



## ETUDE D'IMPACT SUR LE PERIMETRE DE L'OPERATION D'AMENAGEMENT DE LA ZAC DU GRAND ARENAS



## ETUDE DE FAISABILITE SUR LE POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT EN ENERGIES RENOUVELABLES

JUILLET 2021



EPA ECOVALLEE PLAINE DU VAR

ZAC DU GRAND ARENAS  
ÉTUDE DE POTENTIALITE EN ENR&R

MAITRE D'OUVRAGE EPA ECOVALLEE PLAINE DU VAR  
Immeuble Nice Plaza  
455, Promenade des Anglais  
BP 33257  
06205 NICE Cedex 3



PRESTATAIRE AXENNE  
73, cours Albert Thomas  
69 003 LYON  
Tél. : 04 37 44 15 80



Version	Date de rendu	Nature de la modification	Auteurs
1	Juillet 2021	Rendu initial	M.DUPOIS

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b>	<b>5</b>
<b>RESUME DES CONCLUSIONS DE L'ETUDE</b>	<b>6</b>
<b>PRESENTATION DU SITE</b>	<b>8</b>
1 LOCALISATION	8
2 ACCESSIBILITE	8
3 TOPOGRAPHIE	8
4 OCCUPATION DU SOL	8
5 CONTRAINTES NATURELLES ET TECHNOLOGIQUES	9
6 PROGRAMMATION	9
7 PHASAGE – PERFORMANCE DES BATIMENTS	10
8 BATIMENTS EXISTANTS A PROXIMITE	10
9 RECAPITULATIF DES POTENTIALITES DU TERRITOIRE	11
10 BILAN DES ENJEUX POUR LA MOBILISATION D'ENERGIES RENOUVELABLES SUR LE SITE	12
<b>OPPORTUNITÉ DE RÉSEAUX DE CHALEUR OU DE FROID</b>	<b>13</b>
1 BESOINS ENERGETIQUES	13
2 OPPORTUNITE DE RESEAU DE CHALEUR OU DE FROID	15
3 RESSOURCES DISPONIBLES POUR L'APPROVISIONNEMENT ENERGETIQUE D'UN RESEAU DE CHALEUR	16
3.1 RACCORDEMENT A UN RESEAU DE CHALEUR EXISTANT	16
3.2 CHALEUR FATALE	17
3.3 GEOTHERMIE	18
3.4 BIOMASSE COMBUSTIBLE	22
<b>CONSOMMATIONS D'ELECTRICITE</b>	<b>26</b>
1 BESOINS ENERGETIQUES DES BATIMENTS	26
1.1 ESTIMATION DES CONSOMMATIONS	26
1.2 COURBES DE CHARGE ET AUTOCONSOMMATION	26
2 SOLUTION D'APPROVISIONNEMENT EN ELECTRICITE RENOUVELABLE	27
2.1 ÉNERGIE SOLAIRE	27
2.2 ÉNERGIE EOLIENNE	33
2.3 BIOMASSE COMBUSTIBLE	37
3 LES SMART-GRIDS	39
3.1 BATIMENT INTELLIGENT	39
3.2 QUARTIER INTELLIGENT	40
3.3 LE STOCKAGE D'ELECTRICITE	40
<b>ANNEXES</b>	<b>41</b>
A. METHODOLOGIE POUR EVALUER LA PERTINENCE D'UN RESEAU DE CHALEUR	41

B. DEFINITION DES ENERGIES DITES UTILES, FINALES, PRIMAIRES	42
C. METHODOLOGIE POUR L'ESTIMATION DES BESOINS ENERGETIQUES	44
D. PRESENTATION DE LA REGLEMENTATION THERMIQUE 2012 ET DES LABELS EFFINERGIE	49

## INTRODUCTION

Cette étude de faisabilité sur le potentiel de développement des énergies renouvelables doit permettre d'analyser les atouts et contraintes de l'opération pour la valorisation du potentiel en énergies renouvelables (EnR) du territoire d'implantation de la zone d'aménagement. Il sera ainsi possible d'optimiser le recours aux énergies renouvelables afin de diminuer le recours aux énergies traditionnelles et fossiles et d'envisager au plus tôt dans le projet d'aménagement le raccordement ou la création de réseaux de chaleur et / ou de froid.

À l'issue de cette étude, l'EPA Ecovallée Plaine du Var disposera d'éléments d'aide à la décision pour optimiser le recours aux énergies renouvelables compte tenu des priorités et choix d'aménagement.

La mission proposée s'articule en 2 phases :

- ▶ Un diagnostic du territoire au regard des gisements en énergies renouvelables, des contraintes s'y appliquant, des acteurs en présence, des volontés locales, des caractéristiques du territoire qui constitue l'état initial.
- ▶ Une analyse du projet d'aménagement sur la base de la programmation envisagée : des besoins énergétiques et des solutions d'approvisionnement pertinentes pour le projet qui constitue le présent rapport.

## RESUME DES CONCLUSIONS DE L'ETUDE

L'étude de faisabilité sur le potentiel de développement des énergies renouvelables a été réalisée sur le périmètre du projet de ZAC Grand Arenas. Cette étude a pour but d'analyser les atouts et contraintes de l'opération pour la valorisation du potentiel en énergies renouvelables et de récupération (EnR&R) afin de favoriser leur mise en œuvre sur le projet et de minimiser le recours aux énergies fossiles génératrices de gaz à effet de serre. Cette étude doit également permettre d'envisager au plus tôt dans le projet l'opportunité de raccordement ou de création de réseaux de chaleur et / ou de froid.

Le projet représente 49 ha sur lesquels seront implantés 495 000 m<sup>2</sup> de SDP répartis entre différentes typologies (bureaux, logements, hôtel ; commerces, parc des expositions et équipements). Ces bâtiments présenteront des consommations d'énergies estimées à 65 700 MWh<sub>ef</sub>/an dont 16 500 MWh<sub>ef</sub>/an pour la chaleur (chauffage et eau chaude), 11 900 MWh<sub>ef</sub>/an pour le froid (climatisation) et 37 300 MWh<sub>ef</sub>/an d'électricité pour les autres usages.

Le référentiel Eco Vallée Qualité fixe ainsi plusieurs niveaux d'exigence pour le volet énergie et confort thermique. Sur l'opération Grand Arenas, le niveau Excellent est visé ce qui implique notamment en ce qui concerne la valorisation des énergies renouvelables :

- Pour les bâtiments neufs : couvrir 60 % des besoins d'énergie finale des bâtiments par des énergies renouvelables ou de récupération disponibles sur place ;
- Pour les bâtiments publics neufs : couvrir 35 % des besoins d'énergie finale (y compris achat d'électricité verte) des bâtiments par des énergies renouvelables ou de récupération disponibles sur place ;
- Mettre en place un réseau de chaleur ou de froid alimenté par des énergies renouvelables ou des énergies de récupération à hauteur minimum de 80% d'énergies renouvelables ou d'énergie de récupération ;
- Intégrer au moins une des énergies renouvelables suivantes dans le projet : Géothermie de surface, géothermie sur nappe, géothermie sur pieux, thalassothermie, récupération de chaleur sur eaux usées, solaire thermique, bois énergie, solaire photovoltaïque, hydroélectricité, cogénération ;
- Prévoir une production locale d'électricité via les sources d'énergie disponibles localement ;
- Pour les bâtiments industriels, valoriser l'énergie fatale produite en interne ou à l'externe.

En cohérence avec ces objectifs, le projet présenté par le groupement de maîtrise d'œuvre intègre une approche bioclimatique visant à réduire les apports solaires en été et les maximiser en hiver afin de limiter au maximum les besoins énergétiques. Il intègre également le recours aux énergies renouvelables dans sa conception en prévoyant le raccordement à un réseau de chaleur et de froid et l'implantation de modules photovoltaïques en toiture.

L'étude des différents réseaux de chaleur et de froid potentiels sur la ZAC nous porte à conclure sur la faisabilité de créer un réseau de chaleur et de froid alimentant l'ensemble des bâtiments du projet dans des conditions technico-économiques favorables.

L'analyse des gisements en énergies renouvelables et des contraintes liées à leur mobilisation sur le site a permis d'identifier les ressources suivantes comme potentiellement mobilisables pour couvrir les besoins des bâtiments de la ZAC :

- Le solaire pour la production d'eau chaude sanitaire via des capteurs en toiture et/ou pour la production d'électricité via des modules photovoltaïques en toiture ou en ombrières de parking en prenant en compte le risque d'éblouissement lié à l'aéroport ;
- La géothermie sur la nappe des Alluvions quaternaires du Lez, sous la forme d'une boucle d'eau tempérée ou de pompages à l'échelle d'un bâtiment ;
- La récupération de chaleur fatale sur la station d'épuration de Nice ;
- La récupération de chaleur sur l'eau de mer ;
- Le bois énergie par l'intermédiaire de chaudières collectives ou d'un réseau de chaleur ;

Les besoins de froids représentent une part importante des consommations du projet. Par conséquent il semble nécessaire de privilégier des solutions permettant de fournir à l'aide de ressources renouvelables à la fois de la chaleur et du froid. Pour cela, la solution la plus pertinente semble la création d'un réseau d'eau tempérée alimentant des pompes à chaleur situées en pied d'immeuble et permettant de fournir de manière différenciée les besoins de chaleur, de climatisation ou de rafraîchissement selon les typologies. Ce réseau pouvant être alimenté par une ou plusieurs des sources d'énergie thermique suivantes : des forages géothermiques sur les nappes ou des pieux géothermiques, un pompage d'eau de mer, une récupération de chaleur sur station d'épuration. Des études complémentaires sont en cours afin de valider la faisabilité technique et économique de ces solutions et de déterminer laquelle ou lesquelles alimenteront le projet.

Pour la production d'électricité, des modules photovoltaïques pourraient opportunément être implantés sur les toitures des bâtiments. L'électricité produite pourrait être en partie autoconsommée par les bâtiments de manière à couvrir et/ou compenser la consommation électrique liée aux pompes à chaleur et aux autres besoins électriques.

## PRESENTATION DU SITE

### 1 LOCALISATION

L'opération Grand Arénas est localisée à l'entrée Ouest de la ville de Nice, au contact de l'aéroport de Nice Côte d'Azur et du quartier d'affaires existant de l'Arénas, elle s'étend sur une superficie d'environ 49 ha.



Figure 1 : Vue aérienne du site de la ZAC Grand Arenas

### 2 ACCESSIBILITE

Le site est à l'intersection entre l'autoroute A8, la route de Grenoble, le boulevard René Cassin, le boulevard Georges Pompidou, et la Promenade des Anglais.

### 3 TOPOGRAPHIE

Le terrain est globalement plat sur la zone de construction avec une hauteur de 11 m. La topographie est amenée à être remaniée par d'importants travaux de terrassement dans le cadre du projet.

### 4 OCCUPATION DU SOL

L'aire d'étude est fortement minéralisée (à plus de 95%). Les bâtiments existants essentiellement industriels sont principalement localisés dans l'emprise du Marché d'Intérêt National qui sera déplacé dans le cadre du projet. On note également la présence de résidences d'habitation, d'un établissement de formation et de plusieurs locaux commerciaux. Une partie des terrains est occupée au sud par les parkings de l'aéroport de Nice Côte d'Azur.

## 5 CONTRAINTES TECHNOLOGIQUES NATURELLES ET

Le secteur de la ZAC est soumis au Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles d'Inondation de la basse vallée du Var (PPRi).

Le site est situé à proximité des captages d'eau potable de Sagnes. La partie ouest du projet recoupe les périmètres de protection rapprochés de ces captages (PPR1 pour une partie et PPR2 pour une partie).

Le site est soumis au plan de servitudes radioélectriques induit par le radar de l'aéroport, limitant la hauteur des bâtiments futurs pour éviter les effets de masque. Sur ce point, compte tenu de l'impact consécutif à ces servitudes sur les projets du Grand Arénas, des discussions ont été engagées sous l'égide de l'État avec la DGAC pour faire évoluer les servitudes radioélectriques. Une dérogation ponctuelle accompagnée de prescriptions pour les premiers îlots du PEM et de la ZAC a néanmoins été accordée par la DGAC.

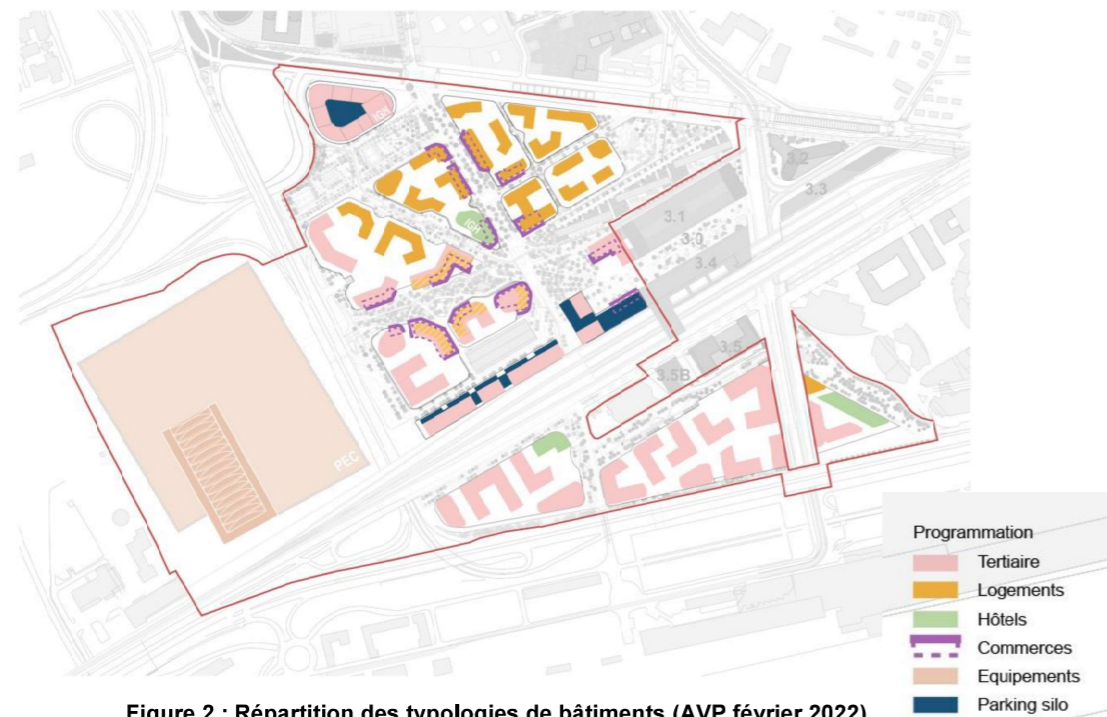
La zone est également soumise à prescriptions de la DGAC en termes d'installations solaires susceptibles de provoquer un éblouissement pour le transport aérien dans un rayon de 3km autour de l'aéroport.

## 6 PROGRAMMATION

L'objectif du projet est de faire de l'Arénas un vrai espace ville en créant un quartier mixte destiné à accueillir des programmes de bureaux, mais aussi des logements, des commerces et services rendus nécessaires par la fréquentation du site, autour d'un pôle multimodal réunissant tous les modes de transport en commun (tramway, bus, TER et à terme TGV).

Sur une superficie d'environ 49 ha, le programme des constructions doit permettre de développer à terme 520 000 m<sup>2</sup> de surface de plancher, incluant 130 000 m<sup>2</sup> pour les logements, 240 000 m<sup>2</sup> pour les bureaux, 30 000 m<sup>2</sup> pour l'hôtellerie, 10 000 m<sup>2</sup> pour les commerces et services, et 110 000 m<sup>2</sup> d'équipements (dont 53 000 m<sup>2</sup> pour le parc des expositions et des congrès).

La programmation prise en compte est issue de l'AVP de juillet 2021 (modifiée en février 2022) par le groupement Leclercq Associés, Base, Artelia.



## 7 PHASAGE – PERFORMANCE DES BATIMENTS

Les bâtiments devraient probablement respecter la réglementation environnementale 2020 (RE2020) : son application au dépôt de permis de construire sera obligatoire à partir de janvier 2022 pour les logements, courant 2022 pour les bureaux et l'enseignement et quelques mois plus tard pour les autres bâtiments.

En ce qui concerne la performance thermique du bâtiment, celui-ci doit respecter au minimum le niveau de la RT 2012. L'exigence sur le besoin énergétique du bâtiment (Bbio) sera réduite de 30% par rapport à celle-ci, de manière notamment à favoriser le confort d'été. Un nouvel indicateur de confort d'été sera également ajouté. Les exigences seront également renforcées en ce qui concerne le confort d'été avec l'introduction d'un nouvel indicateur.

Sur le volet production d'électricité renouvelable, seule la part d'électricité autoconsommée devrait être comptabilisée dans le bilan et soustraite de la consommation.

## 8 BATIMENTS EXISTANTS A PROXIMITE












Cette partie s'intéresse aux bâtiments existants aux alentours de la zone, ainsi qu'aux projets proches : en effet, ces bâtiments peuvent agir comme levier au développement de réseaux de chaleur, en améliorant la densité thermique et donc la rentabilité de réseaux potentiels.

Le projet s'inscrit dans une zone fortement urbanisée. Outre l'aéroport au sud, on trouve le quartier des Moulins au nord-est, la zone tertiaire Porte de l'Arénas à l'Est ainsi que plusieurs zones de logements collectifs au nord-est.

## 9 RECAPITULATIF DES POTENTIALITES DU TERRITOIRE

Au regard des ressources et des contraintes présentes sur le territoire, les conclusions suivantes peuvent être tirées quant aux énergies pertinentes pour l’approvisionnement de la ZAC.

Le détail de l’analyse des gisements disponible et des contraintes pour chaque filière sont disponibles dans l’état initial de l’étude d’impact.

	Énergie considérée	Gisement intéressant	Remarques	
CHALEUR	 SOLAIRE THERMIQUE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gisement intéressant</li> <li>Le risque d’éblouissement vis-à-vis de l’aéroport doit être étudié</li> </ul>	
	 BOIS ENERGIE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ressources et offre disponibles</li> <li>Risques d’inondations à prendre en compte</li> </ul>	
	 GEOTHERMIE TRES BASSE ENERGIE	Non	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potentiel faible a priori</li> <li>Test en réponse thermique nécessaire</li> <li>L’hydrothermie semble plus pertinente</li> </ul>	
	 HYDROTHERMIE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potentiel favorable sur les nappes</li> <li>Choix de la nappe selon les besoins</li> </ul>	
	 THALASSOTHERMIE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gisement disponible à proximité</li> <li>Nécessité de trouver un site d’implantation pour la station de pompage</li> </ul>	
	 AEROTHERMIE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sur air extérieur : uniquement en mi-saison avec appoint</li> <li>Sur air vicié : selon les besoins des bâtiments</li> </ul>	
	VALORISATION DE LA CHALEUR DES EAUX USEES	INDIVIDUEL	Oui	<ul style="list-style-type: none"> <li>Séparation des eaux vannes et des eaux grises avant le dispositif</li> </ul>
		SUR COLLECTEURS	Non	<ul style="list-style-type: none"> <li>Caractéristiques des collecteurs à créer insuffisantes</li> </ul>
		SUR STEP	Oui	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potentiel important sur la STEP de Nice</li> </ul>
	 CHALEUR FATALE	Non	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas d’opportunités</li> </ul>	
 RESEAU DE CHALEUR EXISTANT	Non	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas d’opportunités</li> </ul>		
ÉLECTRICITE	 SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gisement intéressant</li> <li>Le risque d’éblouissement vis-à-vis de l’aéroport doit être étudié</li> </ul>	
	 ÉOLIEN	ÉOLIEN URBAIN	Non	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valeur d’exemplarité uniquement</li> </ul>
		GRAND ÉOLIEN	Non	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proximité d’habitations</li> </ul>
BIOGAZ	 METHANISATION	Non	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas à privilégier en première approche</li> </ul>	

## 10 BILAN DES ENJEUX POUR LA MOBILISATION D’ÉNERGIES RENOUVELABLES SUR LE SITE

ATOUPS	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> <li>Programmation mixte permettant une mutualisation importante de l’approvisionnement énergétique à la fois pour le chaud, le froid et l’électricité (smart-grid, smart-district heating/cooling)</li> <li>Fort ensoleillement permettant une production des filières solaires importante</li> <li>Zone dans un environnement urbanisé et de projets d’aménagement permettant une mutualisation des solutions d’approvisionnement énergétique</li> <li>Nombreuses ressources localement valorisables dans un réseau de chaleur et de froid : géothermie, hydrothermie eaux usées, thalassothermie, solaire thermique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PPRi : le risque d’inondation doit être pris en compte dans la conception des ouvrages énergétique (silo de stockage bois énergie, forages géothermiques)</li> <li>Captage AEP : une partie de la zone est située dans le périmètre rapproché où les forages géothermiques sont interdits</li> <li>Servitudes aéroport : nécessités de prendre en compte les risques d’éblouissement pour la mise en œuvre d’installations solaires en toiture et les servitudes radar</li> <li>Pollution des sols : peut présenter une contrainte pour la réalisation de forages géothermiques</li> </ul>
OPPORTUNITES	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> <li>Création d’un réseau de chaleur et de froid multiénergie mutualisé avec d’autres bâtiments existants et/ou à construire aux alentours</li> <li>Mise en œuvre de surfaces photovoltaïques importantes permettant la création d’un smart-grid favorisant l’autoconsommation électrique à l’échelle de la ZAC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atteinte des objectifs élevés de part d’EnR dans le mix énergétique alimentant les bâtiments et/ou un réseau de chaleur et de froid</li> <li>Complexité technique et administrative pour le montage des projets de réseau de chaleur/froid multiénergie, d’autant plus s’ils impliquent d’autres acteurs raccordés</li> <li>Complexité et faible visibilité pour la valorisation de ressources innovantes telles que la thalassothermie ou la récupération de chaleur sur les eaux usées</li> </ul>

## OPPORTUNITÉ DE RÉSEAUX DE CHALEUR OU DE FROID

L'objectif de ce paragraphe est de calculer en première approche la densité énergétique du site afin de statuer sur la pertinence d'un réseau de chaleur. Dans l'affirmative, les solutions proposées intégreront cette potentialité. Dans la négative, les solutions proposées utiliseront uniquement des installations à l'échelle du bâtiment.

La création d'un réseau de chaleur raccordant tous ou une partie des bâtiments de la ZAC présente en effet plusieurs intérêts :

- Mutualisation de l'investissement : dans la mesure où la densité de consommation d'énergie est suffisante, la création d'un réseau permet de réduire les coûts liés aux équipements de production de chaleur en les mutualisant. Le calcul de la densité énergétique permet d'étudier la rentabilité de cette solution qui représente des coûts supplémentaires liés au réseau par rapport à un ensemble de solutions collectives.
- Mutualisation de l'exploitation (maintenance, approvisionnement, etc.).
- Création d'un service public de l'énergie : le réseau peut être porté par la collectivité qui assure ainsi un service de fourniture de chaleur à l'ensemble du quartier à un prix stable et équivalent pour tous les occupants.

D'autre part, le réseau créé sur la ZAC peut être étendu aux bâtiments existants aux alentours ou aux futurs bâtiments qui verront le jour aux abords de la ZAC. Ces bâtiments bénéficieront ainsi d'une énergie issue de sources renouvelables dont les coûts sont mutualisés. Cette extension permettra également d'accroître la densité énergétique du réseau de chaleur (en particulier pour les bâtiments existants dont les consommations sont plus importantes) et contribuera à améliorer le bilan économique du réseau créé.

*La méthodologie employée pour déterminer l'opportunité d'un réseau de chaleur est décrite en annexe A.*

### 1 BESOINS ENERGETIQUES

Les consommations finales d'énergie des bâtiments ont été calculées en supposant que le réseau de chaleur envisagé a un contenu CO<sub>2</sub> inférieur à 50 grammes par kilowattheure. Ce réseau de chaleur couvre les besoins de chauffage de tous les bâtiments, ainsi que les besoins en eau chaude sanitaire des logements (les besoins en eau chaude sanitaire des commerces et des bureaux sont trop faibles pour envisager une mutualisation ; ils sont couverts par des équipements indépendants électriques à semi-accumulation).

*La méthodologie employée pour l'estimation des besoins énergétiques est décrite en annexe C.*

Les consommations de chaleur et de froid de l'ensemble des bâtiments sont de 41 080 MWh par an :

- 12 930 MWh par an pour le chauffage et les auxiliaires,
- 3 570 MWh par an pour l'eau chaude sanitaire,
- Les consommations d'énergie pour la climatisation sont estimées à 11 910 MWh par an.

	Chauffage	ECS	Climatisation	Total chaleur/froid	Part en %
Appartement	2 780 MWh	1 680 MWh	0 MWh	4 460 MWh	11%
Commerces	320 MWh	80 MWh	240 MWh	640 MWh	2%
Bureaux	5 690 MWh	480 MWh	10 510 MWh	16 680 MWh	41%
Hôtel	1 050 MWh	570 MWh	670 MWh	5 060 MWh	12%
Équipements	3 090 MWh	760 MWh	490 MWh	14 240 MWh	35%
<b>Total</b>	<b>12 930 MWh</b>	<b>3 570 MWh</b>	<b>11 910 MWh</b>	<b>41 080 MWh</b>	<b>100%</b>
Part en %	31%	9%	29%	100%	

**Figure 3 : Récapitulatif des consommations finales pour un réseau de chaleur dont le contenu CO<sub>2</sub> du kWh est inférieur à 50 grammes par type de bâtiment**

Sur l'ensemble des bâtiments, le poste chauffage est le plus consommateur d'énergie. Le poste climatisation qui ne concerne pas les logements présente une consommation également très importante sur la ZAC.

Étant donnée la situation géographique, les bâtiments de bureaux bénéficient d'une consommation d'énergie primaire maximale (CEPmax) autorisée par la RT2012 plus importante dans le cas où ils recourent à la climatisation<sup>1</sup>. Les besoins de climatisation sont considérés nuls pour les bâtiments de logement, toutefois, ceux-ci pourront bénéficier d'un rafraîchissement de confort qui pourra être fourni dans le cadre d'un réseau de froid ou d'un réseau d'eau tempérée (boucle d'eau tempérée géothermique par exemple).

<sup>1</sup> Ces bâtiments sont de classe CE2, contrairement aux autres qui sont de classe CE1.

## 2 OPPORTUNITE DE RESEAU DE CHALEUR OU DE FROID



Figure 4 : Tracé du réseau de chaleur potentiel

Le réseau de chaleur / froid présenté couvre les besoins de chauffage et de climatisation de l'ensemble des bâtiments ainsi que les besoins en eau chaude sanitaire des logements et de l'hôtel.

La longueur du réseau envisagé présente une longueur d'environ 2 700 ml. Au vu des consommations en énergie retenues et des longueurs des tracés, le réseau potentiel présente une densité énergétique de 5,62 MWh<sub>ef</sub>/ml.an pour le chaud et 4,41 MWh<sub>ef</sub>/ml.an pour le froid.

Longueur du réseau (en mètre linéaire)	Consommation finale annuelle pour le chauffage et l'ECS (en MWh d'énergie finale)	Densité de chaleur du réseau (en MWh d'énergie finale par ml par an)	Consommation finale annuelle pour le rafraîchissement (en MWh d'énergie finale)	Densité de froid du réseau (en MWh d'énergie finale par ml par an)
2 700 ml	15 180 MWh <sub>ef</sub>	5,62 MWh <sub>ef</sub> /(ml.an)	11 910 MWh <sub>ef</sub>	4,41 MWh <sub>ef</sub> /(ml.an)

La densité énergétique thermique trouvée est largement suffisante pour envisager un réseau de chaleur elle est en effet supérieure au seuil imposé pour bénéficier du Fonds Chaleur (la densité énergétique minimum demandée par l'ADEME pour bénéficier du Fonds Chaleur est de 1,5 MWh<sub>ef</sub>/ml/an). Des études plus poussées, notamment économiques, seront nécessaires pour confirmer l'intérêt économique d'une telle opération ; pour cela, il faudra d'abord définir quelles énergies et quels systèmes peuvent alimenter ce réseau de chaleur.

Les besoins de froids représentent une part importante des consommations de la zone. Par conséquent il semble nécessaire de privilégier des solutions permettant de fournir à l'aide de ressources renouvelables à la fois de la chaleur et du froid. Pour cela, la solution la plus pertinente semble la création d'un réseau d'eau tempérée alimentant des pompes à chaleur situées en pied d'immeuble et permettant de fournir de manière différenciée les besoins de chaleur, de climatisation ou de rafraîchissement selon les typologies. Ce réseau pouvant être alimenté par plusieurs sources thermiques : des forages géothermiques sur les nappes ou des pieux géothermiques, un pompage d'eau de mer, une récupération de chaleur sur station d'épuration.

## 3 RESSOURCES DISPONIBLES POUR L'APPROVISIONNEMENT ENERGETIQUE D'UN RESEAU DE CHALEUR



L'article L300-1 du Code l'Urbanisme demande à ce que soit réalisée une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables des nouvelles zones aménagées qui font l'objet d'une étude d'impact ; il précise également que doit être réalisée une analyse de l'opportunité de raccorder les constructions de ces zones à un réseau de chaleur ou de froid existant et ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération.

### 3.1 RACCORDEMENT A UN RESEAU DE CHALEUR EXISTANT

#### 3.1.1 GISEMENT

Un réseau de chaleur et de froid est en cours de réalisation sur la ZAC Méridia au nord-est du site. 6 doublets géothermiques (pompage et réinjection) permettent de mobiliser un débit de 480 m<sup>3</sup>/h afin d'alimenter un réseau de chaleur et un réseau de froid pour une longueur de réseau de 1,6 km et 94 sous-stations alimentées. Ces réseaux seront couplés à des unités de stockage thermiques (glace et chaleur). Le réseau est ainsi capable de fournir jusqu'à 6,5 MW en chaud et 5,7 MW en froid et de l'ordre de 15 GWh/an de chaleur, 15,5 GWh/an de climatisation et 1,4 GWh/an pour le rafraîchissement des logements.

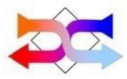
L'extension du réseau de chaleur de la ZAC Méridia devrait à terme être réalisée sur une partie au moins de la future ZAC Grand Méridia située au nord de l'actuelle ZAC Méridia. L'extension de ce réseau plus au sud et par conséquent à la ZAC Grand Arénas n'est pas envisagée.

#### 3.1.2 POTENTIEL

Le raccordement au réseau de chaleur existant ne semble à pas à privilégier en première approche.



### 3.2 CHALEUR FATALE



On entend par chaleur fatale une production de chaleur dérivée d'un site de production mais qui n'en constitue pas l'objet premier, et qui, de ce fait, n'est pas nécessairement récupérée. Les sources de chaleur fatale sont très diversifiées. Il peut s'agir de sites de production d'énergie (les centrales nucléaires), de sites de production industrielle, de bâtiments ayant d'importants besoins de refroidissement (datacenter, industries), de bâtiments tertiaires d'autant plus émetteurs de chaleur qu'ils en sont fortement consommateurs (hôpitaux, réseaux de transport en lieu fermé, sites d'élimination comme les unités d'incinération de déchets, etc.) ou encore des réseaux de transport des eaux usées.

En hiver, les eaux usées sont plus chaudes que l'air extérieur, constituant ainsi une source de chaleur. Au niveau des collecteurs d'eaux usées, le cas inverse se produit en été ; les bâtiments peuvent être rafraîchis grâce aux eaux usées. La récupération de chaleur (ou de froid) se fait de manière simple : un fluide caloporteur capte l'énergie des eaux usées par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur. L'énergie peut être récupérée à différents niveaux : au niveau du bâtiment, au niveau de la station d'épuration, ou au niveau des collecteurs d'eaux usées.

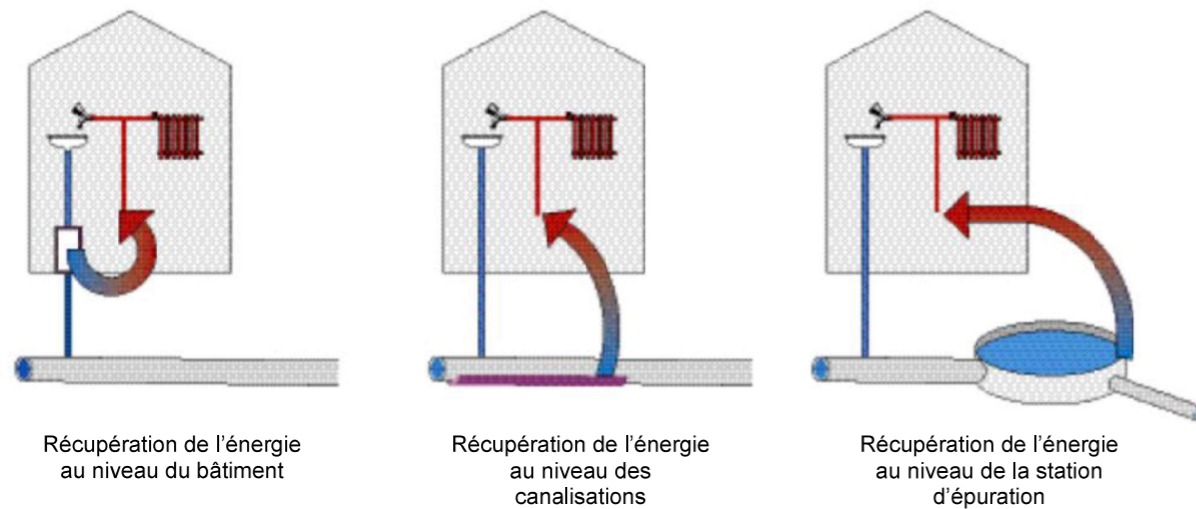


Figure 5 : Récupération de l'énergie des eaux usées (Source : Gestion et services publics, Suisse)

#### 3.2.1 POTENTIEL

Il semble en première analyse possible de récupérer de la chaleur sur le réseau d'eaux usées existant au niveau de la station d'épuration de Nice qui possède un potentiel très important. Une étude plus poussée est toutefois nécessaire pour les caractéristiques du réseau ainsi que l'impact sur le traitement des eaux par la station.

**Le détail de l'analyse des gisements disponible et des contraintes pour mobiliser cette filière sont disponibles dans l'état initial de l'étude d'impact.**

### 3.3 GEOTHERMIE



La géothermie est l'exploitation de la chaleur du sous-sol. Cette chaleur est produite pour l'essentiel par la radioactivité naturelle des roches constitutives de la croûte terrestre. Elle provient également, pour une faible part, des échanges thermiques avec les zones internes de la Terre dont les températures s'étagent de 1 000°C à 4 300°C. Enfin, en ce qui concerne la géothermie dite de surface, la chaleur de la couche superficielle du sous-sol est en partie influencée par le climat.

L'accroissement de la température en fonction de la profondeur est appelé « gradient géothermal ». Il est en moyenne, sur la planète, de 3,3°C par 100 mètres. Les gisements géothermiques sont qualifiés en fonction de leur température notamment, de haute à très basse énergie (cf. figure ci-après).

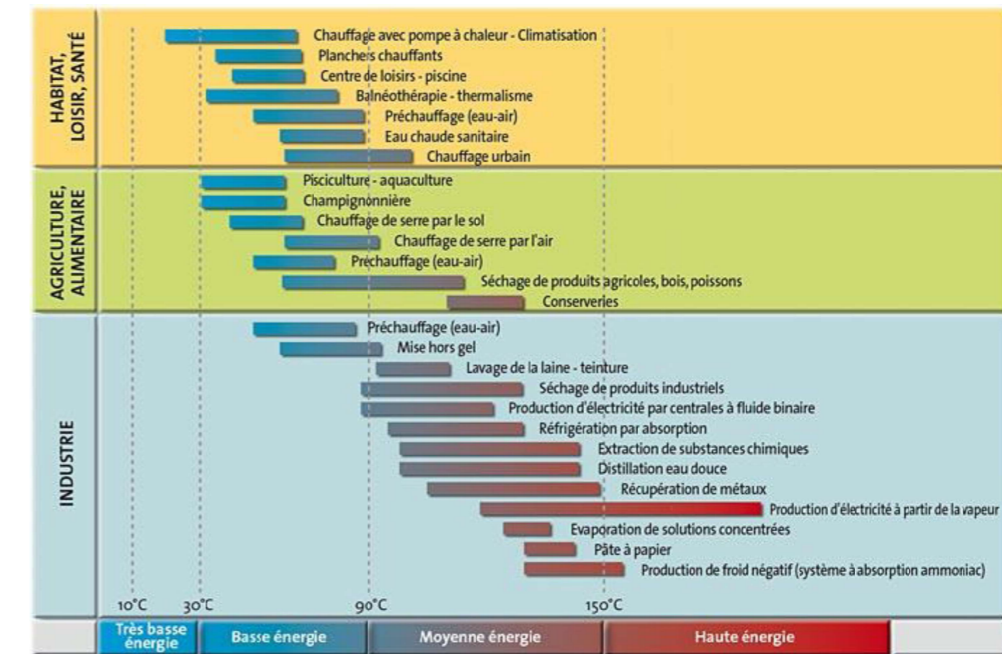


Figure 6 : Principales utilisations de la géothermie en fonction des températures (Source : Géothermie Perspectives)

On distingue cinq catégories de géothermie, suivant le niveau de température des fluides exploités :

- La **géothermie très basse énergie** (température inférieure à 30°C – profondeur inférieure à 100 m) : par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur (PAC), l'énergie du sous-sol est utilisée pour le chauffage et/ou le rafraîchissement de locaux.
- La **géothermie basse énergie** (température comprise entre 30 et 90°C) est destinée au chauffage urbain, à certaines utilisations industrielles, au thermalisme ou encore à la balnéothérapie. L'essentiel des réservoirs exploités se trouve dans les bassins sédimentaires (profondeur comprise entre 1 500 et 2 500 mètres).
- La **géothermie moyenne énergie** (température comprise entre 90 et 150°C)
- La **géothermie haute énergie** (température supérieure à 150°C)
- La **géothermie profonde des roches chaudes fracturées** (hot dry rock)

Seule la géothermie très basse énergie est étudiée ci-après pour l'approvisionnement énergétique de la zone. En effet, les besoins énergétiques et le contexte de la zone à construire ne permettent pas d'envisager le recours aux autres types de géothermies<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Les forages doivent être réalisés à des profondeurs telles qu'ils nécessitent un investissement très important qui sera difficilement rentabilisé si les besoins de chaleur ne sont pas très importants et très concentrés : on estime qu'il faut desservir au minimum 3 000 équivalents-logements dans un rayon de 3 à 4 km pour la géothermie basse énergie (source : ADEME IDF). Remarque : Un équivalent logement correspond à la consommation d'un logement de 70 m<sup>2</sup> construit selon les normes en vigueur au milieu des années 90, soit environ 11 MWh/an de chaleur utile en chauffage et en eau chaude.

### 3.3.1 POTENTIEL

La géothermie très basse énergie sur la nappe des alluvions du Var est envisageable sur la ZAC.

La thalassothermie (récupération de chaleur sur l'eau de mer) semble également présenter un potentiel intéressant sur le site. Toutefois, la valorisation de cette ressource implique de disposer d'un site de pompage disponible.

**Le détail de l'analyse des gisements disponible et des contraintes pour mobiliser cette filière sont disponibles dans l'état initial de l'étude d'impact.**

### 3.3.2 SOLUTIONS MOBILISABLES

#### LA BOUCLE D'EAU GÉOTHERMIQUE SUR NAPPE

##### FONCTIONNEMENT



L'eau de la nappe circule dans un réseau de distribution desservant plusieurs bâtiments : on parle de boucle d'eau. L'eau prélevée dans la nappe via un puits de captage y est ensuite réinjectée via un puits de rejet.

*Remarque :* L'eau circulant dans le réseau étant à la température de l'eau de la nappe, non encore réchauffée, il ne s'agit pas à proprement parler d'un réseau de chaleur.

Chaque bâtiment est équipé d'une pompe à chaleur qui relève la température de l'eau de la nappe afin de couvrir les besoins en chauffage. Si la pompe à chaleur est réversible, elle peut fonctionner en été pour rafraîchir le bâtiment (elle abaisse alors la température de la nappe). On peut également faire circuler l'eau à température de la nappe dans les émetteurs des bâtiments pour rafraîchir en été sans utiliser la pompe à chaleur (free-cooling). Enfin, si une pompe à chaleur haute température est installée, il est possible de réaliser de la production d'eau chaude sanitaire également (pour les bâtiments ayant des besoins suffisants).

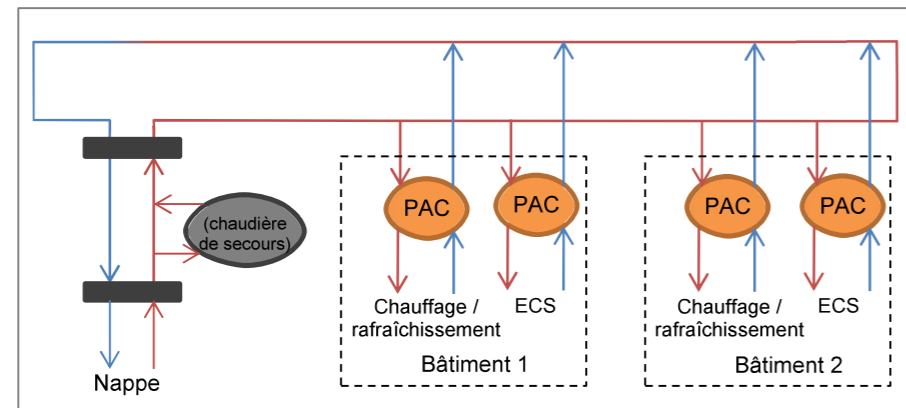


Schéma de principe d'une boucle d'eau

*Remarque :* Il est possible de placer une pompe à chaleur centrale en sortie de nappe et de distribuer l'eau chaude comme dans un réseau de chaleur classique – solution moins onéreuse – mais on perd alors l'avantage de la multiplicité des usages : dans le cas de la boucle d'eau, un bâtiment peut se chauffer pendant qu'un autre se chauffe et produit son eau chaude sanitaire et que simultanément un troisième se rafraîchit. D'autre part, les pertes de chaleur sur le réseau de chaleur sont plus importantes que pour une boucle d'eau puisque la température de l'eau qui y circule est plus élevée.

##### AVANTAGES

- Multiplicité des usages : possibilité pour les différents bâtiments raccordés de se chauffer, de se refroidir et de produire leur eau chaude sanitaire. Un bâtiment peut simultanément produire son eau chaude sanitaire et se chauffer ou se refroidir. Un bâtiment peut se chauffer pendant que le bâtiment d'à côté se refroidit.
- Le free-cooling sans utiliser la pompe à chaleur peut fournir une solution de rafraîchissement quasiment gratuite (seules les pompes de circulation fonctionnent), notamment pour les logements.
- La température de la nappe ne dépend que peu des conditions atmosphériques, donc son potentiel fluctue peu : c'est une énergie fiable et constante qui permet aux pompes à chaleur d'avoir un très bon rendement énergétique (de 3 à 5 kWh d'énergie thermique produite pour 1 kWh d'énergie électrique consommée).
- Les pertes de chaleur sur la boucle d'eau moins importantes qu'avec un réseau de chaleur ce qui implique une moindre isolation des conduites et un coût du réseau inférieur au ml.

##### CONDITIONS A RESPECTER

- Vérifier les capacités de la nappe au regard des besoins en énergie (production de chaleur et production de froid) et des besoins pour les autres usages (eau potable, irrigation, etc.) par une étude hydrogéologique. L'étude hydrogéologique doit examiner les points suivants : caractéristiques hydrogéologiques de la nappe, potentiel thermique, présence d'autres forages à proximité et éventuelles interactions entre eux, etc.
- Surveiller la température de l'eau de la nappe pour vérifier l'impact de l'installation. En effet, l'eau rejetée dans la nappe après utilisation dans la boucle d'eau sera plus froide en hiver et plus chaude en été. La modification de la température d'une nappe peut avoir d'importantes conséquences sur son équilibre biochimique. Le fait d'effectuer du chauffage l'hiver et de la climatisation l'été est intéressant car il permet un équilibre annuel ; cependant, des impacts saisonniers peuvent être observés.
- Se conformer à la réglementation et aux prescriptions des organismes en charge (police de l'eau, DDT, etc.). Transmettre les caractéristiques de l'ouvrage au BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) qui effectue un suivi des installations existantes.
- Installer des pompes à chaleur capables de démarrer à vide ou équipées d'un démarrage progressif pour limiter l'appel de puissance.
- Choisir une pompe à chaleur dont le coefficient de performance (COP) est élevé : pour cela, se rapprocher de l'ADEME qui donne le COP minimal pour bénéficier des aides disponibles.
- Faire installer les pompes à chaleur pour des installateurs agréés QualiPAC ; faire réaliser les forages par une entreprise agréée Qualiforage. Ces agréments sont délivrés par l'association Qualit'EnR qui promeut la qualité des prestations des professionnels des énergies renouvelables.
- Vérifier l'accessibilité du site aux engins de forage.
- Privilégier des émetteurs de chaleur fonctionnant à basse température (planchant chauffant / rafraîchissant, radiateurs basse température, etc.) afin d'améliorer les performances des pompes à chaleur.

##### GISEMENT

La géothermie très basse énergie sur les nappes de la nappe des alluvions du Var est envisageable sur la ZAC. Des études complémentaires quant aux caractéristiques de ces nappes devront être menées pour confirmer et affiner leurs caractéristiques locales.

Il est également possible d'extraire de la chaleur directement sur l'eau de mer via un pompage côtier en remplacement de la nappe ou en complément de celle-ci. Ce type d'installation peut présenter un avantage par rapport à un pompage sur nappe en facilitant les conditions de pompage et de réinjection et en évitant le recours à des forages. Toutefois, l'eau salée impose des contraintes techniques supplémentaires sur les échangeurs et il est nécessaire de disposer d'un site de pompage sur la côte.

**Le détail de l'analyse des gisements disponible pour cette filière est disponible dans l'état initial de l'étude d'impact.**

CONTRAINTES
Le détail de l'analyse des contraintes pour cette filière est disponible dans l'état initial de l'étude d'impact.
BATIMENTS CIBLES
Ce type d'installation est particulièrement intéressant dans le cas de raccordement de bâtiments ayant des besoins de chaud et de froid. Ce qui permet de limiter l'impact thermique sur la nappe.
ÉLÉMENTS ECONOMIQUES
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ L'investissement pour une pompe à chaleur s'élève à 700 €/kW environ.</li> <li>▪ Un forage sur nappe coûte environ 100 000 € par doublet. Cette valeur est très variable en fonction des caractéristiques du site.</li> <li>▪ Le réseau de chaleur tempéré représente un coût variant entre 250 et 400 €/ml selon la taille des réseaux.</li> </ul>

### 3.4 BIOMASSE COMBUSTIBLE



Le terme « bois-énergie » désigne l'énergie produite à partir de la dégradation du bois. Cette énergie est au départ celle du soleil, transformée par les arbres lors de la photosynthèse. Elle est libérée sous forme de chaleur lors de la combustion du bois et est utilisée directement pour produire de la chaleur.

Le bois énergie est un mode de chauffage ancestral qui a récemment connu d'importantes évolutions technologiques : automatisation de l'alimentation, du décendrage et de la régulation pour les chaudières et certains poêles, amélioration des performances techniques et du rendement. Les produits développés apportent un grand confort sur le plan thermique et sont de plus en plus souples d'utilisation. Les niveaux de pollution (émissions de particules essentiellement) ont été réduits de manière importante par rapport aux anciens modèles.

Le bois-énergie est une énergie renouvelable qui ne court pas de risque de pénurie, à court ou à long terme, à condition de recourir à une gestion raisonnée de la forêt.

#### 3.4.1 POTENTIEL

Au vu des ressources et de l'offre locale, il serait tout à fait possible de couvrir les besoins de chaleur de la ZAC par des chaudières en pied d'immeuble ou un réseau de chaleur au bois énergie. Il sera nécessaire de prendre en compte le risque inondation pour la conception des équipements.

Toutefois, cette solution permet seulement la fourniture de chaleur. Afin de couvrir également les besoins de froid, il est nécessaire de coupler la chaufferie à une installation de production de froid par absorption d'eau chaude. Cette solution reste à l'heure actuelle peu développée et ne semble intéressante sur le plan économique que pour de très grosses unités (exemple de la centrale de Montpellier Port Marianne d'une puissance de 8,5 MW).

**Le détail de l'analyse des gisements disponible et des contraintes pour mobiliser cette filière sont disponibles dans l'état initial de l'étude d'impact.**

## 3.4.2 SOLUTION MOBILISABLE

## LE RÉSEAU DE CHALEUR AU BOIS

## FONCTIONNEMENT



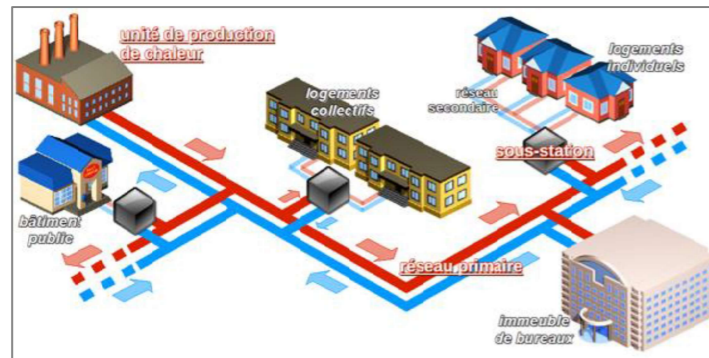
Les **combustibles** utilisés sont les sous-produits forestiers (branchages, petits bois, etc.) et industriels (écorces, sciures, copeaux, etc.) qui sont valorisés sous différentes formes. Pour un réseau de chaleur, étant donnée la puissance de la chaudière bois, on utilise des plaquettes. Les **plaquettes** (ou bois déchiqueté) sont obtenues par déchiquetage d'arbres, de branches, de sous-produits de l'industrie du bois, etc.

*Remarque :* Le pouvoir calorifique des combustibles bois dépend en grande partie de leur humidité. C'est pourquoi il est nécessaire de sécher le bois avant de le transformer et de le brûler.

Les combustibles bois sont amenés dans un **silos de stockage** attenant à la chaufferie et d'où ils sont envoyés automatiquement à la chaudière bois en fonction des besoins.

Le réseau de chaleur permet de distribuer la chaleur produite par une même chaudière à plusieurs bâtiments. Ces réseaux peuvent être de tailles différentes : de plusieurs milliers de logements desservis et plusieurs dizaines de kilomètres de réseaux à trois ou quatre bâtiments desservis pour quelques dizaines de mètres de réseau.

Le réseau de distribution, ou réseau de chaleur, est un circuit fermé constitué par des tuyaux enterrés isolés, transportant un fluide caloporteur (eau le plus souvent). Il part de la chaudière et dessert les bâtiments raccordés, transmet la chaleur puis revient à la chaudière en retournant le fluide refroidi. La sous-station permet l'échange de chaleur entre le circuit primaire (réseau principal) et le circuit secondaire (installation de chauffage interne au bâtiment) via un échangeur de chaleur. Une sous-station est à prévoir pour chaque bâtiment raccordé. Lorsque le réseau de chaleur dessert d'autres bâtiments que ceux appartenant au maître d'ouvrage, il faut distinguer la partie primaire du réseau (chaufferie, réseau et sous-station) de la partie secondaire (chauffage des bâtiments après les sous-stations, à l'intérieur des bâtiments). Le maître d'ouvrage est responsable a minima de la partie primaire.



## AVANTAGES DU BOIS ENERGIE

Le bois énergie bénéficie d'atouts indéniables, qui appuient son développement et une meilleure utilisation de cette ressource :

- Des ressources locales importantes et une filière d'approvisionnement bien structurée : l'énergie utilisée est renouvelable, aucune pénurie n'est à craindre tant que l'exploitation forestière est réalisée de manière durable. C'est pourquoi les prix sont moins sujets à des fluctuations.
- Un bilan neutre vis-à-vis des gaz à effet de serre : conventionnellement, l'utilisation de la biomasse est considérée comme neutre du point de vue des émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) puisque sa combustion émet autant de CO<sub>2</sub> qu'elle n'en a absorbé au cours de sa croissance. À ce titre, le développement de son utilisation, en substitution aux énergies traditionnelles, constitue l'un des leviers privilégiés de la lutte contre le changement climatique.
- Le contexte haussier du prix des énergies traditionnelles : alors que les énergies fossiles ont longtemps été les énergies les moins chères, la récente envolée des prix du pétrole rend compétitive, dans une perspective de long terme, la valorisation des ressources locales comme la biomasse.
- Les progrès techniques et la diffusion massive des matériels a permis une baisse des coûts d'investissement, la maturité technique des offres bois-énergie n'est aujourd'hui plus à démontrer.



Par ailleurs, la gestion d'un combustible solide comme le bois étant plus compliquée que celle d'un combustible gazeux ou liquide, sa mutualisation en réseau de chaleur est un avantage. De plus, cela permet à un plus grand nombre de consommateurs de bénéficier d'une chaleur propre, renouvelable et produite à partir de ressources locales, à un coût économique intéressant et moins volatile que les énergies fossiles.

## CONDITIONS A RESPECTER

- S'assurer que le réseau de chaleur est pertinent sur le plan énergétique et économique : rechercher des bâtiments consommateurs et rapprochés de manière à avoir une densité énergétique<sup>3</sup> importante. Une forte densité énergétique garantit une meilleure rentabilité puisque l'investissement consenti pour le réseau est plus facilement amorti (plus d'énergie livrée).
- Veiller à la qualité du combustible utilisé dans la chaudière : plus la puissance de cette dernière est faible, plus les caractéristiques du combustible ont un impact important sur son fonctionnement (mauvaise combustion, rejet de polluants atmosphériques, détérioration des équipements, etc.). Il faut établir un contrat de fourniture précisant les caractéristiques requises ainsi que les pénalités en cas de non-respect du cahier des charges.
- Faire dimensionner par des professionnels expérimentés les différents éléments constitutifs de l'installation afin d'éviter de mauvaises conceptions : accessibilité du silo par les véhicules de livraison, surdimensionnement de la chaudière bois, etc.
- Bien entretenir et régler les équipements.
- Vérifier que les chaudières respectent les normes de rejets auxquelles elles sont soumises et qui garantissent des rejets atmosphériques acceptables. Plus la chaudière est de taille importante, plus la réglementation lui impose des seuils de rejets faibles.

## CONTRAINTES

La mise en place d'un réseau de chaleur présente quelques contraintes :

- La chaufferie centrale et le silo de stockage doivent être intégrés au site.
- Un accès pour le passage des camions et l'approvisionnement en combustible doit être prévu (prévoir une aire de retournement pour les véhicules de livraison suivant la configuration du site).
- La conception, la réalisation, la gestion et l'exploitation sont plus complexes que dans le cas de solutions individuelles.

Penser le montage juridique dès le début du projet car il appelle une gestion plus complexe et une organisation spécifique. Il faut qu'un acteur se montre intéressé pour porter un tel projet ; le maître d'ouvrage doit ensuite contractualiser avec différents acteurs pour la mise en place des installations puis leur exploitation. Plusieurs montages juridiques sont possibles.

**Le détail de l'analyse des contraintes pour cette filière est disponible dans l'état initial de l'étude d'impact.**

## DIMENSIONNEMENT

Une attention toute particulière sera portée au dimensionnement de la chaudière. En particulier, on veillera à **ne pas la surdimensionner**, pour des raisons techniques et économiques :

- Ses performances se dégradent lorsqu'elle fonctionne à bas régime, ce qui engendre des difficultés d'exploitation à la mi-saison pour une chaudière surdimensionnée ;
- L'investissement de la chaudière bois est la part la plus importante dans le coût de revient de la chaleur produite. Une chaudière surdimensionnée engendre un investissement important, et diminue la rentabilité économique du projet.

Pour les mêmes raisons, une chaudière d'appoint est nécessaire ; il peut s'agir d'un simple appoint pour les périodes de grand froid et/ou d'une production de l'eau chaude sanitaire en été. Il est également possible de dimensionner la chaudière d'appoint de façon à ce qu'elle soit en capacité de couvrir l'intégralité des besoins le jour le plus froid (en cas de panne de la chaudière bois par exemple) ; on parle alors

<sup>3</sup> Rapport entre la quantité d'énergie livrée par le réseau et sa longueur

d'appoint/secours.

La taille du silo de stockage est calculée en fonction de l'autonomie souhaitée (quelques jours pour les réseaux de chaleur importants) de la chaudière ou suivant la taille des véhicules de livraison.

Le tracé du réseau de chaleur doit être optimisé de manière à être le plus court possible et de réduire les investissements. Chaque tronçon doit être accessible de manière à pouvoir effectuer des opérations de maintenance éventuellement nécessaires.

#### ÉLÉMENTS ECONOMIQUES

L'investissement pour l'ensemble du projet varie de manière très importante en fonction du type de projet, des aménagements de génie civil à effectuer, de la reprise d'éléments existants, etc. Des ordres de grandeur sont donnés ci-dessous en fonction de la puissance de la chaudière bois :

- 300 – 1 200 kW : 1 300 à 1 900 € HT/kW,
- > 1 200 kW : 900 à 1 500 € HT/kW.

L'exploitation comprend la gestion du bon état de marche de l'installation et des sous-stations, et la gestion des livraisons de combustibles.

## CONSOMMATIONS D'ELECTRICITE

### 1 BESOINS ENERGETIQUES DES BATIMENTS

#### 1.1 ESTIMATION DES CONSOMMATIONS

La consommation électrique des bâtiments est envisagée à 38 630 MWh<sub>elec</sub>/an. Cette consommation correspond aux besoins pour la cuisson, l'éclairage et les usages mobiliers, ainsi que les parties communes (ascenseurs, parkings et éclairage), à laquelle s'ajoute une part de la consommation de chaleur si celle-ci est produite par des solutions électriques (pompe à chaleur en particulier) et les auxiliaires (ici on considère un réseau de chaleur pour le chauffage et l'ECS des logements et de l'hôtel, on intègre donc la consommation d'électricité pour l'ECS des autres bâtiments).

La méthodologie employée pour l'estimation des besoins énergétiques est décrite en annexe C.

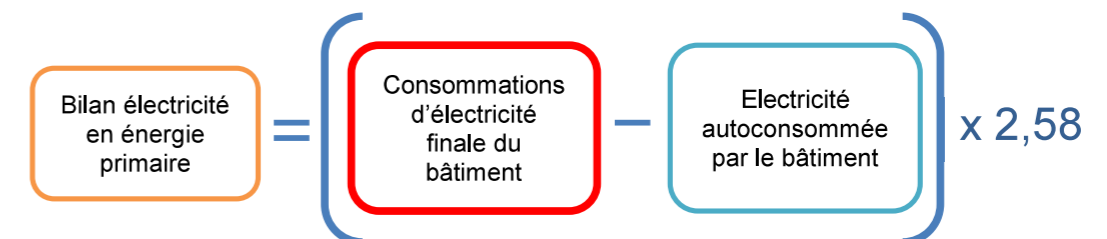
	Chaleur / froid	Cuisson	Elec spécifique	Eclairage	Parties communes	Total élec
Appartement	0 MWh <sub>elec</sub>	1 460 MWh <sub>elec</sub>	2 380 MWh <sub>elec</sub>	430 MWh <sub>elec</sub>	440 MWh <sub>elec</sub>	4 710 MWh <sub>elec</sub>
Commerces	80 MWh <sub>elec</sub>	30 MWh <sub>elec</sub>	380 MWh <sub>elec</sub>	380 MWh <sub>elec</sub>	10 MWh <sub>elec</sub>	880 MWh <sub>elec</sub>
Bureaux	480 MWh <sub>elec</sub>	540 MWh <sub>elec</sub>	14 820 MWh <sub>elec</sub>	2 730 MWh <sub>elec</sub>	750 MWh <sub>elec</sub>	19 320 MWh <sub>elec</sub>
Hotel	0 MWh <sub>elec</sub>	1 990 MWh <sub>elec</sub>	380 MWh <sub>elec</sub>	380 MWh <sub>elec</sub>	90 MWh <sub>elec</sub>	2 840 MWh <sub>elec</sub>
Equipements	760 MWh <sub>elec</sub>	540 MWh <sub>elec</sub>	7 660 MWh <sub>elec</sub>	1 700 MWh <sub>elec</sub>	220 MWh <sub>elec</sub>	10 880 MWh <sub>elec</sub>
<b>Total</b>	<b>1 320 MWh<sub>elec</sub></b>	<b>4 560 MWh<sub>elec</sub></b>	<b>25 620 MWh<sub>elec</sub></b>	<b>5 620 MWh<sub>elec</sub></b>	<b>1 510 MWh<sub>elec</sub></b>	<b>38 630 MWh<sub>elec</sub></b>
Part en %	3%	12%	66%	15%	4%	100%

Figure 7 : Récapitulatif des consommations finales d'électricité par type de bâtiment

#### 1.2 COURBES DE CHARGE ET AUTOCONSOMMATION

La réglementation thermique considère que l'électricité produite par le bâtiment et autoconsommée par celui-ci est déduite du bilan d'énergie primaire. Cela a pour conséquence de beaucoup limiter les consommations réglementaires du bâtiment, en effet, l'électricité est affectée d'un facteur 2,58 en énergie primaire et augmente par conséquent beaucoup le bilan. Ainsi, la réglementation encourage l'autoconsommation d'électricité par le bâtiment lui-même.

A l'inverse l'électricité injectée sur le réseau ou autoconsommée par ailleurs sur le site n'est pas déduite du bilan en énergie primaire.



La part d'électricité produite par le bâtiment qui est autoconsommée dépend de la courbe de charge des différents usages et de la production. La part d'électricité qui peut être autoconsommée dépend de chaque usage et de chaque typologie.

## 2 SOLUTION D'APPROVISIONNEMENT EN ELECTRICITE RENOUVELABLE

### 2.1 ÉNERGIE SOLAIRE



Les modules photovoltaïques produisent de l'électricité à partir de l'ensoleillement (les photons de la lumière du soleil) ; il ne faut donc pas les confondre avec les panneaux solaires thermiques qui produisent de la chaleur qui est transmise par un fluide caloporteur.

Des panneaux solaires photovoltaïques peuvent être mis en place sur tous les bâtiments, le projet nécessitera la réalisation préalable d'une étude d'éblouissement et avis de la DSAC.

La filière solaire photovoltaïque présente un gisement intéressant, et pourrait être sollicitée pour contribuer à l'approvisionnement en électricité du site.

Le détail de l'analyse des gisements disponible et des contraintes pour mobiliser cette filière sont disponibles dans l'état initial de l'étude d'impact.

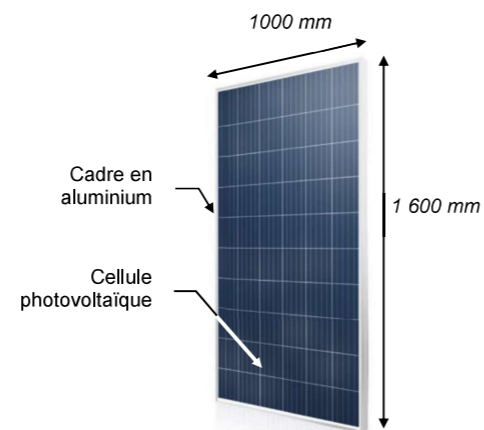
### LES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

#### FONCTIONNEMENT

Une **cellule photovoltaïque** est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse du soleil et la transforme en électricité.

Lorsqu'une cellule est exposée au rayonnement solaire, les photons de la lumière viennent frapper sa face avant. L'énergie des photons est partiellement transmise aux électrons qui se déplacent du pôle positif – face avant de la cellule – au pôle négatif – face arrière. C'est ce déplacement des électrons qui crée un courant électrique.

Chaque cellule photovoltaïque ne génère qu'une petite quantité d'électricité. Elles sont donc assemblées en série pour constituer un **module photovoltaïque**, qui se compose généralement d'un circuit de 60 cellules (ou 120 demi-cellules). Le matériau utilisé étant très fragile, les cellules sont protégées par des plaques de verre ou, à l'arrière, par un matériau composite. Un cadre en aluminium permet la fixation de ce module sur différents types de supports. Des modèles sans cadre permettent différentes variantes pour l'intégration architecturale.



Module photovoltaïque de 300 Wc (1,6m<sup>2</sup>)

Un **générateur photovoltaïque** est composé d'un champ de modules, de structures rigides (fixes ou mobiles) pour poser les modules, du câblage, et des onduleurs qui permettent de convertir le courant continu en courant alternatif revendu au distributeur d'électricité local.

Les matériaux employés (verre, aluminium) résistent aux pires conditions climatiques (notamment à la grêle). Les modules photovoltaïques sont généralement garantis 25 ans et leur durée de vie est d'environ 30 ans.

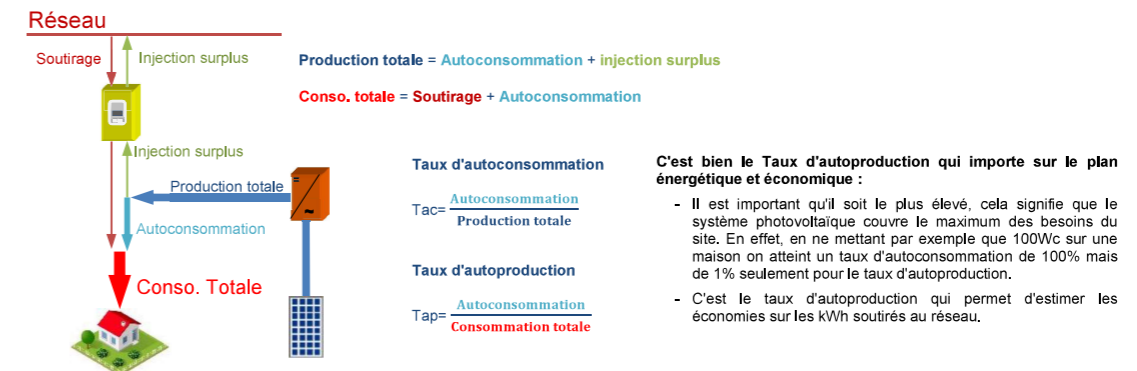
#### MODE DE VALORISATION DE L'ENERGIE PRODUITE

Historiquement, avec des tarifs d'achats très avantageux, il était économiquement plus viable de vendre en totalité l'électricité produite à EDF ou aux Entreprises Locales de Distribution (Régie d'électricité). Ainsi depuis 2006, la plupart des projets ont été conçus sur ce principe.

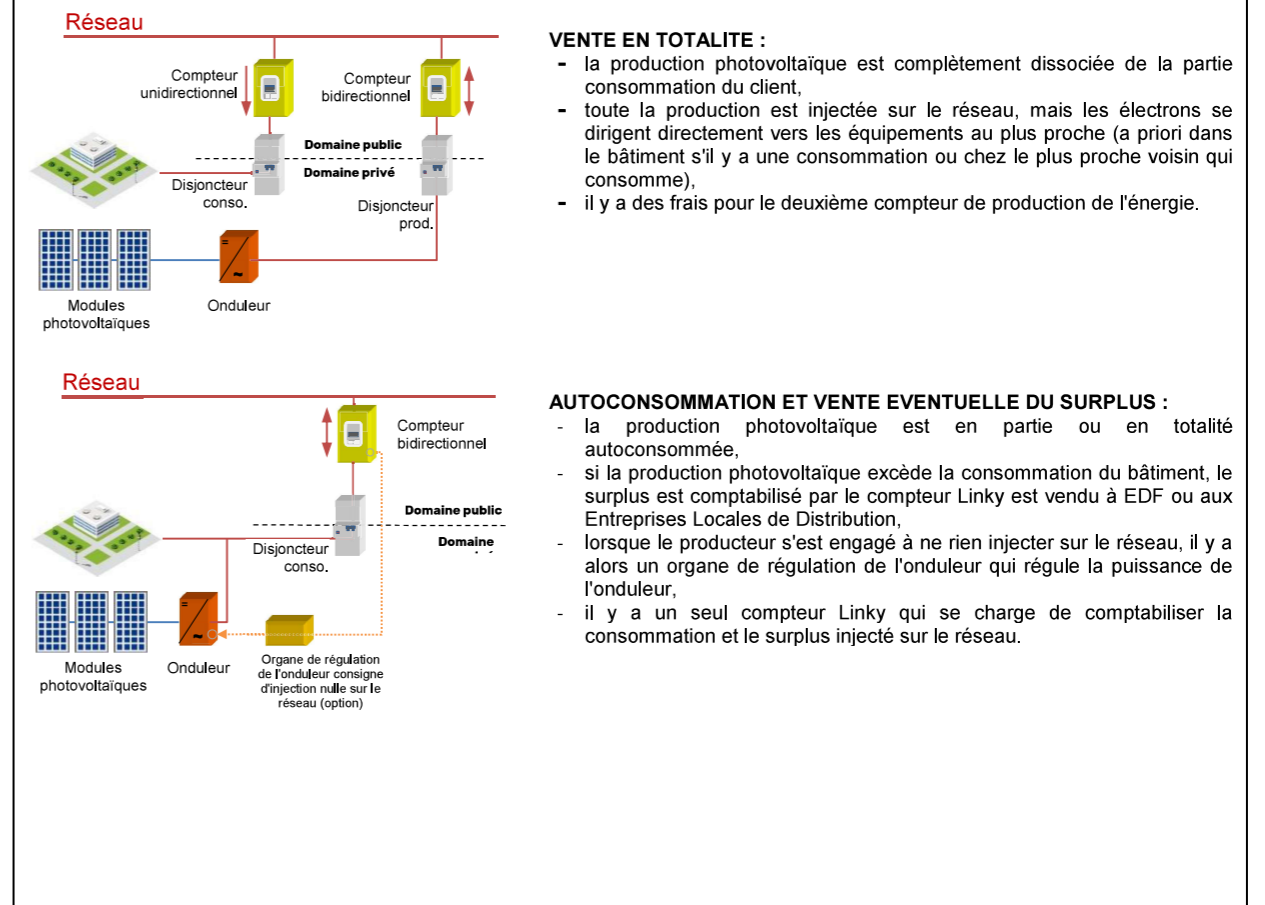
Avec la baisse des coûts des modules photovoltaïques (plus de 80% depuis 2010), la production d'énergie photovoltaïque devient désormais compétitive avec le coût de l'électricité du réseau. Il devient intéressant économiquement d'autoconsommer sa production plutôt que de vendre la totalité de son courant. Il y a alors deux notions à comprendre dans le cas de l'autoconsommation de l'électricité photovoltaïque :

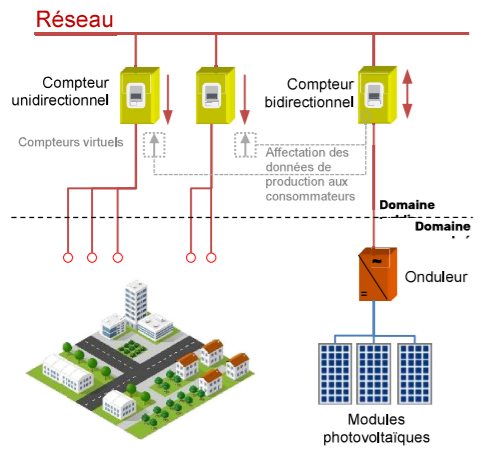
Le taux d'autoconsommation et le taux d'autoproduction.

#### Schéma de principe d'une installation photovoltaïque



Voici les principaux modèles économiques de valorisation de l'électricité produite.





**Réseau**

Compteur unidirectionnel, Compteur bidirectionnel, Compteurs virtuels, Affection des données de production aux consommateurs, Onduleur, Modules photovoltaïques

**AUTOCONSUMMATION COLLECTIVE :**


- suivant les profils de consommation des différents consommateurs, on définit une clé de répartition de la production photovoltaïque à chacun d'entre eux,
- les kWh injectés par la production photovoltaïque sur le réseau public sont répartis selon la clé de répartition définie : c'est le principe de compteurs virtuels,
- dans l'idéal, la production photovoltaïque est en totalité autoconsommée,
- si la production photovoltaïque excède les consommations du bâtiment, le surplus est délivré gratuitement au réseau (le gestionnaire peut imposer au producteur de ne rien injecter sur le réseau),
- il y a un seul compteur Linky qui se charge de comptabiliser la consommation et le surplus injecté sur le réseau.

---

**AVANTAGES DU SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE**

La production d'électricité à partir de l'énergie radiative du soleil par l'intermédiaire de modules photovoltaïques présente des avantages importants :

- la ressource d'énergie utilisée est renouvelable, aucune pénurie ou fluctuation des prix n'est à craindre,
- la production d'électricité est réalisée sans qu'il n'y ait aucune pièce en mouvement, ce qui entraîne des frais de maintenance excessivement faibles et une exploitation aisée (les modules sont auto-nettoyés avec la pluie),
- le processus de production d'électricité n'a aucun impact sur l'environnement (ni rejet polluant, ni déchet, ni bruit, etc.),
- ce qui est produit est généralement consommé sur place, ce qui présente un intérêt du point de vue électrique puisque les pertes dans les câbles sont très faibles (contrairement au mode de production décentralisée, ex : centrale nucléaire). Même si l'électricité produite par les installations est injectée sur le réseau, en pratique l'électricité choisit le plus court chemin et est utilisée à l'endroit le plus proche de sa production,
- La filière de recyclage des panneaux PV CYCLE a été fondée en 2007, financée par les industriels du photovoltaïque elle organise la collecte, le transport et le recyclage des modules photovoltaïques. Le taux de recyclage atteint 94,7% pour un module à base de silicium cristallin avec un cadre en aluminium. Le réseau est principalement constitué de points d'apports volontaires installés chez les distributeurs et installateurs partenaires (La collecte est financée par l'écoparticipation et est sans frais pour le détenteur). La collecte sans frais sur site est possible à partir de 40 panneaux photovoltaïques usagés ou deux unités de manutention.



Il est important de mettre en parallèle l'installation d'un générateur photovoltaïque sur un bâtiment avec la maîtrise de la consommation en énergie de ce bâtiment : cela permet une vraie cohérence entre une production d'électricité « propre » et une consommation énergétique maîtrisée.

Le panel d'actions à mettre en place dans le cadre d'une telle démarche est vaste : remplacement des ampoules classiques par des lampes basse consommation aux endroits appropriés, appareils électriques performants, etc. Certaines actions sont peu chères et faciles à mettre en œuvre, elles doivent donc absolument être réalisées pour une cohérence énergétique globale.

---

**CONDITIONS A RESPECTER**

**Sur le plan réglementaire, depuis le 8 Novembre 2019, la Loi Énergie et Climat, via l'Article L111-18-1 du Code de l'Urbanisme, impose à tout bâtiment à construire et d'une emprise au sol supérieure à 1000 m<sup>2</sup> l'obligation d'être pourvu d'un système de production de performance énergétique et thermique sur au moins 30% de sa surface disponible en toiture et en ombrières de parkings. Dans les faits, ces systèmes peuvent être des capteurs solaires thermiques, photovoltaïques ou une toiture végétalisée.**

- Prévoir dès le début du projet un emplacement optimum pour l'intégration des modules photovoltaïques au bâti et pour une production maximale.
- Faire réaliser les travaux par un installateur compétent possédant l'agrément QualiPV, délivré par l'association Qualit'EnR.
- Investir en priorité sur la performance énergétique du bâti puis sur un chauffage très performant. Si toutes ces mesures ont été prises en compte il est cohérent d'étudier une solution photovoltaïque.
- Mettre en œuvre des équipements performants dans le bâtiment (éclairage, équipement électrique, etc.). Cela permet une vraie cohérence entre une production d'électricité « propre » et une consommation énergétique maîtrisée.

#### DIMENSIONNEMENT

Le productible d'une installation solaire photovoltaïque est illustré sur une toiture de 500 m<sup>2</sup>.

Caractéristiques de l'installation (simulation PVSYS) :

- 53 kWc en technologie polycristallin,
- environ 500 m<sup>2</sup> de modules photovoltaïques polycristallins,
- orientation sud et inclinaison à 30°.

Avec ces hypothèses, l'installation produit environ 71 MWh/an, soit plus de 1 340 h/an de fonctionnement à puissance nominale.

#### BATIMENTS CIBLES

Idéalement, les modules sont orientés plein sud. Toutefois il faut tenir compte des masques environnants et de l'orientation du site. La puissance délivrée par l'installation est maximale dans le cas où le rayonnement solaire est perpendiculaire aux modules. Un angle de 30 à 35° permet de capter au maximum le rayonnement estival qui est le plus productif.

**FOCUS SUR LES EQUIPEMENTS AUTONOMES**

Pour des applications urbaines, les modules photovoltaïques peuvent être intégrés au mobilier urbain : au-dessus des horodateurs, sur un mât pour l'affichage en temps réel de la durée d'attente des bus, sur un panneau publicitaire pour son éclairage, etc.

L'installation photovoltaïque permet de s'affranchir d'un raccordement au réseau pour une consommation annuelle très faible (l'horodateur est un bon exemple). Éviter le raccordement au réseau signifie d'une part s'affranchir des tranchées et d'autre part ne pas avoir à payer un abonnement finalement cher pour l'équipement alimenté.

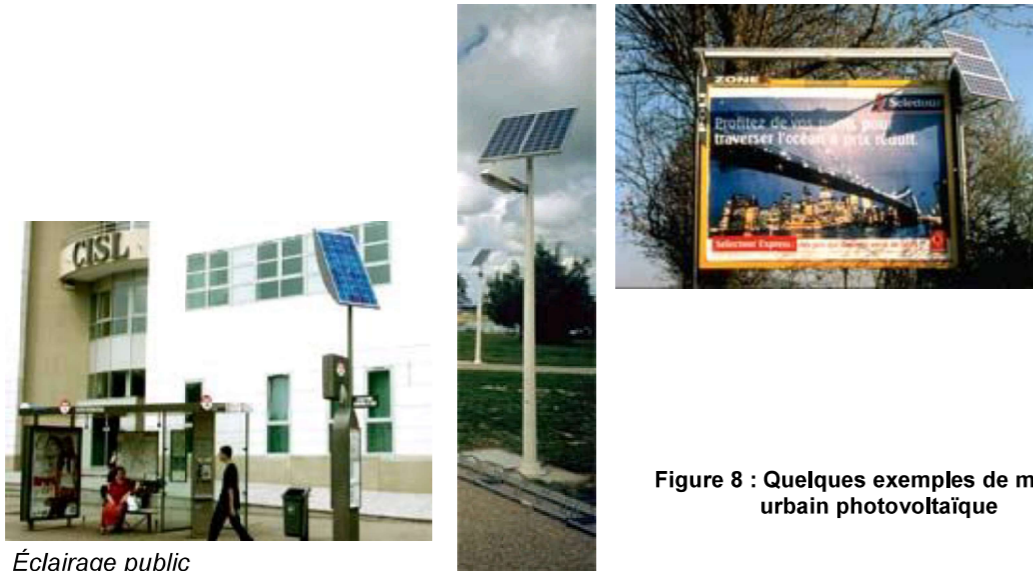


Figure 8 : Quelques exemples de mobilier urbain photovoltaïque

*Éclairage public*

De nombreux systèmes d'éclairage public solaires font leur apparition sur un marché encore peu structuré. De façon générale, ces lampadaires sont constitués :

- de panneaux photovoltaïques d'une cinquantaine à quelques centaines de Wc ;
- d'une batterie se logeant dans un caisson fixé en pied de mât ou à enterrer dans une réserve technique ;
- d'un régulateur ;
- d'un lampadaire « classique » : le mât et la lampe.



Figure 9 : Lampadaires photovoltaïques

Les modules photovoltaïques captent l'énergie en journée et la restituent du crépuscule à l'aube, par le biais de batteries. Des systèmes programmables – tels qu'un programmeur, un régulateur, un détecteur de présence, un système de télégestion – souvent en option, permettent de gérer les périodes d'allumage et donc d'améliorer l'autonomie du système en limitant le recours à l'électricité du réseau. Une centrale de commande détermine les heures d'éclairage. Il est également possible d'équiper ces lampadaires de détecteurs de présence déclenchant l'allumage dès le franchissement du périmètre surveillé. Les lampes utilisées sont des ampoules fluorescentes à vapeur de sodium basse ou haute pression ou des LED. Quant aux batteries et au système de régulation, ils sont souvent intégrés au lampadaire (avec un bac à fleurs par exemple) ou sur un élément de mobilier proche (tel un banc).

Les systèmes d'éclairage photovoltaïque ont une autonomie moyenne de 3 à 4 jours pour un fonctionnement de 8 heures.

Dans le cadre de l'éclairage public, la mise en œuvre de modules photovoltaïques doit s'étudier dans une logique de cohérence esthétique (équiper par exemple tout un quartier), en s'attachant à calculer les coûts évités (raccordement au réseau traditionnel) et la rentabilité globale de l'opération. La notion de non-destruction de la voirie (point positif) ainsi que les **ombres portées des bâtiments sur les modules dans la journée** (point négatif) sont aussi des éléments dont il faut tenir compte.

L'investissement s'élève à 1 800 € en moyenne par candélabre, pour l'équipement et la pose, et se décompose comme suit :

- Équipement :
  - candélabre : mât + luminaire + crosse : de 800 € (sodium haute pression) à 1 100 € (bloc LED),
  - Panneau PV 50 Wc : 50€,
  - Batterie 50 Ah : 200 €,
  - Régulation : 50 €,
- Génie civil et pose : 400 €.

Il s'agit de postes estimatifs, pouvant subir d'importantes variations selon le projet, le type et le nombre de lampadaires, etc.

*Horodateurs*

Les horodateurs sont de loin le type de mobilier urbain faisant le plus appel au photovoltaïque, la rentabilité est telle qu'aucune subvention n'est nécessaire pour ce type d'application. Le surcoût pour un horodateur est de 350 € hors taxes. Dans le même temps, l'économie générée la première année est de 115 € environ sur l'abonnement et la consommation électrique et 140 € par mètre linéaire de tranchée pour le raccordement.



Figure 10 : Horodateur photovoltaïque

De même que pour les lampadaires photovoltaïques, attention à vérifier les ombres portées sur l'équipement, qui empêchent la production d'électricité, surtout sur ces équipements de faible hauteur.



## 2.2 ÉNERGIE EOLIENNE



Une éolienne produit de l'électricité à partir du vent ; elle récupère l'énergie cinétique du vent. En tournant, le rotor entraîne un arbre raccordé à une génératrice électrique qui se charge de convertir l'énergie mécanique en énergie électrique.

*Remarque :* Nous n'aborderons pas les grands parcs éoliens. En effet, le type de machines utilisées ayant une hauteur de 100 mètres, ils ne se prêtent pas à l'implantation sur le site, la seule contrainte d'urbanisme rendant impossible l'installation de ce type d'équipement. Seul l'éolien dit « urbain » ou « petit éolien » est abordé ici.

L'éolien urbain est désavantagé par les contraintes techniques (rugosité du vent, etc.), économiques (coût élevé de la technologie), et une mise en œuvre parfois délicate (réglementation).

**Le détail de l'analyse des gisements est disponible dans l'état initial de l'étude d'impact.**

## ÉOLIEN URBAIN

### FONCTIONNEMENT

#### Éoliennes à axe horizontal

Elles sont similaires aux éoliennes classiques quant à leur principe de fonctionnement. Les pales mises en rotation par l'énergie cinétique du vent entraînent un arbre raccordé à une génératrice qui transforme l'énergie mécanique créée en énergie électrique.

Les éoliennes urbaines à axe horizontal se caractérisent par leur petite taille, allant de 5 à 20 mètres, par le diamètre des pales (2 à 10 m) et par leur puissance atteignant pour certaines 20 kW.

#### Éoliennes à axe vertical

Elles ont été conçues pour répondre au mieux aux contraintes engendrées par les turbulences du milieu urbain. Grâce à ce design, elles peuvent fonctionner avec des vents provenant de toutes les directions et sont moins soumises à ces perturbations que les éoliennes à axe horizontal. Elles sont relativement silencieuses et peuvent facilement s'intégrer au design des bâtiments ou équipements publics (éclairage public). Leur faiblesse réside principalement dans la faible maturité du marché qui engendre des coûts d'investissement relativement importants. En raison de leur petite taille, l'énergie produite est faible.

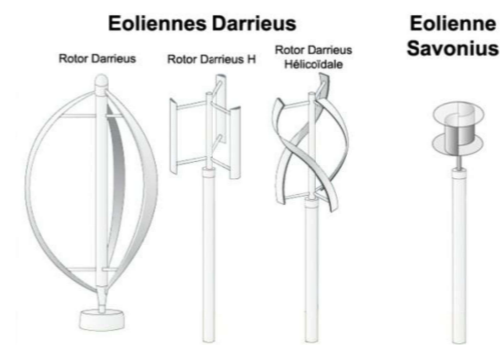
Il existe deux grands types d'éoliennes à axe vertical : le type *Darrieus* et le type *Savonius*. Elles peuvent être installées en toiture de bâtiment et occupent moins de place qu'une éolienne horizontale. En revanche, leur rendement est faible.

#### Éolienne de type Darrieus :

- Elle peut être installée dans des zones très venteuses, elle peut subir des vents dépassant les 220 km/h.
- Son générateur peut ne pas être installé en haut de l'éolienne, au centre des rotors, mais en bas de celle-ci. Ainsi plus accessible, il peut être vérifié et entretenu plus facilement.
- Démarrage difficile dû au poids du rotor sur le stator.

#### Éolienne de type Savonius :

- Elle fonctionne même avec un vent faible (contrairement au système Darrieus), quelle que soit sa direction.



Éoliennes de type Darrieus et Savonius



Éolienne à axe vertical, écoquartier de la Marlière (Courcelle-lès-Lens)

Il est possible d'envisager deux types d'applications, une éolienne « indépendante » et raccordée au réseau, ou une éolienne intégrée aux équipements publics.

### AVANTAGES DE L'ÉOLIEN

La production d'électricité à partir de la vitesse du vent par l'intermédiaire de petites éoliennes présente des avantages importants :

- la ressource d'énergie utilisée est renouvelable, aucune pénurie ou fluctuation des prix n'est à craindre ;



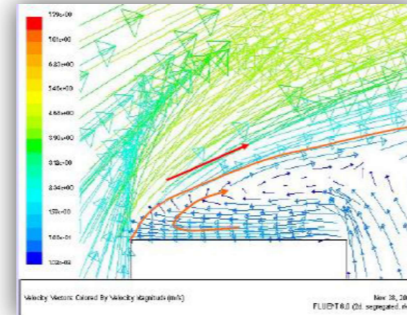
- le processus de production d'électricité n'a aucun impact sur l'environnement (ni rejet polluant, ni déchet, etc.) ;
- ce qui est produit est généralement consommé sur place, ce qui présente un intérêt du point de vue électrique puisque les pertes dans les câbles sont très faibles (contrairement au mode de production décentralisé, ex : centrale nucléaire). Même si l'électricité produite par les installations est injectée sur le réseau, en pratique l'électricité choisit le plus court chemin et est utilisée à l'endroit le plus proche de sa production.

#### CONDITIONS A RESPECTER

Afin d'identifier les conditions nécessaires à une meilleure intégration des éoliennes en milieu urbain et de promouvoir l'émergence de la technologie, le projet européen WINEUR a vu le jour en 2005. Ce projet a permis d'obtenir des premiers éléments de réponse par rapport à cette technologie. Les conclusions que l'on peut tirer en termes de contraintes sont les suivantes :

- Le vent soufflant autour d'un bâtiment est dévié en atteignant le haut du bâtiment. Afin d'utiliser de manière optimale le vent soufflant au-dessus du bâtiment, il faut une certaine marge entre le bord du bâtiment et la flèche de l'éolienne. Cela doit être calculé pour chaque site.

#### Comportement du vent dans un milieu urbain (Source : DHV)



- Là où les directions de vent dominant convergent, l'utilisation d'éolienne à axe vertical fixe est possible, cependant elle doit être placée de manière à récupérer le vent au-dessus du bâtiment et donc placée pas trop bas.
- Pour sélectionner un site adéquat, la rose des vents doit indiquer une vitesse moyenne de 5 m/s.
- Dans un contexte urbain présentant une importante rugosité, une turbine à axe horizontal sera installée à une hauteur supérieure de 35% à la hauteur du bâtiment. Cela permet d'éviter les phénomènes de turbulence. Des turbines à axe vertical adaptées aux flux turbulents peuvent permettre d'éviter cette contrainte de hauteur.

Le site sélectionné doit présenter une productivité énergétique de 200 à 400 kWh/m<sup>2</sup>.an, mais cela peut varier d'un facteur 2 à 5 en fonction du site. Le choix du site est donc particulièrement décisif, mais difficile.

#### DIMENSIONNEMENT

Il est difficile de déterminer précisément le gisement d'un site sans une étude de vent (mesures) d'au moins une année sur le lieu même pressenti pour l'implantation de l'éolienne.

Une éolienne de type Darrieus H de 4,7 m de diamètre et une hauteur de pale de 2,5 m (voir photo ci-contre), pourra produire **environ** 15 MWh/an (avec un vent moyen de 6 m/s).



Éolienne Darrieus de 6 kW



Une éolienne de type mixte (Darrieus / Savonius) pour l'éclairage public, de diamètre 1,4 m et d'une hauteur de 1,5 m sera en mesure de produire environ 750 kWh/an.

Éolienne mixte Darrieus / Savonius pour l'alimentation autonome d'un lampadaire – Commune de Bouvron

#### BATIMENTS CIBLES

Le toit où sera installée l'éolienne doit être bien au-dessus de la hauteur moyenne des constructions environnantes (environ 50%).

#### ÉLEMENTS ECONOMIQUES

Il est difficile d'obtenir des données de coûts précises de la part des producteurs. Les informations précisées ci-dessous sont donc des données approximatives. D'autre part, le petit éolien est encore aujourd'hui au stade des balbutiements : les technologies ont une marge de progrès importante et les prix sont encore très élevés. Si cette filière se développe, les prix baisseront avec l'effet d'échelle.

- Coût d'investissement d'une éolienne à axe horizontal : 5 000 à 7 000 €/kW installé
- Coût d'investissement d'une éolienne à axe vertical : 7 000 à 20 000 €/kW installé
- Coût du raccordement électrique : pour des puissances inférieures à 36 kW, environ 1 000 €/kW installé.
- Coût d'exploitation : Au Royaume-Uni, sur la vingtaine de machines installées, les coûts de maintenance annuels sont évalués entre 150 et 500 £/an (soit 190 et 615 €/an). En Hollande, les exploitants ont indiqué qu'il n'y avait pas de coût d'exploitation et que la seule maintenance consistait à changer l'onduleur tous les dix ans (coût d'un onduleur : 1 300 €). D'autre part, un exploitant a indiqué un coût annuel d'exploitation/maintenance de 175 €.

Le coût du kWh produit varie en fonction de la vitesse moyenne du vent considéré. Le coût de revient pour une petite éolienne à axe horizontal est donc de l'ordre de 20 à 35 c€/kWh alors qu'il est de 25 à 80 c€/kWh pour les petites éoliennes à axe vertical.

L'éolienne de type Darrieus H présentée au paragraphe « Dimensionnement » de cette fiche a coûté 47 000 €, soit sur une période de 15 ans, un coût de revient du kWh produit à 28 c€.

#### FOCUS SUR DES EQUIPEMENTS INNOVANTS



Outre la production d'électricité par le biais de la technologie éolienne, le gisement de vent peut permettre d'économiser l'électricité nécessaire au renouvellement d'air des bâtiments, par le biais de la ventilation passive. Un exemple est donné par le système mis en place sur l'Écoquartier de Bedzed, au sud de Londres (cf. photo ci-contre). Les cheminées en forme de capuchon abat-vent situées en toiture permettent d'alimenter en air neuf les pièces à vivre et d'en extraire l'air vicié, grâce à une différence de pression. Un échangeur de chaleur intégré permet de préchauffer l'air entrant grâce à l'air extrait. Une méthodologie de tests a été développée pour quantifier le renouvellement d'air et les caractéristiques de la pression. Cela a permis au système de « cheminée » d'être certifié et ainsi d'éviter l'utilisation de ventilateurs, et autres systèmes utilisant l'électricité. Des technologies utilisant l'air des cheminées d'aération des bâtiments industriels ou tertiaires ou encore les fumées sont en cours de développement.

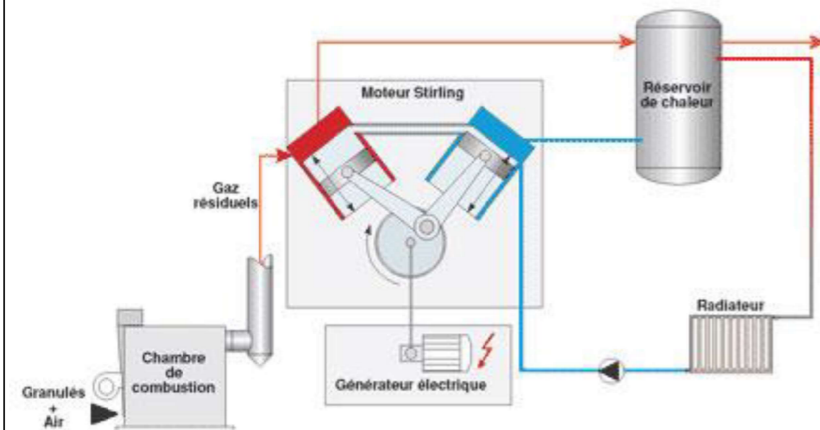
## 2.3 BIOMASSE COMBUSTIBLE

### LA COGENERATION BOIS

#### FONCTIONNEMENT

La cogénération consiste à produire avec le même système de la chaleur et de l'électricité. Les chaudières à bois à cogénération permettent ainsi d'assurer les besoins en chauffage et d'ESC du bâtiment tout en générant une production d'électricité. Ces systèmes sont des chaudières automatiques couplées à un moteur à combustion (généralement un moteur Stirling) qui fournit une énergie mécanique convertie en courant électrique. La chaleur issue de la combustion est récupérée sur les gaz d'échappement par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur.

La mini-cogénération désigne les installations de 36 à 215 kWe (pour les bâtiments collectifs) et la micro-cogénération celles inférieures à 36 kWe (pour les maisons individuelles).



La société Sunmachine commercialise la Sunmachine électrique domestique à granulés de bois fournit en même temps jusqu'à 10,5 kW de chaleur à la maison et produit jusqu'à 3 kW de puissance électrique.

Sources : <http://www.astralys-solutions.com/nantes-energie-micro-cogeneration-bois.html>

#### CONDITIONS A RESPECTER

- Mêmes critères que pour les chaudières.
- Alimenté uniquement avec des granulés pour l'instant.
- Raccordement au réseau électrique en cas de vente d'électricité à EDF.

Concernant la vente d'électricité il existe deux types de contrats selon la puissance de l'installation :

- Pour la micro-cogénération, en dessous de 36 kWe, l'utilisateur peut soit autoconsommer la totalité de l'électricité produite, soit en vendre une partie ou la totalité à EDF. Dans le second cas, il bénéficiera d'un tarif d'achat « petites installations » moins avantageux (4,34cts€/kWh), mais n'aura pas de contrainte sur la fourniture d'électricité au réseau. La chaudière sera dimensionnée pour répondre aux besoins de chauffage.
- Pour la mini-cogénération, entre 36 kWe et 215 kWe, le tarif d'achat sera plus intéressant. Mais le contrat contraindra l'utilisateur à faire fonctionner la chaudière à puissance nominale (95 %) de novembre à mars (3623 heures) afin de fournir une puissance garantie sur le réseau électrique. Ce type de fonctionnement implique des besoins de chauffage stables et la chaudière sera généralement dimensionnée pour couvrir les besoins de base, avec un appoint pour assurer les pointes.

#### DIMENSIONNEMENT

Voir réseau de chaleur bois.

#### BATIMENTS CIBLES

Les bâtiments opportuns pour une chaudière bois énergie présentent préférentiellement les caractéristiques suivantes :

- Un espace disponible pour l'installation de la chaudière et du silo de stockage : local technique, réserve foncière disponible autour du bâtiment.
- Un accès pour le passage des camions et l'approvisionnement en combustible (prévoir une aire de retournement pour les véhicules de livraison suivant la configuration du site).

De plus la production d'électricité implique des puissances relativement importantes pour être intéressante ce qui implique des besoins énergétiques importants qu'on ne retrouvera probablement pas dans les maisons individuelles respectant la RT 2012, ou le niveau BEPOS.

#### ÉLÉMENTS ECONOMIQUES

Le coût d'investissement est d'environ 33 000 € pour une micro-cogénération de 18 kW. Cet investissement comprend la chaudière micro-cogénération, l'onduleur, le ballon de stockage, le raccordement et l'installation.

On comptera environ 130 € pour l'entretien annuel de la chaudière.

### 3 LES SMART-GRIDS

Un smart-grid est par définition un « réseau intelligent ». Il s'agit d'un réseau électrique de transmission ou de distribution, de grande ou de petite échelle et utilisant les Nouvelles Technologies de l'Informatique et de la Communication (NTIC). Un smart-grid n'est pas un nouveau réseau électrique, mais une évolution du réseau actuel permettant de répondre aux nouveaux défis du secteur de l'électricité :

- Satisfaire une demande croissante en électricité ;
- Intégrer les sources de production intermittentes, décentralisées et d'origine renouvelable (objectifs nationaux 32% d'EnRs en 2030 et de 40% d'EnRs dans la consommation d'électricité).

La différence majeure entre le réseau actuel et un smart-grid se trouve dans l'aspect communicatif de tous ces pôles entre eux. La gestion du réseau électrique pour l'instant centralisée et unidirectionnelle (allant de la production à la consommation) doit évoluer vers un système plus réparti et bidirectionnel. Dans le réseau actuel, l'équilibre est obtenu en pilotant l'offre d'électricité en fonction de la demande et aux conditions d'approvisionnement et de coût les plus favorables. Dans un smart-grid, la demande est gérée de façon active (incitations au délestage lors des pics de consommation) et permet tout comme l'offre d'équilibrer le système électrique.

Un smart-grid est donc une évolution du réseau qui va toucher à la fois la production et la consommation, avec comme aspect essentiel la communication entre tous les acteurs du réseau électrique. Pour répondre aux problématiques futures, il doit impliquer directement les utilisateurs finaux et gérer de façon optimale de nombreux paramètres qui sont :

- Intégration des énergies renouvelables ;
- Intégration des véhicules électriques ;
- Stockage de l'énergie ;
- Modernisation du réseau.

#### 3.1 BATIMENT INTELLIGENT

Un bâtiment intelligent est une application du smart-grid sur un réseau privé. Il doit répondre à trois critères essentiels qui sont :

- Assurer le confort et la sécurité des utilisateurs ;
- Optimiser son efficacité énergétique et limiter les émissions de CO<sub>2</sub> ;
- Être intéressant du point de vue économique (que les gens soient prêts à investir dans ce type de bâtiment).

Le confort et la sécurité des utilisateurs passent par le respect des normes relatives à la luminosité, la température, aux transports (ascenseurs ou escaliers) et aux communications (téléphoniques et internet). Un bâtiment intelligent doit limiter la quantité d'énergie à consommer pour respecter ces niveaux de confort et de sécurité.

Une caractéristique très importante d'un bâtiment intelligent est la gestion de ses divers équipements électriques. L'application des NTIC à un bâtiment porte le nom de Gestion Technique des Bâtiments (GTB).

La GTB permet premièrement de relier le matériel et les contrôles de différents systèmes à un unique outil de gestion. Ainsi le chauffage, le refroidissement, l'éclairage, les stores et les systèmes de détection d'incendie et d'alarmes sont gérés par le même outil. Suivant les dispositifs utilisés, la GTB permet aussi de mesurer, piloter et anticiper la production et la consommation d'énergie dans un bâtiment afin d'optimiser l'autoconsommation de l'énergie produite.

Les bâtiments sont donc équipés de nombreux capteurs et actionneurs, ainsi que d'une plateforme ou d'un logiciel de gestion d'énergie. On compte des capteurs de présence, de température et de luminosité par exemple, qui permettent de limiter au mieux les consommations d'énergie superflues (chauffage lorsque l'occupant n'est pas là, éclairage trop important lorsque la luminosité est correcte, ...).

Ce modèle de smart-grid permet de limiter les consommations externes d'électricité d'un bâtiment afin elle rendre le plus autonome possible ou exportateur d'électricité (on parle de bâtiment à énergie positive ou BEPOS). On limite ainsi les pertes d'électricité induites par la circulation de l'électricité sur les réseaux et les transformations successives (basse tension, moyenne tension, etc.).

### 3.2 QUARTIER INTELLIGENT

Pour qu'un quartier soit considéré comme un smart-grid, la communication entre les différents bâtiments est essentielle. Grâce à des dispositifs de communication entre les compteurs des bâtiments, les pertes liées au transport de l'énergie sont évitées et l'électricité renouvelable produite localement peut alimenter directement les bâtiments du quartier.

En France cependant, les premiers smart-grids à l'échelle de quartier sont encore en phase d'expérimentation, avec notamment des projets tels qu'Issygrid en région Parisienne, Nice Grid à Carros (Alpes Maritimes) et Confluence à Lyon.

La base d'un smart-grid à l'échelle d'un quartier réside dans la communication entre les différents bâtiments dans le but d'optimiser la gestion locale de l'énergie. L'arrivée de 35 millions de compteurs communicants Linky d'Enedis d'ici 2020 doit accompagner le développement des smart-grids en France.

Le compteur Linky est en interaction permanente avec le réseau, lui permettant de recevoir des ordres et transmettre des informations au centre de supervision d'Enedis (ou d'une entreprise locale de distribution). La communication entre les clients et les fournisseurs d'électricité se fait donc par l'intermédiaire des postes de distribution et d'une agence centrale de supervision. Il s'agit d'une communication par courants porteurs en ligne (CPL) entre les compteurs individuels et le concentrateur situé dans le poste de distribution. Les données collectées dans les postes de distribution peuvent ensuite être envoyées à une agence centrale de supervision par le biais d'un réseau téléphonique GPRS. Ce modèle s'applique aussi à un réseau de plus grande échelle que pour un quartier, tel que pour une ville ou un département, et à long terme pour le réseau national voire européen.

Ce modèle de smart-grid permet de limiter les consommations externes d'électricité du quartier tout en permettant de mutualiser les productions à une échelle plus large entre bâtiments ayant des typologies différentes (bureaux occupés la journée en semaine et logements occupés le soir et le weekend), avec des moyens de production sur le site (ombrières photovoltaïques, éoliennes urbaines, cogénération alimentant un réseau de chaleur, etc.) et d'intégrer des consommations supplémentaires : éclairage public, véhicules électriques (et leur capacité de stockage), autres équipements publics.

L'échelle retenue pour la mise en place d'un smart-grid doit prendre en compte les possibilités de mutualisations offertes par une échelle plus importante tout en veillant à réduire les contraintes supplémentaires que présente cette échelle : besoin d'une entité de régulation faisant le lien entre les différents bâtiments, relation et contractualisation entre les propriétaires des bâtiments, prise en compte du phasage des constructions.

### 3.3 LE STOCKAGE D'ELECTRICITE

En plus de la communication et du pilotage à distance entre les différents acteurs du réseau électrique, le stockage de l'électricité est une des composantes majeures d'un smart-grid. Les sources d'énergies renouvelables solaires et éoliennes sont des sources intermittentes, c'est pourquoi leur pic de production peut survenir durant des périodes de très faible consommation électrique. Le stockage intégré à ces sources d'énergie permet de faire tampon et de réguler l'injection d'électricité dans le réseau. Le stockage d'électricité permet aussi de participer à l'effacement lors des pics de consommation en rendant les bâtiments équipés autonomes en énergie. Si les dispositifs de stockage injectent de l'électricité à ce moment, la dépendance aux solutions de production utilisées lors des pics de production (charbon, gaz, fioul) et fortement émettrices en gaz à effet de serre peut être réduite.

La principale solution de stockage à l'échelle d'un bâtiment est la batterie. Toutefois, le coût, la durée de vie et le bilan environnemental des batteries en font une solution aujourd'hui peu adaptée à l'autoconsommation d'électricité. Toutefois des pistes sont actuellement à l'étude, en particulier le recours aux batteries de véhicules électriques en charge (véhicule to grid) ou la réutilisation de batteries de véhicules en fin de vie (les batteries des véhicules sont généralement remplacées lorsque leur capacité n'est plus que de 80%, mais elles peuvent toujours être utilisées de manière stationnaire lorsqu'il n'y a pas de contraintes d'encombrement ou de poids).

## ANNEXES

### A. METHODOLOGIE POUR EVALUER LA PERTINENCE D'UN RESEAU DE CHALEUR

#### TRACE DES RESEAUX DE CHALEUR

Les réseaux de chaleur sont tracés à l'aide du logiciel de cartographie MapInfo. Le tracé est basé sur les éléments de programmation cartographique fournis par le maître d'ouvrage (hypothèse de disposition des bâtiments et des voiries) : le réseau est tracé en sorte à desservir toutes les parcelles prévues.

#### DENSITE ENERGETIQUE SEUIL

Afin de déterminer en première approche l'opportunité d'un réseau de chaleur à l'échelle d'un quartier, la valeur de la densité énergétique du futur réseau est utilisée comme indicateur. Il s'agit de l'énergie fournie par le réseau ramenée à la longueur du réseau. Plus cette valeur est importante plus le réseau est rentable car il nécessite un investissement initial et des coûts de fonctionnement moindres pour une production d'énergie équivalente.

D'après le manuel de l'ADEME : « Mise en place d'une chaufferie au bois - Étude et installation d'une unité à alimentation automatique », « en deçà de 4 à 5 MWh/m<sub>i</sub> par an, le coût d'amortissement du réseau a un impact important sur le prix de revient de l'énergie finale distribuée. » D'autre part, Biomasse Normandie et le Comité Interprofessionnel du Bois Énergie proposent une valeur « courante » de faisabilité de 3 MWh livrés/(m<sub>i</sub>.an). Ce seuil est un peu plus bas. Enfin, le seuil Fonds Chaleur ADEME est de 1,5 MWh<sub>ef</sub>/(m<sub>i</sub>.an) (*ef* = énergie finale. Voir définition d'énergie finale en annexe).

Finalement, nous retenons la valeur seuil de 1,5 MWh<sub>ef</sub>/(m<sub>i</sub>.an), correspondant au seuil de faisabilité technique retenu par le Fonds Chaleur.

Cette approche permet d'identifier les réseaux potentiellement intéressants ; une étude économique plus précise est ensuite nécessaire pour les réseaux retenus afin de déterminer si réellement ils présentent une opportunité.

*Remarque* : Pour information, la densité thermique des réseaux de chaleur bois en France peut être découpée en fonction de la puissance bois (source : CIBE/AMORCE) :

- moins de 500 kW : 1,5 MWh/(m<sub>i</sub>.an),
- 500 à 1 500 kW : 3 MWh/(m<sub>i</sub>.an),
- 1 500 à 3 000 kW : 3,5 MWh/(m<sub>i</sub>.an).

### B. DEFINITION DES ENERGIES DITES UTILES, FINALES, PRIMAIRES

#### ÉNERGIE UTILE :

L'énergie utile caractérise le besoin énergétique brut, et représente l'énergie dont dispose l'utilisateur final à partir de ses propres équipements.

#### ÉNERGIE FINALE :

Il s'agit de l'énergie délivrée aux consommateurs pour être convertie en énergie utile. L'énergie finale caractérise une consommation énergétique, son calcul intègre le rendement de l'équipement de production ou de pertes du réseau. C'est l'énergie qui est facturée au consommateur, qui est disponible pour l'utilisateur final.

#### ÉNERGIE PRIMAIRE :

C'est la forme première de l'énergie directement disponible dans la nature : bois, charbon, gaz naturel, pétrole, vent... L'énergie primaire n'est donc pas directement utilisable et fait l'objet de transformation (le raffinage du pétrole pour obtenir de l'essence ou du gazole par exemple). Elle caractérise donc un coût énergétique global, prenant en compte l'énergie consommée, mais aussi l'énergie qu'il a fallu produire en amont pour transformer, transporter, distribuer, stocker cette énergie jusqu'au lieu de consommation.

#### CONVERSION ENERGIE UTILE/ENERGIE FINALE :

On a la relation : Énergie finale = Énergie utile x rendement de l'équipement de production

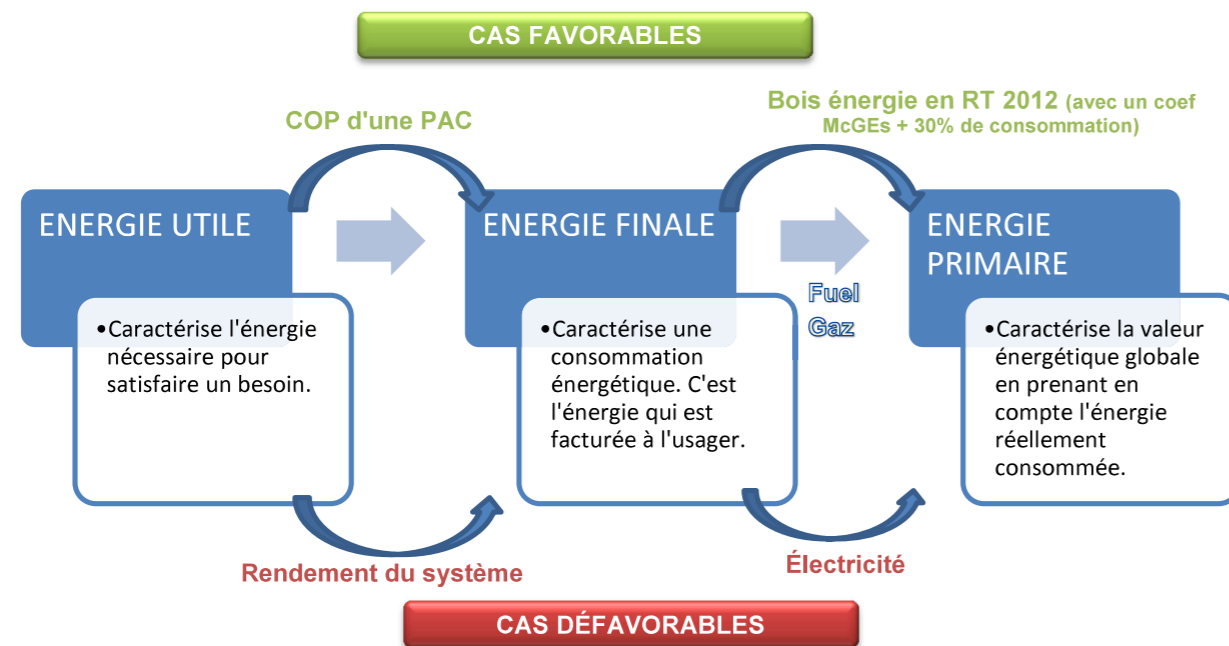
#### CONVERSION ENERGIE FINALE/ENERGIE PRIMAIRE :

On a la relation : Énergie primaire = Énergie finale x vecteur énergétique

Type d'énergie	RT 2012	Label BBC
Électricité	2,58	2,58
Bois	1	0,6
Gaz/Fioul	1	1

Tableau 1 : Vecteurs énergétiques selon les réglementations et les labels

Le vecteur énergétique de l'électricité varie en fonction du mix énergétique de chaque pays. La France, avec son parc de production nucléaire de faible rendement, est défavorisée par rapport à la Suisse par exemple (dont le vecteur énergétique de l'électricité est de 2).



### EXEMPLE

Exemple d'un appartement situé en région parisienne de 100 m<sup>2</sup>. Les seuils en énergie primaire sont ceux de la Réglementation Thermique 2012. Trois solutions sont comparées : chauffage au gaz, via une pompe à chaleur alimentée à l'électricité ou au bois.

#### Hypothèses :

Rendement de la chaudière gaz et bois : 95 %  
Rendement de la pompe à chaleur (COP) : 300 %

Énergie de chauffage	Gaz naturel	Pompe à chaleur	Bois
Énergie utile	3 500 kWh	4 300 kWh	4 650 kWh
Énergie finale	3 700 kWh	1 450 kWh	4 800 kWh
Énergie primaire	3 700 kWh	3 700 kWh	4 800 kWh

Dans la pratique, le maître d'ouvrage peut donc moins isoler sa maison dans le cadre du bois énergie tout en atteignant la valeur réglementaire d'énergie primaire que celui qui utilise le gaz. C'est également le cas dans une moindre mesure pour les pompes à chaleur.

## C. METHODOLOGIE POUR L'ESTIMATION DES BESOINS ENERGETIQUES

La présente étude nécessite la connaissance des besoins énergétiques de la zone étudiée. Puisque les bâtiments ne sont pas construits, les besoins énergétiques sont estimés à partir des données de programmation et sur la base de ratios de consommation par m<sup>2</sup> selon l'usage, le type de bâtiment et le scénario retenu. Il s'agit d'évaluer essentiellement les besoins en consommation thermique et électrique des différentes surfaces programmées.

### PERFORMANCES ENERGETIQUES DES NOUVELLES CONSTRUCTIONS

Les bâtiments devront rapidement respecter la réglementation environnementale 2020 (RE2020) : son application au dépôt de permis de construire est obligatoire à partir de janvier 2022 pour les logements, courant 2022 pour les bureaux et l'enseignement et quelques mois plus tard pour les autres bâtiments.

La RE 2020 se base sur la RT 2012. En ce qui concerne la performance thermique du bâtiment, celui-ci doit respecter au minimum le niveau de la RT 2012. L'exigence sur le besoin énergétique du bâtiment (Bbio) est réduite de 30% par rapport à celle-ci, de manière notamment à favoriser le confort d'été. Un nouvel indicateur de confort d'été sera également ajouté. Les exigences sont également renforcées en ce qui concerne le confort d'été avec l'introduction d'un nouvel indicateur.

Une présentation de la RT 2012 est consultable en annexe D.

### METHODOLOGIE

#### POUR DES BATIMENTS RT 2012

Le programme d'aménagement bâti doit respecter la Réglementation Thermique de 2012. Des exigences sont donc fixées pour :

- Le Bbio : l'énergie utile des postes Chauffage, Refroidissement, Éclairage doit être inférieure à un seuil Bbiomax
- Le Cep : l'énergie primaire des postes Chauffage, Eau Chaud Sanitaire, Refroidissement, Éclairage, Auxiliaires doit être inférieure à un seuil Cepmax.

Les vecteurs énergétiques entre énergies utile, finale, primaire, varient selon l'équipement et l'énergie (voir en annexe la définition des énergies utile, finale et primaire).

Le tableau ci-dessous donne les seuils à respecter pour des bâtiments alimentés par un réseau de chaleur dont le contenu CO<sub>2</sub> est inférieur à 50 grammes de CO<sub>2</sub> par kWh. Ils sont calculés selon les formules décrites en annexe D. Le Bbio, qui exprime la performance de l'enveloppe du bâti ne dépend pas de l'énergie et du système de production choisi.

	Bbio <sub>max</sub>	Cep <sub>max</sub>
Appartement	34 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT/an	46 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT/an
Commerces	101 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT/an	240 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT/an
Bureaux	45 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT/an	46 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT/an
Hotel	51 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT/an	198 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT/an
Equipements	122 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT/an	132 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT/an

CALCUL DES RATIOS DE CONSOMMATION PAR SCENARIO

L'exercice consiste maintenant à répartir les consommations allouées par la réglementation à chaque poste de dépense énergétique : chauffage et auxiliaires, eau chaude sanitaire, refroidissement, éclairage.

Les données d'entrée sont la consommation par m<sup>2</sup> du parc RT 2005 pour chaque usage précédemment cité et pour 8 typologies de bâtiments résidentiels ou tertiaires. Elles proviennent du CEREN<sup>4</sup> mais ont été travaillées pour correspondre à la consommation du parc RT 2005 sur la zone géographique et à l'altitude du projet. Elles sont exprimées en énergie utile, ce qui permet de partir sur des bases affranchies des systèmes de production.

La méthode utilisée est une méthode par tâtonnement et par itération :

- 1. les ratios en énergie utile du CEREN du parc RT 2005 sont exprimés en énergie finale, pour chaque scénario, en prenant en compte le rendement de l'équipement de production associé à chaque poste de dépense énergétique ;
- 2. le Bbio et le Cep du projet sont calculés et comparés aux valeurs seuils réglementaires ;
- 3. si les deux seuils sont respectés, les ratios sont conservés. Sinon, on applique à chaque poste énergétique des hypothèses réalistes de réduction des consommations (elles sont détaillées plus loin) ;
- 4. on repart à l'étape 2.

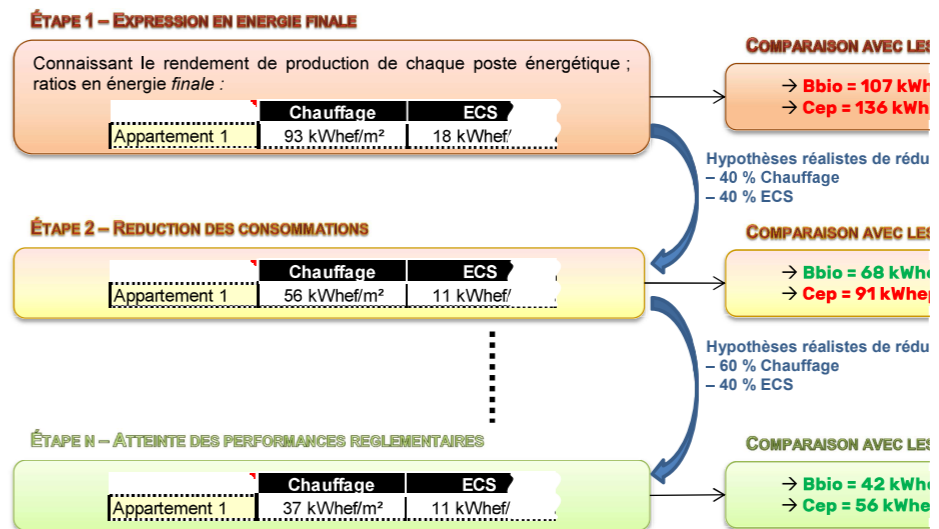
Le schéma ci-dessous illustre cette méthodologie, pour un appartement :

DONNEES D'ENTREE

Ratio RT 2005 en énergie utile :

	Chauffage	ECS	Cuisson	Elec spé	Eclairage
Appartement	97 kWh/m <sup>2</sup>	18 kWh/m <sup>2</sup>	12 kWh/m <sup>2</sup>	19 kWh/m <sup>2</sup>	5 kWh/m <sup>2</sup>

Seuils réglementaires → Bbiomax = 72 kWh/m<sup>2</sup>.an → Cepmax = 70 kWh/m<sup>2</sup>.an  
 Scénario d'approvisionnement → η<sub>eq</sub> = Eu/Ef → Vecteur énergétique co



<sup>4</sup> Centre d'Études et de Recherches Économiques sur l'Énergie

Les pourcentages de réduction des consommations appliquées sont réalistes et représentatifs des progrès que la filière est capable de faire. Il sera par exemple beaucoup plus facile de diminuer le poste Chauffage, en améliorant l'isolation, que de réduire le poste Électricité Spécifique (sur ce poste, on note d'ailleurs plutôt une augmentation des consommations en raison du recours massif au Hifi et à l'électroménager).

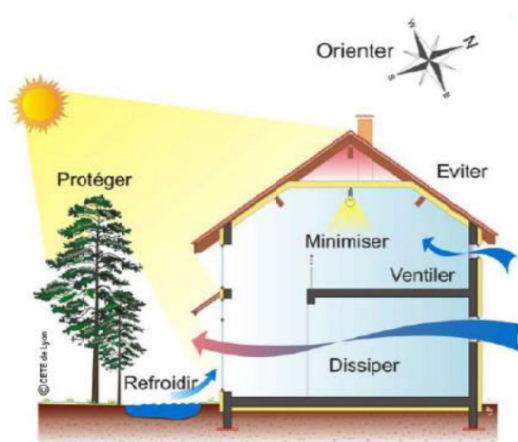
Les hypothèses prises sont tirées de la littérature – CSTB, ADEME, Effinergie, Enertech – et des retours d'expérience de bâtiments neufs ou rénovés.

- Les réductions des consommations du poste Chauffage peuvent atteindre 90% en améliorant le bâti jusqu'à atteindre le niveau exigé pour les bâtiments passifs (15 kWh<sub>eu</sub>/m<sup>2</sup>).
- Les réductions des consommations du poste ECS peuvent atteindre 50% en calorifugeant le ballon, en installant des mousseurs et des robinets thermostatiques.
- Les réductions des consommations du poste Électricité spécifique peuvent atteindre 10% en installant des équipements performants.
- Les réductions des consommations du poste Éclairage peuvent atteindre 50% en installant des équipements performants et en permettant des apports externes de lumière plus importants.
- Les réductions des consommations du poste Climatisation dépendent de la typologie du bâtiment, et des performances de rafraîchissement attendues.
- Pour les logements et les bâtiments d'enseignement la climatisation sera supprimée : une conception bioclimatique et une ventilation réfléchie permettront, dans ces bâtiments bien isolés, de contrôler et de maîtriser la température interne.
- Pour les commerces, les bureaux, les bâtiments d'activités, un système performant de rafraîchissement avec ventilation et évaporation permettra une réduction de la consommation du poste Climatisation de 75%.

#### Remarque :

La climatisation fait partie des cinq usages pris en compte par la réglementation thermique 2012 dans le calcul des consommations énergétiques d'un bâtiment. Il est donc fondamental qu'elle soit minimale, voire nulle, afin de respecter les seuils réglementaires.

La climatisation peut être évitée via un certain nombre de mesures. Une conception bioclimatique du bâtiment permet :



- de limiter les apports externes** : une enveloppe isolante permet de bien protéger le bâtiment. L'ensoleillement direct est limité par des brises soleils, des stores extérieurs, des vitrages à très fort facteur solaire.
- de favoriser la ventilation naturelle** : le positionnement des ouvertures permet de favoriser la ventilation traversante, garantissant le renouvellement de l'air.
- de maîtriser les apports internes** : dès lors que les apports externes sont limités, les occupants, les équipements de bureautique ainsi que l'éclairage représentent les principaux apports en chaleur du bâtiment. Une bonne conception du bâtiment permet d'optimiser l'éclairage naturel. En complément, des lampes basses consommations peuvent être utilisées. Éviter la mise en veille des appareils de bureautique permet d'en limiter l'apport thermique.

Les dispositifs listés ci-dessus peuvent être complétés via un **rafraîchissement nocturne** (free-cooling), qui permet d'évacuer la chaleur au cours de la nuit. Le renouvellement d'air est accru.

Enfin, une **forte inertie** du bâtiment est indispensable ; elle permet de stocker la chaleur lors de pics de température dans la journée, et la restitue la nuit. L'inertie peut être valorisée grâce à une **dalle active** : des serpents sont positionnés dans la dalle au moment de sa mise en œuvre et du coulage du béton. Ce système permet un rafraîchissement doux et économique.

#### CALCUL DES RATIOS DE PUISSANCE PAR SCENARIO

Pour chaque poste de consommation énergétique, le ratio de puissance appelée a été calculé de la façon suivante :

- Chauffage** : la puissance appelée pour ce poste est calculée d'après le ratio de consommation calculé précédemment, les Degrés Jours Unifiés et la température minimale de base observée sur le territoire, ainsi que la température intérieure de consigne (en général, 19°C).
- Eau Chaud Sanitaire** : la puissance appelée pour ce poste est calculée d'après le ratio de consommation calculé précédemment et le type de production : instantané, semi-instantané, à accumulation.
- Cuisson** : la puissance appelée pour ce poste est tirée de données Enertech.
- Électricité spécifique** : la puissance appelée pour ce poste est tirée de données Enertech.
- Éclairage** : la puissance appelée pour ce poste est tirée de données Enertech et de documents de formation ADEME sur les bâtiments basse énergie.
- Climatisation** : la puissance appelée pour ce poste est tirée d'une étude réalisée par le Centre Énergétique et Procédés de l'École des Mines de Paris.

#### RESULTATS

##### VECTEURS ENERGETIQUES :

Pour les besoins thermiques, les vecteurs énergétiques [énergie primaire/énergie finale] calculés pour un réseau de chaleur dont le contenu CO<sub>2</sub> du kWh est inférieur à 50 g est de 1,14.

##### RATIOS DE CONSOMMATION DES BATIMENTS

Les ratios de consommations utilisés en fonction du type de bâtiment, par usage et suivant la performance énergétique envisagée sont présentés ci-dessous. Les ratios de puissance sont également présentés.

	Chauffage	ECS	Cuisson	Elec spé	Eclairage	Climatisation	Total
Appartement	20 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	12 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	10 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	17 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	3 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	0 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	63 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>
Commerces	31 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	7 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	3 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	36 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	36 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	23 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	136 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>
Bureaux	22 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	2 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	2 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	58 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	11 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	41 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	136 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>
Hotel	32 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	18 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	61 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	12 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	12 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	21 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	154 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>
Equipements	39 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	10 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	7 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	96 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	21 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	6 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>	179 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>

	Chauffage	ECS	Cuisson	Elec spé	Eclairage	Climatisation	Total
Appartement	11 W/m <sup>2</sup>	4 W/m <sup>2</sup>	29 W/m <sup>2</sup>	3 W/m <sup>2</sup>	6 W/m <sup>2</sup>	0 W/m <sup>2</sup>	53 W/m <sup>2</sup>
Commerces	17 W/m <sup>2</sup>	7 W/m <sup>2</sup>	8 W/m <sup>2</sup>	6 W/m <sup>2</sup>	6 W/m <sup>2</sup>	17 W/m <sup>2</sup>	59 W/m <sup>2</sup>
Bureaux	12 W/m <sup>2</sup>	2 W/m <sup>2</sup>	6 W/m <sup>2</sup>	9 W/m <sup>2</sup>	6 W/m <sup>2</sup>	31 W/m <sup>2</sup>	67 W/m <sup>2</sup>
Hotel	17 W/m <sup>2</sup>	6 W/m <sup>2</sup>	187 W/m <sup>2</sup>	2 W/m <sup>2</sup>	6 W/m <sup>2</sup>	35 W/m <sup>2</sup>	253 W/m <sup>2</sup>
Equipements	21 W/m <sup>2</sup>	9 W/m <sup>2</sup>	21 W/m <sup>2</sup>	15 W/m <sup>2</sup>	6 W/m <sup>2</sup>	6 W/m <sup>2</sup>	78 W/m <sup>2</sup>

##### CALCUL DES RATIOS DE CONSOMMATION DES AUTRES USAGES

Concernant les autres usages, non pris en compte dans la RT2012, le référentiel Energie-Carbone (E+C-) fournit une méthode de calcul : consommation des ascenseurs, des parkings du bâtiment (ventilation et éclairage) et des parties communes.

	Autres usages
Appartement	3 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>
Commerces	1 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>
Bureaux	3 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>
Hotel	3 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>
Equipements	3 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup>



## D. PRESENTATION DE LA REGLEMENTATION THERMIQUE 2012 ET DES LABELS EFFINERGIE

### BATIMENTS CONCERNES ET DATES D'APPLICATION

La RT 2012 s'applique à :

- Tous les bâtiments de bureaux, d'enseignement, d'établissement d'accueil de la petite enfance, faisant l'objet d'une demande de permis de construire ou d'une déclaration préalable à partir du 28 octobre 2011.
- Tous les bâtiments à usage d'habitation situés en zone ANRU, faisant l'objet d'une demande de permis de construire ou d'une déclaration préalable à partir du 28 octobre 2011.
- Toutes les maisons individuelles ou accolées, les bâtiments collectifs d'habitation et foyers jeunes travailleurs et cités universitaires, faisant l'objet d'une demande de permis de construire ou d'une déclaration préalable à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2013.
- Tous les commerces, restaurations, résidences pour personnes âgées ou dépendantes, hôpital, hôtel, établissement sportif, faisant l'objet d'une demande de permis de construire ou d'une déclaration préalable à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2013.

### PRINCIPES GENERAUX ET DEFINITIONS

La réglementation thermique 2012 est avant tout une réglementation d'objectifs et comporte :

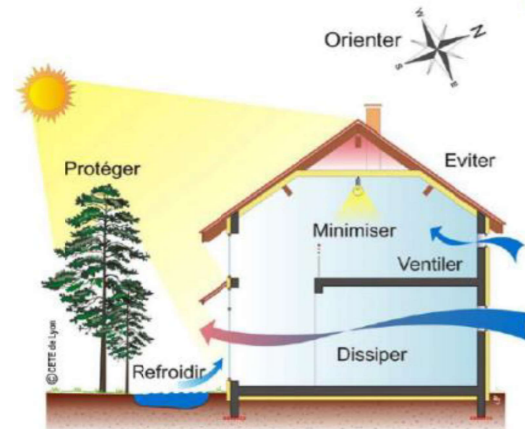
- 3 exigences de résultats : besoin bioclimatique, consommation d'énergie primaire, confort d'été.
- Quelques exigences de moyens, limitées au strict nécessaire, pour refléter la volonté affirmée de faire pénétrer significativement une pratique (affichage des consommations par exemple).

### LES EXIGENCES DE RESULTATS

#### a) Tic : Température Intérieure Conventionnelle

La RT 2012 définit des catégories de bâtiments dans lesquels il est possible d'assurer un bon niveau de confort en été sans avoir à recourir à un système actif de refroidissement. Pour ces bâtiments, la réglementation impose que la température la plus chaude atteinte dans les locaux, au cours d'une séquence de 5 jours très chauds d'été n'excède pas un seuil.

#### b) Bbio : Besoins Bioclimatiques



Les besoins bioclimatiques du bâti – énergie utile pour le chauffage, le refroidissement et l'éclairage – doivent être inférieurs à une valeur seuil,  $B_{bio,max}$ . Cette exigence impose une limitation simultanée du besoin en énergie pour les composantes liées à la conception du bâti (chauffage, refroidissement et éclairage), imposant ainsi son optimisation indépendamment des systèmes énergétiques mis en œuvre.

Source : CETE de Lyon

Cette exigence peut se traduire comme suit :

$$B_{bio} = E_u(\text{chauffage} + \text{refroidissement} + \text{éclairage}) \leq B_{bio,max}$$

La réglementation définit le  $B_{bio,max}$  comme suit :

$$B_{bio,max} = B_{bio,max,moyen} \times (M_{bgéo} + M_{balt} + M_{bsurf})$$

Avec :

- $B_{bio,max,moyen}$  : valeur moyenne du  $B_{bio,max}$  qui varie selon la typologie de bâtiment et selon la catégorie CE1/CE2
- $M_{bgéo}$  : coefficient de modulation selon la localisation géographique
- $M_{balt}$  : coefficient de modulation selon l'altitude
- $M_{bsurf}$  : pour les maisons individuelles, les bâtiments de commerce et les établissements sportifs, coefficient de modulation selon la surface

Ces coefficients sont présentés de façon plus détaillée au paragraphe d).

#### c) Cep : Consommation conventionnelle d'énergie

L'exigence de consommation conventionnelle maximale d'énergie primaire se traduit par le coefficient  $Cep_{max}$ , portant sur les consommations de chauffage, de refroidissement, d'éclairage, de production d'eau chaude sanitaire et d'auxiliaires (pompes et ventilateurs) ; déduction faite de toute la production d'électricité à demeure. Conformément à l'article 4 de la loi Grenelle 1, la valeur du  $Cep_{max}$  s'élève à 50 kWh/(m<sup>2</sup>.an) d'énergie primaire, modulé selon la localisation géographique, l'altitude, le type d'usage du bâtiment, la surface moyenne des logements et les émissions de gaz à effet de serre pour le bois énergie et les réseaux de chaleur les moins émetteurs de CO<sub>2</sub>. Cette exigence impose, en plus de l'optimisation du bâti exprimée par le Bbio, le recours à des équipements énergétiques performants, à haut rendement.

Cette exigence peut se traduire comme suit :

$$Cep = E_p(\text{chauffage} + \text{refroidissement} + \text{éclairage} + \text{ECS} + \text{auxiliaires}) \leq Cep_{max}$$

La réglementation définit le  $Cep_{max}$  comme suit :

$$Cep_{max} = 50 \times M_{ctype} \times (M_{cgéo} + M_{calt} + M_{csurf} + M_{cGES})$$

Avec :

- $M_{ctype}$  : coefficient de modulation selon la typologie de bâtiment et sa catégorie CE1/CE2
- $M_{cgéo}$  : coefficient de modulation selon la localisation géographique
- $M_{calt}$  : coefficient de modulation selon l'altitude
- $M_{csurf}$  : pour les maisons individuelles, accolées ou non, les bâtiments collectifs d'habitation, les bâtiments de commerce et les établissements sportifs, coefficient de modulation selon la surface
- $M_{cGES}$  : coefficient de modulation selon les émissions de gaz à effet de serre des énergies utilisées.

Ces coefficients sont présentés de façon plus détaillée au paragraphe d).

#### Cas particulier des logements collectifs

Au vu de :

- Une équation investissement / économies d'énergie moins favorable dans le logement collectif que dans la maison individuelle ;
- Une filière industrielle qui doit s'adapter (notamment proposer des pompes à chaleur adaptées au collectif, performantes et à coût maîtrisé)

Pour ne pas pénaliser le logement collectif ; une consommation supplémentaire de 7,5 kWh<sub>ep</sub>/(m<sup>2</sup>.an) est autorisée pour les bâtiments dont le permis de construire est déposé avant le 31 décembre 2014.

Cela se traduit comme suit :

$$Cep_{max} = 57,5 \times M_{ctype} \times (M_{cgéo} + M_{calt} + M_{csurf} + M_{cGES})$$

*Cas particulier de la production d'électricité sur les logements*

Pour les bâtiments de logements – individuels et collectifs – ayant une production d'électricité à demeure, une consommation supplémentaire est autorisée.

$$Cep \leq Cep_{max} + 12kWh_{ep}/(m^2 \cdot an)$$

**d) Les éléments de modulation**

*Catégories CE1 et CE2*

En général, un local est de catégorie CE1. Certains locaux du fait de leur usage et/ou de leur exposition au bruit combiné(s) à la contrainte climatique sont de catégorie CE2, munis d'un système de refroidissement. Par exemple :

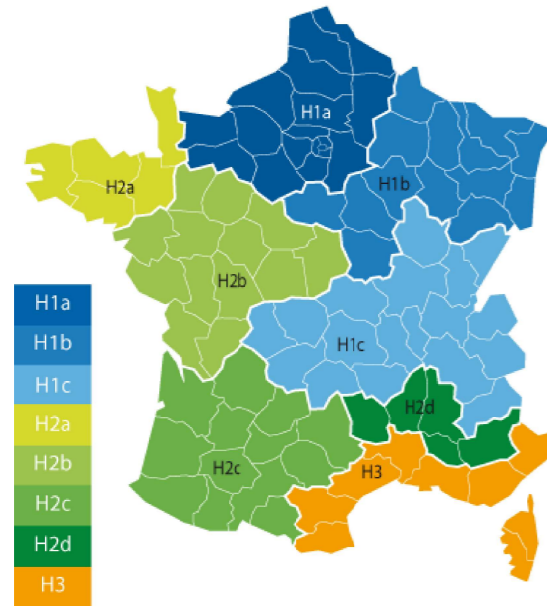
- Locaux situés dans un bâtiment de bureaux dont les baies ne sont pas ouvrables en application d'autres réglementations : par exemple, immeuble de grande hauteur ;
- Locaux situés dans un bâtiment de bureaux exposé au bruit ;
- Locaux situés dans un bâtiment d'enseignement en zone méditerranéenne et exposés au bruit ;
- Locaux à usage d'habitation situés en zone climatique méditerranéenne et exposés au bruit ;

Pour les locaux CE2, la Réglementation Thermique considère que les locaux remplissant ces exigences ont « besoin » d'être climatisés. Le niveau d'exigence fixé tient donc compte de consommations de refroidissement.

*M<sub>ctype</sub>*

Ce coefficient tient compte de la typologie du bâtiment et de sa catégorie CE1/CE2. En effet, selon l'activité du bâtiment, il sera plus ou moins énergivore, idem selon sa catégorie. Par exemple, le coefficient affecté à un bâtiment de restauration ouvert 6 jours sur 7 pour 2 repas par jour est de 6 ; celui d'un établissement sportif scolaire de 1,1. Il a donc été considéré que la consommation des cinq usages réglementaires est 6 fois plus élevée pour un restaurant qu'un gymnase scolaire : le restaurant est en effet plus occupé, ses besoins de chauffage, d'eau chaude sanitaire, de rafraîchissement et d'éclairage sont plus importants qu'un gymnase peu occupé et peu chauffé.

*M<sub>bgéo</sub> et M<sub>cgéo</sub>*



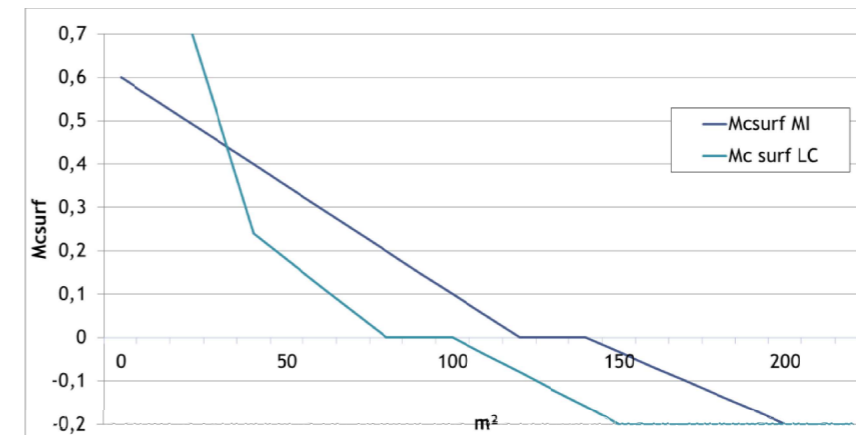
Ces coefficients tiennent compte de l'influence de la position géographique sur la consommation énergétique d'un bâtiment. Un bâtiment au nord de la France sera donc autorisé à consommer plus qu'un bâtiment similaire au sud.

8 zones climatiques – H1a, H1b, H1c, H2a, H2b, H2c, H2d, H3 – sont définies.

*M<sub>balt</sub> et M<sub>calt</sub>*

Ces coefficients tiennent compte de l'altitude. Un bâtiment à 1 500 m d'altitude sera donc autorisé à consommer plus qu'un bâtiment similaire à 500 m d'altitude ; il aura en effet davantage besoin de se chauffer.

*M<sub>bsurf</sub> et M<sub>csurf</sub>*



Pour ne pas pénaliser les logements de petite surface, l'exigence est modulée selon la surface du logement. Les établissements sportifs et les commerces de grande taille sont moins autorisés à consommer par m² que des bâtiments de même type de plus petite surface.

la taille sont pris égaux à 0.

*M<sub>cGES</sub>*

Le coefficient M<sub>cGES</sub> tend à favoriser les énergies les moins émettrices de CO<sub>2</sub> en accordant une consommation supplémentaire :

- Aux **maisons individuelles ou accolées et bâtiments collectifs d'habitation, aux bâtiments d'enseignement, aux établissements sportifs, aux bâtiments d'habitation communautaire** pour lesquelles le **bois énergie** est l'énergie principale de chauffage et/ou d'ECS
- Aux **tous les types de bâtiments** alimentés par un réseau de chaleur ou de froid, en fonction du **contenu CO<sub>2</sub> du kWh** du réseau

Quelques exemples :

	M <sub>cGES</sub>			
	≤ 50 g/kWh	50 à 100 g/kWh	100 à 150 g/kWh	≥ 150 g/kWh
Maison alimentée par du bois énergie	0,3			
École alimentée par du bois énergie	0,1			
Bureau raccordé à un réseau de froid dont le contenu CO <sub>2</sub>	0,3	0,2	0,1	0
Commerce raccordé à un réseau de chaleur dont le contenu CO <sub>2</sub>	0,15	0,1	0,05	0

Une maison alimentée par du bois énergie a un seuil de consommation réglementaire 30 % plus élevé qu'une maison similaire alimenté par des énergies fossiles.

**LES EXIGENCES DE MOYENS**

Pour **tous les types de bâtiments** :

- Traitement des ponts thermiques significatifs ;
- **Comptage d'énergie** par usage et affichage différencié en logement et en tertiaire
- Dispositifs de régulation d'éclairage artificiel parties communes + parkings

Pour les **bâtiments d'habitation** :

- Respect d'un taux minimal de vitrages de 1/6 de la surface habitable en logement
- Traitement de la perméabilité à l'air des logements, avec respect d'une perméabilité à l'air maximale

En particulier, pour les **maisons individuelles**, le maître d'ouvrage doit opter pour une des solutions suivantes :

- Produire de l'eau chaude à partir d'un système **solaire thermique** a minima 2 m<sup>2</sup> ;
- Être raccordé par un **réseau de chaleur alimenté à plus de 50% par une ENR&R** ;
- Démontrer que la contribution des ENR au Cep du bâtiment est supérieure ou égale à 5 kWhep/(m<sup>2</sup>.an) ;
- Produire l'ECS via un **chauffe-eau thermodynamique** dont le coefficient de performance est au moins 2 ;
- Recourir à une production de chauffage et/ou d'ECS par une chaudière à **micro-cogénération**, dont le rendement thermique à pleine charge est supérieur à 90% et le rendement électrique supérieur à 10%.




### LES LABELS EFFINERGIE

Le label Effinergie reprend les exigences de la RT2012 en les renforçant.

Le Label Effinergie+, qui existe depuis 2012, est un label d'application volontaire qui renforce les seuils sur les coefficients Bbio<sub>max</sub> et Cep<sub>max</sub>. Le Bbio<sub>max</sub> est ainsi réduit de 20%. Le Cep<sub>max</sub> est réduit de 20% pour les bâtiments à usage d'habitation, d'enseignement, d'accueil de la petite enfance ou EHPAD et 40% pour les autres.

Le label renforce également les exigences de moyen : perméabilité à l'air des réseaux, information des usagers, etc.

En 2017, Effinergie a lancé 3 nouveaux labels afin d'accompagner la future réglementation thermique prévue pour 2018 ou 2020 (BBC2017, BEPOS2017 et BEPOS+2017). Ces labels reprennent les exigences du label Effinergie+ (en intégrant un critère de compacité pour et intègre des éléments supplémentaires issus de l'expérimentation Energie Carbone (voir Annexe E). Le tableau page suivante résume ces exigences.

	Maison individuelle	Logement collectif	Tertiaire	
Pré-requis	 RT 2012 et E+C-, a minima Energie 2 – Carbone 1			
	 RT 2012 et E+C-, a minima Energie 3 – Carbone 1 et bâtiment producteur d'énergie renouvelable			
	 RT 2012 et E+C-, a minima Energie 4 – Carbone 1 et bâtiment producteur d'énergie renouvelable			
Exigences communes	Bbio <sub>max</sub>	Bbio <sub>max</sub> – 20%	Modulation du Bbio <sub>max</sub>	Bbio <sub>max</sub> – 20%
	Cep <sub>max</sub>	Cep <sub>max</sub> – 20%	Cep <sub>max</sub> – 20% <sup>1</sup>	Cep <sub>max</sub> – 40%
	Perméabilité à l'air du bâti	Q4Pa <sub>surf</sub> ≤ 0,4 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> <b>Ou</b> formation des ouvriers <b>Ou</b> démarche qualité	Q4Pa <sub>surf</sub> ≤ 0,8 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> <b>Ou</b> ≤ 1 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> suivant le type de mesure <b>Ou</b> démarche qualité	Q4Pa <sub>surf</sub> inférieur à la valeur prise dans l'étude thermique <b>Ou</b> démarche qualité
	Contrôle des réseaux de ventilation	PROMEVENT Pré-inspection <b>et</b> Vérifications fonctionnelles <b>et</b> Mesures fonctionnelles aux bouches	PROMEVENT Pré-inspection <b>et</b> Vérifications fonctionnelles <b>et</b> Mesures fonctionnelles aux bouches <b>et</b> Mesure d'étanchéité à l'air des réseaux aérauliques ou démarche qualité	Protocole effinergie Contrôle visuel <b>et</b> Vérification mesures fonctionnelles aux bouches <b>et</b> Mesure d'étanchéité à l'air des réseaux aérauliques ou démarche qualité
	Qualification des bureaux d'étude	Qualifications OPQIBI 1331 et 1332 "Etudes Thermiques Réglementaires" <b>ou</b> , Certification NF Etudes Thermiques <b>ou</b> , Certification BE NR d'l.cert option "Etudes thermiques réglementaires" <b>ou</b> , Référents CERTIVEA.		
	Commissionnement	Nécessité de mise en place d'un commissionnement		
	Mobilité	Utilisation de l'outil <a href="#">effinergie écomobilité</a>		
	Information aux usagers	Fourniture du guide effinergie et affichage		