

SPLA VIASILVA

ZAC ATALANTE VIASILVA
Annexe n° 1 - Solution éolien

FEVRIER 2016
REF. : 4.42.0972





Nom du document 4.42.0972 - Annexe 1 - Eolien.docx

Date de création Février 2016

Indice A

N° réf. affaire 4.42.0972

APR/eha

Ce document est imprimé sur papier 100 % recyclé.

SOMMAIRE

1. Principe	4
2. Simulation	5
2.1.Hypothèses.....	5
2.2.Analyse énergétique	5
2.3.Analyse économique.....	6
3. Conclusion	7

1. PRINCIPE

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.

Le grand éolien a été écarté (environnement urbain non propice).

Seul le petit éolien pourrait être envisagé. Cependant, le choix des sites est également très contraint par les interdistances indispensables entre l'éolienne et les éventuels obstacles (de l'ordre de 50m environ). Une étude au cas par cas est indispensable.

Une seconde difficulté majeure rencontrée dans le petit éolien réside dans la détermination du productible. La mise en place de mat de mesure est trop onéreuse au regard des enjeux de ce type de projets. Aujourd'hui, des pré-études numériques avec une précision de l'ordre de + ou - 20% permettent d'évaluer le productible dans le cas d'environnement dégagé (environ 2000 € / étude).

Dès lors que les éoliennes ne dépassent pas les 12m de hauteur, les démarches administratives restent plus simples. Cependant, le productible ne dépasse alors que rarement les 1000 à 1500 kWh/an/kW installé.

2. SIMULATION

2.1. Hypothèses

- Installation de 1 éolienne de 5 kW,
- Hypothèse de production :
 - Rappel : les données sont fournies à titre indicatif. Sans étude approfondie, le potentiel du petit éolien est très difficile à estimer (impact du positionnement des bâtiments, vitesse de vent pour la hauteur considérée, etc.)
 - Hypothèse de production « basse à moyenne » : 5 000 kWh/an dont 80% autoconsommés
 - Hypothèse de production « moyenne à haute » : 7 500 kWh/an dont 65% autoconsommés
- Chaque kWh « autoconsommé » évite de consommer un kWh acheté sur le réseau : gain de 15 c€/kWh,
- Taux d'actualisation : 4%,
- Taux d'indexation maintenance : 3.5%,
- Taux d'indexation du kWh électrique acheté sur le réseau : 4%.

2.2. Analyse énergétique

- Cas d'une production « basse à moyenne » : soit 5 000 kWh/an. Production correspondante :
 - Aux besoins en électricité spécifique de 2 à 3 logements collectifs,
 - Aux besoins en électricité spécifique de 100 à 150 m² de bureaux.
- Cas d'une production « moyenne » : soit 7 500 kWh/an. Production correspondante :
 - Aux besoins en électricité spécifique de 4 à 5 logements collectifs,
 - Aux besoins en électricité spécifique de 150 à 200 m² de bureaux.
- Cas d'une production « moyenne à haute » : soit 10 000 kWh/an. Production correspondante :
 - Aux besoins en électricité spécifique de 5 à 6 logements collectifs,
 - Aux besoins en électricité spécifique de 250 à 300 m² de bureaux.

2.3. Analyse économique

Hypothèses	
Hypothèse de coût d'investissement	36 000 en € TTC
Puissance installée	5.0 kW
Taux d'actualisation	4%
Taux d'indexation de la maintenance	3.5%
Taux d'indexation du kWh du réseau	4%
Production (valeur basse à moyenne)	5 000 kWh / an
Tarif de vente du kWh éolien	8 c€/ kWh
% d'énergie revendue	20%
Gain lié à la vente d'énergie	80 € TTC /an
Tarif d'achat du kWh du réseau	15 c€/ kWh
% d'énergie autoconsommée	80%
Gain annuel lié à l'auto-consommation (énergie non sous-tirée sur le réseau)	600 € TTC /an
Coût annuel (maintenance et location compteur de production)	100 € TTC /an
Temps de retour actualisé (ATTENTION : valable uniquement si engagement de l'acheteur sur le long terme)	Rentabilité jamais atteinte
Production (valeur moyenne)	7 500 kWh / an
Tarif de vente du kWh éolien	8 c€/ kWh
% d'énergie revendue	30%
Gain lié à la vente d'énergie	180 € TTC /an
Tarif d'achat du kWh du réseau	15 c€/ kWh
% d'énergie autoconsommée	70%
Gain annuel lié à l'auto-consommation (énergie non sous-tirée sur le réseau)	788 € TTC /an
Coût annuel (maintenance et location compteur de production)	100 € TTC /an
Temps de retour actualisé (ATTENTION : valable uniquement si engagement de l'acheteur sur le long terme)	40 ans
Production (valeur moyenne à haute)	10 000 kWh / an
Tarif de vente du kWh éolien	8 c€/ kWh
% d'énergie revendue	35%
Gain lié à la vente d'énergie	280 € TTC /an
Tarif d'achat du kWh du réseau	15 c€/ kWh
% d'énergie autoconsommée	65%
Gain annuel lié à l'auto-consommation (énergie non sous-tirée sur le réseau)	975 € TTC /an
Coût annuel (maintenance et location compteur de production)	100 € TTC /an
Temps de retour actualisé (ATTENTION : valable uniquement si engagement de l'acheteur sur le long terme)	30 ans

NOTA IMPORTANT : le temps de retour n'est valable que dans l'hypothèse où un acheteur d'énergie est trouvé sur la durée d'analyse.

3. CONCLUSION

De nombreux freins s'opposent au développement du petit éolien sur la ZAC :

- La difficulté d'étudier avec précision la production prévisible,
- L'environnement urbain peu propice.

Dans les cas les plus favorables (prise en compte de l'évolution du coût des énergies, production estimée à une valeur haute, etc.), les calculs économiques donnent des temps de retour actualisé de l'ordre de 30 ans.



L'union de Coteba et Sogreah

Direction Régionale Ouest

Espaces Bureaux du Sillon de Bretagne

8 Avenue des Thébaudières - CS 20 232 - 44 815 SAINT HERBLAIN CEDEX

Tel. : 02 28 09 18 00 - Fax : 02 40 94 80 99

SPLA VIASILVA

ZAC ATALANTE VIASILVA

Etude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables (Article L128-4 du code de l'urbanisme)

JUIN 2016
REF. : 4.42.0972





Nom du document 4-42-0972- Etude Energie Atalante ViaSilva.docx

Date de création Juin 2016

Indice A

N° réf. affaire 4.42.0972

APR/eha

Ce document est imprimé sur papier 100 % recyclé.

1. Préambule	6
2. Données climatologiques	7
2.1.Zone climatique et DJU	7
2.2.Températures et amplitudes	8
2.3.Pluviométrie	8
2.4.Insolation.....	9
2.5.Vent.....	9
2.6.Synthèse	10
3. Note sur les unites de mesure	11
4. Bilan énergétique.....	14
4.1.Poste n°1 : consommations « réglementaires » des bâtiments neufs	14
4.1.1. Niveau RT 2012	14
4.1.2. Niveau BEPAS ou EFFINERGIE+	15
4.1.3. Niveau BEPOS EFFINERGIE 2013	17
4.1.4. Les surcoûts liés à la performance thermique	17
4.1.5. Performance énergétique et certification des constructions	19
4.1.6. Contrôle et suivi des opérations	19
4.2.Poste n°2 : consommations « électricité spécifique » des bâtiments neufs	21
4.3.Poste n°3 : Eclairage Public	22
4.4.Poste n°4 : bâtiments existants	22
4.4.1. Zone Champs Blancs Nord	22
4.4.2. Autres secteurs	22
4.5.Synthèse des besoins	25
5. Solution techniques : Chauffage, ECS, ventilation, production d'energie	27
5.1.Eolien.....	28
5.2.Solaire.....	31
5.2.1. Solaire photovoltaïque.....	31
5.2.2. Solaire thermique	33
5.2.3. Solutions solaires « hybrides ».....	35
5.3.Biomasse et déchets	36
5.3.1. Bois énergie.....	36
5.3.2. Méthanisation.....	38
5.4.Valorisation énergétique des déchets	42
5.5.Géothermie	44
5.6.Récupération de chaleur.....	47
5.6.1. Récupération de chaleur des eaux usées.....	47
5.6.2. Récupération de chaleur des eaux grises.....	48
5.7.Réseaux de chaleur existants.....	49
5.8.Machines à adsorption / absorption.....	53
5.9.Aérothermie et production d'eau chaude thermodynamique (électrique)	54

5.10. Cogénération	55
5.11. Solutions pour limiter les consommations liées à la ventilation	57
5.12. Synthèse.....	58

6. Solutions techniques : Eclairage et besoins spécifiques en electricite..... 60

6.1.Enjeux en termes de consommations.....	60
6.1.1. Usages	60
6.1.2. Propositions bâtiments	61
6.1.3. Propositions éclairage public	70
6.2.Enjeux en termes de puissance.....	73
6.3.Smart Grids.....	75
6.3.1. Enjeux à l'échelle de la ZAC.....	75
6.3.2. Enjeux à l'échelle des bâtiments.....	78

7. Scenarii..... 82

7.1.Scenarii à l'échelle des bâtiments.....	82
7.2.Scénarii à l'échelle de la ZAC.....	84

Annexes

1. PREAMBULE

ViaSilva est un projet de développement urbain situé essentiellement sur la commune de Cesson-Sévigné au cœur de la métropole rennaise et en partie sur les communes de Rennes et Thorigné-Fouillard. Il s'inscrit dans la continuité des quartiers d'habitat existants et de la Technopole Atalante Beaulieu, site stratégique de développement économique et d'enseignement supérieur. Trois espaces naturels bordent le site : la base de loisirs des Gayeulles, la vallée de la Vilaine et la forêt de Rennes. Le projet ViaSilva a été labellisé ÉcoCité en 2009.

ViaSilva a pour objectif de répondre de façon concrète et réaliste à l'accueil de nouveaux habitants et de nouveaux emplois. Pour cela, le projet cherche à conjuguer douceur de vivre au quotidien, confort de travail, respect de la nature et du patrimoine bâti, développement économique, innovation environnementale et technologique.

L'urbanisation ViaSilva s'inscrit de manière progressive dans le respect et la continuité de Cesson-Sévigné et du nord-est de Rennes. Les futures opérations d'aménagement « Atalante ViaSilva » et « Les Pierrins » associeront le développement de nouveaux quartiers qui seront harmonieusement reliés à l'existant et le renouvellement de secteurs existants dans Atalante autour des deux stations de métro pour permettre la construction mixte de logements et de bureaux, pour apporter plus de services et d'équipements au quotidien et ainsi améliorer la qualité de vie des habitants et des salariés.

Cette mise en œuvre, quartier par quartier, permettra d'offrir un cadre de vie adapté à l'évolution des besoins.

L'enjeu énergétique fait l'objet de la présente étude. Les points abordés sont les besoins en énergie, les niveaux de performances visés, les solutions techniques envisagées et les scénarii de desserte énergétique des bâtiments.

2. DONNEES CLIMATOLOGIQUES

La suite présente les principales données climatiques du site. Elles sont issues de la station Météo-France, Saint-Jacques-de-la-Lande (35). Il s'agit de données statistiques (moyennes mensuelles sur la période de référence 1971-2010).

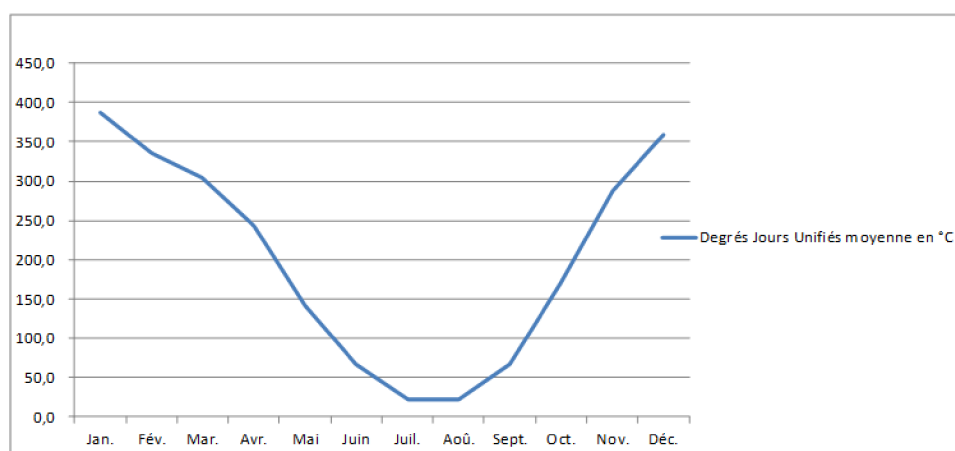
2.1. Zone climatique et DJU

La zone climatique influence le « droit à consommer en énergie » d'une construction. Elle est déterminée par la rigueur du climat. Le projet est situé dans la zone climatique H2a au sens de la Réglementation Thermique 2012.



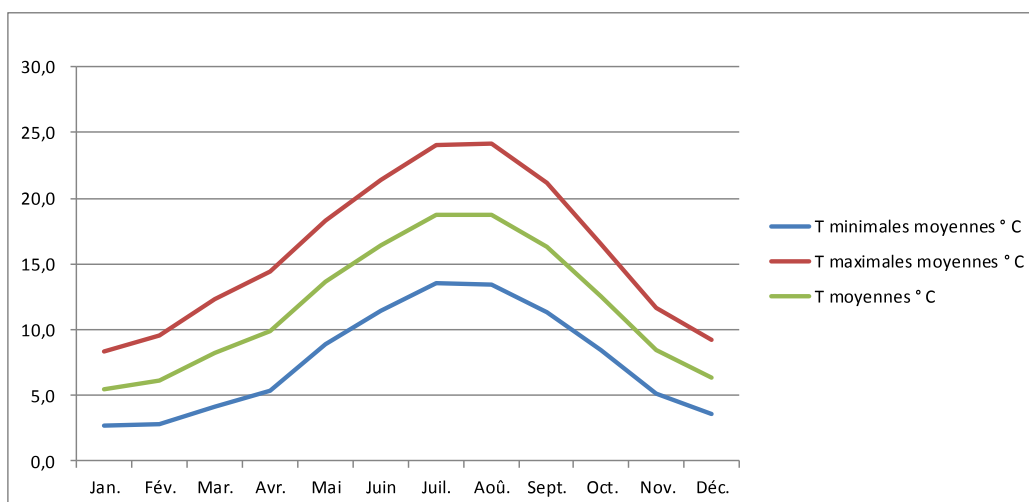
Les DJU (Degrés Jours Unifiés) sont quant à eux une mesure de la rigueur climatique.

Paramètres	Unités	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Degrés Jours Unifiés	moyenne en °C	387,5	336,1	304,0	242,3	141,0	66,7	22,7	21,8	66,3	170,6	288,2	358,5	2405,7



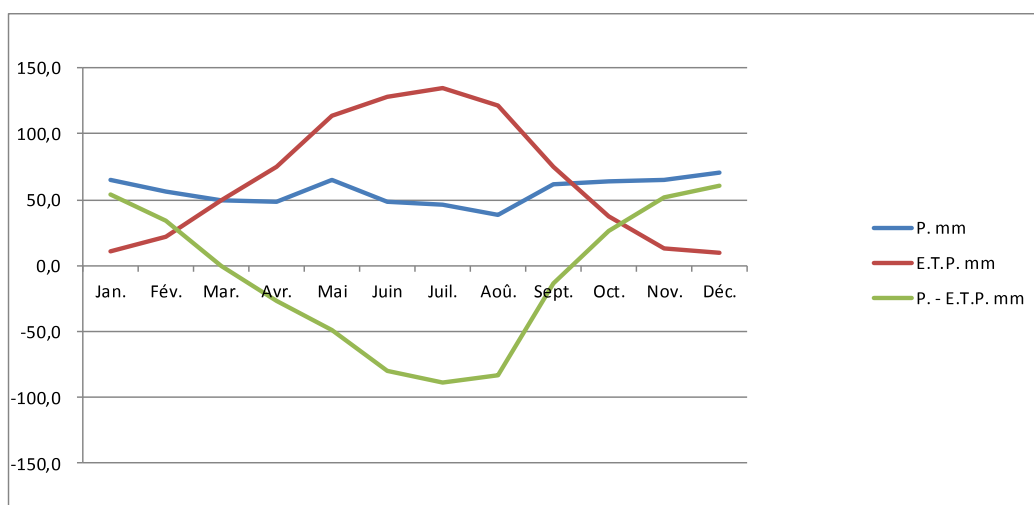
2.2. Températures et amplitudes

Paramètres	Unités	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aoû.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
T minimales moyennes	° C	2,7	2,8	4,1	5,4	8,9	11,4	13,5	13,4	11,3	8,5	5,1	3,6	7,6
T maximales moyennes	° C	8,3	9,5	12,3	14,4	18,3	21,4	24,0	24,1	21,2	16,5	11,7	9,2	15,9
T moyennes	° C	5,5	6,2	8,2	9,9	13,6	16,4	18,8	18,8	16,3	12,5	8,4	6,4	11,7



2.3. Pluviométrie

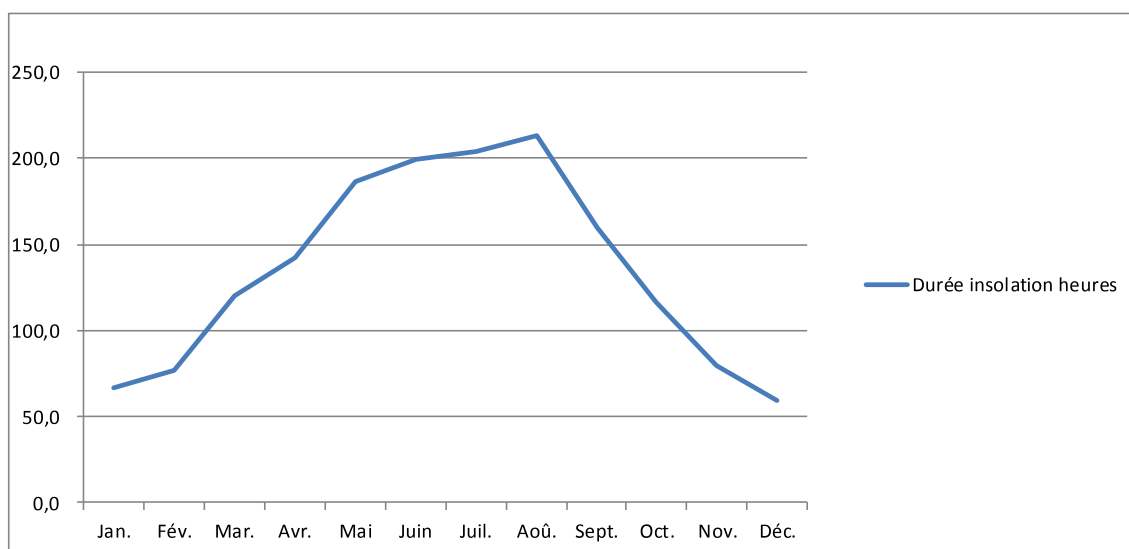
Paramètres	Unités	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aoû.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
P.	mm	65,1	56,0	49,4	47,9	65,0	48,6	45,9	38,1	61,2	64,0	65,2	70,4	676,8
E.T.P.	mm	11,0	21,7	49,9	74,6	114,0	128,0	135,1	121,2	74,4	37,2	13,2	9,3	789,6
P. - E.T.P.	mm	54,1	34,3	-0,5	-26,7	-49,0	-79,4	-89,2	-83,1	-13,2	26,8	52,0	61,1	-112,8



Nota : P = précipitations ; E.T.P = évapotranspiration potentielle

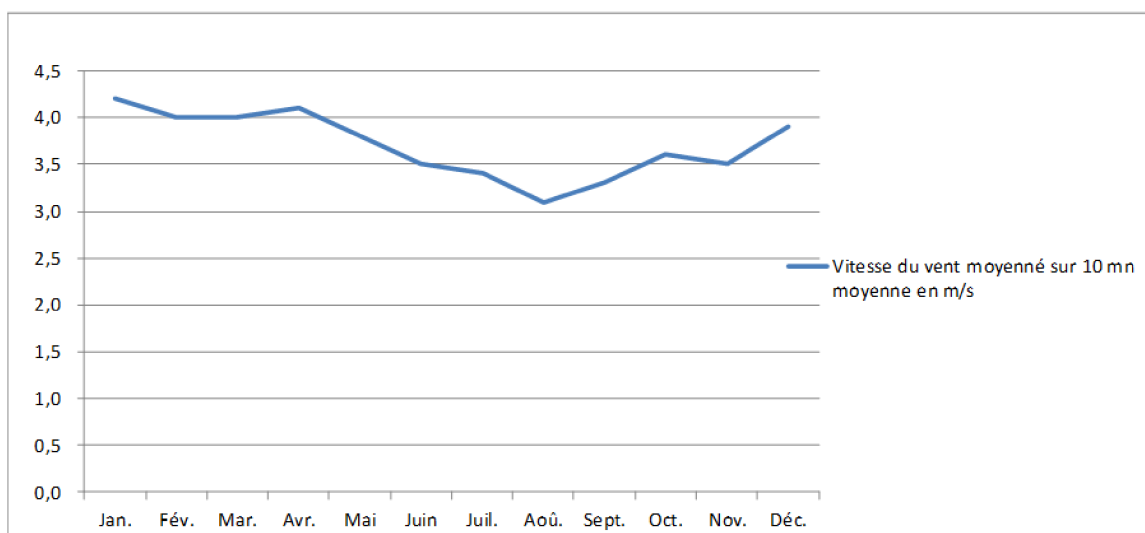
2.4. Insolation

Paramètres	Unités	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aoû.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Durée insolation	heures	67,1	77,2	120,6	142,0	186,9	199,5	204,4	212,9	160,2	116,7	79,2	59,1	1625,8



2.5. Vent

Paramètres	Unités	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aoû.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Vitesse du vent moyenné sur 10 mn	moyenne en m/s	4,2	4,0	4,0	4,1	3,8	3,5	3,4	3,1	3,3	3,6	3,5	3,9	3,7



2.6. Synthèse

La ZAC est située sous un climat océanique relativement doux. Les hauteurs annuelles de précipitations sont inférieures à 700 mm.

Les hivers sont humides et en moyenne doux.

Les étés sont relativement secs, modérément chauds et ensoleillés.

Le site bénéficie d'une durée d'insolation inférieure à la moyenne française.

Enfin, les vents ont une vitesse moyenne peu élevée.

3. 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 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'Énergie Finale** : il s'agit de l'énergie utilisée dans les bâtiments et s'exprime en kWh_{EF}.

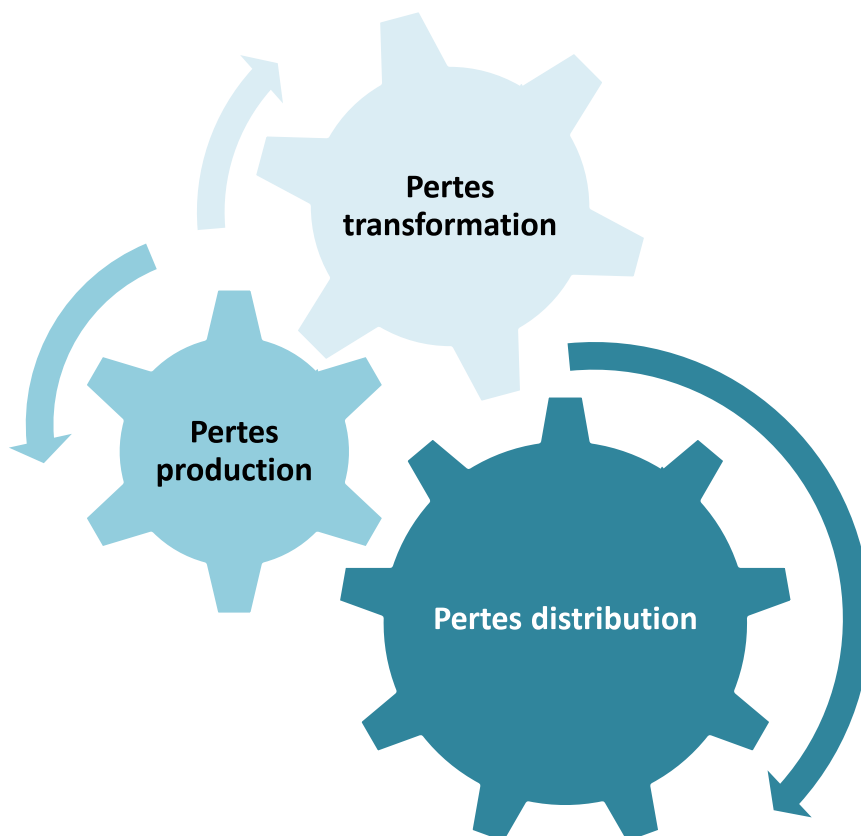
Tableau de conversion issu de l'arrêté du 15.09.2006		
1 kWh PCS de gaz	=	0,9 kWh _{EF}
1 kWh électrique	=	1 kWh _{EF}
1 litre de fioul	=	9,97 kWh _{EF}

- **l'Énergie 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 kWh_{EP} dans la Réglementation Thermique 2012 pour prendre en compte l'éloignement des sites de production d'électricité (centrales, etc.) par rapport aux bâtiments.

ENERGIE PRIMAIRE



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}	=	0,013 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 0,750 kg d'équivalent CO₂.

4. BILAN ENERGETIQUE

4.1. Poste n°1 : consommations « réglementaires » des bâtiments neufs

La suite présente la Réglementation Thermique 2012 ainsi que les évolutions attendues des différents niveaux de labels de performance.

Nota : les consommations prises en compte dans les usages réglementaires ne concernent que les consommations de chauffage, refroidissement, eau chaude, éclairage et auxiliaires (ventilateurs, circulateurs, etc.). Les consommations d'électricité spécifiques ne sont pas ici visées (voir partie suivante).

4.1.1. 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.

Il est important de présenter la RT 2012 car elle sert de référence pour définir les labels plus ambitieux (voir ci-après le label Effinergie+ et le label BEPOS Effinergie 2013).

La RT 2012 définit 3 exigences de performance :

- Une **consommation maximum** pour les postes chauffage, refroidissement, eau chaude, éclairage et auxiliaires traduites par le coefficient CEP (Consommation d'Énergie 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.
- 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.
- 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 pour l'habitat individuel ou dit accolé :

- 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

Pour les autres bâtiments, 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.

RT 2012 : exemples de CEP (consommations maximales)	
Logements	55 kWh_{ep}/m²/an <i>jusqu'à 61 kWh_{ep}/m²/an pour quelques cas de figures</i>
Activités	77 kWh_{ep}/m²/an
Equipements	85 kWh_{ep}/m²/an <i>entre 55 et 110 kWh_{ep}/m²/an suivant le type d'équipement</i>

4.1.2. Niveau BEPAS ou EFFINERGIE+

Un bâtiment à énergie passive « **BEPAS** » est un bâtiment dont les consommations en chauffage uniquement sont inférieures ou égales à 15 kWh_{EP}/m²/an. Cette performance énergétique passe par une conception architecturale bioclimatique (exploitation optimisée des apports solaires, forte isolation, etc.) et des équipements performants.

Le terme de bâtiment BEPAS peut être utilisé sans faire référence à un label.

L'association EFFINERGIE (à l'origine, à l'époque de la RT 2005, du label EFFINERGIE BBC) a mis en place un label intitulé « **EFFINERGIE+** ». En effet, avec l'arrivée de la RT 2012, le label EFFINERGIE BBC n'avait plus vocation à exister. L'association EFFINERGIE a donc travaillé pour définir un niveau de performance plus ambitieux que celui de la RT 2012.

Cette réflexion permet de labéliser les bâtiments et d'enclencher les discussions sur les évolutions de la RT 2012. Un document intitulé « Règles Techniques applicables aux bâtiments neufs faisant l'objet d'une demande de label EFFINERGIE+ » a été actualisé en juin 2014. Il est téléchargeable à l'adresse suivante :

<http://www.effinergie.org/index.php/les-labels-effinergie/1048-le-label-effinergie>

RT 2012 : exemples de CEP (consommations maximales)	
Logements	44 kWh_{ep}/m²/an <i>jusqu'à 49 kWh_{ep}/m²/an pour quelques cas de figures</i>
Activités	46 kWh_{ep}/m²/an
Equipements	70 kWh_{ep}/m²/an <i>entre 45 et 90 kWh_{ep}/m²/an suivant le type d'équipement</i>

En prenant l'exemple des logements, on s'aperçoit qu'en ventilant les 44 kWh_{ep}/m²/an, environ 32 kWh_{ep}/m²/an peuvent être alloués au chauffage et à la production d'eau chaude sanitaire. En répartissant à parts égales les 32 kWh_{ep}/m²/an (chauffage / ecs), **un logement EFFINERGIE+ aura un niveau de performance proche de celui d'un bâtiment BEPAS.**

En conclusion, il faut retenir que les principales ambitions du label « EFFINERGIE+ » sont :

- Viser une baisse du coefficient Bbio de 20%
- Diminuer le CEPmax. Dans notre cas :
 - Pour les logements : baisse de l'ordre de 20%
 - Pour les bureaux : baisse de l'ordre de 40%
 - Pour les équipements : baisse de l'ordre de 20%
- Imposer des exigences sur l'étanchéité à l'air accrues,
- Améliorer l'efficacité des systèmes de ventilation et la qualité de l'air en rendant obligatoire la mesure de la perméabilité des réseaux
- Imposer l'évaluation des consommations d'énergie hors usages réglementaire pour faire prendre conscience de leur importance,
- Imposer l'affichage à l'intérieur des logements des principales consommations par poste (chauffage, eau chaude, réseau de prises de courant, etc.),
- Afficher certaines données comme le détail du CEP par usage réglementaire, le coefficient Bbio, la part de production d'énergie renouvelable, les émissions de Gaz à Effet de Serre en équivalent CO₂, etc.
- Fournir aux utilisateurs un guide d'usage des bâtiments,
- Imposer la prise en compte de cibles de qualité environnementale liées à l'énergie (confort visuel, confort acoustique, confort d'été, qualité de l'air),
- Inciter à la prise en compte de l'énergie grise des matériaux,
- Inciter à réfléchir sur la mobilité des utilisateurs des bâtiments.

4.1.3. Niveau BEPOS EFFINERGIE 2013

Le principe d'un bâtiment à énergie positive « **BEPOS** » est de produire plus d'énergie qu'il n'en consomme. Un bâtiment BEPOS a des consommations de chauffage faibles (généralement inférieures ou égales au niveau BEPAS). Cependant, pour être qualifié bâtiment à « énergie positive », il est équipé de systèmes de production d'énergies renouvelables (panneaux photovoltaïques, éoliennes, etc.) en quantité suffisante pour compenser ses besoins annuels.

La question est de savoir si le Maître d'Ouvrage inclut toutes les consommations (y compris bureautique, électroménager, etc.) dans la définition qu'il donne à un bâtiment BEPOS.

L'association EFFINERGIE propose un nouveau label intitulé « **BEPOS-EFFINERGIE 2013** » permettant de définir le périmètre des consommations prises en compte ainsi que les modes de calculs. Les informations techniques sont téléchargeables à l'adresse suivante :

<http://www.effinergie.org/web/index.php/les-labels-effinergie/bepos-effinergie>

En conclusion, il faut retenir que le label « BEPOS-EFFINERGIE 2013 » repose sur les principes suivants :

- Obligation d'être à minima conforme à la RT 2012 et au label EFFINERGIE+,
- Obligation d'être également conforme vis-à-vis des points suivants :
 - La différence entre l'énergie primaire non renouvelable utilisée dans le bâtiment et la quantité d'énergie produite doit être inférieure à une valeur limite,
 - L'énergie primaire non renouvelable utilisée dans le bâtiment est calculée en sommant :
 - Les consommations issues du calcul réglementaire RT,
 - Une estimation des autres consommations d'électricité spécifique (à retenir : 70 kWhep/m²/an pour les logements, 100 kWhep/m²/an pour les bureaux, 30 kWhep/m²/an pour les bâtiments d'enseignements)
 - La valeur limite à ne pas dépasser correspond à un écart autorisé afin de permettre la prise en compte du type de bâtiment, de sa localisation, de son nombre de niveaux, etc.

4.1.4. Les surcoûts liés à la performance thermique

Les surcoûts d'investissement nécessaires pour passer d'un bâtiment RT 2012 (proche du niveau BBC) à un bâtiment type EFFINERGIE+ (proche du niveau passif) ont été évalués au travers de plusieurs études.

Il ressort des écarts (en termes d'investissements uniquement) de 5 à 15 % suivant les études et les types de bâtiments. Ces valeurs sont à prendre avec précaution du fait que les études et articles techniques traitant du sujet proviennent de professionnels du secteur ayant des intérêts divergents. Ce surcoût résulte des études thermiques, de la qualité de construction exigée et de matériaux innovants ou spécifiques pouvant augmenter sensiblement le coût de construction.

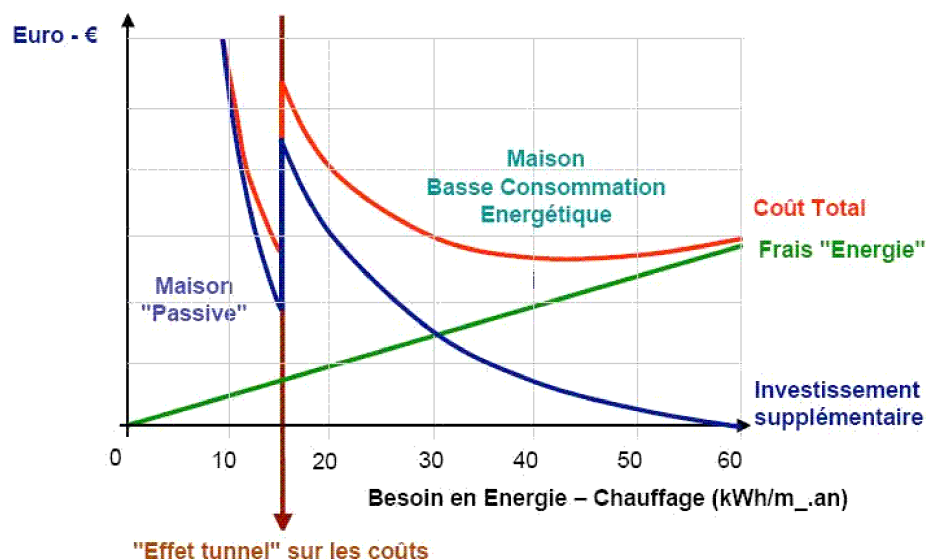
Le Passivhaus Institut, à l'origine du label allemand certifiant la performance énergétique de bâtiment passif, a démontré un « effet tunnel sur les coûts » illustré ci-dessous. Dans ce graphique il est question de comparer le coût global d'une construction BBC avec celle d'un bâtiment passif. La courbe rouge stipule le coût total d'exploitation, tandis que celle en bleu

représente la somme des surcoûts occasionnés pour atteindre davantage de performance. La droite verte illustre la facture énergétique.

Pour juger la pertinence de ces investissements entraînant un surcoût, il faut :

- Comparer les économies (énergie, maintenance, etc.) réalisées,
- Prendre en compte que la performance d'un bâtiment lui confère une meilleure valeur immobilière,
- Avoir à l'esprit que ce type de bâtiment sera moins sensible à l'évolution du coût des énergies.

Enfin, il faut noter que la multiplication des projets sera accompagnée par une standardisation des techniques de construction passives et permettra ainsi de limiter les surcoûts.



Source : PassivHaus Institut

4.1.5. Performance énergétique et certification des constructions

Plusieurs organismes accrédités par le COFRAC sont en mesure de certifier la qualité des ouvrages (notamment CEQUAMI, CERQUAL, CERTIVEA).

En général, plusieurs niveaux de certification sont accessibles (niveau de base, niveau HQE, etc.). Pour obtenir la certification, un certain nombre de critères doivent être respectés. La performance énergétique en fait partie.

A titre d'exemple, obtenir un label Effinergie+ ou BEPOS Effinergie permet de cumuler des points supplémentaires utiles pour viser des certifications HQE.

Enjeu énergie – certification NF Habitat.	
<p>Principales exigences NF Habitat</p> <ul style="list-style-type: none"> > Niveau réglementaire RT2012. > Respect de critères de qualité technique pour les systèmes de chauffage et production d'ECS. > Autocontrôle de l'ensemble de l'installation de chauffage et de l'installation collective d'ECS avec production solaire. > Efficacité lumineuse des lampes des parties communes ≥ 60 lumens/Watt (hall, circulations, escaliers). > Indicateur de performance énergétique. 	<p>Principales exigences NF Habitat HQE™ 2 points</p> <ul style="list-style-type: none"> > Niveau « RT2012 -10% maisons individuelles » et « RT2012 -10% collectif anticipé ». > Indicateur Énergie primaire non renouvelable du cycle de vie du bâtiment en conception.
<p>Principales exigences NF Habitat HQE™ 1 point</p> <ul style="list-style-type: none"> > Niveau RT2012 « Collectif anticipé ». > Pour les différents locaux et circulations communes, circuits d'éclairage indépendants. 	<p>Principales exigences NF Habitat HQE™ 3 points</p> <ul style="list-style-type: none"> > Niveau « RT2012 -20% maisons individuelles » et « RT2012 -20% collectif anticipé ». > Label Effinergie + et label BEPOS Effinergie. > Description des procédures de commissionnement mises en place par le Maître d'ouvrage pour les équipements techniques.
<p><u>A retenir</u></p> <p>La réflexion sur la certification des constructions doit intégrer la réflexion sur les labels de performances énergétiques.</p>	

4.1.6. Contrôle et suivi des opérations

La Réglementation Thermique 2012 introduit de nouvelles exigences. Afin de garantir une meilleure application, en parallèle, des contrôles seront effectués par l'administration (Etat ou collectivités publiques). Si le projet s'inscrit dans une démarche de labellisation (exemple label Effinergie+), d'autres contrôles peuvent être imposés ou suggérés.

Les contrôles seront effectués à trois étapes clés du processus de construction, lors de la phase de conception, de construction et pour la phase de réception, incluant un certain suivi.

- Suivre les performances en phase conception. Pour cela, il pourrait être demandé de :
 - D'intégrer la Réglementation Thermique dès les premières esquisses,
 - Que le Maître d'Ouvrage joigne une attestation, relative à la prise en compte de la RT 2012, lors du dépôt de la demande de permis de construire en mairie (obligatoire - décret du 18/05/11),
 - Qu'une étude de faisabilité technique et économique des diverses solutions d'approvisionnement en énergie soit demandée pour les bâtiments de plus de 1000 m²,

- Généraliser la réalisation de simulation thermique dynamique (à minima pour les bâtiments de bureaux) en complément de l'étude thermique réglementaire. L'intérêt de la simulation thermique réside dans la prise en compte des usages dits réels du bâtiment. Contrairement à l'étude thermique réglementaire, elle n'est pas basée sur la prise en compte d'hypothèses types. Les résultats obtenus par l'étude sont plus proches des résultats constatés.
- Dans le cadre d'une demande des labels Effinergie+ :
 - Que les bâtiments fassent l'objet d'une évaluation des consommations d'énergie liées aux cycles de vie des matériaux de construction,
 - D'effectuer une évaluation des consommations d'énergie relatives aux déplacements des habitants ou des utilisateurs du bâtiment.
- **Vérification sur site.** Pour cela, il pourrait être demandé de :
 - Mettre en place des autocontrôles entre intervenants pour chaque phase, suivant l'avancement du chantier,
 - Imposer un suivi énergétique spécifique en nommant un référent technique indépendant du maître d'œuvre. Son rôle sera de s'assurer que le maître d'œuvre est vigilant sur un certains nombres de points :
 - Compétences des entreprises retenues,
 - Connaissance de ces dernières des prescriptions techniques de mises en œuvre des matériaux (réflexion à mener sur la place des fournisseurs de solutions innovantes dans la formation des installateurs),
 - Gestion des interactions entre les différents lots ayant une incidence sur l'énergie (exemple : s'assurer que les études d'exécution sont synthétisées pour éviter des réservations de passages de câbles trop importantes et sources d'infiltration d'air)
 - Etc.
 - Généraliser la mise en place de tests de perméabilité à l'air en fin de chantier mais également aux étapes clés (étapes à partir desquelles des actions correctives peuvent encore être menées),
 - Généraliser une analyse thermographique en parallèle des tests de perméabilité à l'air,
 - Pour le label Effinergie+, consacrer une attention particulière en terme de confort visuel, acoustique, d'été et de qualité de l'air, dans l'optique de favoriser la qualité globale des réalisations.
- **Suivre les performances en phase de réception et effectuer un retour d'expérience sur un certain nombre de technologies.** Notamment, il est prévu de suivre les performances de toutes les technologies proposées en expérimentation : micro cogénération bois, récupération de chaleur des eaux grises, etc. Ces technologies méritent d'être instrumentées pour en vérifier les performances et pouvoir envisager d'en généraliser la mise en œuvre sur la ZAC.

- **Actions de sensibilisation.** Malgré l'amélioration des équipements électriques en termes d'efficacité énergétique, notre consommation électrique ne cesse d'augmenter. Il pourrait être proposé de :
 - Distribuer aux usagers des guides d'utilisation des bâtiments diffusant les bonnes pratiques et expliquant le fonctionnement des équipements mis à disposition pour limiter ces consommations,
 - Organiser des réunions d'informations sur site pour s'assurer de la bonne compréhension des guides d'utilisation des bâtiments,
 - Mettre en place une permanence technique pour répondre aux sollicitations des usagers,
 - Afficher les consommations des principaux postes (chauffage, eau chaude, réseau de prises de courant cuisine, réseau de prises de courant salon, etc.). Certaines études évoquent des économies de 8 à 12 % de la consommation d'énergie globale par rapport à la consommation effective avant la mise en place de ce dispositif,
 - Afficher les données de production par énergie renouvelables (photovoltaïque, cogénération, etc.).

4.2. Poste n°2 : consommations « électricité spécifique » des bâtiments neufs

Les besoins en électricité spécifique correspondent aux besoins non pris en compte dans la Réglementation Thermique : bureautique, électroménager, etc.

Il est proposé de retenir les hypothèses prises en compte dans le label BEPOS Effinergie 2013 à savoir :

Besoins spécifiques en électricité	
Logements	70 kWh_{ep}/m²/an (soit 27 kWh _{ef} /m ² /an)
Bureaux	100 kWh_{ep}/m²/an (soit 39 kWh _{ef} /m ² /an)
Enseignements, Crèche	30 kWh_{ep}/m²/an (soit 12 kWh _{ef} /m ² /an)
Autres typologie	100 kWh_{ep}/m²/an (soit 39 kWh _{ef} /m ² /an)

4.3. Poste n°3 : Eclairage Public

Les consommations d'énergie pour l'éclairage public ont été calculées de la manière suivante :

- Analyse d'un macro-ilot représentatif en termes de densité d'habitation et d'activités :
- Identification des principales catégories de voies à éclairer,
- Mise en œuvre d'un éclairage optimisé : éclairage au plus juste des besoins, performance des sources et pilotage des installations (réduit, coupure nocturne, etc.)
- Evaluation des besoins de l'îlot.
- Généralisation des résultats à l'ensemble de la ZAC,
- Prise en compte d'une surconsommation de l'ordre de 20% pour les éclairages des espaces publics mis en valeur et les éventuels parkings publics.

Il ressort de cette analyse que les consommations d'éclairage public peuvent être évaluées entre 2 à 4% des besoins énergétiques de la ZAC. Il est donc retenu une hypothèse de 3%.

4.4. Poste n°4 : bâtiments existants

4.4.1. Zone Champs Blancs Nord

Plusieurs projets de bâtiments sont engagés sur la zone Champs Blancs Nord. Ils ont un niveau de consommation d'énergie correspondant en moyenne à la RT 2012 (niveau compris entre RT2005-30% pour certains à Effinergie+). Ces projets ne sont pas intégrés au bilan final car les démarches de mises en œuvre des énergies renouvelables sont déjà arrêtées.

Les projets non engagés de cette zone ont quant à eux été intégrés aux estimations de consommations.

4.4.2. Autres secteurs

Les estimations des consommations de ces bâtiments existants sont issues de l'étude énergétique H4 du 26/06/13.

Extrait étude H4 :

Le secteur Atalante est spécifique car il s'agit d'une zone d'activités construite à partir des années 80. La plupart des bâtiments étaient donc soumis à la réglementation thermique de 1988 lors de leur construction. Cette réglementation est très peu exigeante par rapport à la réglementation actuelle. Les consommations de chauffage sont donc importantes en raison de la faiblesse de l'isolation.

En outre, cette zone d'activité accueille en outre des entreprises du secteur numérique et téléphonique très consommatrices en électricité. Des Data Center sont présents sur le site.

Des secteurs mutables ont été identifiés et feront l'objet d'une urbanisation avec la perspective de créer des logements sur la zone.

Cependant la plus grande partie du secteur Atalante reste destinée à l'accueil d'activités.

Des contacts ont été pris avec les entreprises du site afin d'obtenir des renseignements sur les consommations d'énergie. Toutes les informations n'étant pas disponibles, les besoins énergétiques de certains bâtiments ont été évalués à l'aide de ratios issus de retour d'expérience sur des bâtiments construits à la même époque.

Dans la suite, quatre bâtiments emblématiques du secteur sont présentés afin de mieux appréhender les caractéristiques du secteur existant.



Polyclinique Sévigné

Etablissement hospitalier de 240 lits

Bâtiment chauffé au gaz

Consommation annuelle :

2228 MWh/an de gaz

2770 MWh/an d'électricité

Mise en place de détecteurs de présence sur l'éclairage



Polyclinique Sévigné

Bâtiment de bureaux

Bâtiment chauffé au gaz

Consommation annuelle :

185 MWh/an de gaz

720 MWh/an d'électricité

Rénovation énergétique prévue, en cours ou réalisée : isolation et remplacement des menuiseries



**Coopérative laitière**

Bâtiment chauffé au gaz

Consommation annuelle :

3500 MWh/an de gaz

11000 MWh/an d'électricité

Pas de travaux ou de remplacement
de système à l'étude

**Ecole Supelec :**

Bâtiment chauffé à l'électricité

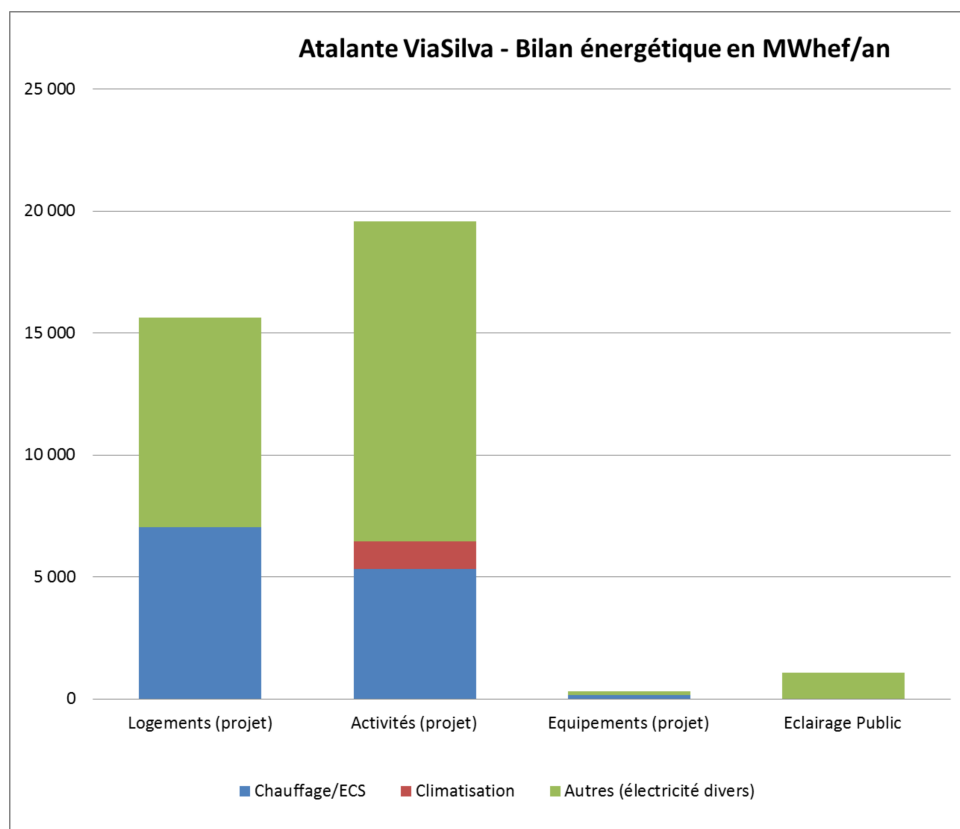
Pas de travaux d'efficacité
énergétique réalisés

4.5. Synthèse des besoins

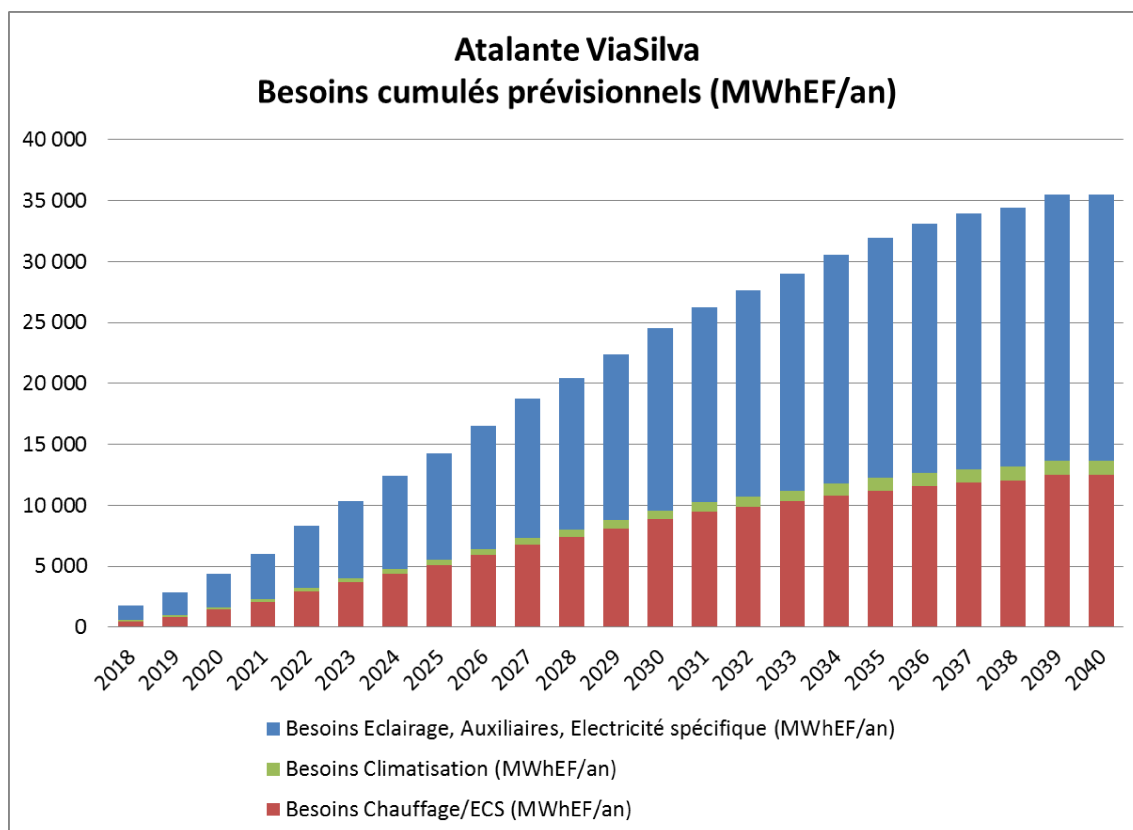
En synthèse, les principales hypothèses retenues pour le bilan énergétique de la ZAC sont les suivantes :

- Bâtiments « projet » :
 - Niveau de performance énergétique pour les usages dits réglementaires :
 - RT 2012 pour les projets déjà engagés et Effinergie + jusqu'en 2020,
 - Effinergie + à partir de 2020,
 - Niveau de consommation pour les usages dits « électricité spécifique » : hypothèse du label Effinergie Bepos 2013 donnant une approche des consommations à compenser
- Bâtiments « existants » et projets déjà engagés : leurs besoins sont écartés de l'étude (secteur essentiellement privé, stratégie énergie renouvelable déjà arrêtée)
- Eclairage Public : consommations de l'ordre de 3 % des consommations des bâtiments (hypothèse issue d'un calcul à l'échelle d'un macro ilot).

A l'horizon 2040, les besoins se répartiront de la manière suivante :



Le tableau ci-après synthétise l'estimation des besoins :



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

L'objectif de cette partie est de présenter les solutions techniques envisageables pour répondre aux besoins en termes de production de chauffage et d'ECS, de ventilation et de production d'énergie.

Suite à cette analyse, certaines solutions seront écartées car non adaptées au projet.

Les familles de solutions techniques envisagées sont :

- L'éolien : petit éolien et l'éolien industriel,
- Le solaire : photovoltaïque, thermique et hybride.
- La biomasse : bois énergie et méthanisation,
- La valorisation énergétique des déchets,
- La géothermie : sur nappe et sur sondes,
- La récupération de chaleur des eaux usées ou des eaux grises,
- Les réseaux de chaleur existant,
- Les machines à absorption / adsorption,
- L'aérothermie,
- Les solutions en cogénération,
- Les solutions limitant les coûts de chauffage liées à la ventilation.

5.1. 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.

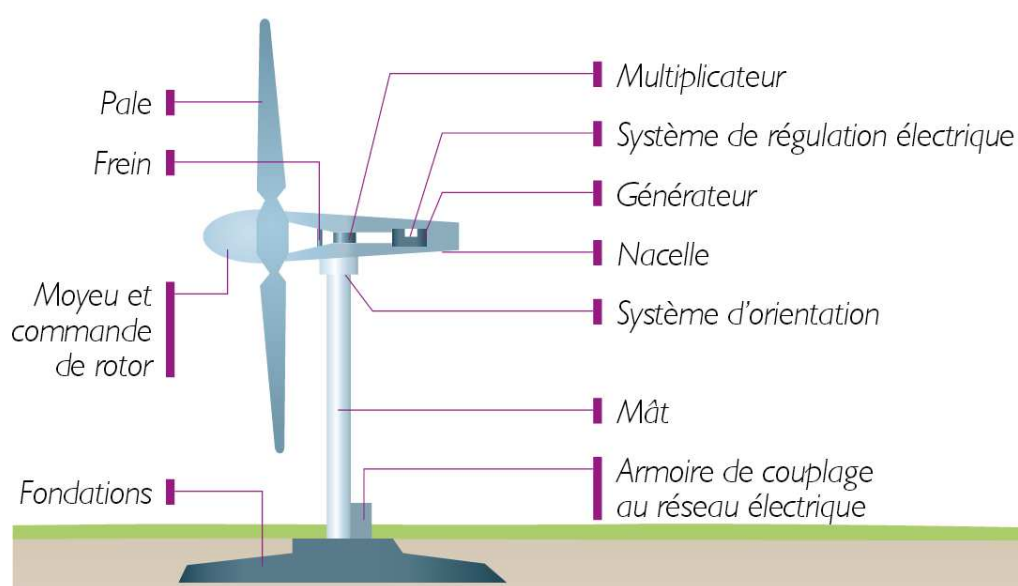
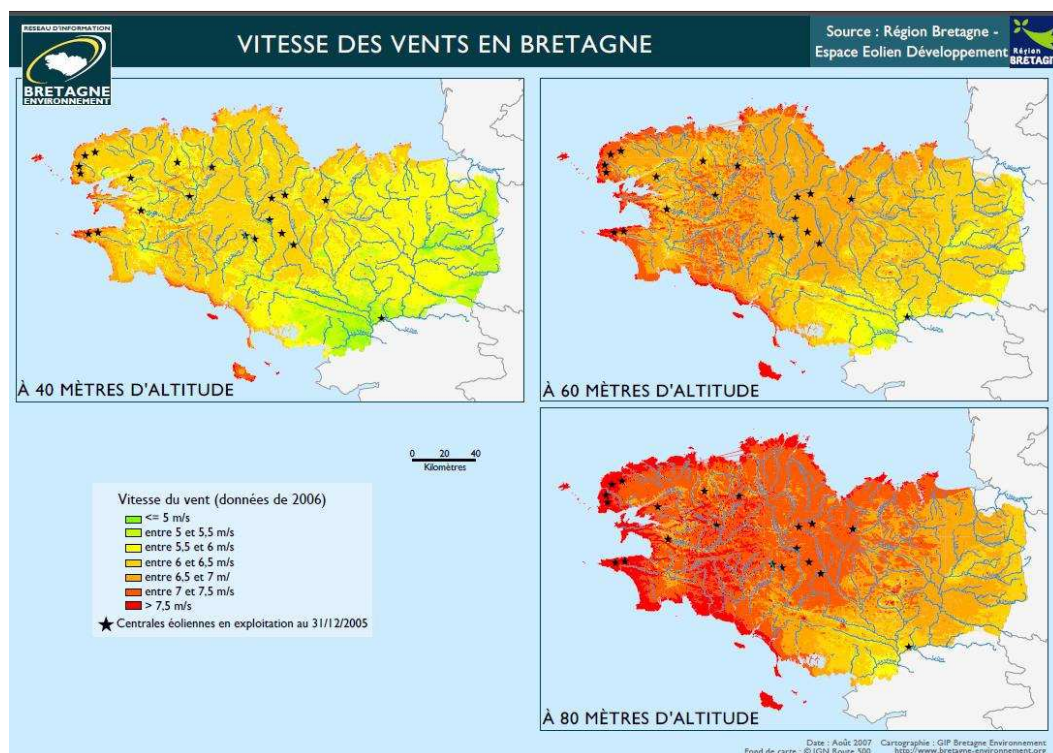


Schéma de principe d'une éolienne (source ADEME – guide pratique éolien)



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



Vitesse des vents en Bretagne (source Région Bretagne)

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'est pas adaptée à ce projet. De même, l'objectif de COS moyen de la ZAC étant élevé et les distances entre éoliennes et habitations étant contraignantes, il n'apparaît pas envisageable de mettre en œuvre de telles éoliennes.

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'apparaît 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 de la ZAC.

Synthèse		
Domaine	Remarque	Conclusion
Chauffage/ECS/Climatisation	Non concerné	Non concerné
Production Electricité	Peu adapté au milieu urbain, confirmation du potentiel difficile à établir	Grand éolien : non adapté Petit éolien : peu adapté, à ne tester qu'en expérimentation

5.2. Solaire

5.2.1. Solaire photovoltaïque




Le principe

L'objectif est de convertir l'énergie du rayonnement du soleil en énergie électrique. Un panneau de 1 m² fournit une puissance de l'ordre de 140 Wc et produit de 135 à 155 kWh/an.

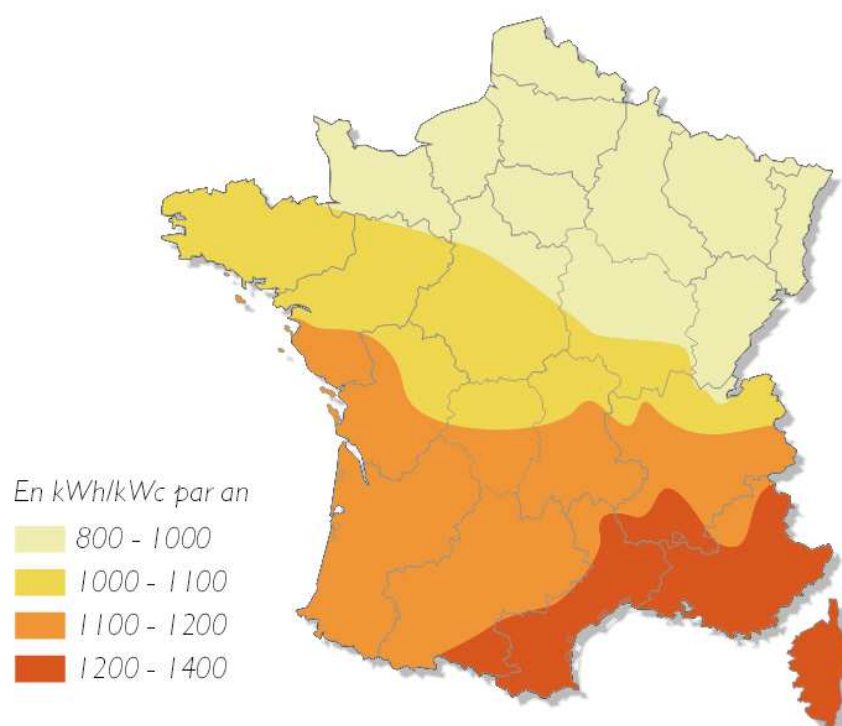
Le lieu géographique, l'orientation du bâtiment et l'inclinaison de la toiture influencent la production annuelle.

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

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

Technologies et rendement		
Monocristallin		<i>Rendement : 13 à 18%</i>
Polycristallin		<i>Rendement : 11 à 15%</i>
Amorphe		<i>Rendement : 5 à 8%</i>

Dans la majeure partie des cas, le système photovoltaïque est indépendant des usages des bâtiments. En effet, la production d'électricité est généralement revendue intégralement. Elle peut également être consommée en partie ou intégralement sur site (solution très peu développée car nécessitant des batteries de stockage de l'énergie). Le choix de revendre intégralement ou non la production est dicté par l'arrêté 4 mars 2011 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie radiative du soleil. Tant que les prix d'achat sont supérieurs au prix de vente de l'électricité, les producteurs revendront leur production.



Estimation des productibles en France (source ADEME)

Différentes solutions photovoltaïques existent et sont adaptées aux divers 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.

Synthèse		
Domaine	Remarque	Conclusion
Chauffage/ECS/Climatisation	Non concerné	Non concerné
Production Electricité	<p>A intégrer en toiture et en façade en adéquation avec les autres usages</p> <p>A moyen terme, intérêt économique à autoconsommer (voir à stocker) l'énergie produite</p>	Opportunité Forte pour tous types de bâtiment

5.2.2. Solaire thermique

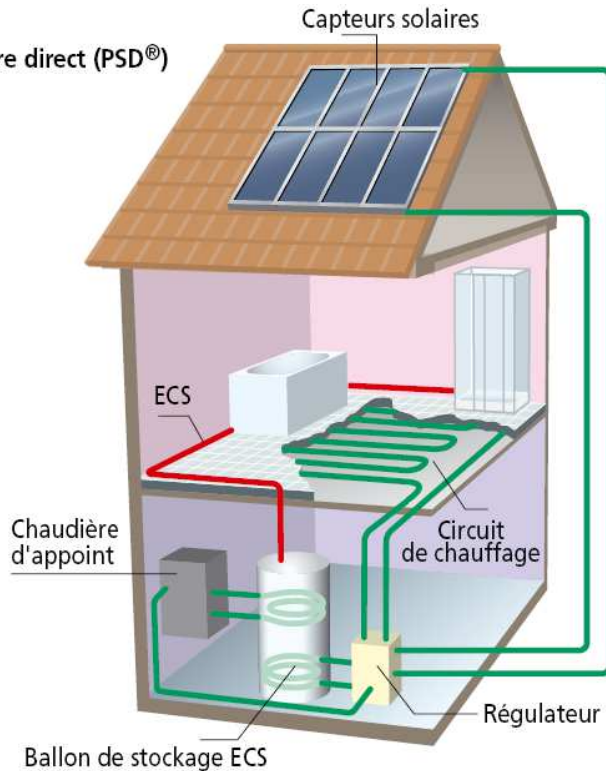
Le principe

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 divers 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 du plancher solaire direct (PSD®)

En vert : circuit où circule l'antigel.
En jaune : circuit où circule l'eau de chauffage (sans antigel).
En rouge : circuit d'eau chaude sanitaire.



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 ou accolées, il s'agit également d'un des moyens pour produire la part d'énergie renouvelable imposée par la réglementation. Pour les logements collectifs, il s'agit d'une solution pouvant présenter un intérêt dans le cadre d'une production collective d'énergie.

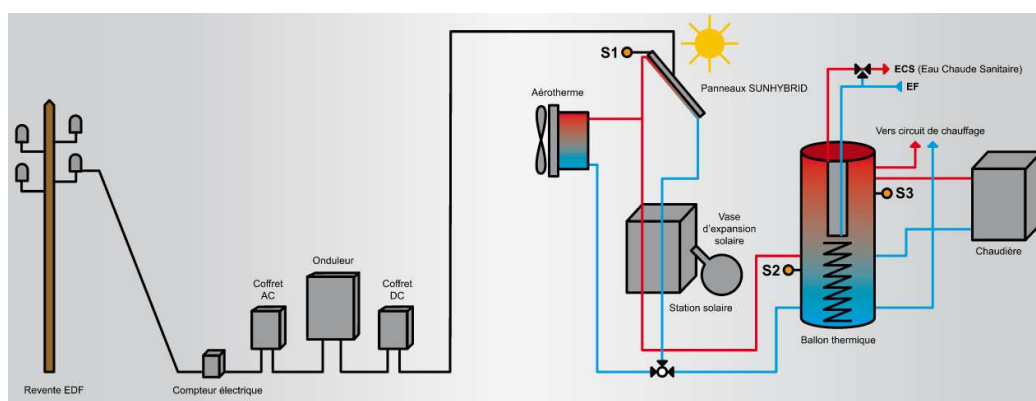
Synthèse		
Domaine	Remarque	Conclusion
Chauffage/ECS/Climatisation	A intégrer en toiture et en façade en adéquation avec les autres usages	Opportunité Forte pour les logements Intérêt à définir au cas par cas pour les autres bâtiments
Production Electricité	Non concerné	Non concerné

5.2.3. 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).

Elle 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.

Synthèse		
Domaine	Remarque	Conclusion
Chauffage/ECS/Climatisation	Faible retour d'expérience mais technologie méritant d'être surveillée, testée et évaluée avant diffusion plus large A intégrer en toiture et en façade en adéquation avec les autres usages	Intérêt à définir au cas par cas et à envisager dans un premier temps sous forme d'expérimentation
Production Electricité		

5.3. Biomasse et déchets

5.3.1. Bois énergie

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.

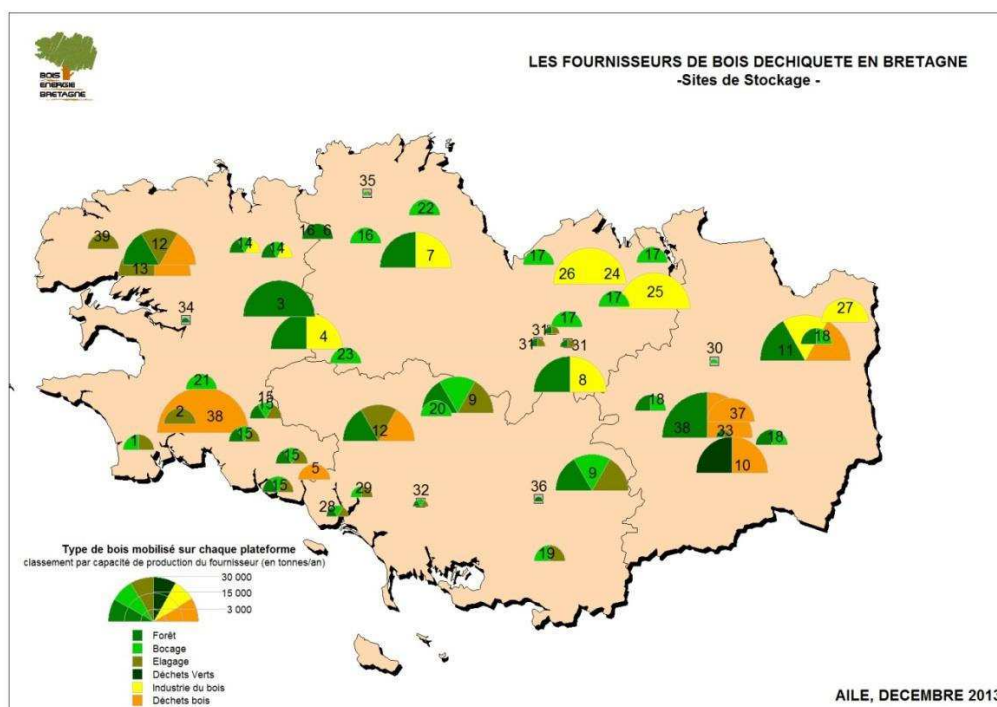
Sur le plan environnemental, le bois est une source d'énergie locale, naturelle et renouvelable. Produire puis brûler du bois n'émet que très peu de gaz à effet de serre car il libère, lors de sa combustion, le CO₂ qu'il a absorbé grâce à la photosynthèse. Ce CO₂ libéré est lui-même absorbé par la biomasse 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)

Structuration de la filière d'approvisionnement bois à l'échelle Régionale

L'association AILE (Association d'Initiatives Locales pour l'Energie et l'Environnement) est une agence locale de l'énergie créée en 1995 dans le cadre du programme SAVE de l'Union Européenne par l'ADEME Bretagne et les CUMA (Coopératives d'Utilisation de Matériels Agricoles) de l'Ouest.

Si cette source d'énergie renouvelable devait être mise en œuvre, il serait intéressant d'associer AILE pour échanger avec eux sur la structuration de la filière d'approvisionnement bois.



Ressource Bois décheté en Bretagne (source AILE)

Structuration de la filière d'approvisionnement bois à l'échelle de Rennes Métropole

La ressource bois est estimée à près de 9300 tonnes mobilisables par an par la collectivité. Actuellement près de 2 200 tonnes sont déjà mobilisés et 4 projets en cours ou à courte échéance mobiliseront près de 7400 tonnes par an.

Le développement des grands projets Bois énergie ne pourra se faire indépendamment d'une réflexion forte sur l'approvisionnement locale en bois.

Enfin, le développement de culture énergétique n'apparaît pas aujourd'hui comme une volonté politique afin de ne pas concurrencer l'agriculture alimentaire.

Gisement à l'échelle de ViaSilva

L'entretien lié à l'élagage des espaces verts publics et privés permettraient à l'échelle de Rennes de collecter entre 800 et 1000 tonnes/an de déchets ligneux. Sur la base d'une consommation énergétique de type RT 2012, ce potentiel bois est équivalent au besoin de chauffage de près de 600 logements.

A l'échelle ViaSilva, le potentiel est donc encore plus faible d'autant plus que la volonté politique est d'orienter ces déchets vers la filière compostage/paillage.

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 faibles à l'échelle de plusieurs îlots et ce sans tenir compte du phasage de construction (de 2020 à 2040) peu propice au déploiement d'une solution collective. La mise en place d'une chaudière bois est donc à privilégier à l'échelle de quelques bâtiments au maximum construits simultanément.

Bois à l'échelle « individuelle » (maison ou logements collectifs)

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

Synthèse		
Domaine	Remarque	Conclusion
Chauffage/ECS/Climatisation	Développement à corrélér avec les actions de développement de la filière bois à l'échelle Régionale (notamment approvisionnement)	Opportunité Forte à l'échelle d'un bâtiment ou d'un petit groupe de bâtiments Non adapté en réseau pour ce projet (densité thermique faible)
Production Electricité	Non concerné (voir cogénération)	Non concerné (voir cogénération)

5.3.2. Méthanisation

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.

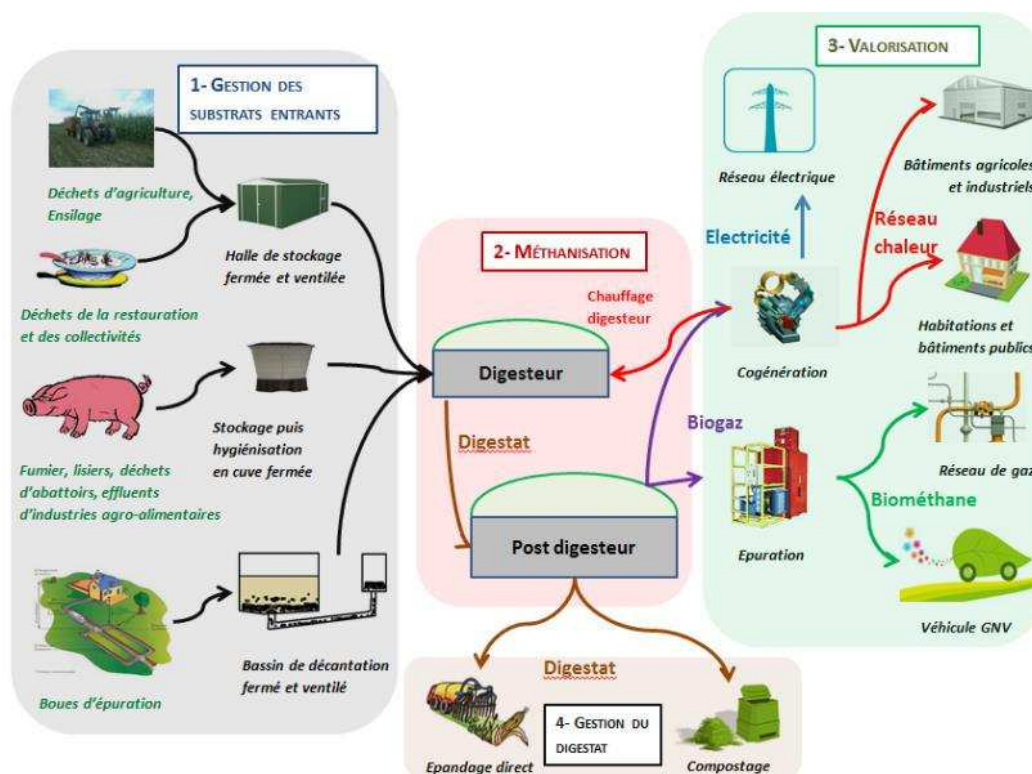


Schéma de principe méthanisation (source ATEE)

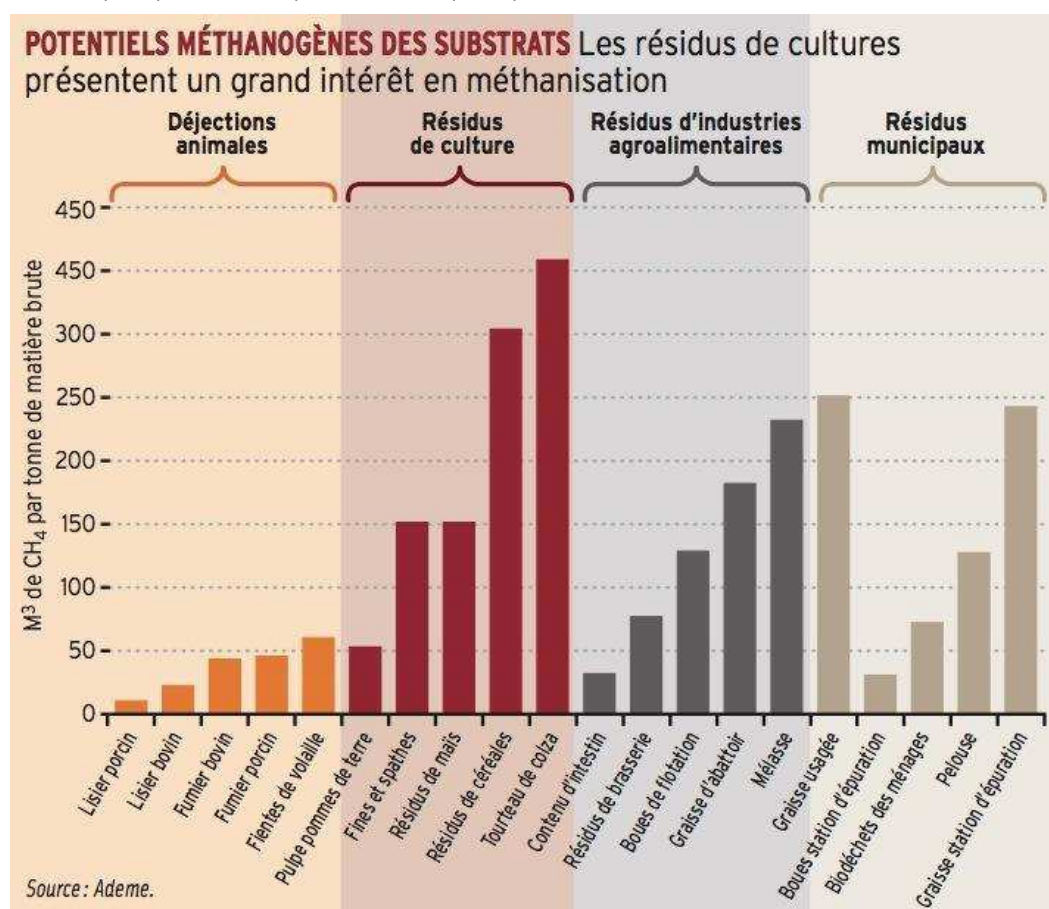
Le biogaz produit est composé généralement de 50 à 70% de méthane. Le biogaz produit a alors un PCI de 5 à 7 kWh/Nm³.

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. Rennes Métropole a réalisé une étude centrée sur les déchets méthanisables de la collectivité. Il ressort de cette étude que la collectivité n'a pas le potentiel suffisant pour agir seule. Rennes Métropole a donc réorienté sa réflexion auprès de porteurs privés de projet ayant besoin d'entrants supplémentaires que la collectivité serait susceptible de fournir.

La ZAC pourrait contribuer à soutenir un ou plusieurs projets privés. Une première évaluation des gisements de la ZAC est présentée ci-après. Elle s'intéresse aux déchets des ménages et boues de station d'épuration. Le potentiel des déchets verts est à ce stade plus difficile à évaluer et soumis à une saisonnalité plus forte.

Exemple potentiel ZAC : cas des ménages, écoles, boues de station d'épuration		
Domaine	Hypothèses	Conclusion
Déchets des ménages	30% des déchets fermentescibles soit env. 70 kg/hab/an 3100 logements x 2.3 hab/log 980 tonnes/an 75 Nm ³ CH ₄ /tonnes	Env. 430 MWh/an
Déchets des écoles	Max 20 classes + collège (commun aux 2 ZAC) 30 élèves / classes 80% de demi-pensionnaires 180j écoles / an 134g biodéchets / repas 37.5 Nm ³ CH ₄ /tonnes	Env. 15 MWh/an
Boues de station d'épuration	Ratio 10 000 eq hab : 56 Nm ³ biogaz/j Atalante ViaSilva représentant 9900 eq hab	Env. 135 MWh/an

A eux seuls, les déchets générés par la ZAC ne peuvent suffire à alimenter une installation de méthanisation.

Pour les déchets des ménages, il se pose également la question des déchets actuellement orientés vers l'UVE. Enfin, concernant les déchets verts, il peut également être envisagé leur compostage.

Synthèse		
Domaine	Remarque	Conclusion
Chauffage/ECS/Climatisation	A envisager à une échelle plus grande (territoire)	Non adaptée à l'échelle de la ZAC mais la ZAC peut contribuer à une installation collective (échelle territoire / porteurs de projets privés) Incidence sur % déchets orientés vers l'UVE et sur la collecte des déchets des ménages
Production Electricité		

5.4. Valorisation énergétique des déchets

Le principe

L'UVE (unité de valorisation énergétique) de Rennes Métropole collecte les déchets ménagers non recyclables. 3 fours y brûlent chaque année plus de 144 000 tonnes de déchets.



L'UVE valorise la chaleur sous forme de chauffage urbain et de production d'électricité.

L'UVE s'inscrit au bout d'une chaîne de valorisation globale qui comporte, en amont, une politique de réduction des déchets organiques (compostage, paillage ...), un réseau de déchèteries et la mise en place de collectes sélectives permettant aux habitants de trier les déchets recyclables.

L'énergie issue de la combustion de ces déchets permet d'alimenter à plus de 85 % le réseau de chauffage urbain de Villejean/Beauregard et de produire en complément de l'électricité lorsque les besoins en chaleur sont satisfaits.

En complément de cette valorisation énergétique, l'incinération permet également de réduire à moins de 5% les déchets à enfouir dans des installations de stockages agréées : les REFIOM.

L'incinération produit environ 20 % de sous-produits solides appelés mâchefers. Après avoir subi un déferrailage et une maturation ils peuvent être utilisés dans des travaux en sous-couche routière, en substitution de matériaux de carrière.

Synthèse des principaux chiffres

- Capacité de traitement : 144 000 tonnes par an dont 89% d'ordures ménagères résiduelles et 11% de déchets industriels banals.
- Production d'énergie thermique : 290 000 MWh dont 127 500 MWh sont utilisés par le réseau de chauffage urbain (20 000 foyers chauffés).
- Production d'énergie électrique : 35 000 MWh dont 21 500 MWh sont vendus à EDF (équivalent 7000 logements)

Intérêt pour le projet (atouts et contraintes)

Le principe de fonctionnement de l'UVE étant toujours d'actualité, il n'est aujourd'hui pas envisageable de réorienter les déchets pour les valoriser différemment (méthanisation).

Synthèse		
Domaine	Remarque	Conclusion
Chauffage/ECS/Climatisation	A envisager à une échelle plus grande (territoire)	Un équipement dédié à ViaSilva serait non adapté
Production Electricité		

5.5. Géothermie

Le principe

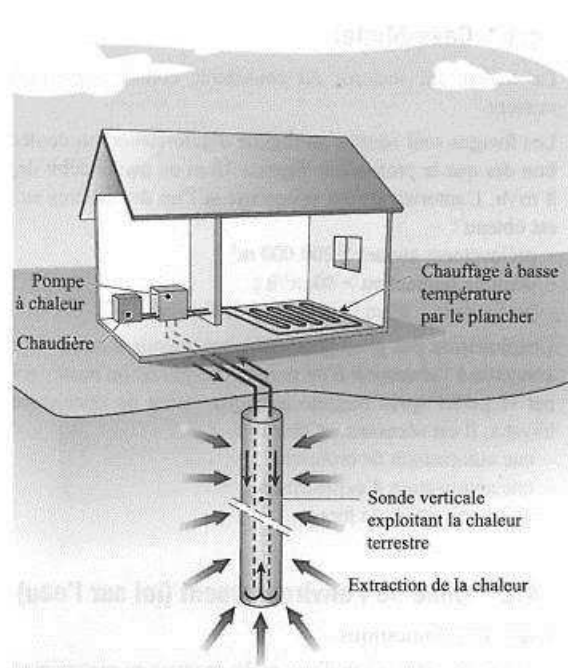
La **géothermie** consiste à utiliser les propriétés thermiques du sol. La chaleur contenue dans le sous-sol ou dans les nappes d'eau souterraines est récupérée et restituée pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Ces techniques peuvent s'adapter aussi bien pour la maison individuelle que pour alimenter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

On distingue la **géothermie « très basse énergie »** (température de la ressource inférieure à 30°C), la **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).

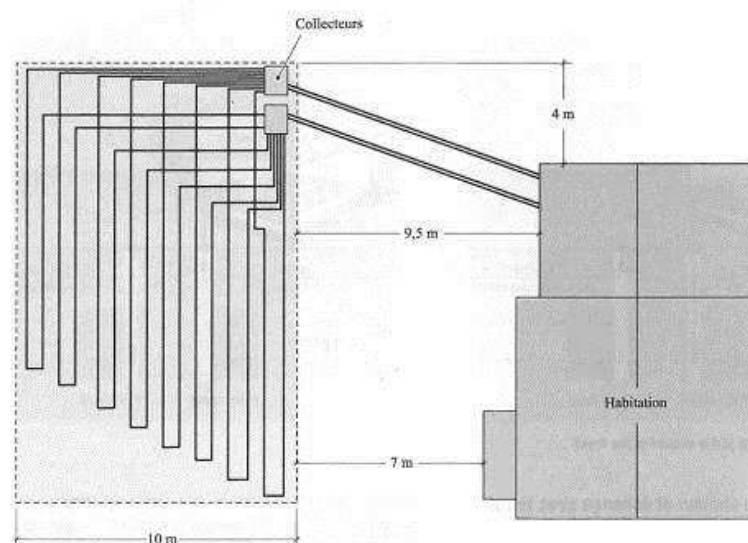
L'exploitation des eaux souterraines par forages et l'exploitation des calories du sous-sol sont soumises au Code minier, au Code de l'environnement (loi sur l'eau) voire au Code de la santé publique. Des dispositions spécifiques peuvent concerner certaines régions.

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 d la très basse énergie notamment).

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



Capteurs Verticaux



Capteurs Horizontaux

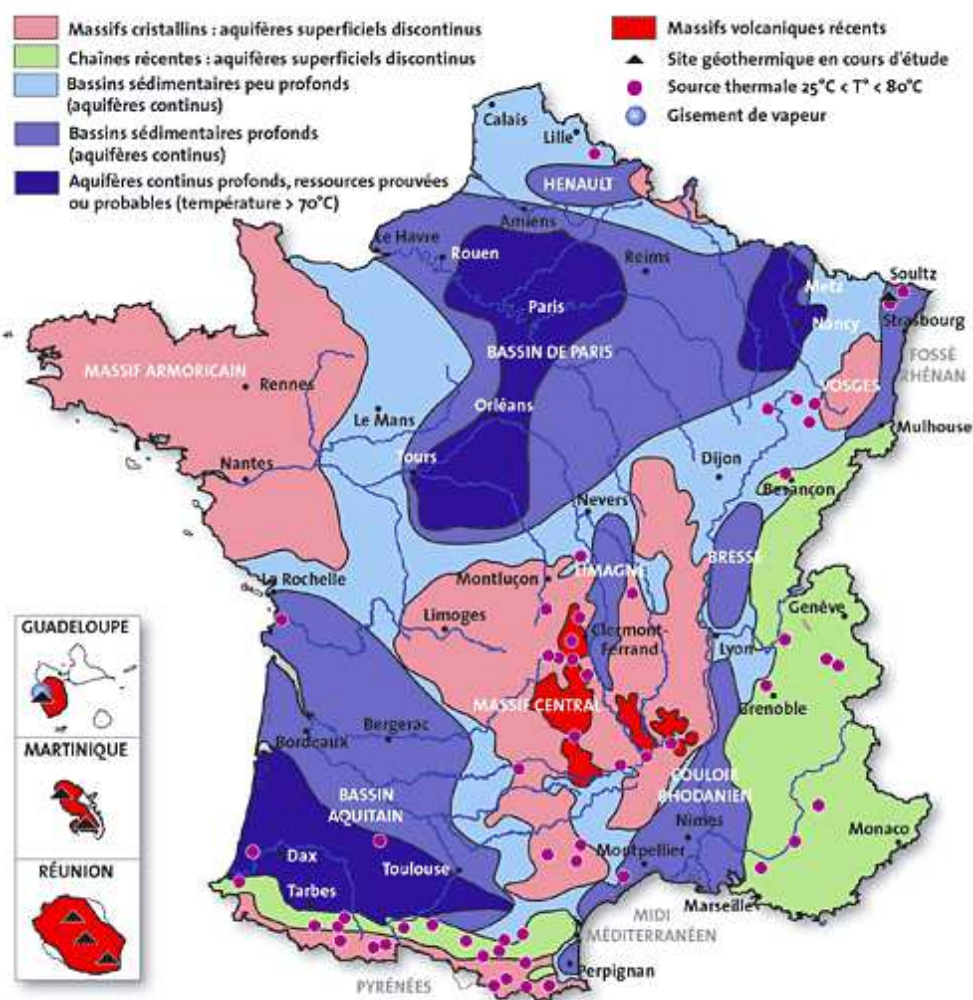
Intérêt pour le projet (atouts et contraintes)**Géothermie « très basse énergie »**

La zone d'étude est défavorable à des installations de géothermie sur nappe aussi bien à l'échelle du macro ilot que d'un bâtiment.

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.



Sources thermales (source BRGM)

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.

Synthèse		
Domaine	Remarque	Conclusion
Chauffage/ECS/Climatisation	Seule la géothermie très basse énergie est favorable	<p>Opportunité en « très basse énergie » sur sondes ou pieux à l'échelle du bâtiment</p> <p>Non adaptée en réseau pour ce projet (potentiel faible + densité thermique faible)</p>
Production Electricité	Nécessite des températures élevées non atteintes pour la Région	<p>Non adaptée pour ce projet (potentiel géothermique « moyenne et haute énergie » inexistant)</p>

5.6. Récupération de chaleur

5.6.1. Récupération de chaleur des eaux usées

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.

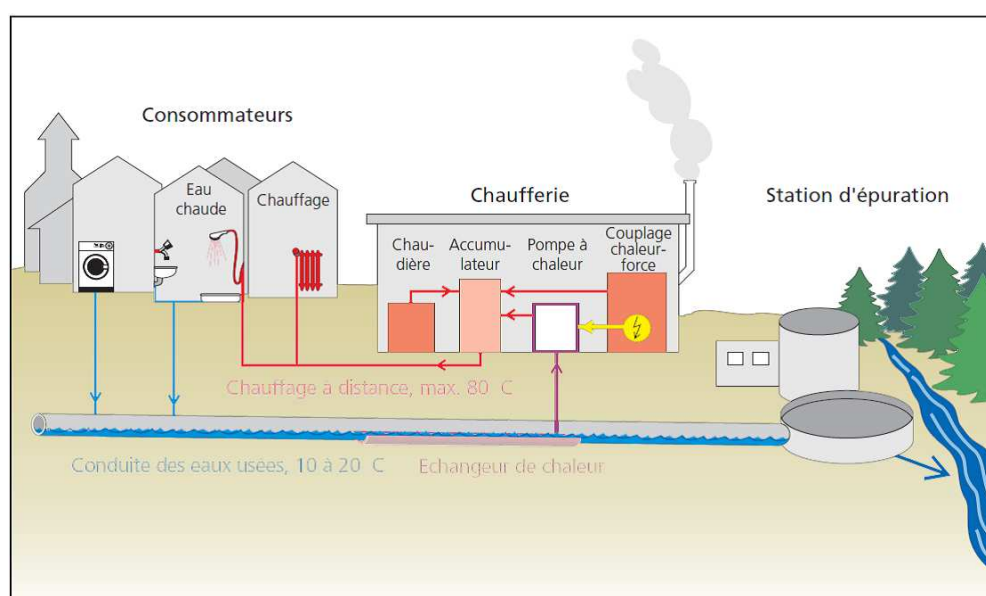


Schéma de principe de la récupération de chaleur sur collecteur d'eaux usées

Intérêt pour le projet (atouts et contraintes)

La faible densité des besoins thermiques liée à l'ambition de performance énergétique des logements est un facteur limitant fortement la rentabilité de toutes les solutions en réseau.

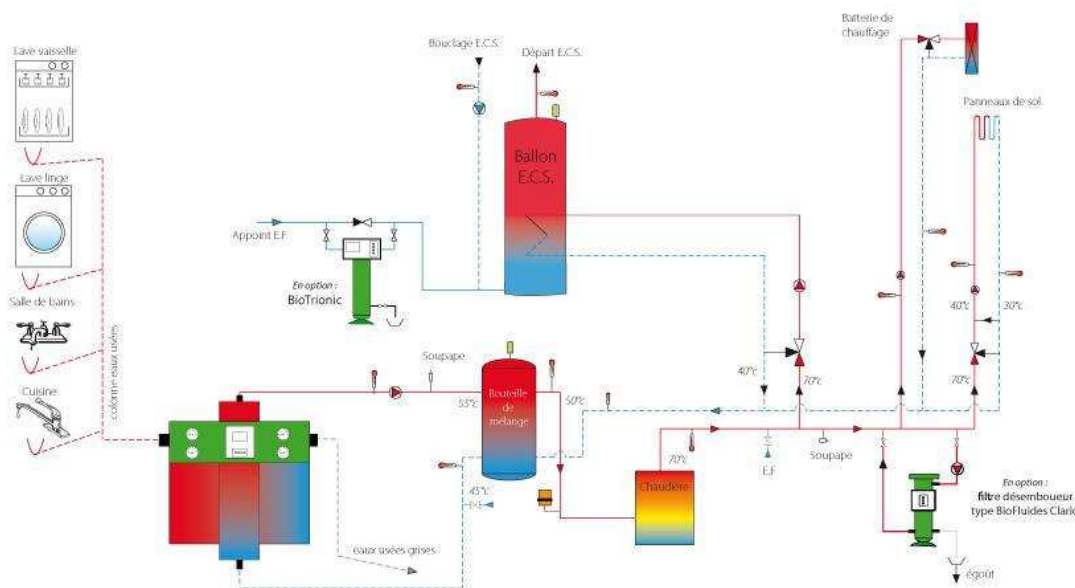
De même, cette technique ne peut être envisagée que sur des diamètres de collecteurs importants hors périmètre de la zone d'étude (DN 350 maximum pour cette zone).

Synthèse		
Domaine	Remarque	Conclusion
Chauffage/ECS/Climatisation	Echelle de projet non adaptée	Non adapté
Production Electricité	Non concerné	Non concerné

5.6.2. Récupération 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.



Intérêt pour le projet (atouts et contraintes)

Ce type d'installation pourrait être envisagé pour les logements collectifs voir pour l'habitat individuel.

Synthèse		
Domaine	Remarque	Conclusion
Chauffage/ECS/Climatisation	Faible retour d'expérience mais technologie méritant d'être surveillée, testée et évaluée avant diffusion plus large	<p>Opportunité Forte pour les logements collectifs à pondérer par les retours d'expérience encore récents et par l'usage d'une énergie d'appoint souvent d'origine électrique (à envisager dans un premier temps sous forme d'expérimentation)</p> <p>Intérêt à définir au cas par cas pour les logements individuels (à envisager dans un premier temps sous forme d'expérimentation)</p>
Production Electricité	Non concerné	Non concerné

5.6.3. Récupération de chaleur des data centers

Le secteur Atalante accueille en autres des entreprises du secteur numérique et téléphonique très consommatrices en électricité.

Des Data Center sont présents sur le site.

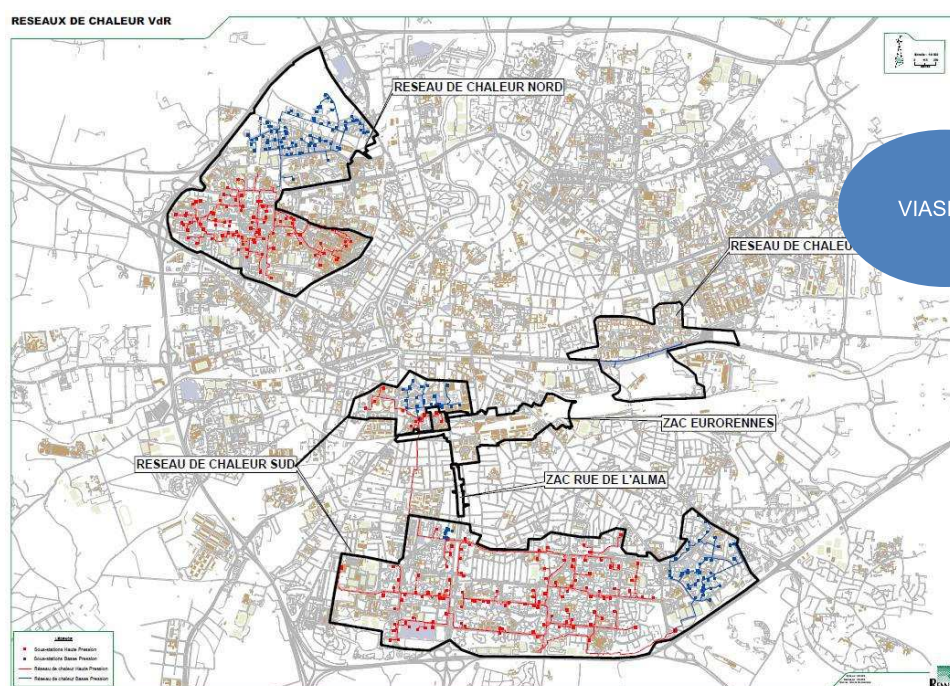
L'opportunité d'utiliser à court terme l'énergie des sites a donc été exclue. Cependant, en cas d'évolution des stratégies des entreprises concernées, le potentiel pourrait être amené à être reconsidéré.

5.7. Réseaux de chaleur existants

Le principe

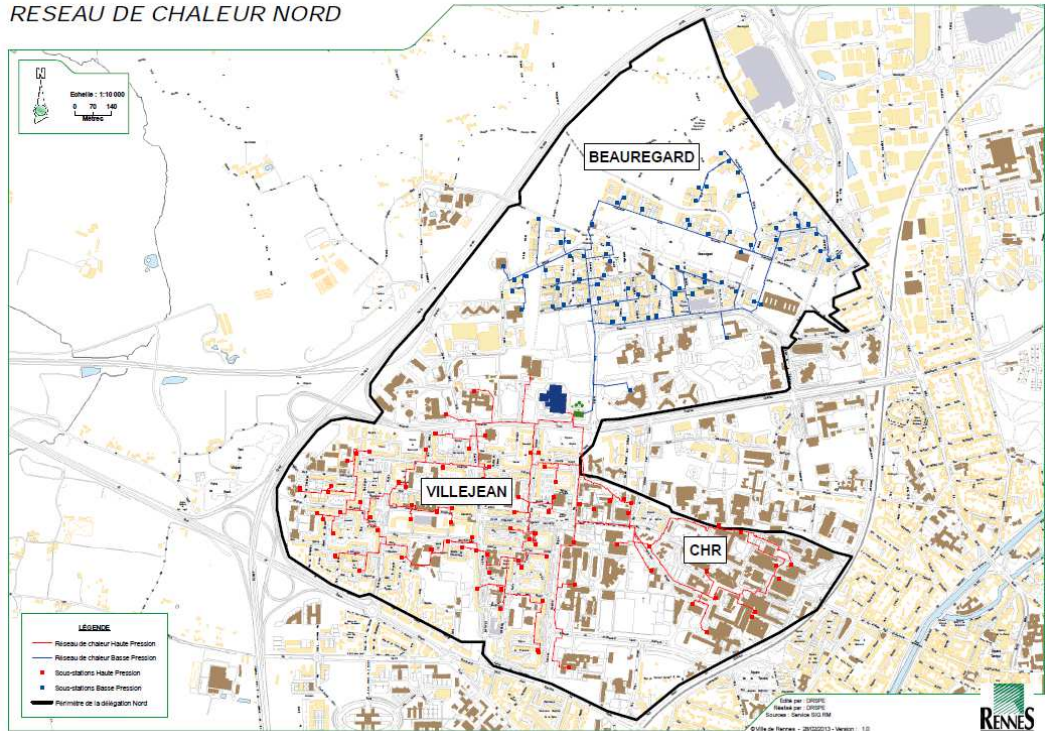
Rennes dispose de 3 réseaux de chaleur :

- Réseau Rennes Nord « Villejean – Beaugard » : réseau de chaleur créé en 1966, chaleur issue principalement de l'UVE de récupération de l'UIOM (127 500 MWh/an environ)
- Réseau Sud d'une fourniture d'énergie totale de 253 GWh, le réseau alimente en chauffage et eau chaude sanitaire l'équivalent de 21 000 logements notamment dans les grands ensembles d'habitations du Blosne, les centres commerciaux, collège et hôpital au sud de la ville
- Réseau Rennes Est en construction. Il desservira les bâtiments de la Zac Baud-Chardonnet et des constructions du nord de la Vilaine, comme l'hôpital Guillaume-Régnier. Ce réseau sera alimenté en énergies renouvelables à hauteur de plus de 93 % grâce à une chaufferie biomasse. Il est prévu de délivrer de la chaleur aux premiers abonnés dès 2015.



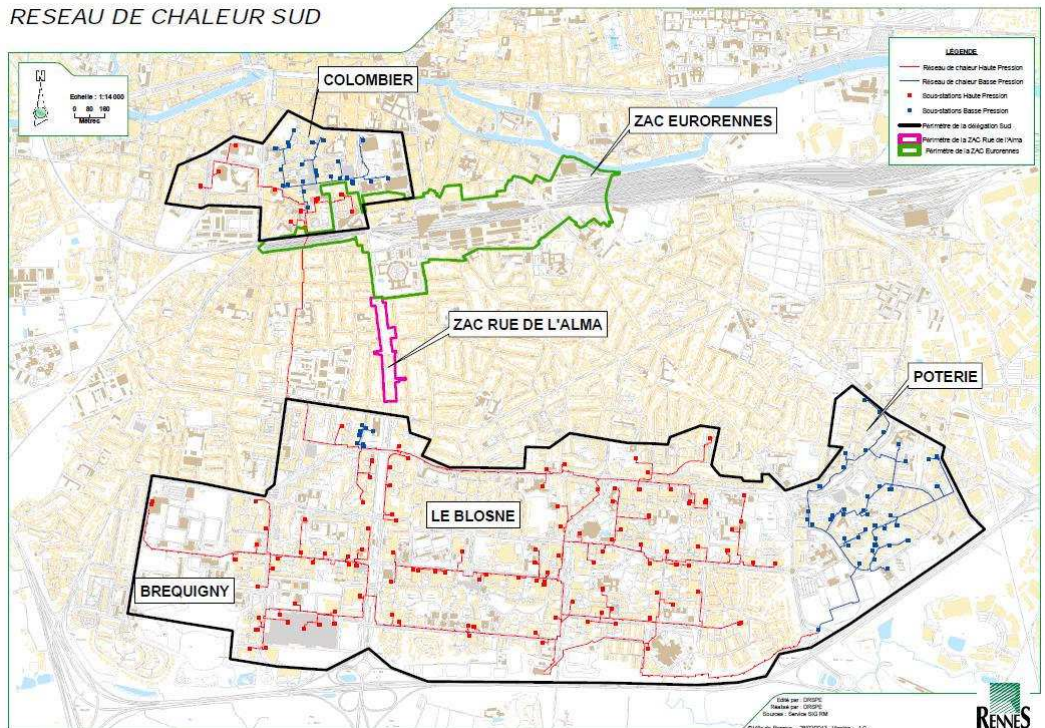
Localisation des réseaux existants

RESEAU DE CHALEUR NORD



Réseau Nord

RESEAU DE CHALEUR SUD



Réseau Sud



Intérêt pour le projet (atouts et contraintes)

Les réseaux Nord et Sud sont trop éloignés de ViaSilva pour permettre un raccordement.

Un Schéma Directeur concernant les possibilités d'évolutions du réseau de chaleur Est est à l'étude et est suivi par Rennes Métropole. Les retours de l'étude ne sont pas attendus avant mi 2016.

Enfin, il existe également un réseau de chaleur approvisionnant l'Université ainsi que l'IUT (réseau Beaulieu) situé dans le périmètre du secteur Atalante. La réalisation d'un Schéma Directeur Energie Eau par l'Université a conduit à s'interroger sur les possibilités d'alimentation des bâtiments à proximité et sur l'utilisation d'énergie renouvelable (passage au bois envisagé).

D'après les premiers retours, le secteur Atalante (partie ouest) inclus dans la ZAC serait économiquement raccordable. Il conviendra de ne pas écarter cette possibilité dont le potentiel et l'intérêt resterait tout de même à confirmer.

Synthèse		
Domaine	Remarque	Conclusion
Chauffage/ECS/Climatisation	La distance aux réseaux existants et les faibles besoins énergétiques de la ZAC sont des freins importants.	<p>Opportunité Forte pour les logements de la zone autour du secteur Atalante (partie ouest) en cas d'extension du réseau de Beaulieu (en cours d'étude)</p> <p>Pour le secteur Est, non adapté : réseaux existants éloignés et faible densité thermique</p>
Production Electricité	Non concerné	Non concerné

5.8. Machines à 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.

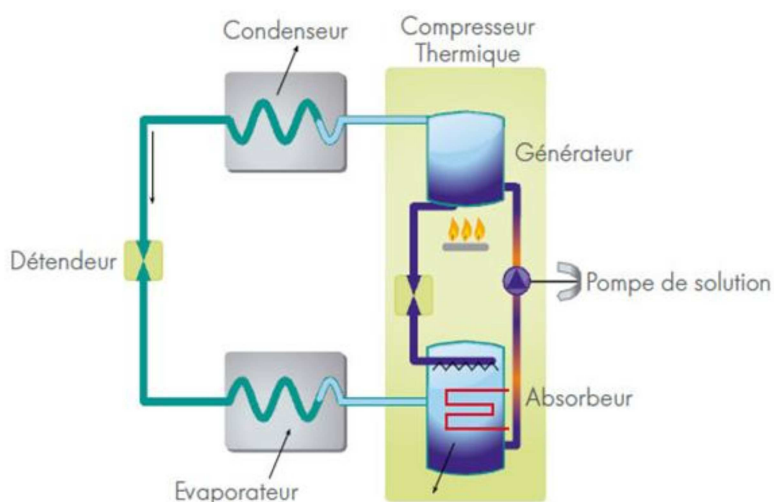


Schéma de principe

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).

Synthèse		
Domaine	Remarque	Conclusion
Chauffage/ECS/Climatisation	<p>Peu de retours d'expérience mais technologie méritant d'être surveillée, testée et évaluée avant diffusion plus large.</p> <p>N'utilise pas d'énergie renouvelable : à considérer comme un chauffage gaz « amélioré »</p>	<p>Intérêt à définir au cas par cas (à envisager dans un premier temps sous forme d'expérimentation) et à ne pas privilégier aux énergies renouvelables.</p>
Production Electricité	Non concerné	Non concerné

5.9. Aérothermie et production d'eau chaude thermodynamique (électrique)

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.

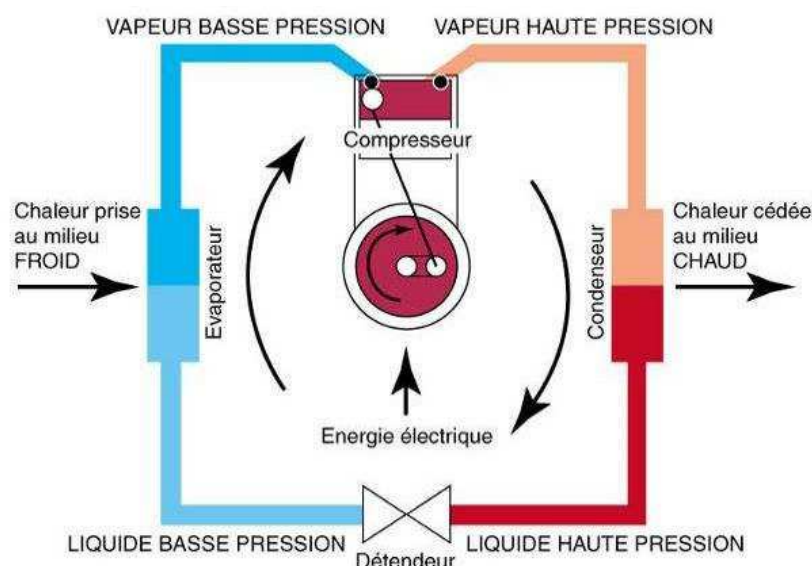


Schéma de principe

Intérêt pour le projet (atouts et contraintes)

Ce type d'installation pourrait être envisagé pour les logements collectifs voir pour l'habitat individuel mais n'utilise pas d'énergie renouvelable.

Synthèse		
Domaine	Remarque	Conclusion
Chauffage/ECS/Climatisation	N'utilise pas d'énergie renouvelable : à considérer comme un chauffage électrique « amélioré »	A ne pas privilégier aux énergies renouvelables.
Production Electricité	Non concerné	Non concerné

5.10. Cogénération

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.

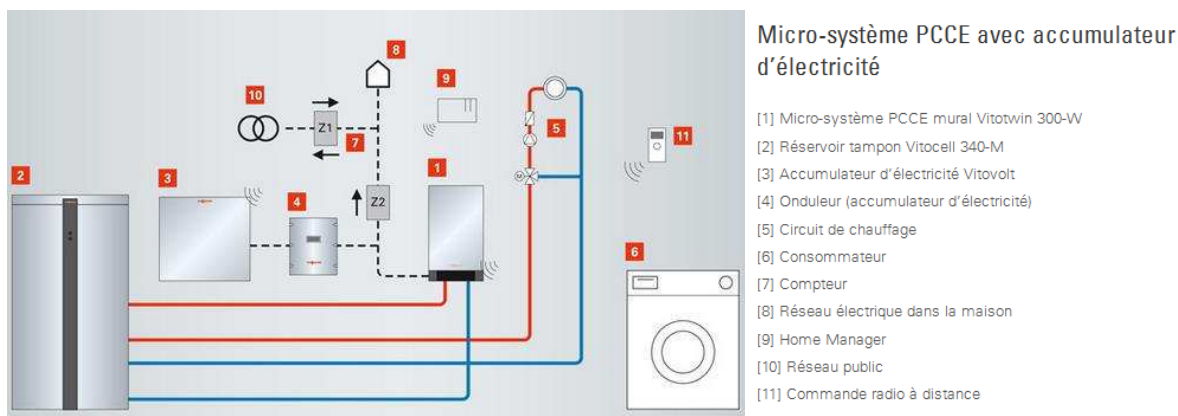


Schéma de principe

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. Cependant, le surplus de production est réinjecté souvent gracieusement sur le réseau. En effet, à l'heure actuelle, les coûts du compteur dédié sont plus élevés que les gains liés à la vente d'énergie non utilisée. La mise en place de compteur évolué devrait permettre de résoudre cette problématique. Une alternative consiste alors à stocker l'énergie électrique produite. 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.

Synthèse		
Domaine	Remarque	Conclusion
Chauffage/ECS/Climatisation	Peu de retours d'expérience (surtout en bois énergie) mais technologie méritant d'être surveillée, testée et évaluée avant diffusion plus large.	Grande puissance : non adaptée Au gaz, intérêt à définir au cas par cas (à envisager dans un premier temps sous forme d'expérimentation) et à ne pas privilégier aux énergies renouvelables
Production Electricité	Pose des questions de gestion de l'énergie produite (stockage ? revente ? répartition entre copropriétaires ? etc.)	Au bois, intérêt à définir au cas par cas (à envisager dans un premier temps sous forme d'expérimentation) et à pondérer par les faibles retours d'expérience

5.11. Solutions pour limiter les consommations liées à la ventilation

Le principe

Chaque m³ d'air neuf destiné à ventiler les logements ou zones de bureaux entraînent des consommations d'énergies en hiver.

Plusieurs techniques permettent de limiter ces consommations. Parmi elles :

- La ventilation double flux,
- Les ventilations hygrorégables (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 programme de recherche sont en cours pour mieux maîtriser 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)

Le projet est situé dans une zone où le climat est tempéré. Les solutions de ventilations hygrorégables / double flux sont souvent adaptées notamment pour les logements.

Pour les zones de type bureaux, il peut être mis en avant les solutions en double flux, le pilotage par sonde de présence dans les locaux de réunions et la surventilation nocturne pour rafraîchir les locaux en été. En effet, les locaux de bureaux sont souvent soumis à de forts apports interne en énergie qui, cumulés aux apports solaires d'été, posent de véritables problèmes de surchauffe.

Le développement des techniques permettant de proposer des solutions en ventilation statique avec débits d'air maîtrisés sera pris en compte.

Synthèse		
Domaine	Remarque	Conclusion
Chauffage/ECS/Climatisation	Solution à déterminer au cas par cas	Opportunité Forte de gains pour tous types de bâtiments
Production Electricité	Non concerné	Non concerné

5.12. Synthèse

Synthèse		
Energie	Chauffage/ECS/Climatisation	Production Electricité
Eolien	Non concerné	Grand éolien : non adapté Petit éolien : peu adapté, à ne tester qu'en expérimentation
Solaire Photovoltaïque	Non concerné	Opportunité Forte pour tous types de bâtiment
Solaire Thermique	Opportunité Forte pour les logements Intérêt à définir au cas par cas pour les autres bâtiments	Non concerné
Solaire Hybride	Intérêt à définir au cas par cas et à envisager dans un premier temps sous forme d'expérimentation	
Bois énergie	Opportunité Forte à l'échelle d'un bâtiment ou d'un petit groupe de bâtiments Non adapté en réseau pour ce projet (densité thermique faible)	Voir cogénération
Méthanisation	Non adaptée à l'échelle de la ZAC mais la ZAC peut contribuer à une installation collective (échelle territoire / porteurs de projets privés) Incidence sur % déchets orientés vers l'UVE et sur la collecte des déchets des ménages	
Valorisation énergétique des déchets	Equipements existant (équipement dédié à ViaSilva non adapté)	
Géothermie	Opportunité en « très basse énergie » sur sondes ou pieux à l'échelle du bâtiment Non adaptée en réseau pour ce projet (potentiel faible + densité thermique faible)	Non adaptée pour ce projet (potentiel géothermique « moyenne et haute énergie » inexistant)
Récupération de chaleur des eaux usées	Non adaptée	Non concerné

Récupération de chaleur des eaux grises	<p>Opportunité Forte pour les logements collectifs à pondérer par les retours d'expérience encore récents et par l'usage d'une énergie d'appoint souvent d'origine électrique (à envisager dans un premier temps sous forme d'expérimentation)</p> <p>Intérêt à définir au cas par cas pour les logements individuels (à envisager dans un premier temps sous forme d'expérimentation)</p>	Non concerné
Réseaux de chaleur existants	<p>Opportunité Forte pour les logements de la zone autour du secteur Atalante (partie ouest) en cas d'extension du réseau de Beaulieu (en cours d'étude)</p> <p>Pour le secteur Est, non adapté : réseaux existants éloignés et faible densité thermique</p>	Non concerné
Pac Gaz	Intérêt à définir au cas par cas (à envisager dans un premier temps sous forme d'expérimentation) et à ne pas privilégier aux énergies renouvelables.	Non concerné
Aérothermie et production d'eau chaude thermodynamique (électrique)	A ne pas privilégier aux énergies renouvelables.	Non concerné
Cogénération	<p>Grande puissance : non adaptée</p> <p>Au gaz, intérêt à définir au cas par cas (à envisager dans un premier temps sous forme d'expérimentation) et à ne pas privilégier aux énergies renouvelables</p> <p>Au bois, intérêt à définir au cas par cas (à envisager dans un premier temps sous forme d'expérimentation) et à pondérer par les faibles retours d'expérience</p>	
Solutions pour limiter les consommations liées à la ventilation	Opportunité Forte de gains pour tous types de bâtiments	Non concerné

6. SOLUTIONS TECHNIQUES : ECLAIRAGE ET BESOINS SPECIFIQUES EN ELECTRICITE

La Bretagne est particulièrement sensible aux fortes sollicitations du réseau électrique. Toutes les actions pouvant s'inscrire dans le cadre de la maîtrise de ces demandes méritent d'être prises en considération.

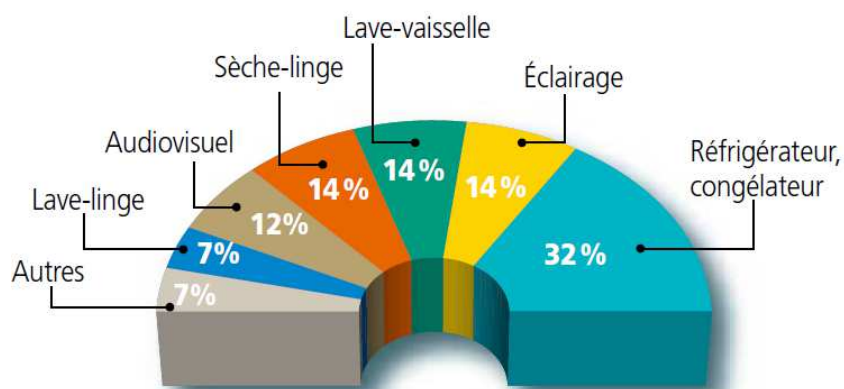
2 grands axes sont à prendre en considération dans la réflexion :

- La réduction des consommations totales (entraînant également une limitation des pics) :
 - Quels sont les principaux usages consommateurs ?
 - Quelles solutions pour les réduire ?
- Lorsque les pics sont toujours présents :
 - Peut-on envisager de contraindre la puissance appelée au niveau des compteurs ?
 - Dans le cas contraire, peut-on trouver des systèmes incitatifs ?

6.1. Enjeux en termes de consommations

6.1.1. Usages

Les principaux usages de l'électricité pour les bâtiments d'activité (hors climatisation) concernent la bureautique et l'éclairage. Pour les logements, les usages sont plus nombreux :

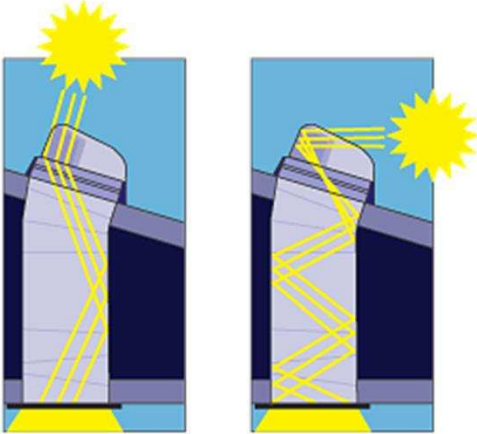
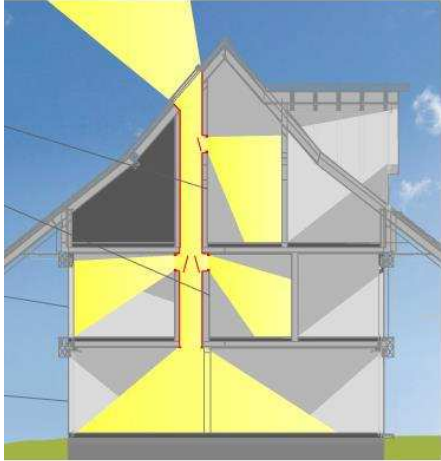


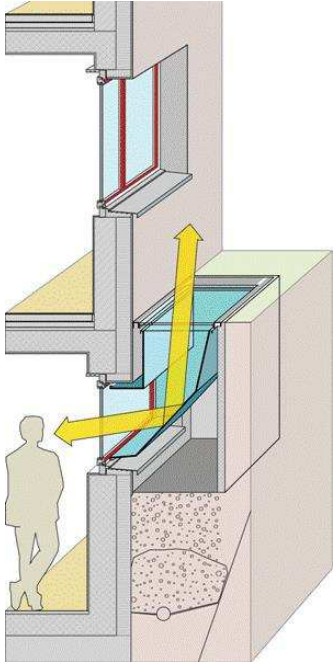

Répartition des consommations d'électricité spécifique par usage


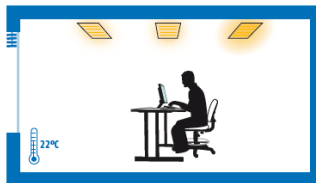

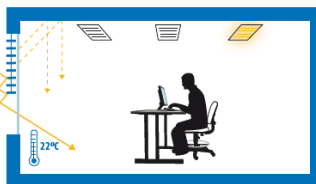

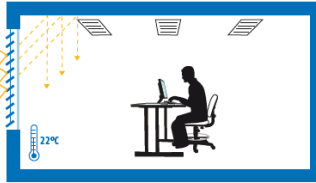
Source ADEME

6.1.2. Propositions bâtiments

La suite présente des propositions relatives à chaque usage afin de permettre de réduire les consommations. Les solutions mises en avant peuvent faire l'objet d'un pilotage et d'un suivi dédiés (cf chapitre 6.3).

Usages	Enjeux	Type de bâtiment	Propositions
Eclairage	Profiter de l'éclairage naturel	Tous les bâtiments	<p>Imposer des coefficients de Facteur Lumière Jour ^(*) très performants pour pousser les architectes à travailler sur les apports naturels (surface SUD, puits de lumière, surface vitrées pour cloisonnement de bureaux, etc.) et les typologies/colories des revêtements muraux.</p> <p><i>(*) Facteur Lumière Jour = pourcentage de lumière naturelle disponible à l'emplacement le plus défavorisé de la pièce.</i></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Concentrateur de lumière de type lentille de Fresnel (source : Martin Champagneur)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Puits de lumière (source : Helio bus)</p> </div> </div>

Usages	Enjeux	Type de bâtiment	Propositions
Eclairage	Profiter de l'éclairage naturel	Tous les bâtiments	 <p>Saut-de-loup réflecteur (source : Helio bus)</p>  <p>Atrium pour logements collectifs ou bureaux (source : Xpair)</p>
	Eclairer uniquement lorsque les locaux sont utilisés	Tous les bâtiments	Mettre en place de coupure automatique lorsqu'une zone est laissée vacante. Système pouvant être piloté à distance.
		Logements collectifs, activité et parkings	Mettre en place de système automatique de détection de présence pour les parties communes et parkings.

Usages	Enjeux	Type de bâtiment	Propositions
Eclairage	Adapter le niveau d'éclairage aux besoins réels	Tous les bâtiments	<p>Mettre en place des sources acceptant les systèmes de gradation.</p> <p>Mettre en place de système de gradation :</p> <ul style="list-style-type: none"> Variation manuelle, par exemple, par simple bouton poussoir permettant par impulsion brève d'allumer, d'éteindre et par une impulsion maintenue de faire varier le niveau d'éclairage, Variation pilotée automatiquement en fonction de l'éclairage naturel (possibilité de zonage des pièces). Piloter automatiquement l'ouverture/fermeture des stores en fonction des contraintes d'éclairage naturel et des déperditions thermiques. <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;"> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;">  <i>Pas de soleil, ciel nuageux</i> </div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin-right: 10px;">  </div> <div style="text-align: right; margin-right: 10px;"> <i>Lumière naturelle : minimale</i> <i>Lumière artificielle : maximale</i> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;"> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;">  <i>Un peu de soleil, quelques nuages</i> </div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin-right: 10px;">  </div> <div style="text-align: right; margin-right: 10px;"> <i>Lumière naturelle : moyenne</i> <i>Lumière artificielle : moyenne</i> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;">  <i>Grand soleil</i> </div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin-right: 10px;">  </div> <div style="text-align: right; margin-right: 10px;"> <i>Lumière naturelle : maximale</i> <i>Lumière artificielle : minimale</i> </div> </div> </div> <p style="text-align: center;">Exemple : bureaux (source : Philips)</p>

Usages	Enjeux	Type de bâtiment	Propositions
Eclairage	Adapter le niveau d'éclairage aux besoins réels	Activités	<p>Mettre en place de sources acceptant les systèmes de gradation.</p> <p>Mettre en place de système de gradation :</p> <ul style="list-style-type: none"> Variation manuelle, par exemple, par télécommande pour les salles de réunion ; Variation pilotée automatiquement en fonction de l'éclairage naturel (possibilité de zonage des pièces). Solution pertinente pour les postes de travail sur écran, salles de bureaux, salles d'attentes, etc. Gains pouvant aller jusqu'à 75% en comparaison à une solution traditionnelle.
	Performance des sources	Tous les bâtiments	<p>Choisir des sources performantes (à adapter en fonction de l'usage : logement, bureaux, parkings, etc.) :</p> <ul style="list-style-type: none"> Lampe à LED ou OLED (Organic LED) : jusqu'à 90 % d'économies d'énergie par rapport aux anciennes solutions à incandescence : durée de vie très élevée, de l'ordre de 20 000 à 40 000 heures, allumages instantanés et répétés mieux supportés, Lampe Fluo-Compactes : jusqu'à 75 à 80 % d'économies d'énergie par rapport à une lampe à incandescence offrant le même éclairage : durée de vie de l'ordre de 6 000 à 7 000 heures, Etc.
	Divers	Activités	Prendre en compte l'évolutivité/flexibilité des zones bureaux (open space, etc.) lors de la conception (influence le câblage).

Usages	Enjeux	Type de bâtiment	Propositions																																												
Electroménagers et cuisson	Profiter de sources d'énergies renouvelables	Logements individuels et collectifs	Utiliser les sources renouvelables (nécessite branchement dédié sur une production ECS par énergie renouvelable : intérêt pour lave-linge, lave-vaisselle, etc.)																																												
	Allumer uniquement les appareils lorsque ceux-ci sont utilisés	Tous les bâtiments	<p>Mettre en place de systèmes permettant de couper les veilles (coupure manuelle centralisée ou pilotage automatique). Les logements sont particulièrement à cibler.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Appareils</th> <th>Veille (W)</th> <th>Consommation annuelle veille (kWh/an)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Cuisson</td> </tr> <tr> <td>Réfrigérateur-congélateur</td> <td>8 à 30</td> <td>70 à 260</td> </tr> <tr> <td>Micro-onde</td> <td>2 à 6</td> <td>20 à 50</td> </tr> <tr> <td>Four</td> <td>3.5</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Plaques de cuisson</td> <td>4 à 18</td> <td>35 à 155</td> </tr> <tr> <td>Lave-vaisselle</td> <td>1</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Cafetière</td> <td>3</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Machine expresso</td> <td>2</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Grille-pain</td> <td>1</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Ventouse murale</td> <td>18</td> <td>160</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Electroménagers</td> </tr> <tr> <td>Lave-linge</td> <td>1.5</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Sèche-linge</td> <td>1.5</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Aspirateur de table</td> <td>1</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><u>Veilles des principaux équipements électroménagers et cuisson</u></p>	Appareils	Veille (W)	Consommation annuelle veille (kWh/an)	Cuisson			Réfrigérateur-congélateur	8 à 30	70 à 260	Micro-onde	2 à 6	20 à 50	Four	3.5	30	Plaques de cuisson	4 à 18	35 à 155	Lave-vaisselle	1	8	Cafetière	3	25	Machine expresso	2	15	Grille-pain	1	10	Ventouse murale	18	160	Electroménagers			Lave-linge	1.5	15	Sèche-linge	1.5	15	Aspirateur de table	1
Appareils	Veille (W)	Consommation annuelle veille (kWh/an)																																													
Cuisson																																															
Réfrigérateur-congélateur	8 à 30	70 à 260																																													
Micro-onde	2 à 6	20 à 50																																													
Four	3.5	30																																													
Plaques de cuisson	4 à 18	35 à 155																																													
Lave-vaisselle	1	8																																													
Cafetière	3	25																																													
Machine expresso	2	15																																													
Grille-pain	1	10																																													
Ventouse murale	18	160																																													
Electroménagers																																															
Lave-linge	1.5	15																																													
Sèche-linge	1.5	15																																													
Aspirateur de table	1	10																																													

Usages	Enjeux	Type de bâtiment	Propositions
Electroménagers et cuisson	Performance des équipements	Logements individuels et collectifs	<p>Encourager la mise en place d'appareils les plus performants. Les gains potentiels sont de l'ordre de 50 % soit près de 700 kWh/an par foyer en moyenne. Ordre de grandeur :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réfrigérateur-congélateur 300L : Classe A⁺⁺⁺ consomme en moyenne 150 kWh/an, tandis qu'une classe A⁺ consomme près de 300 kWh/an, • Lave-linge : Classe A⁺⁺⁺ consomme en moyenne 1 kWh/cycle de lavage, tandis qu'une classe C consomme près de 1,4 kWh/cycle, • Sèche-linge : Classe A⁺⁺⁺ consomme en moyenne 1,5 kWh/cycle, tandis qu'une classe C consomme près de 3,5 kWh/cycle, Etc. <p>Réfléchir à la mise en place de laveries collectives (pour un nombre de logements suffisant) permettant de maîtriser les performances des matériels mis en place. Pose la question de l'acceptabilité sociale.</p>

Usages	Enjeux	Type de bâtiment	Propositions																																																			
Bureautique, loisirs, etc.	Allumer uniquement les appareils lorsque ceux-ci sont utilisés	Logements individuels et collectifs	<p>Mettre en place de systèmes permettant de couper les veilles (coupure manuelle centralisée ou pilotage automatique). Les logements sont particulièrement à cibler.</p> <table border="1" data-bbox="1189 507 1933 1313"> <thead> <tr> <th>Appareils</th> <th>Veille (W)</th> <th>Consommation annuelle veille (kWh/an)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Audiovisuels</td> </tr> <tr> <td>Téléviseur</td> <td>0.3 à 13</td> <td>2.5 à 100</td> </tr> <tr> <td>Chaîne hi-fi</td> <td>0 à 18</td> <td>0 à 160</td> </tr> <tr> <td>Lecteur DVD</td> <td>1</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Bureautique</td> </tr> <tr> <td>Ordinateur fixe</td> <td>3</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Ordinateur portable</td> <td>2</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Console vidéo</td> <td>1</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Imprimante</td> <td>5</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>Box internet</td> <td>8</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>Téléphone sans fil</td> <td>2 à 4</td> <td>20 à 35</td> </tr> <tr> <td>Répondeur automatique</td> <td>2 à 3</td> <td>20 à 30</td> </tr> <tr> <td>Téléphone /fax</td> <td>8 à 11</td> <td>70 à 100</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Divers</td> </tr> <tr> <td>Rasoir, épilateur, brosse à dent</td> <td>0.5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Radio réveil</td> <td>1 à 2</td> <td>10 à 20</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Veilles des principaux équipements de bureautique et loisirs</p>	Appareils	Veille (W)	Consommation annuelle veille (kWh/an)	Audiovisuels			Téléviseur	0.3 à 13	2.5 à 100	Chaîne hi-fi	0 à 18	0 à 160	Lecteur DVD	1	10	Bureautique			Ordinateur fixe	3	25	Ordinateur portable	2	15	Console vidéo	1	10	Imprimante	5	45	Box internet	8	70	Téléphone sans fil	2 à 4	20 à 35	Répondeur automatique	2 à 3	20 à 30	Téléphone /fax	8 à 11	70 à 100	Divers			Rasoir, épilateur, brosse à dent	0.5	5	Radio réveil	1 à 2	10 à 20
Appareils	Veille (W)	Consommation annuelle veille (kWh/an)																																																				
Audiovisuels																																																						
Téléviseur	0.3 à 13	2.5 à 100																																																				
Chaîne hi-fi	0 à 18	0 à 160																																																				
Lecteur DVD	1	10																																																				
Bureautique																																																						
Ordinateur fixe	3	25																																																				
Ordinateur portable	2	15																																																				
Console vidéo	1	10																																																				
Imprimante	5	45																																																				
Box internet	8	70																																																				
Téléphone sans fil	2 à 4	20 à 35																																																				
Répondeur automatique	2 à 3	20 à 30																																																				
Téléphone /fax	8 à 11	70 à 100																																																				
Divers																																																						
Rasoir, épilateur, brosse à dent	0.5	5																																																				
Radio réveil	1 à 2	10 à 20																																																				



Usages	Enjeux	Type de bâtiment	Propositions
Bureautique, loisirs, etc.	Optimisation	Tous les bâtiments	<p>Communiquer sur les performances des équipements.</p> <p>Communiquer sur les paramétrages des fonctionnalités « Energy Star » permettant de mettre l'appareil en veille économique, puis en veille prolongée si celui-ci n'est pas utilisé un temps prédéterminé.</p>

6.1.3. Propositions éclairage public

La suite présente la logique de conception d'un Eclairage Public performant respectant les réglementations en vigueur.

Phase 1 - Hiérarchisation des voies

L'éclairage public diffère selon les types de voies existantes (axe structurant, voie résidentielle, piste cyclable, cheminement piéton). Une hiérarchisation de la voirie permet de définir les différents niveaux d'éclairage à atteindre.

Phase 2 - Détermination du régime de fonctionnement

Il convient de déterminer le régime de fonctionnement de l'éclairage public.

L'éclairage doit-il fonctionner en régime permanent avec par exemple un abaissement de la puissance des lampes ?

L'éclairage doit-il fonctionner en régime semi permanent et être coupé en milieu de nuit sur les voies résidentielles ou peu fréquentées ?

Phase 3 - Détermination de l'éclairage

Respecter le niveau d'éclairage

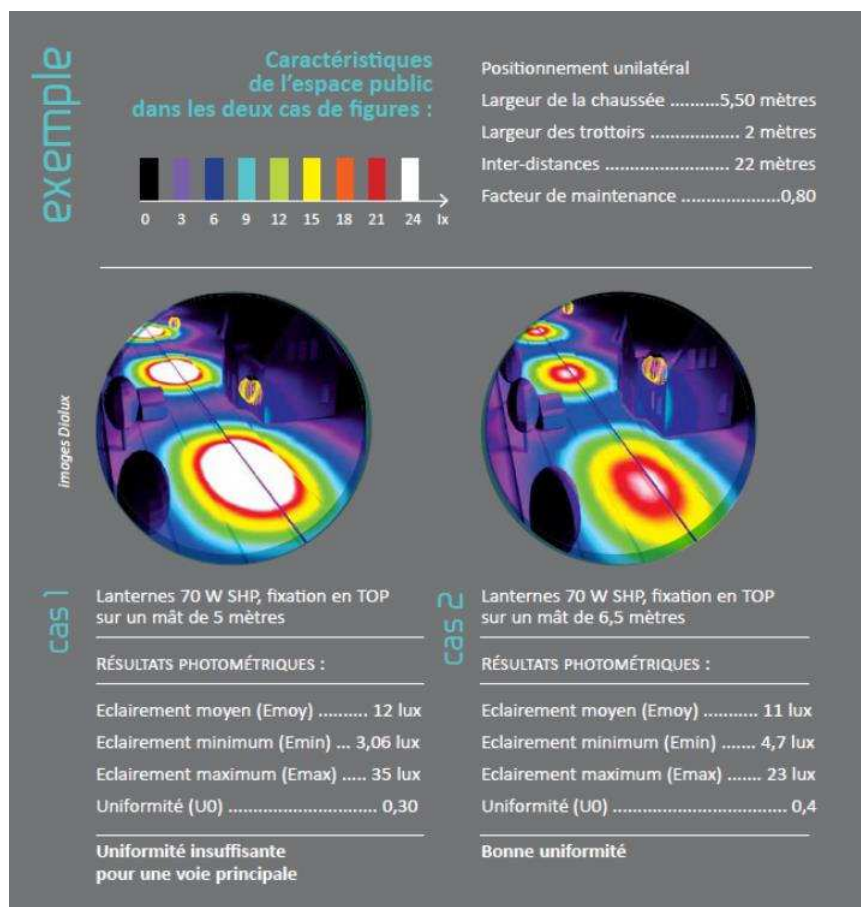
La norme EN 13-201 définit le niveau d'éclairage pour tous les types de voie. Il sont définis en fonction de différents paramètres (configuration de l'espace public, type d'usagers, vitesse autorisée, trafic moyen, type de chaussée, zone de vigilance, contraintes du site, niveau lumineux ambiant).

Par exemple, le niveau d'éclairage pour les voies secondaires est de l'ordre de 6 à 10 lux et pour les voies principales de 10 à 15 lux.

Respecter l'uniformité de l'éclairage

L'éclairage doit être uniforme et de même niveau sur l'ensemble de la voie afin de ne pas générer de zones d'ombres. Il convient de respecter l'inter distance entre chaque mât, l'orientation du flux et de choisir des optiques adaptés.

Les notions éblouissement (alternance entre un milieu obscur et un milieu fortement éclairé), de rendu de couleurs et de température de couleurs (lumière chaude, lumière froide) sont des paramètres à prendre en compte lors du choix de la source (LED, lampes métalliques, etc.).

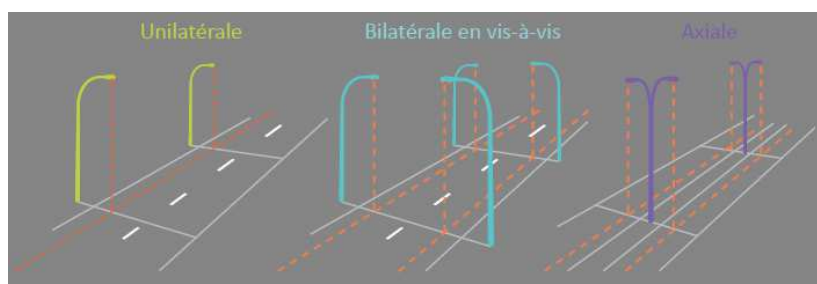


Exemple d'étude photométrique

Phase 4 - Dimensionnement du projet

Le dimensionnement d'un projet a des répercussions sur le montant de l'investissement, sur la consommation d'énergie et sur les coûts de maintenance. Il convient de définir les éléments suivants :

- type d'éclairage retenu (fonctionnel ou d'ambiance),
- type d'implantation des mâts sur l'espace public (unilatéral, bilatéral ou axiale),
- hauteur des mâts,
- distances entre les mats (inter distance),
- types et puissance des lampes (LED, Iodures métalliques, etc.).



Implantation des mâts

Phase 5 - Choix des équipements de pilotage

Le choix des équipements de commande (horloge astronomique, commande centralisée, etc.), de modulation de fonctionnement (variation de la puissance, télégestion au point lumineux, etc.) et du type de ballast (ballast électroniques) sont essentiels pour faciliter la gestion de l'éclairage (synchronisation de l'éclairage en tout point), réduire la consommation d'énergie et limiter les coûts de maintenance.

Phase 6 - Choix des luminaires

La qualité des luminaires (type de matériaux et assemblage, étanchéité, solidité, protection électrique, etc.) impact la longévité des installations.

Les luminaires ayant un flux lumineux précis permettent d'augmenter l'inter distance entre chaque mâts et donc de diminuer les coûts d'investissement.

L'utilisation de luminaires performants permet de diminuer la puissance électrique consommée. Ils permettent d'éviter les nuisances lumineuses et de concentrer l'éclairage sur les zones à éclairer.

6.2. Enjeux en termes de puissance

Après avoir travaillé sur la réduction des besoins, nous nous sommes interrogés sur les possibilités réglementaires pour limiter les puissances appelées. Par exemple, peut-on imposer aux utilisateurs une puissance maximale délivrée dans un logement (type : 3 kVA au lieu de 6 kVA).

Ce que dit la réglementation

Actuellement, il est à noter que les réseaux acheminant l'électricité jusqu'aux compteurs sont dimensionnés notamment à partir de la **norme NF C 14-100 d'application obligatoire**.



ARRETE

Arrêté du 22 octobre 1969 portant réglementation des installations électriques des bâtiments d'habitation.

Le ministre de l'intérieur, le ministre du développement industriel et scientifique, le ministre de l'équipement et du logement, le ministre de la santé publique et de la sécurité sociale, le secrétaire d'Etat auprès du ministre et le ministre d'Etat au logement.

Vu le décret n° 69-596 du 14 juin 1969 fixant les règles générales de construction des logements visé à l'article 92 du code de l'urbanisme et de l'habitation, et notamment l'article 11 de ce décret,

Article 1

Les installations électriques des bâtiments d'habitation doivent être conformes aux dispositions des normes NF. C 14-100 et NF. C. 15-100 en vigueur au moment de la demande de permis de construire ou de la déclaration préalable de construction.

Article 2

Le directeur de la construction et le directeur de l'aménagement foncier et de l'urbanisme sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Le ministre de l'équipement et du logement, ALBIN CHALANDON.

Le ministre de l'intérieur, RAYMOND MARCELLIN.

Le ministre du développement industriel et scientifique,

Pour le ministre et par délégation :

Le directeur du cabinet, PIERRE ESTEVA.

Le ministre de la santé publique et de la sécurité sociale,

ROBERT BOULIN.

Le secrétaire d'Etat auprès du ministre de l'intérieur,

ANDRE BORD.

Le secrétaire d'Etat au logement, ROBERT-ANDRE VIVIEN.

A titre d'exemple, il est demandé de prendre en compte une puissance minimale de 6 kVA pour les logements de moins de 35m².

Locaux d'habitation et leurs annexes	Puissance (en kVA)	Courant assigné de l'AGCP (en Ampère)	
		En monophasé	En triphasé
Annexe non habitable	3	45	/
Habitation de 1 à 2 pièces principales (*) ou de surface $\leq 35 \text{ m}^2$	6	45	30
Habitation de 3 à 5 pièces principales (*) ou de surface comprise entre 35 m^2 et 100 m^2	9	60	30
Habitation de 6 pièces principales et plus (*) ou de surface supérieure à 100 m^2	12	60 en collectif 90 en individuel	30

(*) ne sont pas comptées comme pièces principales les cuisines, salles d'eau, WC, dégagements, volumes de rangement.

Extrait de la norme NF C14-100

Il semble donc aujourd'hui impossible de déroger à cette norme. Les réseaux resteront dimensionnés comme des réseaux traditionnels.

Aurait-on intérêt à le faire ?

La réponse n'est pas évidente. En effet, un certain nombre des équipements utilisés au quotidien demande des appels de puissance importants pour fonctionner. Il est à noter qu'il ne s'agit pas forcément d'équipements fortement consommateurs (la consommation étant directement calculée en multipliant la puissance par le temps de fonctionnement).

A titre d'exemple, le tableau ci-après donne les principaux ordres de grandeurs :

Exemple de puissance d'équipements		
1 à 2 kVA	2 à 3 kVA	> 3 kVA
Cafetière Appareil à raclette Machine à expresso Friteuse Lave-Vaisselle	Sèche-cheveux Aspirateur Plancha Fer à repasser Bouilloire Lave-linge Sèche-linge Four	Plaques de cuisson (jusqu'à 7 kVA suivant le nombre de foyers allumés)

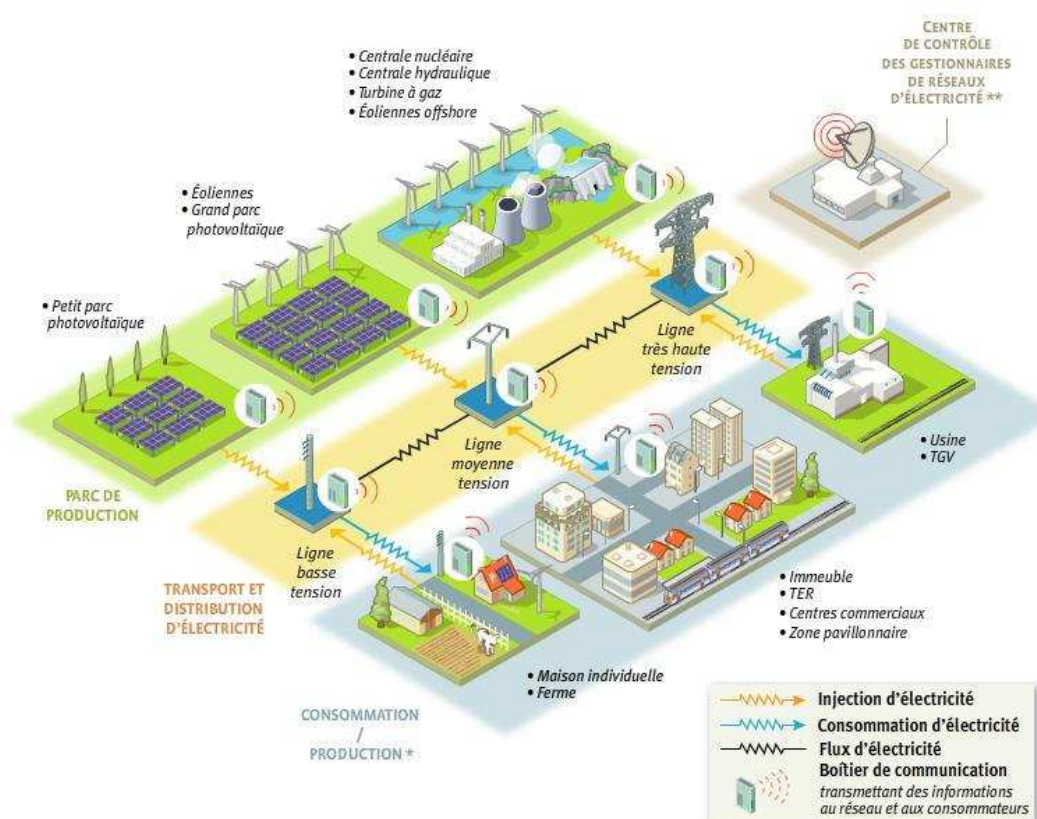
6.3. Smart Grids

6.3.1. Enjeux à l'échelle de la ZAC

Aspects techniques et réglementaires

Les SMART GRIDS (ou réseaux intelligents) sont les réseaux de distribution de flux (énergies ou autres) auxquels sont ajoutés des fonctionnalités issues des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC).

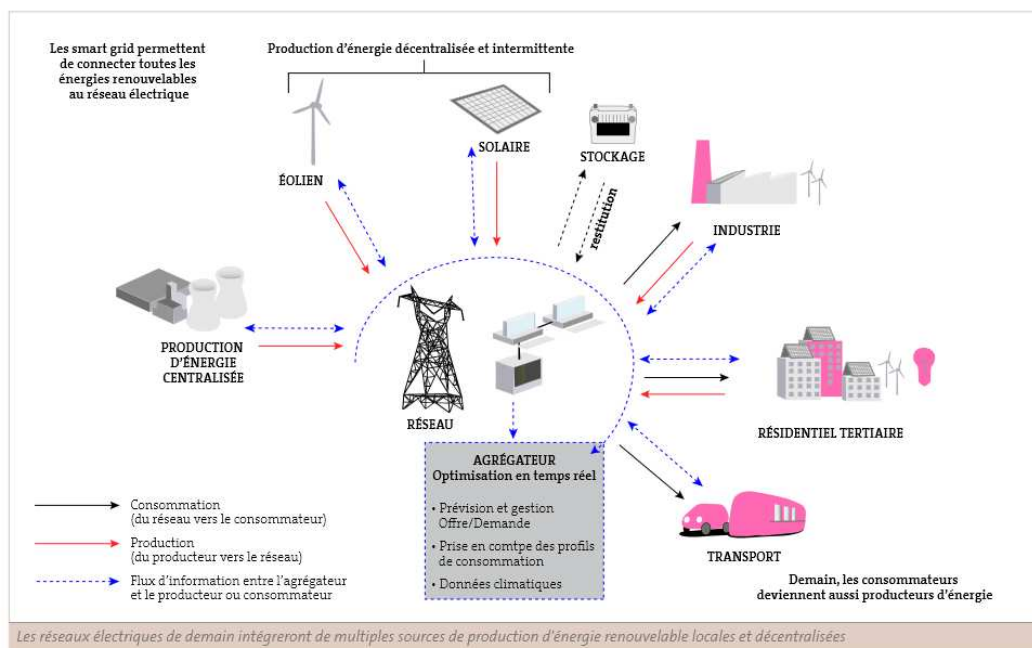
Le but est d'assurer l'équilibre entre l'offre et la demande à tout instant et de fournir un approvisionnement sûr, durable et compétitif aux consommateurs.



Cas du réseau électrique - illustration des flux (source <http://www.smartgrids-cre.fr>)

Les SMART GRIDS intéressent plusieurs types d'acteurs :

- Les acteurs participants au développement du projet : collectivité, promoteurs, etc.,
- Les utilisateurs des bâtiments qui peuvent être également producteurs,
- Les gestionnaires des réseaux de transport et de distribution,
- Les fournisseurs d'énergies, de flux, etc.,
- L'agrégateur (dont le rôle est présenté ci-après).



Positionnement du rôle d'agrégateur vu par VEOLIA – réseau électrique

D'un **point de vue technique**, la mise en œuvre de réseaux intelligents passe par la connaissance fine des profils de consommations des usagers.

Par exemple, pour le réseau d'électricité, le déploiement des compteurs LINKY et l'instrumentation des postes de distribution sont les premières briques du développement des SMART GRIDS. Les compteurs LINKY permettront de :

- Simplifier la gestion des pics de consommations (notamment en actionnant plusieurs contacts à distance à partir de signaux tarifaires sur des plages horaires),
- Contribuer à la communication de données de consommations pour adapter la production aux besoins,
- Pouvoir fournir aux usagers une analyse des données de consommations.

Le développement des SMART GRID nécessitera également de partager les infrastructures de communication afin de permettre l'échange de flux d'informations entre les différents acteurs.

D'un **point de vue réglementaire**, la normalisation de la mise en œuvre de réseaux intelligents passe par la traduction des directives européennes. Aujourd'hui, les modèles d'affaires permettant le développement des SMART GRIDS restent à définir. Parmi les questions posées, plusieurs problématiques juridiques ressortent :

- Les acteurs souhaitant se positionner comme agrégateurs n'ont pas forcément le statut de fournisseurs d'énergies,
- D'un point de vue opérationnel, l'efficacité des SMART GRIDS passe par une gestion globale par l'agrégateur de tous les flux du bâtiment. Il se pose alors, par exemple, la question pour le gestionnaire ou l'utilisateur du bâtiment du libre choix du fournisseur (garanti par le code de l'énergie),
- Comment sont sécurisées les données échangées ?

Exemple de démarche adoptée pour l'opération « Eco-vallée » à Nice

A titre d'exemple, la démarche développée par l'Eco-vallée à Nice, Opération d'Intérêt National, est la suivante :

- La CCI Nice Côte d'Azur en collaboration avec la Métropole Nice Côte d'Azur a réalisé un travail spécifique de concertation pour élaborer une charte propice au développement des SMART GRIDS. Cette mission a été menée en réalisant un grand nombre de rencontres pour échanger avec les acteurs du secteur. Ce travail a donné lieu à une charte téléchargeable à l'adresse suivante :

<http://www.cote-azur.cci.fr/Espace-Presses/Infos-presses/SMART-GRIDS-avancees-de-la-filiere-en-France-et-sur-la-Cote-d-Azur-et-lancement-de-la-charte-smart-grid-cote-d-Azur>

- Suite au développement de cette charte, la réflexion se poursuit sur la manière de structurer un cahier des charges facilitant l'émergence d'agrégateurs. Outre les problématiques techniques, ce travail devrait permettre de s'interroger sur les aspects sociaux, économiques et juridiques (comment se rémunère la vente de kWh « effacés » ? quel modèle d'affaires ? Etc.).

Calendrier de la CRE

La CRE (autorité administrative indépendante chargée de veiller au bon fonctionnement des marchés de l'électricité et du gaz en France) est à l'initiative de plusieurs actions sur les SMART GRIDS. Au travers de ces dernières, elle a pour objectif de connaître les attentes et ambitions des acteurs face à sa mission de régulation.

Dans le prolongement des différentes actions entreprises, elle a mis en ligne en janvier 2013 la « feuille de route » qu'elle souhaite suivre. Les axes de travail sont :

- Contribuer à la réflexion sur l'évolution du cadre institutionnel et de la gouvernance
- Intégrer le sujet des SMART GRIDS dans les activités de régulation :
 - Définir les conditions de financement,
 - Déterminer les fonctionnalités,
 - Suivre et accompagner les expérimentations.

6.3.2. Enjeux à l'échelle des bâtiments

Ce qu'impose la RT 2012

La mesure des consommations d'énergie est incontournable. En effet, la RT 2012 impose la mise en œuvre de systèmes permettant de mesurer ou d'estimer la consommation d'énergie de chaque bâtiment.

L'Article 23 de l'arrêté du 26 octobre 2010 est relatif aux maisons individuelles ou accolées ainsi que les bâtiments ou parties de bâtiments collectifs d'habitation.

Article 23

Les maisons individuelles ou accolées ainsi que les bâtiments ou parties de bâtiments collectifs d'habitation sont équipés de systèmes permettant de mesurer ou d'estimer la consommation d'énergie de chaque logement, excepté pour les consommations des systèmes individuels au bois en maison individuelle ou accolée.

En cas de production collective d'énergie, on entend par énergie consommée par le logement la part de la consommation totale d'énergie dédiée à ce logement selon une clé de répartition à définir par le maître d'ouvrage lors de la réalisation du bâtiment.

Ces systèmes permettent d'informer les occupants, a minima mensuellement, de leur consommation d'énergie.

Cette information est délivrée dans le volume habitable, par type d'énergie, a minima selon la répartition suivante :

- Chauffage,
- Refroidissement,
- Production d'eau chaude sanitaire,
- Réseau prises électriques,
- Autres.

Toutefois, dans le cas d'un maître d'ouvrage qui est également le futur propriétaire bailleur du bâtiment construit, notamment les maîtres d'ouvrage de logements locatifs sociaux, cette information peut être délivrée aux occupants, a minima mensuellement, par voie électronique ou postale et non pas directement dans le volume habitable.

Cette répartition peut être basée soit sur des données mesurées, soit sur des données estimées à partir d'un paramétrage préalablement défini.

Article 31

Les bâtiments ou parties de bâtiment à usage autre que d'habitation sont équipés de systèmes permettant de mesurer ou de calculer la consommation d'énergie :

- Pour le chauffage : par tranche de 500 m² de SURT concernée ou par tableau électrique, ou par étage, ou par départ direct,
- Pour le refroidissement : par tranche de 500 m² de SURT concernée ou par tableau électrique, ou par étage, ou par départ direct,
- Pour la production d'eau chaude sanitaire,
- Pour l'éclairage : par tranche de 500 m² de SURT concernée ou par tableau électrique, ou par étage,
- Pour le réseau des prises de courant : par tranche de 500 m² SURT concernée ou par tableau électrique, ou par étage,
- Pour les centrales de ventilation : par centrale,
- Par départ direct de plus de 80 ampères.

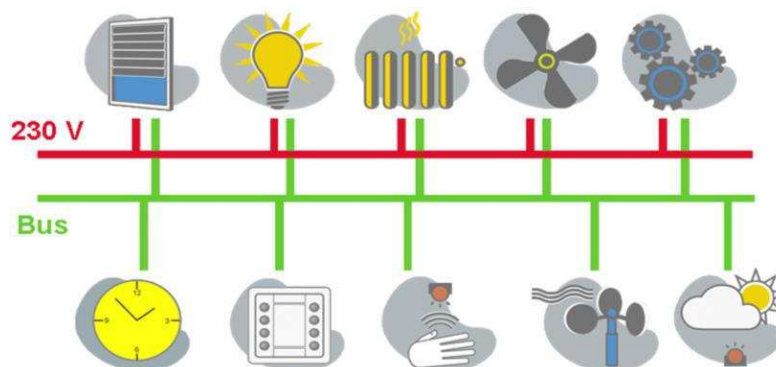
En complément, il est à noter que pour obtenir les labels EFFINERGIE+ ou BEPOS EFFINERGIE 2013, certaines recommandations supplémentaires sont à respecter et précisent la nature des informations à afficher (niveaux de détails des kWh, Gaz à Effet de Serre, part des énergies renouvelables, etc.)

Les principes du pilotage

Les grands principes de pilotage des bâtiments (tertiaire ou logements) sont similaires. Les principales différences résident dans la complexité et la nature des équipements à piloter. Une installation est composée de :

- Interrupteurs : équipements dit « actifs », du fait qu'ils peuvent interagir avec l'ensemble de l'installation, comme le chauffage, l'éclairage, les prises, sécurité, etc.,
- Capteurs : permettent de communiquer avec le système (augmentation de la température des radiateurs, baisse ou l'orientation de volets, gradation de l'éclairage, etc.),
- Détecteurs : permettent d'envoyer un message (détecteur de présence, sonde de température et d'ensoleillement, anémomètre, etc.),
- Système de pilotage : permet de contrôler la totalité des appareils. Le fonctionnement peut être sous deux modes, automatique ou manuel.

La communication des données peut se faire par BUS.



Installation (source : Schneider Electric)

Ces installations devront permettre de prendre en compte les réglages souhaités par l'utilisateur mais aussi les informations de type délestage qui seront envoyées soit par le fournisseur d'énergie soit par l'agrégateur (voir chapitre 6.3.1).

Le pilotage de l'installation pourra être réalisé au travers d'interface intuitive.

Commandez et variez les éclairages



Programmez les éclairages



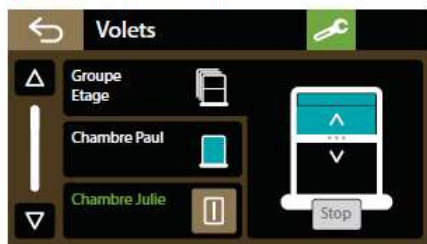
Commandez le chauffage ou la climatisation



Commandez l'alarme



Commandez les volets



Programmez les volets



Créez des scénarios



Gérez le calendrier annuel



Fonctionnalités disponibles sur écran de commande (source : Delta Dore)

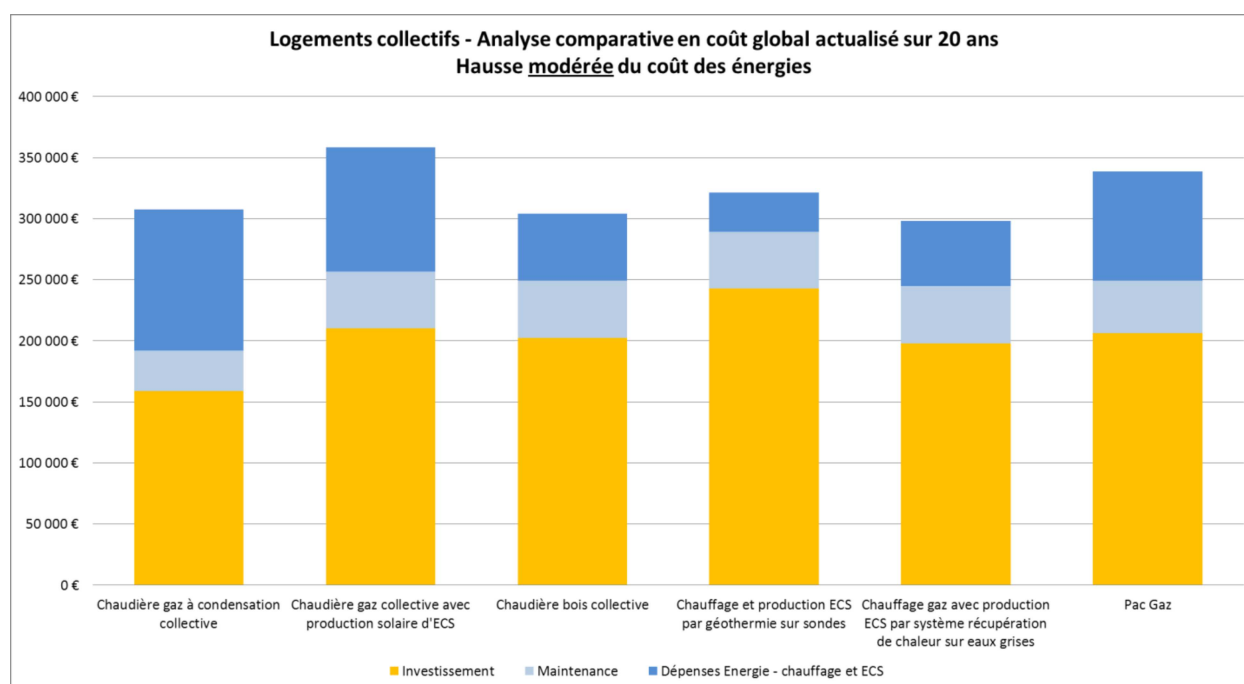


7. SCENARII

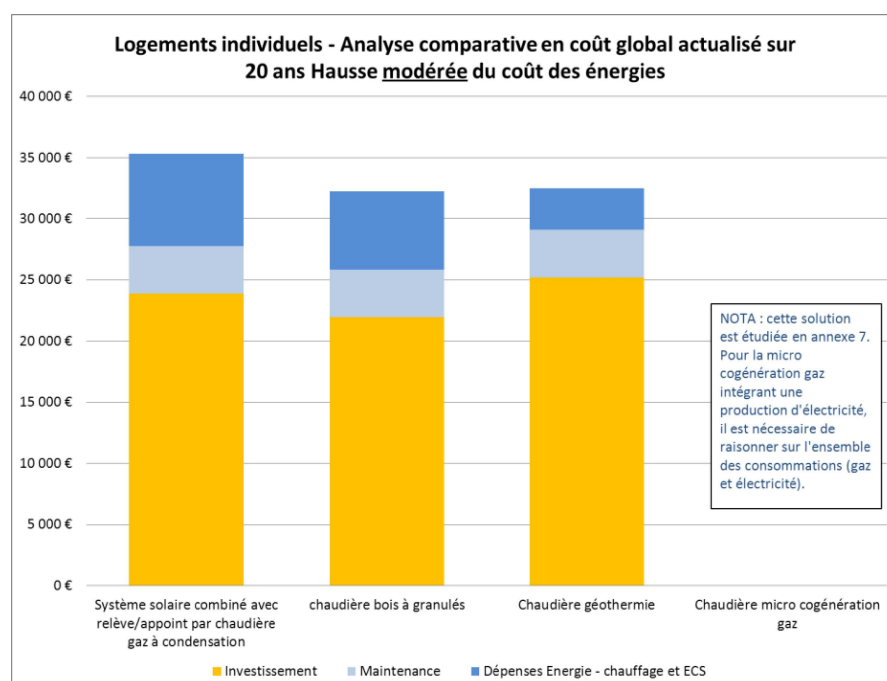
7.1. Scenarii à l'échelle des bâtiments

L'analyse en coût global actualisé sur 20 ans prenant en compte une hausse modérée (cf. annexes) du coût des énergies. Les différentes solutions envisageables sont présentées en détail dans les annexes du présent rapport.

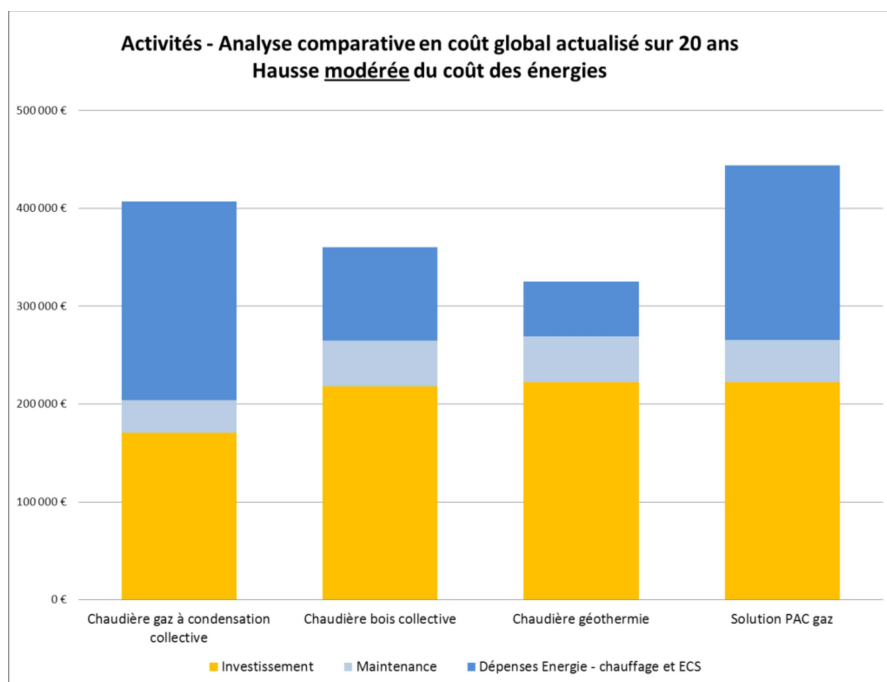
Exemple pour les logements collectifs (détail des calculs en annexe)



Exemple pour les logements individuels (détail des calculs en annexe)



Exemple pour les bâtiments d'activités (détail des calculs en annexe)



Conclusion

Le **recours à une seule solution énergétique** pour pallier aux besoins de tous les bâtiments est difficilement envisageable pour les raisons suivantes :

- **Contraintes techniques.** Exemple : la surface de toiture pour le solaire thermique peut s'avérer insuffisante. Cette solution nécessite un appoint. De même, l'objectif ambitieux en termes de production d'électricité nécessitera de partager l'usage des toitures entre solaire thermique et solaire photovoltaïque.
- **Contraintes économiques.** Exemple : suivant le nombre de logements et de l'évolution du coût des énergies, telle ou telle solution peut présenter une meilleure rentabilité.

Il est donc proposé par la suite des mix énergétiques de ces différentes solutions.

7.2. Scénarii à l'échelle de la ZAC

Présentation des 3 scenarii

En fonction des différentes utilisations (logements, activités), il est présenté ci-après trois scénarii plus ou moins ambitieux en termes de couverture des besoins par les énergies renouvelables.

Les tableaux ci-après précisent les mix énergétiques retenus.

Scénario 1		
Hypothèses		
Logements Individuels		1/4 : gaz
Logements collectifs		1/4 : bois 1/4 : gaz/solaire thermique combiné 1/4 : cogénération gaz
Activités/équipements		3/4 : gaz 1/4 : PAC gaz
Production Energie (toiture équipée en photovoltaïque)		20%
Résultats		
Taux de couverture des besoins de chauffage et ECS par énergies renouvelables		20% environ
Taux de couverture des besoins d'électricité tous usages (bâtiment et éclairage public)	par Photovoltaïque	16 % environ
	par micro cogénération gaz	2 % environ

Scénario 2		
Hypothèses		
Logements Individuels		1/4 : géothermie 1/4 : bois 1/4 : gaz/solaire thermique combiné 1/4 : cogénération gaz
Logements collectifs		1/4 : géothermie 1/4 : bois 1/4 : gaz/solaire thermique combiné 1/4 des logements équipés de système de récupération de chaleur sur eaux grises
Activités/équipements		2/3 : gaz 1/3 : bois
Production Energie (toiture équipée en photovoltaïque)		30%
Résultats		
Taux de couverture des besoins de chauffage et ECS par énergies renouvelables		40% environ
Taux de couverture des besoins d'électricité tous usages (bâtiment et éclairage public)	par Photovoltaïque	25 % environ
	par micro cogénération gaz	2 % environ

Scénario 3		
Hypothèses		
Logements Individuels		1/3 : bois
Logements collectifs		1/3 : gaz/solaire thermique combiné 1/3 : géothermie
Activités/équipements		1/3 : bois 2/3 : géothermie
Production Energie (toiture équipée en photovoltaïque)		40%
Résultats		
Taux de couverture des besoins de chauffage et ECS par énergies renouvelables		55% environ
Taux de couverture des besoins d'électricité tous usages (bâtiment et éclairage public)	par Photovoltaïque	33 % environ
	par micro cogénération gaz	0 % environ

Résultats

Nota : en réalisant le scénario n°2, 40% des besoins de chaleur (chauffage et ECS) et 25% des besoins en électricité seront couverts par les énergies renouvelables ou produits localement.



L'union de Coteba et Sogreah

Direction Régionale Ouest

Espaces Bureaux du Sillon de Bretagne

8 Avenue des Thébaudières - CS 20 232 - 44 815 SAINT HERBLAIN CEDEX

Tel. : 02 28 09 18 00 - Fax : 02 40 94 80 99

SPLA VIASILVA

ZAC ATALANTE VIASILVA
Annexe n° 2 - Solaire photovoltaïque

FEVRIER 2016
REF. : 4.42.0972





Nom du document	4.42.0972 - Annexe 2 - Solaire photovoltaïque.docx
Date de création	Février 2016
Indice	A
N° réf. affaire	4.42.0972

APR/eha

Ce document est imprimé sur papier 100 % recyclé.

1. Principe	2
1.1.Principe d'un générateur photovoltaïque	2
1.1.1. Eléments composant un générateur PV	2
1.2.Options pour générateur photovoltaïque	5
1.2.1. Surveillance du fonctionnement et communication	5
1.2.2. Maintenance	6
1.3.Aspects environnementaux	6
1.4.Tarifs d'achat.....	7
1.5.Exemples de solutions techniques.....	7
2. Simulation	12
2.1.Cas n°1 : 20 logements collectifs (type R+4) de 65m ²	12
2.1.1. Données principales.....	12
2.1.2. Analyse énergétique	12
2.1.3. Analyse économique.....	12
2.2.Cas n°2 : Logement individuel de 130 m ²	13
2.2.1. Données principales.....	13
2.2.2. Analyse énergétique	13
2.2.3. Analyse économique.....	13
2.3.Cas n°3 : Bâtiment tertiaire 1 400m ² (R+1 - 2 x 700 m ²).....	14
2.3.1. Données principales.....	14
2.3.2. Analyse énergétique	14
2.3.3. Analyse économique.....	14
3. Conclusion	15

1. PRINCIPE

Les solutions solaires thermiques ne sont pas étudiées dans cette annexe. Elles sont directement intégrées aux analyses comparatives des autres annexes. Exemple : solution bois comparée à une solution « 100 % gaz » et à une solution « gaz + solaire thermique ».

1.1. Principe d'un générateur photovoltaïque




1.1.1. Eléments composant un générateur PV

L'objectif est de convertir l'énergie du rayonnement du soleil en énergie électrique. Un panneau de 1 m² fournit une puissance de l'ordre de 140 Wc et produit de 135 à 155 kWh/an.

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

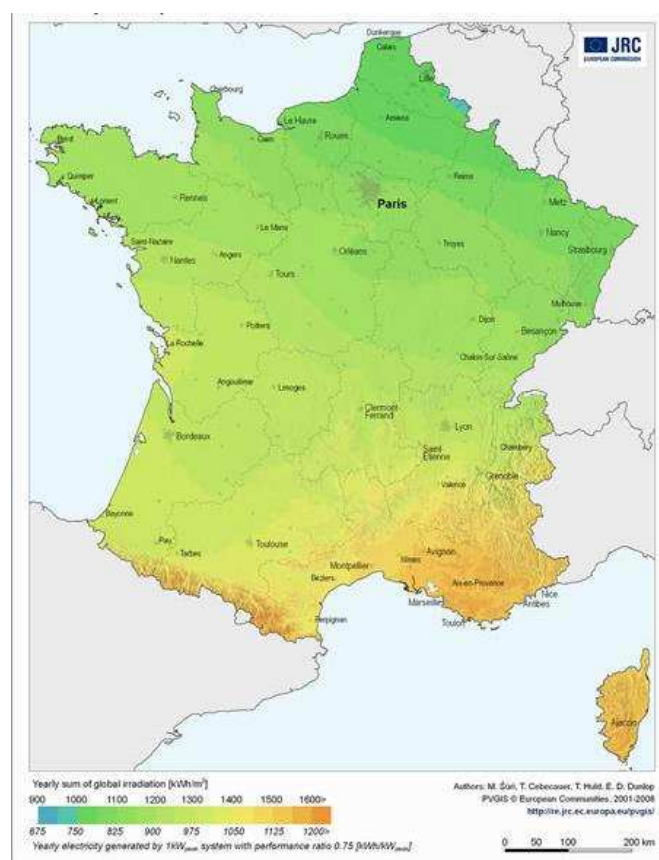
L'énergie produite est alors soit consommée pour couvrir les besoins du bâtiment soit injectée et revendue sur le réseau de distribution.

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%

Dans la majeure partie des cas, le système photovoltaïque est indépendant des usages des bâtiments. En effet, la production d'électricité est généralement revendue intégralement. Elle peut également être consommée en partie ou intégralement sur site (solution très peu développée car nécessitant des batteries de stockage de l'énergie). Le choix de revendre intégralement ou non la production est dicté par l'arrêté 4 mars 2011 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie radiative du soleil. Tant que les prix d'achat sont supérieurs au prix de vente de l'électricité, les producteurs revendront leur production.

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.



Carte d'enseillement - Source JRC

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

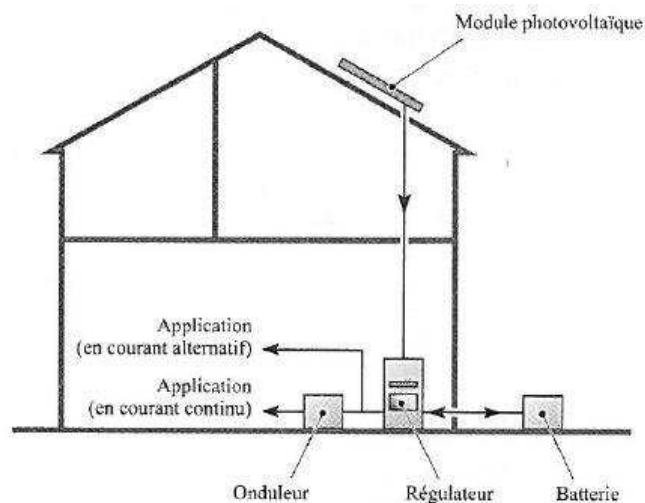
Facteurs de correction du rendement en fonction de l'orientation et de l'inclinaison

Il existe 3 types de mise en œuvre d'installation photovoltaïque :

- L'installation photovoltaïque dite autonome : l'objectif est de consommer l'énergie produite sur site,
- L'installation raccordée réseau : l'objectif est d'injecter sur le réseau l'intégralité de la production pour la revendre à un opérateur type EDF.
- L'installation avec consommation et vente du surplus de production d'électricité.

Installation photovoltaïque autonome

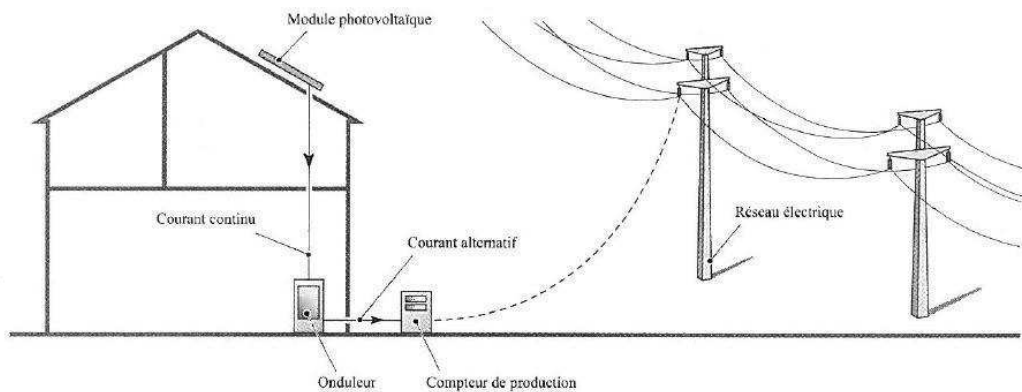
L'installation photovoltaïque autonome produit de l'électricité pour un bâtiment qui n'est pas relié au réseau. Ce type d'installation est principalement dédié à des sites éloignés ou isolés du réseau public. L'énergie produite par les modules photovoltaïques est stockée et restituée à la demande. **Le développement des modes de stockage, la faible différence de coût entre tarif d'achat et de vente de l'énergie ainsi que les coûts de raccordement au réseau contribuent aujourd'hui au développement économique de ce type de solutions autonomes.**



Installation photovoltaïque autonome (source moniteur)

Installation photovoltaïque raccordée réseau

L'installation photovoltaïque raccordée réseau consiste à réinjecter tout ou partie de la production d'électricité sur le réseau. Le courant continu produit par les modules photovoltaïques doit être transformé avant d'être injecté sur le réseau alternatif. Pour convertir le courant continu en courant alternatif, des onduleurs sont utilisés pour permettre de s'assurer d'injecter le courant en respectant les exigences d'ErDF. La production d'électricité bénéficie d'une obligation de rachat et d'un tarif réglementé. **Le différentiel de tarif d'achat et de vente du kWh ayant diminué, de plus en plus d'installations sont réalisées avec comme objectif de favoriser l'autoconsommation.**



Installation photovoltaïque raccordée au réseau (source moniteur)

1.2. Options pour générateur photovoltaïque

1.2.1. Surveillance du fonctionnement et communication

La réalisation d'un générateur solaire photovoltaïque raccordé au réseau peut s'accompagner de la mise en place d'un système d'information qui pourra prendre les formes suivantes :

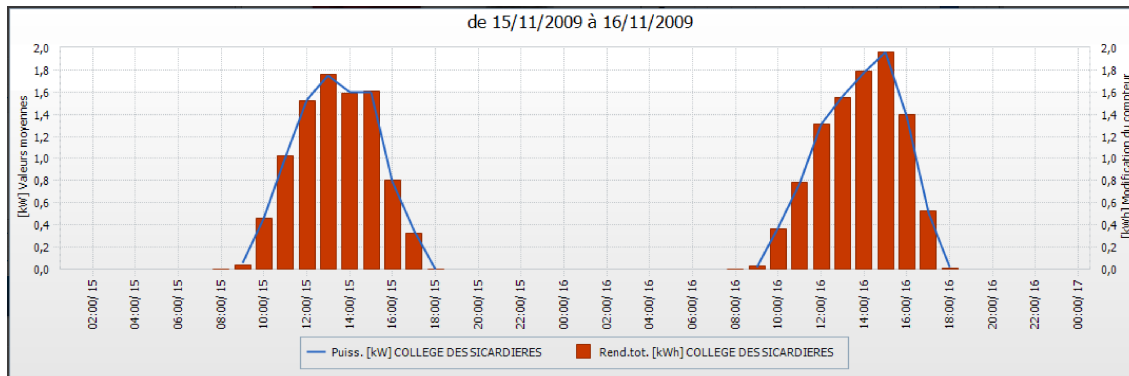
- Affichage sur site : panneau didactique ou « totem »

A titre d'information, Artelia travaille actuellement sur un projet de communication à l'échelle d'un quartier. L'objectif est de comparer les consommations réelles des bâtiments à la production réelles des centrales photovoltaïques. Les enjeux sont à la fois techniques, économiques et juridiques (quid de l'utilisation des données de consommations des particuliers ?).



Exemple : Centre commercial de Beaulieu, Nantes, Maître d'œuvre Artelia

- Affichage sur internet



Exemple : Centrale Photovoltaïque du Collège de l'Île d'Yeu, Maître d'œuvre Artelia

1.2.2. Maintenance

Afin de garantir la pérennité du système photovoltaïque raccordé au réseau, il est nécessaire de réfléchir lors de la conception de la centrale aux solutions de maintenance qui seront mises en place.

Le tableau ci-après présente les ordres de grandeur de durées de vie des principaux constituants d'un générateur solaire photovoltaïque raccordé réseau :

Durée de vie des équipements	
Modules photovoltaïques	25 à 30 ans
Onduleurs	10 à 15 ans
Câblage	20 à 25 ans

1.3. Aspects environnementaux

Les émissions en équivalent de CO₂ évitées par la production d'électricité utilisant l'énergie fossile peuvent être calculées de plusieurs manières. Doit-on considérer les ratios mensuels d'émissions en équivalent de CO₂ du parc de production d'électricité français (relativement faible puisque plus de 80% de l'électricité produite est d'origine nucléaire) ? Devrait-on plutôt considérer les émissions en équivalent de CO₂ d'une unité de production fossile (gaz en l'occurrence) puisque c'est actuellement ce type de centrale qui absorbe l'essentiel de l'augmentation des consommations en France ?

Ces questions portant sur le contenu en équivalent de CO₂ du kWh électrique dépendent grandement de la méthodologie employée pour l'évaluer. Les deux principales approches utilisées donnent des résultats radicalement différents :

- La première, utilisée et définie en France depuis 2005, est basée sur le contenu par usages sur la base de l'historique, donne un contenu en CO₂ du kWh métropolitain compris entre 40 g et 180 g (moyenne 84 g),

- La seconde méthode, dite du contenu marginal, semble beaucoup plus appropriée pour mesurer les effets des actions des énergies renouvelables évaluée le contenu en équivalent de CO₂ du kWh entre 450g et 700g.

1.4. Tarifs d'achat

L'arrêté du 4 mars 2011 fixe les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie radiative du soleil telles que visées au 3° de l'article 2 du décret n° 2000-1196 du 6 décembre 2000.

Les tarifs d'achat dépendent :

- Des usages des bâtiments : habitation, santé, enseignement, etc.
- De la catégorie du projet (se référer à l'arrêté) : intégration au bâti, intégration simplifiée au bâti, autres cas,
- De la puissance de l'installation (les installations de plus de 100 kWc ne sont pas traitées dans cette partie).

Le tarif de base est fixé à réception de la demande complète de raccordement et valable pour une durée de 20 ans. Ce tarif est indexé les années suivantes (se référer à l'arrêté). Le tarif de base est réévalué tous les 3 mois suivant les modalités détaillées dans l'arrêté. La CRE (Commission de Régulation de l'Energie) est en charge de les publier.

Jusqu'au 31/12/2015, les tarifs seront les suivants pour les installations inférieures à 100 kWc :

- En intégration au bâti (jusqu'à 9 kWc) : 25.39 c€/kWh
- En intégration simplifiée au bâti :
 - Puissance inférieure à 36 kWc : 14.40 c€/kWh
 - Puissance entre 36 kWc et 100 kWc : 13.68 c€/kWh
- Autres cas : 6.12 c€/kWh

Pour les installations supérieures à 100 kWc, un système d'appels d'offres permet de retenir les opérations éligibles. La visibilité sur le tarif d'achat est alors limitée.

1.5. Exemples de solutions techniques

La suite présente les 4 familles de solutions techniques jugées les courantes (liste non exhaustive) :

- Famille 1 : solution pour toiture inclinée,
- Famille 2 : solution modules pour toiture terrasse (à privilégier en rénovation plutôt qu'en neuf),
- Famille 3 : solution garde-corps,
- Famille 4 : solution brise-soleil.

Solution pour toiture inclinée

Descriptif de la solution solaire

Type de panneaux :	Modules photovoltaïques poly ou mono cristallin
Système d'intégration/fixation :	Profilés et/ou rail de fixation Bavettes d'étanchéités (latérales, supérieures et inférieures) Ecran de sous toiture
Type d'intégration :	Intégration au bâti

Photographies



Intégration sur charpente bois



Mise en œuvre de modules



Mise en œuvre de modules



Solution assurant l'étanchéité

Solution modules pour toiture terrasse

Descriptif de la solution solaire

Type de panneaux :	Modules photovoltaïques poly ou mono cristallin
Système d'intégration/fixation :	Platines en acier inox ou structure aluminium étanche
Type d'intégration :	Intégration simplifiée au bâti (certains systèmes sont annoncés par les fournisseurs comme intégrés au bâti => nécessite une validation par le CEIAB)

Photographies



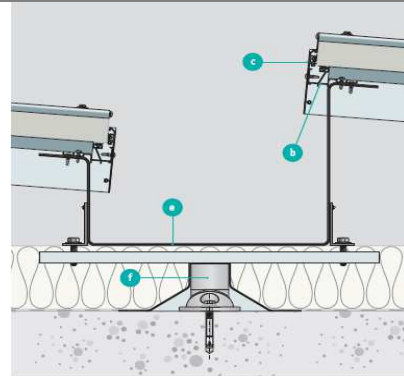
Mise en œuvre modules sur plots
(solution SMAC)



Modules sur plots
(Solution Solardis)



Système de toiture intégrant isolation et modules
(solution Dani alu)



Système de toiture intégrant isolation et modules
(solution Dani alu)

Solution garde-corps

Descriptif de la solution solaire

Type de panneaux :	Modules photovoltaïques poly ou mono cristallin
Système d'intégration/fixation :	Système de plots béton et semelles, Bracons, Potelets, Système de fixation sur acrotère
Type d'intégration :	Intégration au bâti

Photographies



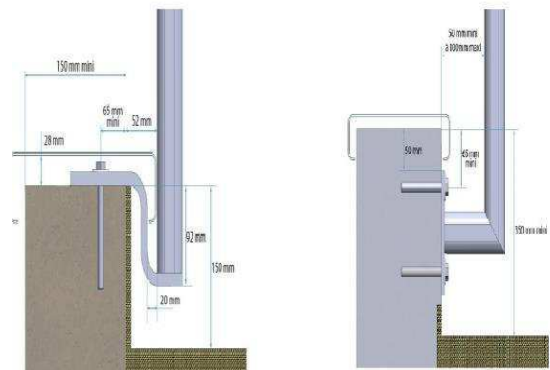
Installation avec garde-corps photovoltaïques



Garde-corps, inclinaison 30° vers intérieur de la terrasse



Garde-corps, inclinaison 30° vers extérieur de la terrasse



Exemple de fixations en fonction de la typologie des acrotères rencontrés

Solution brise-soleil

Descriptif de la solution solaire

Type de panneaux :	Modules photovoltaïques poly ou mono cristallin
Système d'intégration/fixation :	Supports métalliques
Type d'intégration :	Intégration au bâti

Photographies



Exemple d'installation en brise-soleils photovoltaïques



Exemple d'installation en brise-soleils photovoltaïques



Exemple de support et fixation modules

2. SIMULATION

2.1. Cas n°1 : 20 logements collectifs (type R+4) de 65m²

2.1.1. Données principales

- Solution en intégration au bâti,
- Puissance volontairement inférieure à 36 kWc soit 35.9 kWc retenue : permet de bénéficier du meilleur tarif d'achat,
- Surface de toiture nécessaire : 250 m².

2.1.2. Analyse énergétique

La production attendue permettrait de couvrir plus de la totalité des besoins (env. 110%) en électricité spécifique (hors éclairage et auxiliaires) sur la base des hypothèses de consommations indiquées au rapport.

2.1.3. Analyse économique

Hypothèses	
Hypothèse de coût d'investissement	1.5 en € TTC / Wc
Puissance installée	35.9 kWc
Investissement	53 850 € TTC
Ratio de production	1 100 kWh / kWc / an
Production	39.5 MWh / an
Tarif d'achat	14.4 c€/ kWh
Simulation	
Gain	5 688 € TTC /an
Coût annuel (maintenance et location compteur de production)	1 000 € TTC /an
Taux d'indexation du kWh vendu	0.0%
Taux d'indexation de la maintenance	3.5%
Taux d'actualisation	4%
Temps de retour actualisé	16 ans

2.2. Cas n°2 : Logement individuel de 130 m²

2.2.1. Données principales

- Solution en intégration au bâti,
- Puissance volontairement de 3 kWc
- Surface de toiture nécessaire : 20 m²

2.2.2. Analyse énergétique

La production attendue permettrait de couvrir la totalité des besoins en électricité spécifique (hors éclairage et auxiliaires) d'un logement individuel sur la base des hypothèses de consommations indiquées au rapport.

2.2.3. Analyse économique

Hypothèses	
Hypothèse de coût d'investissement	2.0 en € TTC / Wc
Puissance installée	3.0 kWc
Investissement	6 000 € TTC
Ratio de production	1 100 kWh / kWc / an
Production	3.3 MWh / an
Tarif d'achat	25.39 c€ / kWh
Simulation	
Gain	838 € TTC /an
Coût annuel (maintenance et location compteur de production)	250 € TTC /an
Taux d'indexation du kWh	0.0%
Taux d'indexation de la maintenance	3.5%
Taux d'actualisation	4%
Temps de retour actualisé	15 ans

2.3. Cas n°3 : Bâtiment tertiaire 1 400m² (R+1 - 2 x 700 m²)

2.3.1. Données principales

- Solution en intégration simplifiée au bâti : hypothèse de coût moindre,
- Puissance volontairement de 99 kWc
- Surface de toiture nécessaire : 700 m²

2.3.2. Analyse énergétique

La production attendue permettrait de couvrir deux fois la totalité des besoins en électricité spécifique (hors éclairage et auxiliaires) d'un bâtiment en R+1 sur la base des hypothèses de consommations indiquées au rapport.

2.3.3. Analyse économique

Hypothèses	
Hypothèse de coût d'investissement	1.5 en € TTC / Wc
Puissance installée	99.0 kWc
Investissement	148 500 € TTC
Ratio de production	1 100 kWh / kWc / an
Production	108.9 MWh / an
Tarif d'achat	13.68 c€ / kWh
Simulation	
Gain	14 898 € TTC /an
Coût annuel (maintenance et location compteur de production)	1 200 € TTC /an
Taux d'indexation du kWh	0.0%
Taux d'indexation de la maintenance	3.5%
Taux d'actualisation	4%
Temps de retour actualisé	15 ans

3. CONCLUSION

Les tarifs d'achat du kWh photovoltaïque ont évolué très régulièrement ces 5 dernières années. Globalement, les tarifs ont significativement baissé. Cependant, le prix des modules a également subi une baisse. La rentabilité des projets est liée à ces évolutions.

Les tarifs d'achat du kWh photovoltaïque sont à comparer au prix du kWh acheté par un particulier (de l'ordre de 15 c€ par kWh en 2015). De plus en plus de projets sont réalisés en privilégiant l'autoconsommation totale de l'énergie produite.



L'union de Coteba et Sogreah

Direction Régionale Ouest

Espaces Bureaux du Sillon de Bretagne

8 Avenue des Thébaudières - CS 20 232 - 44 815 SAINT HERBLAIN CEDEX

Tel. : 02 28 09 18 00 - Fax : 02 40 94 80 99



Nom du document 4.42.0972 - Annexe 3 - Bois.docx

Date de création Février 2016

Indice A

N° réf. affaire 4.42.0972

APR/eha

Ce document est imprimé sur papier 100 % recyclé.

1. Principe	1
1.1.Aspects développement durable	1
1.2.Les combustibles	1
1.3.Solutions techniques.....	2
2. Simulation	3
2.1.Cas n°1 : 20 logements collectifs (type R+4) de 65m ²	3
2.1.1. Données principales.....	3
2.1.2. Analyse économique.....	3
2.2.Cas n°2 : Logement individuel de 130m ²	5
2.2.1. Données principales.....	5
2.2.2. Analyse économique.....	6
2.3.Cas n°3 : Bâtiment tertiaire 1 400m ² (R+1 - 2 x 700 m ²).....	8
2.3.1. Données principales.....	8
2.3.2. Analyse économique.....	8
3. Conclusion	10

1. PRINCIPE

1.1. Aspects développement durable

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 brûler 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.

1.2. Les combustibles

Plusieurs combustibles sont utilisés : plaquettes forestières, granulés, bûches. Quel que soit le combustible, il est important de maîtriser la granulométrie, le taux d'humidité du bois et l'absence d'impuretés. Le passage des matières ligneuses au combustible bois nécessite des moyens de production particuliers.

Les différents combustibles n'ont pas tous la même densité. Le bois granulé est plus dense que le bois bûche et les plaquettes forestières. Il nécessite un espace de stockage moins important.



Plaquettes forestières



Granulés



Bûches



1.3. Solutions techniques

Plusieurs technologies existent pour chauffer au bois des logements individuels ou collectifs (et éventuellement assurer une partie des besoins en eau chaude sanitaire) :

- Les cheminées, inserts, poêles (non traités ci-après)
- Les chaudières automatiques (bois granulés ou plaquettes forestières)

Les rendements de ces différents équipements varient très significativement en fonction de leur technologie : les chaudières automatiques ont un meilleur rendement.

Les chaudières bois granulés et les chaudières à plaquettes forestières ne répondent pas forcément aux mêmes besoins :

- Moyennes et fortes puissances : chaudières à plaquettes forestières plus adaptées
- Petites à moyennes puissances : chaudières à granulés plus adaptées

Pour couvrir des besoins plus importants, il est possible d'installer plusieurs chaudières en cascade.



Chaudière à granulés avec silo textile



Chaudière à plaquettes forestières

2. SIMULATION

2.1. Cas n°1 : 20 logements collectifs (type R+4) de 65m²

2.1.1. Données principales

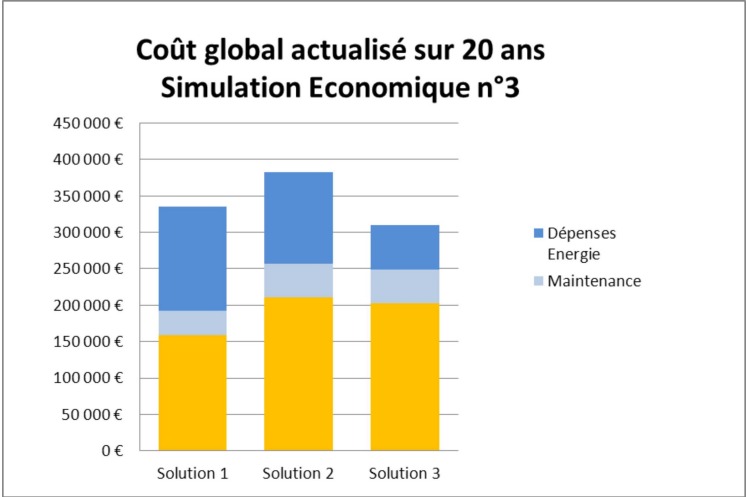
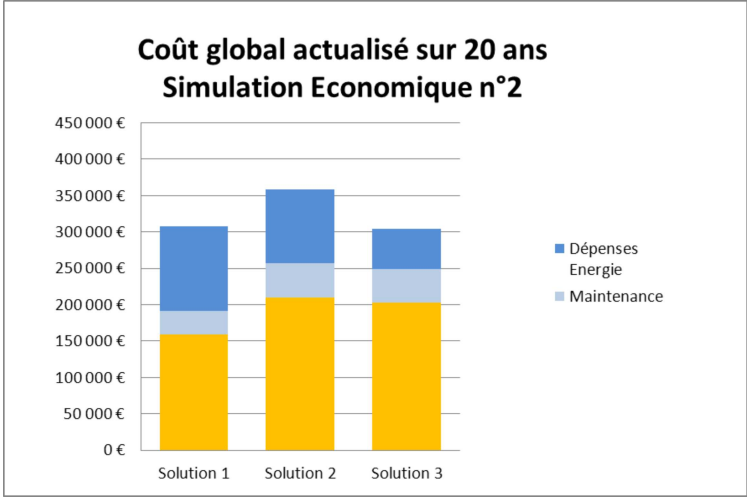
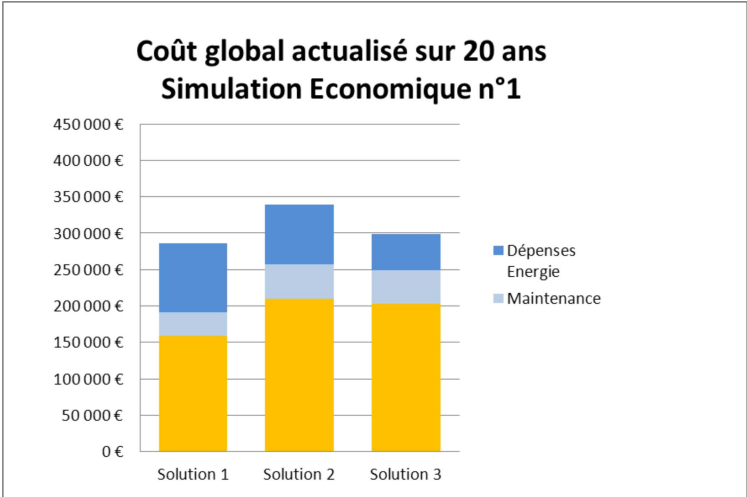
La suite présente l'étude comparative d'une chaudière bois à granulés (**appelée solution n°3 ci-après**) produisant le chauffage et l'eau chaude sanitaire en comparaison avec :

- Une solution 100% gaz (**appelée solution n°1 ci-après**)
- Une solution type « chaudière gaz à condensation avec production d'eau chaude solaire thermique » (**appelée solution n°2 ci-après**)

2.1.2. Analyse économique

Hypothèses retenues :

- Comparer les trois solutions en coût global actualisé sur 20 ans et en tenant compte des coûts suivants : investissements des équipements de production et de distribution, maintenance, coût des énergies nécessaires pour le chauffage et l'eau chaude,
- Taux d'actualisation : 4%
- Indexation de la maintenance : 3.5%
- Hypothèses de coût des énergies (année 1) :
 - Hypothèse du coût du gaz abonnement compris : 7 c€/kWh PCS
 - Hypothèse du coût du bois : 6 c€/kWh
- Sensibilité économique aux variations du coût des énergies :
 - Simulation économique n°1 :
 - Indexation du coût du bois : 4%
 - Indexation du coût du gaz : 8%
 - Simulation économique n°2 :
 - Indexation du coût du bois : 5%
 - Indexation du coût du gaz : 10%
 - Simulation économique n°3 :
 - Indexation du coût du bois : 6%
 - Indexation du coût du gaz : 12%



2.2. Cas n°2 : Logement individuel de 130m²

Rappel

La RT 2012 impose pour l'habitat individuel ou dit accolé :

- 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

L'utilisation d'une solution bois permet donc de répondre à cette exigence

2.2.1. Données principales

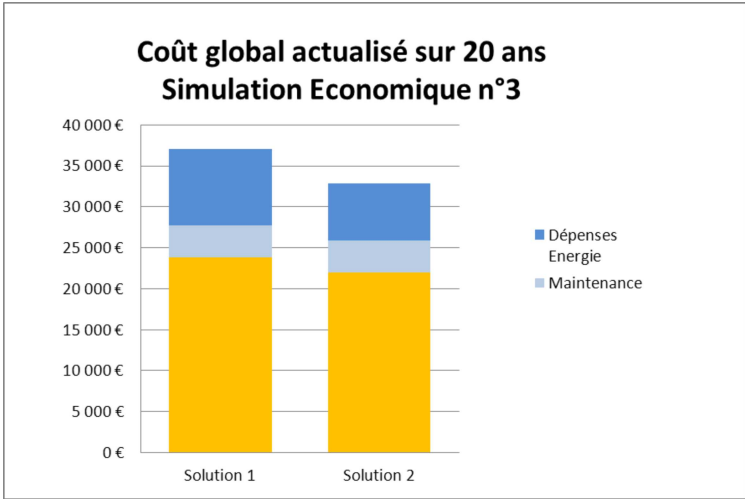
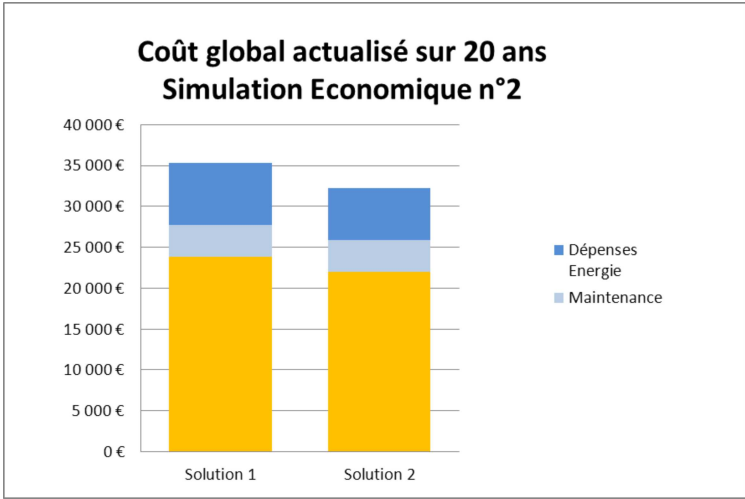
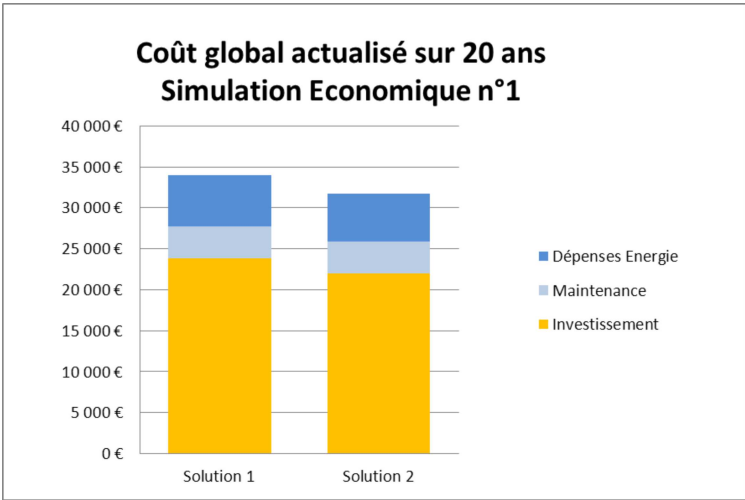
La suite présente l'étude comparative d'une chaudière bois à granulés (**appelée solution n°2 ci-après**) produisant le chauffage et l'eau chaude sanitaire en comparaison avec une solution répondant aux obligations de la RT 2012 (cf. rappel ci-avant).

Il est donc proposé de la comparer à une solution de référence (**appelée solution n°1 ci-après**) type « chaudière gaz à condensation en appoint d'un système solaire thermique combiné ». Les systèmes de production thermodynamique ont été écartés en raison de la volonté de soulager le réseau de distribution d'électricité en Bretagne.

2.2.2. Analyse économique

Hypothèses retenues :

- Comparer les deux solutions en coût global actualisé sur 20 ans et en tenant compte des coûts suivants : investissements des équipements de production et de distribution, maintenance, coût des énergies nécessaires pour le chauffage et l'eau chaude,
- Taux d'actualisation : 4%
- Indexation de la maintenance : 3.5%
- Hypothèses de coût des énergies (année 1) :
 - Hypothèse du coût du gaz abonnement compris : 8 c€/kWh PCS
 - Hypothèse du coût du bois : 7 c€/kWh
- Sensibilité économique aux variations du coût des énergies :
 - Simulation économique n°1 :
 - Indexation du coût du bois : 4%
 - Indexation du coût du gaz : 8%
 - Simulation économique n°2 :
 - Indexation du coût du bois : 5%
 - Indexation du coût du gaz : 10%
 - Simulation économique n°3 :
 - Indexation du coût du bois : 6%
 - Indexation du coût du gaz : 12%



2.3. Cas n°3 : Bâtiment tertiaire 1 400m² (R+1 - 2 x 700 m²)

2.3.1. Données principales

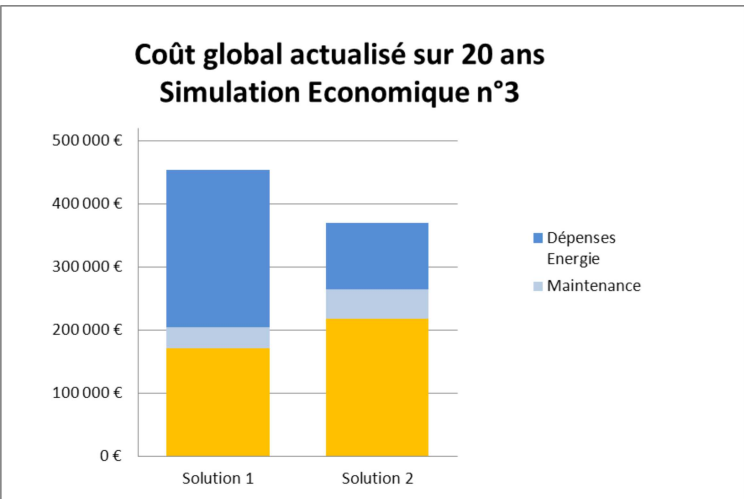
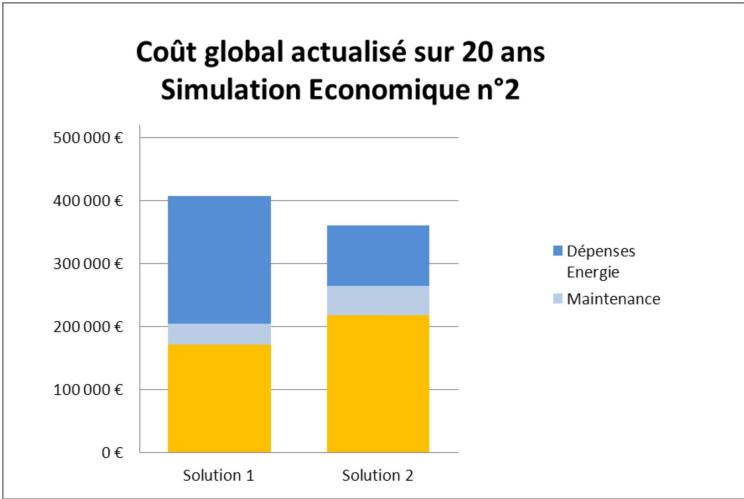
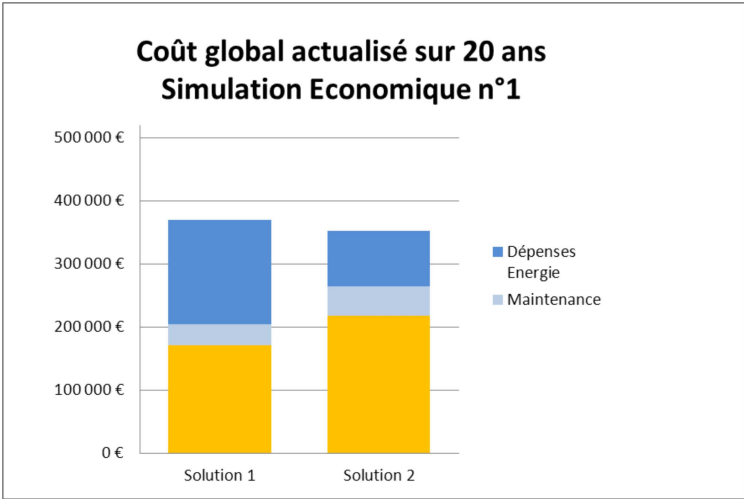
La suite présente l'étude comparative d'une chaudière bois à granulés (**appelée solution n°2 ci-après**) produisant le chauffage.

Une solution 100% gaz (**appelée solution n°1 ci-après**)

2.3.2. Analyse économique

Hypothèses retenues :

- Comparer les deux solutions en coût global actualisé sur 20 ans et en tenant compte des coûts suivants : investissements des équipements de production et de distribution, maintenance, coût des énergies,
- Taux d'actualisation : 4%
- Indexation de la maintenance : 3.5%
- Hypothèses de coût des énergies (année 1) :
 - Hypothèse du coût du gaz abonnement compris : 7 c€/kWh PCS
 - Hypothèse du coût du bois : 6 c€/kWh
- Sensibilité économique aux variations du coût des énergies :
 - Simulation économique n°1 :
 - Indexation du coût du bois : 4%
 - Indexation du coût du gaz : 8%
 - Simulation économique n°2 :
 - Indexation du coût du bois : 5%
 - Indexation du coût du gaz : 10%
 - Simulation économique n°3 :
 - Indexation du coût du bois : 6%
 - Indexation du coût du gaz : 12%



3. CONCLUSION

Il est à noter que les solutions bois à granulés sont compétitives dès lors qu'on raisonne en coût global actualisé (sur 20 ans).

Pour les logements collectifs et les bâtiments d'activités, une solution bois à plaquettes forestières est une alternative envisageable au bois granulés. Pour les logements individuels ou accolés, une solution bois à granulés reste plus pertinente.

Rappel : la RT 2012 laisse la possibilité de consommer d'avantage lorsque vous mettez en œuvre un système de chauffage utilisant le bois. Ce « droit » n'a pas été « utilisé » dans les simulations précédentes pour tenir compte de l'ambition du Maître d'Ouvrage de construire les logements les plus performants possibles.



L'union de Coteba et Sogreah

Direction Régionale Ouest

Espaces Bureaux du Sillon de Bretagne

8 Avenue des Thébaudières - CS 20 232 - 44 815 SAINT HERBLAIN CEDEX

Tel. : 02 28 09 18 00 - Fax : 02 40 94 80 99

SPLA VIASILVA

ZAC ATALANTE VIASILVA
Annexe n° 4 - Géothermie

FEVRIER 2016
REF. : 4.42.0972





Nom du document 4.42.0972 - Annexe 4 - géothermie.docx

Date de création Février 2016

Indice A

N° réf. affaire 4.42.0972

APR/eha

Ce document est imprimé sur papier 100 % recyclé.

1. Principe	1
2. Simulation	2
2.1.Cas n°1 : 20 logements collectifs (type R+4) de 65m ²	2
2.1.1. Données principales.....	2
2.1.2. Analyse économique.....	2
2.2.Cas n°2 : Logement individuel de 130m ²	4
2.2.1. Données principales.....	4
2.2.2. Analyse économique.....	5
2.3.Cas n°3 : Bâtiment tertiaire 1 400m ² (R+1 - 2 x 700 m ²).....	7
2.3.1. Données principales.....	7
2.3.2. Analyse économique.....	7
3. Conclusion	9

1. PRINCIPE

Le principe

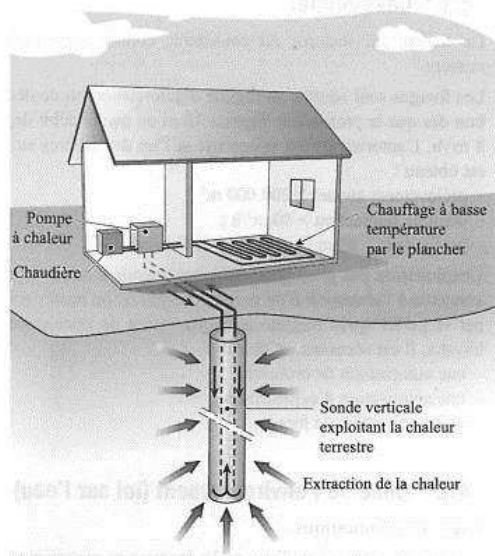
La **géothermie** consiste à utiliser les propriétés thermiques du sol. La chaleur contenue dans le sous-sol ou dans les nappes d'eau souterraines est récupérée et restituée pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Ces techniques peuvent s'adapter aussi bien pour la maison individuelle que pour alimenter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

On distingue la **géothermie « très basse énergie »** (température de la ressource inférieure à 30°C), la **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).

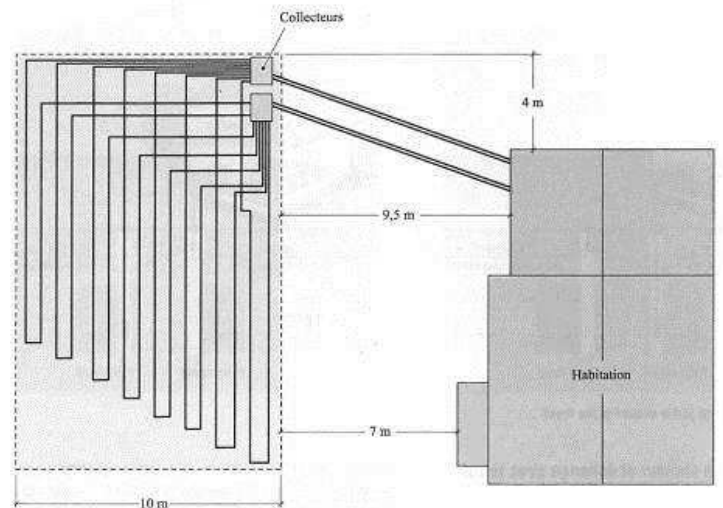
L'exploitation des eaux souterraines par forages et l'exploitation des calories du sous-sol sont soumises au Code minier, au Code de l'environnement (loi sur l'eau) voire au Code de la santé publique. Des dispositions spécifiques peuvent concerner certaines régions.

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

La zone d'étude est défavorable à des installations de géothermie sur nappe aussi bien à l'échelle du macro ilot que d'un bâtiment. Les solutions en géothermie sur sonde avec pompe à chaleur sont une réponse possible pour la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire à l'échelle d'un bâtiment.

2. SIMULATION

2.1. Cas n°1 : 20 logements collectifs (type R+4) de 65m²

2.1.1. Données principales

La suite présente l'étude comparative d'une solution géothermie sur sondes (**appelée solution n°3 ci-après**) produisant le chauffage et l'eau chaude sanitaire en comparaison avec :

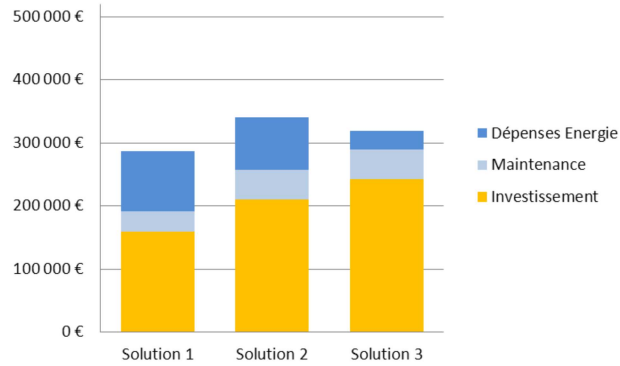
- Une solution 100% gaz (**appelée solution n°1 ci-après**)
- Une solution type « chaudière gaz à condensation avec production d'eau chaude solaire thermique » (**appelée solution n°2 ci-après**)

2.1.2. Analyse économique

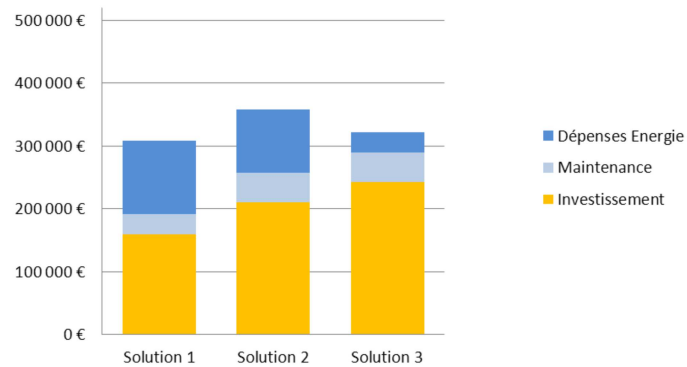
Hypothèses retenues :

- Comparer les trois solutions en coût global actualisé sur 20 ans et en tenant compte des coûts suivants : investissements des équipements de production et de distribution, maintenance, coût des énergies nécessaires pour le chauffage et l'eau chaude,
- Taux d'actualisation : 4%
- Indexation de la maintenance : 3.5%
- Hypothèses de coût des énergies (année 1) :
 - Hypothèse du coût du gaz abonnement compris : 7 c€/kWh PCS
 - Hypothèse du coût de l'électricité : 14 c€/kWh
- Sensibilité économique aux variations du coût des énergies :
 - Simulation économique n°1 :
 - Indexation du coût de l'électricité : 4%
 - Indexation du coût du gaz : 8%
 - Simulation économique n°2 :
 - Indexation du coût de l'électricité : 5%
 - Indexation du coût du gaz : 10%
 - Simulation économique n°3 :
 - Indexation du coût de l'électricité : 6%
 - Indexation du coût du gaz : 12%

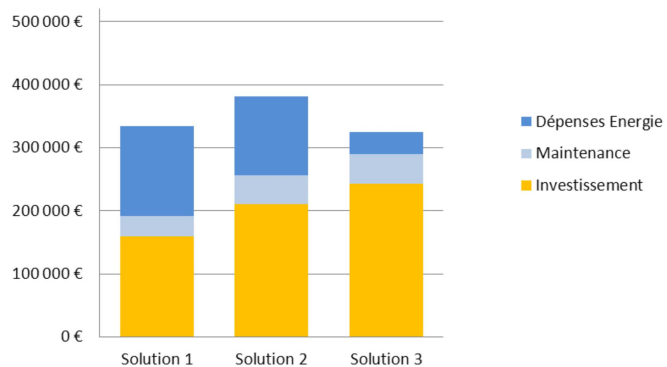
**Coût global actualisé sur 20 ans
Simulation Economique n°1**



**Coût global actualisé sur 20 ans
Simulation Economique n°2**



**Coût global actualisé sur 20 ans
Simulation Economique n°3**



2.2. Cas n°2 : Logement individuel de 130m²

Rappel

La RT 2012 impose pour l'habitat individuel ou dit accolé :

- 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

L'utilisation d'une solution géothermie permet donc de répondre à cette exigence.

2.2.1. Données principales

La suite présente l'étude comparative d'une solution géothermie sur sondes (**appelée solution n°2 ci-après**) produisant le chauffage et l'eau chaude sanitaire en comparaison avec une solution répondant aux obligations de la RT 2012 (cf rappel ci-avant).

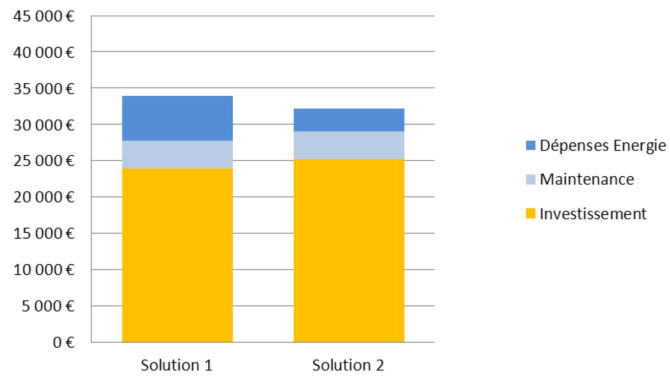
Il est donc proposé de la comparer à une solution de référence (**appelée solution n°1 ci-après**) type « chaudière gaz à condensation en appoint d'un système solaire thermique combiné ». Les systèmes de production thermodynamique ont été écartés en raison de la volonté de soulager le réseau de distribution d'électricité en Bretagne.

2.2.2. Analyse économique

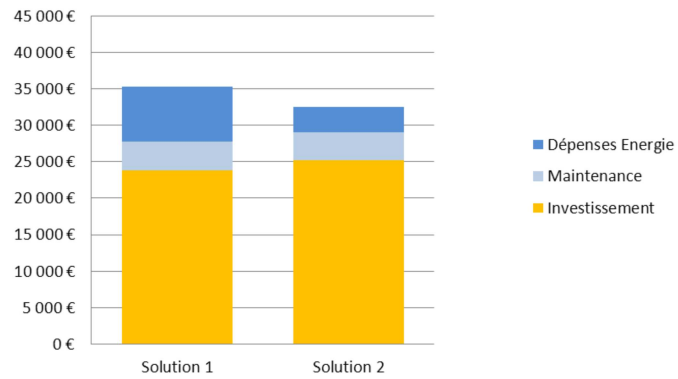
Hypothèses retenues :

- Comparer les deux solutions en coût global actualisé sur 20 ans et en tenant compte des coûts suivants : investissements des équipements de production et de distribution, maintenance, coût des énergies nécessaires pour le chauffage et l'eau chaude,
- Taux d'actualisation : 4%
- Indexation de la maintenance : 3.5%
- Hypothèses de coût des énergies (année 1) :
 - Hypothèse du coût du gaz abonnement compris : 8 c€/kWh PCS
 - Hypothèse du coût de l'électricité : 15 c€/kWh
- Sensibilité économique aux variations du coût des énergies :
 - Simulation économique n°1 :
 - Indexation du coût de l'électricité : 4%
 - Indexation du coût du gaz : 8%
 - Simulation économique n°2 :
 - Indexation du coût de l'électricité : 5%
 - Indexation du coût du gaz : 10%
 - Simulation économique n°3 :
 - Indexation du coût de l'électricité : 6%
 - Indexation du coût du gaz : 12%

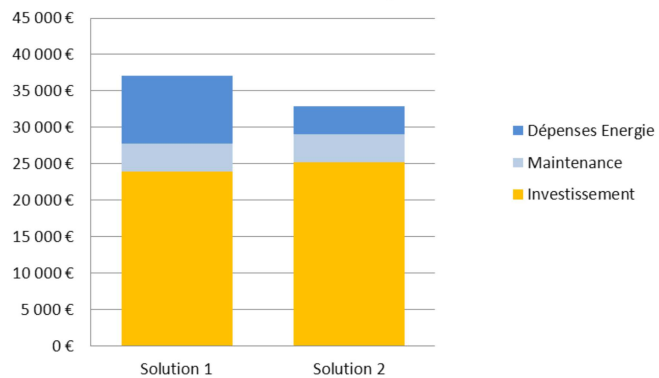
**Coût global actualisé sur 20 ans
Simulation Economique n°1**



**Coût global actualisé sur 20 ans
Simulation Economique n°2**



**Coût global actualisé sur 20 ans
Simulation Economique n°3**



2.3. Cas n°3 : Bâtiment tertiaire 1 400m² (R+1 - 2 x 700 m²)

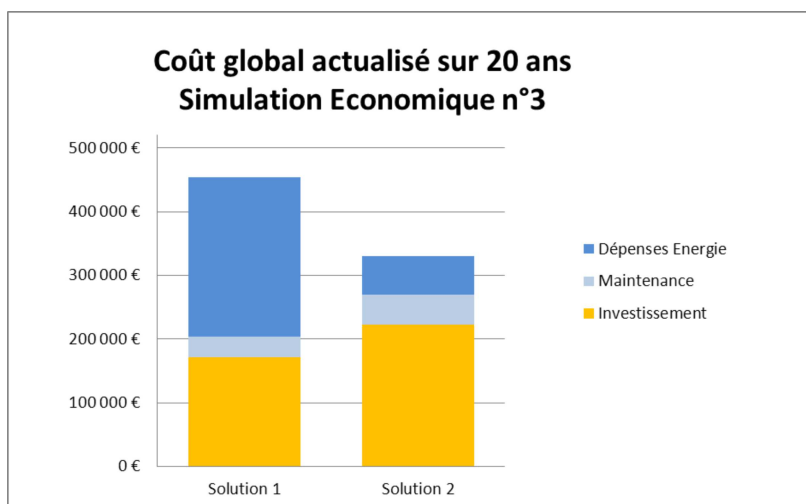
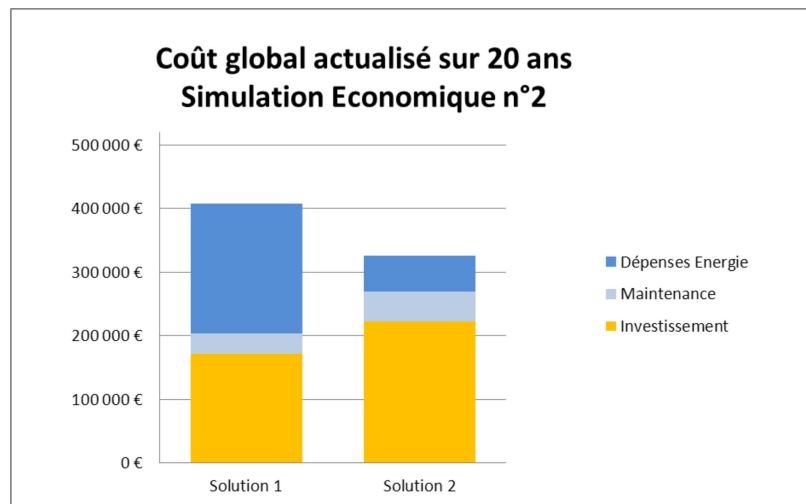
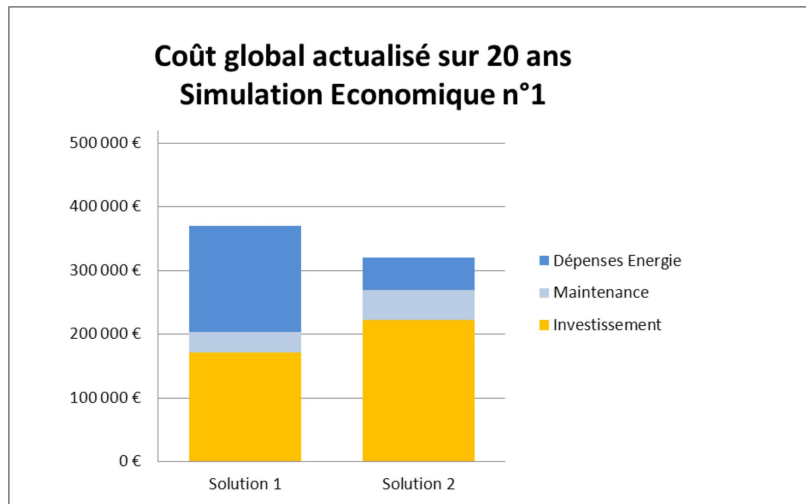
2.3.1. Données principales

La suite présente l'étude comparative d'une solution géothermie sur sondes (**appelée solution n°2 ci-après**) produisant le chauffage en comparaison à une solution 100% gaz (**appelée solution n°1 ci-après**).

2.3.2. Analyse économique

Hypothèses retenues :

- Comparer les deux solutions en coût global actualisé sur 20 ans et en tenant compte des coûts suivants : investissements des équipements de production et de distribution, maintenance, coût des énergies,
- Taux d'actualisation : 4%
- Indexation de la maintenance : 3.5%
- Hypothèses de coût des énergies (année 1) :
 - Hypothèse du coût du gaz abonnement compris : 7 c€/kWh PCS
 - Hypothèse du coût de l'électricité : 14 c€/kWh
- Sensibilité économique aux variations du coût des énergies :
 - Simulation économique n°1 :
 - Indexation du coût de l'électricité : 4%
 - Indexation du coût du gaz : 8%
 - Simulation économique n°2 :
 - Indexation du coût de l'électricité : 5%
 - Indexation du coût du gaz : 10%
 - Simulation économique n°3 :
 - Indexation du coût de l'électricité : 6%
 - Indexation du coût du gaz : 12%



3. CONCLUSION

La géothermie permet de réaliser des économies d'énergies en comparaison avec une solution PAC électricité sur air en raisonnant à performance d'enveloppe thermique équivalente. Mettre en place un système de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire plus performant ne doit pas être fait aux dépens d'une isolation thermique moindre.



L'union de Coteba et Sogreah

Direction Régionale Ouest

Espaces Bureaux du Sillon de Bretagne

8 Avenue des Thébaudières - CS 20 232 - 44 815 SAINT HERBLAIN CEDEX

Tel. : 02 28 09 18 00 - Fax : 02 40 94 80 99

SPLA VIASILVA

ZAC ATALANTE VIASILVA
Annexe n° 6 - PAC A ABSORPTION
GAZ

FEVRIER 2016
REF. : 4.42.0972





Nom du document	4.42.0972 - Annexe 6 - PAC à Absorption gaz.docx
Date de création	Février 2016
Indice	A
N° réf. affaire	4.42.0972

APR/eha

Ce document est imprimé sur papier 100 % recyclé.

1. Principe	4
1.1.Principe de fonctionnement de la PAC à Absorption gaz	4
1.2.Différences / points communs entre PAC « gaz » et PAC « électricité ».....	5
2. Simulation	7
2.1.Cas n°1 : 20 logements collectifs (type R+4) de 65m ²	7
2.1.1. Descriptif de la solution étudiée	7
2.1.2. Analyse économique.....	7
2.2.Cas n°2 : Logement individuel de 130m ²	9
2.3.Cas n°3 : Bâtiment tertiaire 1 400m ² (R+1 - 2 x 700 m ²).....	9
2.3.1. Données principales.....	9
2.3.2. Analyse économique.....	9
3. Conclusion	11

1. PRINCIPE

1.1. Principe de fonctionnement de la PAC à Absorption gaz

La Pompe à Chaleur à Absorption Gaz permet d'assurer la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire.

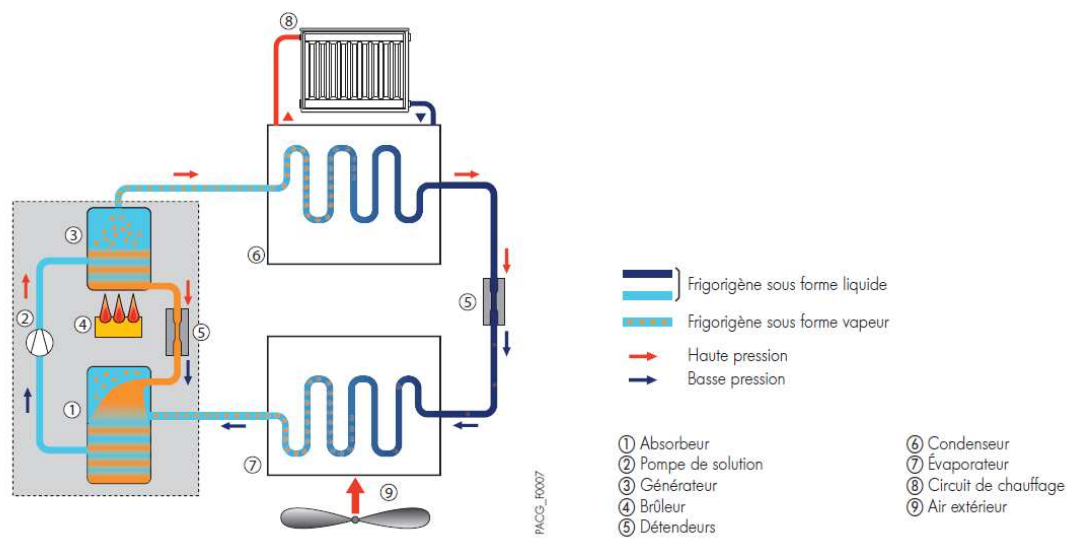
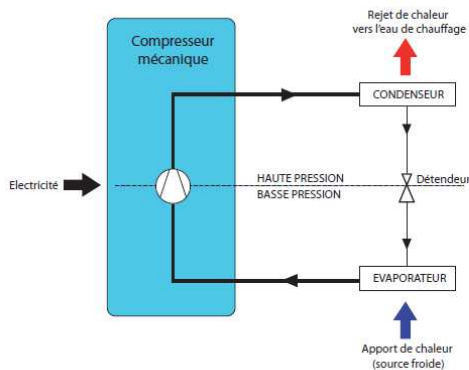


Schéma de principe (source De Dietrich)

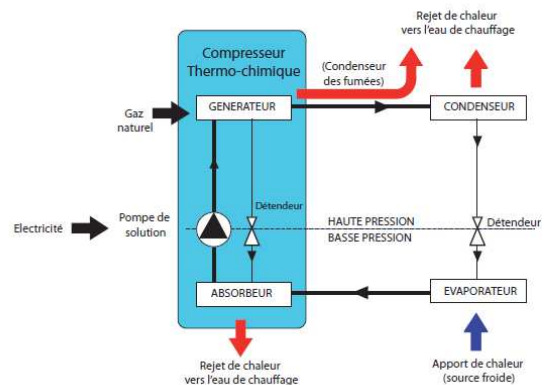
1.2. Différences / points communs entre PAC « gaz » et PAC « électricité »

Le principe général de fonctionnement est similaire à celui d'une pompe à chaleur utilisant l'électricité. La principale différence réside dans le fait que la compression est thermochimique pour la PAC gaz à absorption.

Principe de fonctionnement d'une PAC par compression mécanique



Principe de fonctionnement d'une PAC gaz par absorption



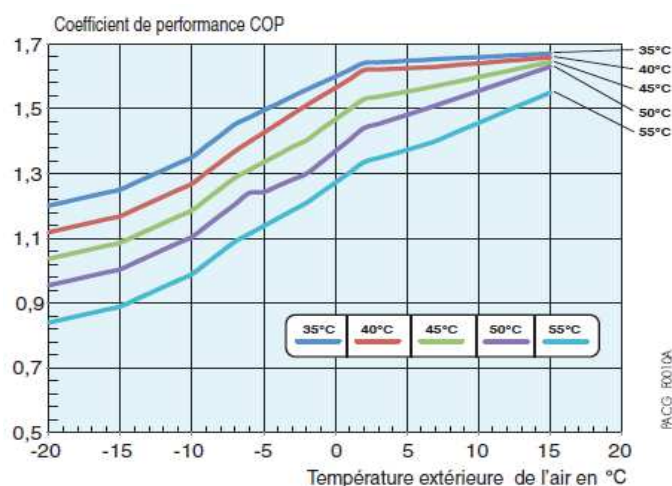
Différence entre PAC « électricité » et PAC « gaz » (source De Dietrich)

Le bilan énergétique d'une PAC « gaz » est meilleur que celui d'une PAC « électricité » lorsqu'on raisonne sur l'énergie primaire. Avec le prix actuel des énergies, le coût du kWh de chauffage est du même ordre de grandeur :

- PAC « électricité » :
 - Pour produire un 1 kWh d'électricité livré au compteur, il est nécessaire d'utiliser en moyenne 2,58 kWh d'énergie primaire,
 - Pour une température extérieure de 7°C :
 - Avec 1 kWh d'électricité livré au compteur, une PAC « électricité » produira près de 3,6 kWh de chauffage,
 - Le rendement sur énergie primaire sera donc de 3,6 / 2,58 soit de l'ordre de 140%,
 - Sur la base d'un coût du kWh d'électricité de 15 c€, le coût du kWh de chauffage sera donc de l'ordre 4,2 c€.
 - Pour une température extérieure de -5°C :
 - Avec 1 kWh d'électricité livré au compteur, une PAC « électricité » produira près de 2,5 kWh de chauffage,
 - Le rendement sur énergie primaire sera donc de 2,5 / 2,58 soit de l'ordre de 97%,
 - Sur la base d'un coût du kWh d'électricité de 15 c€, le coût du kWh de chauffage sera donc de l'ordre 6 c€.

- PAC « gaz » :
 - Pour le gaz, un 1 kWh livré au compteur correspond à l'utilisation d'1 kWh d'énergie primaire,
 - Pour une température extérieure de 7°C :
 - Avec 1 kWh livré au compteur gaz, une PAC « gaz » produira près de 1,65 kWh de chauffage
 - Le rendement sur énergie primaire est donc de 1,65 / 1 soit de l'ordre de 165%
 - Sur la base d'un coût du kWh gaz de 7 c€, le coût du kWh de chauffage est donc de l'ordre 4,2 c€
 - Pour une température extérieure de -5°C :
 - Avec 1 kWh livré au compteur gaz, une PAC « gaz » produira près de 1,40 kWh de chauffage
 - Le rendement sur énergie primaire est donc de 1,40 / 1 soit de l'ordre de 140%
 - Sur la base d'un coût du kWh gaz de 7 c€, le coût du kWh de chauffage est donc de l'ordre 5 c€

Enfin, concernant les performances techniques, il est à noter que les PAC « gaz » et « électricité » ont en commun des rendements qui se dégradent lorsque l'hiver devient plus rigoureux. Le phénomène est tout de même moindre pour les PAC « gaz ».



Evolution du coefficient de performance d'une PAC « gaz » en fonction de la température extérieure et de la température de sortie d'eau (source De Dietrich)

Il est à noter que pour des températures extérieures inférieures à -5°C, les rendements deviennent proche de ceux d'une chaudière à condensation. Pour un bâtiment de logement collectif, il pourra être envisagé d'associer une PAC gaz (environ 60% de la puissance couvrant 90% des besoins) avec une chaudière gaz à condensation (environ 40% de la puissance couvrant les 10% de besoins restants). Ainsi, le coût de l'installation sera optimisé tout en conservant un rendement global du même ordre de grandeur.

2. SIMULATION

2.1. Cas n°1 : 20 logements collectifs (type R+4) de 65m²

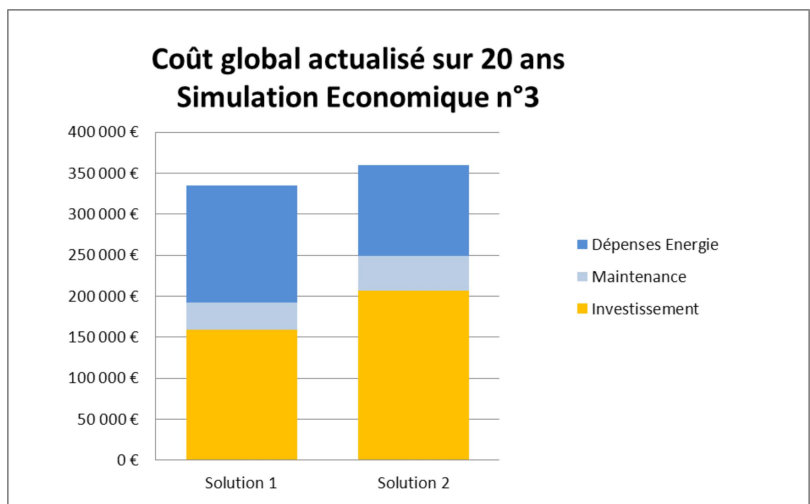
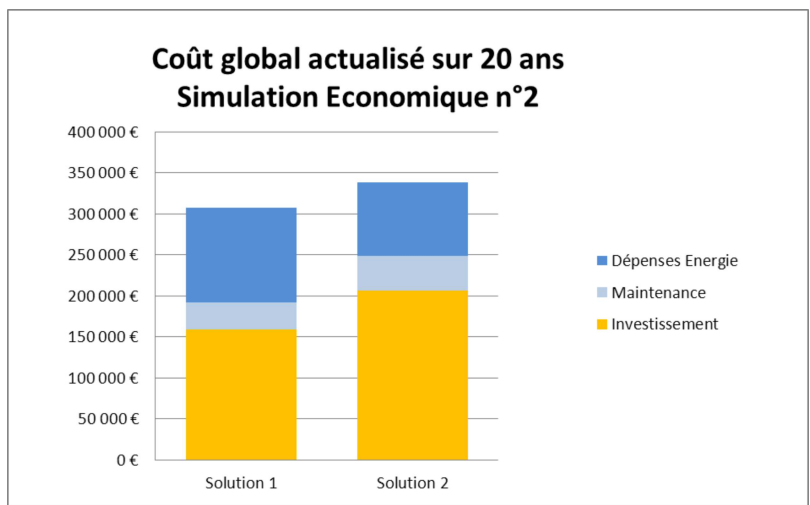
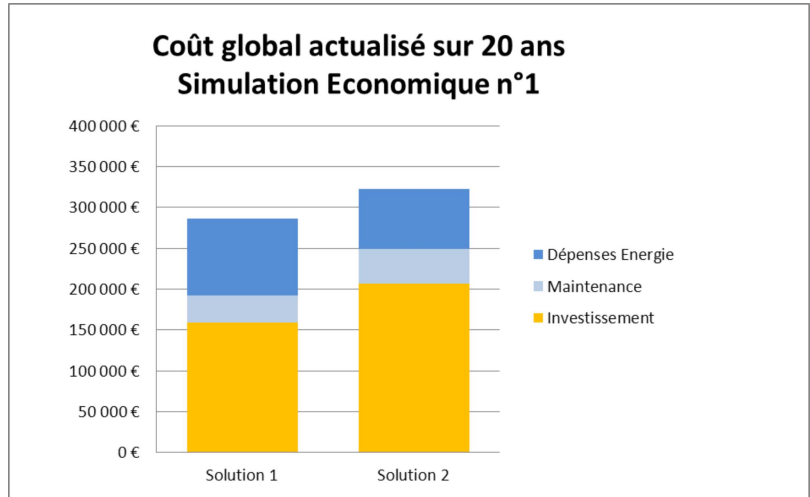
2.1.1. Descriptif de la solution étudiée

La suite présente l'étude comparative d'une solution PAC gaz (avec appoint gaz : cf remarque page précédente) (**appelée solution n°2 ci-après**) produisant le chauffage et l'eau chaude sanitaire en comparaison avec une solution 100% gaz (**appelée solution n°1 ci-après**).

2.1.2. Analyse économique

Hypothèses retenues

- Comparée les deux solutions en coût global actualisé sur 20 ans et en tenant compte des coûts suivants : investissements des équipements de production et de distribution, maintenance, coût des énergies nécessaires pour le chauffage et l'eau chaude,
- Taux d'actualisation : 4%
- Indexation de la maintenance : 3.5%
- Hypothèses de coût des énergies (année 1) :
 - Hypothèse du coût du gaz abonnement compris : 7 c€/kWh PCS
- Sensibilité économique aux variations du coût des énergies :
 - Simulation économique n°1 :
 - Indexation du coût du gaz : 8%
 - Simulation économique n°2 :
 - Indexation du coût du gaz : 10%
 - Simulation économique n°3 :
 - Indexation du coût du gaz : 12%



2.2. Cas n°2 : Logement individuel de 130m²

Les PAC gaz de faible puissance ne sont pas encore assez répandues pour être présentées.

2.3. Cas n°3 : Bâtiment tertiaire 1 400m² (R+1 - 2 x 700 m²)

2.3.1. Données principales

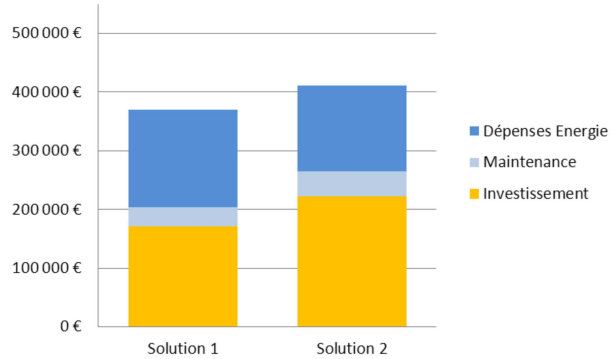
La suite présente l'étude comparative d'une solution PAC gaz (avec appoint gaz : cf remarque page précédente) (**appelée solution n°2 ci-après**) produisant le chauffage en comparaison avec une solution 100% gaz (**appelée solution n°1 ci-après**).

2.3.2. Analyse économique

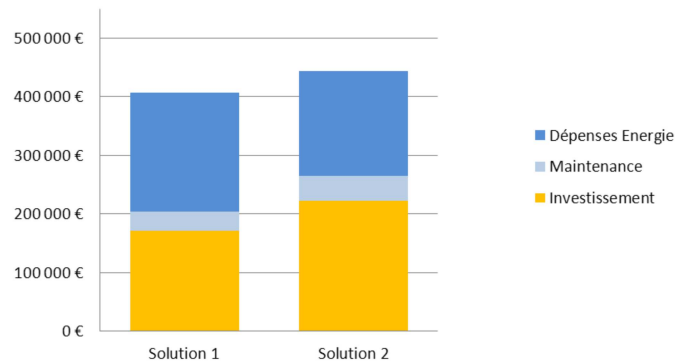
Hypothèses retenues

- Comparée les deux solutions en coût global actualisé sur 20 ans et en tenant compte des coûts suivants : investissements des équipements de production et de distribution, maintenance, coût des énergies,
- Taux d'actualisation : 4%
- Indexation de la maintenance : 3.5%
- Hypothèses de coût des énergies (année 1) :
 - Hypothèse du coût du gaz abonnement compris : 8 c€/kWh PCS
- Sensibilité économique aux variations du coût des énergies :
 - Simulation économique n°1 :
 - Indexation du coût du gaz : 8%
 - Simulation économique n°2 :
 - Indexation du coût du gaz : 10%
 - Simulation économique n°3 :
 - Indexation du coût du gaz : 12%

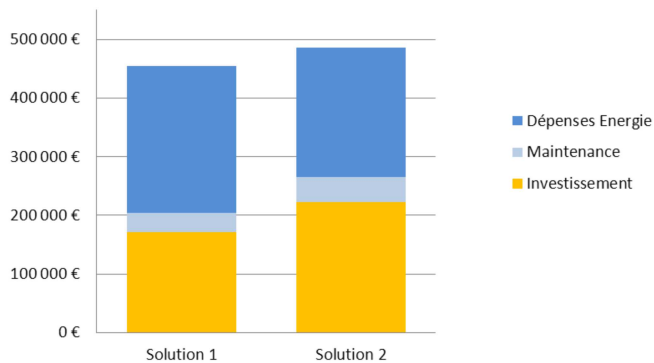
**Coût global actualisé sur 20 ans
Simulation Economique n°1**



**Coût global actualisé sur 20 ans
Simulation Economique n°2**



**Coût global actualisé sur 20 ans
Simulation Economique n°3**



3. CONCLUSION

Le marché des PAC gaz est en développement. Ces technologies permettent (à performance d'enveloppe thermique identique) de faire des économies d'énergie.

Il est à noter que ces technologies restent « 100% GAZ ».

Les PAC gaz pour les logements individuels sont encore peu répandues.



L'union de Coteba et Sogreah

Direction Régionale Ouest

Espaces Bureaux du Sillon de Bretagne

8 Avenue des Thébaudières - CS 20 232 - 44 815 SAINT HERBLAIN CEDEX

Tel. : 02 28 09 18 00 - Fax : 02 40 94 80 99

SPLA VIASILVA

ZAC ATALANTE VIASILVA
Annexe n° 7 - Cogénération

FEVRIER 2016
REF. : 4.42.0972





Nom du document 4.42.0972 - Annexe 7 - Cogénération.docx

Date de création Février 2016

Indice A

N° réf. affaire 4.42.0972

APR/eha

Ce document est imprimé sur papier 100 % recyclé.

1. Principe	2
1.1.Principe de la Micro Cogénération	2
1.2.Exemple d'un système de Micro Cogénération gaz.....	3
1.3.Exemple d'un système de Micro Cogénération Bois	4
2. Simulation	5
2.1.Cas n°1 : 20 logements collectifs (type R+4) de 65m ²	5
2.2.Cas n°2 : Logement individuel de 130m ²	5
2.2.1. Descriptif de la solution étudiée	5
2.2.2. Analyse énergétique	5
2.2.3. Analyse économique.....	6
2.3.Cas n°3 : Bâtiment tertiaire 1 400m ² (R+1 - 2 x 700 m ²).....	8
3. Conclusion	8

1. PRINCIPE

1.1. Principe de la Micro Cogénération

La Micro-Cogénération, appelée aussi chaudière électrogène ou éco générateur, est un procédé qui permet de produire en même temps et dans une même installation de l'énergie thermique et de l'électricité.

La production d'électricité est assurée par l'intermédiaire d'un moteur (Stirling majoritairement ou Rankine). Une partie de la chaleur issue de la combustion (gaz ou biomasse) est utilisée pour mettre en mouvement le moteur. Ce mouvement mécanique est alors utilisé pour produire de l'électricité.

La chaleur restante issue de la combustion est alors utilisée pour assurer les besoins de chauffage et de production d'ECS en utilisant le principe d'une chaudière à condensation.

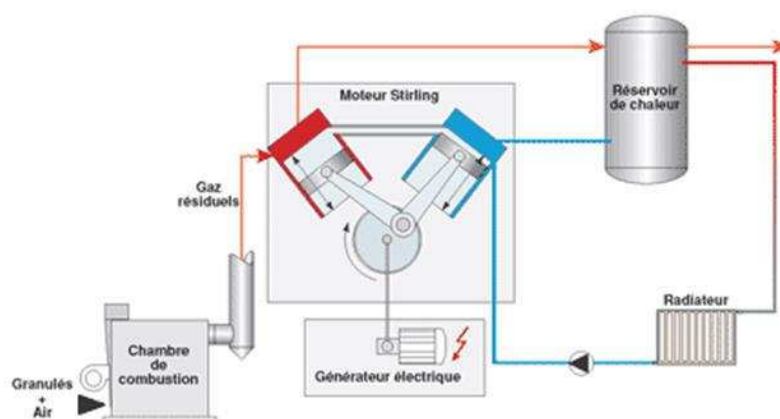


Schéma de principe

Il est important de noter que l'objectif premier est de produire la chaleur nécessaire pour couvrir les besoins de chauffage et d'ECS. La production d'électricité n'a pas vocation à être déclenchée séparément. L'électricité produite est le plus souvent autoconsommée sur site. Le surplus est alors réinjecté sur le réseau.

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 (le tarif de vente de l'électricité produite est moins élevé que le tarif d'achat de l'électricité auprès d'un fournisseur d'énergie traditionnel). De plus, le surplus de production est réinjecté souvent gracieusement sur le réseau. En effet, à l'heure actuelle et pour une installation individuelle, les coûts de location du compteur dédié peuvent être plus élevés que les gains liés à la vente d'énergie non utilisée. La mise en place de compteur évolué devrait permettre de résoudre cette problématique.

Se référer à l'arrêté du 31 juillet 2001 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations de cogénération d'électricité et de chaleur valorisée telles que visées à l'article 3 du décret n° 2000-1196 du 6 décembre 2000.

Les produits actuellement développés pour le logement individuel sont dimensionnés pour :

- Produire sur la partie « moteur Stirling » (dès lors que la chaudière est en fonctionnement) : 1 kW électrique + 5 à 6 kW thermique,
- Produire en complément : de l'ordre de 25 kW thermique supplémentaire,
- Couvrir de l'ordre de 50% des besoins en électricité.

Des produits similaires se développent pour des logements collectifs.

Il est à noter que les produits les plus développés à l'heure actuelle utilisent le gaz comme combustible. Cependant, les solutions utilisant le bois sont en devenir. Les références en France sont encore peu nombreuses. Comme souvent, ces technologies sont mieux diffusées dans des pays comme l'Autriche ou l'Allemagne.

Il est également à noter que la micro-cogénération est un des moyens de répondre à l'obligation de la RT 2012 concernant la production par énergie renouvelable ou autre système de ce type pour les logements individuels ou dits accolés.

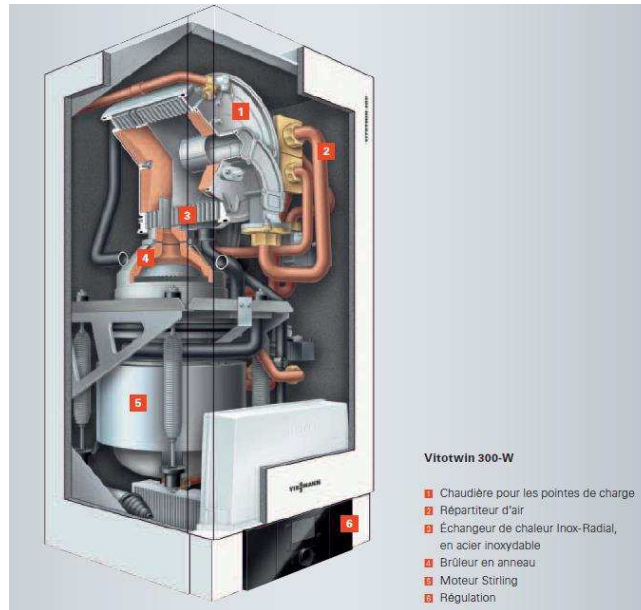
Certaines chaudières à cogénération ont obtenu le « Titre V Système » dans la Réglementation Thermique 2005 dans le secteur de l'individuel. Le « Titre V Système » pour la RT 2012 est attendu et devrait intégrer les chaudières à cogénération pour le collectif et le tertiaire.

1.2. Exemple d'un système de Micro Cogénération gaz

Plusieurs fournisseurs développent et testent ce type de chaudière. Parmi eux, on retrouve :



Exemple : Chaudière électrogène HYBRYS de De Dietrich pour logement individuel



Exemple : Chaudière VITOTWIN de VISSMANN pour logement individuel

1.3. Exemple d'un système de Micro Cogénération Bois

Plusieurs fournisseurs développent et testent ce type de chaudière. Les documentations techniques et commerciales des principaux fournisseurs ne sont pas encore diffusées.

A titre d'exemple, la société OKOFEN a développé une chaudière qui est maintenant homologuée NF EN 303.5 (norme définissant des exigences concernant la construction, la sécurité, la conception et des exigences de performances de la chaudière). Cette chaudière est actuellement en phase de pré-commercialisation terrain en Autriche (test grandeur nature chez des clients particuliers) mais il n'existe pas à ce jour de date pour une pré-commercialisation en France.



Exemple : Chaudière « Pellematic Smart_e » de OKOFEN pour logement individuel

2. SIMULATION

2.1. Cas n°1 : 20 logements collectifs (type R+4) de 65m²

Aucun calcul n'a été effectué : attente de retours d'expérience significatifs de la part de fournisseurs concernant notamment les usages de l'électricité produite (revente, autoconsommation, etc.).

2.2. Cas n°2 : Logement individuel de 130m²

Rappel :

La RT 2012 impose pour l'habitat individuel ou dit accolé :

- 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

L'utilisation d'une solution micro-cogénération permet de répondre à cette exigence.

2.2.1. Descriptif de la solution étudiée

En l'absence de données fiables concernant le coût des installations de micro-cogénération bois pour le logement individuel, il est proposé ci-après d'étudier une solution de micro-cogénération au gaz (appelée solution n°2 ci-après).

Cette solution est à comparer à une solution répondant aux obligations de la RT 2012 (cf rappel ci-avant). Il est donc proposé de la comparer à une solution de référence (appelée solution n°1 ci-après) type « chaudière gaz à condensation en appoint d'un système solaire thermique combiné ». Les systèmes de production thermodynamique ont été écartés en raison de la volonté de soulager le réseau de distribution d'électricité en Bretagne.

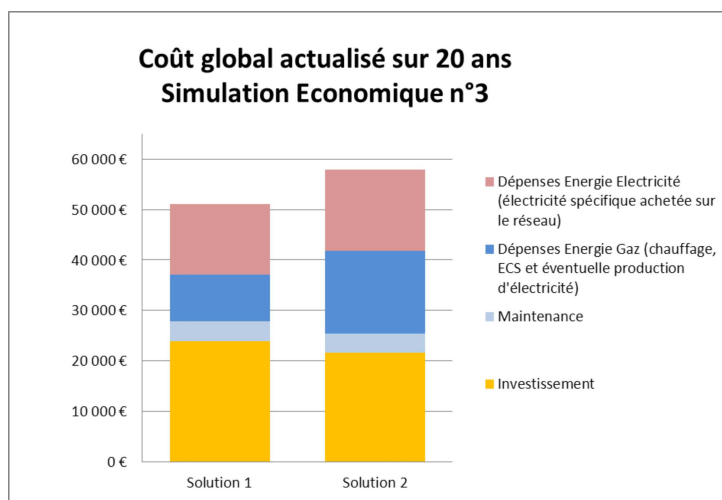
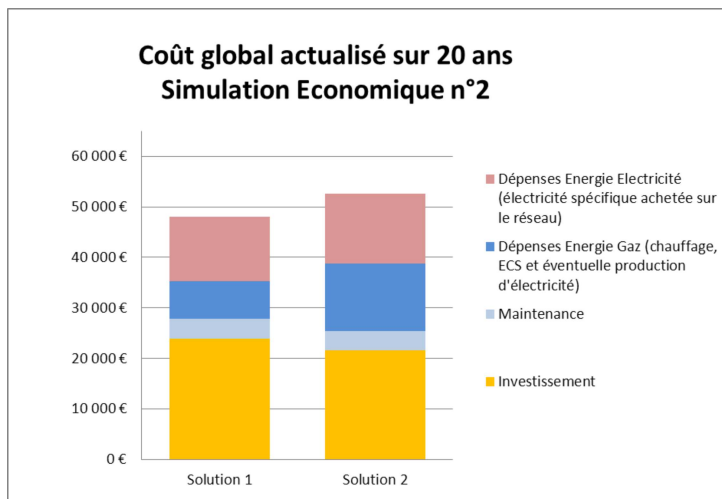
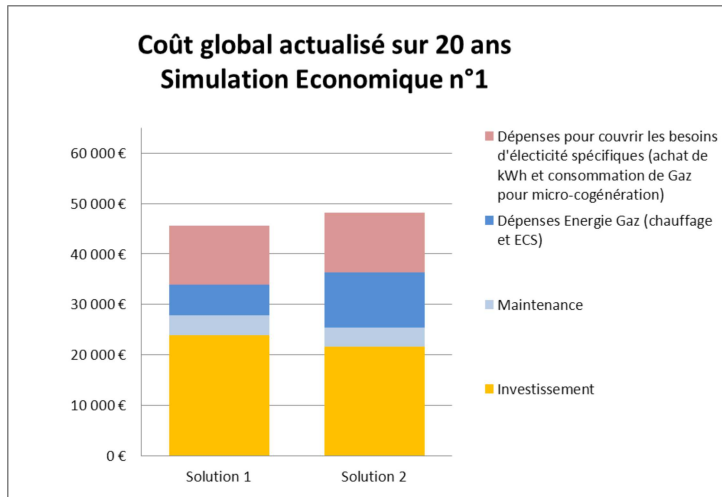
2.2.2. Analyse énergétique

La production attendue permettrait de couvrir près de 75% des besoins en électricité d'un logement individuel sur la base des hypothèses de consommations indiquées au rapport.

2.2.3. Analyse économique

Hypothèses retenues :

- Comparer les deux solutions en coût global actualisé sur 20 ans et en tenant compte des coûts suivants : investissements des équipements de production et de distribution, maintenance, coût des énergies nécessaires pour le chauffage, l'eau chaude mais aussi les besoins spécifiques en électricité,
- Taux d'actualisation : 4%
- Indexation de la maintenance : 3.5%
- Sensibilité économique aux variations du coût des énergies :
 - Simulation économique n°1 :
 - Indexation du coût de l'électricité : 4%
 - Indexation du coût du gaz : 8%
 - Simulation économique n°2 :
 - Indexation du coût de l'électricité : 5%
 - Indexation du coût du gaz : 10%
 - Simulation économique n°3 :
 - Indexation du coût de l'électricité : 6%
 - Indexation du coût du gaz : 12%



2.3. Cas n°3 : Bâtiment tertiaire 1 400m² (R+1 - 2 x 700 m²)

Cette solution ne peut être généralisée mais pourrait trouver un intérêt technique et économique dès lors que les besoins en électricité sont suffisants et les plus réguliers possibles.

3. CONCLUSION

Il est très difficile aujourd'hui d'étudier la rentabilité de la micro-cogénération. Les solutions n'étant que très peu commercialisées en France, les fournisseurs communiquent peu sur les coûts d'investissements.

Cependant, il semble qu'une dynamique positive accompagne le développement de ces solutions. Beaucoup d'acteurs peuvent y trouver un intérêt :

- Les fournisseurs de gaz traditionnels ayant également développés des offres de fourniture d'électricité (occasion pour eux d'acheter à moindre coût le surplus de production d'électricité des particuliers),
- Les promoteurs qui en mettant en place ces solutions répondront alors à l'obligation de la RT 2012 d'utiliser une énergie renouvelable ou un moyen de production dit performant pour les logements individuels,
- Les particuliers qui pourront alors comparer le coût du kWh d'électricité d'une offre classique avec le coût de production du kWh électrique à partir du gaz ou du bois. De plus, la relative autonomie pour couvrir les besoins en électricité pourra s'avérer être un atout lors des périodes hivernales (coupures, réseau en difficulté, etc.),
- Les acteurs gérant le réseau d'électrification qui peuvent voir dans ce moyen de production d'électricité un moyen de répondre aux pics de consommation. En effet, la production d'électricité par micro-cogénération est faite simultanément aux demandes d'électricité pour le chauffage de logements chauffés par convecteurs électriques

D'un point de vue environnemental, il semble particulièrement intéressant de suivre le développement des solutions utilisant la biomasse. Ces solutions présentent, en complément de la réponse aux pics de consommations d'électricité, l'intérêt d'utiliser des énergies renouvelables.



L'union de Coteba et Sogreah

Direction Régionale Ouest

Espaces Bureaux du Sillon de Bretagne

8 Avenue des Thébaudières - CS 20 232 - 44 815 SAINT HERBLAIN CEDEX

Tel. : 02 28 09 18 00 - Fax : 02 40 94 80 99

SPLA VIASILVA

ZAC ATALANTE VIASILVA
Annexe n° 8 - Ventilation

FEVRIER 2016
REF. : 4.42.0972





Nom du document 4.42.0972 - Annexe 8 - Ventilation.docx

Date de création Février 2015

Indice A

N° réf. affaire 4.42.0972

APR/eha

Ce document est imprimé sur papier 100 % recyclé.

1. Principe	2
1.1.Préambule	2
1.2.Solutions techniques.....	2
1.2.1. Réduction du renouvellement d'air	2
1.2.2. Réduction des consommations des auxiliaires	3
2. Simulation	4
2.1.Cas n°1 : logements collectifs	4
2.2.Cas n°2 : Logement individuel.....	5
2.3.Cas n°3 : Bâtiment tertiaire.....	6
3. Conclusion	7

1. PRINCIPE

1.1. Préambule

La ventilation a pour but de préserver la qualité de l'air intérieur des bâtiments et d'évacuer l'humidité ambiante (source de dégradation). Chaque m³ d'air neuf destiné à ventiler les bâtiments entraîne des consommations d'énergies en hiver. Il est donc important d'adapter la ventilation afin d'avoir un équilibre entre la qualité de l'air intérieur et les déperditions énergétiques.

Il existe différents types de solutions adaptées pour les logements individuels et/ou pour les logements collectifs.

1.2. Solutions techniques

Plusieurs problématiques rentrent en ligne de compte dans le choix d'un système de ventilation. Afin de répondre aux exigences des calculs réglementaires, il convient de répondre aux problématiques liées aux consommations de chauffage ainsi qu'aux problématiques liées aux consommations d'électricité des auxiliaires (moteur de ventilateur, etc.).

1.2.1. Réduction du renouvellement d'air

Afin de limiter les déperditions énergétiques liées au renouvellement d'air, il est important d'adapter les débits de ventilation en fonction des besoins :

- Des solutions techniques permettent de moduler la ventilation en fonction :
 - Du taux d'humidité (entrée d'air hygroréglable)
 - De la présence des occupants (détecteur optique)
 - Du taux de CO₂ dans l'atmosphère (capteur de CO₂)
- Des solutions techniques permettent de récupérer la chaleur de l'air extrait en préchauffant l'air neuf (ventilation double flux). Cette action s'effectue par l'intermédiaire d'un échangeur sans aucun contact entre les deux flux d'air. Il existe 2 types d'échangeurs :
 - Les échangeurs à plaques :
 - A contre flux : les fluides sont disposés parallèlement l'un à l'autre et circulent dans une direction opposée. Le rendement de ces échangeurs avoisine les 92%,
 - A plaques à courants croisés : les fluides sont positionnés perpendiculairement l'un à l'autre. Le rendement de ces échangeurs est proche de 65%.

- Les échangeurs rotatifs récupèrent pour leur part les calories de l'air chaud via un accumulateur. L'accumulateur cède ensuite les calories au flux d'air entrant par convection. Les 2 flux d'air, à contre-courant, ne sont pas en contacts. Le rendement de ces échangeurs avoisine les 86%.

Des solutions techniques permettant de récupérer une partie de la chaleur du sol en hiver pour préchauffer l'air neuf (puits canadien). Cette technique permet également de rafraîchir les logements en été

1.2.2. Réduction des consommations des auxiliaires

Pour répondre aux problématiques des consommations d'électricité liées aux auxiliaires, des solutions techniques ont été développées :

- Les ventilateurs à débit permettent quant à eux de consommer moins d'électricité au niveau du moteur de la ventilation (en cas de besoin de renouvellement d'air plus faible),
- La ventilation naturelle maîtrisée. L'idée consiste à se passer d'un ventilateur et donc des consommations d'électricité associée. Il est à noter les grandes difficultés de dimensionnement de ces systèmes de ventilation. Quelques installations existent. Leurs performances méritent d'être suivies mais ils ne nous semblent pas encore opportuns de les généraliser.

2. SIMULATION

2.1. Cas n°1 : logements collectifs

Solutions envisageables	Gain	Prix au m ² (à titre indicatif)	Remarques
Solution de référence : Ventilation hygrorégable Type B (à débit variable)	-	13 € / m ²	Solution de référence actuelle pour des logements thermiquement performants
Solution optimisée n°1 : Ventilation double flux avec caisson d'échange collectif (à débit variable)	Solution écartée car faiblement valorisée dans la RT 2012 et surcoût pour gérer la problématique de sécurité incendie		
Solution optimisée n°2 : Ventilation double flux avec caisson d'échange individuel (à débit variable)	15% de gain sur le chauffage	38 € / m ²	Pas de « vol » de calories Pas de perte de calories hors du volume chauffé
Solution optimisée n°3 : Idem solution optimisée n°2 avec bouches hygroréglable B	20% de gain sur le chauffage	43 € / m ²	Idem solution optimisée n°2 avec gain énergétique amélioré

2.2. Cas n°2 : Logement individuel

Solutions envisageables	Gain	Prix au m ² (à titre indicatif)	Remarques
Solution de référence : Ventilation hygrorégable Type B (à débit variable)	-	13 € / m ²	Solution de référence actuelle pour des logements thermiquement performants
Solution optimisée n°1 : Ventilation double flux hygrorégable (à débit variable)	20% de gain sur le chauffage	38 € / m ²	Solution apportant un gain énergétique

2.3. Cas n°3 : Bâtiment tertiaire

Les solutions de ventilations envisageables dans les bâtiments tertiaires dépendent du type d'activité et de leurs spécificités (bureaux, locaux de production/fabrication, accueil public etc.).

Les solutions ventilation hygrorégable de Type B (à débit variable) et ventilation double flux hygrorégable (à débit variable) sont les solutions les plus rencontrées.

Il est à noter que des solutions innovantes tels les murs ou fenêtres pariétodynamiques se développent (l'air neuf entrant est préchauffé à travers deux lame d'air).

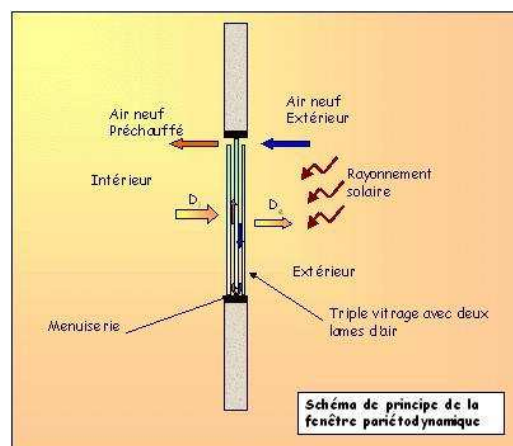


Schéma de principe fenêtre pariétodynamique

3. CONCLUSION

Il est à noter que les solutions de ventilation ont évolué ces dernières années avec la généralisation de la ventilation hyroréglable et des moteurs à débit variable.

Il reste cependant des gains potentiels importants par les systèmes de ventilation double flux. Ces derniers nécessitent des précautions de mise en œuvre pour gérer la problématique de sécurité incendie.

Les installations utilisant la technique du puits canadien peuvent nécessiter une emprise au sol. Cette solution mérite tout de même d'être étudiée au cas par cas.

Enfin, il est à noter l'émergence de solutions dites « 3 en1 » combinant chauffage, ventilation et production d'eau chaude sanitaire. Ces solutions sont « 100% électricité ».



L'union de Coteba et Sogreah

Direction Régionale Ouest

Espaces Bureaux du Sillon de Bretagne

8 Avenue des Thébaudières - CS 20 232 - 44 815 SAINT HERBLAIN CEDEX

Tel. : 02 28 09 18 00 - Fax : 02 40 94 80 99