



PHASE 4.4 Common Analysis of the catalogue

D24 - Policy Recommendations

Efficacité énergétique des parcs scientifiques et technologiques

Recommandations à destination des gestionnaires de parcs, collectivités et aménageurs

Authors	S. Le Dû, O. Lefrère, M. Labonne (Cerema) D. Caccavelli, J.C. Visier, O. Tessier (CSTB) 
----------------	---

Table of content

1	Introduction.....	6
1.1	Le projet Smart MED Parks.....	6
1.2	Pourquoi ce guide ?.....	6
1.3	Spécificités des parcs scientifiques et technologiques.....	7
2	Le cadre européen.....	10
2.1	Efficacité énergétique	10
2.2	Énergies renouvelables	11
2.3	Enjeux économiques, environnementaux et sociaux de l'efficacité énergétique des PST ...	12
2.4	Acteurs.....	13
2.5	La problématique énergétique des PST	14
2.5.1	Les différents usages énergétiques	14
2.5.2	Tendances énergétiques dans le tertiaire et industrie.....	14
2.5.3	Les spécificités d'un parc scientifique et technologique.....	17
2.6	Échelles : le bâtiment, le parc, la ville	17
2.7	Vers des parcs sobres, exploitant des énergies propres et locales.....	20
3	Agir à l'échelle des bâtiments	20
3.1	Bâtiments neufs : préparer l'avenir.....	21
3.1.1	Pourquoi agir sur les bâtiments neufs ?.....	21
3.1.2	Cadre réglementaire européen et exemple français	21
3.1.3	Ruptures technologiques et conceptuelles des bâtiments à énergie positive.....	22
3.2	Bâtiments existants : l'enjeu essentiel à court et moyen terme.....	24
3.2.1	Sensibilisation des utilisateurs et actions sur l'usage	25
3.2.2	Gestion technique et exploitation.....	25
3.2.3	Travaux sur le bâti, les aménagements et l'équipement	26
4	Agir à l'échelle du parc	28
4.1	Intérêt de l'approche mutualisée sur un ensemble de bâtiments.....	28
4.1.1	Trois vecteurs, trois réseaux.....	29
4.2	Développer et optimiser les sources et les réseaux d'énergie.....	30
4.2.1	Les énergies renouvelables et de récupération mobilisables à l'échelle du parc	30
4.2.2	Réseaux d'énergie intelligents	32
4.2.3	Réseaux de chaleur et de froid.....	33

4.2.4	Coordination multi-énergie	34
4.2.5	Stockage mutualisé.....	35
4.2.6	Récupération de chaleur fatale	38
4.2.7	La conversion chaleur-électricité-froid et la tri-génération	40
4.3	Usages énergétiques hors bâtiments et actions possibles.....	42
4.3.1	Efficacité énergétique dans les transports à l'échelle d'un parc.....	42
4.3.2	Éclairage public.....	46
4.4	Autres évolutions significatives en matière de services urbains.....	46
5	Conseils méthodologiques	47
5.1	Les difficultés à traiter	47
5.1.1	Multiplicité des acteurs	47
5.1.2	Chronologie	47
5.1.3	Multiplicité des objets techniques et urbains	48
5.2	Vision globale	48
5.3	Approche en coût global : prendre en compte tous les coûts et bénéfices sur une période longue	49
5.4	Explorer les différentes pistes de financement.....	49
5.4.1	Subventions directes	50
5.4.2	Subventions indirectes	50
5.4.3	Financement participatif	51
5.4.4	Tiers investissement.....	51
5.5	Collecter, organiser, exploiter les données	52
5.5.1	SIG.....	52
5.5.2	Maquette numérique	52
5.5.3	Outil Smart Med Park pour l'analyse de scénarios	53
5.6	Se faire accompagner	53
6	Annexe : Présentation des outils mis à disposition par l'initiative Smart Med Parks	55
6.1	Catalogue papier et e-catalogue	55
6.2	Outil d'évaluation de la performance énergétique des PST	55
6.2.1	Cahier des charges de l'outil.....	55
6.2.2	Présentation de l'outil SMP	56
6.2.3	Résultats présentés par le logiciel.....	59

1 INTRODUCTION

1.1 Le projet Smart MED Parks

Smart MED Parks est un projet pilote financé dans le cadre du Programme **MED** qui a pour objectif d'améliorer l'efficacité énergétique des **Parcs Scientifiques et Technologiques**, en contribuant à la création d'un modèle auto-suffisant de génération et de consommation d'énergies par le déploiement de réseaux intelligents.

Ce modèle, testé dans cinq Parcs Scientifiques et Technologiques en Espagne, Italie, France et Portugal favorisera l'efficacité énergétique et l'intégration des énergies renouvelables comme facteur clé pour la compétitivité et la viabilité du modèle économique et social actuel des parcs de la zone méditerranéenne.



Figure 1 - Pays membres du projet Smart MED Parks

- Pour en savoir plus, consulter le site officiel Smart MED Parks : www.smartmedparks.eu

1.2 Pourquoi ce guide ?

En complément des outils et modèles techniques développés dans le cadre du projet, l'équipe Smart MED Parks a souhaité apporter des éléments de **compréhension générale des enjeux et possibilités d'intervention en matière d'efficacité énergétique**, sous une forme simple et accessible, à l'ensemble des acteurs locaux, publics et privés, chargés de la création, de l'aménagement ou de la gestion des parcs scientifiques et technologiques.

Ce guide constitue une **aide à la prise d'initiative** en matière d'efficacité énergétique des parcs scientifiques et technologiques, ainsi qu'une introduction aux outils mis à disposition par l'initiative Smart MED Parks.

Son objectif n'est en aucun cas de **se substituer à un accompagnement par les organismes et prestataires compétents en matière d'intégration de l'énergie dans l'aménagement et la construction** (agences publiques, bureaux d'études privés, assistants à maîtrise d'ouvrage...): les actions qui peuvent être conduites sont en effet d'une grande variété, et leur mise en œuvre reposent sur des **modèles techniques et économiques très diversifiés**, qui ne peuvent être décrits dans le présent document de sensibilisation.

Les éléments présentés dans le guide constituent à ce titre une aide à l'établissement du dialogue entre le gestionnaire du parc ou son aménageur, et les prestataires externes sus-cités.

1.3 Spécificités des parcs scientifiques et technologiques

La notion de parc scientifique et technologique peut recouvrir des réalités assez différentes, d'un pays à un autre, voire entre parcs situés dans un même pays.

L'UNESCO, qui travaille depuis 2002 sur le soutien aux parcs scientifiques et technologiques¹, illustre bien cette difficulté, en proposant plusieurs définitions mais également plusieurs noms : « *technopolis, science parks, research parks, hi tech industrial park, innovation centre, R&D park, university research park, research and technology park, science and technology park, science city, science town, technology park, technology incubator, technology park, technopark, technopole, technology business incubator* »².



Figure 2 - Parc technologique Ljubljana (Slovénie)

Une définition du « science park », « technology park », « technopole » ou « research park » a toutefois été proposée par l'Association Internationale des Parcs Scientifiques (IASP) :

« A science park is an organization managed by specialised professionals, whose main aim is to increase the wealth of its community by promoting the culture of innovation and the competitiveness of its associated businesses and knowledge-based institutions. To enable these goals to be met, a science park stimulates and manages the flow of knowledge and technology amongst universities, R&D institutions, companies and markets; it facilitates the creation and growth of innovation-based

¹ Voir <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/science-technology/university-industry-partnerships/science-and-technology-park-governance/>

² Voir <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/science-technology/university-industry-partnerships/science-and-technology-park-governance/concept-and-definition/>

companies through incubation and spin-off processes; and provides other value-added services together with high quality space and facilities. »

Au niveau européen et en particulier dans le périmètre de l'initiative Smart MED Parks, on peut retenir le principe d'une définition souple, basée sur un faisceau d'indices correspondant à la définition de l'IASP. On admet ainsi qu'un parc scientifique et/ou technologique est une zone d'activités caractérisée par :

- **une activité basée majoritairement sur l'innovation** (notamment les technologies de l'information et la R&D), avec des entreprises industrielles de hautes technologies ;
- **une gouvernance renforcée** par rapport aux zones industrielles classiques, avec un objectif de développement par l'innovation partagé par l'ensemble des acteurs publics et privés impliqués ;
- **un effort particulier sur les services apportés** par le parc aux entreprises implantées, à travers une offre mutualisée (salles de conférences, incubateurs d'entreprises, laboratoires, résidences, restauration, services énergétiques, etc.). Pour cela, le parc est géré par une organisation spécialisée, qui a également pour rôle de favoriser les synergies entre les entreprises et organismes implantés dans le parc et sur le territoire.

En s'appuyant sur cette définition, on considère que l'Europe compte plus de 70 parcs scientifiques et/ou technologiques. Ils jouent un rôle majeur dans l'économie de la connaissance.

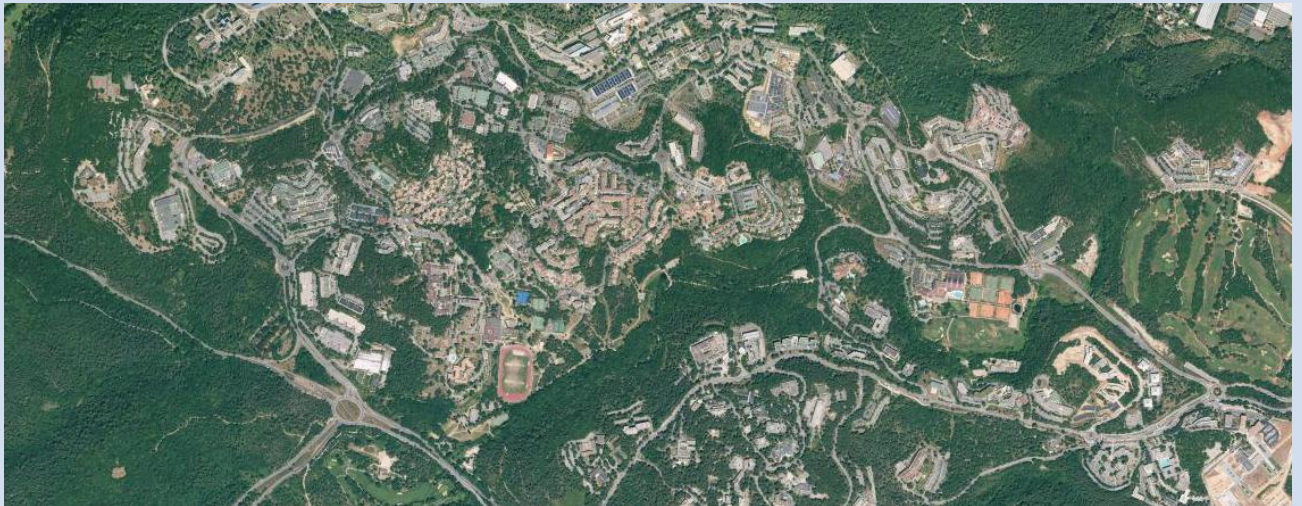
Deux exemples de parcs scientifiques et technologiques européens

Le Parc Technologique d'Andalousie (Espagne)



Créé dans les années 90, ce Parc accueille aujourd'hui 14500 employés répartis dans 60 bâtiments (industriels, bureaux, espaces de formation, espaces d'exposition). Le Parc s'étend sur 1689000 m². L'électronique et les technologies de l'information et de la communication représentent plus de la moitié de l'activité du Parc. Le développement du Parc Technologique d'Andalousie a permis, en vingt ans, de revitaliser la ville de Malaga, en relançant le développement économique et l'innovation.

Parc Scientifique et Technologique Sophia Antipolis (France)



Lancé en 1969, Sophia Antipolis est à la fois un parc d'activités et une communauté d'entreprises axée sur l'innovation, qui a servi de modèle pour les pôles de compétitivité en France. Il accueille aujourd'hui 30000 employés, au sein de 1400 organismes de prestations intellectuelles (pas de production industrielle sur la zone). Les technologies de l'information et de la communication représentent 71 % des activités de Sophia Antipolis.

2 LE CADRE EUROPEEN

2.1 Efficacité énergétique

Le cadre européen est fixé par le paquet énergie-climat décliné à travers différents textes promulgués depuis 2009. Deux de ces textes concernent plus particulièrement l'efficacité énergétique :

- La **directive européenne relative à la performance énergétique des bâtiments** (2010/31/UE)
- la **directive européenne relative à l'efficacité énergétique** (2012/27/UE).

Cette dernière établit un cadre commun de mesures pour promouvoir l'efficacité énergétique dans l'Union afin de réaliser le grand objectif fixé par l'Union d'accroître de 20 % l'efficacité énergétique d'ici 2020 et de préparer la voie à de nouvelles améliorations de l'efficacité énergétique au-delà de cette date³. Elle fixe également les règles destinées à lever les obstacles au marché de l'énergie et à pallier les défaillances du marché qui nuisent à l'efficacité dans la fourniture et l'utilisation de l'énergie.

Les 28 États membres de l'UE sont ainsi tenus de faire une **utilisation plus efficace de l'énergie à tous les stades de la chaîne énergétique**, depuis la transformation et la distribution jusqu'à la consommation finale.

La directive prévoit notamment les mesures suivantes, qui concernent directement les parcs scientifiques et technologiques :

- Les États membres sont tenus de réaliser certaines économies d'énergie durant la période d'obligation (du 1er janvier 2014 au 31 décembre 2020), en mettant en place des **exigences contraignantes en matière d'efficacité énergétique** ou d'autres **mesures ciblées pour stimuler l'amélioration de l'efficacité énergétique** dans les secteurs des ménages, de l'industrie et des transports.
- Les consommateurs de gaz, électricité, chaleur/froid pourront réaliser d'importantes économies d'énergie grâce à des **systèmes de mesure plus précis et individualisés**, qui leur permettront d'accéder facilement et gratuitement à des données sur leur consommation passée et instantanée.
- Les **grandes entreprises⁴ devront effectuer un audit énergétique** au moins tous les quatre ans à partir de 2015 au plus tard. Des mesures sont prévues **pour inciter les petites et moyennes entreprises** à commander des audits énergétiques, qui les aideront à déterminer leurs possibilités de réduire leur consommation.
- Chaque Etat membre doit mettre en place une stratégie de long terme en matière de **rénovation thermique des bâtiments anciens**.
- Le secteur public (parfois implanté dans les parcs scientifiques et technologiques) doit montrer l'exemple : **rénovation obligatoire d'une partie des bâtiments** des administrations centrales,

³ En octobre 2014, les objectifs fixés par la Commission Européenne à l'horizon 2030 ont été dévoilés : réduction de 40% des gaz à effet de serre, accroissement de 30% de l'efficacité énergétique ainsi que de 27% de la part des ENR dans la production d'énergie.

⁴ La commission européenne définit comme grande entreprise une entreprise de 250 salariés et plus, ou une entreprise dont le chiffre d'affaires est supérieur à 50 millions d'euros et le total du bilan supérieur à 43 millions d'euros.

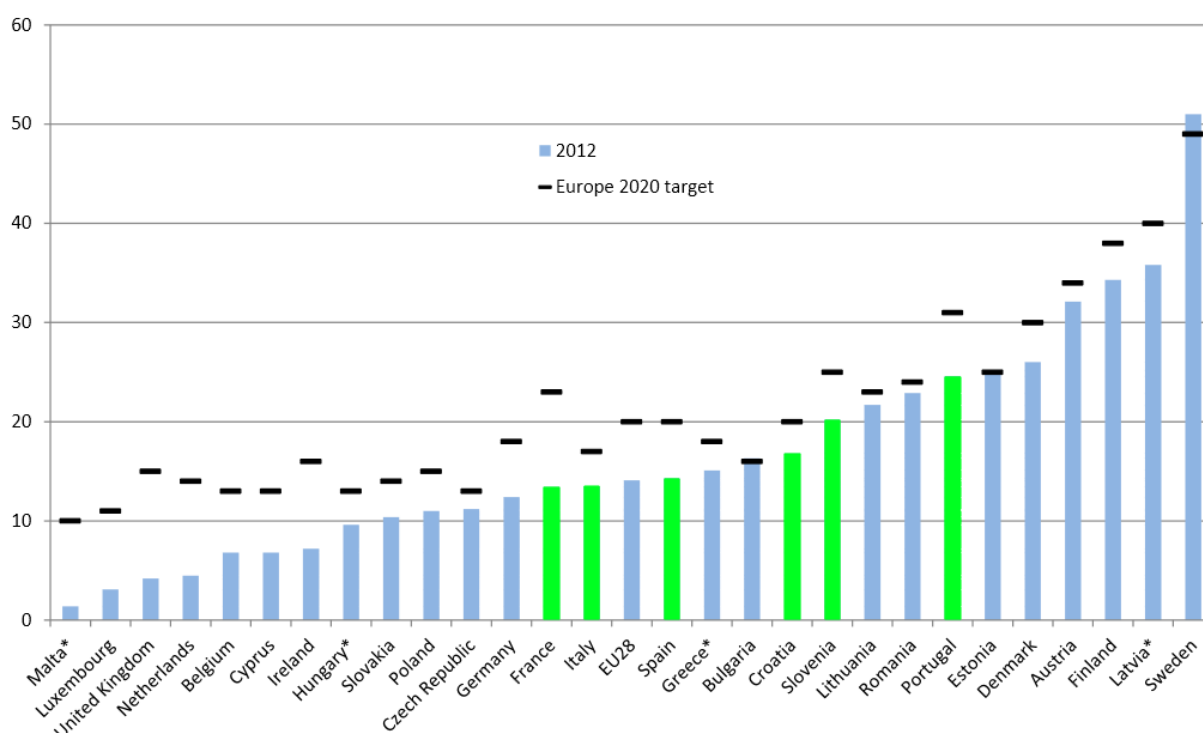
prise en compte de l'efficacité énergétique dans les marchés publics d'acquisition de bâtiments, produits et services.

- Des études nationales sur le **potentiel de la cogénération et des réseaux de chaleur** alimentés majoritairement par des énergies renouvelables devront être réalisées et des mesures favorisant la promotion de ces techniques devront être adoptées. La **récupération de la chaleur fatale** (chaleur résiduelle non utilisée) et la gestion des ressources du côté de la demande devront également être encouragées.

Les points clés de la directive, pour ce qui concerne les parcs scientifiques et technologiques, sont donc l'introduction par les États d'exigences et de **mesures d'amélioration de l'efficacité énergétique dans l'industrie**, l'obligation **d'audit énergétique pour les grandes entreprises** et l'incitation pour les **petites et moyennes entreprises**, les plans nationaux concernant la **rénovation thermique des bâtiments**, et le soutien à la **cogénération**, aux **réseaux de chaleur alimentés à plus de moitié par des énergies renouvelables et de récupération** et à la **récupération de la chaleur fatale** (notamment industrielle).

2.2 Énergies renouvelables

Les objectifs européens en la matière sont définis par la **directive du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables (2009/28/CE)**. L'objectif assigné à chaque État membre prend en compte sa situation initiale, son potentiel en énergies renouvelables et sa performance économique.



3 - Part des sources renouvelables dans la consommation d'énergie finale de chaque Etat membre de l'UE - Situation 2012 et objectif 2020 – Les pays partenaires de Smart MED Parks sont représentés en vert.

Pour tous les pays engagés dans l'initiative Smart MED Parks, une augmentation significative de la part des énergies renouvelables est attendue par l'Union européenne.

L'atteinte de son objectif par chaque État membre repose sur la mobilisation de l'ensemble des acteurs du pays, aussi bien nationaux que locaux (voir notamment la partie *Échelles : le bâtiment, le parc, la ville*, p.17). L'implication des parcs scientifiques et technologiques relève de cette mobilisation générale.

2.3 Enjeux économiques, environnementaux et sociaux de l'efficacité énergétique des PST

La réduction des consommations énergétiques et le développement des énergies renouvelables dans les parcs scientifiques et technologiques se situent à la croisée de plusieurs enjeux :

- **Enjeu environnemental** : comme toutes les zones accueillant une activité humaine, les parcs scientifiques et technologiques doivent contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, aux économies d'énergie et au développement des énergies renouvelables. La présence de nombreuses industries et d'équipements parfois très consommateurs renforce la responsabilité des parcs dans la lutte contre le changement climatique.
- **Enjeux économique et social** : la dépendance aux énergies reposant sur l'import de combustibles (énergies fossiles, énergie nucléaire) réduit la capacité des Etats et des collectivités locales à protéger leur population (citoyens et entreprises) d'évolutions non maîtrisées des factures énergétiques. En réduisant leur consommation et en s'appuyant davantage sur des énergies renouvelables et de récupération, majoritairement locales, les parcs scientifiques et technologiques contribuent à la compétitivité de leurs entreprises sur le long terme. Offrir un aménagement et des bâtiments aux coûts d'exploitation maîtrisés est également un atout pour les parcs qui souhaitent attirer de nouvelles entreprises, dans un contexte européen d'abondance de l'offre de bâtiments tertiaires.
- **Enjeu technologique** : l'efficacité énergétique est en elle-même un des défis technologiques majeurs de la décennie en cours et des suivantes. Outre les points évoqués ci-dessus, déployer des technologies d'efficacité énergétique dans les parcs permet d'associer et d'impliquer les entreprises locales dans l'innovation pour la transition énergétique. Elles ne sont ainsi pas uniquement bénéficiaires de ces évolutions, mais également actrices potentielles. Les savoir-faire développés en la matière ont une très forte valeur car ils constituent une réponse à une problématique mondiale.
- **Enjeu territorial** : les parcs scientifiques et technologiques ont un rôle de démonstrateur de l'innovation économique locale. Pour les collectivités qui souhaitent que le parc scientifique et technologique joue un rôle de « vitrine » économique du territoire, démontrant sa capacité à innover, l'aménagement du parc se doit d'être conforme à cette ambition, et traduire dans les faits les principes de base d'un aménagement durable, à la fois sobre et fonctionnel.

L'amélioration de l'efficacité énergétique de ces zones est donc cruciale, à la fois d'un point de vue environnemental, social, mais également sur le plan économique, pour la compétitivité de ces zones au plan européen et international, et sur le plan de leur image et de leur crédibilité en tant que parcs à la pointe de l'innovation. On peut parler de **compétitivité environnementale**, combinant développement économique et réduction de l'intensité et de la dépendance énergétiques.

2.4 Acteurs

Suivant les pays et les parcs, la création et la gestion d'un parc scientifique et technologique peut faire intervenir des jeux d'acteurs différents. S'il n'est pas possible de définir une organisation universelle, on retrouve dans la plupart des cas un fonctionnement basé sur quelques principes communs :

- Les parcs scientifiques et technologiques sont généralement mis en place sous l'**impulsion d'acteurs publics locaux**, au premier rang desquels les **municipalités** ou leurs groupements. Leur objectif est de contribuer au développement du territoire, en favorisant l'implantation d'entreprises innovantes, porteuses de croissance économique.
- La réalisation d'un parc (financement, pilotage des travaux, commercialisation/promotion...) s'appuie souvent sur des modèles de **partenariats entre les acteurs publics à l'initiative du parc et des acteurs privés ou parapublics** (sociétés d'économie mixte par exemple). Dans certains cas, les liens avec le monde universitaire sont recherchés (renforcement de la dimension scientifique du parc).
- Une fois le parc réalisé, **une structure est chargée de sa gestion et de sa promotion**, de façon plus active que pour une zone industrielle classique. Il s'agit ici d'une spécificité importante des parcs scientifiques et technologiques : un suivi dans la durée du service apporté par le parc aux entreprises implantées, afin de soutenir leur compétitivité, renforcer leur capacité d'innovation et développer les synergies, à l'intérieur du parc et entre le parc et son territoire.
- Selon les modalités de gouvernance en place, les entreprises et établissements qui s'implantent sur le parc peuvent être plus ou moins impliqués dans les choix concernant son développement ultérieur. Les universités et laboratoires notamment sont enclins à utiliser le parc comme terrain de démonstration et d'essais.

Sur le sujet spécifique de l'énergie dans les parcs scientifiques et technologiques, les acteurs suivants sont également impliqués, ici encore avec des niveaux variables suivant les pays et les régions :

- Les **collectivités** à nouveau, mais avec un autre rôle que celui du développement économique local précédemment cité : leur implication en matière de **politique énergétique territoriale** se développe fortement en Europe depuis quelques années, avec une cadence plus ou moins marquée selon les pays (voir notamment la partie *Échelles : le bâtiment, le parc, la ville*, p.17). Dans certains pays, elles sont appuyées par des **agences locales de l'énergie**, qui mutualisent à un échelon intercommunal (voire régional) les compétences techniques et/ou les financements publics nécessaires à la mise en œuvre des politiques énergie-climat des collectivités.
- Les **opérateurs énergétiques**, en charge des réseaux d'énergie (gaz, électricité, chaleur/froid), de la fourniture d'énergie par ces réseaux ou de services de performance énergétique. Suivant le degré d'ouverture des marchés énergétiques dans le pays, ils peuvent être plus ou moins nombreux et plus ou moins intégrés.
- L'État, chargé de décliner sur l'ensemble de son territoire les engagements pris au niveau européen en matière d'efficacité énergétique. Lorsque cette mise en œuvre repose sur des actions locales nécessitant des compétences, outils ou moyens financiers nouveaux, l'État peut apporter un soutien aux collectivités à travers différents mécanismes (exemples : certificats d'économie d'énergie, subventions ou crédits d'impôts pour les énergies renouvelables,

assistance technique par ses agences, adaptation du cadre réglementaire national en matière d'urbanisme et construction, *etc.*).

2.5 La problématique énergétique des PST

2.5.1 Les différents usages énergétiques

On distingue quatre grands usages de l'énergie dans les parcs scientifiques et technologiques, selon la forme sous laquelle cette énergie est utilisée :

- La **production de chaleur** : chauffage des bâtiments, eau chaude sanitaire, chaleur industrielle
- La **production de froid** : climatisation des bâtiments, froid industriel
- La **motorisation des transports**
- **Tous les autres usages de l'électricité** – hors chauffage, froid et transport : alimentation des appareils informatiques, machines-outils, éclairage, *etc.*

Quelques chiffres clés :

- Le **bâtiment représente 41% de l'énergie finale consommée en Europe**. Les transports en représentent 32% et l'industrie 25%.
- Au niveau européen, tous secteurs confondus, **l'usage « chaleur » représente à lui seul 50% de toutes les consommations**.
- Les **dépenses énergétiques des entreprises représentent en moyenne 3% de leur chiffre d'affaire**, avec des variations très importantes d'une entreprise à une autre – y compris au sein d'un même secteur d'activité⁵.



Les deux principaux enjeux sont donc le bâtiment et la chaleur. Ce sont sur ces sujets que les actions devront être menées en priorité.

2.5.2 Tendances énergétiques dans le tertiaire et industrie

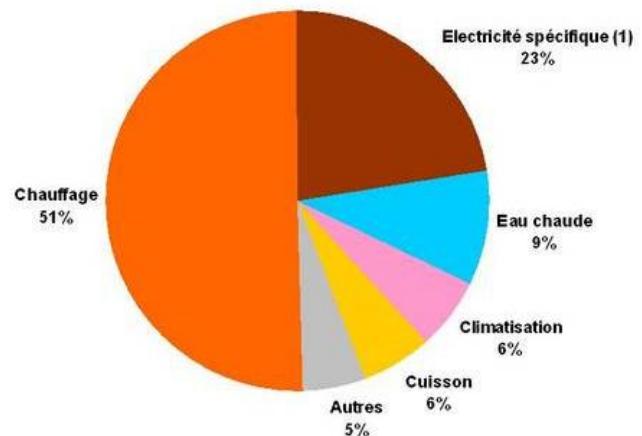
Un parc scientifique et technologique regroupe essentiellement des bâtiments tertiaires et industriels (même si certains parcs accueillent également une part de résidentiel).

⁵ Etude réalisée en 2011 par la Chambre du Commerce et de l'Industrie de Rhône-Alpes (France). Voir <http://www.rhone-alpes.cci.fr/competences/environnement/14AnalyseVE2011-12.pdf>

1. Tertiaire

Dans le **secteur tertiaire**, la chaleur (chauffage, eau chaude et cuisson) représente 2/3 des consommations. L'électricité (hors production de chaleur et de froid) en représente 1/4.

La **climatisation** représente une **part encore minoritaire** dans les consommations du tertiaire. En France, en 2007, elle correspondait à 6% de la consommation. Mais il s'agit d'un **poste en forte augmentation** (+45% entre 2000 et 2007, en France). Au niveau européen, alors que la consommation d'énergie par employé du tertiaire diminue (-3% par rapport à 1990), la consommation électrique par employé augmente (+16%), en raison de la hausse de climatisation en été dans les pays du sud, du développement économique dans les pays de l'est, et de la diffusion des équipements informatiques dans tous les pays de l'union.



4 - Répartition des usages de l'énergie dans le tertiaire (France, 2007)

Pour autant, **on ne peut pas identifier de tendances généralisables à tous les pays**, ou même par catégorie de pays. Certains nouveaux Etats membres (Roumanie, Croatie, Bulgarie) montrent une forte augmentation de la consommation d'énergie du secteur tertiaire, mais c'est également le cas pour des membres de l'EU-15 comme la Grèce. Inversement, certains Etats de l'EU-15 (comme le Royaume-Uni ou l'Allemagne) montrent une diminution de la consommation, mais c'est aussi vrai pour certains nouveaux membres (Slovaquie, Slovénie).

Pour en savoir plus sur les tendances énergétiques dans le secteur tertiaire :

- *Energy Efficiency Trends in Buildings in the EU – Lessons from the ODYSSEE MURE project⁶ (Enerdata, septembre 2012) {en}*
- *Les usages de l'énergie dans les entreprises du secteur tertiaire - Des systèmes techniques aux pratiques⁷ (Cahier de recherches CREDOC, 2011) {fr}*

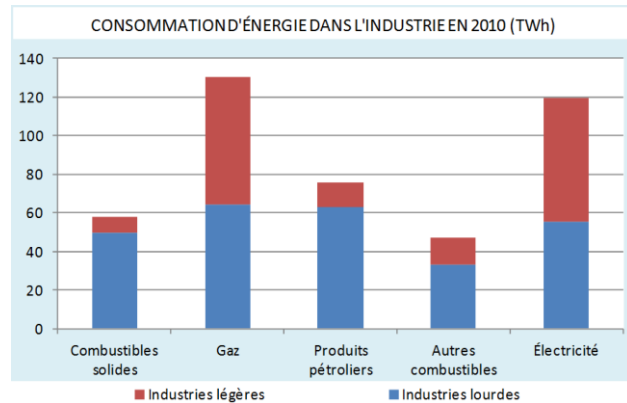
⁶ Voir <http://www.odyssee-mure.eu/publications/br/Buildings-brochure-2012.pdf>

⁷ Voir <http://www.credoc.fr/pdf/Rech/C287.pdf>

2. Industrie

Dans l'**industrie**, pour un pays comme la France, on constate⁸ :

- Que le gaz et l'électricité sont les deux sources largement dominantes (respectivement 30% et 32%)
- Que les réseaux de chaleur ne fournissent que 5% de l'énergie nécessaire, et la biomasse, 7%.
- Que les combustibles solides, les produits pétroliers et les autres combustibles sont utilisés beaucoup plus dans l'industrie lourde que dans l'industrie légère
- Que l'industrie lourde représente environ 60% de la consommation de l'industrie



5 - Consommation d'énergie dans l'industrie (France, 2010 - CEREN)

Une étude réalisée par le CEREN⁹ sur l'industrie française en 2013 a identifié les gisements d'économie d'énergie dans l'industrie : les deux principaux gisements sont les **moteurs** et le **chauffage des locaux** qui couvrent à eux deux près de 50% du total des gisements.

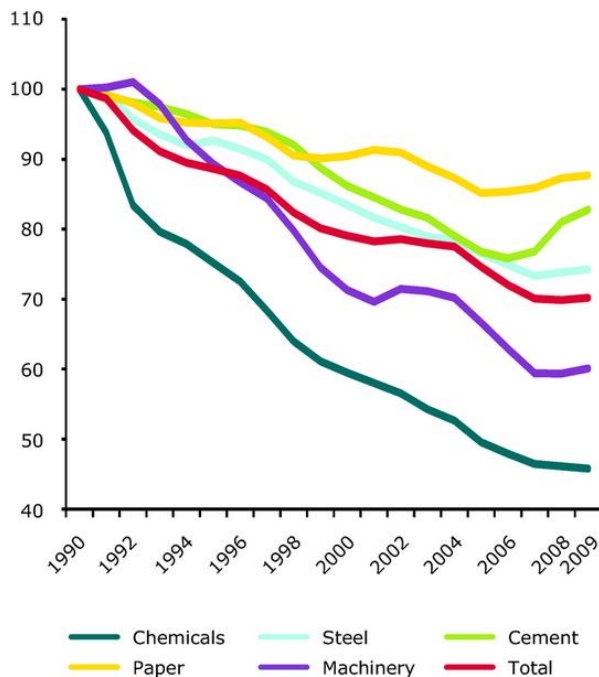


Figure 6: Evolution de l'indice d'efficacité énergétique (ODEX) dans l'industrie en Europe (source: eea, 2012)

u niveau Européen, on constate une **baisse de la part de l'industrie** dans les consommations énergétiques des pays membres et une amélioration de l'efficacité énergétique de 30% entre 1990 et 2009¹⁰

Les opérations qui peuvent être menées pour diminuer les consommations portent essentiellement sur les **combustibles** (pertes de chaufferie, pertes de réseau interne aux usines, chauffage des locaux) et sur l'**électricité** (moteurs, transformateurs électriques, éclairage, production d'air comprimé, production de froid, ventilation, pompage).

⁸ Source CEREN, chiffres pour la France, 2010

⁹ Voir <http://www.ceren.fr/actu/dossiers.aspx>

¹⁰ Source : <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/energy-efficiency-and-energy-consumption-6/assessment>

2.5.3 Les spécificités d'un parc scientifique et technologique

En matière d'énergie, compte tenu de leurs activités économiques et industrielles de pointe, les occupants des parcs scientifiques et technologiques ont des besoins caractérisés par :

- Un approvisionnement énergétique de **qualité** (sûreté, stabilité, continuité, etc.)
- Une **assistance** disponible à la fois pour la maintenance ou les interventions d'urgence, et l'accompagnement sur les nouveaux projets (évolution des besoins liée au développement de l'entreprise, recherche d'amélioration de l'efficacité énergétique du site, etc.)
- Un service et des infrastructures **capables de s'adapter** à des besoins différents : sur un même parc, une industrie peut par exemple avoir des appels de puissance de chaleur importants, une autre peut avoir essentiellement besoin de climatisation, etc.
- Une **compétitivité économique durable** des services énergétiques fournis

2.6 Échelles : le bâtiment, le parc, la ville

Historiquement, la question de l'énergie a souvent été traitée aux deux échelles opposées que sont celle du bâtiment (échelle micro) et celle du pays, à travers les réseaux de gaz et d'électricité supra-régionaux (échelle macro).



Figure 7 - Extrait de la carte européenne des réseaux de gaz naturel (ENTSOG, 2014)

Mais depuis quelques années, le besoin de transition vers des systèmes énergétiques durables amène la question énergétique à **s'approcher de l'échelle des territoires et des villes**. Les citoyens demandent

des décisions plus proches, plus adaptées aux spécificités de leurs territoires, avec une gouvernance plus locale.

Les collectivités sont ainsi de plus en plus impliquées, notamment en Europe, comme en témoigne le développement de réseaux tels qu'Energy Cities¹¹ ou encore la mise en place de la Convention des Maires. D'abord mouvement volontaire porté par quelques autorités locales précurseurs, la **décentralisation énergétique** est devenu un mouvement de fond, repris par les législateurs des différents États, et qui correspond aux évolutions sociétales en cours dans la plupart des pays d'Europe.

Mécaniquement, ceci amène les acteurs qui agissent à l'échelle des villes, des quartiers, des zones aménagées, à renforcer leur implication dans les choix énergétiques.

L'efficacité énergétique d'un parc scientifique et technologique repose ainsi désormais sur la **coordination entre des actions à plusieurs échelles** :

- Le **bâtiment**, sur lequel les possibilités d'actions directes de l'aménageur ou de la collectivité sont généralement limitées (sauf lorsque les bâtiments appartiennent à la collectivité ou au parc, ce qui peut être le cas de bâtiments mutualisés ou loués aux entreprises, par exemple) ;
- Le **parc**, sur lequel l'aménageur, la collectivité ou le gestionnaire (selon le montage) dispose d'une maîtrise directe plus importante (choix techniques pour les infrastructures, organisation spatiale, offre de services énergétiques...) ;
- La **ville** et le **territoire**, auxquels le parc est connecté par les flux humains (résidents, employés, visiteurs...) et les différents réseaux urbains (voirie, réseaux d'énergie, communications électroniques, eau...). Selon son importance sur le territoire, le parc peut avoir une influence sur les choix énergétiques qui sont faits par la collectivité à l'échelle urbaine.

À chaque échelle, les marges de manœuvres techniques et économiques diffèrent. Certaines actions d'efficacité énergétique ne peuvent être menées qu'à l'échelle des bâtiments (exemple : rénovation thermique), d'autres ne se conçoivent qu'à un niveau supérieur (exemple : réseau de chaleur/froid, smart grid). Les sources d'énergies renouvelables et de récupération ne sont par ailleurs pas toutes mobilisables aux mêmes échelles (voir tableau ci-dessous).

En outre, ce qui peut être entrepris à ces trois échelles dépend des choix qui sont réalisés à l'échelle nationale en matière de réglementation, de mesures de soutien de l'État aux initiatives d'efficacité énergétique, de mise à disposition de ressources techniques. Selon les pays et leur niveau de décentralisation, le poids des choix nationaux sur les possibilités d'action locale peut varier. Il convient donc de bien analyser en quoi le cadre national peut constituer une aide, et en quoi il peut freiner les initiatives.

¹¹Voir <http://www.energy-cities.eu>

Tableau : énergies renouvelables et de récupération, échelles de mise en place et marges de manœuvre

Énergie	Utilisation	Système et échelle pour la mise en place	
Éolien	Électricité	Petit éolien	Bâtiment / Quartier
		Grand éolien	> Ville
Solaire thermique	Chaleur	Panneaux solaires thermiques (indépendants)	Bâtiment
		Ensemble de panneaux solaires thermiques (rassemblés en un site ou diffus sur plusieurs bâtiments), avec réseau de chaleur	Quartier / Ville
Solaire photovoltaïque	Électricité	Panneaux solaires photovoltaïques (indépendants)	Bâtiment
		Ferme solaire photovoltaïque	Quartier / Ville
Géothermie	Chaleur / Froid	Géothermie profonde (avec réseau de chaleur / froid)	Ville
		Géothermie superficielle avec pompe à chaleur (éventuellement avec réseau de chaleur basse température)	Bâtiment / Quartier
Aérothermie	Chaleur / Froid	Pompe à chaleur	Bâtiment
Hydrothermie	Chaleur / Froid	Réseau de chaleur / froid et pompe à chaleur	Quartier / Ville
Marine	Électricité	Hydroliennes, usine marémotrice, usine houlomotrice...	> Ville
Hydraulique	Électricité	Petit hydraulique	Quartier / Ville
		Grand hydraulique	> Ville
Biomasse	Chaleur / Électricité	Chaudière biomasse individuelle ou d'immeuble (avec ou sans cogénération)	Bâtiment
		Chaudière biomasse collective (avec ou sans cogénération), avec réseau de chaleur	Quartier / Ville
Biogaz, gaz de décharge, gaz de récupération de l'industrie	Chaleur / Électricité	Injection dans le réseau de distribution de gaz	> Ville
		Combustion sur lieu de production	Bâtiment
		Chaudière gaz collective (avec ou sans cogénération), avec réseau de chaleur	Quartier / Ville
Chaleur fatale des déchets	Chaleur / Électricité	Turbine électrique et/ou chaleur distribuée par un réseau	Quartier / Ville
Chaleur fatale des industries	Chaleur / Électricité	Turbine électrique et/ou chaleur distribuée par un réseau	Quartier / Ville
Chaleur des eaux usées	Chaleur	Système de récupération (échangeur) et pompe à chaleur	Bâtiment
		Système de récupération (échangeur), réseau de chaleur basse température et pompe à chaleur	Quartier
Chaleur des bâtiments	Chaleur	Réseau de chaleur basse température et pompe à chaleur	Quartier / Ville

Les couleurs donnent une indication sur la probabilité d'existence de marges de manœuvre à l'échelle de l'aménagement (**vert : probable** ; **jaune : possible** ; **orange : peu probable**).

2.7 Vers des parcs sobres, exploitant des énergies propres et locales

Compte-tenu de ce qui a été présenté dans les points précédents, on peut définir une vision de l'efficacité énergétique à rechercher dans les parcs scientifiques et technologiques :

- Une **réduction des besoins d'énergie** des bâtiments (chauffage, refroidissement, électricité spécifique) et des infrastructures du parc (transports, réseaux) en intervenant à la source ;
- Une **amélioration de l'efficacité des systèmes de production et de distribution d'énergie**, à l'échelle des bâtiments comme à l'échelle du parc, afin de réduire les pertes et d'apporter un service énergétique équivalent ou meilleur, à consommation d'énergie plus faible ;
- Une **augmentation de la part des énergies locales propres** (énergies renouvelables, énergies de récupération) dans l'approvisionnement énergétique du parc.

Globalement, la logique proposée ici rejoint le concept de **territoire à énergie positive** : il s'agit de permettre à un territoire (ou une portion de territoire, ici le parc scientifique et technologique) d'être aussi autonome que possible sur le plan énergétique, par un ensemble de mesures de réduction des consommations et de production locale. Le concept de territoire à énergie positive est développé au niveau européen (action « 100% RES Communities¹² » dans le cadre du programme Intelligent Energy Europe) et soutenu activement par certains États, comme la France qui a lancé en 2014 un appel à projets afin de soutenir les initiatives.

3 AGIR A L'ECHELLE DES BATIMENTS

Améliorer l'efficacité énergétique d'un parc scientifique et technologique c'est agir avant toute chose à l'échelle des bâtiments constituant ce parc. Or ces bâtiments, à l'image du parc immobilier non-résidentiel européen, sont très diversifiés en termes de typologie (bureaux, enseignement, hôtel et restaurant, commerce, complexe sportif, médical, ...), de surface bâtie, de date de construction et de performance énergétique.

L'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments d'un parc scientifique et technologique s'inscrit dans le cadre de la Directive 2012/27/UE. Cette Directive établit un cadre commun de mesures pour la promotion de l'efficacité énergétique dans l'Union Européenne. Elle contribue à l'atteinte de l'objectif d'accroître de 20 % l'efficacité énergétique d'ici à 2020 et prépare la voie pour de nouvelles améliorations de l'efficacité énergétique au-delà de cette date.¹³ Les États membres sont tenus de mettre en place des plans d'action permettant d'atteindre ces objectifs par secteur d'activités.

Le secteur du bâtiment, qui représente 41 % de la consommation d'énergie finale de l'Union Européenne en 2012, constitue à ce titre un enjeu majeur des politiques d'efficacité énergétique. Les

¹² 100% RES Communities : <http://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/100-res-communities>

¹³ En octobre 2014, les objectifs fixés par la Commission Européenne à l'horizon 2030 ont été dévoilés : réduction de 40% des gaz à effet de serre, accroissement de 30% de l'efficacité énergétique ainsi que de 27% de la part des ENR dans la production d'énergie.

plans d'action font une distinction entre bâtiments neufs et bâtiments existants et entre différentes catégories de bâtiments.

3.1 **Bâtiments neufs : préparer l'avenir**

3.1.1 Pourquoi agir sur les bâtiments neufs ?

Avec 1,6 millions de bâtiments construits dans l'Union Européenne en 2010¹⁴, le secteur de la construction neuve ne représente que 1% du stock de bâtiment en Europe. Ainsi, les bâtiments neufs ne constituent pas le principal gisement d'économie d'énergie.



Cependant, les **bâtiments neufs sont une vitrine** des techniques et systèmes récents et efficaces. Ces bâtiments neufs participent fortement à la volonté collective de réduire les consommations d'énergies et les émissions de gaz à effet de serre, en donnant l'exemple à suivre et les éventails de technologies existantes.

De plus, la volonté européenne de diminuer les émissions de gaz à effet de serre, d'augmenter les énergies renouvelables et de récupération, de diminuer l'utilisation des énergies fossiles et d'augmenter l'efficacité énergétique est à envisager et mettre en pratique sur **le long terme**. Les **bâtiments neufs d'aujourd'hui préparent cet avenir sur le long terme**, ils seront majoritaires dans 100 ans.

3.1.2 Cadre réglementaire européen et exemple français

Selon la Directive 2010/31/UE du Parlement européen et du Conseil du 19 mai 2010 sur la performance énergétique des bâtiments, les bâtiments neufs doivent respecter des exigences minimales en matière de performance énergétique. Le niveau de ces exigences minimales est revu tous les 5 ans. De plus, avant leur construction, les bâtiments doivent faire l'objet d'une étude de faisabilité technique et économique des diverses solutions d'approvisionnement en énergie. Cette exigence permet de favoriser le recours aux énergies renouvelables et de récupération.

Cette même directive prévoit que, dès le 31 décembre 2020, ce niveau d'exigence minimal devra conduire les **bâtiments à être à énergie positive** (BEPos). Tous les nouveaux bâtiments devront alors produire in situ (ou à proximité) plus d'énergie (électricité, chaleur) qu'ils n'en consomment pour leur

¹⁴ Europe's buildings under the microscope - A country-by-country review of the energy performance of buildings, Buildings Performance Institute Europe (BPIE), October 2011

fonctionnement. Les nouveaux bâtiments occupés et possédés par les autorités publiques doivent répondre aux mêmes critères dès le 31 décembre 2018.

La réglementation thermique 2012 en France

En France, la réglementation thermique actuellement en application est la RT2012. Elle impose aux bâtiments neufs un niveau de consommation maximum de 50 kWhep/(m².an), modulé suivant différents critères (le type de bâtiment, l'altitude, *etc.*), pour les 5 usages que sont le chauffage, le refroidissement, l'éclairage intérieur, les consommations électriques des auxiliaires de ventilation/chauffage/climatisation, l'eau chaude sanitaire. Les consommations spécifiques ne sont pas prises en compte dans cette RT2012, or pour les bâtiments tertiaires cette consommation a généralement un poids important. Il s'agit des consommations des équipements bureautiques, des serveurs, de l'éclairage extérieur, des ascenseurs, *etc.*

En plus de cette consommation maximale, la RT2012 introduit un critère de conception bioclimatique qui est le Bbio. Cet indicateur permet de limiter le besoin cumulé en énergie pour les composantes dépendant de la conception du bâti (chauffage, refroidissement et éclairage artificiel). De plus, afin de tenir compte du confort d'été, l'indicateur Tic, qui est la température intérieure conventionnelle, ne doit pas excéder une valeur de référence.

3.1.3 Ruptures technologiques et conceptuelles des bâtiments à énergie positive

La construction de bâtiment à énergie positive constitue une rupture technologique et conceptuelle par rapport aux pratiques actuelles : **l'échelle à envisager s'élargit.**

En effet, la production d'énergie d'un bâtiment force à prendre en compte une échelle plus large comme le quartier pour utiliser au mieux cette énergie produite. La chaleur ou le froid excédentaire peut être fournie aux bâtiments voisins, via un réseau de chaleur ou de froid à l'échelle de l'aménagement. L'électricité est généralement injectée sur le réseau national, mais peut également être utilisée localement (en alimentant par exemple les bâtiments voisins ou un système centralisé à l'échelle de l'aménagement). La mutualisation permet également l'utilisation de stockage, réduisant l'utilisation d'énergie fossile.

De plus, un bâtiment consomme de l'énergie durant son utilisation mais une quantité importante d'énergie est consommée pour sa construction, sa maintenance et rénovation et sa démolition en fin de vie : il s'agit de **l'énergie grise**. L'énergie à considérer n'est plus seulement au niveau du bâtiment mais bien au niveau de toute la chaîne.

Au niveau du bâtiment, 4 enjeux importants se dégagent :

- L'enjeu sur **l'enveloppe/l'implantation du bâtiment** est fort. D'une enveloppe qui permettrait de s'isoler du froid extérieur, l'enveloppe devient multifonctionnelle pour permettre à la fois de se protéger de l'environnement extérieur en hiver comme en été mais aussi pour puiser l'énergie dans l'environnement extérieur (soleil, air extérieur, sol...). Elle associe l'isolation

thermique, la protection solaire, la ventilation, l'éclairage naturel, la captation de l'énergie du soleil, du vent, de l'air extérieur et du sol. Elle devient un sujet majeur en termes de conception globale du bâtiment en association avec des systèmes performants. L'investissement plus important sur l'enveloppe doit permettre de réduire l'utilisation d'énergie en période d'occupation du bâtiment.

- L'enjeu sur l'introduction de **systèmes performants** à la place des systèmes actuels. Cela vise par exemple à substituer les systèmes classiques de chauffage par des systèmes utilisant au mieux les énergies renouvelables et de récupération, à remplacer l'éclairage incandescent ou fluo par de l'éclairage à LED régulé automatiquement, à échanger les moteurs de pompes ou de ventilateurs peu efficaces par des moteurs à haute efficacité bien régulés. Les systèmes multifonctionnels associant par exemple chauffage, ventilation, production d'eau chaude sanitaire ou production combinée de chaud de froid et d'électricité dans des systèmes de cogénération vont se développer. Cette intégration permet d'augmenter fortement le rendement thermodynamique global en valorisant les pertes de chaleur aujourd'hui inutilisées.
- Les dispositifs de **régulation et gestion** vont permettre à la fois de réguler chauffage, ventilation, éclairage, climatisation, pompes et ventilateurs en fonction des besoins devenus très faibles (grâce aux efforts sur l'enveloppe et les systèmes de génération évoqués précédemment) mais aussi d'utiliser prioritairement les systèmes utilisant les énergies renouvelables et de récupération par rapport aux appoints utilisant de l'énergie fossile.
- **Les énergies renouvelables et de récupération** sont indispensables pour permettre à un bâtiment de produire plus d'énergie qu'il n'en consomme. Alors que l'option renouvelable/récupération reste encore confidentielle dans la plupart des projets de construction actuels, elle deviendra systématique pour les bâtiments à énergie positive.

Quatre sources principales d'énergies renouvelables peuvent être collectées à l'échelle du bâtiment : *le solaire* (pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, la climatisation et la production d'électricité), *le vent* (pour la ventilation naturelle, la climatisation et la production d'électricité), *l'air extérieur* (pour le chauffage et la climatisation, soit par usage direct, soit via des



pompes à chaleur), *l'énergie du sol* (pour le chauffage et la climatisation, soit par usage direct (puits climatique), soit via des pompes à chaleur). Ce panel est largement augmenté quand on passe à une échelle supérieure au bâtiment : récupération de l'énergie des stations d'épuration, des usines d'incinération d'ordures ménagères, des data centers, des industries, etc. mais aussi le free cooling, la géothermie profonde, le biogaz, la cogénération, etc. A l'échelle d'un parc, les gestionnaires auront donc à arbitrer pour déterminer si la production d'énergie renouvelable est locale (au niveau de chaque bâtiment) ou peut être mutualisée (voir partie *Agir à l'échelle du parc*, p.28 et suivantes).

Pour penser au mieux les bâtiments de demain dans un PST

- *Fédérer les acteurs individuels de chaque bâtiment autour d'une charte énergie/urbanisme du PST, mise en place par l'aménageur en lien avec la collectivité par exemple (en accord avec les schémas de planification énergie-climat locaux)*
- *Utiliser au mieux le cadre réglementaire pour que les différentes études (faisabilité, approvisionnement) comprennent les solutions pertinentes à l'échelle des bâtiments mais aussi du parc*
- *Installer des dispositifs de sensibilisation et de formation à ces nouvelles technologies de construction et d'utilisation des bâtiments de demain, et mutualiser les expériences acquises au fur et à mesure des constructions sur le PST*
- *Effectuer un suivi des consommations énergétiques de chaque bâtiment et mettre des moyens humains et techniques (logiciels) pour analyser et optimiser les bâtiments, et enrichir la sensibilisation et formation mises en place*

3.2 Bâtiments existants : l'enjeu essentiel à court et moyen terme

L'enjeu essentiel pour les prochaines décennies porte sur les 160 millions de bâtiments existants dans l'Union Européenne dont seulement 1,7% font l'objet d'une réhabilitation énergétique chaque année. 70% du parc bâti européen de 2050 existait déjà en 2010, et 40% était déjà construit en 1975 lors de l'apparition des premières réglementations thermiques.

Avec une consommation annuelle moyenne en Europe de 280 kWh/m² (énergie finale, tous usages confondus), les **bâtiments non résidentiels consomment 40% d'énergie de plus que les bâtiments résidentiels** et ont vu leur consommation électrique augmenter de 74% en 20 ans.

A l'échelle d'un bâtiment, on peut facilement envisager des travaux d'amélioration permettant d'atteindre des objectifs de réduction de la facture énergétique de l'ordre de 30 à 50% (le gisement d'économie d'énergie sera d'autant plus grand que la consommation initiale est forte).

A l'échelle d'un parc, cet objectif est forcément plus modeste. Des expériences réalisées en France sur des parcs de bâtiments non résidentiels¹⁵ ont montré que des économies substantielles peuvent être réalisées, de 10% à 20%, mais également qu'il faut du temps pour engranger durablement ces gains (des gains de l'ordre de 15% sont rarement obtenus en moins de 5 ans).

Après avoir défini les objectifs à atteindre sur les bâtiments à l'échelle du parc (voir partie *Agir à l'échelle du parc*, p.28 et suivantes), il s'agit de déterminer, programmer et mettre en œuvre les

¹⁵ Charte pour l'efficacité énergétique des bâtiments tertiaires publics et privés - Rapport de suivi – Septembre 2014.

différentes interventions dans chaque bâtiment. Ces interventions peuvent être regroupées en trois catégories qui sont autant de leviers de l'efficacité énergétique sur lesquels il convient d'agir¹⁶.

3.2.1 Sensibilisation des utilisateurs et actions sur l'usage

Une grande partie de la consommation énergétique d'un bâtiment est liée à son utilisation par les occupants. La sensibilisation et formation des usagers au réglage de la température de consigne, à l'utilisation rationnelle de l'éclairage, qui doit être adaptée au besoin, à l'utilisation du mode veille pour les appareils tels que les ordinateurs, *etc.* est primordiale.

Les actions sur l'usage nécessitent en général un investissement limité et ont des temps de retour inférieurs à 5 ans. Elles peuvent de ce fait être déployées sur l'ensemble du parc et elles reposent, pour produire des effets durables sur le long terme, sur un **dialogue accru avec les utilisateurs** ou les fournisseurs.

Il faut veiller à ce que ces différentes actions ne dégradent pas de façon importante les conditions de travail des salariés : le confort et la santé passent avant les enjeux énergétiques. Certaines actions en matière d'énergie peuvent par ailleurs non seulement préserver les conditions de travail, mais également contribuer à les améliorer. Par exemple l'installation de panneaux d'affichage de la consommation énergétique du bâtiment et de sa production énergétique (via des panneaux solaires par exemple) en hall d'un bâtiment de bureaux peut engendrer des discussions intéressantes entre les employés, tout en les sensibilisant aux économies d'énergie.

3.2.2 Gestion technique et exploitation

Les actions portant sur la gestion technique, l'exploitation et la maintenance légère sont nombreuses. Elles nécessitent en général un **investissement limité** et offrent des **temps de retour courts**, inférieurs à 5 ans, tout à fait soutenables. Parmi ces actions, on retrouve :

- Le changement du système d'éclairage, pour des systèmes LED, fluocompacts ou à haute performance énergétique ;
- La réduction des défauts d'étanchéité des centrales de traitement de l'air (CTA) et des circuits de ventilation, l'installation de vannes thermostatiques ;
- L'installation d'équipements de comptage, la mise en œuvre d'un plan de comptage et d'un dispositif de suivi ;
- L'installation de détecteurs de présence, d'automates de gestion et des systèmes de pilotage « intelligents » associés.

La gestion de contrats de performance énergétique ou de contrats avec intéressement à la réduction des consommations nécessite une montée en compétence de la part des gestionnaires d'immeuble (en interne et des fournisseurs de service).

¹⁶ A l'échelle d'un bâtiment, l'effet relatif des différents leviers peut évidemment être calculé à partir de modèles thermiques, ces leviers produisant des effets très différents d'un bâtiment à l'autre, d'une activité à l'autre.

Plus généralement, l'atteinte de résultats dans ce domaine passe par la professionnalisation des métiers de l'immobilier, des gestionnaires aux sous-traitants, pour s'adapter aux nouveaux besoins et technicités spécifiques.

3.2.3 Travaux sur le bâti, les aménagements et l'équipement

Les travaux couramment entrepris concernent le **remplacement en fin de vie des équipements** (chauffage, ventilation, climatisation, centrale de traitement d'air, *etc.*).

Les opérations de rénovation plus lourdes, qui touchent au bâti sont beaucoup moins fréquentes. Elles interviennent au fil de l'eau, à mesure que l'immeuble se dégrade. Ces travaux lourds consistent la plupart du temps à des **travaux d'isolation** sur les façades et les toitures, au changement de menuiseries, à l'installation d'équipements performants (chaudière à condensation, pompes à chaleur, ventilation double flux, *etc.*). Ils peuvent également comprendre **l'installation d'équipements mobilisant des énergies renouvelables et de récupération (EnR&R)**, comme les chaudières/poêles à bois, les chauffe-eau solaires ou thermodynamiques, les panneaux photovoltaïques, les pompes à chaleur géothermiques, le raccordement à un réseau de chaleur/froid utilisant en majorité des EnR&R, *etc.*

Dans les conditions actuelles du prix de l'énergie, ces opérations ne peuvent être rentabilisées par les seules économies d'énergie ; accélérer leur rythme pour des seuls motifs énergétiques paraît difficile et en tout état de cause soulèverait des difficultés économiques majeures. En effet, la dépense d'énergie est un enjeu économique modeste pour les entreprises. En France, elle est de l'ordre de 15-20€/m², le coût de l'énergie reste faible par rapport aux autres charges des entreprises puisqu'il ne représente que 5% de l'ensemble des charges immobilières ramenées au m².

La problématique énergétique de la Technopole de Sophia Antipolis

Une concentration d'acteurs innovants

Sophia Antipolis est aujourd'hui considérée comme la plus grande technopole d'Europe. Les institutions locales emploient plus de **30.000 Sôphipolitains** (dont 5.000 étudiants et 4.000 chercheurs du secteur public) ressortissants de plus de 70 nationalités différentes. Le parc accueille plus de **1.400 organisations** (dont 28% d'origine étrangère) parmi lesquelles on trouve des grandes entreprises, des centres de recherche publics et privés et des startups. L'activité déployée par les sociétés et les équipes de chercheurs se concentre principalement sur cinq grands secteurs : les technologies de l'Information et de la Communication, les Services, l'Enseignement et la Recherche, les Sciences du Vivant et la Chimie, l'Environnement (nouvelles énergies, efficacité énergétique).

Des consommations énergétiques importantes et une très faible part renouvelable ou de récupération

Les 1.400 entreprises basées à Sophia Antipolis sont réparties sur 259 sites de construction qui peuvent être rangés dans différentes catégories en fonction de leur activité. Les principales catégories de constructions identifiées sur la technopole de Sophia Antipolis sont : bureaux (66%), écoles (7%) et hôtels & restaurants (7%). Avec une consommation d'énergie annuelle de 410 kWh/m², comparée à une moyenne calculée pour les bâtiments en France de 210 kWh/m², les sites non résidentiels sur la technopole de Sophia Antipolis ont une efficacité énergétique médiocre. Les institutions (CASA, SYMISA) en charge de la gestion administrative du parc de Sophia Antipolis sont conscientes de la situation et ont établi une feuille de route appelée Sophia 2030 qui fixe l'objectif ambitieux de réduire la consommation énergétique globale du parc.

La consommation d'électricité totale de la technopole de Sophia Antipolis s'élève à 230.030 MWh pour l'année 2012. Cette consommation mesurée prend en compte l'ensemble des bâtiments résidentiels (habitat) et non résidentiels ainsi que les infrastructures de support (l'éclairage public par exemple). La consommation annuelle d'électricité des bâtiments du secteur non résidentiel s'élève à **193.163 MWh** pour l'année 2012, c'est-à-dire près de 80 % de la consommation électrique totale (les infrastructures de support représentent moins de 2% du total). Le rapport de la consommation électrique (énergie finale) est de 0,16 MWh par secteur bâti et de 7,24 MWh par salarié.

Malgré le gros potentiel solaire de la région PACA, seulement quelques bâtiments parviennent à récupérer suffisamment d'énergie disponible pour leurs besoins en électricité et en chaleur ou en froid. Le parc de Sophia Antipolis compte seulement 12 installations PV. La puissance nominale totale tirée de ces installations est de 1.745 kWp représentant une production électrique annuelle de 2.240 MWh. En tout, cette production représente moins de 1% de la consommation totale en électricité du parc de Sophia Antipolis.

Pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments existants dans un PST

- *Sensibiliser et former les usagers à une utilisation rationnelle des bâtiments, via une cellule de formation commune au PST par exemple, et via des dispositifs diffus dans les bâtiments (panneaux informatifs sur les consommations d'un bâtiment)*
- *Sensibiliser et former les usagers à la rénovation énergétique des bâtiments existants*
- *Effectuer un suivi des consommations énergétiques de chaque bâtiment et mettre des moyens humains et techniques (logiciels) pour analyser et optimiser les bâtiments, et enrichir la sensibilisation et formation mises en place (tout comme pour les bâtiments neufs)*
- *Flécher les aides existantes et les avantages au renouvellement de systèmes de chauffage/refroidissement peu performant en système performant et au raccordement à un réseau de chaleur/froid vertueux auprès des usagers*

4 AGIR A L'ECHELLE DU PARC

4.1 Intérêt de l'approche mutualisée sur un ensemble de bâtiments

Agir à l'échelle du bâtiment permet de disposer d'un objet technique fini, maîtrisé par un acteur unique – son propriétaire. La mise en œuvre d'actions d'efficacité énergétique est donc a priori plus simple qu'aux échelles supérieures.

Passer à l'échelle d'un ensemble de bâtiments est plus complexe (coordination de plusieurs acteurs, combinaison d'objets techniques dont les conceptions et contraintes peuvent être différentes), mais **permet d'atteindre des gisements d'efficacité énergétique supplémentaires**, inaccessibles lorsque les bâtiments sont considérés isolément, sans interactions les uns avec les autres.

Ces gains sont rendus possibles par :

- la **mutualisation des équipements**, qui rend possible (économie d'échelle et équipements de meilleure qualité) des investissements pénalisants lorsqu'ils sont envisagés à l'échelle de chaque bâtiment (à condition de disposer des emprises permettant d'installer un équipement de grande taille plutôt qu'une somme de petits équipements installés au niveau des bâtiments)
- le **foisonnement des besoins** qui permet de réduire le sur-dimensionnement en ne dimensionnant pas les systèmes pour la pointe de chaque bâtiment pris individuellement, mais pour la pointe collective. Le foisonnement permet également de réduire le taux de non utilisation des puissances installées, et donc de les amortir plus facilement (voir schémas ci-après). Il repose toutefois sur des courbes d'appel de puissances asynchrones, et donc sur des bâtiments aux usages et régimes d'occupation différents.
- la possibilité de créer et exploiter des **flux énergétiques entre les bâtiments**, par exemple en récupérant la chaleur excédentaire d'un bâtiment pour en chauffer un autre qui en a besoin
- la **centralisation et la meilleure maîtrise des nuisances** (bruit, stockage de combustible, qualité de l'air, impact paysager...), ce qui permet d'envisager des équipements qui ne pourraient être installés au niveau de chaque bâtiment

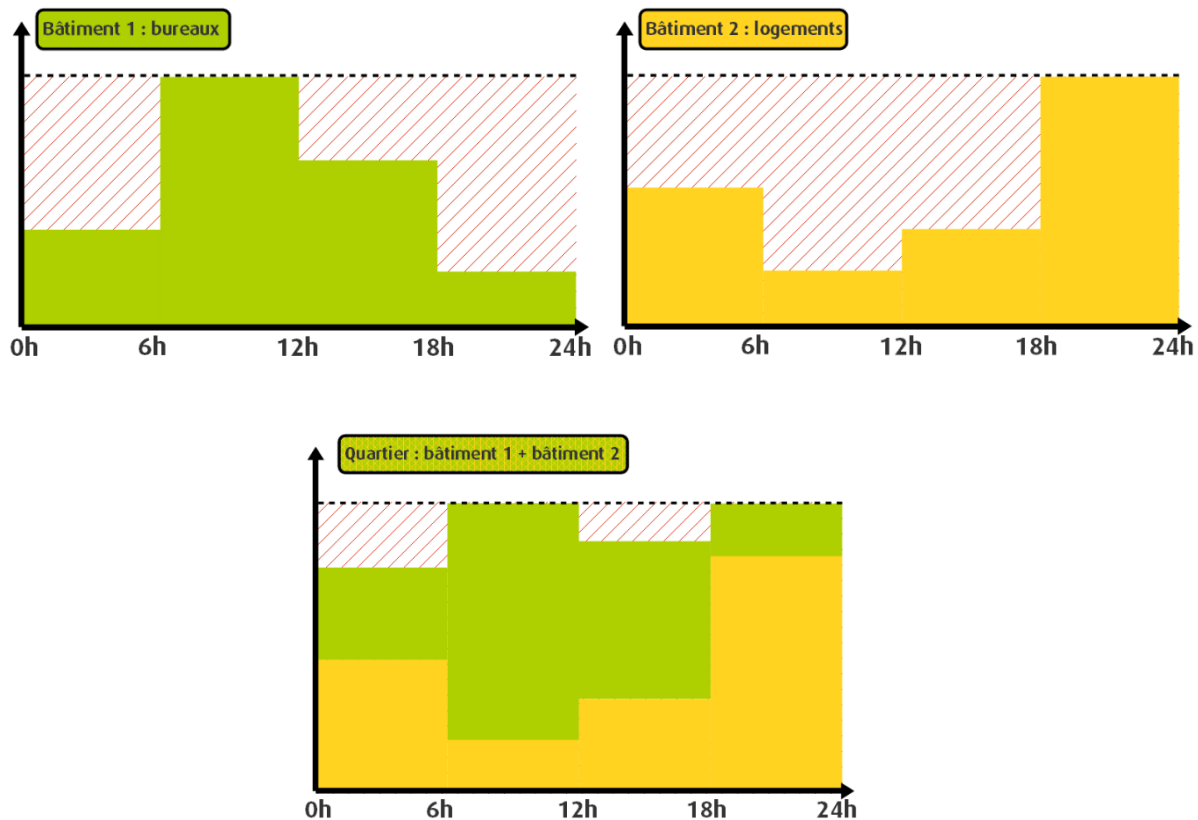


Figure 8 - Principe du foisonnement

Par exemple, la réalisation d'un micro réseau de chaleur alimenté par le bois-énergie, qui s'appuie sur les principes de la mutualisation et de la centralisation des nuisances, gagne également en efficacité grâce au foisonnement. Autre exemple, la récupération de la chaleur extraite d'un data-center peut être transportée, via un réseau de chaleur vers des bâtiments à chauffer, ou emmagasinée dans un stockage mutualisé afin d'être consommée en saison froide.

L'intérêt de cette approche mutualisée dans le cadre d'un parc technologique est d'autant plus justifié que ces zones ont généralement été mises en place avec l'idée d'un fonctionnement en communauté autour d'infrastructures et de services partagés. **L'existence d'une structure dédiée à la gestion et au développement du parc constitue un atout important**, car elle est à même de porter au niveau collectif des réflexions qui, sans elle, resteraient à une somme de niveaux individuels. C'est ainsi que l'intérêt du parc, par rapport à un ensemble de bâtiments totalement indépendants, prend tout son sens.

4.1.1 Trois vecteurs, trois réseaux

L'énergie est principalement amenée aux points de consommation que sont les bâtiments à travers trois vecteurs, correspondants à trois types de réseaux :

- le **gaz naturel**, qui est transformé en chaleur au niveau des bâtiments

- la **chaleur (ou le froid)**, utilisée telle quelle par les bâtiments après leur avoir été transmise généralement via un échangeur
- l'**électricité**, qui peut être transformée en chaleur (PAC, chauffage par effet Joule...) ou bien utilisée pour une multitude d'autres applications (éclairage, équipement informatique, machines...)

La production de chaleur ou de froid s'appuie sur des technologies simples et efficaces, qui présentent de bons rendements. En revanche, son usage est limité au chauffage, à l'eau chaude et au refroidissement des bâtiments ou à la fourniture de chaleur/froid industrielle.

La production d'électricité, au niveau national, repose sur des systèmes dont les rendements sont plus faibles, mais l'électricité présente l'avantage d'être utilisable pour tous les usages de l'énergie, y compris le chauffage, la climatisation ou même les transports.

Sur le plan de l'efficacité énergétique, il convient donc de **satisfaire les besoins de chaleur des bâtiments au maximum via un réseau de gaz ou un réseau de chaleur**, et de **réserver l'électricité aux usages autres** que ceux qui nécessitent de la chaleur ou du froid.

Si on considère également la mobilisation des énergies renouvelables et de récupération, il est préférable de s'appuyer sur un réseau de chaleur que sur un réseau de gaz pour la fourniture de chaleur, les réseaux de chaleur pouvant être alimentés par de nombreuses sources renouvelables ou de récupération. De même pour le froid, mieux vaut privilégier un réseau de froid au réseau électrique, la production de froid par réseau étant 5 à 10 fois plus efficace sur le plan énergétique et sur le plan des émissions de gaz à effet de serre.

Outre le gaz, l'électricité et la chaleur, les bâtiments peuvent être approvisionnés par des énergies sans réseau (combustibles solides et liquides, comme le bois ou le fioul). Ceci concerne davantage l'industrie que le tertiaire, et – au sein de l'industrie – majoritairement l'industrie lourde. Ces combustibles sont acheminés par la route, et stockés au niveau des bâtiments avant d'être utilisés.

4.2 Développer et optimiser les sources et les réseaux d'énergie

Lors des réflexions concernant l'aménagement énergétique d'une zone, il est nécessaire de considérer à la fois les **ressources mobilisables**, l'**acheminement**, les **vecteurs énergétiques** à mettre en place mais également la **gestion** et l'**optimisation** entre l'offre et la demande en énergie.

4.2.1 Les énergies renouvelables et de récupération mobilisables à l'échelle du parc

A l'échelle des parcs, de nombreuses sources d'énergies renouvelables et de récupération peuvent être mobilisées :

- La **chaleur fatale** des usines, stations d'épuration, unités de production électrique et tout autre type de bâtiments refroidis est une énergie qui est perdue si elle n'est pas utilisée. Il convient donc de chercher à l'exploiter prioritairement, avant de s'intéresser aux énergies renouvelables.
- Le **bois**, qui peut être utilisé pour produire de la chaleur. C'est la première source d'énergie renouvelable en Europe, loin devant le solaire. Pour être durable, sa mobilisation nécessite une filière d'approvisionnement correctement organisée, qui garantit une exploitation

maîtrisée des forêts. Le bois offre de bons rendements, est disponible dans de nombreuses régions, et contribue à l'économie locale. On peut équiper les chaudières bois d'une cogénération afin de produire également de l'électricité. Selon les régions, d'autres types de biomasse solide peuvent être mobilisés (paille, pellet...).



- **L'énergie solaire**, qui peut être utilisée pour produire de la chaleur, de l'électricité ou du froid. La production de chaleur présente un meilleur rendement au m² de panneau installé, est facilement stockable, mais ne peut servir qu'au chauffage. La production photovoltaïque (électricité) présente un rendement plus faible, est difficilement stockable, mais peut être utilisée pour de nombreuses applications.
- La **géothermie superficielle**, assistée de pompes à chaleur, est mobilisable pour le chauffage ou le refroidissement des bâtiments. Le gisement est plus faible que celui du bois, il s'agit d'une énergie mobilisable dans le cadre de la diversification d'un bouquet énergétique, ou bien pour des bâtiments à très faible consommation.
- L'**hydrothermie** peut, sur le même principe que la géothermie, être exploitée aussi bien en chauffage qu'en climatisation de bâtiments. Cette ressource est réservée aux parcs situés en bord de mer (thalassothermie), de cours d'eau important ou de lacs.
- Le **biogaz**, qui permet de produire efficacement de la chaleur, peut être produit sur place (installations de méthanisation, gaz de récupération d'une station d'épuration, etc.) ou transporté jusqu'au parc par le biais du réseau de gaz naturel (selon la réglementation de chaque pays). C'est une source d'énergie encore faiblement mobilisée, qui est amenée à se développer.

Comme indiqué dans la partie *Échelles : le bâtiment, le parc, la ville*, les autres sources de production d'énergie renouvelable s'appuient plutôt sur des dispositifs à grande échelle (éoliennes, centrales hydrauliques, géothermie profonde) qui dépassent l'échelle et les marges de manœuvre du parc scientifique et technologique.

Pour développer les énergies renouvelables et de récupération dans les PST :

- *Identifier, mesurer, cartographier les consommations d'énergies non renouvelables, en distinguant les usages (chaleur/froid, électrique hors production de chaleur/froid, transports)*
- *Identifier le potentiel d'énergies renouvelables et de récupération disponible pour le parc (production in situ ou à proximité), en distinguant leurs usages possibles (chaleur/froid, électrique hors production de chaleur/froid, transports) et*

- Croiser ces données concernant la demande et l'offre afin d'identifier les possibilités de substituer des énergies non renouvelables par des sources renouvelables et de récupération
- Définir un plan d'actions permettant de mettre en œuvre cette substitution, en précisant les acteurs concernés, les moyens nécessaires (notamment en termes d'infrastructures ou de services à développer sur la zone), etc.

4.2.2 Réseaux d'énergie intelligents

Les réseaux d'énergie intelligents (smart grids) peuvent intégrer les actions de tous les utilisateurs qui y sont connectés - les fournisseurs, les consommateurs et ceux qui sont à la fois fournisseurs et consommateurs - afin de garantir **un approvisionnement en énergie durable, économique et sécurisé**.

Les smart grids se développent en réponse à la **multiplication des sources d'énergie** (davantage de types de générateurs, davantage de points de production répartis sur les territoires, davantage de régimes d'intermittence), avec les objectifs suivants :

- Faciliter la connexion et le fonctionnement de générateurs de divers types
- Permettre aux consommateurs de jouer un rôle dans l'optimisation du système
- Fournir aux consommateurs plus d'informations
- Réduire l'impact environnemental de l'ensemble du système d'approvisionnement en énergie
- Maintenir et améliorer les niveaux élevés de fiabilité, de qualité et de sécurité
- Maintenir et améliorer les services existants de manière efficace
- Pour l'électricité, favoriser le développement d'un marché européen intégré.

Dans un parc scientifique et technologique, les **besoins énergétiques de chaque bâtiment sont plus diversifiés** que ce qu'on rencontre dans des zones urbaines classiques. Ceci renforce le besoin d'un réseau capable de s'adapter en temps réel. Les sources d'énergie à combiner par le biais des smart grids dans les PST peuvent par exemple être :

- l'énergie électrique ou thermique produite par des bâtiments à énergie positive
- l'énergie électrique ou thermique produite par des panneaux solaires
- de petites unités de cogénération au gaz ou au bois
- des sondes géothermiques
- la récupération de chaleur fatale provenant de différents sites
- les réseaux qui apportent au parc de l'énergie en provenance de l'extérieur
- les réseaux qui redistribuent de l'énergie excédentaire du parc vers l'extérieur
- les installations de stockage d'énergie

L'objectif est de **combiner ces multiples sources/excédents**, afin de répondre de la manière la plus efficace possible (sur le plan énergétique comme sur le plan économique) aux besoins, qui connaissent de fortes variations horaires (pointes et creux journaliers) et saisonnières (consommation d'énergie plus importante en hiver qu'en été), et de **réduire au maximum les gaspillages**.

Le concept de smart grid est aujourd'hui fortement associé aux réseaux électriques, car – des trois types de réseaux d'énergie – ce sont ceux qui sont le plus fortement confronté à cette problématique

à grande échelle. Mais les réseaux de gaz et de chaleur sont également concernés par ces évolutions, dont ils peuvent bénéficier pour renforcer leur efficacité dans un contexte de multiplication des sources potentielles. Certains territoires se dotent d'ailleurs de **smart-grids multi-énergies**, combinant le réseau électrique, le réseau de gaz et les réseaux de chaleur/froid en un système interconnecté.

Pour développer les smart grids dans les PST :

- *Organiser l'espace de façon cohérente (parc neuf) ou réaliser une cartographie précise de la situation (parc existant) : identification des gros consommateurs (de chaleur, d'électricité, de froid), identification des sources potentielles*
- *Introduire les TIC dans les réseaux d'énergie : capteurs communicants, sous-stations intelligentes qui permettent le pilotage des réseaux, régulateurs intelligents, interconnexion de ces éléments grâce à des réseaux informatiques, surveillance permanente (logiciel de gestion et d'information sur l'énergie), capteurs météorologiques, etc.*
- *Affecter des moyens à la gestion et au suivi de ces outils TIC ainsi que dans l'optimisation possible des systèmes d'énergie grâce aux données collectées*

4.2.3 Réseaux de chaleur et de froid

Le réseau de chaleur consiste à **produire de la chaleur** dans une ou plusieurs installations centralisées (1) à l'échelle de la ville ou du quartier, et à distribuer cette chaleur à un ensemble de bâtiments (5, 6, 7, 8), à travers un réseau de canalisations (2, 3) et de sous-stations (4). Ceci permet de mieux contrôler la production de chaleur que lorsqu'on livre aux bâtiments du gaz, de l'électricité ou d'autres combustibles. Les **nuisances sont réduites**, et on peut **mobiliser des énergies renouvelables et de récupération qui sont difficilement exploitables à l'échelle individuelle** de chaque bâtiment ou qui génèrent des contraintes (bois-énergie, géothermie profonde, récupération de chaleur industrielle...). Les réseaux de froid fonctionnent sur le même principe que les réseaux de chaleur mais en inversé : ils prélèvent de la chaleur au lieu d'en fournir.

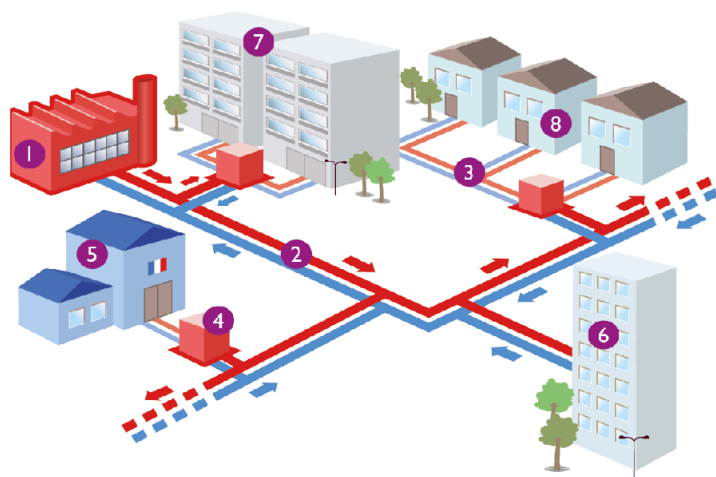


Figure 9 - Réseau de chaleur : principe (ADEME/Cerema)

Les réseaux de chaleur sont généralement le fruit d'**initiatives publiques**, portées par les collectivités locales. Selon les montages et le cadre propre à chaque pays, l'implication des acteurs privés dans la réalisation et l'exploitation des réseaux de chaleur peut être plus ou moins forte.

La directive européenne sur l'efficacité énergétique encourage le développement des réseaux de chaleur et de froid efficaces. Pour cela, elle exige notamment de chaque État membre la réalisation d'une **cartographie nationale des besoins de chaleur et de froid et des sources potentielles**, incluant

les usines d'incinération des déchets, les centrales électriques, les cogénérations et les installations de réseaux de chaleur ou de froid.

En accédant à sa cartographie nationale et en analysant la situation de son secteur géographique, le responsable d'un parc scientifique et technologique peut **identifier s'il se situe dans une zone à fort potentiel de développement des réseaux de chaleur ou de froid**. Dans ce cas, il est utile d'engager des études de faisabilité.

Dans le **cas d'un parc existant**, il s'agira d'évaluer dans quelle mesure un réseau de chaleur peut constituer une meilleure solution que la somme des solutions individuelles de chauffage, avec une inconnue importante (le taux de conversion des bâtiments) et une flexibilité limitée. Pour un **parc en création**, on dispose de davantage de marge de manœuvre, et les études doivent s'attacher à comparer les différentes solutions d'approvisionnement énergétique du parc, et permettre que l'optimum énergétique soit un des facteurs de décision sur le parti d'aménagement du parc¹⁷.

Pour développer les réseaux de chaleur et de froid dans les PST :

- *identification des besoins de chaleur et de froid de l'ensemble des bâtiments*
- *identification/création d'une structure à même de porter le projet puis veiller à la réalisation du service de distribution de chaleur/froid (différents montages possibles, selon cadre juridique applicable dans le pays : implication d'une collectivité territoriale, portage par l'aménageur ou le gestionnaire du parc, création d'une association...)*
- *réalisation d'une étude de faisabilité afin de confirmer la pertinence technico-économique du projet sur le long terme*
- *parc existant : accompagnement des usagers du parc afin de leur présenter le réseau et les inciter au raccordement (intérêt collectif)*

4.2.4 Coordination multi-énergie

Même si la construction européenne tend à uniformiser les pratiques par l'instauration des règles communes, selon l'histoire des réseaux d'énergie propre à chaque pays et l'approche du pays vis-à-vis de la centralisation des politiques d'aménagement du territoire, **la maîtrise publique des réseaux de gaz, d'électricité et de chaleur/froid peut être plus ou moins forte**.

Cette maîtrise publique peut par ailleurs être **plus ou moins territorialisée**. En France par exemple, les réseaux de distribution de gaz et d'électricité sont sous l'autorité des collectivités locales, mais ils sont pratiquement tous exploités par de puissantes entreprises nationales, anciens monopoles d'État : ERDF

¹⁷ Pour en savoir plus, voir le guide (en français) concernant les études d'énergies renouvelables dans les nouveaux aménagements : <http://reseaux-chaleur.cerema.fr/guide-les-etudes-denergies-renouvelables-dans-les-operations-damenagement>

pour l'électricité et GRDF pour le gaz¹⁸. A l'inverse, en Italie, la régionalisation est restée forte, avec de puissantes régions locales de gaz et d'électricité.

La situation des réseaux de chaleur/froid est différente, car contrairement au gaz et à l'électricité, ces réseaux ne sont pas connectés à des échelons supérieurs à celui de la ville ou de l'agglomération : la chaleur ne se transporte pas sur de longues distances. Plus proches des territoires, leur développement est davantage maîtrisé par les collectivités, dans tous les pays.

La coordination des trois types de réseaux d'énergie est essentielle pour :

- **optimiser les investissements** dans les réseaux, dans une logique d'aménagement énergétique du territoire (exemple : ne pas investir dans le réseau de gaz là où on construit un réseau de chaleur, ou inversement)
- **mobiliser davantage de gisements énergétiques renouvelables et de récupération**, certains étant plus adaptés à des usages électriques, d'autres à des usages thermiques
- **favoriser le développement des smart-grids et du stockage d'énergie**, deux évolutions qui peuvent bénéficier de l'exploitation de vecteurs énergétiques multiples

Pour développer la coordination multi-énergie dans les PST :

- *Doter le PST d'une compétence généraliste sur les réseaux d'énergie, afin de pouvoir dialoguer avec l'ensemble des exploitants de réseaux*
- *Organiser le dialogue entre les exploitants des réseaux d'énergie, les propriétaires des réseaux d'énergie (qui ne sont pas toujours leurs exploitants), le service responsable de l'aménagement du parc, des représentants des usagers*
- *Planifier le développement des réseaux d'énergie à au moins 5 ans, voire 10 ans, au travers d'un schéma directeur de la desserte énergétique du parc*

4.2.5 Stockage mutualisé

Le stockage d'énergie peut prendre différentes formes, correspondant à différents vecteurs énergétiques. Il permet de **réduire les puissances nécessaires** (effacement des pics), de contribuer à la **continuité du service** de fourniture d'énergie, de **mobiliser davantage de sources énergétiques** en réduisant la contrainte temporelle (instant de production / instant de consommation).

1. Stockage de chaleur

Certaines sources de chaleur produisent toute l'année, sans qu'il soit possible d'arrêter la production ou sans que cela présente un intérêt économique ou environnemental. C'est par exemple le cas de la chaleur de récupération des usines ou des data-centers, ou de l'énergie produite par les panneaux solaires. L'excédent de chaleur produit en été peut être stocké puis utilisé en période hivernale. Inversement, on peut emmagasiner du froid en hiver pour rafraîchir des bâtiments en été. Ce **stockage**

¹⁸ Voir <http://reseaux-chaleur.cerema.fr/reseaux-de-distribution-denergie-differentes-echelles-differents-jeux-dacteurs>

saisonnier de chaleur ou de froid peut se faire dans des silos d'eau, dans le sous-sol (géothermie), dans de la glace, à l'aide de matériaux à changement de phase, *etc.*

Le stockage peut également être **journalier** (effacement des pics horaires) ou **hebdomadaire** (équilibre entre les différents jours de la semaine), avec des dispositifs moins imposants, voire dans les bâtiments (inertie) et les réseaux eux-mêmes (hydro-accumulation).

Le stockage de l'énergie thermique présente plusieurs avantages. Il permet **d'augmenter la quantité d'énergie propre gratuite ou à bas coût** utilisable par le réseau, **d'abaisser les puissances** nominales de production, et donc les coûts des chaudières et échangeurs et d'améliorer de façon importante des rendements énergétiques des machines thermodynamiques et des systèmes de production de chaleur solaire (lissage de la courbe d'appel de puissance).

Disposer d'un moyen de stockage de la chaleur permet également de **stocker un surplus de production d'électricité**. Par exemple, lorsque la demande d'électricité est faible mais que le vent souffle, il est possible de stocker l'électricité produite en excès par les éoliennes sous formes de chaleur (par effet Joule). Cette chaleur pourra ensuite être utilisée telle quelle via le réseau de chaleur, ou bien, être retransformée en électricité via des turbines. La même chose est évidemment possible avec du solaire photovoltaïque ou les énergies électriques marines.

2. Stockage électrique

La Commission européenne a fait du stockage de l'électricité un de ses chantiers prioritaires et a souligné à plusieurs reprises son rôle primordial.

Actuellement moins matures que les technologies de stockage de chaleur/froid, les technologies de stockage d'électricité se développeront dans les années à venir, permettant **d'augmenter la mobilisation des sources intermittentes** telles que le solaire ou l'éolien. Outre cet intérêt environnemental et économique, le stockage électrique apporte un élément essentiel pour un parc scientifique et technologique : il permet une **continuité de la fourniture d'électricité** en cas de coupure momentanée de l'approvisionnement de la zone ou de la région.

Dans l'attente de l'arrivée de technologies efficaces et abordables pour le stockage de l'électricité, il est possible de **convertir l'électricité** en d'autres formes d'énergies intermédiaires et stockables (potentielle, cinétique, chimique ou thermique).

Mais outre les obstacles technologiques, le stockage électrique soulève des questions commerciales et juridiques. En Europe, le stockage d'énergie est une activité dérégulée. Les acteurs régulés pourraient donc se voir interdire de posséder des installations ou d'en gérer, alors même que le stockage pourrait utilement contribuer à la gestion des réseaux.

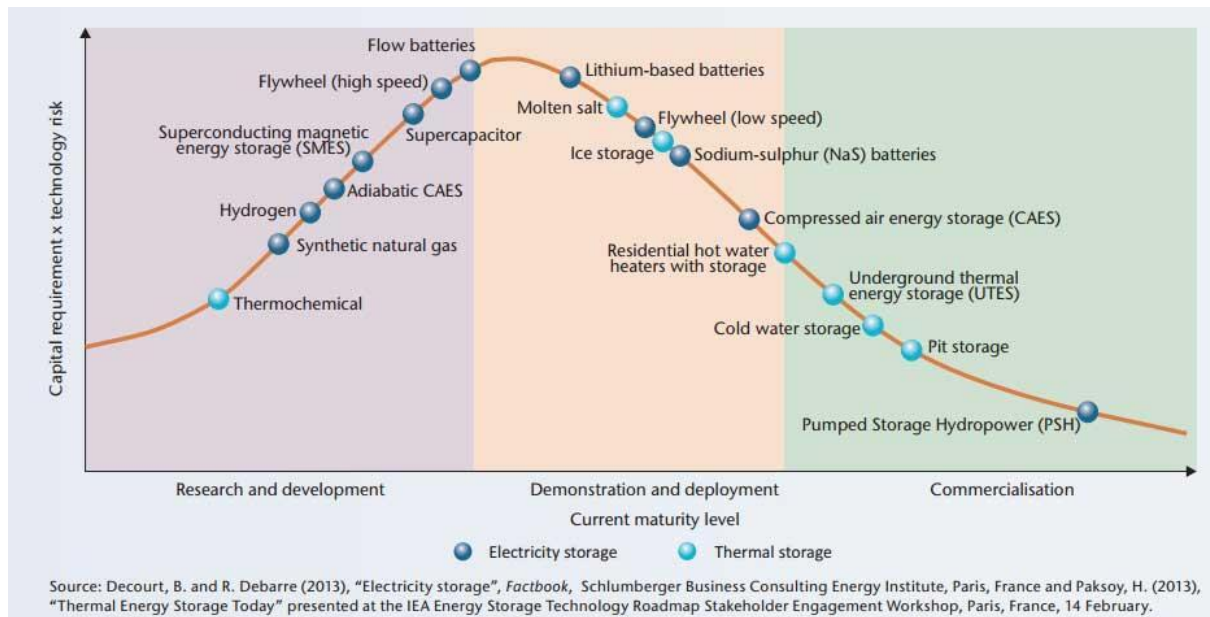


Figure 10 - Niveau de maturité des technologies de stockage d'énergie thermique et électrique (IEA, 2013)

3. Stockage hydrogène

L'excédent de production énergétique instantané peut également être utilisé pour produire de l'hydrogène, lequel est stockable, dans des réservoirs mobiles (par exemple des véhicules) ou fixes (réservoirs d'hydrogène comprimé, réservoir cryogénique d'hydrogène liquéfié).

Le stockage d'énergie sous forme d'hydrogène et l'utilisation de l'hydrogène **comme nouveau vecteur énergétique** (stockable, transportable, peu polluant) constitueront un élément clé de l'évolution du paysage énergétique dans les prochaines décennies.

A court terme, le développement en est encore limité. Les recherches pour améliorer les performances des systèmes de conversion et de stockage se poursuivent. Les infrastructures de transport et distribution en Europe sont très peu développées, et plutôt dans le Nord.

Il s'agit ici clairement d'une solution technique qui, sans être encore à un stade industriel, peut constituer pour un parc scientifique et technologique un champ à explorer, dans une logique d'innovation appliquée à lui-même, en lien avec les entreprises et laboratoires qu'il accueille.

Pour développer le stockage d'énergie dans les PST :

- Identifier le potentiel de production d'énergie renouvelable, de récupération, ou à bas coût, sur les périodes à faibles besoins énergétiques. Ceci permet d'évaluer la quantité d'énergie qui pourrait être stockée.
- Évaluer le coût de différentes solutions de stockage (coût d'investissement, contraintes d'urbanisme ou sur les bâtiments, coût d'exploitation...), en comparant plusieurs technologies et plusieurs capacités de stockage. Identifier la ou les solutions qui offrent le meilleur rapport coût/bénéfices.

- *En cas de stockage collectif, mettre en place une structure en charge de l'exploitation (il peut s'agir de l'exploitant du réseau d'énergie relié au stockage). En cas de stockages individuels (échelle bâtiment), accompagner les propriétaires (sensibilisation, aide au choix des équipements, éventuellement soutien financier à travers les outils disponibles).*

4.2.6 Récupération de chaleur fatale

La chaleur fatale est l'énergie calorifique produite par un processus dont ce n'est pas la fonction première. Cette chaleur peut être récupérée, afin d'être **valorisée pour chauffer des bâtiments**.

Les sources de chaleur fatale sont très diversifiées :

- sites de production d'énergie (la production d'électricité à partir de combustibles entraîne un rejet de chaleur),
- sites de production industrielle,
- bâtiments tertiaires ou de services, d'autant plus émetteurs de chaleur qu'ils sont fortement consommateurs d'électricité (la plupart des appareils électriques dégageant de la chaleur en fonctionnant), tels que les data-centers,
- réseaux de services urbains tels que les réseaux transports confinés (métros) et les réseaux d'assainissement,
- sites d'élimination des déchets par incinération,
- stations d'épurations des eaux usées

La directive européenne relative à l'efficacité énergétique soutient la valorisation des sources de chaleur fatale¹⁹, en prévoyant la réalisation, pour chaque État-membre, d'une cartographie nationale représentant les besoins et les principales sources potentielles. La directive rend également obligatoire la réalisation d'une analyse coûts-avantages de la valorisation de la chaleur fatale pour les nouvelles installations dont la puissance de chaleur dégagée est supérieure à 20 MW. Les modalités d'application de cette obligation sont définies par chaque État-membre à travers un texte de transposition dans le droit national.

Dans les parcs scientifiques et technologiques, **de nombreux bâtiments sont susceptibles de produire de la chaleur fatale** : installations industrielles, établissements de R&D mobilisant des équipements fortement énergivores, bâtiments abritant une forte densité d'équipements informatiques...

Si elle est collectée, cette chaleur peut soit être acheminée instantanément vers des bâtiments qui ont besoin d'être chauffés, soit être stockée pour être utilisée plus tard dans la journée ou dans l'année (par les bâtiments qui l'ont émise ou par d'autres si le stockage est mutualisé), soit être convertie en électricité ou en froid.

Aujourd'hui, l'exemple de récupération de chaleur fatale le plus courant est la récupération de la chaleur des usines d'incinérations des ordures ménagères. Cela s'explique principalement par le côté service public de cette activité. Avec les autres industries, la pression financière est plus forte, l'avenir plus incertain, et les questions de rentabilité sont donc étudiées sur des échelles de temps courtes (3 à 5 ans). Dans le domaine des réseaux de chaleur, l'échelle classique d'amortissement des installations est plutôt de l'ordre de la dizaine ou de la vingtaine d'années. Outre un travail de communication, des moyens de financement innovants sont donc à trouver pour dépasser ces barrières d'échelles de temps. Par exemple on peut imaginer que l'industriel ne finance pas la totalité des travaux de valorisation de la chaleur sur son usine mais qu'un tiers, non contraint à une vision court terme, comme le gestionnaire du parc, ou une société publique, finance une partie des installations.

Pour développer la récupération de chaleur fatale dans les PST :

Quelques exemples de récupération de chaleur via un réseau

A Seattle (Etats-Unis), Amazon développe ses bureaux et construit pour cela un nouveau quartier. Celui-ci sera chauffé, via un réseau, par la chaleur rejetée par un datacenter situé à proximité.

Le même principe est à l'œuvre à Marne-la-Vallée (France), dans ce qui constitue à ce jour le plus important dispositif de récupération de chaleur sur datacenter d'Europe. Celui-ci alimentera à terme 600000 m² de bureaux.

En Suisse, la récupération de chaleur des réseaux d'eaux usées a fait l'objet de plusieurs réalisations. La solution est d'autant plus pertinente que l'urbanisation est dense et les eaux usées chaudes.

A Dunkerque (France), le réseau de chaleur de la ville est alimenté par la chaleur d'une usine sidérurgique.

¹⁹Articles 14.5 et 14.7 de la directive 2012/27/UE relative à l'efficacité énergétique

- *Sensibiliser l'ensemble des acteurs et décideurs locaux à l'importance de valoriser cette ressource (énergie produite quoi qu'il arrive, donc à mobiliser avant toute autre source importée ou nécessitant une production dédiée)*
- *Localiser et quantifier les gisements de chaleur fatale. Ceci nécessite de bien connaître les activités hébergées par les différents bâtiments du parc, les consommations d'énergie, etc.*
- *Évaluer les coûts et les bénéfices de la mobilisation de chacun de ces gisements (en prenant en compte l'échelle collective, qui permet de mutualiser les équipements nécessaires – réseau de chaleur, stockage, smart grid...) en prenant en compte les évolutions prévisibles dans le temps (5-10 ans pour les datacenters par exemple)*
- *Faciliter la mise en relation entre les vendeurs et acheteurs potentiels de chaleur fatale, contribuer à l'élaboration de modèles d'achat gagnant-gagnant*
- *Développer des infrastructures de stockage, collecte, distribution et gestion intelligente de la chaleur, à l'échelle du parc*

Le projet européen CELSIUS City : pour la récupération de chaleur par des réseaux intelligents

CELSIUS City has established an intelligent heating system covering virtually all the households and commercial buildings in the appropriate high density areas of the city and an energy efficient district cooling system for its commercial customers. These systems make use of a range of excess heat sources all created within the city during the course of an average operational day, for example from various industrial and datacenter activities, heat extracted from sewage and bio-based heating. CELSIUS City not only consumes much less fossil fuel generated energy than a traditional European city; but it also plays a fundamental role in supporting the resilience and security of the electricity network by effectively utilizing existing network capacity for connecting new distributed generation and for providing grid balancing. This becomes more relevant via thermal storage, when excess renewable electricity, generated for example by wind turbines, is being supplied into the grid.

Parmi les pays membres de Smart MED Parks, l'Italie (ville de Gênes) et l'Espagne (ville de Viladecans) sont déjà représentées dans la démarche CELSIUS City.

Pour en savoir plus sur le projet CELSIUS City: www.celsiuscity.eu

4.2.7 La conversion chaleur-électricité-froid et la tri-génération

L'ensemble des besoins des bâtiments peuvent être couverts par une combinaison de chaleur, d'électricité et de froid (les énergies combustibles livrées aux bâtiments, comme le gaz, le fioul ou le bois, sont toujours converties, in fine, sous une de ces trois formes).

Mais les proportions varient, sur la journée, sur la semaine, sur l'année. Cela signifie que si on considère isolément trois systèmes (générateurs et réseaux), un pour la chaleur, un pour le froid et un pour l'électricité, il est nécessaire de dimensionner les trois pour leurs pics respectifs. La plupart du temps, les trois systèmes seront donc surdimensionnés.

On peut combiner les trois formes de différentes façons. La première est la conversion. On transforme de l'électricité en chaleur, on produit du froid à partir de chaleur ou d'électricité, on produit de l'électricité à partir de chaleur... Les conversions sont plus ou moins efficaces selon les combinaisons souhaitées.

Une seconde option est la cogénération (production combinée de chaleur et d'électricité, permettant un rendement global de l'ordre de 75%, contre 45% lorsque les systèmes sont distincts), et la trigénération (un même système produit chaleur, froid et électricité). Ce concept permet de mutualiser les équipements de génération (production de chaleur, froid et électricité par le même système, simultanément ou non suivant les cas) et de distribution (froid et chaleur transportés par le même réseau, pouvant fonctionner suivant différents principes techniques).

Pour développer la conversion et la cogénération dans les PST :

- *Cette approche multi-énergie peut être déployée sur le parc sous plusieurs formes, à travers des équipements individuels au niveau des bâtiments, à travers des équipements collectifs, ou par combinaison des deux.*
- *Elle est à relier à la plupart des autres actions présentées précédemment (coordination multi-réseaux, smart grids, réseaux de chaleur, stockage...).*

Réseau de chaleur solaire intelligent – Marstal – Danemark

Financé par un programme de recherche européen et lancé au printemps 2012, le Smart Solar District Heating Sunstore 4 à Marstal (Danemark) combine différentes technologies de production de chaleur (champs de panneaux solaires thermiques, réservoir de stockage d'eau chaude, pompes à chaleur et chaudières biomasse et fuel) qui permettent d'exploiter les fortes variations de prix de l'électricité, en raison de la prépondérance de l'éolien dans la production d'électricité, pour la production de la chaleur.

Ce réseau de chaleur est alimenté par une très grande installation solaire thermique : 18300 m² de panneaux solaires fournissent 40% de la chaleur des 1500 usagers du réseau. Le reste est fourni par une chaudière biomasse (pellet et paille) et une chaudière au fuel.

Le fonctionnement repose sur :

- La grande variabilité des tarifs de l'électricité en raison de la forte proportion de l'éolien dans la production électrique du Danemark ;
- La combinaison des différentes technologies ;
- Des panneaux solaires efficaces et peu coûteux ;
- Des technologies de stockage de chaleur améliorées ;
- De faibles pertes en raison de la grande taille du stockage.

Grâce à la combinaison des différentes technologies, il existe de multiples possibilités d'exploiter la flexibilité des prix de l'électricité. En hiver, quand le prix de l'électricité est élevé, l'énergie est extraite du stockage pour produire de la chaleur bon marché ou en tirer un revenu (vente d'électricité). En été, quand le prix de l'électricité est faible, l'excédent de production est stocké ; la chaleur est produite grâce au solaire thermique (gratuitement) ou aux PAC électriques (faible prix de revient).

La présence de réservoirs de stockage de très grande capacité confère de la flexibilité au système et rend possible la combinaison des différentes technologies.

4.3 Usages énergétiques hors bâtiments et actions possibles

En dehors de la consommation énergétique des bâtiments, enjeu premier, des actions peuvent également être menées sur d'autres éléments et usages constitutifs du parc scientifique et technologique.

4.3.1 Efficacité énergétique dans les transports à l'échelle d'un parc

Les transports représentent 32% de la consommation d'énergie en Europe.

Dans un parc scientifique et technologique, on peut identifier trois échelles pour les déplacements :

- le **transport longue distance** (transport de marchandises, voyages d'affaires des employés...), qui se fait majoritairement en voiture (camion pour les marchandises), train et avion
- le **transport local**, entre le parc et ses environs proches (échelle de la région), qui se fait majoritairement en voiture ou en transports en commun (train ou transports en commun urbains, selon localisation du parc et offre disponible)
- le **transport interne**, entre les différents bâtiments constituant le parc, qui selon la taille du parc peut se faire à pied, à vélo, en voiture ou en transports en commun urbains

La part de chacune des trois échelles dépend des relations qu'entretiennent les entreprises du parc, avec l'international et le national, avec le régional (entreprises des villes voisines, établissements d'enseignement et de recherche de la région, etc.) et entre elles, à l'intérieur du parc (relations plus ou moins développées selon que le parc fonctionne bien sur un modèle communautaire ou plutôt sur un modèle de zone d'activités classique). Le transport local inclut par ailleurs la majeure partie des déplacements domicile-travail ; certains parcs scientifiques et technologiques intègrent une offre de logement, réduisant ces déplacements en semaine, mais générant le week-end des transports de loisirs plus importants (volonté de sortir du parc pour les loisirs).

La première chose à faire par le gestionnaire du parc est donc **d'identifier les schémas de transport dominants sur le parc** : quelles matrices origine/destination, quels modes de transport, quelles fréquences...

A partir de ce constat peuvent être identifiées les mesures possibles.

Sur le transport longue distance, les marges de manœuvre directes du parc sont limitées, car les pratiques sont très individualisées et s'appuient sur des offres (services, infrastructures) nationales voire internationales.

Sur le transport local, le parc peut chercher à développer :

- le déplacement en voiture électrique
- le déplacement en transports en commun
- le covoiturage, notamment pour les trajets domicile-travail, fortement synchronisés

Sur le transport interne, le parc peut chercher à développer :

- les modes actifs (déplacement à pied, à vélo – avec ou sans assistance électrique)

Par ailleurs, le parc peut s'intéresser à la gestion de **l'inter-modalité**, c'est-à-dire la combinaison de plusieurs moyens de transport au cours d'un même déplacement.

Les mesures possibles pour développer ces différents modes et services de transport sont détaillées dans de nombreuses publications spécialisées. Ci-dessous sont présentés quelques exemples d'actions concrètes possibles, sans que ceci ne soit exhaustif.

1. Voiture électrique en auto-partage

Un pool de voitures électriques partagé par les entreprises du parc peut être mis en place. Ceci peut être fait par le parc lui-même, dans le cadre de l'offre de services qu'il propose aux entreprises, ou

bien par le biais de divers modèle que le parc peut soutenir et encourager (pool associatif, pool mis en place par un tiers privé...).

En plus de **décharger les utilisateurs de l'investissement**, ceci permet de **mieux entretenir** les véhicules, de **les amortir plus rapidement**, **d'économiser de l'espace** pour le stationnement, et – dans le cas du véhicule électrique – de centraliser et maîtriser la question de la **recharge**. Le véhicule électrique peut également être vu comme un moyen de stocker de l'électricité, en chargeant les batteries lorsque les besoins des bâtiments sont faibles et l'électricité peu coûteuse. L'intérêt énergétique du véhicule électrique dépend beaucoup de la façon dont l'électricité est produite dans la région concernée.

La voiture électrique se prête bien aux déplacements locaux, ou interne au parc si celui-ci est assez étendu. Le principe de l'auto-partage fonctionne très bien dans une approche multimodale, la voiture pouvant être utilisée pour réaliser les premiers (ou derniers) kilomètres permettant de rejoindre une gare ferroviaire ou un hub de transports en commun. Les difficultés à traiter, dans le cadre d'un parc scientifique et technologique, sont les heures de pointe (risque de demande supérieure à l'offre tous les jours aux mêmes heures, et de sous-utilisation du pool le reste de la journée) et l'appropriation du dispositif par les entreprises si celles-ci ne sont pas accompagnées vers ce nouveau mode.

2. Covoiturage

Le soutien au covoiturage est une mesure relativement peu coûteuse pour le parc, puisqu'il ne nécessite **pratiquement aucune infrastructure**.

Il s'agit avant tout d'aider les employés des différentes entreprises à s'organiser pour se rassembler. Certaines collectivités mettent en place des systèmes de covoiturage à des échelles urbaines ou régionales. Si le parc se situe sur un territoire concerné par un tel système et qu'il fonctionne bien, il n'est pas utile de développer une plate-forme propre au parc : il suffit de faire la promotion du service auprès des entreprises et employés du parc. Dans le cas contraire, le parc peut créer un site internet ou une application smartphone de mise en relation de l'offre et de la demande, assurer la promotion du covoiturage auprès des entreprises (l'intérêt du dispositif augmentant avec son nombre d'utilisateurs), et offrir des bénéfices aux utilisateurs, tels que des places de stationnement réservées et bien positionnées sur le parc.

Outre le gain énergétique, le covoiturage permet de réduire la congestion dans l'accès au parc et la consommation d'espaces de stationnement.

Le covoiturage est particulièrement intéressant pour les **déplacements domicile-travail**, les plages horaires et les matrices origines-destination étant resserrées.

3. Déplacement à vélo

Le soutien au déplacement à vélo peut prendre plusieurs formes :

- Réalisation d'aménagements cyclables de qualité à l'intérieur du parc, connectés avec le réseau cyclable hors parc, et permettant un rabattement vers des hubs de transports en communs équipés de parcs à vélos
- Réalisation de stationnements vélo protégés et sécurisés, accessibles, bien positionnés

- Mise en place d'un jalonnement permettant de s'orienter tout au long de son itinéraire vers les pôles générateurs de déplacement (grande entreprise, hub de transport en commun, parc de stationnement...)
- Mise en place de stations de vélos partagés en libre-service (ceci nécessite un parc de très grande taille et beaucoup de déplacements internes – ou très locaux – en journée, avec une rotation fréquente). Différents modèles de financement existent, permettant de réduire le coût pour la collectivité ou l'aménageur, par exemple en échange d'espaces d'affichage publicitaire.
- Versement de primes, en partenariat avec les entreprises, aux employés qui se déplacent à vélo (indemnité kilométrique telle que mise en œuvre en Belgique et à l'étude en France)
- Mise en place d'équipements et de services pour les cyclistes, dans les locaux des entreprises (douches, parc à vélo, vestiaire, fourniture de kits de sécurité, etc.)

4. Multi-modalité

Par défaut, les déplacements se font en voiture, car c'est un mode qui est perçu par la plupart des usagers comme combinant la souplesse des modes actifs (horaires, points de départ et d'arrivée) et la puissance de déplacement des transports en commun (distances pouvant être parcourues)²⁰.

Par conséquent, le développement des modes alternatifs nécessite de **permettre aux utilisateurs de combiner les avantages de chacun de ces modes**, en fonction des différentes sections de leurs déplacements.

La multi-modalité peut être facilitée par la réalisation d'infrastructures (stationnements à proximité des points de transfert modal), la mise en place de services (application de calcul d'itinéraire prenant en compte tous les modes disponibles sur le parc).

5. S'inscrire dans le plan de déplacement urbain

L'ensemble des mesures relatives aux déplacements s'inscrivent dans une logique urbaine, les déplacements n'étant pas strictement internes au parc. Par conséquent, les efforts faits par le parc pour réduire la part de la voiture et augmenter celle des modes actifs ou des transports en communs trouvent certainement un écho dans la politique de transport poursuivie par la ville ou l'agglomération. Le parc peut, en contrepartie des efforts réalisés sur son périmètre, bénéficier du soutien de la collectivité, selon les modalités propres à chaque territoire (réductions sur les abonnements de transports en commun pour les employés, participation financière aux aménagements, etc.).

6. Animation et communication

Si l'efficacité énergétique pour les bâtiments dépend essentiellement des choix techniques faits sur les bâtiments et les réseaux d'énergie, pour les transports les choix individuels sont déterminants.

²⁰ Cette perception est parfois éloignée de la réalité, surtout dans les territoires souffrant de congestion automobile, où le pouvoir de déplacement de la voiture est fortement réduit.

Il est donc indispensable **d'accompagner l'évolution des comportements**, pour passer de comportements fortement consommateurs d'espace et d'énergie à des comportements plus vertueux sur le plan environnemental.

Les actions de communication, de pédagogie et d'animation en la matière sont essentielles. Ces actions doivent être originales, ludiques et positives, afin de susciter l'adhésion des employés qui travaillent sur le parc.

4.3.2 Éclairage public

Pour certaines communes, l'éclairage public peut représenter 50% de leur consommation d'électricité en propre. Ce constat s'applique également à l'échelle des zones aménagées, sur lesquelles des améliorations peuvent être recherchées, à la fois pour réduire la consommation d'énergie mais également limiter la pollution lumineuse.

On estime que dans la plupart des pays d'Europe, près de la moitié des lampes installées sont obsolètes et énergivores. En France, 40% des luminaires ont plus de 25 ans. Selon l'ADEME, le potentiel d'économie d'énergie se situe entre 50 et 75%.

Des actions peuvent être conduites pour :

- Moderniser le parc de luminaires, en remplaçant les lampes les plus énergivores par des lampes à LED, lampes à iodure métallique, lampes à vapeur de sodium ou autre technologie dont l'efficacité lumineuse est meilleure
- Mieux maîtriser les horaires d'allumage et d'extinction, réduire la puissance sur les plages horaires les plus tardives de la nuit (sans réduire la sécurité), *etc.*
- Améliorer la maintenance qui pèse parfois pour plus de 50% dans la facture d'éclairage public et qui, par le choix d'une technologie plus durable telle que les LED, peut être optimisée.

Ces améliorations s'inscrivent dans le contexte de la directive européenne CE 245/2009 (modifiée par CE 347/2010) qui concerne les exigences relatives à l'écoconception des produits principalement utilisés pour les bureaux, les industries et l'éclairage urbain.

Comme pour les transports et d'autres domaines évoqués précédemment, encore, le parc peut, selon ses modalités de mise en place et de fonctionnement, maîtriser directement la question de l'éclairage public (notamment si la voirie interne du parc lui appartient), ou bien dépendre des choix réalisés par la commune (si la voirie est publique). Les moyens d'agir et les marges de manœuvre diffèrent selon les situations.

4.4 Autres évolutions significatives en matière de services urbains

Ces évolutions, essentiellement matérialisées par des choix d'infrastructures et d'équipements, s'inscrivent en parallèle de mouvements d'évolution de la société et de la façon dont les citoyens-usagers perçoivent et utilisent la ville. Ces évolutions sont à considérer par les aménageurs et gestionnaires de parc, car elles ont une influence forte sur ce qu'ils peuvent proposer aux utilisateurs du parc, et sur la façon dont ces derniers vont s'approprier (ou non) cette offre.

En voici quelques exemples :

- Les **ressources partagées**
 - Auto-partage
 - Vélos en libre-service
 - Bureaux partagés par des télétravailleurs
- La **prestation de service** plutôt que la vente de biens mobiliers ou immobiliers (en partie liée aux ressources partagées : on paie pour utiliser plutôt que pour posséder)
 - Dans les transports
 - Dans le bâtiment
- **L'hyperconnexion**
 - Objets connectés
 - Accès à l'information et aux données en temps réel
 - Collecte de quantités massives de données liés à l'utilisation des services urbains (big data)
- La **gamification**, le **nudging**, le **peer pressure**
 - Faire évoluer les comportements par des signaux positifs et ludiques
 - Aider les usagers à se sentir impliqués dans les changements en matière d'énergie
 - Remplacer la contrainte et la sanction par l'adhésion volontaire

5 CONSEILS METHODOLOGIQUES

5.1 Les difficultés à traiter

5.1.1 Multiplicité des acteurs

Un parc scientifique et technologique rassemble une multitude de maîtres d'ouvrages, de propriétaires et copropriétaires, et d'usagers. Le porteur de projet d'efficacité énergétique du parc doit être capable de dialoguer avec tous ces acteurs, être reconnu par eux, comprendre leurs attentes et contraintes respectives, connaître les contributions qu'ils peuvent apporter à la démarche.

5.1.2 Chronologie

En partie liée au point précédent, la dimension temporelle est également un élément de complexité et un frein potentiel aux projets. Une initiative peut afficher un bilan négatif sur ses premières années, mais être largement bénéficiaire sur 10 ans ou 20 ans. Les différents acteurs ne fonctionnent pas sur les mêmes échelles de temps. Un industriel visera essentiellement des projets au temps de retour de l'ordre de 4 à 5 ans alors que des établissements publics se lanceront même si le temps de retour sur investissement dépasse les 10 ans. Etre capable d'envisager le court, le moyen et le long terme est essentiel. Pour pallier à cette différence d'échelle temporelle, il peut être envisagé un financeur intermédiaire qui prendrait le relais entre les acteurs cherchant des temps de retour courts et les autres. Par exemple un industriel finance une partie seulement de travaux d'efficacité énergétique, partie calculée pour qu'il obtienne un temps de retour cours. L'intermédiaire finance le reste, le temps de retour de son investissement est plus long et il prend donc à sa charge le risque temps. Les deux réalisent des investissements rentables mais le taux de rentabilité interne diffère suivant l'échelle de temps propre à chacun. Malheureusement, ce type de montage reste extrêmement rare car seules des structures publiques aujourd'hui sont prêtes à jouer ces intermédiaires, mais leur capacité de financement sont réduites. Logique économique

Les utilisateurs des parcs scientifiques et technologiques sont majoritairement des entreprises, dont l'activité est régie par une logique économique. Les progrès en matière d'efficacité énergétique doivent donc se matérialiser, pour les entreprises, non seulement par des gains environnementaux, mais également par des gains économiques (réduction des coûts, bénéfices d'image pouvant être valorisés, etc.) et sociaux (confort des employés, qualité de vie sur le parc, etc.), si possible à court terme.

5.1.3 Multiplicité des objets techniques et urbains

Hormis dans les parcs très récents, un parc scientifique et technologique est souvent constitué de bâtiments de types et de générations très différentes. Pour les parcs très étendus, on peut également rencontrer des formes urbaines différentes suivant les secteurs et les époques de réalisation.

5.2 Vision globale

L'intérêt du parc est de permettre de positionner la réflexion à un échelon collectif, global, intégrant de façon cohérente les multiples actions possibles. Cette vision ensemblière de l'aménagement énergétique du parc permet en outre de construire une forme de hiérarchie des actions, en les priorisant et en identifiant les conséquences de l'une sur l'autre.

Selon les priorités et la situation propres à chaque parc, cette vision globale consistera à articuler les quatre grands objectifs suivants, qui reposent chacun sur un ensemble d'actions à mener.

1. Réduire les consommations

- Isolation des bâtiments
- Aménagement et services adaptés aux modes de transport actifs
- Remplacement des chaudières peu performantes par des systèmes efficaces (individuels ou collectifs)...

2. Récupérer l'énergie perdue

- Identification des gisements et des consommateurs potentiels
- Aide à la contractualisation entre offre et demande
- Mise en place de réseaux et stockages...

3. Remplacer les énergies fossiles par des énergies renouvelables

- Création/extension de réseaux de chaleur/froid
- Raccordement de bâtiments initialement chauffés au gaz ou au fioul
- Mise en place de systèmes EnR dans les bâtiments...

4. Remplacer l'électricité par des sources renouvelables ou des systèmes gaz efficaces, pour la production de chaleur

- Mise en place de chaudières ou sous-stations de réseau de chaleur/froid dans les bâtiments initialement chauffés/climatisés à l'électricité
- Privilégier la mobilisation du vecteur chaleur (plus facile à produire localement à partir de sources EnR&R), avant l'électricité...

Dans la plupart des cas, l'ordre préférable correspond à celui qui est décrit ci-dessus : en schématisant, il s'agira, pour le 1^{er} objectif (réduire les consommations), d'identifier les actions réalisables et leurs coûts (au sens large, incluant toutes les contraintes). Lorsque le coût d'une action supplémentaire (ou

d'une action plus forte) devient supérieur au coût des actions les plus abordables du 2nd objectif (récupérer l'énergie perdue), alors on travaille sur ce 2nd objectif.

Ainsi, par itération, on définit une **stratégie d'ensemble**, mobilisant les leviers qui offrent la meilleure efficacité collective pour atteindre les grands objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de consommation des ressources non renouvelables.

Cette hiérarchie intervient dans la phase de réflexion : une fois le plan d'action cohérent décidé, l'ordre de réalisation des actions n'est pas nécessairement lié à leur hiérarchisation. Cela dépend des opportunités (mutualisation de travaux, volonté des acteurs d'avancer plus ou moins vite sur tel ou tel sujet, etc.)

5.3 Approche en coût global : prendre en compte tous les coûts et bénéfices sur une période longue

Cette logique de vision d'ensemble doit également s'appliquer lorsqu'on considère les coûts du programme d'efficacité énergétique envisagé sur le parc.

La prise en charge de ces coûts est en effet :

- Partagée par de nombreux acteurs : l'aménageur/gestionnaire du parc, les entreprises implantées sur le parc, les opérateurs énergétiques, les collectivités territoriales, éventuellement la collectivité nationale (en cas d'aides financières)...
- Etalée sur une très longue période, correspondant à la durée d'amortissement des installations et des travaux qui dans certains cas peut être de l'ordre de 20 ans (réseaux d'énergie par exemple) ou même 30-40 ans (actions d'urbanisme)

Si les coûts ne sont considérés que du point de vue d'un seul acteur, ou si la fenêtre temporelle de comparaison des solutions est trop réduite (vision de court terme), alors l'analyse est biaisée et les options retenues ne peuvent pas correspondre à l'optimum économique collectif, garant à la fois de l'intérêt général des utilisateurs du parc et de l'atteinte des objectifs énergie-climat poursuivis par le territoire.

5.4 Explorer les différentes pistes de financement

Les actions possibles sont très nombreuses, leurs objets et échelles très différents, et les acteurs-décideurs ne sont pas toujours les mêmes. La question du financement étant déterminante, il est nécessaire d'explorer les nombreuses possibilités (montages économiques, dispositifs de subventions, etc.) qui peuvent être mobilisées pour répondre à ces diverses situations, et faciliter la réalisation des projets.

Ceci dépend beaucoup du cadre local, propre à chaque pays. On peut toutefois aborder ici deux outils, l'un classique – la subvention – l'autre plus innovant – le financement participatif.

Pour contrecarrer le manque de compétitivité à court terme de certaines EnR et de certaines mesures d'efficacité énergétique, les subventions peuvent prendre différentes formes.

5.4.1 Subventions directes

- **Aides à l'investissement de l'état/régions/collectivités** : les états membres possèdent des fonds mobilisables pour l'aide à l'installation de certaines EnR ou pour les travaux d'efficacité énergétique. Les régions quant à elles sont responsables des distribuer le fonds européen FEDER qui permet de financer certaines opérations dans le domaine de l'énergie et des transports. Enfin, les collectivités, directement concernées par les projets locaux, peuvent également apporter des aides financières.
- **Appel à projets** : cette méthode de financement sélectionne certains projets pour les accompagner et les financer. Tous les projets vertueux ne pourront donc bénéficier de ce type d'aide. En général, les appels à projet permettent surtout de lancer les toutes premières expérimentations de certaines technologies ou méthodes afin de pouvoir tirer des premiers retours d'expérience.

Pour les subventions directes, une grande attention aux politiques locales en matière d'énergie est nécessaire pour le porteur de projet. **Plus le projet s'aligne sur les objectifs énergie-climat du pays et plus il s'intègre dans la stratégie énergétique locale, plus il a de chance d'obtenir des subventions.**

5.4.2 Subventions indirectes

- **Obligations d'achat et prix garantis** : il s'agit de l'outil le plus utilisé en Europe. Cet outil « prix », permet de garantir un prix d'achat de l'énergie verte aux producteurs. Des systèmes de complément de prix d'achat existent également afin d'intégrer un peu plus la logique de marché. La plupart des pays fixent un tarif différent suivant la technologie de production de l'énergie (basé sur le niveau de maturité économique de celle-ci). L'avantage de cette aide reste la visibilité sur le long terme qu'elle donne aux producteurs.
- **Réductions de taxes** : les exemptions de taxes ou leur réductions sont souvent complémentaires des autre systèmes et peuvent viser d'autres acteurs que l'investisseur ou le producteur. En France, l'usager final peut par exemple bénéficier d'une réduction des taxes de sa facture de chauffage, si celui-ci est vertueux.
- **Crédit d'impôt et prêt à taux réduit** : ces incitations fiscales sont très courantes, notamment pour les particuliers dans le domaine des travaux d'efficacité énergétique des bâtiments. L'accès au capital nécessaire à l'investissement étant souvent le principal problème dans le cadre de travaux d'efficacité énergétique ou de développement des EnR, l'accession facilitée à des prêts avantageux reste un outil précieux.
- **Quotas et Certificats** : il existe différent système de quotas, les plus connus étant les systèmes de quotas CO2 (valable dans tous les pays d'Europe). Le principe de ce levier « quantité » est simple : il ne faut pas émettre plus de Co2 que ce que les quotas possédés le permettent. Ces quotas s'achètent et se vendent sur un marché carbone. Si le prix du quota est élevé alors les obligés ont un plus grand intérêt économique à investir dans des mesures de réduction des émissions. La performance énergétique devient donc un atout compétitif. Pour les quotas de CO2, aujourd'hui seuls les producteur d'énergie et certaines industries sous soumises. Sur le même principe d'échange sur les marchés, il existe également des certificats d'économies d'énergie (et également de production d'énergie verte). Des obligés doivent réaliser une quantité d'économie d'énergie soit en investissant sur leur propres installations, soit en achetant des certificats vendus par d'autres (qui peuvent ne pas être soumis à cette obligation

de réduction des consommations). Cependant, ces techniques de marchés sont délicates et nombreuses tentatives ont échoué ou n'ont pas atteint les objectifs initiaux.

Il existe aussi des subventions pour la recherche et l'innovation ainsi que pour l'entrepreneuriat.

- Pour en savoir plus sur le financement des EnR dans chaque pays membre, voir l'étude « [Financing Renewable Energy in the European Energy Market](#) » (2011)²¹

5.4.3 Financement participatif

Le financement participatif (crowdfunding), qui permet à un ensemble de citoyens ou d'utilisateurs d'investir ensemble pour la réalisation de projets, se développe depuis quelques années en grande partie grâce à des plateformes internet spécialisées. Le principe du crowdfunding est notamment applicable aux projets d'énergie renouvelable et d'efficacité énergétique.

Les participants peuvent être bénéficiaires directs du projet (utilisateurs), ou simplement intéressés par les retours financiers ou le geste environnemental. Chacun finance une partie d'installations qui bénéficieront à tous mais que personne n'aurait pu financer seul. Au Danemark, le phénomène est déjà bien avancé puisque 70% des éoliennes du pays appartiennent aux citoyens. Les coopératives citoyennes se multiplient un peu partout en Europe et s'intéressent de plus en plus aux questions de l'énergie et de l'efficacité énergétique. Récemment, l'une d'entre elles, en Belgique, a financé la réalisation d'un réseau de chaleur biomasse.

Dans le cas des parcs scientifiques et technologiques, solliciter la participation des futurs bénéficiaires d'un projet ne semble donc pas absurde et permet en plus d'éviter le problème NYMBY, les participants devenant acteurs du projet, et non utilisateurs passifs subissant les choix d'un autre acteur.

Les entreprises, les centres de recherche, les universités peuvent cofinancer un projet qui bénéficie à l'ensemble. Ainsi, en France, sur un petit parc scientifique, 3 écoles et 2 centres de recherches ont monté une association pour la réalisation et le financement d'un réseau de chaleur, par la suite, d'autres administrations présentes sur le campus ont rejoint cette association qui s'intéresse également à l'installation de panneaux solaires et à la mise en place de ruches. Ces montages permettent à des projets qui dépassent la simple échelle du bâtiment de voir le jour, tout en limitant l'implication directe de l'aménageur, de la collectivité ou du gestionnaire du parc.

5.4.4 Tiers investissement

Le tiers investissement ou tiers financement constitue un autre type de financement qui permet l'émergence de projets lorsque le ou les bénéficiaires ne peuvent lever du capital. Cette pratique se rencontre surtout dans le domaine de l'efficacité énergétique. Un organisme tiers avance les frais et parfois l'expertise pour la réalisation de travaux d'économie d'énergie. Celui-ci rembourse son investissement grâce aux économies d'énergie. L'avantage de ce montage est qu'il permet de suivre des projets sur le long terme. Aujourd'hui cependant, suivant les pays, les prix de l'énergie peuvent

²¹ Disponible en ligne :

http://ec.europa.eu/energy/renewables/studies/doc/renewables/2011_financing_renewable.pdf

être trop faibles pour que le taux de rentabilité intéresse des investisseurs privés, et les sociétés de tiers-financement dépendent encore beaucoup de subventions publiques.

5.5 Collecter, organiser, exploiter les données

Plus on cherche à introduire de la cohérence dans un ensemble d'actions d'efficacité énergétique portant sur l'échelle urbaine, plus les données sont importantes afin que les choix qui sont faits correspondent à la réalité :

- Données de consommation des bâtiments (compteurs intelligents, détail par usages, pas temporel aussi fin que possible, etc.)
- Données relatives aux tracés des réseaux d'énergie (localisation, capacités, tarifications, jeux d'acteurs associés...)
- Données relatives à l'équipement énergétique des bâtiments (systèmes, qualité de l'enveloppe...)

5.5.1 SIG

Sur un parc de taille importante, disposant de ressources (services techniques intégrées ou en sous-traitance), une option intéressante peut être de collecter ces données afin de les intégrer dans un outil de cartographie énergétique du parc (SIG). Ceci permet d'une part d'étudier plus efficacement différents scénarios concernant les infrastructures à réaliser, les optimisations énergétiques à rechercher, etc. D'autre part, le parc dispose ainsi d'un outil précieux pour le suivi dans le temps de son efficacité énergétique, les données pouvant être régulièrement actualisées.

Pour les parcs plus petits ou aux faibles moyens techniques dédiés, la démarche peut s'inscrire dans un projet du même type, porté au niveau de la collectivité, en cohérence avec les démarches nationales de cartographie énergétique (chaleur) réalisées dans le cadre de la directive européenne.

5.5.2 Maquette numérique

Suivant de près le phénomène actuel du BIM (Building Information Modeling), bientôt réglementaire dans les marchés publics, il est à noter l'émergence de la maquette numérique urbaine, permettant d'offrir une vue hiérarchisée et structurée des éléments urbains (bâtiments, voiries, végétation, mobilier urbain, etc.) réunissant des données géographiques (issues des SIG), géométriques (souvent 3D) et sémantiques (métiers) à plusieurs niveaux de détails, et suivant des versions données.

Cet outil peut décrire de façon très précise un parc technologique ou immobilier. Exprimé dans un format standard international et ouvert tel que le CityGML (standard OGC 2008), il permet d'adresser divers moteurs de simulations compatibles et d'enrichir le modèle en retour avec ses résultats. Il peut s'agir de calculer le potentiel EnR du cadre bâti, l'impact d'une nouvelle infrastructure sur la qualité de l'air ou les nuisances sonores, etc.

Assurant l'interopérabilité des outils experts qui lui sont connectés, la maquette numérique urbaine devient alors fédératrice des acteurs du territoire et de leurs données. Elle permet d'envisager une analyse intégrée, multi-échelles et multicritères, tout en autorisant une conception participative et itérative.

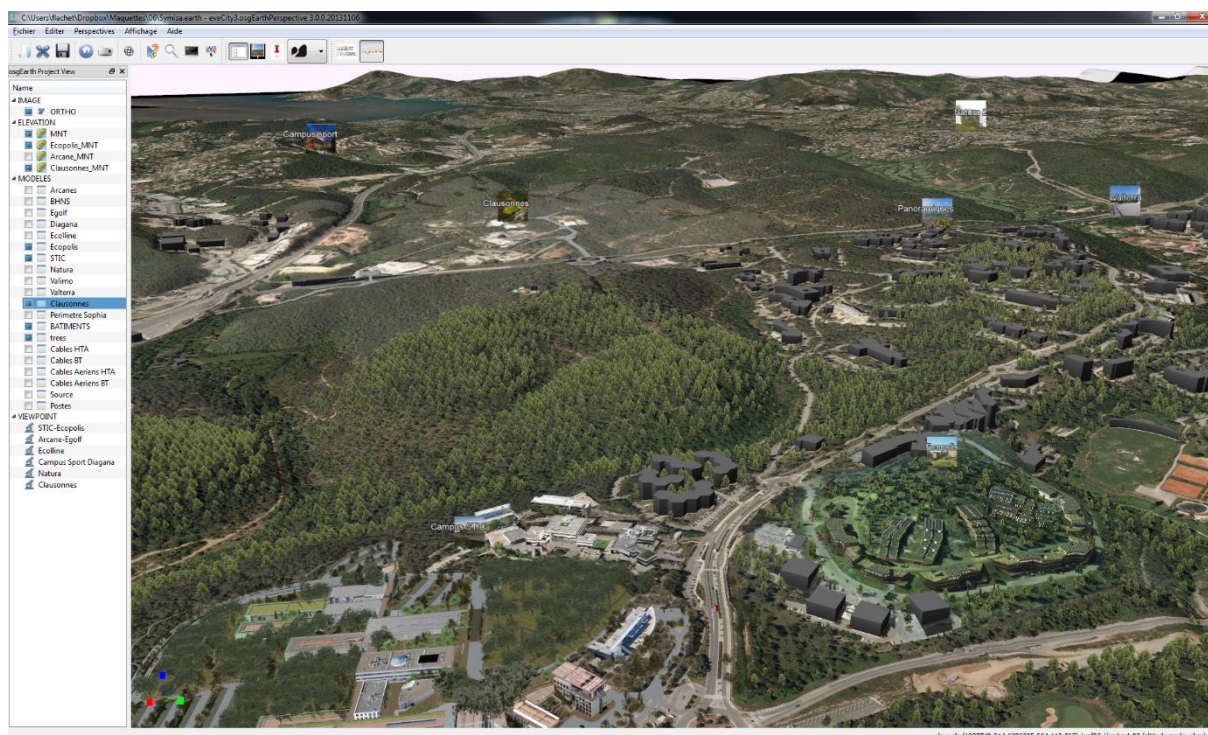


Figure 11 : Maquette numérique de Sophia Antipolis

5.5.3 Outil Smart Med Park pour l'analyse de scénarios

Un outil informatique de simulation de solutions d'efficacité énergétique est développé dans le cadre du projet Smart Med Park. Il permet de modéliser différents scénarios d'efficacité énergétique et le développement des énergies renouvelables dans les PST afin de cerner les améliorations qu'ils apportent. Grâce à cet outil, les gestionnaires de PST peuvent se lancer dans des pré-études d'opportunité, sans connaissance technique poussée. Sans avoir la prétention de se substituer à un bureau d'étude, cet outil apporte aux gestionnaires un premier niveau d'examen des différentes possibilités qui s'offrent à lui. Le but et le fonctionnement de l'outil sont détaillés en annexe 6.

5.6 Se faire accompagner

Le gestionnaire d'un parc n'étant pas un énergéticien, il est important **de se faire accompagner dans sa démarche**. D'abord par les collectivités locales et les services locaux ou agences de l'Etat, qui ont par ailleurs eux même des objectifs en termes d'efficacité énergétique et de développement des EnR sur leurs territoires. Ils peuvent de plus apporter des précieuses données. En effet, certaines régions, villes ou pays ont par exemple réalisé des cartes interactives de la demande de chaleur (voir l'exemple de London Heat Map), ou encore des cartes d'opportunités pour le développement du solaire, du vent, ou de la géothermie sur leur territoire.

De même, il est souhaitable de se rapprocher des agences locales de l'énergie ou des agences spécialisées par filière (bois, solaires, géothermie, ...) ou sur l'efficacité énergétique.



Figure 12: Carte de la ressource du sous-sol pour le développement de la géothermie (source : <http://www.geothermie-perspectives.fr/cartographie>)

Ces agences peuvent également apporter des informations pertinentes pour s'orienter vers telle ou telle solution. Au sein des parcs scientifiques et techniques, peuvent être présentes des entreprises et centres de recherches travaillant sur la thématique énergie et développement durable (exemple de l'IAT à Malagà). Ces entités, si elles ne sont pas elles même initiatrices de la démarche, seront une aide précieuse dans les projets. Ne pas oublier également d'aller présenter ses intentions de projets aux organismes qui apporteront des aides financières. Non seulement parce qu'elles peuvent également financer les études d'opportunités dans certains cas mais aussi parce que plus elles sont impliquées en amont, plus le dialogue pour le financement devient facile.

Une fois ces appuis sollicités, le gestionnaire du parc doit alors posséder une vision plus claire du projet qu'ils souhaitent mettre en place. Il peut alors solliciter les personnes dont l'aménagement énergétique d'un territoire est le vrai cœur de métier pour des missions d'aides à maîtrise d'ouvrage notamment. L'idéal est de choisir un AMO possédant à la fois des compétences techniques mais aussi économique et juridique (plusieurs sociétés peuvent notamment s'associer pour répondre au besoin). Cet AMO affinera techniquement le projet et coordonnera les interventions des différents acteurs (entreprises de travaux, financeurs, collectivités, etc.) tout en gérant les démarches administratives. Le gestionnaire du parc peut également choisir de gérer partiellement ou entièrement ces missions, avec ses propres équipes dotées des bonnes compétences, et ne pas employer d'AMO.

Cependant, suivant les projets, ces missions peuvent rapidement devenir chronophages. Que ce soit pour la recherche de financement (direct ou indirect, voir partie), les demandes d'autorisation ou pour l'optimisation technico-économique du projet, les acteurs sont multiples et varient d'une type de technologie à l'autre.

6 ANNEXE : PRESENTATION DES OUTILS MIS A DISPOSITION PAR L'INITIATIVE SMART MED PARKS

Depuis le lancement du projet en février 2013, différentes actions ont été effectuées dans le but d'accroître la sensibilisation et les connaissances liées à la gestion énergétique dans les parcs scientifiques et technologiques (PST), de développer un logiciel capable d'évaluer par simulation la performance énergétique des PST et d'identifier les axes d'amélioration afin de définir la notion de " PST intelligent ".

6.1 Catalogue papier et e-catalogue

Un catalogue des technologies adaptées à la création/réhabilitation de bâtiments dans des PST a été développé. Ce document vise à présenter et analyser les technologies à haute efficacité énergétique les plus prometteuses mais qui sont disponibles sur le marché, pour la production et la distribution d'énergie, afin d'assurer une gestion intelligente des parcs scientifiques et technologiques. 28 technologies ont été décrites suivant un format commun. Ce catalogue (en version anglaise uniquement) peut être téléchargé sur le site internet du projet (<http://www.smartmedparks.eu/en>).

Une version électronique simplifiée de ce catalogue est également disponible sur le site du projet. Cette version (voir image ci-dessous) permet de survoler en quelques clics l'ensemble des technologies disponibles et la façon dont ces technologies s'insèrent dans un projet de création/réhabilitation de PST.



Figure 1 : E-Catalogue

6.2 Outil d'évaluation de la performance énergétique des PST

6.2.1 Cahier des charges de l'outil

L'outil SMP a été conçu afin de permettre :

- la caractérisation et la quantification de la demande et la consommation d'énergie des Parcs Scientifiques et Technologiques ;
- la fourniture de modèles pour améliorer l'efficacité énergétique et mesurer, a minima estimer, les améliorations ;
- de favoriser les réseaux entre les Parcs Scientifiques et Technologiques en créant un cadre de comparaison réaliste en termes d'efficacité énergétique et de consommation et demande d'énergie.

En plus des objectifs du projet, l'outil a été conçu en tenant compte de l'utilisateur final. À ce titre, des interfaces conviviales ont été développées pour les managers des Parcs Scientifiques et Techniques afin que ceux-ci n'aient pas besoin d'avoir connaissances importantes en matière d'énergies.

Par conséquent, le logiciel fournit des recommandations générales et des solutions possibles, mais pas de solutions prédéfinies répondant à des problèmes spécifiques qui nécessitent d'autres outils matures existants sur le marché utilisé par le personnel technique.

6.2.2 Présentation de l'outil SMP

Une description de l'outil de simulation est donnée ci-dessous. Il est important de noter que la version finale de l'outil pourrait disposer d'une interface utilisateur différente. Néanmoins, la structure, la méthodologie et les processus de calcul seront similaires à ceux décrits ici.

Dans la boîte de dialogue initiale, l'utilisateur choisit d'exécuter une simulation ou de lire l'e-catalogue répertoriant la description des différentes technologies étudiées dans le cadre du projet. La plupart de ces technologies ont été modélisées dans l'outil "Smart- MED – Parks", de sorte que l'e-catalogue permet d'évaluer ce qui est réellement simulé.



Figure 13 : Interface initiale d'accès à l'outil SMP

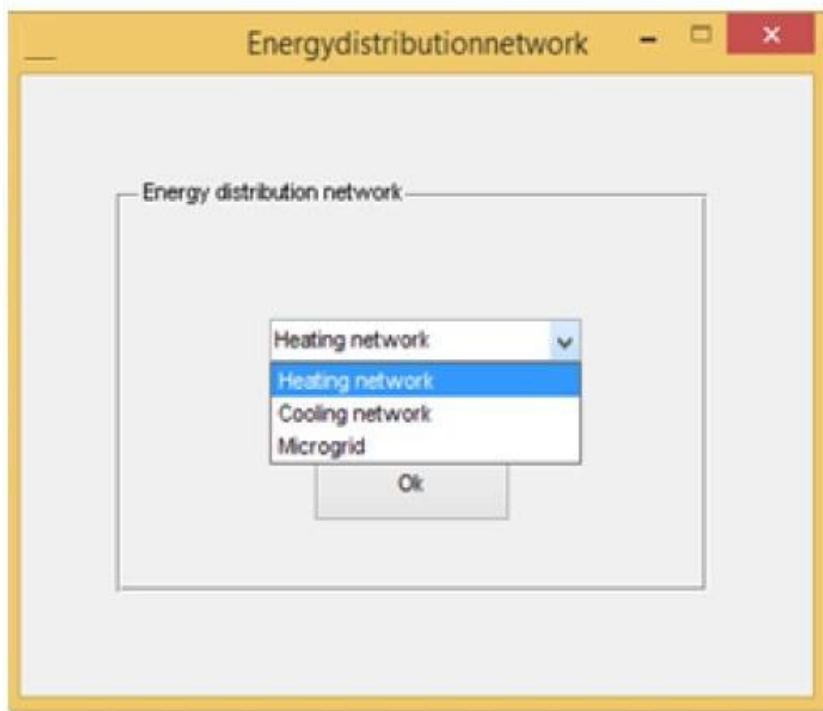


Figure 14 : Option pour évaluer la stratégie énergétique des Parcs Scientifiques et Technologiques

Dans le cas où l'utilisateur sélectionne l'option simulation, l'outil SMP offre la possibilité de choisir l'une des solutions énergétiques suivantes :

1. réseaux de chauffage;
2. réseaux de refroidissement;
3. micro-réseaux électriques.

Cette première sélection permet de définir de façon complète à la fois le réseau, l'ensemble des postes de consommation d'énergie (par exemple les bâtiments) et les unités de production (Co-générateur par exemple). L'utilisateur peut aussi évaluer l'impact de solutions d'amélioration de l'efficacité énergétique qui n'impliquent pas de réseaux (isolation des bâtiments).

Après avoir sélectionné l'un des choix, l'utilisateur aura la possibilité d'établir un réseau spécifique dans des lieux réels :

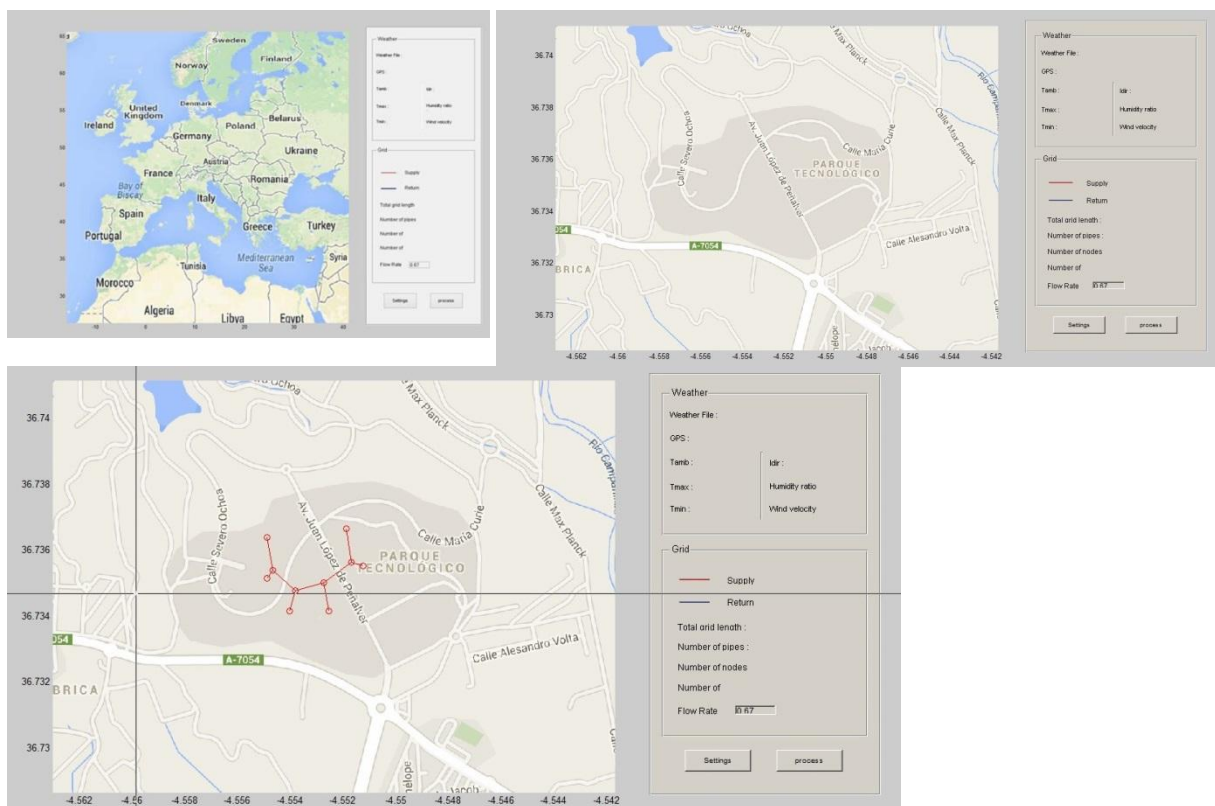
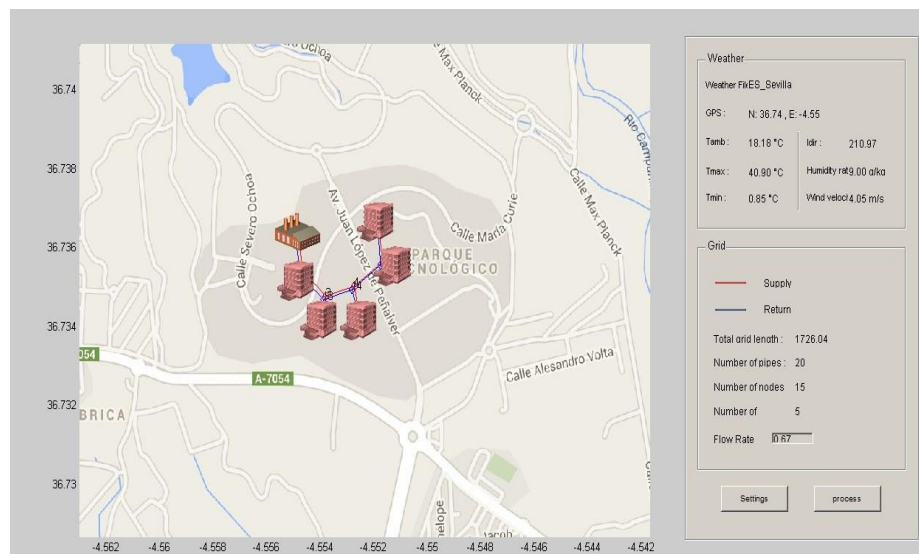


Figure 15 : Définition du réseau



Puis, les bâtiments sont représentés sur le réseau (voir Figure 5). Ces bâtiments peuvent être définis par les utilisateurs sur la base d'un modèle thermique capacité résistive nécessitant 8 paramètres d'entrée, ou choisis dans une base de données de bâtiments étudiés dans les phases précédentes du projet.

Après avoir sélectionné les postes de consommation connectés au réseau énergétique, il est nécessaire de définir les technologies qui fournissent les besoins en énergie de ces unités de consommation (voir Figure 17). Pour chaque technologie, un schéma visant à améliorer la compréhension de l'utilisateur est présenté.

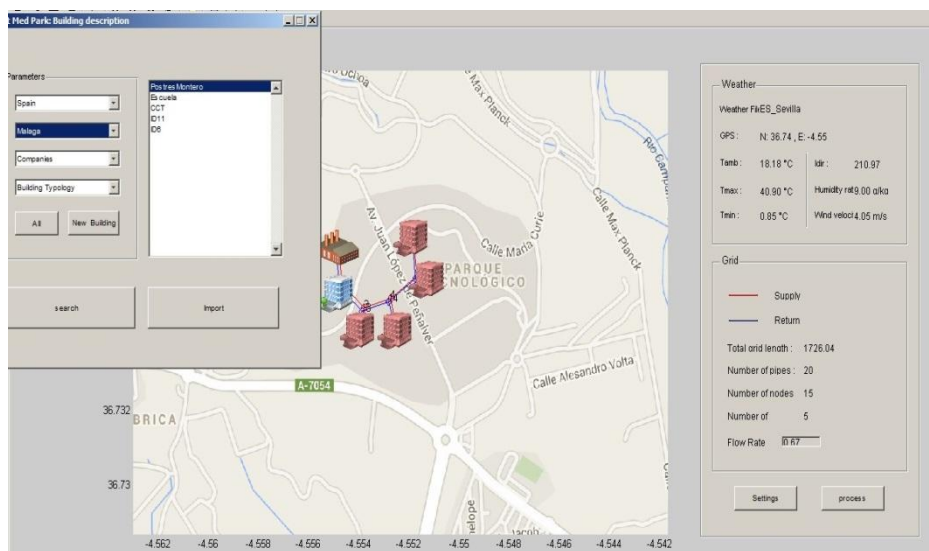


Figure 16 : Définition des bâtiments implémentés dans le réseau d'énergie

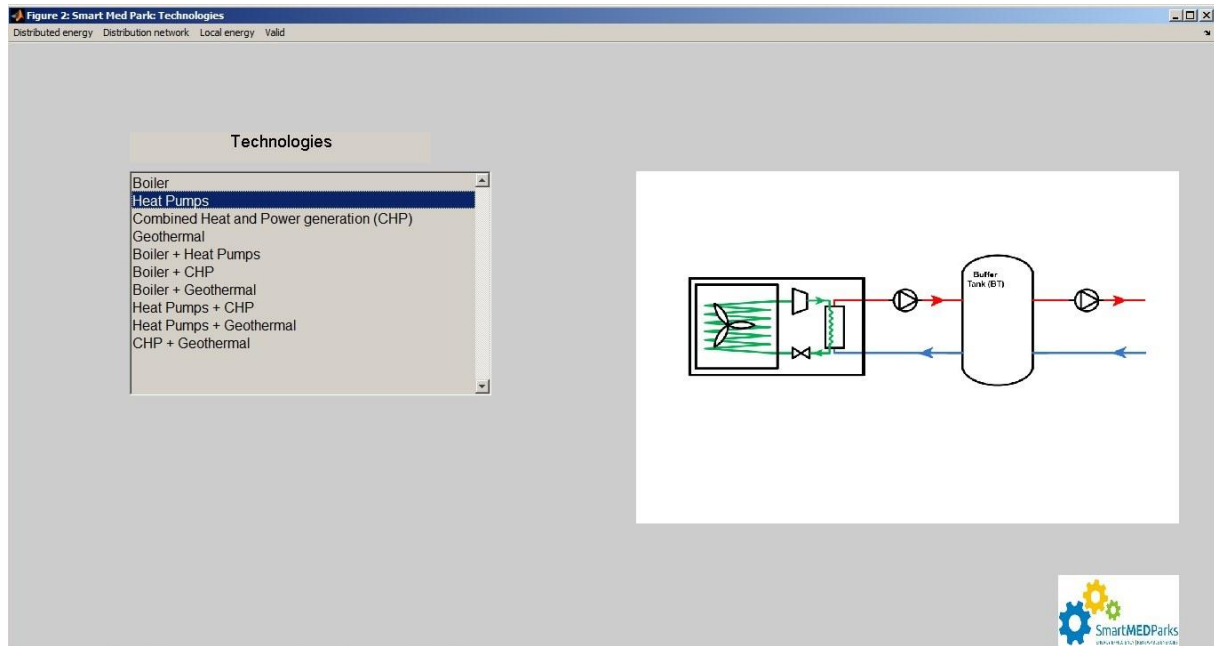
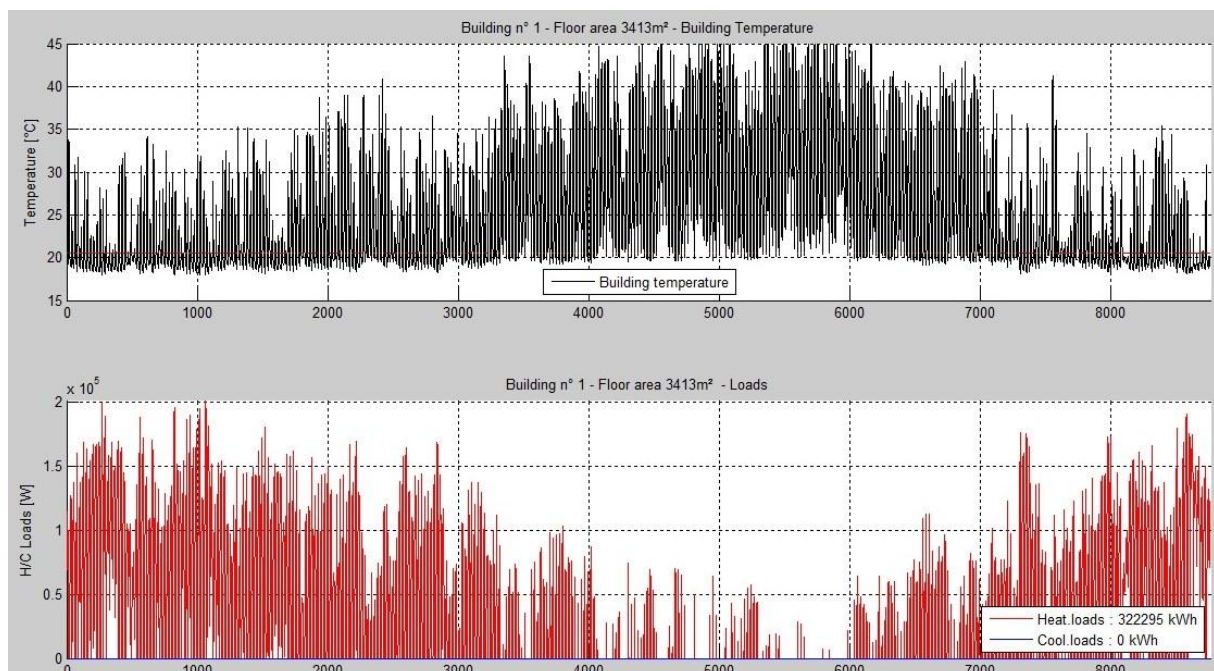


Figure 17 : Ensemble de technologies destinées à être couplées aux unités de consommation

6.2.3 Résultats présentés par le logiciel

Une fois les paramètres de simulation renseignés, la simulation est effectuée en prenant en compte toutes les informations et fournit toutes les consommations et demandes énergétiques sur un pas de temps prédéfini par l'utilisateur (horaire par défaut). La figure ci-dessous illustre les résultats pouvant être obtenus :



À la fin du projet, l'outil sera accessible sur le site Web du projet : <http://www.smartmedparks.eu/en>

Crédits illustrations :

- p.3 (fig. 1) : carte Smart Med Parks, source Projet Smart Med Parks
- p.4 (fig. 2) : source Parc Technologique Ljubljana
- p.7 : sources Parc Technologique d'Andalousie et Géoportail IGN
- p.10 (fig. 3) : graphique EnR, source commission européenne
- p.13 : photo source MEDDE/DICOM
- p.14 (fig. 4) : graphique source CREDOC
- p.15 (fig. 5) : graphique source CEREN
- p.15 (fig. 6) : graphique source EEA
- p.16 (fig. 7) : carte source ENTSOG
- p.20 : photo source MEDDE/DICOM
- p.22 : photo source MEDDE/DICOM
- p.27 (fig. 8) : schéma source Cerema
- p.29 : photo source MEDDE/DICOM
- p.32 (fig. 10) : schéma source ADEME/Cerema
- p.35 (fig. 11) : graphique source IEA
- p.52 (fig. 12) : image source CSTB
- p.53 (fig. 13) : carte source BRGM