RENOUVELLEMENT URBAIN DU SITE BODELIO

VILLE DE LORIENT

ÉTUDE DE FAISABILITÉ SUR LE POTENTIEL DE DÉVELOPPEMENT EN ÉNERGIES RENOUVELABLES

DIRECTION REGIONALE OUEST
8 avenue des Thébaudières - CS 20232
44815 SAINT HERBLAIN CEDEX
Tel. : 02 28 09 18 00

DATE : DECEMBRE 2018

SOMMAIRE

PREAMBULE 3

1. NOTE SUR LES UNITES DE MESURE 4

2. BILAN ENERGETIQUE 7

2.1. PREAMBULE 7
2.2. REGLEMENTATION (RT2012, RE 2018) ET LABELS ASSOCIES 7
2.2.1. NIVEAU RT 2012 7
2.2.2. NIVEAU RE 2018 8
2.2.3. LABEL BBC EFFINERGIE 2017 10
2.2.4. LABELS BEPOS & BEPOS+ EFFINERGIE 2017 10
2.3. ÉVALUATION DES BESOINS 11
2.3.1. HYPOTHESES 11
2.3.2. SYNTHESE 14

3. SOLUTION TECHNIQUES : CHAUFFAGE, ECS, VENTILATION, PRODUCTION D'ENERGIE 15

3.1. EOLIEN 15
3.2. SOLAIRE 18
3.2.1. SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE 18
3.2.2. SOLAIRE THERMIQUE 21
3.2.3. SOLUTIONS SOLAIRES « HYBRIDES » 22
3.3. BIOMASSE ET DECHETS 23
3.3.1. BOIS ENERGIE 23
3.3.2. METHANISATION 26
3.3.3. VALORISATION ENERGETIQUE DES DECHETS 27
3.4. GEOTHERMIE 28
3.5. RECUPERATION DE CHALEUR 30
3.5.1. RECUPERATION DE CHALEUR DES EAUX USEES 30
3.5.2. RECUPERATION DE CHALEUR DES EAUX GRISES 31
3.6. MACHINES A ADSORPTION / ABSORPTION 32
3.7. AEROTHERMIE ET PRODUCTION D'EAU CHAUDE THERMODYNAMIQUE (ELECTRIQUE) 33
3.8. COGENERATION 34
3.9. SOLUTIONS POUR LIMITER LES CONSOMMATIONS LIEES A LA VENTILATION 35
3.10. SYNTHESE 36

4. SCENARII 37

5. CONCLUSION 39

PREAMBULE

La présente étude est réalisée dans le cadre de l'article L. 128-4 du Code de l'urbanisme précisant que :

« Toute action ou opération d'aménagement telle que définie à l'article L. 300-1 et faisant l'objet d'une étude d'impact doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, en particulier sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération. »

Elle doit permettre de :

- Déterminer les besoins énergétiques du projet : consommations dites réglementaires et consommations d'électricité dite spécifique ;
- Déterminer les potentiels en énergies renouvelables de la zone Bodelio;
- Donner au Maître d'Ouvrage et futurs acquéreurs les facteurs clés à prendre en considération avant de choisir une énergie ou une autre ;
- Proposer des scenarii de développement d'énergies renouvelables permettant de compenser tout ou partie des besoins en énergie primaire (notion de bâtiments à énergie positive).

1.
NOTE SUR LES UNITES DE MESURE

Il existe plusieurs unités pour comptabiliser les consommations d'énergie. La première possibilité consiste à les exprimer avec les unités classiques : le kWh PCS (pouvoir calorifique supérieur) pour le gaz, le kWh pour l'électricité et le litre pour le fioul. Il est alors difficile de comparer les quantités consommées entre le gaz, l'électricité et le fioul.

Pour y remédier, l'arrêté du 15 Septembre 2006 relatif au Diagnostic de Performance Energétique définit deux autres unités :

- **L'Energie Finale :** il s'agit de l'énergie utilisée dans les bâtiments. Elle s'exprime en kWhEF.

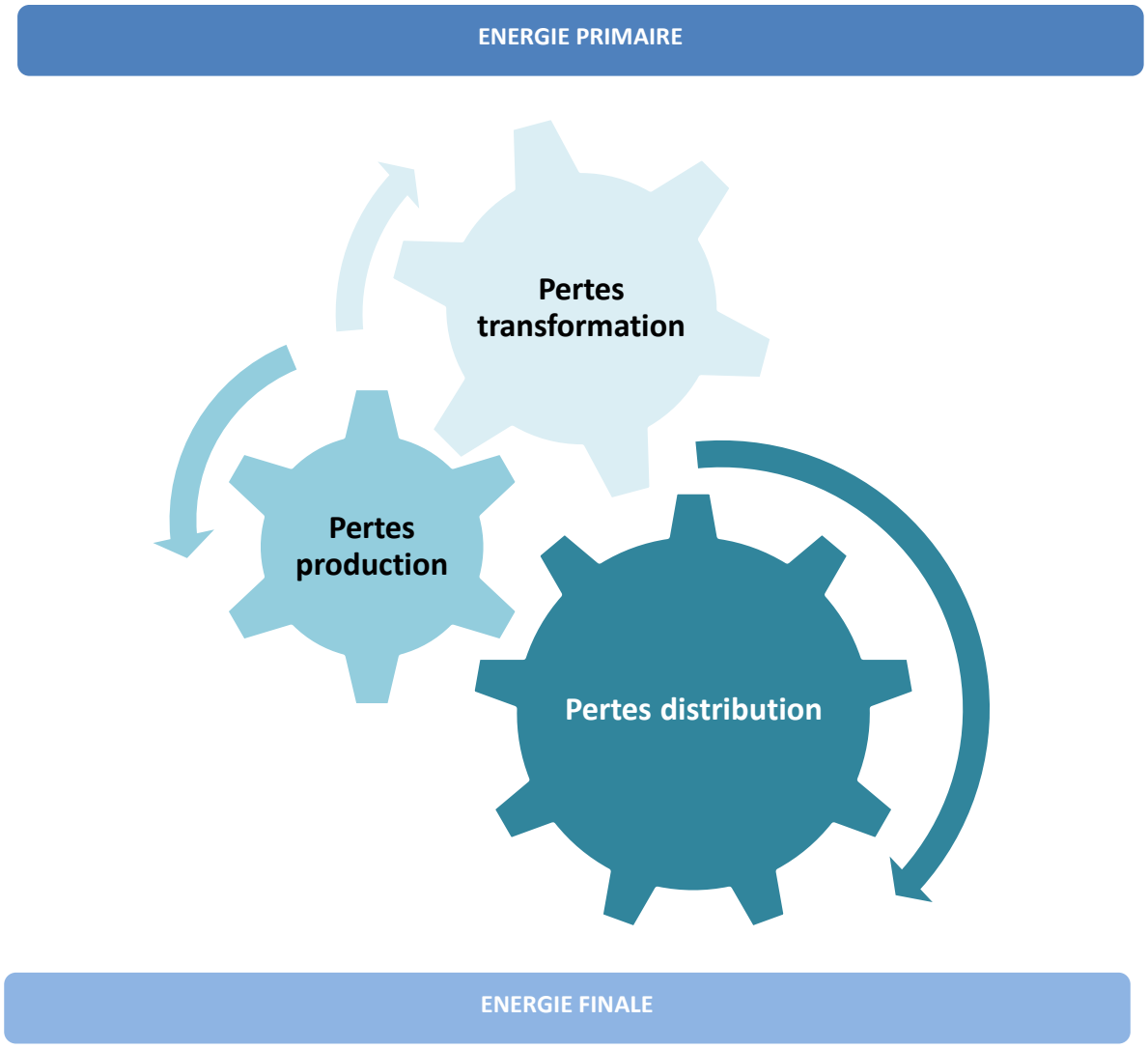
Tableau de conversion issu de l'arrêté du 15.09.2006		
1 kWh PCS de gaz	=	0,9 kWh_{EF}
1 kWh électrique	=	1 kWh_{EF}
1 litre de fioul	=	9,97 kWh_{EF}

- **L'Energie Primaire** : il s'agit de l'énergie finale à laquelle est ajouté l'énergie nécessaire à l'extraction, la production, le stockage et la distribution de l'énergie. Seule l'électricité a un coefficient de conversion différent de 1.

Tableau de conversion issu de l'arrêté du 15.09.2006	
1 kWh_{EF} = 2,58 kWh_{EP}	pour l'électricité
1 kWh_{EF} = 1 kWh_{EP}	pour les autres énergies

Les consommations énergétiques sont exprimées en kWhEP dans la Réglementation Thermique 2012 pour prendre en compte l'éloignement des sites de production d'électricité (centrales, etc.) par rapport aux bâtiments.

Le schéma page suivante présente les différences entre l'énergie primaire et l'énergie finale.


ENERGIE PRIMAIRE
Pertes transformation
Pertes production
Pertes distribution
ENERGIE FINALE

L'arrêté du 15 Septembre 2006 définit également des ratios de conversion de l'énergie consommée en émissions de gaz à effet de serre. Ces dernières s'expriment en kg équivalent de CO2 émis (kg eq CO2).

Il existe plusieurs Gaz à Effet de Serre (GES) dont l'impact sur le climat est différent. Afin de pouvoir comparer les différents gaz, on utilise une unité commune : l'équivalent CO2.

Pour cela, il est évalué pour chaque gaz le Pouvoir de Réchauffement Global (PRG). Il s'agit de l'unité de mesure de l'effet d'un GES sur le réchauffement climatique par rapport à celui du CO2 (PRG du CO2 = 1) sur une période de 100 ans. Par exemple, le méthane a un PRG de 23, ce qui signifie qu'un kg de méthane produira un réchauffement de l'atmosphère équivalent à 23 kg de CO2.

Tableau de conversion issu de l'arrêté du 15.09.2006		
1 kWh_{EF}	=	0,234 kg eq CO_2 pour le gaz
1 kWh_{EF}	=	0,084 kg eq CO_2 pour l'électricité
1 kWh_{EF}	=	0,300 kg eq CO_2 pour le fioul
1 kWh_{EF}	=	0,0013 kg eq CO_2 pour le bois

Nota :

Le ratio de 0,084 kg équivalent CO2 pour l'électricité par kWh électrique est faible. Il est dû à la grande part du nucléaire dans la production d'électricité française. D'autres approches existent pour quantifier le contenu en équivalent CO2 du kWh électrique. Par exemple, lors de la mise en place d'une production d'électricité par énergies renouvelables, les « émissions en équivalent CO2 évitées » peuvent être calculées en partant du principe que les kWh produits se substituent à des kWh produits par centrale gaz ou charbon. Le ratio à considérer est alors de 0,450 à 0,700 kg d'équivalent CO2. Il varie en fonction des usages (chauffage électrique, éclairage, etc.).

2. BILAN ENERGETIQUE

2.1. PREAMBULE

Actuellement, les projets réalisés répondent aux obligations de la RT 2012. Pour aller plus loin, il peut également être visé les labels suivants :

- EFFINERGIE+
- BEPOS EFFINERGIE 2013

Lorsque le projet d'aménagement de la zone de Bodelio avancera, une nouvelle réglementation thermique devrait voir le jour. Elle se basera sur la Réglementation Environnementale 2018 ou RE 2018. Pour aller plus loin, les labels suivants pourront également être visés :

- BBC EFFINERGIE 2017
- BEPOS EFFINERGIE 2017
- BEPOS+ EFFINERGIE 2017

La suite présente la future RE 2018 et les labels associés.

2.2. REGLEMENTATION (RT2012, RE 2018) ET LABELS ASSOCIES

2.2.1. NIVEAU RT 2012

La RT 2012 (Réglementation Thermique) est l'outil réglementaire principal pour cadrer la conception des bâtiments et s'assurer de leur sobriété énergétique. L'objectif visé par la RT 2012 est d'atteindre des consommations équivalentes à celles de bâtiments BBC construits sous la Réglementation Thermique 2005.

RÉGLEMENTATION THERMIQUE 2012

La RT 2012 définit 3 exigences de performance :

- Une **performance bioclimatique** traduite par le coefficient Bbio prenant en compte uniquement les consommations de chauffage, refroidissement et d'éclairage. Il s'agit d'un coefficient sans dimension. La détermination du coefficient maximum autorisé (Bbiomax) prend en compte la localisation géographique, l'altitude et la surface du bâtiment. Pour faire diminuer le coefficient Bbio, il est possible de favoriser une conception bioclimatique (conception qui favorise l'exposition sud et limite l'exposition nord des surfaces vitrées), d'augmenter l'épaisseur d'isolant du bâtiment et de traiter les efficacement les ponts thermiques.

- Une **consommation maximum** pour les postes chauffage, refroidissement, eau chaude, éclairage et auxiliaires traduites par le coefficient CEP (Consommation d'Energie Primaire). La détermination de la consommation maximale d'énergie primaire autorisée (CEPmax) prend en compte le type de bâtiment et ses usages, la localisation géographique, l'altitude, les émissions de gaz à effet de serre des énergies utilisées et la surface du bâtiment. Il est possible de faire diminuer le coefficient CEP en optimisant le coefficient Bbio, en privilégiant des systèmes de production d'énergie à hauts rendements et en ayant recours aux énergies renouvelables.

- Une **performance de confort d'été** en limitant la température intérieure maximum atteinte.

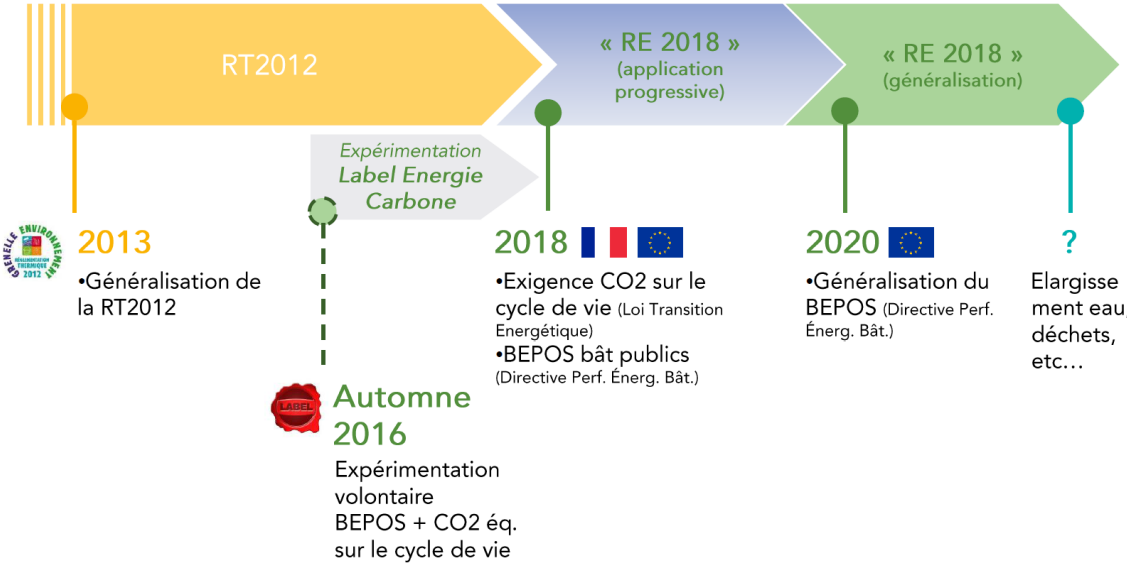
Concernant la mise en œuvre d'énergies renouvelables, la RT 2012 impose <u>pour l'habitat individuel ou dit accolé</u> :

- Soit d'être équipé d'un système de production d'eau chaude sanitaire solaire,
- Soit d'être raccordé à un réseau de chaleur alimenté à minima par 50 % d'énergie renouvelable,
- Soit démontrer que le bâtiment utilise 5 kWhEP/m²/an d'origine renouvelable,
- Soit en alternative à ces 3 solutions :
  - Posséder une production d'eau chaude sanitaire thermodynamique,
  - Ou recourir à une production de chauffage et/ou eau chaude sanitaire par chaudière à micro-cogénération à combustible liquide ou gazeux.

<u>Pour les autres bâtiments</u>, l'utilisation d'énergies renouvelables n'est pas directement imposée. Cependant, il est recommandé d'envisager d'en imposer une part plus ou moins importante en fonction de l'ambition du Maître d'Ouvrage.

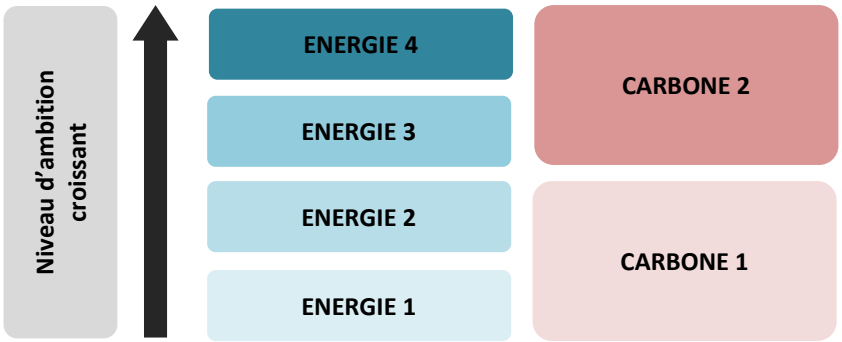
2.2.2. NIVEAU RE 2018

La Réglementation Environnementale 2018 ou RE 2018 devrait se substituer à la RT 2012 à l'horizon de 2020 (probablement fin 2020). Le calendrier de mise en œuvre respecte une phase d'expérimentation avant une généralisation progressive.



Source GRDF

Elle se reposera sur l'obtention de niveau de labels Energie et Carbone avec un socle réglementaire et des niveaux d'ambition renforcés.



Les modalités détaillées d'évaluation de ces niveaux restent à préciser mais globalement il peut être signalé que :

- Les niveaux d'Énergie 1 et 2 correspondront à une amélioration de la RT 2012 sans pour autant être en rupture forte,
- Le niveau Énergie 3 nécessitera un effort significatif et un recours plus important aux énergies renouvelables ;
- Le niveau Énergie 4 sera très ambitieux et devrait tendre vers une compensation totale des consommations d'énergie ;
- Les niveaux Carbone 1 et 2 sont plus difficiles à positionner étant donné le peu de retours d'expérience en termes d'évaluation de projets.

2.2.3. LABEL BBC EFFINERGIE 2017

Pour obtenir le label BBC Effinergie 2017, le projet doit au préalable être conforme à la Réglementation thermique 2012 et aux exigences minimales liées au référentiel E+C- définies ci-dessous :

- Un niveau Énergie a minima égal à 2,
- Un niveau Carbone, a minima égal à 1.

2.2.4. LABELS BEPOS & BEPOS+ EFFINERGIE 2017

Pour obtenir le label BEPOS Effinergie 2017, le projet doit au préalable être conforme à la Réglementation thermique 2012 (**avec une consommation réduite d'au moins 20%**) et aux exigences minimales liées au référentiel E+C- définies ci-dessous :

- Un niveau Énergie a minima égal à 3,
- Un niveau Carbone, a minima égal à 1.

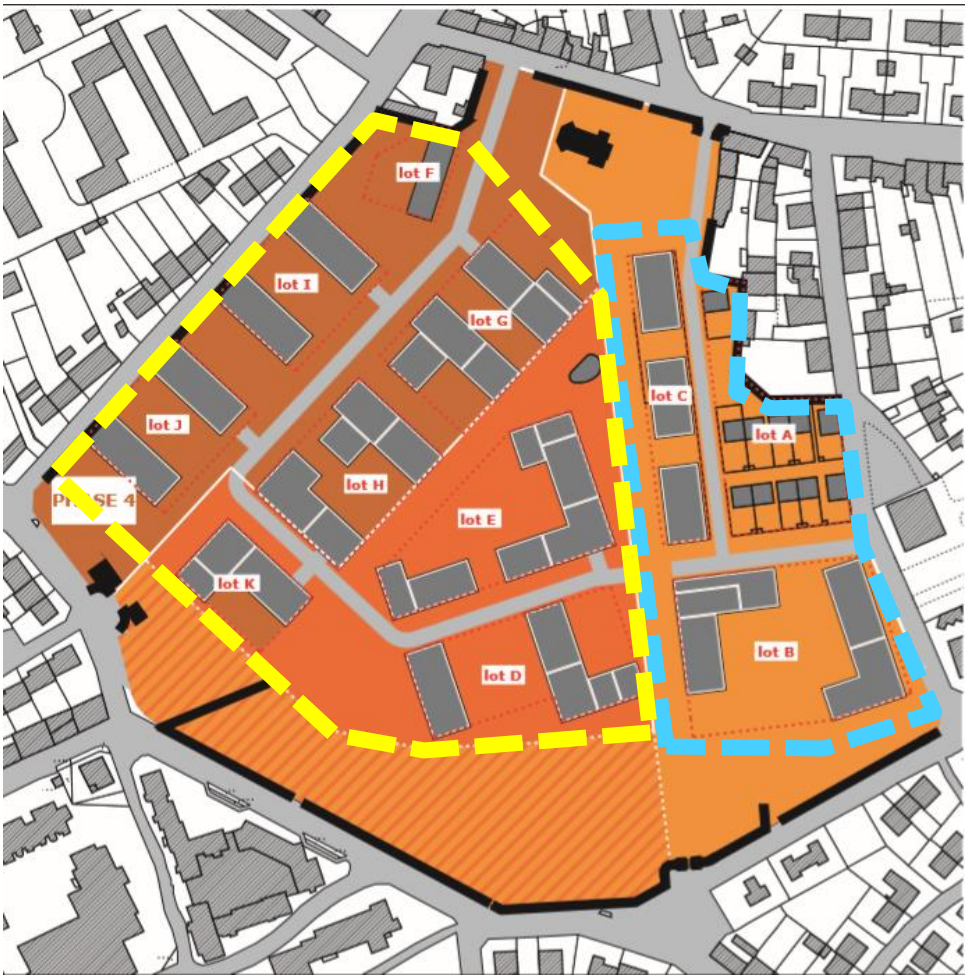
Pour obtenir le label BEPOS+ Effinergie 2017, le projet doit au préalable être conforme à la Réglementation thermique 2012 et aux exigences minimales liées au référentiel E+C- définies ci-dessous :

- Un niveau Énergie a minima égal à 4,
- Un niveau Carbone, a minima égal à 1.

2.3. ÉVALUATION DES BESOINS

2.3.1. HYPOTHESES

Il est proposé de viser le niveau E2C1 pour les premiers ilots aménagés (A, B et C), et E3C1 pour ceux prévus par la suite.



ZONE E2C1

ZONE E3C1

Nota important :

Les tableaux ci-après présentent :

- Les hypothèses de consommations énergétiques pour une maison individuelle, un logement collectif et une zone d'activité en distinguant le niveau E2C1 du niveau E3C1,
- Les hypothèses de consommation d'électricité spécifique,
- Les hypothèses de consommations liées à l'usage d'un véhicule électrique avec :
    - En moyenne, 1 véhicule par logement parcourant une moyenne de 5000 km/an (base de 15 kWh/100km)
    - En moyenne, 1 véhicule pour 250 m² de bâtiment tertiaire parcourant une moyenne de 5000 km/an (base de 15 kWh/100km).

Il est à noter que dans le cadre d'un projet E3C1, une partie important des consommations de chauffage et d'eau chaude sanitaire doivent être produite par une énergie renouvelable.

Hypothèses du bilan énergétique maison individuelle E2	
Poste	**Consommation kWh/m²/an**
Poste 1 : besoins réglementaires	45
- Chauffage	20
- Eau chaude sanitaire	10
- Eclairage	10
- Auxiliaire chauffage/eau chaude	5
Poste 2 : électricité spécifique (électroménagers, prises de courant) - exprimée en kWhep	70
Poste 3 : véhicule électrique - exprimée en kWhep	19
Total	134

Hypothèses du bilan énergétique logement collectif E2	
Poste	**Consommation kWh/m²/an**
Poste 1 : besoins réglementaires	50
- Chauffage	23
- Eau chaude sanitaire	12
- Eclairage	10
- Auxiliaire chauffage/eau chaude	5
Poste 2 : électricité spécifique (électroménagers, prises de courant) - exprimée en kWhep	70
Poste 3 : véhicule électrique - exprimée en kWhep	30
Total	150

Hypothèses du bilan énergétique activité E2	
Poste	**Consommation kWh/m²/an**
Poste 1 : besoins réglementaires	36
- Chauffage	13
- Eau chaude sanitaire	8
- Eclairage	10
- Auxiliaire chauffage/eau chaude	5
Poste 2 : électricité spécifique - exprimée en kWhep	100
Poste 3 : véhicule électrique - exprimée en kWhep	8
Total	144

Hypothèses du bilan énergétique maison individuelle E3	
Poste	**Consommation kWh/m²/an**
Poste 1 : besoins réglementaires	38.3
- Chauffage	17
- Eau chaude sanitaire	9
- Eclairage	9
- Auxiliaire chauffage/eau chaude	4
Poste 2 : électricité spécifique (électroménagers, prises de courant) - exprimée en kWhep	70
Poste 3 : véhicule électrique - exprimée en kWhep	19
Total	127.3

Hypothèses du bilan énergétique logement collectif E3	
Poste	**Consommation kWh/m²/an**
Poste 1 : besoins réglementaires	42.5
- Chauffage	20
- Eau chaude sanitaire	10
- Eclairage	9
- Auxiliaire chauffage/eau chaude	4
Poste 2 : électricité spécifique (électroménagers, prises de courant) - exprimée en kWhep	70
Poste 3 : véhicule électrique - exprimée en kWhep	30
Total	142.5

Hypothèses du bilan énergétique activité E3	
Poste	**Consommation kWh/m²/an**
Poste 1 : besoins réglementaires	30.6
- Chauffage	11
- Eau chaude sanitaire	7
- Eclairage	9
- Auxiliaire chauffage/eau chaude	4
Poste 2 : électricité spécifique - exprimée en kWhep	100
Poste 3 : véhicule électrique - exprimée en kWhep	8
Total	138.6

2.3.2. SYNTHESE

Sur la base des hypothèses proposées ci-avant, le bilan énergétique du projet a été calculé et est présenté ci-après :

Lots	Niveau de performance Energie	Surface activité m²	Maisons individuelles et intermédiaires m²	Logements collectifs m²	SDP m²	Nombre de niveaux	Surface de toiture	Poste 1 : besoins réglementaires MWh/an					Poste 2 : électricité spécifique (électroménagers, prises de courant) MWhep/an	Poste 3 : véhicule électrique MWhep/an	Total MWh/an (consommation électricité exprimée en Energie Primaire)
								Chauffage	Eau Chaude	Eclairage	Auxiliaire	Total			
A	E2C1		1500		1500	2	750	30	15	15	30	90	105	29	**224**
B1	E2C1			4000	4000	5	800	92	92	40	92	316	280	120	**716**
B2	E2C1			5200	5200	5	1040	120	120	52	120	411	364	156	**931**
C	E2C1		3500		3500	4	875	70	35	35	70	210	245	67	**522**
Tertiaire Phase 1	E2C2	500			500	1	nc	7	4	5	7	22	50	4	**76**
D1	E3C1			4500	4500	7	643	88	46	38	19	191	315	135	**641**
D2	E3C1			2300	2300	6	383	45	23	20	10	98	161	69	**328**
E1	E3C1			7400	7400	10	740	145	75	63	31	315	518	222	**1055**
E2	E3C1			3000	3000	6	500	59	31	26	13	128	210	90	**428**
F	E3C1		950		950	4	238	16	8	8	4	36	67	18	**121**
G1	E3C1			4000	4000	6	667	78	41	34	17	170	280	120	**570**
G2	E3C1			3500	3500	6	583	68	36	30	15	149	245	105	**499**
H1	E3C1			2500	2500	6	417	49	26	21	11	106	175	75	**356**
H2	E3C1			3500	3500	6	583	68	36	30	15	149	245	105	**499**
I	E3C1		3500		3500	4	875	60	30	30	15	134	245	67	**445**
J	E3C1			3500	3500	4	875	68	36	30	15	149	245	105	**499**
K	E3C1			3000	3000	4	750	59	31	26	13	128	210	90	**428**
Tertiaire Phase 2	E3C2	500			500	1	nc	1	3	4	2	10	50	4	**64**
Total		**1000**	**9450**	**46400**	**56850**		**10719**	**1122**	**686**	**505**	**497**	**2810**	**4010**	**1580**	**8399**

3.SOLUTION TECHNIQUES : CHAUFFAGE, ECS, VENTILATION, PRODUCTION D'ENERGIE

3.1. EOLIEN

Le principe

L'objectif est de convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique puis en énergie électrique. Très schématiquement, une éolienne se compose d'un mât, d'un rotor équipé de pales et d'une génératrice produisant l'électricité. On distingue 2 catégories d'éoliennes :

- Le petit éolien : puissances de quelques kW,
- L'éolien industriel : puissances en MW.

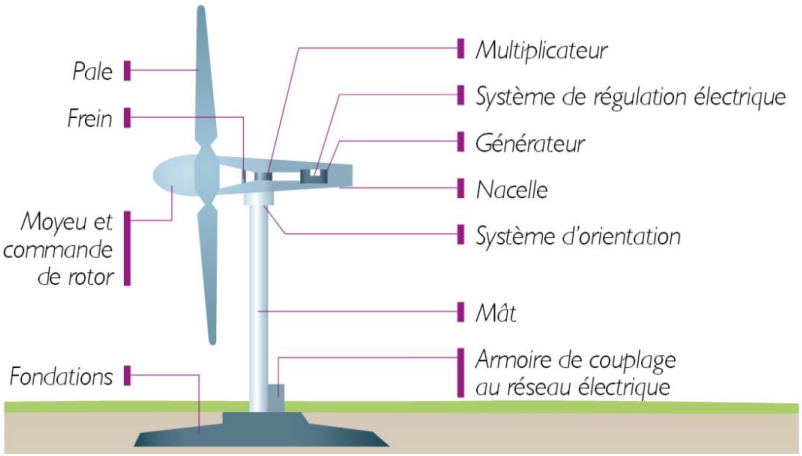
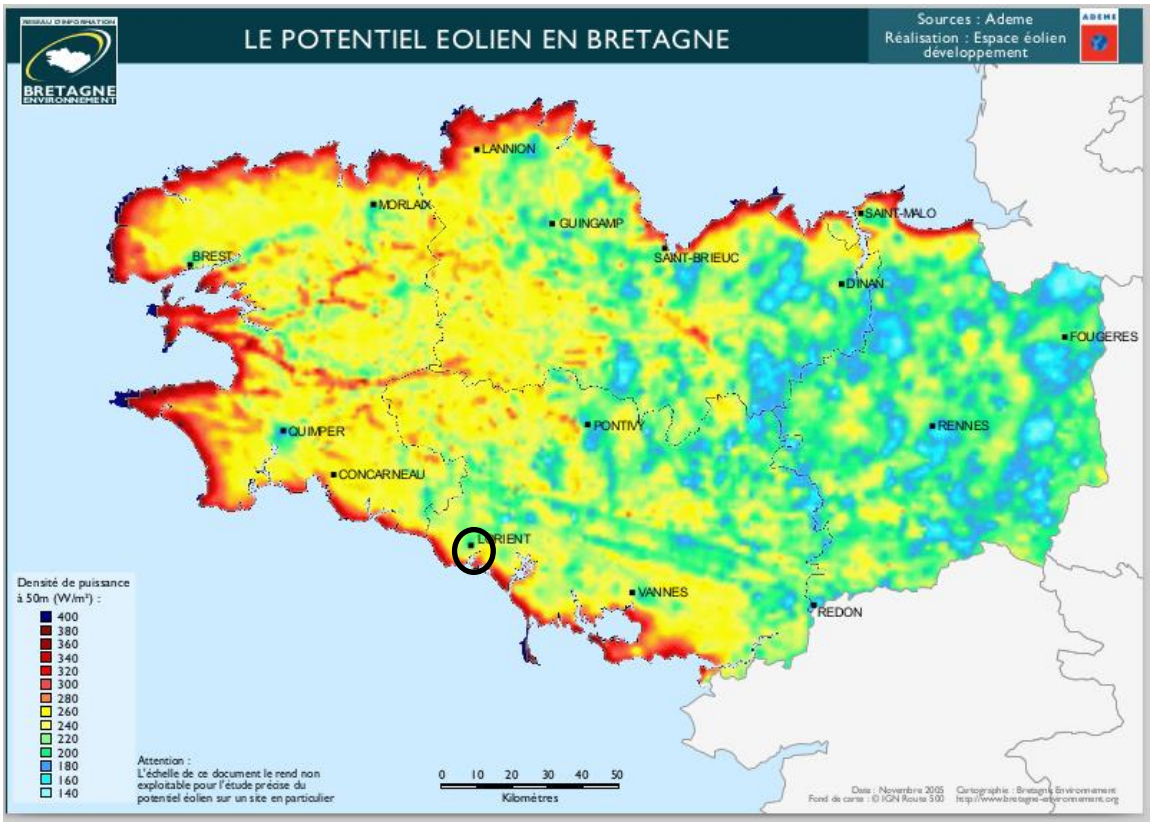


Schéma de principe d'une éolienne (source ADEME – guide pratique éolien)

Exemples d'éoliennes à axe horizontal (source Whisper) et à axe vertical (source Quietrevolution)



Potentiel éolien en région Bretagne
(source : Ademe)

Intérêt pour le projet (atouts et contraintes)

Éoliennes industrielles
Les éoliennes industrielles sont à axe horizontal. Les zones favorables pour leurs implantations sont définies selon le Schéma Régional Eolien (SRE) de chaque région. Elles doivent être implantées à distance des bâtiments. La solution d'éoliennes industrielles n'apparaît pas adaptée à ce projet.

Petit éolien
Les éoliennes de petites puissances sont quant à elles soit à axe horizontal soit à axe vertical. Cette dernière technologie présente l'avantage de pouvoir produire de l'électricité avec des vents multidirectionnels.

Depuis la loi n°2103-312 du 15 avril 2013 visant à préparer la transition vers un système énergétique sobre apporte plus précisément des dispositions législatives répondant à l'engagement du Gouvernement de simplifier le cadre juridique de l'éolien terrestre, tout en assurant la prise en compte de tous les enjeux environnementaux et paysagers. En particulier, les producteurs d'énergie éolienne terrestre peuvent désormais bénéficier de l'obligation d'achat sans condition d'implantation, ni limite de puissance.

Le prix de vente du kWh est alors de l'ordre de 8c€. Dans cette configuration, il est plus intéressant de consommer en priorité sa production et de ne revendre que l'excédent.
En conclusion, cette solution pourrait être testée sur quelques sites mais elle n'apparait pas comme généralisable. De même, elle présente certaines incertitudes notamment concernant l'estimation du productible et donc l'équilibre économique de l'opération.

Le choix des sites est également contraint par les interdistances indispensables entre l'éolienne et les éventuels obstacles (de l'ordre de 50m environ).

En ordre de grandeur, la mise en place de 2 éoliennes à axe vertical de l'ordre de 5 kW permettrait de produire près de 10 MWh/an soit l'équivalent des consommations d'1 à 2 logements.

Le choix de la technologie et de l'emplacement des éoliennes ainsi que le calcul du productible serait à réaliser au stade de la construction lorsque l'environnement proche sera connu. Il ne s'agit donc pas d'une technologie qui permettrait à elle seule de compenser tous les besoins énergétiques du projet.

La solution d'éoliennes industrielles n'est pas adaptée à ce projet. Des solutions de types petites éoliennes pourraient être testées sans qu'il soit possible de garantir leur performance.

3.2. SOLAIRE

3.2.1. SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

Le principe

L'objectif est de convertir l'énergie du rayonnement du soleil en énergie électrique. Les panneaux solaires photovoltaïques actuellement présents sur le marché permettent d'atteindre des ratios de puissance de l'ordre de 180 Wc/m².

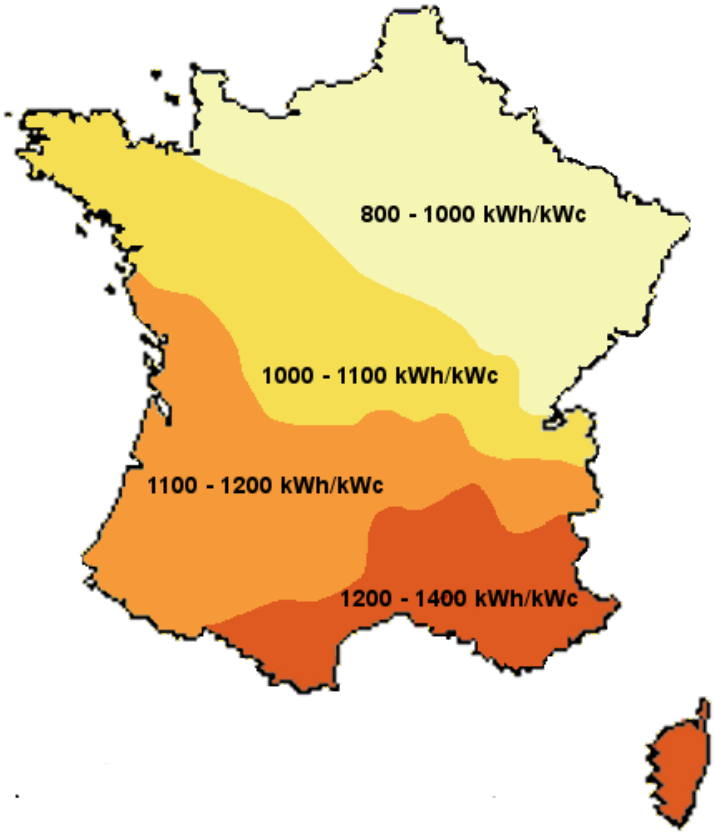
L'énergie produite est soit consommée pour couvrir les besoins du bâtiment soit injectée et revendue sur le réseau de distribution.

Le lieu géographique, l'orientation du bâtiment et l'inclinaison de la toiture influencent la production annuelle.

Trois types de technologies existent avec des rendements et domaines d'applications variables

Technologies et rendement		
Monocristallin		*Rendement : 13 à 18%*
Polycristallin		*Rendement : 11 à 15%*
Amorphe		*Rendement : 5 à 8%*

La quantité d'énergie produite par une installation photovoltaïque dépend de sa surface, de l'orientation, de l'inclinaison des panneaux et de l'intensité du rayonnement solaire. Il est également important d'évaluer et de tenir compte des masques solaires (arbres, poteaux, pignons…) créant un ombrage et donc une baisse de rendement de l'installation.



Estimation des productibles en France (source ADEME)

Orientation	Rendement/Inclinaison			
	0°	30°	60°	90°
Est	0,93	0,90	0,78	0,55
Sud-Est		0,96	0,88	0,66
Sud		1	0,91	0,68
Sud-Ouest		0,96	0,88	0,66
Ouest		0,90	0,78	0,55

Facteurs de correction du rendement en fonction de l'orientation et de l'inclinaison

L'architecture d'une installation photovoltaïque est composée des éléments suivants :

- Une structure porteuse ;
- Des modules photovoltaïques (panneaux) ;
- Des onduleurs, qui convertissent le courant continu produit par les panneaux photovoltaïques en courant alternatif identique à celui du réseau ;
- Un système de comptage et un système de supervision.

Différentes solutions photovoltaïques existent et sont adaptées aux diverses typologies de toiture (orientation, inclinaison, type de couverture : tuile, ardoise, etc.). Parmi elles, on peut citer : la toiture inclinée, les garde-corps, les brises soleil, etc.

Intérêt pour le projet (atouts et contraintes)

Le solaire photovoltaïque est un des moyens pour tendre vers des bâtiments à énergie positive. Il permet de compenser une partie des besoins en électricité.

La tendance générale est à la baisse du prix de vente de l'énergie produite et injectée sur le réseau. Par ailleurs, le prix de d'achat de l'électricité consommée augmente. Les courbes commencent à se croiser.

L'intérêt économique consistera de plus en plus à consommer en priorité l'énergie produite et de ne revendre que l'excédent.

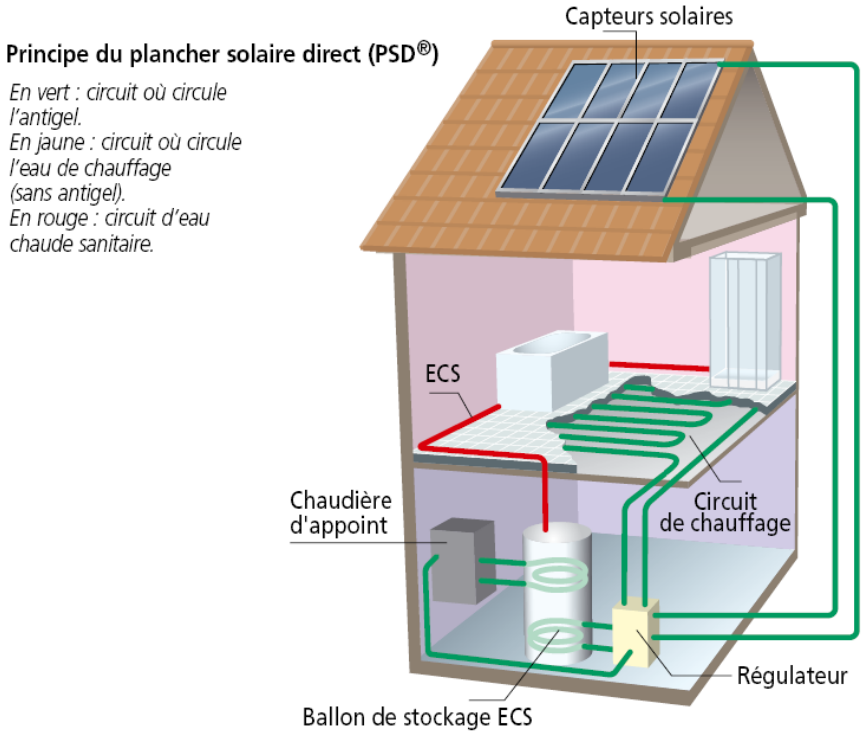
Les évolutions de la réglementation thermique imposent de produire de plus en plus d'énergie. Le potentiel solaire photovoltaïque des bâtiments devra nécessairement être exploité pour pouvoir répondre aux réglementations à venir.

3.2.2. SOLAIRE THERMIQUE

Le principe

L'énergie solaire est une énergie diffuse présente sur Terre tout au long de l'année. Elle représente en moyenne une quantité de 1 300 kWh/m²/an après traversée de l'atmosphère. Il est possible d'exploiter cette énergie arrivant sur le sol, en recréant un effet de serre au niveau d'un capteur pour chauffer un fluide et de chauffer ou produire une partie de l'eau chaude sanitaire.

Différentes solutions existent et sont adaptées aux diverses typologies de toiture (orientation, inclinaison, type de couverture : tuile, ardoise, etc.). Ci-après voici l'exemple d'une solution solaire combinant chauffage et production d'eau chaude sanitaire avec chaudière gaz d'appoint.



Principe système solaire thermique combiné (source Ademe)

Intérêt pour le projet (atouts et contraintes)

Le solaire thermique est une énergie renouvelable qui, contrairement à la majorité des installations photovoltaïques actuelles, a pour vocation d'être consommée par le bâtiment directement. Pour les maisons individuelles (voire accolées), il s'agit également d'un des moyens pour produire la part d'énergie renouvelable imposée par la réglementation. Le solaire thermique est une énergie renouvelable qui a pour vocation d'être consommée par le bâtiment directement.

Pour les maisons individuelles (voire accolées), il s'agit également d'un des moyens pour produire la part d'énergie renouvelable imposée par la réglementation.

Pour les bâtiments d'activité économique, l'intérêt de cette solution dépend de l'usage du bâtiment et des besoins en eau chaude associé.

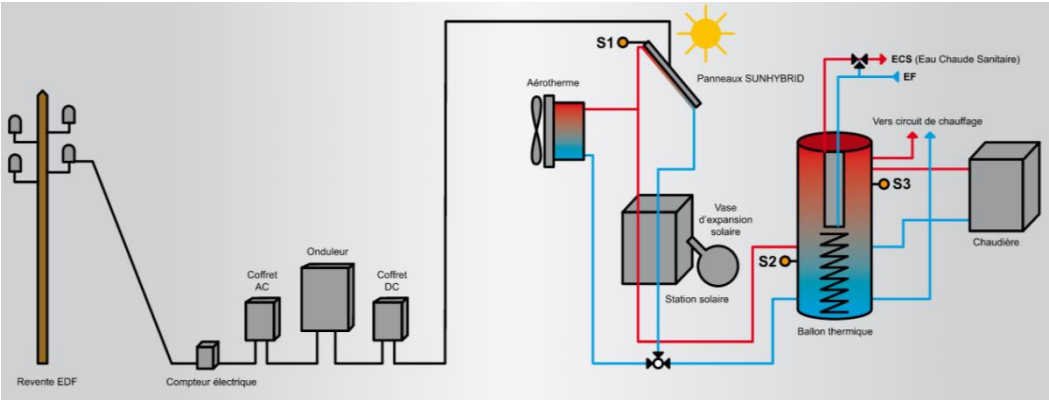
Cette ressource mérite d'être exploitée dès lors que des besoins en eau chaude sanitaire sont présents (logements collectifs ou maisons individuelles).

3.2.3. SOLUTIONS SOLAIRES « HYBRIDES »

Le principe

Il s'agit d'un système produisant à la fois de l'électricité (principe des installations photovoltaïques) et de la chaleur (principe des installations solaire thermique).

Il présente en outre la particularité de permettre de « refroidir » les cellules photovoltaïques en y prélevant la chaleur disponible. Le rendement de production d'électricité se trouve alors amélioré de 5 à 15 %.



Principe système solaire hybride (source Sillia)

Intérêt pour le projet (atouts et contraintes)

Ce système est en cours de développement et mérite d'être suivi. L'électricité produite peut être soit revendue sur le réseau soit autoconsommée. La chaleur permet quant à elle de produire de l'eau chaude sanitaire ou de contribuer à l'optimisation des consommations de chauffage.

Pour que leur développement se confirme, ce type de produit devra obtenir les « Titre V » permettant d'être pris en compte dans les calculs dits réglementaires.

Ce type de solution n'est encore pas complétement mature mais mérite d'être surveillée car elle devrait permettre à l'avenir de répondre à une partie des enjeux énergétiques des bâtiments.

3.3. BIOMASSE ET DECHETS

3.3.1. BOIS ENERGIE

Le principe

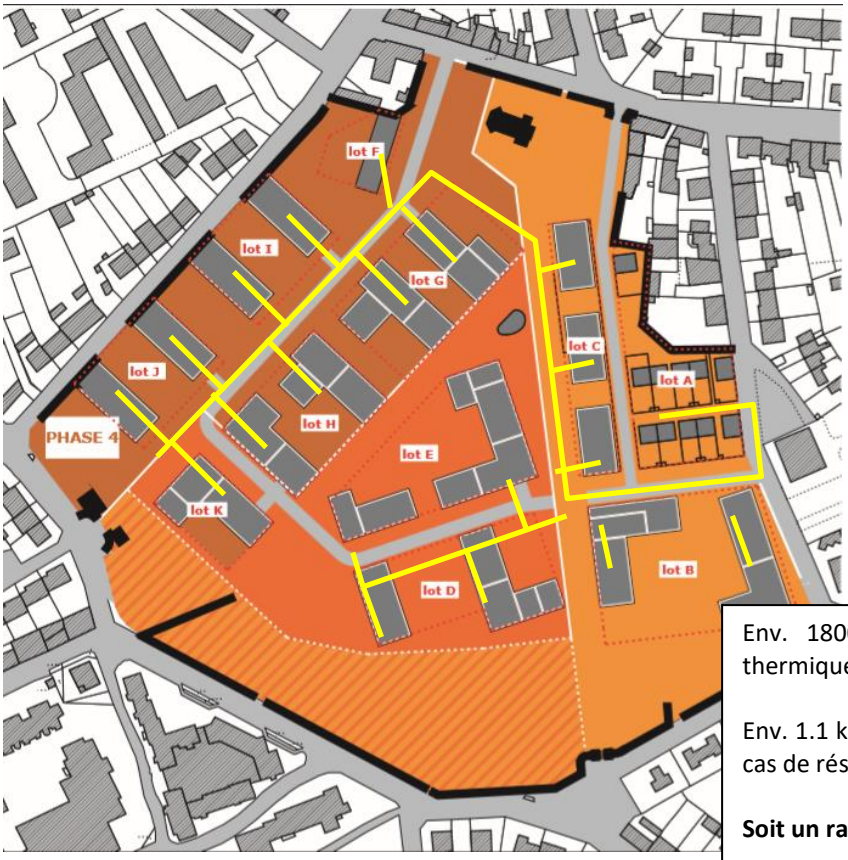
Le bois énergie est une source d'énergie ayant de multiples atouts, que ce soit dans le domaine environnemental, économique et sur le plan du développement local.

Sur le plan environnemental, le bois est une source d'énergie locale, naturelle et renouvelable. Produire puis bruler du bois n'émet que très peu de gaz à effet de serre car il libère, lors de sa combustion, le CO2 qu'il a absorbé grâce à la photosynthèse. Ce CO2 libéré est lui-même absorbé par la biomasse croissante. On parle alors d'un bilan global quasiment neutre à l'exception des émissions liées à la production, au conditionnement et au transport du combustible.

Intérêt pour le projet (atouts et contraintes)

Bois avec réseau de chaleur

Les solutions en réseau ne sont rentables que si les besoins en énergie sont suffisants. Les analyses menées ont montré des densités thermiques « en limite de rentabilité » à l'échelle du projet (légèrement supérieure à 1.5 MWh/an/ml).



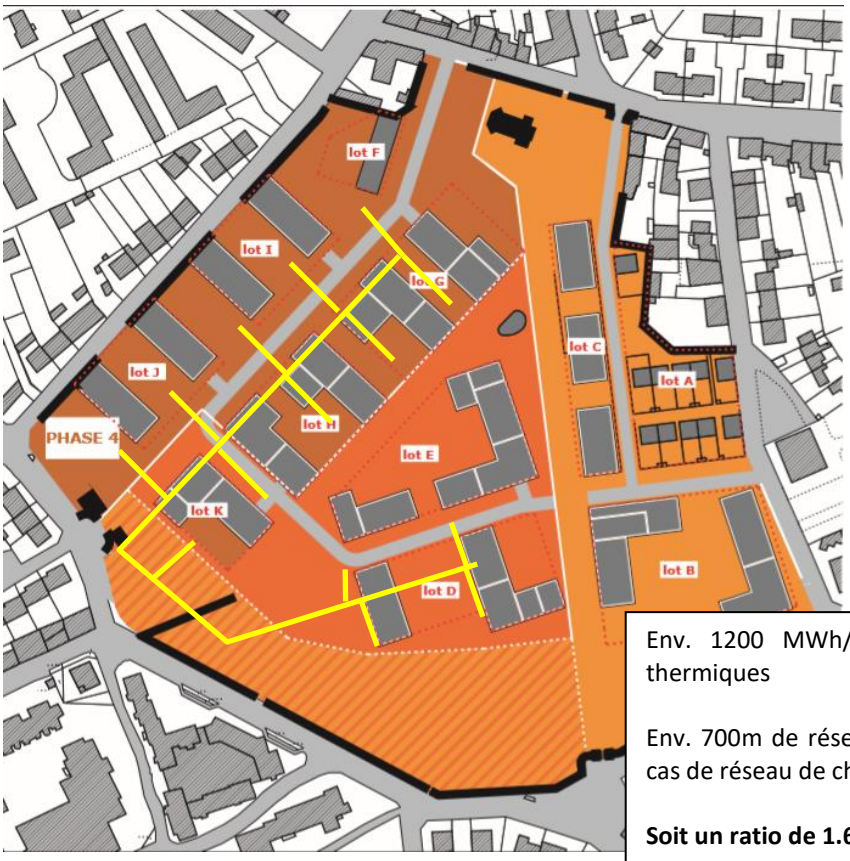
Env. 1800 MWh/an de besoins thermiques

Env. 1.1 km de réseau à prévoir en cas de réseau de chaleur

Soit un ratio de 1.6 MWh/ml/an

L'analyse fait ressortir un ratio légèrement supérieur à 1,5 MWh/ml/an. Cependant, le résultat est en limite de seuil de rentabilité et le phasage en 2 temps de l'opération ne facilite pas la mise en œuvre du réseau.

Cette solution a également été étudiée uniquement sur le périmètre de la seconde phase de travaux (absence de logements individuels impliquant une meilleure densité thermique mais un objectif de performance au m² proposé plus élevé).



Env. 1200 MWh/an de besoins thermiques

Env. 700m de réseau à prévoir en cas de réseau de chaleur

Soit un ratio de 1.6 MWh/ml/an

Le ratio reste identique sur ce périmètre. Quel que soit le périmètre retenu, une étude plus approfondie tenant compte également du phasage réel du projet mériterait d'être réalisée pour conforter ce potentiel.

Bois à l'échelle «individuelle»

Plusieurs technologies existent pour exploiter le potentiel énergétique du bois : les chaudières, les poêles, les inserts, etc. Ces équipements sont alimentés par plusieurs types de combustibles : plaquettes forestières, granulés, buches, etc.

Exemple d'installation : chaudière bois granulés et poêle bois

À l'échelle individuelle, le bois pourrait apporter une réponse intéressante notamment en cas de site fortement consommateur.

3.3.2. METHANISATION

Le principe

La méthanisation est un procédé de dégradation de la matière organique en absence d'oxygène. Pour que le procédé de méthanisation fonctionne correctement, il convient de s'assurer d'un certain équilibre des différentes sources méthanogènes.

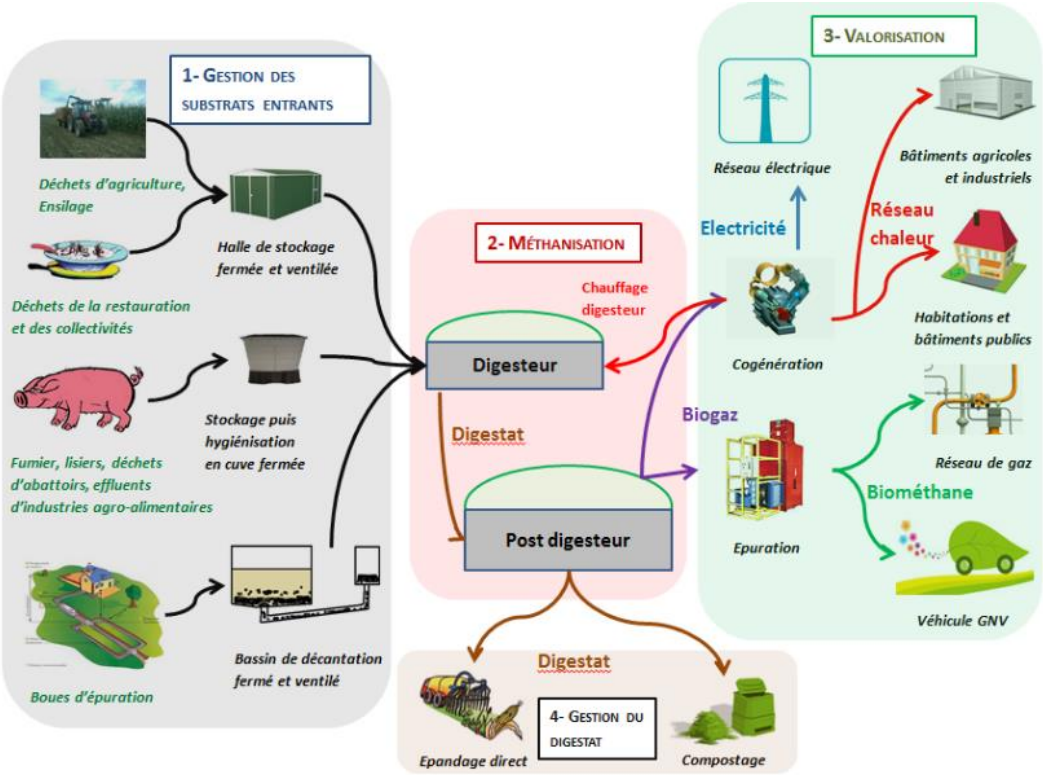


Schéma de principe méthanisation (source ATEE)

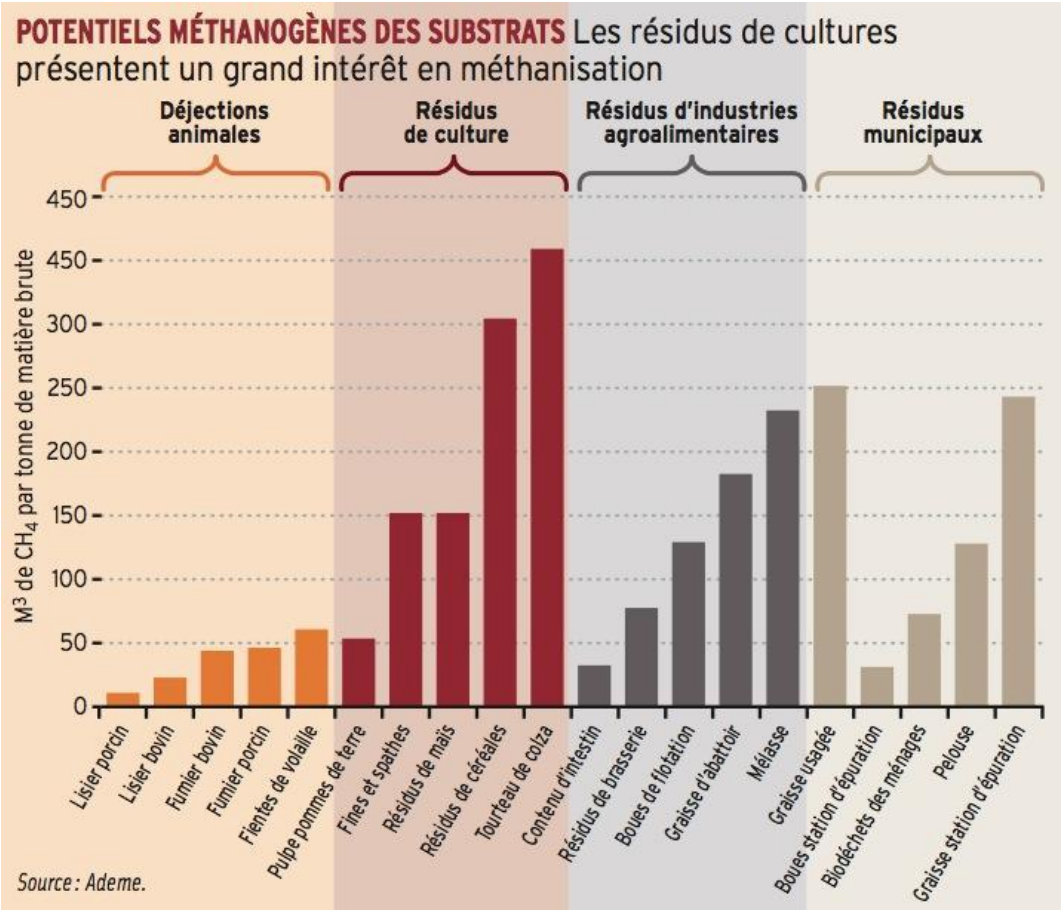
Le biogaz produit est composé généralement de 50 à 70 % de méthane. Le biogaz produit a alors un PCI de 5 à 7 kWh/Nm3.

La dégradation a lieu grâce à l'action de différentes bactéries et conduit à une production de biogaz (constitué principalement de méthane).

Le méthane peut alors servir de combustible pour une installation de **cogénération**. L'électricité produite est alors revendue et injectée sur le réseau tandis que la chaleur produite peut être valorisée selon les besoins aux abords de l'installation.

Des projets d'**injection du biogaz** dans le réseau de gaz naturel sont également aujourd'hui réalisés.

Chaque entrant contribuera différemment en fonction de son potentiel méthanogène. Le tableau ci-après présente les potentiels des principaux entrants rencontrés :



Potentiel méthanogène des entrants (source ADEME)

Intérêt pour le projet (atouts et contraintes)

Afin d'être viable, ce type de projet doit être envisagé à l'échelle d'un territoire dépassant très largement le périmètre du projet.

3.3.3. VALORISATION ENERGETIQUE DES DECHETS

La valorisation énergétique des déchets nécessite de disposer d'un site de valorisation à proximité et existant et de mettre en place un réseau de chaleur (à priori non pertinent pour le projet).

3.4. GEOTHERMIE

Le principe

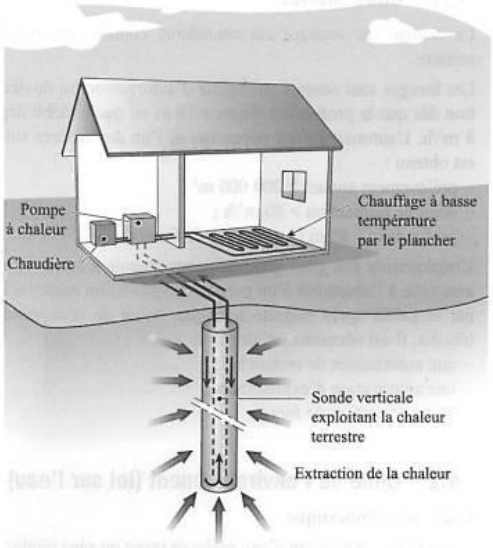
La **géothermie** consiste à utiliser les propriétés thermiques du sol. La chaleur contenue dans le sous-sol ou dans les nappes d'eau souterraines est récupérée et restituée pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Ces techniques peuvent s'adapter aussi bien pour la maison individuelle que pour alimenter un réseau de chaleur desservant plusieurs bâtiments.

On distingue l**a géothermie « très basse énergie »** (température de la ressource inférieure à 30°C), l**a géothermie « basse énergie »** (température de la ressource comprise entre 30 et 90°C) et la géothermie **« moyenne et haute énergie »** (température de la ressource comprise entre 90 et 250°C).

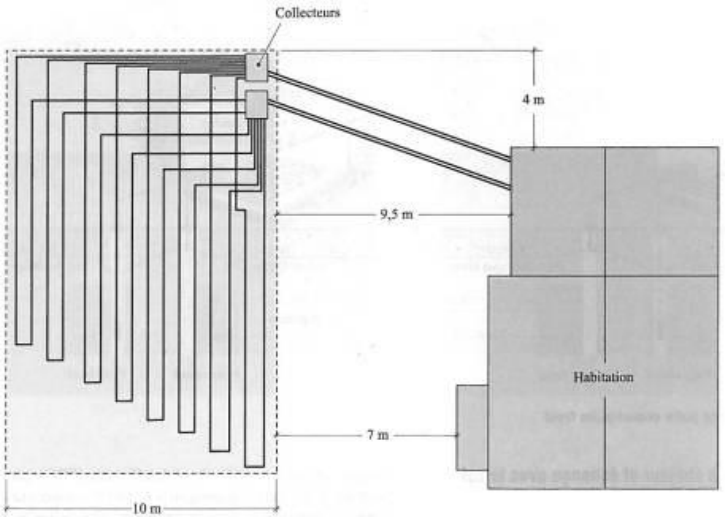
L'exploitation des eaux souterraines par forages et l'exploitation des calories du sous-sol sont soumises au Code minier, au Code de l'environnement (loi sur l'eau) voire au Code de la santé publique. Des dispositions spécifiques peuvent concerner certaines régions.

Différentes solutions existent. L'énergie peut être prélevée dans la nappe phréatique ou dans le sol par des capteurs horizontaux ou verticaux (voir exemple ci-après). Pour être exploitable, il peut être nécessaire d'y associer des équipements tels que des pompes à chaleur (cas de la très basse énergie notamment).

Attention, les solutions à capteurs horizontaux sont consommatrices d'espace (voir ci-dessous).



Capteurs Verticaux



Capteurs Horizontaux

Intérêt pour le projet (atouts et contraintes)

Géothermie « très basse énergie »

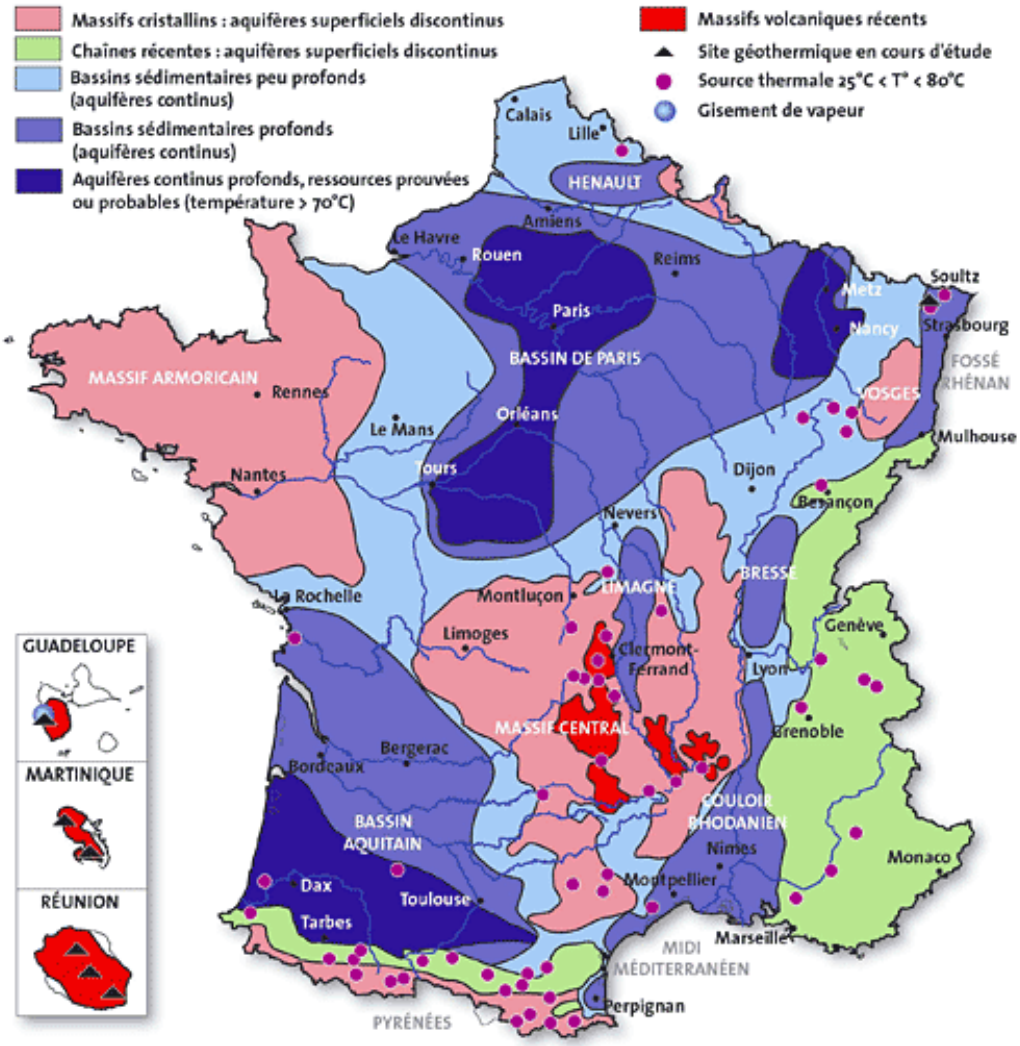
La zone d'étude est peu favorable à des installations de géothermie sur nappe aussi bien à l'échelle d'un ou plusieurs bâtiments (une étude au cas par cas doit déterminer le potentiel).

Les solutions sur sondes ou pieux sont envisageables (sous forme de capteurs horizontaux ou verticaux). A titre d'exemple, le potentiel de puissance est de l'ordre de 50 W/ml pour une solution de type capteur

sur pieux ou sonde verticale. L'utilisation d'une pompe à chaleur est alors nécessaire pour relever la température.

Géothermie « basse énergie »

La carte ci-dessous illustre la présence des sources thermales propices à la géothermie « basse énergie ». La zone d'étude est défavorable.



<u>Sources thermales (source BRGM)</u>

Géothermie « moyenne et haute énergie »

Les sites en « haute température » permettent de produire de l'électricité. Elle s'obtient en faisant passer la vapeur issue du sous-sol au travers d'une turbine à vapeur. Ces applications concernent essentiellement les champs géothermiques dont les contextes géologiques permettent d'obtenir des températures comprises entre 90°C et 250°C.

Le contexte géologique de la zone d'étude ne se prête pas à de telles installations.

3.5. RECUPERATION DE CHALEUR

3.5.1. RECUPERATION DE CHALEUR DES EAUX USEES

Le principe

La récupération de chaleur sur les eaux usées est un procédé utilisant le principe de la géothermie. La source chaude n'est cette fois-ci pas la nappe phréatique ou le sol. En effet, la chaleur est récupérée par l'intermédiaire d'échangeurs spéciaux situés dans les collecteurs d'eaux usées et d'une pompe à chaleur. Le réseau dans lequel circulent les eaux épurées a des températures comprises tout au long de l'année entre 13°C et 20°C.

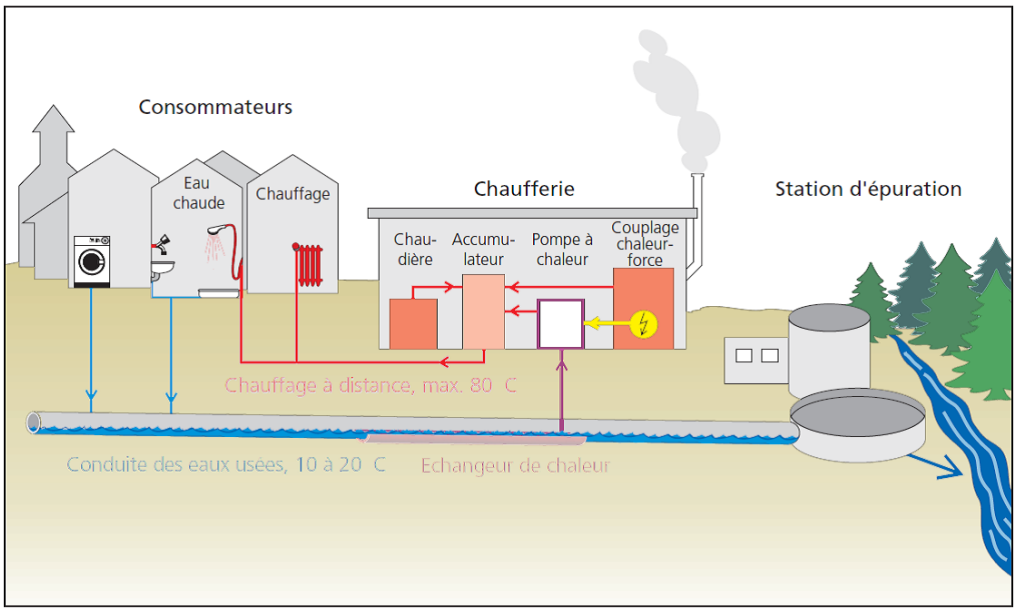


Schéma de principe de la récupération de chaleur sur collecteur d'eaux usées

Intérêt pour le projet (atouts et contraintes)

La faible densité des besoins thermiques prévisionnels liée à l'ambition de performance énergétique des bâtiments imposée par la future Réglementation Thermique est un facteur limitant fortement la rentabilité de toutes les solutions en réseau.

De même, cette technique ne peut être envisagée que sur des diamètres de collecteurs importants à priori hors périmètre de la zone d'étude.

3.5.2. RECUPERATION DE CHALEUR DES EAUX GRISES

Le principe

La récupération de chaleur sur les eaux grises est un procédé consistant à récupérer à l'échelle d'un bâtiment l'énergie des eaux de salles de bains, lave-vaisselle, cuisine, machine à laver. Plusieurs systèmes commencent à être commercialisés. L'installation nécessite un réseau spécifique de collecte des eaux dites grises.

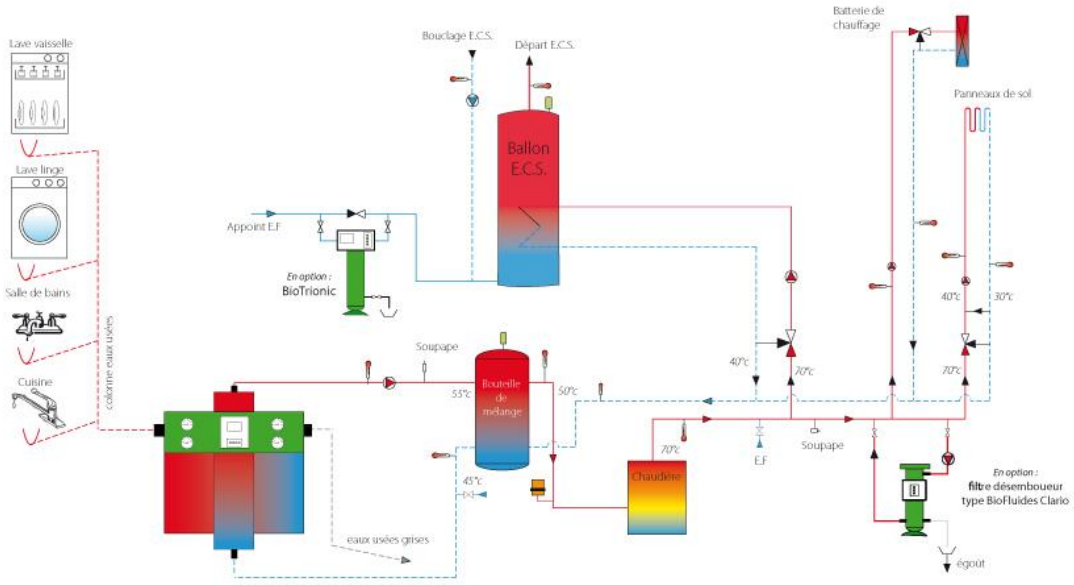


Schéma de principe de la récupération de chaleur sur eaux grises (Source : BioFluides)

Intérêt pour le projet (atouts et contraintes)

Ce type d'installation ne peut être envisagé que prioritairement pour des logements collectifs (et dans une moindre mesure pour l'habitat individuel) ou pour des bâtiments présentant des besoins en chaude sanitaire pour leur activité.

Cette solution ne sera donc envisageable qu'au cas par cas. Elle peut être une réponse intéressante pour des bâtiments de logements collectifs.

3.6. MACHINES A ADSORPTION / ABSORPTION

Le principe

Ces systèmes utilisent le principe de la pompe à chaleur mais à compression thermochimique. La production de chaleur a lieu au niveau du condenseur. La compression mécanique est remplacée par une compression thermochimique qui utilise l'énergie fournie par un brûleur gaz naturel remplaçant le compresseur.

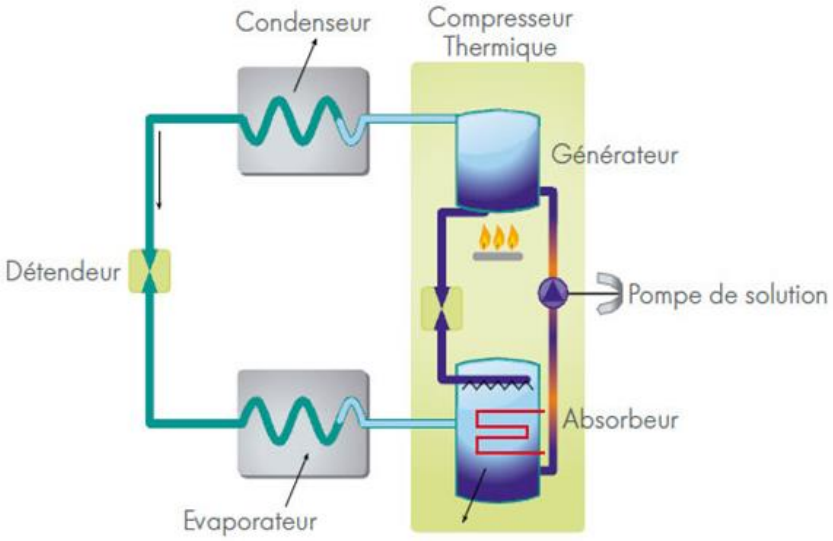


Schéma de principe (Source : Conseils.xpair.com)

Intérêt pour le projet (atouts et contraintes)

Ce type d'installation au gaz n'utilise pas d'énergie renouvelable mais présente tout de même un meilleur bilan énergétique qu'une solution gaz traditionnelle (chaudière à condensation).

3.7. AEROTHERMIE ET PRODUCTION D'EAU CHAUDE THERMODYNAMIQUE (ELECTRIQUE)

Le principe

L'**aérothermie** consiste à prélever les calories présentes dans l'air et à les restituer à un niveau de température plus élevé pour le chauffage et l'eau sanitaire. On utilise pour cela un équipement appelée pompe à chaleur (PAC) alimenté en électricité.

La production d'eau chaude sanitaire thermodynamique utilise le principe de la pompe à chaleur pour chauffer l'eau sanitaire. Ce système de production d'eau chaude peut être indépendant du système de chauffage.

Les systèmes utilisant le principe de la pompe à chaleur sont, selon nous, plutôt à considérer comme des systèmes électriques améliorés plutôt que des véritables systèmes avec énergie renouvelable. En effet, pour délivrer 1 kWh d'électricité au compteur et ainsi pouvoir produire 3 à 4 kWh de chauffage, il a fallu utiliser près de 2.58 kWh d'énergie primaire.

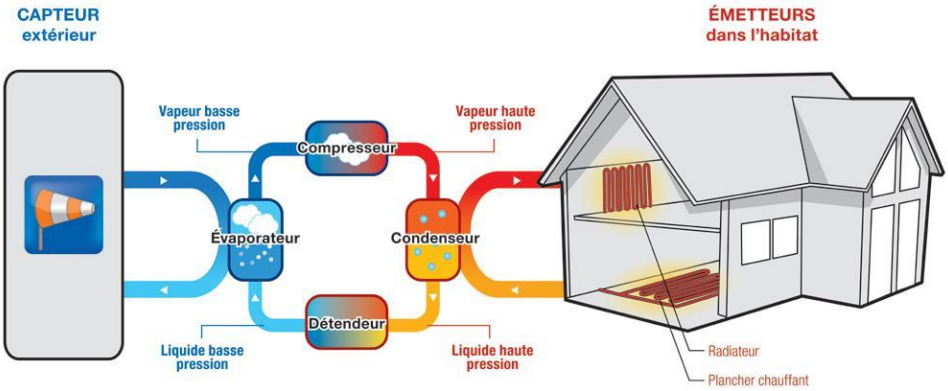


Schéma de principe (Source : Sofath)

Intérêt pour le projet (atouts et contraintes)

Ce type d'installation ne pourrait être envisagé que pour des logements collectifs, du tertiaire ou pour l'habitat individuel mais n'utilise pas d'énergie renouvelable.

Cette solution ne sera donc envisageable qu'au cas par cas (notamment en cas d'absence de desserte gaz, de besoin de production de froid ou de besoin de production de chaleur).

3.8. COGENERATION

Le principe

Le principe de la cogénération est de produire simultanément de la chaleur et de l'électricité.
On distingue 2 catégories d'installations de cogénération :

- la cogénération de grande puissance,
- la micro-cogénération pour les puissances inférieures à 36 kW.

Plusieurs combustibles sont envisageables : gaz, bois.

Intérêt pour le projet (atouts et contraintes)

La cogénération de grande puissance est en première approche écartée car les solutions en réseau ne se révèlent pas adaptées (densité thermique, rentabilité, etc.).

Cependant, en solution individuelle, des produits sont en cours de développement et peuvent apporter une réponse à l'atténuation des pics de consommations en hiver. Il s'agit également d'un des moyens de compenser une partie des consommations d'électricité.

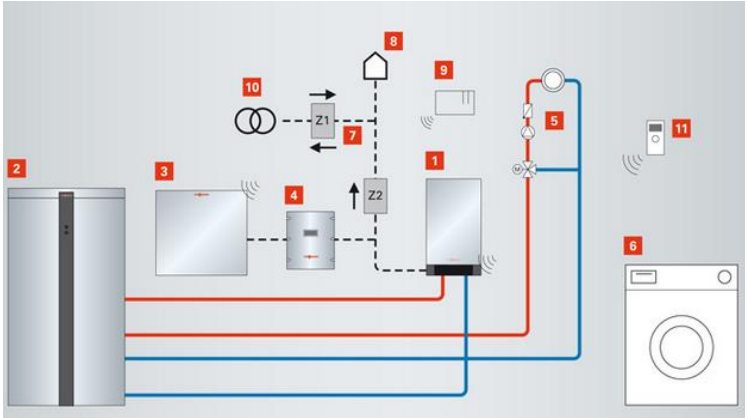


Schéma de principe (Source : Viessmann)

En ordre de grandeur, les solutions existantes permettent de produire 1 kW électrique dès lors que la chaudière est en fonctionnement. Les solutions commercialisées utilisent principalement le gaz comme combustible. Cependant, des chaudières bois à cogénération commencent à faire leur apparition.

Un des freins (économique) au développement de ces solutions est l'adéquation des besoins en électricité avec la production. Aujourd'hui, les foyers équipés ont intérêt à consommer prioritairement leur production.

Un calcul économique à réaliser au cas par cas doit permettre de s'assurer de la rentabilité économique en tenant compte du coût des énergies et de la gestion du surplus d'électricité (revente ou non).

Les fournisseurs proposent actuellement des solutions de stockage. Leur émergence sera favorisée par le déploiement des compteurs intelligents associés aux nouvelles offres tarifaires attendues des fournisseurs d'énergies.

3.9. SOLUTIONS POUR LIMITER LES CONSOMMATIONS LIEES A LA VENTILATION

Le principe

Chaque m^3 d'air neuf destiné à ventiler les bâtiments entrainent des consommations d'énergies en hiver.

Plusieurs techniques permettent de limiter ces consommations. Parmi elles :

- la ventilation double flux,
- les ventilations hygroréglables (ne permet de ventiler qu'en cas d'humidité excessive) ;
- la ventilation statique permettant de limiter les consommations des auxiliaires. L'évolution de cette technique sera suivie de près. Des programmes de recherche sont en cours pour mieux maitriser cette technique consistant à utiliser le principe de la ventilation naturelle tout en maîtrisant les débits d'air (objectifs : avoir les débits d'airs minimum sans dépenser d'énergie pour le chauffage en cas de surventilation) ;
- les techniques dites de puits canadien ou provençal ;,
- les ventilations pilotées par sonde CO2 (ne permet de ventiler qu'en présence d'usagers) ;
- des solutions innovantes (mur pariétodynamiques, etc.) ;
- etc. …

Intérêt pour le projet (atouts et contraintes)

Les solutions de ventilations hygroréglables et les solutions de type double flux méritent d'être étudiées prioritairement.

De même, en cas de besoin de rafraichissement, les solutions de surventilation nocturne pourrait permettre de répondre à une partie des enjeux.

3.10. SYNTHESE

Source	Potentiel ++ : très favorable + : plutôt favorable = : à confirmer au cas par cas - : plutôt défavorable
EOLIEN	-
SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE	+
SOLAIRE THERMIQUE	+
SOLUTIONS SOLAIRES « HYBRIDES »	=
BOIS ÉNERGIE	+
MÉTHANISATION	-
VALORISATION ÉNERGÉTIQUE DES DÉCHETS	-
GÉOTHERMIE	=
RÉCUPÉRATION DE CHALEUR DES EAUX USÉES	-
RÉCUPÉRATION DE CHALEUR DES EAUX GRISES	=
MACHINES À ADSORPTION / ABSORPTION	=
AÉROTHERMIE ET PRODUCTION D'EAU CHAUDE THERMODYNAMIQUE (ÉLECTRIQUE)	-
COGÉNÉRATION	=
SOLUTIONS POUR LIMITER LES CONSOMMATIONS LIÉES À LA VENTILATION	++

4. SCENARII

Dans l'objectif de tendre vers des bâtiments à énergie positive, il a été proposé plusieurs scenarii d'utilisation des énergies renouvelables. Chaque scenario proposé intégrera une production par énergie renouvelable d'au moins **5 kWhep/m²/an** pour les logements afin de satisfaire à la règlementation.

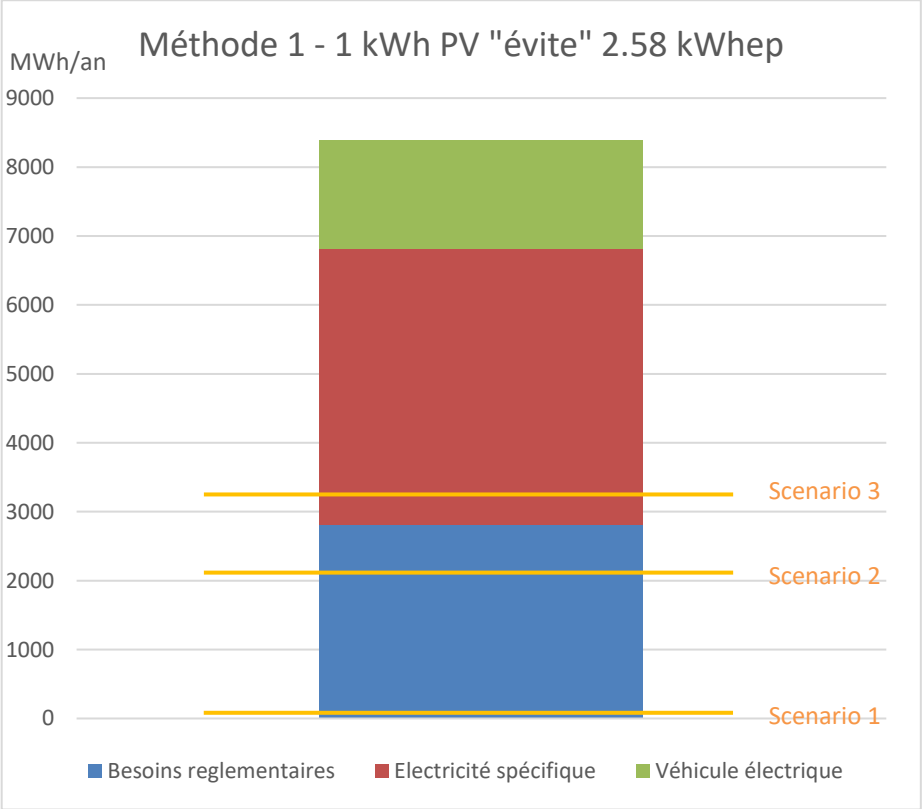
- **Scenario 1 (situation dite de « référence ») :**
    - Besoin thermique couvert à hauteur de 5 kWhep/m²/an pour les logements individuels,
    - Aucune énergie renouvelable pour les bâtiments tertiaires,
    - Pas de production photovoltaïque.
- **Scenario 2 :**
    - Besoin thermique couvert à hauteur de 50% pour les logements,
    - Besoin thermique couvert à hauteur de 50% pour les bâtiments tertiaires,
    - Production photovoltaïque :
        - 1 kWc de puissance photovoltaïque par logement individuel (env. 6 m² de panneaux),
        - 25% de taux de couverture des toitures des logements collectifs
- **Scenario 3 :**
    - Besoin thermique couvert à hauteur de 50% pour les logements,
    - Besoin thermique couvert à hauteur de 50% pour les bâtiments tertiaires,
    - Production photovoltaïque :
        - 1 à 3 kWc de puissance photovoltaïque par habitation (env. 20 m² de panneaux),
        - 50% de taux de couverture des toitures des logements collectifs,

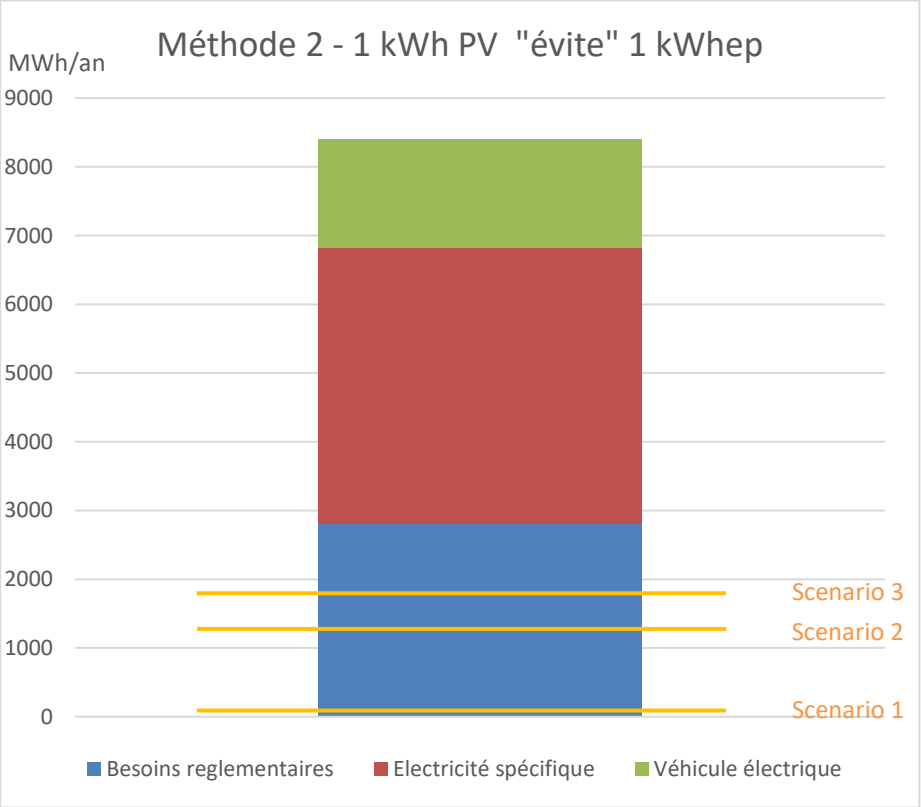
Nota important : plusieurs méthodes de valorisation de la production photovoltaïque font actuellement l'objet de discussion pour la rédaction de la future réglementation (RE 2018) :

- Méthode 1 (la plus favorable au photovoltaïque) : chaque kWh produit par les panneaux solaires photovoltaïques permettait d'éviter de soutirer sur le réseau 1 kWh d'énergie finale (soit 2.58 kWh d'énergie primaire).
- Méthode 2 : chaque kWh produit n'est valorisé qu'à hauteur de 1 kWhep

Le choix de la méthode de valorisation de la production photovoltaïque influencera grandement les résultats obtenus.

Simulations des taux de couverture des besoins par scenario en fonction de la méthode de valorisation de la production photovoltaïque retenue





Rappel : méthode 1 = méthode « favorable au photovoltaïque »

5. CONCLUSION

Besoins énergétiques

Les besoins énergétiques « réglementaires » (chauffage, eau chaude, éclairage principalement) ont été évalués en prenant comme hypothèse le respect du niveau E2 (Energie 2) de la RE 2018 pour les bâtiments de l'ilot A à C et le niveau E3 pour les bâtiments ultérieurs. Ce poste représente 25% à 30% des besoins énergétiques.

A ces besoins, s'ajoutent les consommations d'électricité spécifique (électroménager, prises de courant, bureautique, etc.) représentant 50% des besoins en énergies primaires.

Le reste des besoins représente les consommations des véhicules électriques (cf. hypothèses présentées au chapitre 2.3.1).

Scenarii

Deux méthodes de valorisation de la production photovoltaïque (actuellement en discussion dans le cadre de l'élaboration de la nouvelle règlementation thermique) ont été étudiées. La première consiste à dire que chaque kWh produit permet d'éviter la consommation de 2.58 kWhep. Elle est donc très favorable au photovoltaïque. La seconde méthode consiste à ne pas valoriser la production de cette manière et de laisser ce facteur à 1. Elle est la moins favorable au photovoltaïque. La compensation de l'intégralité des besoins par une production photovoltaïque devient alors plus difficile.

Il est à noter que la réglementation thermique définissant la valorisation de la production photovoltaïque n'est pas encore connue précisément. La RE 2018 intégrera très probablement un compromis entre ces deux méthodes.

Résultats obtenus et préconisations

Les simulations effectuées permettent d'identifier que la compensation partielle ou totale des besoins énergétiques passe par :

- Une ambition forte sur l'enveloppe du bâtiment afin de réduire les consommations de chauffage et d'éviter l'usage de la climatisation,
- La mise en œuvre d'énergies renouvelables pour couvrir tout ou partie des besoins thermiques (chauffage et eau chaude sanitaire),
- Une exploitation maximale des potentiels solaires photovoltaïques (toitures orientées sud / espaces publics sans ombres portées).

Solutions techniques envisageables pour couvrir une partie des besoins thermiques

Pour parvenir à tenir les ambitions évoquées ci-avant, le choix des solutions énergétiques pour la production de chauffage / eau chaude pourrait être laissé à l'appréciation des acquéreurs dès lors qu'ils prévoient d'utiliser une énergie renouvelable. Par exemple :

- Solution solaire thermique avec appoint gaz,
- Solution bois (chaudière / poêle) avec appoint si nécessaire,
- Solution de type géothermie.

Quelques points de vigilance sont à retenir :

- Les solutions de type « Pompe A Chaleur » n'ont pas été mises en avant pour les raisons suivantes :
    - Éviter de d'accentuer les pic d'appel de puissance sur le réseau électrique,
    - Risque de voir les usagers des logements utiliser leur Pompe A Chaleur en mode réversible (consommations supplémentaires liées à la climatisation).
- Pour les logements individuels, les solutions de type poêle à bois sont intéressantes environnementalement. Cependant, il faut être vigilant sur le confort des pièces non chauffées directement (le plus souvent, les chambres) afin d'éviter l'ajout de convecteurs électriques supplémentaires dans un second temps.

<u>Nota concernant les solutions de chauffage collective (réseau de chaleur) :</u> après calcul, la densité thermique associée au projet est de 1.6 MWhep/m/an (quantité d'énergie distribuée / longueur théorique d'un réseau de chaleur). Cette valeur est supérieure aux 1.5 MWhep/m/an, seuil à partir duquel la mise en place d'un réseau de chaleur pourrait être d'approfondie. En cas de commercialisation des logements étalée dans le temps, une telle solution collective sera néanmoins complexe à mettre en œuvre.

Cahier de prescriptions

Si le Maître d'ouvrage souhaite s'engager dans une démarche de mise en œuvre de prescriptions énergétiques, la mise en place d'un cahier de prescription s'avère à notre sens indispensable.

Le cahier de prescription devra alors permettre de fixer des objectifs ou d'inciter à la mise en œuvre de solutions techniques.