énergétique dans le cadre du plan d'aménagement du parc d'activités

Dans le plan d'aménagement du parc d'activités, le promoteur du parc doit prévoir des corridors et réserver des espaces pour la réalisation de projets de clusters énergétiques (voir 7), comme la production collective d'énergie et l'échange de chaleur résiduelle entre les entreprises via des liens thermiques ou des réseaux de chaleur. Les clusters physiques (lots adjacents) d'entreprises présentant des profils énergétiques complémentaires (voir) doivent également être favorisés. D'un autre côté, le plan d'aménagement doit prévoir suffisamment de flexibilité au niveau de l'infrastructure du système énergétique afin de pouvoir s'adapter à la variation du taux d'occupation du parc d'activités, tout en se conformant aux réglementations en matière de construction et d'aménagement du territoire.

Calcul du potentiel en termes d'énergies renouvelables

L'estimation du potentiel de production d'énergies renouvelables spécifique au terrain peut être affinée en tenant compte du plan d'aménagement, des exigences en matière de conception des bâtiments, des contraintes techniques et des restrictions en termes d'aménagement du territoire. Citons un exemple de contrainte technique: la capacité locale du réseau électrique peut limiter l'injection d'électricité renouvelable produite localement. Le potentiel de production d'énergies renouvelables dans les environs du parc d'activités doit également être analysé.

Plan bas carbone

Le promoteur du parc élabore un plan énergétique bas carbone détaillant la façon dont les mesures à faible émission de carbone portant sur les bâtiments et les process sont mises en œuvre. Dans le contexte des subventions flamandes, il s'agit du plan de neutralité carbone (voir 3.7).

Modélisation du système énergétique

Lors de la phase de conception, on peut dessiner une ébauche du système énergétique du parc d'activités sur la base d'un modèle énergétique techno-économique (voir 4.5). Pour cela, la consommation énergétique sur le parc d'activités doit être estimée en partant des types d'entreprises et d'activités identifiées lors de l'analyse de marché, de la surface disponible au sol au sein du parc d'activités, des prescriptions relatives à la conception des bâtiments et du potentiel de production d'énergies renouvelables spécifique au terrain. Ce modèle peut être ajusté lors de la phase d'attribution, dès que les entreprises ont été sélectionnées.

9.1.2.3 Phase de réalisation

Durant la phase de réalisation, l'infrastructure dédiée à la production et la distribution d'énergie collective (gaz, électricité, chaleur) est construite; dans le cas contraire, des espaces sont réservés pour des installations futures ou de possibles extensions. Les bâtiments (partagés) sont construits s'ils sont prévus par le promoteur du parc d'activités et vendus ou mis en crédit-bail auprès des entreprises candidates. Le promoteur du parc recherche des investisseurs, désigne un architecte, examine et sélectionne les entrepreneurs, fournit les plans nécessaires et dépose les demandes de permis et licences. On peut établir un business plan pour la production collective d'énergie (voir 7.5). Durant cette étape, on procède à la formation du gestionnaire du parc d'activités, qui sera responsable de la gestion de l'ensemble lors de la phase d'exploitation. Afin de préparer la phase d'attribution, le promoteur crée un plan d'attribution, détaillant les modalités et conditions auxquelles les entreprises candidates doivent se soumettre durant les phases d'attribution et d'exploitation (voir 9.1.3).

9.1.2.4 Phase d'attribution

Durant la phase d'attribution, le promoteur organise des ateliers, des réunions, des sessions d'informations ainsi que des campagnes visant à inciter les entreprises candidates à s'installer sur le parc d'activités. Lors de ces manifestations, le degré d'ambition bas carbone ainsi que les conditions d'attribution sont clairement affichés. Les entreprises candidates sont étudiées et, dans le cas d'un avis favorable, les lots sont attribués. Lors de l'attribution des lots aux entreprises, il est tenu compte de leurs profils énergétiques et des opportunités de clusters énergétiques qu'elles offrent. Par exemple, les entreprises présentant des besoins de chauffage devront être situées sur des lots disposant d'une connexion au réseau de chaleur, ou sinon sur des lots permettant l'installation d'une pompe à chaleur géothermique. Les entreprises qui émettent de la chaleur résiduelle devront se trouver à proximité des entreprises requérant de la chaleur à vocation industrielle. Le promoteur du parc peut également agir pour attirer les entreprises ayant des profils énergétiques complémentaires, de façon à ce que les opportunités de mise en place de clusters énergétiques soient favorisées

et confirmées. Durant cette étape, les bâtiments sont construits conformément aux exigences relatives à la conception des édifices et des process (conditions d'attribution) décrites dans le plan d'attribution. Dès lors qu'une entreprise candidate est sélectionnée, on vérifie si elle remplit lesdites conditions. Le promoteur du parc peut mettre un consultant en énergie à la disposition des entreprises à des fins de conseils et d'assistance.

9.1.2.5 Phase d'exploitation

Le promoteur du parc organise des sessions d'informations portant sur l'efficacité énergétique des bâtiments et des process, encourage les audits énergétiques et les campagnes de suivi. Les opportunités de clusters énergétiques sont, de plus, activement recherchées et encouragées, par exemple en organisant des ateliers destinés aux entreprises disposant de profils énergétiques complémentaires. On incite les entreprises à installer un système de gestion énergétique pour avoir un contrôle actif sur leurs process et leur consommation d'électricité (voir 5.3.4 et 8.3). Durant la phase d'exploitation, le promoteur vérifie si chacune des entreprises répond bien aux exigences en matière d'attribution et si les ambitions bas carbone du parc d'activités sont satisfaites. De ce fait, les entreprises doivent suivre leur consommation d'énergie ainsi que les émissions de carbone y associées et soumettre les données relatives aux émissions au promoteur du parc d'activités.

En Flandre, le promoteur du parc d'activités doit garantir une consommation d'électricité carboneutre sur l'ensemble du parc s'il veut recevoir des subventions. Cette condition peut être remplie en achetant ou en produisant de l'électricité verte, ou encore en compensant les émissions de carbone issues de l'utilisation d'électricité provenant de sources non renouvelables. L'électricité à base de sources non renouvelables peut être estampillée verte grâce à l'achat d'un montant correspondant de garanties d'origine (voir 3.7). Dans certains cas, le gestionnaire du parc peut se voir attribuer la gestion des installations de production collective d'énergie. La rémunération du gestionnaire du parc peut être assurée, soit par les revenus issus de la production d'énergie, soit par les contributions financières des entreprises.

9.1.3 Conditions d'attribution

La politique d'attribution appliquée par le promoteur du parc traduit les objectifs d'énergie bas carbone au niveau des entreprises candidates. Le plan d'attribution résume les modalités et conditions auxquelles les entreprises doivent se soumettre sur le parc d'activités. Ces conditions d'attribution peuvent comporter des obligations relatives aux thèmes suivants :

- **La consommation d'énergie carboneutre :**
Dans le contexte de la subvention octroyée par la Flandre, la consommation d'électricité carboneutre est imposée, durant la phase d'exploitation, aux entreprises installées sur le parc d'activités (voir 3.7). Le gestionnaire ou le promoteur du parc d'activités vérifie, tous les ans, que cette condition est bien remplie. Par conséquent, les entreprises doivent déclarer le volume d'électricité soumis à la neutralité carbone et démontrer dans quelle mesure la condition est remplie. Il est interdit de produire et acheter de l'électricité grise par le biais des installations sur le parc d'activités. La neutralité carbone peut s'étendre à la production et l'utilisation de la chaleur pour le chauffage des locaux, la production d'eau chaude sanitaire ou le chauffage des process.
- **Les exigences en matière de conception des bâtiments et des process :**
Les objectifs en matière de performance énergétique des bâtiments et des process, ainsi que les mesures à mettre en œuvre pour les atteindre, sont imposés (voir 9.1.2.2, 5.4.1 et 5.4.4). Des niveaux plus élevés en termes d'énergie et d'isolation que ceux dictés par la réglementation nationale et régionale peuvent être imposés à l'échelle du parc d'activités. Il peut également être demandé que les mesures à faible émission de carbone mises en œuvre se situent au-dessus d'un certain taux de rentabilité interne (TRI) ou en-deçà d'un délai de récupération défini. Le bâtiment et ses installations techniques peuvent également, sur demande, être conçus de façon à pouvoir accueillir des technologies de production d'énergies renouvelables ou à permettre la connexion à un réseau de chaleur.
- **Le conseil et le contrôle au moyen d'un scan énergétique**
Le promoteur du parc peut exiger des entreprises qu'elles candidatent pour et fassent réaliser un scan énergétique lors de la phase de conception de leur bâtiment. Ce scan permet de vérifier si les

exigences en matière de conception sont remplies et d'identifier les mesures à faible émission de carbone devant être implémentées. Pour cela, l'entreprise doit fournir des plans du bâtiment, de l'installation technique couplée à l'utilisation du bâtiment et des installations de production. Il peut être demandé de revoir le scan lorsque le bâtiment est modifié.

- **Système de suivi énergétique**

Le système de suivi énergétique facilite la maîtrise de la consommation d'énergie et des émissions de carbone et compte, de ce fait, parmi les exigences requises.

- **Reporting**

Pour permettre au promoteur du parc d'activités de s'assurer que les entreprises remplissent bien les conditions d'attribution, ces dernières doivent fournir un certain nombre de rapports, tels qu'un bilan de la performance énergétique du bâtiment (voir 5.4.2), une description de l'installation d'éclairage, un rapport de carboneutralité, les plans du bâtiment, les plans des installations techniques et des installations de production.

- **Non-conformité**

Si les entreprises ne se conforment pas à la politique d'attribution, une pénalité financière peut leur être imposée par le promoteur du parc d'activités.

9.2 Réfection bas carbone d'un parc d'activités existant

L'organisation d'une réfection bas carbone d'un parc d'activités suit le même processus que le développement d'un nouveau parc, à la différence qu'elle ne compte pas de phase d'attribution car on considère qu'aucune nouvelle entreprise ne doit rejoindre le parc. L'avantage d'une réfection bas carbone est que les profils de consommation énergétique des entreprises existantes peuvent être estimés via des audits énergétiques ou des campagnes de suivi énergétique. De ce fait, le système énergétique peut être conçu de manière plus précise. Un désavantage: rénover des bâtiments existants peut s'avérer plus complexe que de construire du neuf. Il est également plus difficile d'adapter une infrastructure énergétique existante car les entreprises doivent pouvoir poursuivre leurs activités sans être perturbées. Une solution consiste à créer un nouveau système énergétique, tout en maintenant le système existant en activité, sous réserve que les entreprises utiliseront le nouveau. Le Tableau 19 et le Tableau 20 résument les différences observées entre la réfection et la construction neuve.

9.3 Combinaison de la réfection et de l'expansion bas carbone d'un parc d'activités déjà existant

Dans de nombreux cas, la réfection bas carbone d'un parc d'activités existant s'accompagne d'une extension bas carbone du parc, ou du réaménagement d'une partie du complexe qui s'avère obsolète. Dans ce cas, le processus implique une combinaison des deux étapes d'organisation: pour le développement de la nouvelle zone du parc, c'est la partie gauche du Tableau 19 et du Tableau 20 qui s'applique, alors que pour la réfection de la zone existante, c'est la partie droite. Bien entendu, le système énergétique approvisionne l'ensemble du parc en énergie.

9.4 Suivi du parc d'activités en matière de durabilité

La ville de Gand a créé une Mesure de Durabilité pour les Sites Économiques. Le terme «sites économiques» regroupe les parcs d'activités, les parcs scientifiques ainsi que les zones dédiées au commerce, aux loisirs, aux bureaux, au transport et à la distribution. La Mesure de Durabilité repose sur la méthodologie de la BREEAM et a été adaptée et étendue pour tenir compte du contexte de la politique locale. Cet instrument permet de contrôler le caractère durable du développement d'un site économique et offre des conseils au promoteur. La durabilité est suivie tout au long des différentes phases de développement, en attribuant un score à plus de 100 domaines définis, répartis en 10 catégories thématiques. L'une des catégories évalue les mesures à faible émission de carbone prises sur le site. Au final, le score de chaque catégorie est présenté sous la forme d'un diagramme à barres. Les phases de développement définies dans le cadre de la Mesure de Durabilité (voir Tableau 21) montrent des similitudes avec les phases de préparation et de conception décrites au 9.1.1. Pour plus d'informations sur la Mesure de Durabilité des Sites Économiques, consulter le document explicatif.

Tableau 21: phases de développement définies par la Mesure de Durabilité pour les Sites Économiques

Phases de développement	Mesure de Durabilité
1 Plan de développement	
1.1 Analyse de l'emplacement et du site / Stratégies collectives à macro échelle	
1.2 Plan de développement du site	
1.3 Politique d'attribution	Première évaluation
2 Réalisation des parties collectives du plan de développement	
2.1 Ébauche de modèle	
2.2 Préconception	Seconde évaluation
2.3 Plan d'implantation et spécifications techniques	
2.4 Achèvement préliminaire	Évaluation finale
2.5 Préparation de la gestion du site	

9.5 Études de cas

Les parcs d'activités bas carbone visés au projet ACE sont des projets de développement car les terrains n'accueillent pas encore de bâtiments actifs.

- Parc d'activités Wiedauwkaai/Wondelgemse Meersen (voir 10.3)
- The Loop (voir 10.4)
- Parc d'activités Roeselare West (voir 10.5)
- Parc d'activités De Spie (voir 10.11)
- Parc d'activités Veurne (voir 10.12)
- Sucrierie de Furnes (voir 10.8)

9.6 Sources

Références

MAES, T. 2011. *Reductie van CO₂-emissies op bedrijventerreinen in Vlaanderen door energiemanagement en energieplanning*. Université de Gand.

MILIEUDIENST STAD GENT 2014. *Duurzaamheidsmeter voor economische sites: Leidraad en meetinstrument voor de inrichting van nieuwe economische sites en de herinrichting van bestaande economische sites*. Ville de Gand.

LOW

CARBON

Chapitre 10

Études de cas

BUSINESS

PARK

MANUAL

10 Études de cas

10.1 Programme d'orientation sur la gestion de l'énergie

10.1.1 Objectif

La ville de Gand a lancé un programme d'orientation sur la gestion de l'énergie à destination des entreprises, suite à deux observations importantes. Tout d'abord, les Accords sur la Politique Énergétique n'encouragent que les mesures d'efficacité énergétique dans les entreprises énergivores, présentant une consommation d'énergie primaire annuelle supérieure à 0,1 PJ (voir 5.4.5). De ce fait, un grand nombre d'entreprises affichant une consommation énergétique plus basse, mais néanmoins importante, sont moins attirées par la gestion efficace de l'énergie. Dans un second temps, après qu'un audit énergétique ait été réalisé au sein d'une entreprise, il arrive souvent que les mesures proposées ne soient appliquées. La raison tient au fait que l'énergie ne fait pas partie du cœur de métier de l'entreprise, que les coûts énergétiques sont sous-estimés ou que le temps, le personnel et l'expertise manquent. De cette façon, on passe à côté des éventuelles économies d'énergie, qui pourraient générer de réels profits. Le programme d'orientation sur la gestion de l'énergie propose un audit énergétique aux entreprises intéressées, suivi d'un soutien continu pendant un an maximum. L'objectif est de détecter et de mettre en œuvre des mesures énergétiques rentables et d'intégrer de manière permanente la gestion de l'énergie au sein de la politique de l'entreprise.

10.1.2 Contenu et méthode

Quinze entreprises ont demandé à participer au programme et sont suivies durant un an par un consultant expert en énergie nommé par la ville de Gand. Les honoraires du consultant s'élèvent à 5 000 €, dont 10% sont payés par l'entreprise. Chaque participant doit signer une déclaration listant les engagements suivants:

1. inclure l'objectif de réduction de 20% de la consommation d'énergie primaire (par rapport à l'année de mise en place du programme d'orientation) dans la mission de l'entreprise d'ici 2020;
2. avaliser les objectifs de l'alliance pour le climat de la ville de Gand en signant la charte;
3. améliorer la comptabilité de l'énergie et favoriser la transition vers un système de suivi énergétique;
4. échanger les données relatives à la consommation énergétique dans le cadre du projet ACE;
5. élaborer un plan énergétique et implémenter des mesures énergétiques présentant un délai de récupération ≤ 2 ans;
6. rendre compte des mesures énergétiques mises en œuvre sur demande de la ville de Gand (jusqu'à 4 ans après la fin du programme d'orientation);
7. nommer un coordinateur en énergie (à temps partiel) au sein de l'entreprise.

Le programme d'orientation compte sept grandes étapes. Un audit est réalisé dans un premier temps, suivi par une évaluation de la faisabilité financière (délai de récupération, TRI) ainsi que de la réduction des émissions de carbone liées aux opportunités identifiées. Ensuite, un plan énergétique est élaboré et validé par la Direction et on crée une fonction de helpdesk. On améliore également le système de comptabilité énergétique (à titre préparatoire, en vue de l'installation d'un système de suivi énergétique certifié ISO 50001, voir 5.3.1). Le programme se concentre à la fois sur les mesures énergétiques liées au bâtiment et celles liées aux process.

10.1.3 Entreprises participantes

Toutes les entreprises dont la consommation annuelle d'énergie primaire est comprise entre 1 et 27 GWh (sur un site) dans le grand périmètre de Gand, y compris le port de Gand, sont ciblées.

Les quinze entreprises participantes montrent une répartition uniforme sur la zone ciblée et œuvrent dans les domaines d'activités suivants:

- automobile
- alimentation/stockage
- textile
- béton
- construction métallique/moteurs
- alimentation animale
- traitement des plastiques
- impression
- secteur hospitalier
- lubrifiants/stockage
- recherche

Ce sont essentiellement des bâtiments industriels et les espaces de bureaux qui y sont associés, destinés à la fabrication, le traitement, le stockage ou la manipulation de produits, mais il y a également des bâtiments hospitaliers et des laboratoires. Ils représentent, conjointement, une consommation d'énergie primaire de 119 GWh et des émissions de dioxyde de carbone de 28 ktonnes par an.

10.1.4 Mesures identifiées en matière d'efficacité énergétique

Dans le cadre du programme d'orientation, diverses opportunités ont été détectées en matière d'efficacité énergétique. Les mesures les plus fréquemment identifiées concernent:

- l'air comprimé (détection et colmatage des fuites d'air, transition vers des solutions alternatives)
- le *relighting*
- l'isolation (enveloppe du bâtiment, conduites de vapeur et d'eau, accumulateurs thermiques)
- la récupération de chaleur (des eaux industrielles usées, des séchoirs, du condensat, des cycles de refroidissement)
- une meilleure gestion de l'ouverture et de la fermeture des portes
- la réparation des capteurs de vapeur endommagés
- (re)localisation des déstratificateurs et des générateurs d'air chaud

Un suivi (air comprimé, thermographie, courant de crête), un meilleur entretien et l'adoption de nouveaux comportements font partie des mesures fréquemment proposées. C'est en installant des économiseurs sur les chaudières, en récupérant la chaleur résiduelle sur les compresseurs, en ajustant la configuration et l'emplacement des générateurs d'air chaud et des déstratificateurs, en fermant les portes lorsque les générateurs d'air chaud fonctionnent, en utilisant correctement les portes à enroulement rapide, en isolant les réservoirs de stockage et en réparant les revêtements de toit qu'on enregistre les plus fortes réductions en termes d'émissions de carbone. Au vu de la complexité de ces mesures, plusieurs recommandations ont été faites pour mener des études complémentaires hors du champ d'application du programme d'orientation, comme notamment des études détaillées sur la récupération de chaleur.

10.1.5 Évaluation

On estime que les économies d'énergie résultant de la mise en œuvre de mesures à gains rapides (avec période de récupération ≤ 2 a) détectées par le programme d'orientation représentent environ 10%. Si les mesures les moins rentables étaient également mises en œuvre, cela pourrait aller jusqu'à 20%. À noter que les investissements offrant des délais de récupération compris entre 2 et 6 ans sont rarement confirmés car ils passent après les investissements destinés aux processus de fabrication. La force du programme d'orientation sur le plan de la gestion énergétique est qu'il répond à la demande d'un grand nombre d'entreprises qui souhaitent avoir un accompagnement personnalisé dans les décisions techniques et financières. Pour plusieurs entreprises, le programme d'orientation s'est même avéré être un stimulus supplémentaire pour obtenir la certification ISO 50001. Ce projet pilote prouve qu'il existe un fort potentiel en termes d'économies d'énergie au niveau des entreprises à forte consommation énergétique, au-delà du cadre de l'Accord sur la Politique Énergétique.

10.1.6 La suite

Au vu du succès rencontré par ce projet pilote, la ville de Gand envisage de développer le concept des primes pour l'accompagnement des entreprises. Le degré et le type d'accompagnement dépendront probablement de la taille de l'entreprise et de sa consommation énergétique.

10.2 Parc d'activités Gent Zuid 1

10.2.1 Introduction

La ville de Gand a étudié la possible création d'un cluster énergétique sur le parc d'activités Gent Zuid 1.

10.2.2 Description du site

Le parc d'activités Gent Zuid I est situé au sud de Gand (voir Fig. 78) et comprend deux parties pour une surface totale de 100 ha. La plus grande partie est délimitée par l'autoroute E17 à l'ouest, l'autoroute R4 dans le sud et la rivière de l'Escaut à l'est; la partie la moins importante se trouve à l'ouest de l'autoroute E17 (voir Fig. 79). La ville de Gand possède une partie du parc d'activités et la loue à des entreprises (domaine à bail). Gent Zuid I compte de nombreuses entreprises de fabrication de moyenne et de grande taille ainsi que plusieurs hôtels (voir Fig. 80).



Fig. 73: Emplacement du parc d'activités Gent Zuid 1

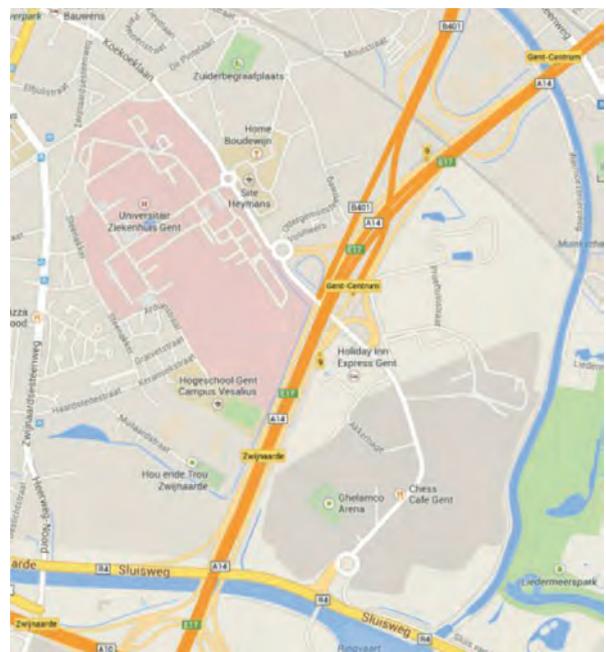


Fig. 74: Limites du parc d'activités Gent Zuid 1: autoroutes A17 et R4 et rivière de l'Escaut



Fig. 75: Plan d'aménagement du parc d'activités Gent Zuid 1

10.2.3 Opportunités de mise en place de clusters énergétiques

Afin d'identifier les opportunités de mise en place de clusters énergétiques sur Gent Zuid I, la ville a organisé des réunions avec plusieurs intervenants et réalisé des scans énergétiques pour apprécier les profils énergétiques de diverses entreprises. Gent Zuid I accueillant des entreprises relativement importantes et énergivores, plusieurs opportunités ont pu être détectées. La plus importante d'entre elles consiste à installer un réseau de chaleur, nourri par la chaleur résiduelle de l'incinérateur de déchets d'IVAGO, afin de couvrir les besoins de chaleur des entreprises avoisinantes. L'incinérateur de déchets fournit également de la vapeur à l'hôpital UZGent en vue de chauffer les espaces, mais la quantité de chaleur reste excédentaire.

La ville de Gand a déterminé quelles entreprises présentaient le potentiel requis pour intégrer le réseau de chaleur, sur la base des informations relatives à leurs activités économiques, obtenues auprès du Département de l'Économie de la ville mais également sur le site web des entreprises. Une enquête a établi qu'un certain nombre d'entreprises étaient intéressées, à condition que quelques-uns des obstacles financiers et techniques soient levés.

10.2.4 Obstacles à la mise en place de clusters énergétiques

Le fait que l'offre de vapeur et la demande de vapeur ou de chaleur ne soient pas synchronisées constitue le premier obstacle. L'incinérateur de déchets d'IVAGO qui fournit de la chaleur résiduelle pour la production de vapeur tourne en continu, alors que la demande de chaleur ou de vapeur des entreprises avoisinantes fluctue selon l'horaire de la journée, le jour de la semaine et la saison. Autre problème: IVAGO ne peut garantir un apport continu de vapeur, en raison de l'arrêt de maintenance (deux semaines) qui intervient deux fois par an. Ainsi, les entreprises doivent maintenir leurs chaudières en service afin d'avoir une capacité de secours durant ces périodes. Plusieurs grosses chaudières de secours peuvent également être connectées au réseau de vapeur. La coordination entre la vapeur issue des chaudières de secours et de l'incinérateur de déchets peut être assurée au moyen d'un régulateur, qui garde une trace de la quantité de vapeur produite ou consommée par chacune des unités du système.

Comme le développement d'un réseau de vapeur à l'échelle du site est complexe, l'accent est d'abord mis sur la possible création d'un lien de vapeur entre IVAGO et Induss. À l'heure actuelle, Indus produit sa propre vapeur à l'aide d'une chaudière à gaz naturel et fournit l'excédent de vapeur à une entreprise voisine. Au lieu de cela, IVAGO pourrait approvisionner Induss en vapeur, ce qui permettrait à cette dernière d'utiliser sa propre chaudière comme installation de secours. Cette option est actuellement étudiée par IVAGO et les premiers résultats se montrent déjà très prometteurs. Avec un tel projet, la majeure partie de la vapeur émise par IVAGO sera utilisée. Le développement d'un réseau de vapeur sur l'ensemble du site nécessiterait de nouveaux investissements en matière de production de vapeur. Enfin, il reste encore de la chaleur résiduelle basse température disponible et l'on étudie actuellement si celle-ci peut être utilisée pour chauffer les espaces des bâtiments voisins.

10.2.5 Évaluation

La faisabilité d'un réseau de vapeur ou d'un lien de vapeur depuis IVAGO vers les entreprises affichant des besoins thermiques ou de vapeur suffisants a été sondée. On pourrait envisager un lien de vapeur avec une des entreprises (Induss), sous réserve que le système soit complété par une installation de secours pour la production de chaleur. Il a été constaté que les accords contractuels complexes constituent les principaux obstacles aux projets de clusters énergétiques et, plus spécifiquement, à la mise en place d'un lien ou d'un réseau de vapeur. De plus, tout comme pour les investissements liés à leur activité principale, les entreprises attendent un délai de récupération de moins de deux ans sur les projets de clusters énergétiques. Cependant, ce critère financier ne suffit pas pour instaurer une coopération interentreprises en termes de clusters énergétiques.

10.3 Parc d'activités Wiedauwkaai/Wondelgemse Meersen

10.3.1 Introduction

La ville de Gand a développé et analysé une politique d'émission d'énergie bas carbone ambitieuse pour le parc d'activités Wiedauwkaai/Wondelgemse Meersen.

10.3.2 Description du site

Wiedauwkaai/Wondelgemse Meersen, ci-après dénommé Wiedauwkaai, est une zone située au nord de Gand (voir Fig. 81). Pour l'instant, le site n'est pas exploité de façon optimale et la ville de Gand souhaite le transformer en un parc d'activités local durable et qualitatif, disposant de zones vertes (voir Fig. 82). Le projet de développement prévoit un nouveau parc d'activités d'une superficie de 14,5 ha, destiné à des PME recherchant des lots inférieurs à 5 000 m², ainsi qu'un couloir vert de 4,5 ha longeant la rivière de la Lys.

Ce parc est réservé à des entreprises manufacturières, y compris artisanales, et les détaillants ainsi que les bureaux autonomes n'y ont pas accès. La ville souhaite attirer les clusters d'entreprises qui exploiteront les opportunités qui se présentent en termes de symbiose industrielle (coopération interentreprises sur le plan des ressources, de l'énergie et des déchets).



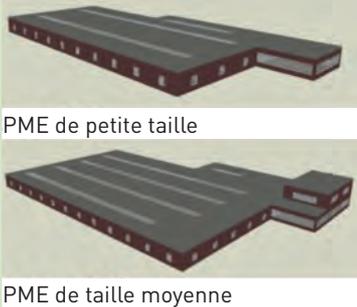
Fig. 76: Emplacement du parc d'activités Wiedauwkaai

Fig. 77: Plan d'aménagement Wiedauwkaai

10.3.3 Consommation énergétique

Afin d'évaluer la consommation énergétique sur le nouveau parc d'activités, des calculs PBE ont été réalisés sur les PME de petite et moyenne taille (voir Tableau 24). La consommation énergétique annuelle pour une surface totale construite de 72 770 m² a été calculée sur la base de ces modèles (voir Tableau 25). La forte consommation d'électricité observée résulte de la large part de surface réservée aux halls de production industriels par les PME.

Tableau 22: Modèles d'entreprises utilisées pour les calculs PBE

Surface [m ²]	Petite	Moyenne	
Surface de lot	2500	5000	
Surface construite	1625	3250	
Logements	0	150	
Bureaux/halls d'exposition	100	200	
Production énergivore/stockage avec occupation	1525	2900	

Dans le cadre du scénario de Maintien du Statu Quo (MSQ), les émissions de carbone liées à la consommation d'électricité et de chaleur sont calculées en supposant un facteur d'émission de 400 kg CO₂/MWh pour la production d'électricité et de 181,4 kg CO₂/MWh pour la production de chaleur. Le premier chiffre correspond aux émissions de carbone spécifiques moyennes liées à la production d'électricité par combustion de gaz en Belgique. Le second chiffre représente les émissions de carbone provenant de la combustion du gaz naturel (GN, pouvoir calorifique inférieur). Cependant, dans la mesure où le parc d'activités est soumis, pour avoir accès aux subventions, à une condition de consommation d'électricité carboneutre (voir 3.7), l'ensemble de l'électricité consommé sur le parc d'activités ne donne lieu, en théorie, à aucune émission de carbone.

Tableau 23: Estimation annuelle de la consommation énergétique d'un nouveau parc d'activités

Zone totale construite 72.770 m ²	Consommation finale d'énergie		Émissions de CO ₂	
	MSQ annuel GWh/an	kWh/an/m ²	facteur d'émission kg/MWh	MSQ annuel ktonnes
Électricité	25,6	→350	400 (0)	10,24 (0)
Chaleur	7,4	→100	181,4 NG	1,342
total	33	-	-	11,582

Le potentiel en cas d'installation de panneaux photovoltaïques est estimé entre 1,1 et 3,5 MWc, en fonction de la partie utilisable de la surface finale du toit, et pourrait couvrir 6-10% de la consommation électrique.

10.3.4 Programme d'orientation en matière d'énergie bas carbone

10.3.4.1 Besoin de mesures énergétiques complémentaires aux exigences PBE

Une étude conduite par Technum en 2013 («Ambitions en matière de Durabilité et d'Énergie») a mis en évidence que la réglementation PBE actuelle ne couvre qu'environ 0,3% de la consommation totale finale d'énergie sur le nouveau parc d'activités Wiedauwkaai, car elle n'inclut pas certaines activités spécifiques, telles que les halls de production industriels, les halls d'exposition, les ateliers, etc. (voir Tableau 26). Pour cette raison, l'approche bas carbone des promoteurs de parc d'activités ne peut se restreindre à la réglementation PBE.

10.3.4.2 Mesures énergétiques structurelles

La ville de Gand a élaboré un programme d'orientation à destination des entreprises afin de promouvoir les mesures énergétiques rentables liées à la fois à l'utilisation du bâtiment et aux process industriels (voir 10.4), qui couvrent une grande partie de la consommation énergétique totale. Le programme prévoit un audit énergétique ainsi que des conseils et une assistance en continu et sera également appliqué au parc d'activités Wiedauwkaai. Pour encourager la mise en place des mesures énergétiques proposées, la ville de Gand a opté pour un système de récompenses qui conditionne la restitution des arrhes (3 €/m² en plus du prix du lot) à la réalisation d'un certain nombre de mesures structurelles listées ci-dessous. Les entreprises de Wiedauwkaai doivent prouver que ces mesures ont bien été mises en œuvre en présentant des certificats ou des factures.

1. Extension de la réglementation PBE aux petits bureaux

Outre les exigences imposées par la réglementation PBE (voir 5.4.2), un niveau E de E60 et un niveau K de K40 sont requis pour les espaces de bureaux compris entre 100 et 800 m² (voir Tableau 26).

2. Calcul des nœuds constructifs avec les méthodes A et B

Le niveau K des bâtiments (voir 5.4.2) doit être calculé selon une méthode A ou B, afin d'éviter que les nœuds constructifs ne créent des ponts thermiques. Les méthodes A, B et C correspondent respectivement à une analyse très poussée, approfondie et totalement absente.

3. Chauffage basse température et climatisation haute température

Pour tous les volumes de bâtiments protégés non industriels concernés par les exigences nouvelles en matière de niveau E (yc E60 pour les bureaux de 100-800 m²), il est indispensable de prévoir des systèmes de chauffage basse température et, si nécessaire, de climatisation haute température (voir 5.4.1 pour une description plus détaillée). En tant que tel, les structures sont spécialement construites de façon à pouvoir transiter vers des sources d'énergies renouvelables. Pour le chauffage basse température, la température d'alimentation est inférieure à 45° C et, pour la climatisation haute température, supérieure à 15° C, alors que, dans les deux cas, la baisse ou le gain de température au niveau de l'installation d'émission ou d'extraction de chaleur reste inférieure à 10° C. Si les laboratoires nécessitent des températures ambiantes plus élevées ou plus basses, des installations complémentaires peuvent être prévues pour faire face aux demandes de pointe.

4. Tests d'infiltrométrie

Pour tous les volumes de bâtiments protégés, concernés par les exigences nouvelles en matière de niveau K sur Wiedauwkaai, il est nécessaire de prévoir un test d'infiltrométrie. Bien qu'aucun objectif ne soit imposé s'agissant des résultats du test, il doit tenir compte du débit de fuite de l'enveloppe du bâtiment dans le calcul PBE.

10.3.4.3 Audit énergétique

Un consultant en énergie, nommé par la ville de Gand, se tient à la disposition de chacune des entreprises afin de réaliser un audit approfondi de tous les services énergétiques liés à l'utilisation du bâtiment et les process de fabrication (voir 5.2.1). S'agissant des services énergétiques liés à l'utilisation du bâtiment, l'audit doit procéder à une évaluation de l'éclairage, de la ventilation, des systèmes de chauffage et de climatisation des locaux (yc étude de faisabilité portant sur la climatisation passive), et sonder la possible mise en place d'un système de gestion énergétique. Dans le cadre des services énergétiques liés aux process, l'audit doit vérifier s'il est possible d'abaisser les températures de process et étudier le recours à l'air comprimé. De plus, il convient de dresser l'inventaire des installations de production présentant une forte consommation d'énergie et de cartographier le potentiel en termes d'utilisation de l'eau de pluie dans le cadre des process et de récupération et réutilisation des déchets, de la chaleur résiduelle et des eaux usées au sein des entreprises ou sur l'ensemble du site. On étudie également s'il est possible d'utiliser des moteurs et des pompes à régulation de fréquence.

L'audit consiste en des scans énergétiques organisés en différentes étapes. Un premier scan peut être réalisé sur les bâtiments d'origine afin d'identifier les mesures énergétiques bas carbone pouvant être mises en place sur les nouveaux bâtiments. Lors d'un second scan, les plans des bâtiments sont étudiés à la recherche de possibles améliorations. Lors de cette étape, on accède aux informations relatives à la faisabilité financière des mesures énergétiques (délais de récupération). En outre, le consultant est disponible pour prodiguer conseils et assistance durant toute la phase de construction du bâtiment, sachant néanmoins que les visites de site ne sont pas prévues durant cette période.

À partir des informations fournies dans les formulaires de candidature, l'auditeur détectera (à court terme) les opportunités de mise en place de clusters énergétiques. Une rapide analyse financière de ces opportunités sera aussi réalisée. Sur cette base, l'auditeur est à même de formuler des recommandations quant à l'exploitation des opportunités de clusters énergétiques entre certaines entreprises.

Tableau 24:
Nouvelles exigences PBE Wiedauwkaai

EPB 2014	K level	E level
Logements	40	60
Bureaux < 100 m ³	40	
Bureaux 100-800 m ³	40	60*
Bureaux > 800 m ³	40	60
Laboratoires	40	
Halls d'exposition	40	
Zones de stockage	40	
Ateliers	40	
Halls ouverts		

* nouvelles exigences Wiedauwkaai

Le financement de ces audits est assuré en rajoutant un honoraire de 4 €/m² dans le prix de vente des lots; ce montant ne peut être réclamer par les entreprises qui ne souhaitent pas profiter de l'audit proposé. En plus du prix de vente du lot, les entreprises doivent déposer des arrhes correspondant à un montant de 3€/m² (lorsque l'acte authentique est signé), qui peuvent être récupérés en implémentant les quatre mesures structurelles proposées par le programme d'orientation.

10.3.4.4 Impact environnemental et économique

Le programme d'orientation est sensé réduire la consommation finale d'énergie de 10% par rapport au scénario de Maintien du Statu Quo (MSQ), sous réserve que les mesures énergétiques mises en œuvre présentent un délai de récupération de moins de 3 ans (S1). Si toutes les mesures mises en œuvre offraient un délai de récupération de moins de 6 ans (S2), la réduction pourrait attendre 20% ou plus (voir Tableau 27). L'impact économique de ces deux scénarios est évalué au Tableau 28. Ces calculs ne tenant pas compte de la hausse des coûts énergétiques spécifiques, le total des coûts liés à l'énergie diminuera plus encore que ne le montre le tableau.

Tableau 25: Impact environnemental du programme d'orientation Wiedauwkaai

	Consommation finale d'énergie			Émissions de CO ₂			
	MSQ annuel GWh/an	S1 (10%) réduction GWh/an	S2 (20%) réduction GWh/an	emission factor kg/MWh	MSQ annuel ktonnes	S1 (10%) réduction ktonnes	S2 (20%) réduction ktonnes
Électricité	25,6	2,56	5,12	400 (0)	10,24 (0)	1,024 (0)	2,048 (0)
Chaleur	7,4	0,74	1,48	181,4 NG	1,342	0,134	0,269
total	33	3,3	6,6	-	11,582	1,158	2,317

Tableau 26: Impact économique du programme d'orientation Wiedauwkaai

	Consommation finale d'énergie			Coûts énergétiques			
	MSQ annuel GWh/an	S1 (10%) réduction GWh/an	S2 (20%) réduction GWh/an	c€/kWh	BAU annuel €	S1 (10%) réduction €	S2 (20%) réduction €
Électricité	25,6	2,56	5,12	15	3.840.000	384.000	768.000
Chaleur	7,4	0,74	1,48	6,5 NG*	481.000	48.100	96.200
total	33	3,3	6,6	-	4.321.000	432.100	864.200

* Gaz naturel

10.3.5 Évaluation

Le programme d'orientation doit être lancé lors de la phase d'attribution, lorsque les nouvelles entreprises s'installent sur le parc d'activités, afin de partir de la gamme complète des mesures énergétiques et des opportunités de clusters énergétiques envisageables. Le programme développe une approche intégrée qui offre conseils et assistance parfaitement adaptés aux besoins de chacune des entreprises. Plutôt que de pénaliser les entreprises qui ne coopèrent pas, ce sont les entreprises qui adhèrent à la stratégie bas carbone qui sont récompensées.

Le consultant en énergie doit démontrer, de façon claire et illustrée, les avantages économiques et environnementaux des mesures énergétiques qu'il propose afin de convaincre les entreprises de les mettre en pratique. Afin de lever les obstacles potentiels, l'équipe d'orientation organise une consultation avec chacune des entreprises, son architecte et, si nécessaire, des intervenants externes comme AO-Enterprise Flanders et OVAM. L'objectif est de fournir, en plus de l'audit énergétique, des informations sur les mesures énergétiques ainsi que les aides financières offertes par le gouvernement en la matière (voir 2.6.1). L'équipe d'orientation peut également apporter son aide dans le cadre des démarches administratives (demande de permis de construire et environnementaux).

La bonne volonté et une collaboration harmonieuse entre les entreprises, le promoteur du parc d'activités et le consultant en énergie sont essentielles à la réussite du programme. Tous les intervenants doivent se faire les porte-paroles des ambitions en matière de durabilité et d'énergie bas carbone, ce qui nécessite une communication claire entre les parties durant la phase d'attribution.

La suite

La ville de Gand va préparer et lancer un appel d'offres précis afin de nommer un consultant de qualité en énergie. Ce dernier vérifiera si les entreprises ont mis en œuvre les mesures structurelles proposées par le programme d'orientation, liées à la restitution des arrhes. Avec l'aide des entreprises, le consultant devra également mesurer les impacts économiques et environnementaux des mesures énergétiques implémentées. La ville de Gand restera à l'écoute et évaluera l'ensemble des impacts économiques et environnementaux du programme d'orientation afin d'avoir de nouvelles perspectives, de mettre en place et affiner les recommandations stratégiques et de partager des connaissances avec les promoteurs de parcs d'activités.

10.3.6 Références

IEA 2012. CO₂ Emissions from Fuel Combustion Highlights - Édition 2012.

10.4 Parc d'activités The Loop

10.4.1 Introduction

La ville de Gand a analysé le potentiel de production d'énergie bas carbone pour répondre de façon collective aux besoins de chauffage des locaux sur le parc d'activités «The Loop». L'étude se base sur un rapport préparé en 2011 dans le cadre du «Plan Directeur pour la Durabilité The Loop». En 2013, une analyse plus poussée quant à la faisabilité d'un système de chauffage et de climatisation des locaux, basé sur une boucle d'eau froide reliée au cours d'eau voisin et combiné à des pompes à chaleur bivalentes, a été menée.

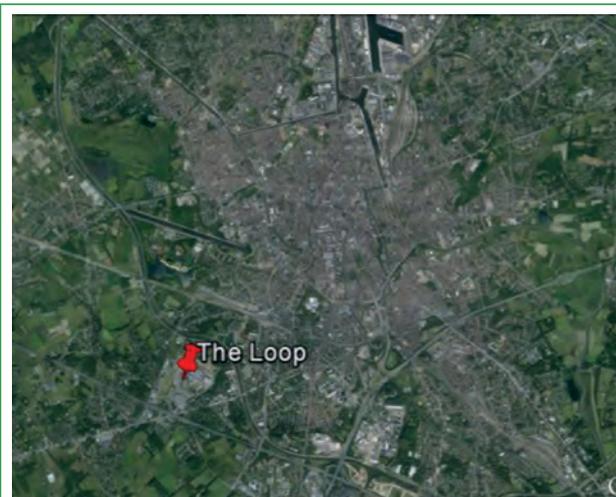


Fig. 78: Emplacement du parc d'activités The Loop à Gand

10.4.2 Description du site

The Loop est un Parc d'Activités situé dans la partie sud-ouest de Gand (voir Fig. 73 et Fig. 74). Son plan directeur prévoit d'y implanter des activités de bureaux et de loisirs, des commerces et des logements et divise le site en 18 zones de développement qui diffèrent selon la forme des bâtiments et les activités ciblées (voir Fig. 76 et Fig. 77). Le projet dispose de 500 000 m² de surface au sol (voir Fig. 75) avec un développement prévu sur plusieurs décennies. Durant la première phase, ce sont essentiellement les activités de commerces et de loisirs qui seront implantées, tandis que la seconde phase sera consacrée à l'expansion des espaces de bureaux.



Fig. 79: Vue aérienne du parc d'activités The Loop



Fig. 80: Plan d'aménagement du parc d'activités The Loop

10.4.4 Production d'énergie bas carbone

10.4.4.1 Options relatives à la production collective d'énergie

En 2011, une étude de faisabilité sur un système de chauffage collectif a été menée dans le cadre du «Plan Directeur pour la Durabilité The Loop» (rapport sur la production durable d'énergie, Ingenium 2011). Il s'agissait, plus particulièrement, d'étudier la possible mise en place d'un réseau de chaleur avec production centralisée. Le ou les générateur(s) centralisé(s) doi(ven)t pouvoir répondre à la charge thermique totale maximale du site, qui équivaut à 32,7 MW, et produire 65 700 MWh à l'année. Les calculs ne tiennent pas compte des générateurs de secours individuels prévus par bâtiment. Le sous-sol de la zone de développement 12 Ouest semble l'endroit le plus approprié pour installer le ou les générateur(s). Différentes technologies de production de chaleur sont mises à disposition, notamment des **chaudières** et des installations de **cogénération à gaz, bois, granules de bois ou bio-huile**. Sinon, la chaleur peut être prélevée au niveau de l'incinérateur de déchets d'IVAGO.

Il existe encore une autre alternative, actuellement à l'étude, qui consiste à installer une **boucle d'eau froide** reliée au cours d'eau voisin et combinée à des pompes à chaleur décentralisées et des chaudières de secours au gaz installées dans chaque bâtiment. Ce système permet également de rafraîchir les locaux à la mi-saison et de climatiser les espaces en été.

10.4.4.2 Options exclues

En théorie, la production d'énergie par combustion de bio-huile au sein de chaudières ou d'installations de cogénération est carboneutre, comme c'est le cas pour le bois (granules). L'option de la bio-huile n'est cependant pas prise en compte en raison de l'incertitude actuelle quant à sa véritable durabilité.

L'incinérateur de déchets d'IVAGO fournit de la chaleur à l'hôpital universitaire UZGent. L'entreprise de gestion des déchets a cependant constaté que la source de chaleur résiduelle se tarissait. En conséquence, il serait nécessaire d'installer un incinérateur de déchets supplémentaire pour assurer, en plus, l'approvisionnement en chaleur d'un réseau dédié sur le parc d'activités The Loop. Il n'est pas réaliste d'envisager la construction d'une nouvelle installation car le nombre total d'incinérateurs de déchets est limité. En revanche, si les installations venaient à être mises hors service, parce qu'elles s'avèrent obsolètes ou ne répondent pas aux exigences plus strictes de la réglementation, IVA pourrait alors envisager d'accroître sa capacité. Dans ce cas, le nouvel incinérateur pourrait être relié au réseau de chaleur de The Loop au moyen d'une conduite d'eau chaude de 5 km passant par le canal annulaire. La construction nécessitera de creuser un certain nombre de forages et exigera de nombreux permis. Considérant qu'aucune chaleur résiduelle n'est actuellement disponible et au vu de la longueur du lien thermique envisagé, ce scénario est écarté.

10.4.4.3 Évaluation des options restantes

Le Tableau 23 analyse les différentes options qui existent en matière de production collective de chaleur à des fins de chauffage, en termes de délai de récupération simple (voir 5.4.6) et de réduction des émissions de carbone, comparativement à la production décentralisée de chaleur à l'aide de chaudières à gaz. Les options examinées au niveau de la production décentralisée de chaleur à base de combustion comptent: (1) les chaudières à gaz, (2) les PCCE à gaz et (3) les PCCE à bois et les chaudières à granules. Le système basé sur la boucle d'eau, qui est destiné à répondre aux besoins de chauffage et de climatisation, est également étudié.

Le calcul suppose que tous les bâtiments installés sur le parc d'activités The Loop soient connectés au réseau de chaleur. En réalité, cette condition ne peut être remplie, ce qui signifie qu'il y aura des répercussions: des économies moindres et des délais de récupération plus longs. On part également de l'hypothèse que les installations de cogénération peuvent vendre leur énergie excédentaire au réseau.

C'est avec les chaudières à bois (granules) et les PCCE qu'on observe la plus importante réduction au niveau des émissions de carbone car ces systèmes sont carboneutres. Le système basé sur la boucle d'eau relié au cours d'eau présente la période de récupération la plus courte.

Tableau 28: Comparaison des options de production collective d'énergie pour le chauffage (et la climatisation) des locaux

A. Réseau de chaleur pour chauffage alimenté par des générateurs de chaleur centralisés:

	Délai de récupération (années)	Réduction CO ₂ (tonnes CO ₂ /an)
Chaudières à gaz	19	0
PCCE à gaz	13	3.553
PCCE à bois et chaudières à granules	20	15.763

B. Boucle d'eau sur cours d'eau + pompes à chaleur individuelles pour chauffage & climatisation

	Délai de récupération (années)	Réduction CO ₂ (tonnes CO ₂ /an)
	7	6.007

10.4.4.4 Enjeux

Alors que l'installation de chaudières à gaz s'avère relativement simple, l'intégration d'installations de cogénération pose des difficultés supplémentaires en raison du besoin de connexion au réseau électrique. Le cas de la boucle d'eau reliée au cours d'eau pose également quelques soucis. Si, lors de la saison chaude, la température du cours d'eau se montre trop élevée pour assurer la climatisation, la température de la boucle d'eau peut être abaissée grâce à un refroidisseur de compression centralisé. Lorsque, durant les périodes froides, les températures du cours d'eau et de la boucle d'eau avoisinent les zéros degrés, il faut arrêter les pompes à chaleur (pour éviter que les échangeurs de chaleur de l'évaporateur ne gèlent). Sinon, on peut augmenter la température de l'eau dans la boucle en utilisant une thermopompe à air centralisé ou une autre source de chaleur. En outre, l'option de la boucle d'eau impose l'installation de systèmes de chauffage basse température et de climatisation haute température dans tous les bâtiments concernés.

10.4.4.5 Étude d'étailée de la boucle d'eau

L'option de la boucle d'eau reliée au cours d'eau voisin a fait l'objet d'une étude plus poussée dans le cadre du «Plan Directeur pour la Durabilité The Loop» (étude sur le cours d'eau, Technum 2013). Le dossier comprenait une étude de faisabilité économique de la boucle d'eau, du côté du promoteur et du côté du client final. Il s'est avéré que le projet n'était pas intéressant du point de vue économique pour le promoteur car les coûts liés à l'investissement sont presque aussi élevés que pour un réseau de chauffage traditionnel, alors que les revenus s'avèrent moins importants. En effet, les tarifs de vente d'eau basse température (10° C) sont près de six fois inférieurs à ceux de l'eau haute température. Pour le client final, cette option n'est pas intéressante financièrement car il doit investir dans une pompe à chaleur bivalente individuelle.

10.4.4.6 Autres options devant faire l'objet d'une analyse

On peut également envisager une option alternative, qui consiste à répondre simultanément aux besoins de chauffage et de climatisation des locaux en faisant appel à des systèmes géothermiques superficiels (voir 6.5.3.2). Ces systèmes permettent de stocker la chaleur provenant de la climatisation dans le sol durant la saison chaude, afin de l'utiliser durant l'hiver. Il faudrait également revoir l'option du réseau de chaleur alimenté par une installation collective de cogénération.

10.4.5 Évaluation

Les obstacles majeurs à la mise en œuvre d'un système de production collective d'énergie sur The Loop sont d'une part le nombre important d'intervenants (différents propriétaires de bâtiments), et d'autre part l'absence d'un coordinateur de projet qui aurait une vue d'ensemble sur le programme. Autre difficulté: la variabilité des conditions inhérentes à de tels projets collectifs. L'hôpital Maria Middelaers, par exemple, représente une part importante des besoins de chauffage et de climatisation sur The Loop. Cet hôpital a cependant récemment opté pour un système énergétique individuel. Comme les études de faisabilité détaillées requièrent beaucoup de temps et que les conditions sont susceptibles de changer à bref délai, les promoteurs ont tendance à poursuivre sur la même voie. La ville de Gand ne dispose que d'un pouvoir limité sur le pilotage du développement de parcs d'activités privés.

La phase 2 du projet ne sera réalisée que lorsqu'un plan de mobilité adéquat aura été défini et après qu'une certaine partie de la phase 1 soit achevée, ce qui peut prendre plusieurs années. Cet étalement dans le temps vient entraver le développement des systèmes de production collective d'énergie et des réseaux de chaleur.

10.4.6 La suite

L'agence environnementale de la ville de Gand recherche à présent des experts pour étudier davantage l'option de la boucle d'eau reliée au cours d'eau. En 2013, la ville de Gand a nommé un coordinateur de projet pour le développement du parc d'activités The Loop. Ceci facilitera le recours à des systèmes de production collective d'énergie. Les meilleures opportunités se situent vraisemblablement au niveau du développement de la Zone 12, qui accueillera un outlet center, un cinéma, des grandes surfaces et des bureaux (voir www.takeoff-offices.be).

10.5 Parc d'activités Roeselare West

10.5.1 Introduction

Wvi a examiné s'il était envisageable d'étendre le réseau de chaleur existant à Roeselare au projet de développement du parc d'activités Roeselare West situé à proximité, ainsi qu'à de futurs logements plus éloignés.

10.5.2 Description du projet

Le réseau de chaleur actuel (eau chaude) est alimenté par la chaleur résiduelle provenant de l'incinérateur de déchets de l'entreprise de gestion des déchets intercommunale MIROM. Il mesure 15 km de long et fournit actuellement de la chaleur à 110° C à vingt-deux clients du secteur public et privé: piscine, hôpital, centre culturel, immeuble d'habitation, pensionnat, nouveau projet immobilier comptant 100 logements, 7 écoles, 4 maisons de soins et 5 entreprises. Le nouveau Parc d'activités Roeselare West est proche de la trajectoire du réseau de chaleur et s'étend sur une superficie totale de 18 ha. La zone d'habitation de 43 ha projetée est située à 3 kilomètres au nord et permettra d'accueillir 1 000 logements. Les Fig. 83 et Fig. 84 présentent une vue d'ensemble du projet.

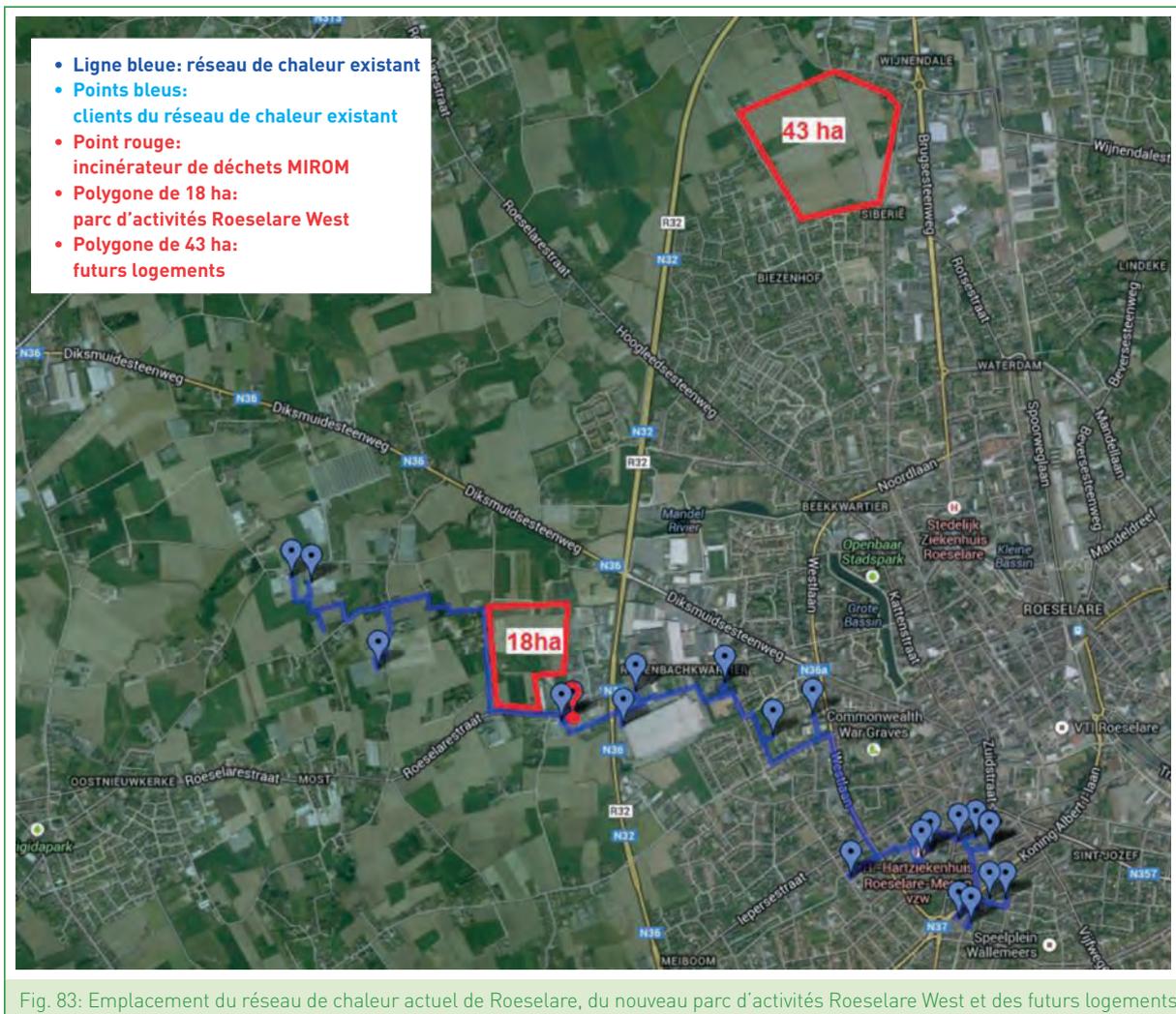


Fig. 83: Emplacement du réseau de chaleur actuel de Roeselare, du nouveau parc d'activités Roeselare West et des futurs logements

10.5.3 Roeselare West

10.5.3.1 Activités commerciales

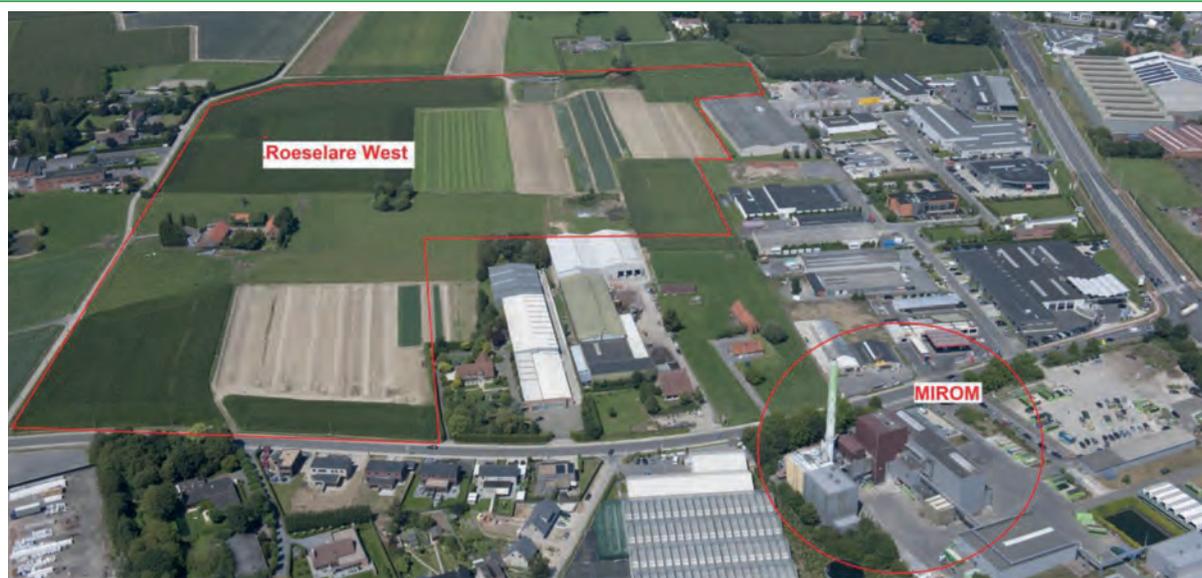


Fig. 84: Vue aérienne du parc d'activités Roeselare West et de l'incinérateur de déchets MIROM

Roeselare West est un parc d'activités régional mixte destiné aux petites, moyennes et grandes entreprises. Les principales activités qui y ont accès sont la production, le stockage et le traitement des produits, la production énergétique et la recherche et le développement. La Fig. 85 schématise la pré-implantation des lots commerciaux et donne une idée de leur taille. La disposition finale sera cependant adaptée aux besoins des entreprises lors du processus de développement.

10.5.3.2 Demande de chaleur

Les entreprises candidates à l'achat de lots sur Roeselare West sont répertoriées dans la base de données de wvi. Environ la moitié d'entre elles ne présentent aucun besoin thermique, alors que l'autre moitié requiert un approvisionnement en chaleur pour le chauffage des locaux. Seule l'entreprise de restauration a besoin de chaleur pour ses



Fig. 85: Preliminary development plan Roeselare West

process (cuisine, pâtisserie) à des températures comprises entre 180 et 220° C, ce qui est supérieur à la température d'alimentation du réseau de chaleur existant. Les besoins de chauffage supplémentaires pourraient être couverts par une chaudière au gaz naturel, ou par un radiateur électrique en l'absence de réseau de gaz naturel. Cela pourrait être le cas si l'on opte pour le réseau de chaleur et qu'un réseau de gaz n'est pas jugé utile sur le site. En conclusion, à Roeselare West, la chaleur fournie par le réseau de chaleur sera essentiellement utilisée pour le chauffage des locaux et par une entreprise nécessitant des températures plus élevées pour ses process.

10.5.3.3 Réduction des émissions de carbone

En supposant que la moitié des entreprises installées à Roeselare West (présentant un besoin total en énergie thermique de 620 MWh/an) soient connectées au réseau de chaleur, et en considérant que l'utilisation de la chaleur résiduelle est une technique carboneutre, la réduction totale des émissions par rapport au scénario de MSQ est estimée à 141 tonnes de CO₂ par an. Dans le scénario du Maintien du Statu Quo, la chaleur est produite par combustion du gaz selon un rendement de 11 kW/m³ de gaz et un taux d'émission de 2.5 kg CO₂/m³ de gaz.

10.5.4 Faisabilité économique du réseau de chaleur

10.5.4.1 Du point de vue des entreprises

Wvi a étudié la faisabilité économique d'un réseau de chaleur sur le parc d'activités Roeselare West, du point de vue des entreprises. On compare ainsi les coûts de raccordement à un réseau de chaleur aux coûts de fonctionnement d'une chaudière à gaz individuelle. Le Tableau 28 compare les deux options sur le plan financier et présente les économies réalisées lorsqu'on choisit l'option du réseau de chaleur.

Tableau 29: Comparaison des coûts individuels en cas de connexion au système de chauffage urbain vs. coûts d'un système traditionnel

puissance	Gaz naturel		temp.	Chauffage urbain		Économies chauffage urbain
	connexion	installation		connexion	installation	
50kW	€ 900	€ 7.000	85°C	€ 1.650	€ 3.100	€ 3.150
100kW	€ 1.050	€ 16.500	85°C	€ 2.100	€ 5.000	€ 10.450
			110°C	€ 2.550	€ 8.000	€ 7.000
200kW	€ 1.200	€ 30.000	110°C	€ 3.150	€ 13.000	€ 15.050

10.5.4.2 Du point de vue du promoteur du parc d'activités

Les coûts d'investissements inhérents à la mise en place d'un réseau de chaleur à l'échelle du parc d'activités tout entier représentent un montant additionnel d'environ 1 million d'euros. Toutes les sources de financement possibles sont actuellement à l'étude. Les coûts opérationnels et de maintenance et les frais d'installation d'un système d'appoint devront être davantage analysés.

Il n'est pas considéré comme économiquement viable d'installer, par défaut, un réseau de chaleur sur un nouveau parc d'activités tant qu'on ne connaît pas encore le type d'entreprises qui vont s'y installer:

- Beaucoup d'entreprises ne présentent aucun besoin thermique.
- Les coûts d'installation d'un réseau de chaleur sont 6 à 7 fois supérieurs à ceux d'un réseau de gaz naturel.
- Sur les parcs industriels, il est rare qu'un réseau de chaleur puisse complètement remplacer un réseau de gaz naturel car certaines entreprises peuvent avoir besoin de chaleur à des températures plus élevées que la température d'alimentation du réseau. Cette chaleur pourrait être générée par des radiateurs électriques mais cela s'avère 4 fois plus coûteux que de produire de la chaleur avec des chaudières à gaz. Ainsi, même si un réseau de chaleur est installé, il se peut qu'une connexion au réseau de gaz reste nécessaire. Une chaudière à bois ou à biomasse pourrait également offrir une alternative.

10.5.5 Évaluation

Forces:

- MIROM a de l'expérience en matière de chauffage urbain.
- Le parc d'activités est adjacent à la conduite principale du réseau de chaleur existant.

Faiblesses:

- Les besoins thermiques des entreprises ne sont, a priori, pas connus.
- Aux termes de la politique territoriale et économique de la ville, on ne peut réserver exclusivement le parc d'activités aux entreprises ayant d'importants besoins thermiques.
- La politique économique du territoire flamand en place n'encourage pas la mise en place de réseaux de chaleur, pas plus qu'elle ne prévoit l'emplacement de parcs d'activités à proximité d'une source potentielle de chaleur résiduelle.

Opportunités:

- Le raccordement d'une entreprise au réseau de chaleur est moins onéreux que la connexion au réseau de gaz.
- Depuis 2014, les permis de construire pour les entreprises ayant des bureaux ou des logements associés doivent prévoir une part minimum de production d'énergies renouvelables. Cette obligation peut également être satisfaite en se connectant au réseau de chauffage urbain.

Menaces:

- La plus grande menace concerne le risque à long terme lié à la continuité de l’approvisionnement de chaleur par l’incinérateur de déchets MIROM et des besoins thermiques présentés par les entreprises.
- La plupart des entreprises candidates, situées dans la zone de travail de wvi, sont des PME avec une faible demande en termes de chaleur.

10.5.6 La suite

Wvi réalise, avec l’aide de MIROM, une étude approfondie pour mesurer s’il est possible de développer un réseau de chaleur uniquement sur une partie du parc d’activités Roeselare West. Lors de la phase d’attribution, la liste des acheteurs potentiels sera passée en revue et filtrée au vu des exigences imposées par la politique territoriale et économique de la ville de Roeselare. Ensuite, les besoins thermiques des entreprises sélectionnées feront l’objet d’une analyse. Les entreprises présentant d’importants besoins thermiques seront installées sur la zone couverte par le réseau de chaleur. Afin d’appuyer la mise en place d’un réseau de chaleur, Roeselare West sera présenté comme une zone dédiée aux entreprises affichant d’importants besoins thermiques.

10.6 Zone d'horticulture en serre de Roeselare

10.6.1 Introduction

Wvi a évalué la possibilité d'utiliser la chaleur résiduelle provenant de l'incinérateur de déchets de MIROM pour répondre aux besoins de chauffage de la future zone d'horticulture en serre adjacente.

10.6.2 Description du projet

La future zone d'horticulture en serre de 34 ha est située à seulement 250 m de l'incinérateur de déchets de l'entreprise de gestion des déchets intercommunale MIROM (voir Fig. 83 et Fig. 86). Cette zone est destinée à la culture de plants énergivores, tels que les tomates, les poivrons, les concombres, etc.

Dans l'hypothèse d'une demande annuelle de chaleur spécifique de l'ordre de 450 kWh/m² afin de maintenir la température requise pour la croissance des cultures (par exemple les tomates) et d'une superficie nette de serres de 20 ha (= 200 000 m²), on obtient une demande annuelle totale de chaleur de 90 000 MWh. De même, en partant d'une demande annuelle de CO₂ spécifique de 35 kg/m² pour la fertilisation des cultures, la demande annuelle totale de CO₂ serait d'environ 7 000 tonnes.

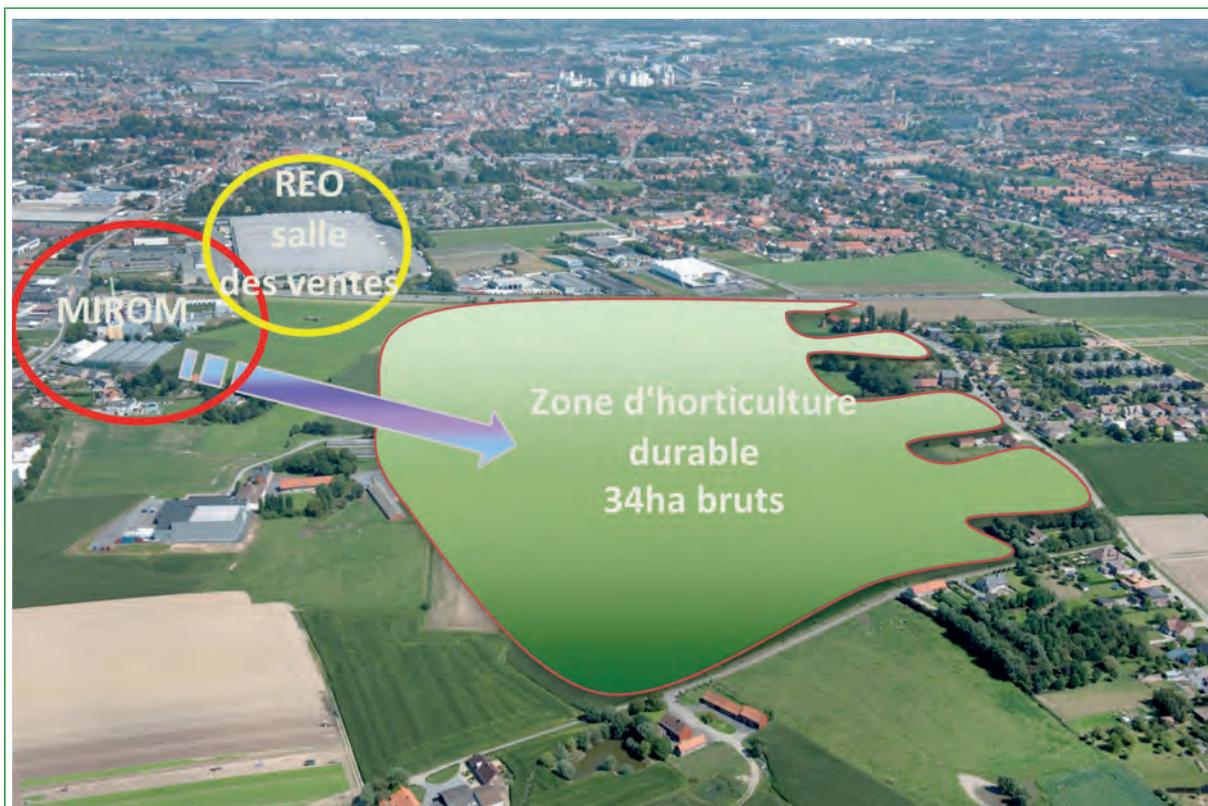
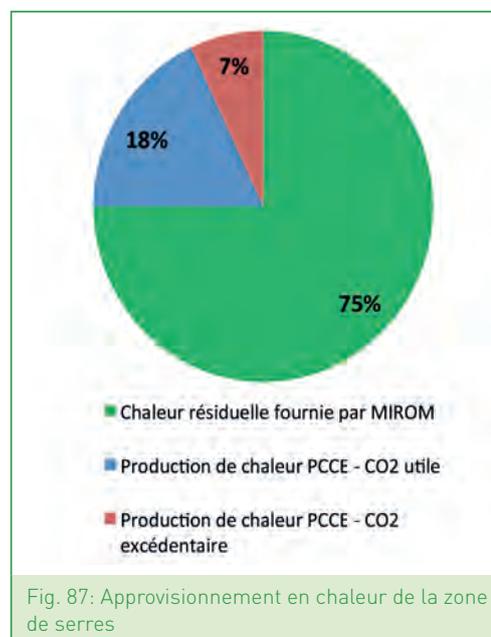


Fig. 86: Vue aérienne de la zone d'horticulture en serre et de l'incinérateur de déchets de MIROMr

MIROM propose de fournir de la chaleur basse température à 40° C depuis l'incinérateur de déchets à destination de la zone d'horticulture en serre via une boucle d'eau chaude. Durant les périodes de pointe de la demande (en hiver par exemple), si l'on ne dispose pas de suffisamment de chaleur résiduelle, un service d'appoint serait assuré par une installation de cogénération au gaz naturel. Le dioxyde de carbone résultant de la combustion au cœur de cette installation servirait à la fertilisation des récoltes. L'installation de cogénération devrait toutefois être mieux calibrée pour faire face à la demande de CO₂.

La Fig. 87 établit une comparaison entre la quote-part annuelle de chaleur résiduelle provenant de MIROM (75%) et la chaleur produite par l'installation de cogénération (25%). Une partie de la chaleur produite via la cogénération (72%) correspond au CO₂ utilisé dans les serres pour la fertilisation des cultures, alors que le reste (28%) est directement rejeté sans être utilisé.



10.6.3 Faisabilité financière

Plutôt que de les vendre, wvi louera les lots commerciaux sur la base d'un bail à long terme. Cette politique d'attribution entend veiller à ce que cette zone, stratégiquement située, soit toujours réservée aux clusters d'horticulture intensive en serre approvisionnés en chaleur par MIROM. En outre, le crédit-bail permet aux entreprises d'horticulture en serre de mieux échelonner les investissements dans le temps.

Un certain nombre d'aspects clés ayant une influence sur la faisabilité financière de ce projet ont été identifiés:

- conditions du marché de l'horticulture (quels sont les coûts d'exploitation d'une entreprise d'horticulture en serre ailleurs ?)
- faisabilité de l'approvisionnement en chaleur résiduelle du côté de MIROM
- garantie à long terme de la stabilité du prix de l'énergie
- effets d'échelle positifs liés aux clusters
- coûts des lots
- coûts de l'infrastructure du parc (yc recherches archéologiques)

10.6.4 Évaluation et suite

Pour que ce projet soit viable et compétitif dans les conditions actuelles du marché, il est nécessaire d'obtenir un soutien financier supplémentaire de la part du gouvernement. Pour le moment, le recours à l'électricité renouvelable ou provenant d'une installation de cogénération qualitative font l'objet de mesures incitatives sur le plan financier; en revanche, il n'existe pas de mécanisme de subvention dans le cadre de l'utilisation de chaleur renouvelable ou résiduelle. MIROM transforme la chaleur résiduelle en électricité en utilisant un module Cycle Organique de Rankine (COR). Comme ce type de production d'énergie bénéficie d'un soutien financier, à la différence de l'utilisation directe de chaleur résiduelle, une compensation financière visant à promouvoir l'utilisation de la chaleur résiduelle pour produire de l'électricité est nécessaire. Les modes de subvention possibles sont actuellement recensés, en collaboration avec le comité de pilotage.

10.7 Carte de chaleur résiduelle et modèle de calcul pour les réseaux de chaleur

10.7.1 Introduction

Wvi a élaboré une carte thermique qui inventorie les sources de chaleur résiduelle disponibles dans sa zone de travail afin d'identifier les opportunités de mise en place de clusters énergétiques pour les projets de développement à venir. De plus, un modèle de base de feuille de calcul a été élaboré pour mesurer la faisabilité des réseaux de chaleur sur la base d'une source de chaleur (résiduelle) connue. L'association de ces deux outils permet de rapidement évaluer la faisabilité d'un réseau de chaleur pour chaque nouveau parc d'activités.

10.7.2 Description du projet

10.7.2.1 Carte de chaleur résiduelle

Afin d'élaborer la carte de chaleur résiduelle, 157 entreprises existantes présentant un potentiel en termes de chaleur résiduelle ont, dans un premier temps, été prises en compte. Parmi ces entreprises, 47 sont situées non loin d'un nouveau projet de parc d'activités wvi. Lors d'un sondage téléphonique, 17 d'entre elles ont déclaré avoir de la chaleur résiduelle à disposition. Au final, ce sont 8 entreprises qui ont été sélectionnées pour un entretien individuel approfondi. Les autres entreprises feront l'objet d'une analyse dans le cadre d'autres projets et le potentiel de chaleur résiduelle qu'elles sont à même d'offrir pourra être ajouté à la carte thermique ultérieurement.

Les entités identifiées comme sources de chaleur résiduelle sont, outre les entreprises de gestion des déchets, celles prenant part au Système Communautaire d'Échange de Quotas d'Émission (SCEQE de l'UE, voir 2.4.3) ou qui sont couvertes par Accords sur la Politique Énergétique (voir 5.4.5). Les entreprises considérées comme des puits de chaleur présentent d'importants besoins en termes de chauffage des locaux et de chauffage à vocation industrielle (blanchisseries industrielles, entreprises de revêtement, etc.).

Les Fig. 88 et Fig. 89 proposent une vue d'ensemble ainsi qu'un zoom de la carte thermique, sur laquelle figurent les 157 entreprises ayant pris part à l'étude. Les points verts désignent les entreprises susceptibles d'apporter de la chaleur résiduelle, les points rouges celles qui ne présentent aucun potentiel en la matière et les points orange celles susceptibles d'apporter de la chaleur résiduelle mais qui n'ont pas été prises en compte dans le cadre de l'étude.

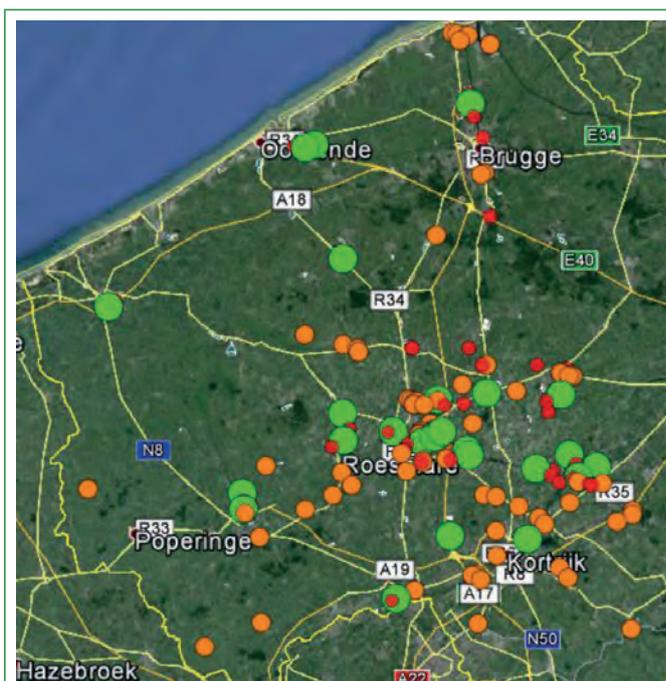


Fig. 88: Carte de chaleur résiduelle



Fig. 89: Carte de chaleur résiduelle détaillée

10.7.2.2 Outil de calcul de réseau de chaleur

L'outil est à même d'estimer la faisabilité financière de réseaux de chaleur sur les nouveaux parcs d'activités. Il tient compte de la disponibilité de chaleur d'une source locale, de l'espace et des besoins thermiques requis par les entreprises qui viendront s'y installer. Cet outil peut également être utilisé pour les parcs d'activités existants. Dans ce cas, les coûts éventuels de réparation des infrastructures routières doivent être inclus.

10.7.2.3 Méthodologie

Wvi joue un rôle de facilitateur pour la mise en place de réseaux de chaleur dans le cadre de ses nouveaux projets de sites (parcs d'activités, projets de logements, ...), en faisant appel à la carte thermique et à l'outil de calcul de réseau de chaleur:

- La carte de chaleur résiduelle permet de repérer quels nouveaux sites wvi sont situés à proximité de sources de chaleur résiduelle.
- Ensuite, la faisabilité d'un réseau de chaleur sur ledit site est analysée au moyen de l'outil de calcul.
- Si la réalisation d'un réseau de chaleur s'avère possible, toutes les sources de financement potentielles au niveau européen et flamand sont étudiées. On étudie également s'il est envisageable de mettre en place des partenariats avec les municipalités, les gestionnaires des réseaux de distribution et les fournisseurs de chaleur résiduelle. Ils peuvent ou non donner lieu à un cofinancement.

Au-delà du cas des nouveaux parcs d'activités wvi, les parcs existants peuvent également intégrer les réseaux de chaleur, lorsque par exemple un nouveau projet est prévu à proximité (parc d'activités, zone d'habitation). Cela peut, néanmoins, nécessiter de collaborer avec d'autres partenaires, tels que la Société de Développement Provinciale (POM) ou les gestionnaires des réseaux de distribution. Dans ce cas, wvi exige de prendre part aux discussions afin d'évaluer son rôle possible.

10.7.2.4 Impact environnemental

Lorsque, sur un parc d'activités, les besoins thermiques sont complètement couverts via un réseau de chaleur raccordé à une source de chaleur renouvelable ou résiduelle, l'apport de chaleur sur le site peut être considéré comme carboneutre. À noter cependant qu'un système d'appoint est souvent nécessaire pour gérer les pics de consommation ou lorsqu'on ne dispose pas de chaleur résiduelle. On utilise souvent une chaudière à gaz ou un système de cogénération comme installation de secours car ce sont des entités facilement dispatchables.

10.7.2.5 Coûts

Le coût d'élaboration de la carte thermique s'est élevé à environ 30 000 EUR (TTC). Le modèle de calcul a été réalisé à un prix raisonnable de 7 000 EUR (TTC) car il faisait partie d'une étude conjointe menée sur la faisabilité d'un nouveau réseau de chaleur à Ostende et l'extension d'un réseau déjà existant à Bruges (POM West Flanders – Eco2Profit).

10.7.3 Évaluation

Selon des études réalisées avec l'aide de l'outil de calcul de réseau de chaleur, il apparaît que le poids des besoins thermiques est un facteur déterminant pour la faisabilité d'un réseau de chaleur. Ceux-ci doivent être suffisamment importants pour que les revenus issus de la vente de chaleur couvrent largement les coûts d'investissements annualisés ainsi que les coûts d'exploitation et d'entretien du réseau de chaleur. Wvi en conclut que la mise en place d'un réseau de chaleur n'est viable que lorsqu'on atteint une demande de charge calorifique de 2MW/km et un besoin thermique annuel de 2 GWh/km.

10.7.4 La suite

En plus d'être un outil utile, la carte thermique peut également servir d'outil de communication auprès des parties (décideurs politiques, municipalités, entreprises) disposant de chaleur résiduelle et celles exprimant des besoins thermiques. La carte thermique inventorie les opportunités et garde une trace de celles qui ont déjà été explorées (et ayant donné lieu ou non à un business plan efficace). La carte est constamment remise à jour à la lumière des nouveaux besoins thermiques et sera également accessible aux autres partenaires ultérieurement.

10.8 Site de la Sucrerie de Furnes

10.8.1 Introduction

À Furnes, la friche industrielle de la «Sucrerie de Furnes» fait l'objet d'un réaménagement à l'initiative de wvi. Une étude de faisabilité a été réalisée dans le cadre de la création d'un réseau de chaleur pour la nouvelle zone résidentielle, qui serait alimenté en chaleur résiduelle par les entreprises situées sur le parc d'activités «Veurne Industrial Park 1» voisin.

10.8.2 Description du site

Depuis la fermeture de la Sucrerie (voir Fig. 90) en 2005, le terrain de 48 ha n'a pas été utilisé et se dégrade. Dans le cadre du projet Manage+, il a été établi un plan directeur de réaménagement qui prévoit de transformer le site en une zone comprenant des logements, des espaces de loisirs, des espaces verts et des entreprises (voir Fig. 92). La zone résidentielle de 13,5 ha sera développée en deux temps (5 ha en 2015 et 8,5 ha en 2017) selon une densité minimum de 25 logements par ha. La nouvelle zone d'activités commerciale couvrira 8,6 ha, pouvant ainsi accueillir environ 14 entreprises. Elle se trouve à proximité du parc d'activités existant, Veurne Industrial Park I, et sera réservée aux entreprises de la région. Ce nouveau parc d'affaires sera développé en deux parties équivalentes, en 2016 et 2020.



Fig. 90: Le site historique de la Sucrerie de Furnes



Fig. 91: Vue aérienne de la friche industrielle de la Sucrerie de Furnes

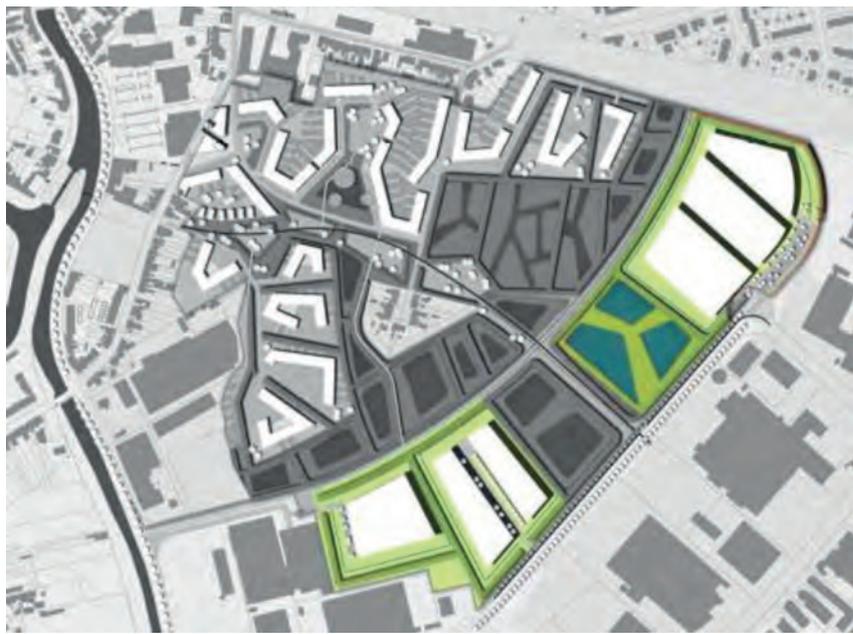


Fig. 92: Plan directeur de réaménagement de la friche industrielle de la Sucrierie de Furnes

10.8.3 Consommation énergétique

La consommation énergétique du nouveau parc d'activités et de la nouvelle zone d'habitation a fait l'objet d'une estimation par la société de conseil 3e, sur la base des normes de construction prévues (voir Tableau 29). Les besoins annuels en chauffage, pour la zone d'habitation et la zone commerciale réunies, sont estimés à 4,424 MWh (phases 1 et 2).

Tableau 30: Besoins en chauffage sur le parc d'activités et la zone d'habitation de la Sucrierie

13.5 ha		Phase 1 - 5 ha		Phase 2 - 8.5 ha		
Logements		maisons	appartements	maisons	appartements	bureaux
chauffage des locaux	kWh/m ² /an	32	9	20	9	20
eau chaude	kWh/unité/an	2.967	2.967	2.967	2.967	0
besoin total énergie thermique	MWh/an	972		2.002		
		2.974 pour les phases 1 et 2				

8.6 ha		Phase 1 - 4.3 ha	Phase 2 - 4.3 ha
Entreprises		bureaux	bureaux
chauffage bureaux	kWh/m ² /an	40	20
besoin total énergie thermique	MWh/an	min. 850 - max. 1.650	min. 600 - max. 1.200
		min. 1.450 – max. 2.850 pour les phases 1 et 2	

10.8.4 Production d'énergie bas carbone

Durant la première phase de l'étude, le potentiel en matière de chaleur résiduelle a été relevé au niveau du parc d'activités Veurne Industrial Park I. Seules deux entreprises peuvent offrir de la chaleur résiduelle: l'entreprise A qui produit des aliments et des boissons et l'entreprise B qui transforme des sous-produits issus de l'industrie alimentaire. L'entreprise A dispose d'une charge de chaleur résiduelle de 1 000 kW à une température de 40° C, ce qui est trop faible pour venir alimenter un réseau de chaleur. L'entreprise B ne récupère pas la chaleur résiduelle sur ses gaz de combustion et ne dispose, en conséquence, que d'une charge ther-

mique de 300 kW à 80° C. Une plus grande quantité de chaleur résiduelle sera disponible car l'entreprise va passer de 5 à 6 jours de travail par semaine. En conclusion, seule l'entreprise B est un fournisseur potentiel de chaleur résiduelle pour le réseau de chaleur et est actuellement en mesure de produire de la chaleur pendant 5 jours de la semaine.

Lors de la seconde phase, la faisabilité d'un réseau de chaleur qui viendrait couvrir les besoins en chauffage de la zone résidentielle a été examinée. Ce réseau serait alimenté par la chaleur résiduelle issue de l'entreprise B (charge de base), complétée par une chaudière à gaz.

Dans le scénario du Maintien du Statu Quo, les besoins en chauffage pour l'ensemble des habitations installées sur le nouveau site sont couverts par des chaudières au gaz naturel individuelles ($\eta=90\%$). Cela correspond à une consommation d'énergie primaire de $2,974/0,9 = 3,304$ MWh/an et des émissions de CO₂ de 667 tonnes/an.

Dans le scénario du réseau de chaleur, la consommation d'énergie primaire est égale à 2,911 MWh/an, soit 588 tonnes de CO₂/an. Cela implique des économies d'énergie primaire de 393 MWh/an et une réduction des émissions de l'ordre de 79 tonnes CO₂/an (selon un facteur d'émission de 0,202 tonne de CO₂/MWh de gaz naturel).

Tableau 31: Consommation d'énergie primaire et émissions de carbone

	Consommation énergie primaire	Économies énergie primaire	Émissions de CO ₂	Réduction émissions de CO ₂
Scénario MSQ	3.304		667	
Réseau de chaleur	2.911	399	588	79

*0,202 tonne CO₂/MWh de gaz naturel

10.8.5 Faisabilité économique du réseau de chaleur

A financial analysis has been performed (see Table 32)

Tableau 32: Faisabilité économique du réseau de chaleur

Coûts totaux sur une période de 20 ans	Réseau de chaleur	
coûts liés à l'électricité	€	308.877
revenus liés à l'électricité	€	-
coûts liés au gaz	€	2.234.612
revenus liés à la chaleur	€	4.000.887
coûts liés à la chaleur résiduelle	€	377.531
revenus liés à l'utilisation du réseau de chaleur*	€	1.941.540
coûts liés à l'entretien	€	620.479
revenus liés aux certificats PCCE	€	-
coûts d'exploitation	€	356.151
total revenus d'exploitation	€	2.044.776
total coûts d'investissement	€	1.759.529
investissements évités	€	190.560
charge de raccordement	€	114.934
cashflow	€	590.740
VAN	€	451.474
TRI avant impôt	%	+3,22
Optimisations		
Réseau transport plus court & chaudière plus proche	VAN	365.790 €
	TRI	3,90 %

* une connexion unique + droits fixes pour l'utilisation du réseau de chaleur sur une période de 20 ans

10.8.6 Évaluation

Forces:

- L'efficacité globale d'un réseau de chaleur peut être améliorée en remplaçant ou en améliorant simplement le générateur ou la source de chaleur centralisé(e), alors que l'amélioration de l'efficacité de toutes les chaudières individuelles et équipements de production de chaleur décentralisée demande plus de temps.
- La source de chaleur se trouve à une distance acceptable du réseau de chaleur.

Faiblesses:

- La réglementation actuelle et future sur la construction impose de réduire progressivement les seuils imposés en termes de besoins en chauffage. Ainsi, le réseau de chaleur qui viendrait approvisionner la nouvelle zone résidentielle sur le site de la Sucrerie présente une densité thermique relativement faible (besoin thermique annuel par m²), ce qui est désavantageux dans le cadre de sa faisabilité économique.

Opportunités:

- De par sa taille comparée au noyau résidentiel de Furnes, le réaménagement de la friche industrielle de la Sucrerie aura un véritable impact sur la ville. Il est de la responsabilité de wvi de faire de ce projet un exemple en matière de viabilité, de confort, de mode de vie et de travail durable et peu énergivore. L'installation d'un réseau de chaleur œuvre en faveur de cet objectif.
- Le timing du projet est idéal car d'autres villes mettent en place le même type de réalisations et les expériences peuvent être partagées.
- Depuis 2012, l'obligation de fournir à chaque habitation un accès au réseau de gaz a été supprimée, sous réserve que la maison soit raccordée à un réseau de chaleur.
- Les gestionnaires des réseaux de distribution Eandis et Infrac ont récemment décidé d'investir dans les réseaux de chaleur, si leur faisabilité économique est garantie. Ils ne seront impliqués que dans la construction du réseau de chaleur (tubage, sous-stations, échangeurs de chaleur individuels), pas dans l'exploitation.

Menaces:

- Les décisions quant au déploiement d'un réseau de chaleur doivent être prises dès le début du projet. Le choix qui doit être fait entre un modèle individuel ou collectif pour le chauffage des locaux et de l'eau sanitaire a un impact sur la conception des logements et des entreprises. Il affecte également différentes étapes du processus de développement, à commencer par la demande de permis de lotir (nécessité ou non d'un réseau de gaz naturel). D'autre part, la décision ne peut être prise si la rentabilité est assurée et que tous les intervenants sont d'accord.
- Les parties généralement impliquées dans la construction d'un réseau de gaz sont bien connues et bénéficient d'une bonne expérience. Ce n'est, en revanche, pas le cas dans le cadre de la construction d'un réseau de chaleur.

10.8.7 La suite

Il a été établi que, même si les exigences en matière de performance énergétique venaient limiter la densité thermique d'un réseau de chaleur potentiel, il peut encore être économiquement viable si la taille du projet est suffisamment importante. La faisabilité économique du projet doit cependant être appuyée par la demande de subventions en Flandre (Aide à la Stratégie Écologie) ou à l'échelle européenne. En fin d'année 2013, le gestionnaire du réseau de distribution a été contacté et étudie actuellement le projet de réseau de chaleur (il devrait probablement émettre un avis favorable).

10.9 Modèle économique pour la production collective d'énergie renouvelable

10.9.1 Introduction

Wvi aménage des parcs d'activités bas carbone sur lesquels les entreprises sont tenues de consommer de l'électricité carboneutre (voir 3.6 et 3.7).

Wvi souhaite encourager les entreprises à investir dans la production collective d'énergie renouvelable. Par conséquent, une étude a été demandée pour la mise en place d'un modèle économique dédié à la production collective d'énergie renouvelable sur les parcs d'activités. L'étude tient compte des aspects juridiques, techniques et économiques et les municipalités couvertes par wvi et la province de la Flandre occidentale devraient pouvoir y participer.

10.9.2 Test Sappenleen

L'extension (30 ha) réalisée sur l'actuel parc d'activités Sappenleen (75 ha) à Poperinge fait office de test. Quatre éoliennes d'une hauteur d'axe de 100 m, présentant un diamètre de rotor de 92,5 m et une puissance nominale de 2,05 MW ont été construites, dont deux dans le cadre de l'extension du parc d'activités et les deux autres sur la zone agricole adjacente (voir Fig. 93). Leur production commune d'électricité verte est estimée à 23,3 GWh, ce qui est suffisant pour couvrir les besoins en électricité des 100 entreprises situées sur le parc d'activités existant.



Fig. 93: 2 éoliennes sur l'extension du parc d'activités Sappenleen

10.9.3 Modèle économique

L'étude analyse différentes structures belges et identifie les avantages et les inconvénients qui les caractérisent (voir Fig. 94). La structure la plus adéquate pour organiser la collaboration entre les différents partenaires semble reposer sur l'affiliation d'une société autonome, d'une municipalité ou d'une province.

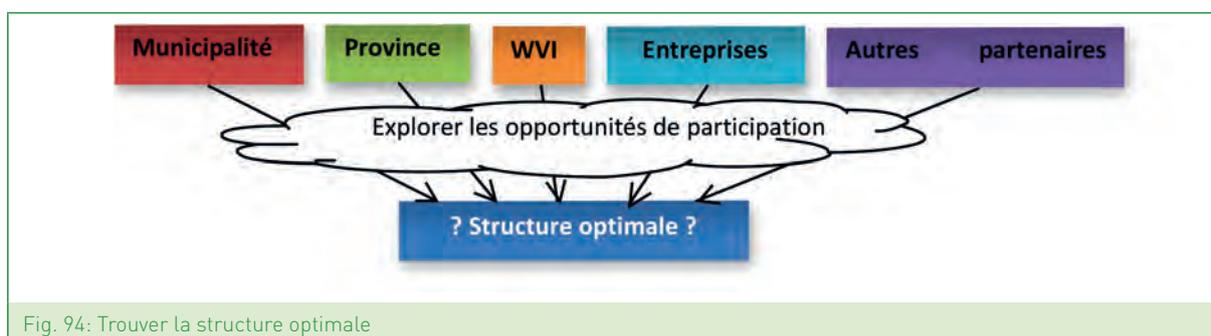


Fig. 94: Trouver la structure optimale

La structure juridique la mieux adaptée varie selon l'objectif visé par la société (voir également 7.5) et le rôle joué par ses participants (voir Fig. 95):

- Participation à la production et l'approvisionnement en énergies renouvelables (structures simples, doubles ou multiples)
- Participation à la production d'énergies renouvelables
- Participation à la production d'énergies renouvelables

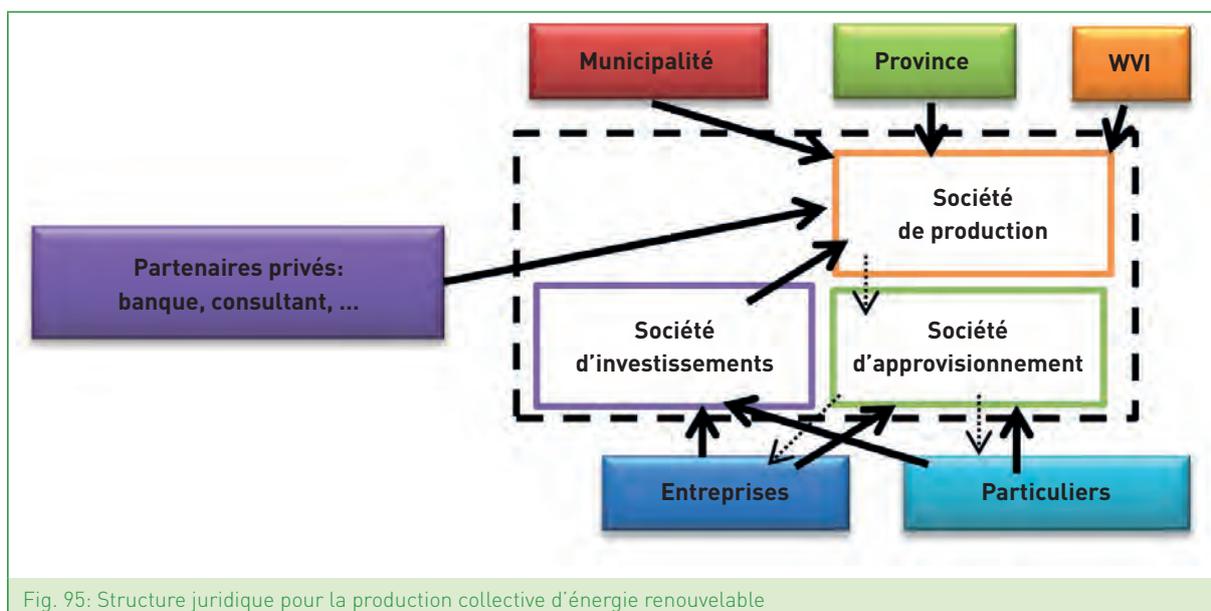


Fig. 95: Structure juridique pour la production collective d'énergie renouvelable

10.9.4 Faisabilité financière

Le Tableau 32 donne une indication quant aux coûts et revenus générés par les 4 éoliennes du parc d'activités Sappenleen. En Flandre, le calcul des subventions liées à la production d'électricité verte par des éoliennes est basé sur une formule complexe, de façon à ne financer que la partie non rentable de l'investissement (voir 6.9.2).

Tableau 33: Faisabilité économique de la production d'énergies renouvelables à Sappenleen

entreprise de référence sur 20 ans	scénario optimiste	scénario pessimiste
coûts des éoliennes*	€ 16.000.000	€ 16.000.000
coûts de maintenance à l'année	€ 200.000	€ 200.000
coûts de gestion, d'assurance et autres à l'année	€ 145.000	€ 145.000
compensation pour occupation du sol à l'année	€ 40.000	€ 40.000
coût du crédit (20 ans à 3-5%)	€ 5.100.000	€ 8.500.000
coûts sur 20 ans et plus	€ 21.485.000	€ 24.885.000
production annuelle (MWh)	23.300	23.300
revenu de la vente d'électricité (/MWh)	€ 50 + 2%/year	€ 50 + 0,5%/year
revenus sur 20 ans	€ 28.306.436	€ 24.440.669
profit après 20 ans	€ 6.821.436	€ - 444.331

*yc raccordement au réseau, coûts de construction et d'approvisionnement en électricité, coûts liés aux conseils et aux travaux d'ingénierie

10.9.5 Évaluation

Wvi a décidé de ne pas investir personnellement dans l'énergie éolienne (4 modules) exploitée sur le parc d'activités Sappenleen. Les fonds sont investis par EGPF WWE (*Electrabel Green Projects Flanders Wind Werk Echt*), un partenaire privé dans lequel la municipalité de Poperinge détient une participation.

10.9.6 La suite

Dans le cadre de ses futurs projets, Wvi recherchera les opportunités en matière de production d'énergies renouvelables. Une fois les opportunités détectées, il sera établi si wvi doit tenir un rôle de facilitateur ou de participant.

10.10 Bornes de recharge électriques

10.10.1 Introduction

Wvi a réalisé une étude de marché afin d'évaluer s'il était judicieux, sur le plan économique, d'installer des bornes de recharge publiques pour les véhicules électriques sur ses parcs d'activités.

10.10.2 Étude de marché

Les entreprises suivantes ont pris part à l'étude du **marché belge**: *Becharged*, *NSolar*, *eNovates* et *Blue corner*. *Becharged* met au point ses propres bornes de recharge en aluminium et logiciels de communication mais ces activités seront bientôt assurées par deux filiales distinctes. *NSolar* assure la distribution des batteries de recharge de *GE Industrial Solutions*. *eNovates* et *Blue Corner* sont deux sociétés filiales: la première développe des bornes de recharge et des logiciels tandis que la seconde est le prestataire de services. *Becharged* et *eNovates* proposent des bornes de recharge en ligne et *NSolar* offre des bornes de recharge autonomes

Les installations de recharge électriques peuvent être classées selon le type de véhicules à charger: vélos, scooters ou voitures.

10.10.2.1 Bornes de recharge pour vélos et scooters électriques

Les vélos électriques peuvent être chargés au moyen d'une prise électrique standard, tout comme les autres matériaux consommateurs d'électricité. Il existe sur le marché des bornes de recharge disposant de points de charge multiples. Le rechargement des vélos électriques peut être gracieusement offert par les municipalités ou les gestionnaires des réseaux de distribution, ou encore par les entreprises à destination de leur personnel.

10.10.2.2 Bornes de recharge pour voitures électriques

Les bornes de recharge pour les voitures électriques sont des systèmes plus complexes que ceux destinés aux vélos et on les distingue selon leur type et leur capacité. En général, une borne de recharge est constituée d'un socle et de deux prises secteur (pour deux emplacements de parking), monophasées ou triphasées, offrant une intensité nominale de 16A ou 32A. Le temps de recharge dépend de la puissance disponible et du type de véhicule.

Il existe des bornes de recharge électriques **autonomes** et **en ligne**. Les systèmes autonomes peuvent servir à recharger la flotte de véhicules électriques d'une entreprise. Un tel dispositif ne peut être utilisé qu'avec des cartes de recharge spéciales remises par l'entreprise elle-même et n'est pas accessible au public. Les systèmes en ligne sont plus coûteux que les systèmes autonomes. De plus, le propriétaire doit verser une redevance annuelle pour pouvoir accéder à un réseau de bornes de recharge (180-300 €/an). De la même façon que pour les réseaux de téléphonie mobile, l'utilisateur peut acquérir un temps de charge auprès des réseaux disponibles. Si la borne de recharge est connectée à un réseau différent de celui de l'utilisateur, ce dernier doit payer des frais d'«itinérance». Le propriétaire de la borne de recharge peut également opter pour le paiement par SMS, ce qui induit des coûts supplémentaires pour l'utilisateur (0,25 €/message), ou pour le paiement par carte bancaire. Cette dernière option n'est pas intéressante d'un point de vue économique en raison des frais et des coûts de transaction mensuels élevés pour le propriétaire. Pour connecter la borne de recharge à internet, on peut utiliser une connexion GPRS (3G), ce qui revient à 5 €/mois (par carte SIM).

10.10.3 Impact environnemental

La réduction des émissions de carbone obtenue en substituant la voiture électrique au véhicule traditionnel fonctionnant à base de carburants fossiles fait l'objet de discussions. Lorsque seules les émissions directes sont comptabilisées, la voiture électrique est neutre en carbone alors que les nouvelles versions de véhicules traditionnels émettent entre 100-150 g CO₂/km et certains éco-modèles, modèles hybrides ou véhicules au gaz naturel comprimé émettent moins de 100 g CO₂/km.

Dans le cas de la voiture électrique, les émissions sont générées lors de l'étape de la production d'électricité. En supposant que l'intensité de carbone globale associée à la production d'électricité en Belgique est de 220g CO₂/kWh (Tableau 1) et qu'une voiture électrique consomme entre 0,15 et 0,3 kWh/km, les émissions de carbone qui en découlent totalisent 33 à 66 gCO₂/km. L'intensité carbone relative à la production d'électricité au moyen de centrales électriques au gaz et d'installations de cogénération en Belgique est d'environ 400 gCO₂/kWh. Sur la base de cette valeur, une voiture électrique émet entre 60 et 120 gCO₂/km.

10.10.4 Test Furnes

Il a été évalué s'il était possible de mettre en place des bornes de recharge pour le bâtiment collectif à Furnes (Belgique). Le parc d'activités accueille essentiellement de petites entreprises œuvrant dans les secteurs de la construction, de l'automobile (services, vente et assemblage) et des ouvrages métalliques.

10.10.5 Évaluation

Pour recharger la flotte de véhicules électriques d'une entreprise, les systèmes de recharge autonomes sont mieux adaptés. Pour ce qui est des lieux publics, la meilleure option reste la borne de recharge en ligne, librement accessible. Pour éviter les coûts additionnels, il est nécessaire de disposer de suffisamment de puissance et d'avoir accès à internet. Wvi n'installera pas d'infrastructure de recharge électrique mais peut fournir des espaces de stationnement publics et faciliter l'apport de fonds par les entreprises intéressées.

10.10.6 La suite

En raison du gel des avantages fiscaux accordés aux particuliers qui achètent des véhicules électriques en Belgique, la demande a fortement diminué.

10.10.7 Références

AIE 2012. *CO₂ Emissions from Fuel Combustion Highlights* - Édition 2012.

10.11 Parc d'activités De Spie

10.11.1 Introduction

Wvi a étudié de quelle façon les principes de neutralité carbone pouvaient investir la conception des nouveaux parcs d'activités. L'étude commence par se pencher sur le potentiel de production locale d'énergies renouvelables sur le parc d'activités lui-même et sur les opportunités d'échange énergétique avec les environs. Le nouveau projet de parc d'activités De Spie à Bruges est pris comme exemple test.

10.11.2 Description du site



Fig. 96: Emplacement du parc d'activités De Spie

Fig. 97: Vue aérienne du nouveau parc d'activités De Spie (source: wvi)

De Spie est un nouveau projet de parc d'activités régional situé au nord de Bruges (voir Fig. 96). Il s'agit d'une zone de forme triangulaire délimitée par la route nationale N31 au nord, la ligne ferroviaire en direction de Zeebrugge à l'est et la ligne ferroviaire en direction de Blankenberge à l'ouest (voir Fig. 97). La zone jouxte la partie ouest du port de Zeebrugge et les actuels parcs d'activités Blauwe Toren et Herdersbrug. Compte tenu de son emplacement, De Spie est tout particulièrement adapté pour les moyennes et grandes entreprises nécessitant des lots d'une superficie de plus de 5 000 m². Sur la superficie totale de la zone, soit 42 ha, seuls environ 30 ha peuvent être exploités du fait de la forme peu pratique de celle-ci. Au vu du plan d'exécution spatiale, les activités suivantes sont autorisées sur le parc d'activités: production, stockage et traitement des produits, production d'énergie, recherche et développement, entreposage et transbordement, gestion de stocks, groupage, distribution physique et vente au détail, traitement des déchets (yc recyclage), traitement et transformation de fumier et de limon, traitement et transformation des ressources, notamment les minéraux. La Fig. 98 présente une proposition d'aménagement pour le parc d'activités De Spie. Les lots commerciaux effectifs seront définis lors de la phase d'attribution, en fonction du besoin des entreprises qui s'installeront sur le parc d'activités.



Fig. 98: proposition d'aménagement pour le parc d'activités De Spie (source: wvi)

10.11.3 Production d'énergie bas carbone

Avec l'aide de *Power-Link*, wvi a réalisé une étude pour identifier quelles étaient les technologies susceptibles de contribuer à la neutralité carbone sur le parc d'activités De Spie et les conséquences qui en découlent au niveau de l'aménagement des espaces.

Énergie solaire: Le potentiel en matière d'énergie solaire peut être exploité à l'échelle de l'entreprise en installant des panneaux photovoltaïques, des panneaux ou des films solaires thermiques sur le toit. Afin d'éviter les zones d'ombre et d'accroître le rendement électrique, il convient que les toits des entreprises soient orientés de façon optimale et que l'aménagement du parc d'activités soit bien pensé.

Énergie éolienne: Le potentiel effectif de l'énergie éolienne disponible sur le parc d'activités De Spie a fait l'objet d'une évaluation. On a identifié les emplacements susceptibles d'accueillir de grandes éoliennes, en tenant compte des contraintes spatiales liées aux logements, aux réserves naturelles, à l'infrastructure et aux réseaux de canalisations (voir Fig. 99). De petites et moyennes éoliennes peuvent également y être implantées, de préférence à la frontière ouest du parc.



Fig. 99: Proposition d'aménagement pour les éoliennes d'une hauteur d'axe de 90 m (source: wvi)

Fig. 100: Réseau de chaleur existant à Bruges (source: POM West-Vlaanderen)

Cogénération: Dans le cadre de la production d'électricité et de chaleur carboneutres, une installation de cogénération à biomasse constitue une option intéressante. Reste encore à déterminer quel partenaire pourrait initier ce projet.

Énergie géothermique: L'étude a démontré que le sol n'était pas adapté pour le stockage de la chaleur et du froid, mais il est possible de prévoir un système de Stockage de l'Énergie Thermique en Puits ou des bornes d'énergie.

Chauffage et climatisation avec les eaux de surface: La chaleur peut être extraite des réservoirs d'eau qui sont prévus sur le parc d'activités ou depuis le Canal de Lissewege pour répondre aux besoins en chauffage et en climatisation des entreprises. En outre, les lots situés à proximité des réservoirs d'eau pourraient être réservés aux datacenters, qui présentent d'importants besoins en climatisation.

Stockage de l'énergie: Le réseau électrique alimentant la région du parc De Spie connaît des problèmes d'encombrement. De ce fait, il n'a pas été possible d'y installer une usine de traitement de la biomasse car cela aurait provoqué une surcharge du réseau local. Pour faire face à ce problème, un projet est en cours pour étendre la capacité du réseau d'électricité entre Zomergem et Zeebrugge, et un lot été réservé sur le parc d'activités De Spie pour y installer une sous-station de transformation. Ce renforcement du réseau permettra aux entreprises de production d'électricité de s'installer sur De Spie.

Réseau de chaleur: Si une installation de cogénération à biomasse venait à être installée sur De Spie ou un parc d'activités adjacent, il est recommandé de la raccorder à l'actuel réseau de chaleur de Bruges. Comme le point de connexion se trouve au sud du parc d'activités, les entreprises présentant d'importants besoins thermiques devront être concentrées à cet endroit. Le plan d'aménagement de De Spie devra prévoir l'espace nécessaire à la réalisation d'un réseau de chaleur. Par ailleurs, si la chaleur résiduelle ne pouvait venir alimenter le réseau de chaleur, elle peut être transformée en électricité par un module COR (Cycle Organique de Rankine).

Mobilité: Le parc d'activités De Spie étant entouré de voies ferrées, il conviendrait d'encourager les entreprises susceptibles d'avoir recours au transport ferroviaire pour acheminer leurs ressources ou leurs produits à s'y installer. La société en charge de la gestion des infrastructures ferroviaires doit, cependant, encore être consultée quant aux possibilités qui s'offrent en la matière. De plus, afin d'appuyer le passage des combustibles fossiles à l'hydrogène ou le biogaz dans le cadre du transport, un Point Vert pourrait être prévu.

Efficacité énergétique: Lors de la phase d'attribution, wvi favorisera et soutiendra la construction de bâtiments durables et économes en énergie. Lors de la phase d'exploitation, les opportunités en termes de clusters énergétiques seront étudiées (voir 7).

10.11.4 Faisabilité économique

La faisabilité économique d'un réseau de chaleur a été traitée au paragraphe 10.5. Les modes de subvention possibles seront analysés lorsque la destination et le projet de développement du parc d'activités seront mieux définis.

10.11.5 Évaluation

La production d'énergie bas carbone peut être facilitée en adoptant une conception intelligente des espaces sur le parc d'activités. Il convient de réserver des espaces pour des éoliennes, des installations géothermiques, des installations PCCE, un réseau de chaleur, etc. La réalisation de bâtiments attenants et orientés de manière optimale doit être favorisée dans le cadre des prescriptions en matière de construction et d'aménagement du territoire. Ce projet montre toute l'importance de cartographier les potentiels énergétiques du parc d'activités et de ses environs, à commencer par la superstructure du système énergétique du parc décrite au 4.2.

10.11.6 La suite

Wvi reste concentré sur les opportunités visant la neutralité carbone dans le cadre du développement du parc d'activités De Spie et tient, dans la mesure du possible, un rôle de facilitateur ou de gestionnaire.

10.12 Shared company building Veurne

10.12.1 Introduction

À Furnes, un nouveau parc d'activités à destination des entreprises locales sera créé, à proximité de l'actuel parc d'activités «Industrieterrein II». Wvi a réalisé une étude afin d'identifier quelles mesures énergétiques bas carbone pouvaient s'inscrire dans la conception d'immeubles partagés sur le parc d'activités.

10.12.2 Description du site

Le nouveau projet de parc d'activités, situé au nord-ouest de Furnes, est adjacent à l'actuel parc d'activités «Industrieterrein II» (voir Fig. 100). Le parc est réservé aux entreprises locales nécessitant des lots d'une superficie maximum de 5 000 m² (voir Fig. 101). Afin d'utiliser la superficie disponible de manière optimale et d'offrir une solution aux entreprises n'ayant pas besoin de beaucoup d'espace, deux bâtiments partagés sont construits (voir Fig. 102). Le premier bâtiment longe la Pannestraat et est réservé aux entreprises disposant de bureaux, de halls d'exposition et de logements, qui souhaitent avoir une vue agréable sur l'extérieur. Le second bâtiment est installé à l'intérieur du parc d'activités et est prévu pour les entreprises avec des espaces de stockage ou de travail et qui n'ont pas d'exigences particulières en termes de qualité de vue.



Fig. 101: Emplacement du nouveau parc d'activités à Furnes



Fig. 102: Vue aérienne du nouveau parc d'activités et de l'actuel parc d'activités voisin, «Industrieterrein II», à Furnes

Au vu du plan d'exécution spatiale, les activités suivantes sont principalement autorisées sur le parc d'activités: fabrication, activités en ateliers, entreposage, commerce de gros et réparation automobile. De plus, les logements ou espaces de vente associés aux entreprises et occupant une surface réduite peuvent être autorisés. N'ont en revanche pas accès au parc d'activités les activités commerciales et de vente au détail, les bâtiments accueillant exclusivement des bureaux et les restaurants publics autonomes.



Fig. 103: Deux bâtiments partagés sur le nouveau projet de parc d'activités à Furnes

10.12.3 Consommation énergétique

Afin de réduire la surface de l'enveloppe du bâtiment, au travers de laquelle peut se produire un échange de chaleur avec l'extérieur, les modules de construction sont couplés. Plus concrètement, dans le cas de modules jumelés (aux deux extrémités), la surface de déperdition thermique est réduite de 18%, alors que dans le cas de bâtiments à gradins (clos), elle se trouve réduite de 31%. Cela contribue à diminuer les besoins en chauffage. La formule suivante sert à calculer les besoins en chauffage d'un module de bâtiment:

$$Q_{space\ heating} = U_{average} \times A_{heat\ loss} \times N_{dd} \times 24h$$

with: $Q_{space\ heating}$ annual space heating demand [kWh]
 $U_{average}$ average heat transfer coefficient [W/m²/K]
 $A_{heat\ loss}$ heat loss area [m²]
 N_{dd} annual number of degree days [K]

Un degré-jour correspond à la différence positive entre une température de référence fixe et la température extérieure moyenne d'un jour donné. Cette température de référence T_{ref} indique la température extérieure au-dessous de laquelle les besoins en chauffage apparaissent et dépend de la température intérieure requise (T_{ref} : 16,5° C pour les bureaux et les logements, 13° C pour les ateliers, 3° C pour la position hors gel). Les degrés-jours sont additionnés pour l'ensemble des jours de l'année, donnant ainsi le nombre annuel de degrés-jours. Au Tableau 33 figure le calcul des besoins annuels en chauffage d'un module à gradins (clos). Ce calcul ne tient pas compte des gains thermiques potentiels (provenant par ex. des machines, de l'éclairage, etc.), ni des déperditions thermiques (du fait par ex. de la ventilation, des portes ouvertes, etc.).

Tableau 34: Calcul des besoins annuels en chauffage d'un module de bâtiment en gradins

Paramètres du module		Besoins en chauffage du module		
U_{moyen}	0,5 W/(m ² .K)	T_{ref}	kWh	kWh/m ²
$A_{déperdition\ de\ chaleur}$	794 m ²	16,5°C	24.094	89
N_{dd} (2012) 16,5°C	2327 K	13°C	14.775	55
N_{dd} (2012) 13°C	1427 K	3°C	1.595	6
N_{dd} (2012) 3°C	154 K			
$A_{surface}$	265 m ²			

10.12.4 Production d'énergie bas carbone

Pompes à chaleur géothermiques: L'énergie géothermique superficielle peut assurer un approvisionnement en chauffage bas carbone. Ce type d'installation est constitué d'échangeurs de chaleur souterrains, verticaux ou horizontaux, reliés à une pompe à chaleur (eau/eau) qui augmente le niveau de température de la chaleur extraite. Par la suite, cette chaleur basse température vient alimenter les radiateurs dans les bureaux ainsi que les panneaux rayonnants dans les espaces de travail et les halls. Les forages qui doivent être creusés pour la mise en place d'échangeurs de chaleur verticaux sont onéreux. Dans ce projet, trois forages sont nécessaires par module de bâtiment. Les échangeurs de chaleur verticaux peuvent également être intégrés à la fondation sur pieux des immeubles partagés, mais la longueur des pieux (12 m) n'est pas suffisante pour extraire une quantité de chaleur suffisante.

Thermopompes à air: En mode chauffage, une thermopompe à air (air/air) extrait la chaleur depuis l'air extérieur et en augmente la température afin de chauffer l'air intérieur. En mode climatisation, l'opération est inversée, à savoir que la chaleur de l'air intérieur est extraite, amenée à une température plus élevée puis transférée vers l'air extérieur. Ce système permet de rapidement réchauffer ou climatiser les espaces. Pour les bureaux, on peut prévoir un système collectif. Pour les halls industriels, le système de ventilation et la pompe à chaleur pourraient être intégrés.

Chaudière à condensation au gaz naturel: Le chauffage des bureaux peut également être assuré par une chaudière à condensation au gaz naturel qui fournit de la chaleur aux radiateurs ou à un système de chauffage au sol. Les halls industriels peuvent être chauffés au moyen de panneaux rayonnants connectés à la chaudière centralisée, ou sinon par des générateurs d'air chaud à condensation autonomes. Les planchers chauffants peuvent s'avérer inadaptés pour les locaux industriels, en raison des grandes surfaces au sol et de la souplesse nécessaire à l'évolution des activités économiques. L'association de chaudières à condensation et d'un système de chauffage basse température ne réduit pas la consommation de gaz. Elle facilite cependant la transition vers des technologies à faible intensité de carbone qui génèrent de la chaleur **à basse température (chauffe-eau solaire, pompe à chaleur géothermique ou réseau de chaleur)**.

Panneaux photovoltaïques: Le toit de chaque module de construction du bâtiment partagé permet d'installer un système PV de 5kW crête.

10.12.5 10.12.5 Faisabilité économique

Le Tableau 34 fait une comparaison économique entre une chaudière à condensation au gaz naturel et une pompe à chaleur géothermique disposant d'une capacité de charge thermique de 10 kW. La différence observée entre la pompe à chaleur et la chaudière au gaz naturel au niveau des coûts d'investissements se trouve compensée par les économies d'énergie réalisées sur une base annuelle. Le délai de récupération est de 25 ans lorsque la pompe à chaleur fonctionne à base d'électricité importée du réseau et de 11 ans lorsque la pompe à chaleur est alimentée en électricité par le système PV local. Les pompes à chaleur sont subventionnées par le gouvernement flamand via la Prime Écologie (voir 2.6.1) et au travers de primes accordées par le gestionnaire du réseau de distribution. Il n'est cependant pas tenu compte des subventions dans le cadre du calcul, en raison de l'évolution rapide qu'elles connaissent actuellement.

Tableau 35: Comparaison économique entre une pompe à chaleur et une chaudière au gaz naturel

	Gaz naturel chaudière	Pompe à chaleur (CP 4,4)	Différence	Délai de récupération
Matériel	€ 3.700	€ 8.000		
Forage		€ 7.000		
Branchement gaz naturel	€ 2.150			
Total coûts d'investissements	€ 5.850	€ 15.000	€ + 9.150	
Consommation énergétique annuelle	24.000 kWh gaz naturel	5.459 kWh électricité		
Sans PV				
Coût unitaire de l'énergie	0,0527 €/kWh	0,165 €/kWh (1)		
Coûts énergétiques annuels	€ 1.265	€ 900	€ - 365	25 ans
Avec PV				
Coût unitaire de l'énergie	0,0527 €/kWh	0,08 €/kWh (2)		
Coûts énergétiques annuels	€ 1.265	€ 437	€ - 828	11 ans
<small>(1): 50 % heures pleines: 0,2 €/kWh, 50% heures creuses: 0,13 €/kWh (2): 0,08 €/kWh (investissement de 7 900 € sur 20 ans)</small>				

10.12.6 Évaluation

En raison de la souplesse qu'il convient de réserver à l'égard des activités des entreprises qui s'installeront dans les bâtiments partagés, il est difficile de définir un système de chauffage. À titre d'exemple, le chauffage au sol peut se montrer inadapté pour les locaux d'entrepôt ou les salles de refroidissement. Ainsi, wvi a décidé de ne pas investir dans un système de chauffage des locaux (individuel ou collectif). Wvi prévoit néanmoins d'installer un système PV de 5kW crête sur le toit de chaque module de construction du bâtiment partagé longeant la Pannestraat.

Le délai de récupération d'un système de pompe à chaleur géothermique est relativement long, comparé à celui d'un système de chaudière à condensation traditionnel. Lorsqu'on dispose d'électricité bon marché, produite par exemple par sa propre installation PV, le délai de récupération diminue. Bien sûr, il convient de tenir compte des sommes investies dans l'installation PV.

10.12.7 La suite

À partir du moment où les activités commerciales et les besoins en chauffage des entreprises qui vont s'installer dans les bâtiments communs sont connus, wvi peut alors prévoir l'installation d'un chauffage collectif.

10.13 Soutenir les entreprises sur les parcs d'activités bas carbone

10.13.1 Introduction

Wvi offre un accompagnement gratuit en matière d'efficacité énergétique au niveau de la conception, de la construction et de l'exploitation des bâtiments à toutes les entreprises installées sur ses parcs d'activités bas carbone.

10.13.2 Parc d'Activités Bas Carbone

Wvi aménage des parcs d'activités bas carbone sur lesquels les entreprises sont tenues de consommer de l'électricité carboneutre (voir 3.6 et 3.7). Les entreprises installées sur ces parcs d'activités bénéficient d'un accompagnement gratuit portant sur l'efficacité énergétique de la conception, la construction et l'exploitation de leurs bâtiments. Une liste détaillée des mesures qui existent en matière d'efficacité énergétique figure au 5.4.1. Dans le cadre de sa stratégie bas carbone, wvi entend accroître la consommation et la production d'énergies renouvelables sur ses parcs d'activités, promouvoir des méthodes de construction durables et identifier les opportunités en termes de clusters énergétiques (voir 7) dès le début d'un projet, tout en réduisant la facture énergétique en parallèle.

La plupart des parcs d'activités qui sont développés par wvi (voir Fig. 103) sont estampillés bas carbone et neuf d'entre eux sont actuellement en phase d'attribution. Quatre projets bas carbone concernent des parcs d'activités régionaux destinés à des entreprises nécessitant des lots d'une superficie de plus de 5 000 m²; l'un d'entre eux est réservé aux services automobiles et à la vente au détail, et le reste consiste en des parcs d'activités moins importants destinés aux PME à la recherche de lots d'une superficie de moins de 5 000 m².



Fig. 104: Vue d'ensemble des projets de parcs d'activités Bas

10.13.3 Évaluation

Les conseils en matière de construction écoénergétique sont plus efficaces lorsqu'ils sont adaptés aux besoins des entreprises. Wvi accompagne les entreprises pour trouver des subventions, déposer des demandes de permis environnementaux et trouver des experts.

10.13.4 La suite

Les entreprises seront suivies pour mesurer si elles sont satisfaites de l'accompagnement offert et vérifier si elles ont mis en œuvre les mesures énergétiques proposées. Un site internet est actuellement en construction. Il fournira des informations sur les pratiques de construction écoénergétique.

10.14 Réseau de chaleur - Parc industriel «2 Synthe»

ECOPAL a vérifié s'il était possible de mettre en place un échange de chaleur résiduelle via un réseau de chaleur sur le site industriel «2 Synthe», en coopération avec les autorités locales, le club d'affaires local et les entreprises, l'ADEME, etc. Les besoins thermiques ainsi que la quantité de chaleur disponible sur le site ont fait l'objet d'un inventaire. Les autres objectifs étaient d'encourager les entreprises à faire de Dunkerque une région durable et de les accompagner dans la gestion de leurs coûts énergétiques.

L'étude a localisé les entreprises disposant de chaleur résiduelle et celles qui présentaient des besoins en chaleur résiduelle. Les résultats ont été intégrés dans les plans d'un réseau de chauffage urbain créé pour la ville de Dunkerque (voir Fig. 104). Sur 160 entreprises installées sur la zone industrielle, 35 ont montré qu'elles avaient le potentiel pour intégrer le réseau de chaleur. Sur ces 35 entreprises, 21 présentent un potentiel de chaleur résiduelle total de 148 283 MWh par an et une demande d'énergie finale (principalement de l'électricité) de 330 000 MWh par an.

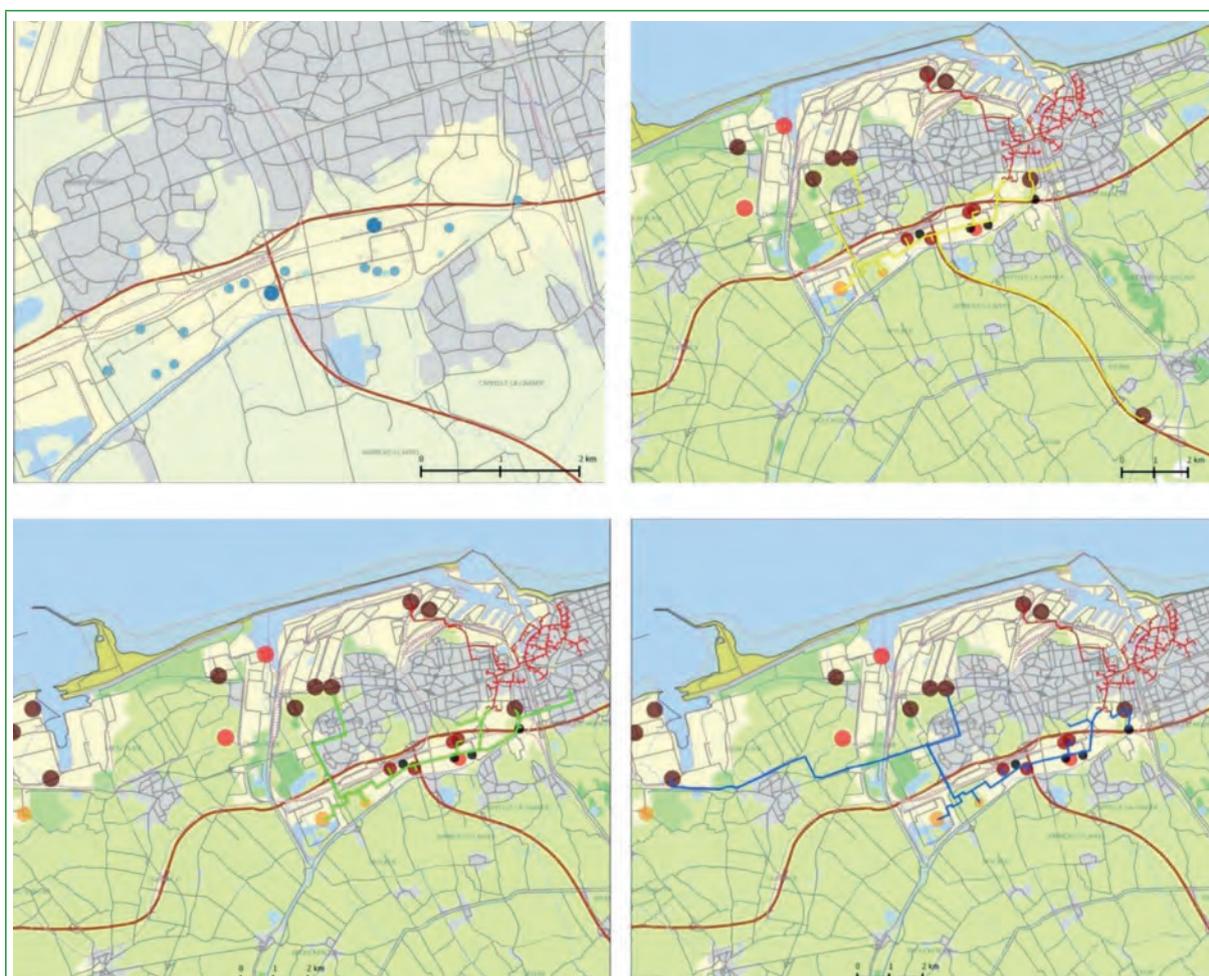


Fig. 105: Zone industrielle 2 Synthe et 3 variantes de configuration de réseau de chaleur

10.15 Collecte collective et substitution des déchets

10.15.1 Introduction

Depuis 2001, ECOPAL cherche à mettre en place des circuits fermés au niveau des flux de ressources de la région de Dunkerque. La Fig. 105 présente la zone d'activités d'ECOPAL. Durant le projet ACE, l'organisme a incité les entreprises de son réseau à échanger des informations concernant leurs flux énergétiques, de ressources et d'eau. Sur la base de cet inventaire, on a procédé à une identification des opportunités interentreprises en matière d'écologie industrielle, à savoir le potentiel de récupération et de réutilisation de la chaleur résiduelle, des déchets, des sous-produits ou des eaux usées, de clusterisation des services. L'objectif est d'économiser de l'énergie et des ressources et de réduire à la fois les coûts et les impacts sur l'environnement.

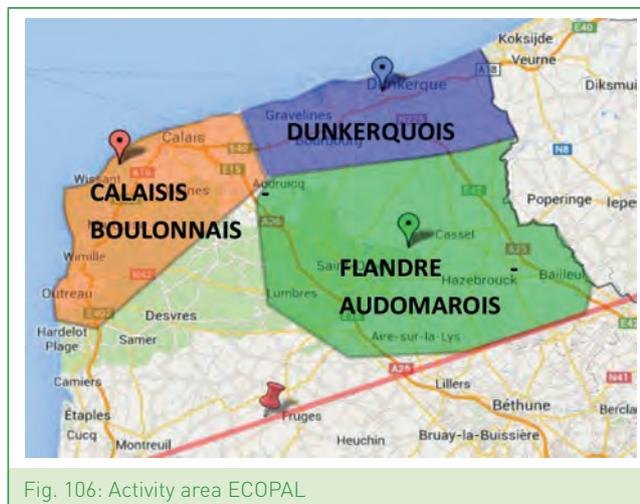


Fig. 106: Activity area ECOPAL

Les membres d'ECOPAL comptent:

- 30% de très petites entreprises (restaurants, sociétés d'ingénierie, garages, entreprises de construction, commerces)
- 62% de TPE (entreprises de transformation de l'acier, alimentaires, ateliers mécaniques)
- 5% de grandes entreprises (entreprises de production de l'acier, raffineries, sociétés de production d'électricité)
- 3% de particuliers

ECOPAL organise, tout d'abord, le regroupement de services pour les entreprises, comme par exemple la collecte des déchets. Dans un second temps, l'accent est mis sur la substitution des flux de ressources secondaires (déchets ou sous-produits) aux flux primaires, la substitution des eaux usées à l'eau douce et le remplacement de la combustion de carburants fossiles par la combustion de déchets ou l'utilisation de chaleur résiduelle. Lorsque les flux de déchets et sous-produits sont réinjectés dans le système local, on évite ainsi le recours aux ressources primaires et les émissions liées à leur extraction et leur transport. En outre, les coûts inhérents au traitement des flux de déchets ou sous-produits se trouvent diminués, voire évités.

10.15.2 Collecte collective des déchets

La collecte collective de cartouches d'encre vides est considérée comme une clusterisation de services. Par rapport à une situation où chaque entreprise organise le transport de ses propres déchets, la consommation de combustibles fossiles et les émissions de carbone y afférentes diminuent, du fait de la réduction du nombre de kilomètres parcourus (voir Tableau 35). Le Tableau 36 présente, pour tous les projets de collecte collective des déchets, les économies de CO₂ liées à la réduction des distances de transport parcourues et la baisse des coûts observée, comparé à la collecte individuelle réalisée par les entreprises de gestion des déchets.

Tableau 36: CO₂ savings from collective collection of empty ink cartridge

	Fév	Avril	Juin	Sept.	Oct.	Déc.	Total
Participants	11	9	9	7	9	11	56
Élimination individuelle de déchets							
km parcourus pour l'élimination des déchets	1991	1629	1629	1267	1629	1991	10136
Collecte collective des déchets							
km effectivement parcourus	211	205	205	200	205	211	1237
km économisés	1780	1424	1424	1067	1424	1780	8899
Tonnes de déchets	0,46	0,5	0,3	0,36	0,22	0,26	2,1
km. x tonnes économisées	819	712	427	384	313	463	18688
kg CO ₂ /km/tonne							0,175
tonnes de CO ₂ économisées							3,270

Tableau 37: Économies de CO₂ - Projets de collecte collective de déchets ECOPAL

Types de déchets	Entreprise de gestion des déchets	# d'entreprises	Tonnes de CO ₂ économisées	# de collectes	Tonnes collectées	Économies
Papier, carton, films plastiques	Baudelet	32	10,52	24	43	22.494
Papier	Veolia	43	8,07	12	18	9.832
Carton, films plastiques	Veolia	74	9,39	24	82	49.727
Archives confidentielles	Van Gansewinkel	21	5,31	6	16	1.630
DEEE	Envie2E	18	1,86	4	15	3.000
Déchets dangereux	Chimirec Norec	46	5,39	12	66	11.727
Batteries & accumulateurs	-	42	-	12	1	-
Cartouches d'encre	Eeko	47	3,27	6	105	418
Séparateurs d'huile	Astradec	8	0,92	2	20	2.230

10.15.3 Substitution des flux secondaires aux ressources primaires

Les entreprises peuvent substituer aux ressources primaires les déchets ou sous-produits issus de leurs process ou de ceux d'autres entreprises et remplacer les combustibles fossiles par les déchets ou la chaleur résiduelle. ECOPAL a démarré l'inventaire de tous les flux de matières entrants et sortants au sein de la zone industrielle de Dunkerque afin d'identifier les opportunités qui se présentent en termes de développement de synergies.

La synergie existant entre l'entreprise sidérurgique Arcelor Mittal et la société de manutention Sea-bulk peut être citée comme un exemple de substitution de ressources. Sea-bulk assure la livraison de minerai de fer et de charbon auprès Arcelor Mittal et les deux entreprises ont, par conséquent, tissé une relation historique forte. Les déchets issus de l'entretien des infrastructures de Sea-bulk (routes, quais, convoyeurs, ...) contiennent du charbon et divers minéraux qui peuvent être utilisés dans le cadre du process de frittage chez Arcelor. Cependant, afin d'éviter les distorsions lors de l'étape de frittage, les flux de déchets doivent dans un premier temps être traités dans une cuve d'homogénéisation au sein de l'entreprise sidérurgique. En raison des bonnes relations qu'entretiennent les deux entreprises, cette synergie s'est très vite mise en place.

ECOPAL a instauré un système d'échange selon lequel les entreprises peuvent demander ou offrir des matériaux (palettes, séparateurs de palettes, boîtes en bois, sangles, lattes) et équipements tous les mois.

10.15.4 Évaluation

ECOPAL parvient à faciliter la symbiose industrielle, grâce à la proximité géographique de ses membres, les bons contacts que l'organisme entretient avec les acteurs locaux et sa parfaite connaissance de la région. Les obstacles d'ordre technique, comme une grande variation dans le type de déchets, de trop faibles quantités et la discontinuité de certains flux de déchets sont autant de difficultés qui viennent freiner la mise en place de synergies. Cette approche contribue à réduire à la fois les coûts et l'empreinte écologique de l'industrie et soutient le développement économique (nouvelles compétences, techniques, technologies, process, R&D). L'instauration de nouvelles aides financières pour les investissements industriels est également mise en avant. En implémentant des synergies profitables entre les entreprises sur le long terme, on agit dans le sens de la symbiose industrielle.

10.15.5 La suite

ECOPAL continue d'inventorier les flux de matières et les possibles synergies et cherche à développer cette approche sur l'ensemble de son secteur d'activités et au-delà.

10.16 Projet de rénovation Theaklen Drive

10.16.1 Introduction

HBC a identifié puis analysé les meilleures mesures énergétiques bas carbone pouvant s'inscrire dans le projet de rénovation de quatre unités industrielles situées à Theaklen Drive dans la Zone Industrielle de Ponswood. Ce projet peut servir de guide pour la modernisation et l'amélioration sur le plan de l'efficacité énergétique des 62 bâtiments industriels installés dans la Zone Industrielle de Ponswood (voir Fig. 106).

10.16.2 Description du site

L'Unité Theaklen Drive (environ 1 400 m²) a été construite en 1989 et a, depuis sa création, accueilli une grande variété d'activités, depuis les garde-meubles jusqu'au garage de réparation automobile, son actuel locataire. Le Garage Langley occupe aujourd'hui trois des bâtiments et le reste de l'unité demeure inoccupé. L'édifice est constitué d'un seul bâtiment rectangulaire « adaptable », constitué de portiques en acier avec panneaux de revêtement sandwichs profilés en métal et isolation à base de laine de verre (voir Fig. 107). Les dalles de plancher en béton n'ont pas été isolées et le toit dispose d'une membrane d'étanchéité monocouche en PVC avec visiblement (non vérifié) une couche d'isolant en polystyrène de 30-50 mm. Les unités sont équipées de fenêtres en aluminium simple vitrage qui laissent passer la lumière et de 48 lanterneaux en polycarbonate. La membrane de toit et les lanterneaux étaient arrivés en fin de vie utile.

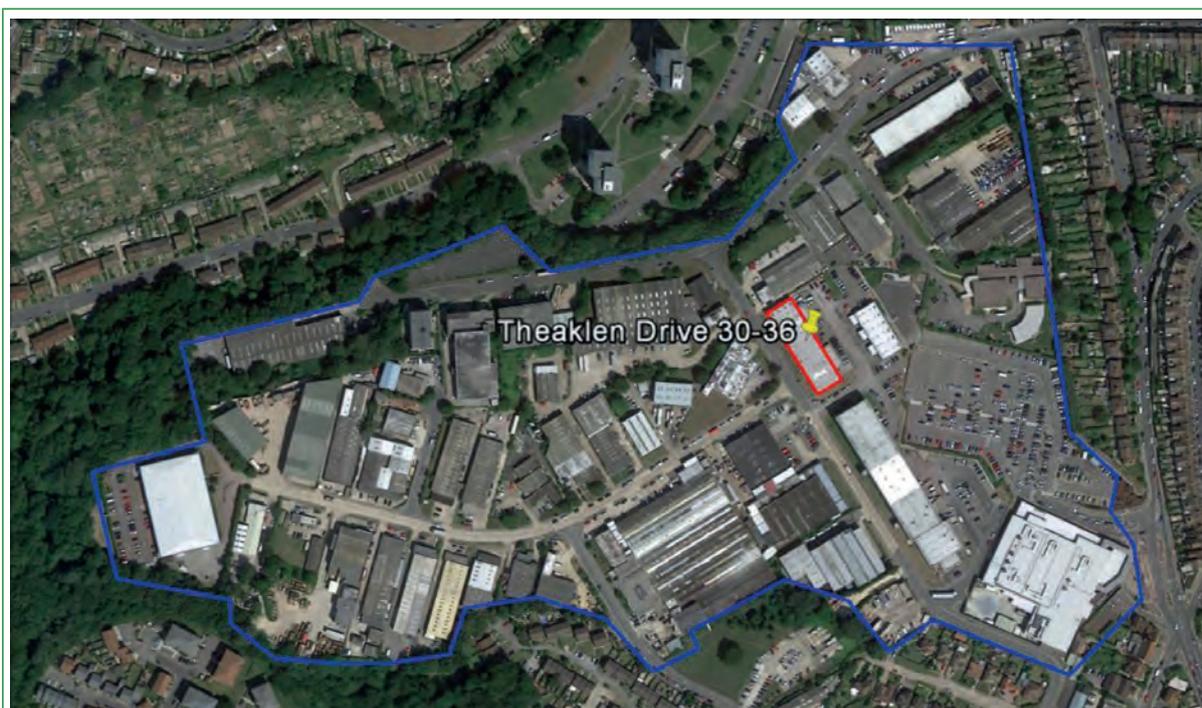


Fig. 107: Fig. 106: Emplacement 30 – 36 Theaklen Drive, Zone Industrielle de Ponswood, Royaume-Uni (2013)



Fig. 108: Emplacement 30 – 36 Theaklen Drive, Zone Industrielle de Ponswood, Royaume-Uni (2013)

10.16.3 Mesures bas carbone

Une étude menée par *BBM Sustainable Design Limited (Dip Arch RIBA Ian McKay)* a permis d'identifier les mesures énergétiques qui offrent un bon compromis entre la réduction des émissions de CO₂ et celle des coûts d'investissements. Le top cinq des mesures énergétiques a été défini sur cette base. Conformément à la stratégie Trias Energetica (voir 3.3), les mesures visant à réduire les besoins énergétiques ont été étudiées prioritairement à la production d'énergies renouvelables.

1. Isolation du toit:

En raison de la taille des bâtiments industriels, le toit présente une surface de déperdition de chaleur beaucoup plus importante que les murs. De plus, l'air chaud s'accumule sous le toit car il s'élève dans le bâtiment. Ainsi, pour réduire les déperditions thermiques, il est très important que le toit soit bien isolé. Lors de la construction des anciennes unités industrielles, on ne prévoyait que très peu voire pas d'isolation du tout. De ce fait, il conviendrait de modifier les parapets et les supports pour les adapter à l'isolation de la toiture. La membrane d'étanchéité doit être remplacée au même moment.

2. Isolation des murs:

Outre le toit, les murs extérieurs des bâtiments industriels sont à l'origine d'une grande partie de la perte de chaleur vers l'extérieur (voir Fig. 108). De nombreuses techniques de construction font appel à la laine de verre pour assurer une isolation entre les panneaux sandwichs profilés en métal; or, celle-ci a tendance à s'affaisser. Ce problème peut être détecté à l'aide d'une caméra d'imagerie thermique, mais les résultats doivent être interprétés avec précaution car le coefficient de réflexion du revêtement peut venir fausser les données. De nouveaux systèmes de fixation profonde permettent d'installer des sections de revêtement plus larges; on peut ainsi augmenter l'épaisseur de l'isolant et cela évite l'affaissement. Pour les bâtiments ou les corps de bâtiments exposés au soleil, on peut réduire les besoins en chauffage d'environ 20% en installant un bardage métallique profilé avec un réseau de ventilation intégré. Le rayonnement solaire direct vient préchauffer l'air présent dans les ondulations, qui est alors pris en charge par le système de ventilation. L'amélioration ou le remplacement de l'isolation peut se faire au même moment que la rénovation du revêtement mural lorsqu'il conviendra de changer celui-ci.

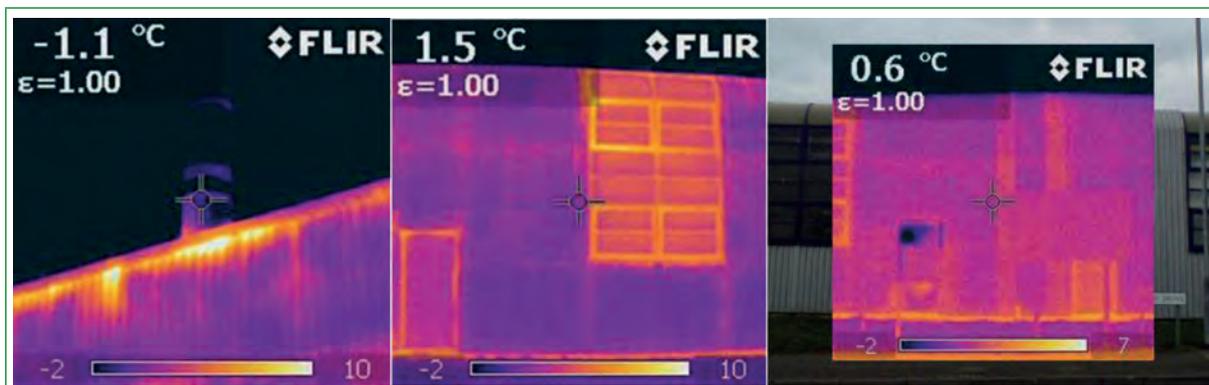


Fig. 109: Images de déperdition de chaleur au 34 Theaklen Drive

3. Amélioration du périmètre d'isolation

En raison de la grande surface au sol des bâtiments industriels, il s'avère coûteux d'isoler l'ensemble de la superficie. Toutefois, la déperdition de chaleur par le sol revêtu de dalles se concentre sur une zone de 2 m de large le long du périmètre (voir Fig. 108). Ainsi, la déperdition thermique peut être considérablement réduite en apposant un isolant à la verticale de la bordure extérieure de la dalle ou de la plinthe murale extérieure de façon à créer une rupture de pont thermique. La plinthe isolée peut être intégrée dans le sol et aller jusqu'au sommet de la fondation.

4. Amélioration des fenêtres et des portes

Pour les bâtiments industriels, la portion de perte de chaleur imputée aux fenêtres et aux portes, comparée à la déperdition totale au niveau de l'enveloppe du bâtiment, est nettement plus faible que pour les bâtiments résidentiels. Par conséquent, la réduction relative du besoin thermique qui pourrait résulter du remplacement du simple vitrage des fenêtres par du double vitrage et de l'installation de portes isolées sera moins

importante pour les unités industrielles que pour les bâtiments résidentiels. Lors du remplacement des portes et des fenêtres, il serait judicieux d'améliorer l'étanchéité à l'air au niveau des jonctions à l'aide, par exemple, de rubans adhésifs et de mastics.

5. Amélioration des lanterneaux

De nombreux bâtiments industriels sont équipés de lanterneaux en polycarbonate de mauvaise qualité. Ils offrent une mauvaise isolation thermique et, au fil du temps, leur transparence est détériorée par la lumière UV. Les nouvelles technologies de lanterneaux tubulaires et les vitrages améliorés facilitent la pénétration de la lumière et réduisent le besoin de lumière artificielle (voir 5.4.1).

6. Mesures énergétiques complémentaires

Les mesures énergétiques complémentaires comptent l'utilisation de systèmes de chauffage par rayonnement plutôt que par convection (voir 5.4.1), le recours au relighting et aux systèmes d'éclairage artificiel pilotés par la lumière du jour (voir 5.4.1), l'installation de panneaux PV pour la production d'électricité et de panneaux solaires thermiques ainsi que d'eau chaude sanitaire (voir 6.5.1).

10.16.4 Faisabilité économique

Il a été décidé de rénover le bâtiment de Theaklen Drive en place plutôt que d'en construire un nouveau à l'identique car cela coûterait entre 1,2 m et 1,7 m £. Le projet a été finalisé en février 2014 et a reçu un financement de 450 000 £ de la part du Council et de l'EFRO. Les mesures énergétiques mises en place sont les suivantes: installation de tubes solaires, mise en place de portes à enroulement rapide et de portes et de fenêtres à double vitrage, isolation du toit et des plinthes entourant le bâtiment, renforcement de la structure du toit pour qu'il puisse recevoir des panneaux solaires et recours au relighting pour les bureaux. On espère une amélioration de 28% de l'efficacité globale, se traduisant par une réduction de la facture énergétique. De plus, la durée de vie de ces unités industrielles est prolongée de 25 ans.

L'installation de systèmes photovoltaïques devrait coûter environ 15 000 £. À noter qu'en raison des régimes tarifaires de rachat actuels, le rendement d'une installation photovoltaïque de 15 000 £ installée sur le bâtiment serait de 3 648 kWh/an. Sur la base d'un tarif de production fixé à 13,9c/kWh, le revenu annuel serait de 863 £, ce qui donne un délai de récupération d'environ 17 ans. De ce fait, il a été décidé de seulement préparer le toit à recevoir des modules PV afin de garder des options ouvertes pour l'avenir, soit pour le propriétaire, soit pour le locataire.

10.16.5 Évaluation

En tant que propriétaire, HBC doit rapidement louer les unités afin de garantir des revenus constants. De ce fait, la réalisation du projet dépendait de la volonté du locataire de partir sur une rénovation bas carbone. Cette option s'est également avérée être à la base de la réussite du projet.

Le choix entre la rénovation et la construction d'un nouveau bâtiment est primordial dans le cadre de ce projet et la décision est fonction du retour sur investissement (RSI). Dans ce cas, l'analyse a montré que le coût de l'éco-rénovation des unités 30-36, chiffré à 5,5 K€, et le fait de prolonger leur durée de vie de 25 ans représentaient une économie de 1 million €. De plus, le temps de construction et le carbone qui en découle dans le cadre d'une rénovation sont beaucoup moins importants que pour une construction neuve. Cela contribue, en outre, à retenir les locataires.

Il est important que les bénéfices soient mutuels pour réduire les émissions de carbone à la fois du côté du locataire et du propriétaire. Dans le cadre de ce projet, HBC (le propriétaire) et Langley (le locataire) ont compris que l'efficacité énergétique et la gestion des déchets leur permettraient de réaliser des économies directes et ont, de ce fait, permis d'accroître la rentabilité et la durabilité de l'activité en assurant des revenus constants et garantis pour HBC.

La suite

Les impacts des travaux proposés seront examinés dans le cadre du dossier «Réponses à l'Économie du Carbone - pour le Projet de Rénovation de Theaklen Drive» (*Answers to the Carbon Economy - for the Theaklen Drive Refurbishment Project*). *Hastings Borough Council - Business Case: Part two (June 2014)*.

Annexe

La Fig. 109 montre les différentes étapes du processus d'audit .

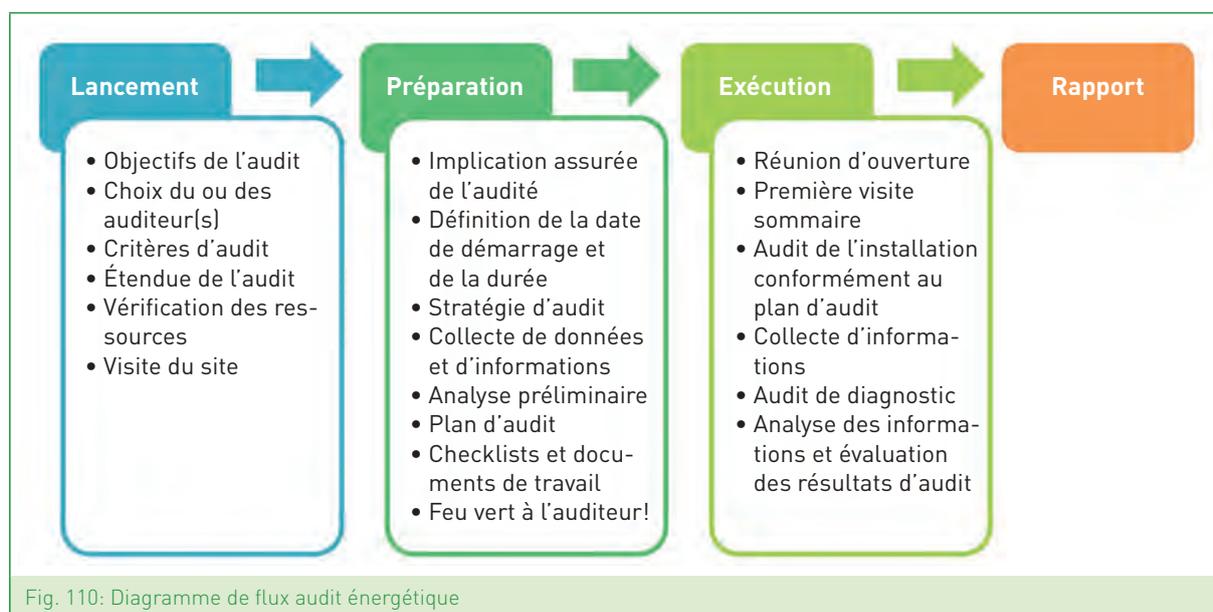


Fig. 110: Diagramme de flux audit énergétique

1. Lancement de l'audit

- **Réalisation d'un audit énergétique**

Dans cette première phase, il est important de définir des priorités concernant les installations de l'entreprise dans le cadre de l'audit énergétique. On peut le faire sur la base de la consommation d'énergie enregistrée par les zones à problème ou par unité de surface au sol.
- **Objectifs de l'audit**

Les objectifs sont variés: il peut s'agir d'identifier et de qualifier les pertes énergétiques dans le bâtiment, de s'assurer du respect de la politique interne en matière de gestion de l'énergie ou de définir les opportunités en termes d'efficacité énergétique.
- **Choix du ou des auditeur(s)**

L'auditeur guidera l'entreprise auditée quant à la définition de l'étendue et des critères d'audit et autres phases préparatoires.
- **Critères d'audit**

Les critères de l'audit énergétique rassemblent les politiques, pratiques, procédures ou exigences, sur la base desquelles l'auditeur établit une comparaison avec les données recueillies quant à l'état du système énergétique au sein de l'entreprise. Les exigences peuvent prendre la forme de normes, d'orientations, d'exigences spécifiques en matière d'organisation et d'exigences légales ou réglementaires.
- **Étendue de l'audit**

L'étendue de l'audit se traduit par la délimitation géographique du système et la portée de ses activités. Elle implique un bâtiment consommant de l'énergie, des process et sous-process, de nombreuses pièces d'équipement ou pièces individuelles, etc.
- **Vérification des ressources**

La mise à disposition des ressources doit être en ligne avec les objectifs et l'étendue de l'audit, notamment:

 - ✓ permettre l'accès aux installations concernées, au personnel et à toutes informations utiles;
 - ✓ remettre les dossiers demandés par l'auditeur;
 - ✓ faciliter les prises de mesures et la collecte des informations;
 - ✓ informer l'auditeur des mesures de sécurité en place au sein de l'entreprise et autres exigences et risques potentiels.

- **Visite du site**
La visite du site donne une meilleure idée de l'installation et de l'étendue de la mission. De plus, elle permet de clarifier les questions qui se posent, d'identifier les ressources et de les sécuriser et d'ajuster l'audit envisagé quant à son étendue, sa date de démarrage et sa durée.

2. Préparation de l'audit

- **Obtenir l'implication de l'audité**
Certains éléments pertinents, tels que l'étendue de l'audit, la méthodologie proposée et les autres tâches, doivent être clairement communiqués. De plus, il est essentiel d'obtenir des informations relatives aux sujets de préoccupation qui requièrent une attention particulière.
- **Date de démarrage et durée prévue**
- **Stratégie d'audit**
L'audit énergétique peut se contenter de définir les possibilités de gestion de l'énergie (PGE) ou peut également consister en une analyse spécifique et plus approfondie visant à confirmer et quantifier les opportunités.
- **Collecte de données et d'informations**
Les données relatives aux flux énergétiques et les autres informations concernant les unités consommatrices d'énergie dans le périmètre défini doivent être collectées. En commençant par étudier les factures d'énergie et en rassemblant les données relatives à la production et aux conditions météorologiques, on peut avoir une meilleure idée de l'historique des différents flux énergétiques au cœur de l'installation. De plus, les données historiques peuvent être complétées par des informations relatives à la consommation d'énergie, récoltées sur site par mesure directe. Les données doivent être représentatives des activités actuelles de l'entreprise, ceci afin d'obtenir une base fiable qui permettra de suivre la consommation énergétique à venir. Outre les données relatives aux flux énergétiques, les supports tels que les plans, les dessins et les schémas du panneau électrique peuvent être utiles pour repérer les unités consommatrices d'énergie.
- **Analyse préliminaire**
Au cours de cette étape, on rapproche les données sur la consommation d'énergie des informations opérationnelles de l'installation et on identifie ainsi les zones qui consomment de l'énergie. Un calendrier de travail sera mis en place dans le cadre de la collecte d'informations sur le site audité, des analyses et de la remise d'un rapport d'audit. Après cela, le bilan énergétique de l'installation peut être dressé; il permet de repérer les zones les plus énergivores et les sous-zones qui nécessiteront une analyse plus poussée lors des phases ultérieures de l'audit énergétique.
- **Plan d'audit**
Un plan d'audit est un document bien défini, mais suffisamment souple pour s'adapter aux informations inattendues et aux imprévus. Ce document contient:
 - ✓ des détails sur les unités organisationnelles et fonctionnelles devant être auditées (y compris les coordonnées)
 - ✓ le lieu et la date de l'audit
 - ✓ les objectifs et critères d'audit
 - ✓ l'étendue de l'audit
 - ✓ les éléments d'audit jugés hautement prioritaires
 - ✓ le calendrier précisant la période et la durée des principales opérations de vérification
 - ✓ les noms des personnes faisant partie de l'équipe d'audit
 - ✓ les exigences en matière de confidentialité
 - ✓ le format du rapport d'audit, la date prévue de remise et de distribution du rapport
- **Checklists et documents de travail**
La checklist permet de guider l'auditeur et recommande les étapes suivantes dans le cadre de l'audit énergétique:

- ✓ inventaire des instruments de mesure et de contrôle existants
- ✓ étude du rôle de la performance énergétique des différents systèmes et process
- ✓ inventaire des informations manquantes et des mesures à prendre
- ✓ liste des améliorations qui s'avèreraient utiles et estimation des coûts
- ✓ estimation des économies d'énergie

- **Feu vert à l'auditeur!**

Lorsque les trois conditions suivantes, essentielles dans le cadre de la réalisation d'un audit, sont réunies :

- ✓ on dispose de suffisamment de ressources
- ✓ on dispose de suffisamment d'informations
- ✓ la collaboration de l'auditée est assurée

3. Conduite de l'audit énergétique

- **Réunion d'ouverture**

- **Première visite sommaire**

- **Audit de l'installation conformément au plan d'audit**

- **Collecte d'informations**

Les données relatives à l'approvisionnement et à la consommation énergétiques peuvent être extraites ou déterminées sur la base des factures, des informations horaires communiquées par le gestionnaire du réseau, de mesures complémentaires, de données des années précédentes, etc. [www.ict-4saveenergy.eu/wp-content/uploads/2011/12/save-energy-d23-energy-audit-methodologies-and-procedures.pdf].

Approvisionnement en énergie et en eau

Collecte, compilation et mise en graphique des informations relatives à l'approvisionnement en énergie et en eau:

- ✓ approvisionnement en chaleur (chauffage urbain, chaudière à mazout, chaudière au gaz naturel, etc.)
- ✓ cotation de la source d'énergie thermique (puissance/débit d'eau commandé(e), effet chaudière, volume/puissance des radiateurs électriques à accumulation, etc.)
- ✓ propriétaire du réseau d'électricité et coûts de transfert ou de distribution
- ✓ fournisseur d'électricité et tarifs de vente
- ✓ approvisionnement des locataires en électricité
- ✓ capacité du raccordement électrique
- ✓ pour l'eau, l'approvisionnement en eau et traitement des eaux usées

Consommation d'énergie et d'eau

Collecte, compilation et mise en graphique des informations relatives à la consommation en énergie et en eau:

Chaleur

- ✓ consommation d'énergie thermique annuelle comparée aux consommations spécifiques moyennes de bâtiments similaires
- ✓ répartition de la consommation de chaleur s'agissant de la consommation normalisée de l'année précédente
- ✓ répartition de la consommation de chaleur entre le chauffage, la ventilation et l'eau chaude sanitaire
- ✓ répartition des coûts liés à l'énergie thermique du bâtiment, entre les coûts de base et les coûts liés à la consommation d'énergie

Electricity

- ✓ consommation d'électricité annuelle comparée aux consommations spécifiques moyennes de bâtiments similaires
- ✓ répartition de la consommation d'électricité par département au sein de l'entreprise, en distinguant par exemple l'éclairage, la production, le stockage, les bureaux et organes administratifs, etc.
- ✓ répartition de la consommation annuelle d'électricité, par ensemble d'équipements, pour distinguer les consommations mensuelles et jour/nuit de façon à pouvoir comparer les coûts annuels des tarifs alternatifs
- ✓ définition de la demande de pointe du bâtiment pour comparer les tarifs et établir une estimation de la répartition de la consommation d'électricité par ensemble d'équipements
- ✓ étude des variations de charges électriques
- ✓ présentation des coûts électriques de l'année précédente et répartition en composantes selon les tarifs pratiqués (transfert/vente)

Eau

- ✓ rapprochement entre la consommation d'eau et la consommation de chaleur, sur une période de temps comparable et pour une utilisation similaire
- ✓ définition de la consommation d'eau effective et spécifique
- ✓ coûts annuels liés à l'eau et répartition des frais de consommation (eau et eaux usées) et des charges fixes (frais de base, frais de sprinklers et location de compteurs)

• **Audit de diagnostic**

L'audit de diagnostic détaillé permet à l'auditeur de détecter et de déclarer les écarts, transitoires et autres irrégularités opérationnelles. Cette collecte de données détaillées compte également les demandes de démonstrations et la prise de mesures et d'enregistrements complémentaires. Sur la base des informations récoltées, on peut déterminer l'utilisation qui peut être faite de l'énergie par chacune des unités consommatrices d'énergie et identifier les améliorations potentielles à même d'accroître l'efficacité énergétique.

• **Analyse des informations et évaluation des résultats d'audit**

- ✓ vérification des informations récoltées
- ✓ rédaction des conclusions et commentaires
- ✓ recommandations
- ✓ PGE
- ✓ quantification de l'efficacité des économies d'énergie attendues

4. Rapport d'audit

Le rapport d'audit énergétique donne un aperçu du niveau d'efficacité énergétique de l'installation et justifie l'importance des coûts énergétiques observés. À la lecture du rapport d'audit, l'entreprise auditée comprend les raisons des économies d'énergie qui lui sont proposées et cerne mieux les mesures qui permettent de les réaliser.

Le rapport d'audit décrit les calculs et analyses réalisés, et présente notamment:

- le délai de récupération du projet afin d'en évaluer la possible mise en place
- le ratio d'intensité énergétique (à savoir l'énergie consommée par unité de produit)
- le choix des PGE
- les conclusions et recommandations.

Références

OFFICE DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DE RESSOURCES NATURELLES CANADA, 2002 *Energy Efficiency Planning and Management Guide*.

Answers to the Carbon Economy (ACE, Réponses à l'Économie du Carbone) est un projet du programme INTERREG IV 2 Mers. Le 'Guide du parc d'activités bas carbone' est un résultat important du projet ACE. Il combine l'expérience de six partenaires du projet dans trois états membres de l'UE, et intègre les enseignements tirés durant ce projet de 3 ans.

Le guide est un outil pour les mesures énergétiques à faibles émissions de carbone pour les entreprises et les promoteurs de parcs d'activités et délivre aussi des explications détaillées.

WWW.ACE-LOW-CARBON-ECONOMY.EU

