



**2 Esplanade Compans Caffarelli
Immeuble Toulouse 2000 – BP 91003
31010 TOULOUSE CEDEX 6**

ZAC LAS FONSES à VILLENEUVE TOLOSANE

Etude Energétique Comparative

Novembre 2015

ATMosphères – EURL au capital social de 250.000 €
16, Chemin du TUCOL 31.790 SAINT JORY
Tél : 05 61 35 40 43 - contact@atmospheres-bet.fr

483 276 564 RCS TOULOUSE - APE 7112 B - TVA Intracommunautaire : FR95483276564

Sommaire

Introduction	4
1 Performance thermique du bâtiment	4
1.1 Réglementation RT2012 - Bbio	4
1.2 Etude comparative - niveaux de performance BBIO	5
1.2.1 Traitements du bâti.....	5
1.2.1.1 Habitat groupé.....	5
1.2.1.2 Habitat Intermédiaire.....	6
1.2.1.3 Habitat Collectif	7
1.2.2 Comparaison financière	8
1.2.2.1 Habitat groupé.....	8
1.2.2.2 Habitat Intermédiaire.....	8
1.2.2.3 Habitat Collectif	8
1.2.3 Conclusions de l'étude comparative au niveau du BBIO	9
2 Equipements énergétiques	11
2.1 Réglementation RT 2012 - Cep.....	11
2.2 Production d'électricité photovoltaïque.....	12
2.3 Systèmes de production d'énergie pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire	14
2.3.1 Chaudières gaz et installations solaire thermique.....	15
2.3.2 Géothermie.....	17
La Géothermie sur aquifères.....	18
Les Sondes Géothermiques Verticales.....	22
Récupération d'énergie sur eaux usées	24
2.4 Etude comparative quantitative et qualitative	26
2.4.1 Estimation des besoins en chauffage et ECS	27
2.4.2 Solutions énergétiques adaptées	28
2.4.2.1 Indicateurs environnementaux	30
2.4.2.2 Indicateurs techniques	32
2.4.2.3 Indicateurs économiques	34
2.4.2.4 Indicateurs opérationnels	35
2.4.2.5 Engagement et suivi de résultats	39
2.4.3 Conclusions de l'étude comparative des installations techniques.....	40
3 Conclusion	41
4 Annexes.....	42

INTRODUCTION

Dans le cadre de la Phase 2 d'aménagement de la **ZAC LAS FONSES à VILLENEUVE-TOLOSANE** (voir Annexe 1 : plan masse et phasage du projet), l'aménageur **OPPIDEA** et la collectivité souhaitent fixer des **objectifs ambitieux** sur la construction des futurs bâtiments, en termes de performances thermique et énergétique.

De précédentes études ont été réalisées pour OPPIDEA traitant de diverses solutions énergétiques potentielles pour l'alimentation de la ZAC.

L'Agence d'Ecologie Urbaine de Barcelone a envisagé trois alternatives pour la production d'énergie à l'échelle du quartier dans la Notice Descriptive Plan Directeur : biomasse + photovoltaïque, cogénération + biomasse.

Le Bureau d'Etudes Sermet a quant à lui réalisé une étude de faisabilité relative à la mise en place d'un réseau de chaleur sur la ZAC, en concluant sur le fait que pour qu'une telle installation soit viable, il faudrait que la densité énergétique soient plus importantes.

D'autres solutions restent à envisager pour compléter ces précédents travaux.

Pour ce faire, le présent rapport présentera différentes **études comparatives** tant au niveau de la **performance thermique du bâti** de bâtiments types, qu'au niveau de la pertinence de différents **systèmes de productions d'énergie**.

1 PERFORMANCE THERMIQUE DU BATIMENT

1.1 REGLEMENTATION RT2012 - BBIO

La Réglementation Thermique 2012 (RT2012) comporte trois **exigences de résultats** : consommation d'énergie primaire Cep, confort en été Tic, besoin bioclimatique Bbio. Ce chapitre, traite de ce dernier point : le **Bbio**, qui représente l'efficacité énergétique du bâti et valorise la bonne conception bioclimatique.

La performance énergétique du bâtiment est donc définie par le coefficient Bbio qui caractérise le **besoin en énergie** (chauffage, refroidissement et éclairage) liés aux **caractéristiques intrinsèques du bâtiment** : compacité, orientation, isolation, inertie, conception etc.

La RT2012 impose que le coefficient Bbio du bâtiment étudié soit inférieur ou égal au Bbio max qui est modulé selon la localisation géographique, l'altitude, la surface du bâtiment. Cette exigence conduit à limiter les besoins en énergie, en optimisant la conception du bâti, indépendamment des systèmes de production d'énergie mis en œuvre.

Le règlement de la ZAC peut cependant imposer aux acquéreurs des différents lots une exigence **plus ambitieuse** que celles de la RT2012 au niveau de la **conception bioclimatique**, afin de limiter considérablement les besoins énergétiques des bâtiments.

L'objet de ce chapitre est donc de **comparer 3 niveaux d'exigence** en matière de traitement thermique du bâti afin de définir le niveau de performance bioclimatique envisageables.

1.2 ETUDE COMPARATIVE - NIVEAUX DE PERFORMANCE BBIO

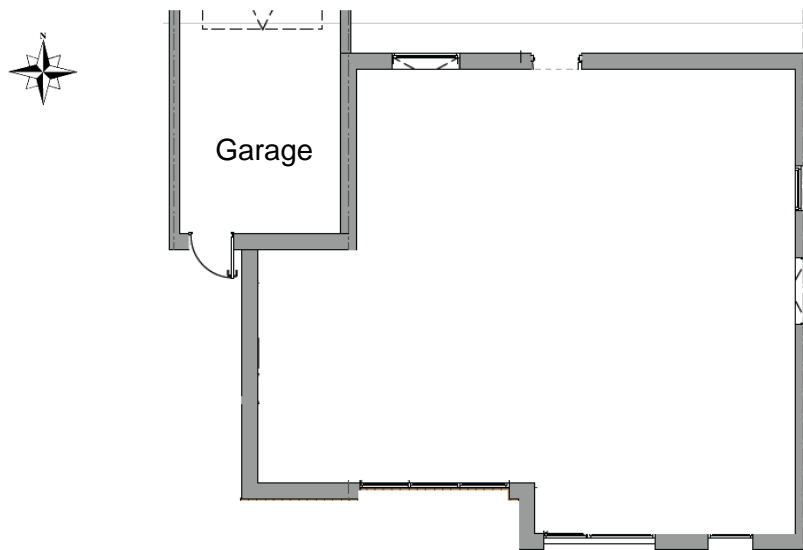
On retrouve trois types de bâtiments de logements sur la ZAC Las Forses : **habitat groupé**, **intermédiaire** et **collectif**. Nous avons donc simulé pour chacun de ces types 3 niveaux différents de performance thermique du bâti :

BBIO RT2012, BBIO RT2012 - 10% et BBIO RT2012 - 20%.

Pour ce faire nous avons utilisé le logiciel U22WIN RT2012 PERRENOUD, version 5.0.62 en date du 29/10/2015.

1.2.1 Traitements du bâti

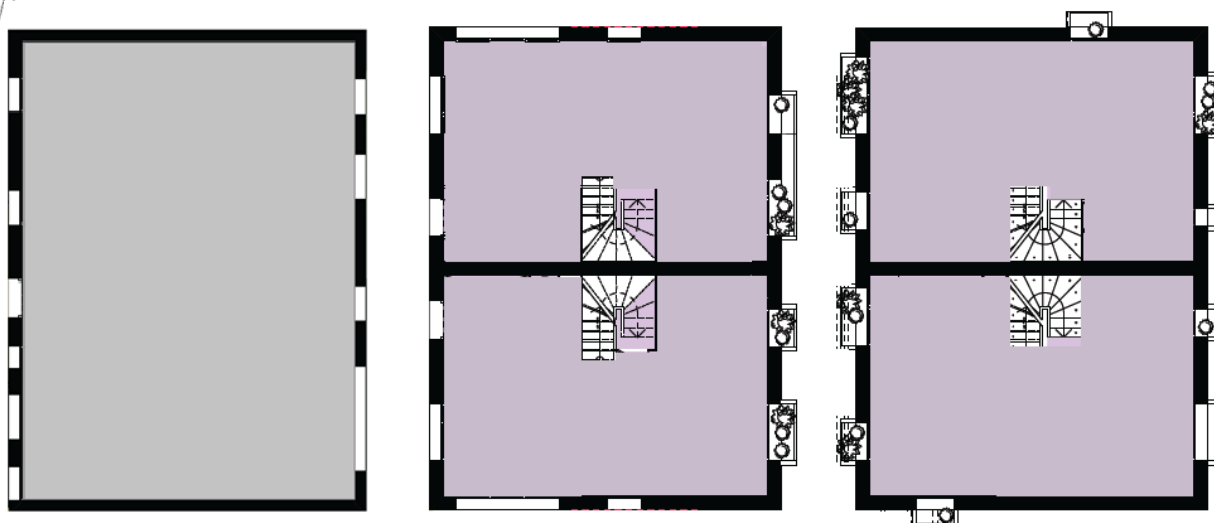
1.2.1.1 Habitat groupé



Enveloppe du bâtiment vue en plan

Surface RT 101 m ²	Surface habitable 86 m ²	Nombre de logements : 1	
		Type de logements : T4	
Habitat groupé	BBIO RT2012	BBIO RT2012-10%	BBIO RT2012-20%
Murs extérieurs	<u>Isolation par l'intérieur</u> Brique R=1,06 m ² .K/W Polystyrène expansé 9,5 cm R=3,15 m ² .K/W	<u>Isolation par l'intérieur</u> Brique R=1,06 m ² .K/W Polystyrène expansé (PSE) 9,5 cm R=3,15 m ² .K/W	<u>Isolation par l'intérieur</u> Brique R=1,06 m ² .K/W Polystyrène expansé (PSE) 11,5 cm R=3,80 m ² .K/W
Planchers Bas	<u>Isolant sous dallage désolidarisé</u> Polystyrène expansé 12 cm R=3,45 m ² .K/W Avec remontée d'isolant	<u>Isolant sous dallage désolidarisé</u> Polystyrène expansé (PSE) 16 cm R=4,60 m ² .K/W Avec remontée d'isolant	<u>Isolant sous dallage désolidarisé</u> Polystyrène expansé (PSE) 16 cm R=4,60 m ² .K/W Avec remontée d'isolant
Planchers Hauts en combles	<u>Laine minérale en vrac</u> 30,5 cm R=6,5 m ² .K/W	<u>Laine minérale en vrac</u> 33 cm R=7 m ² .K/W	<u>Laine minérale en vrac</u> 46,5 cm R=10 m ² .K/W
Menuiseries	Uw = 1,4 W/m ² .K	Uw = 1,4 W/m ² .K	Uw = 1,4 W/m ² .K
Gain / BBIO max	0%	-10%	-20%

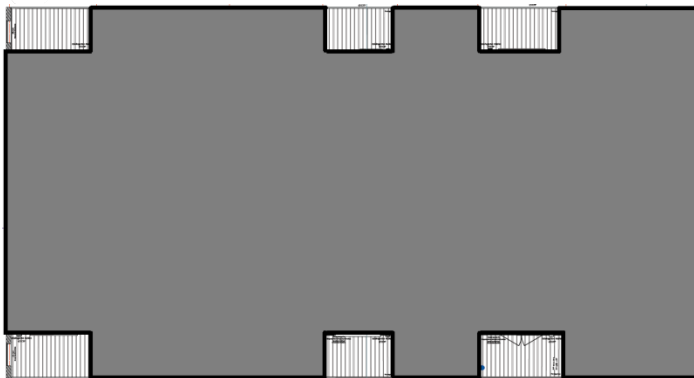
1.2.1.2 Habitat Intermédiaire



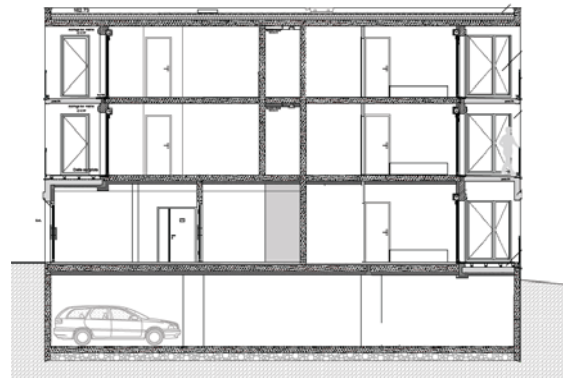
Plans du bâtiment

Surface RT 294 m ²	Surface habitable 267 m ²	Nombre de logements : 3	
		Type de logements : 1 T5 + 2 T4	
Habitat Intermédiaire	BBIO RT2012	BBIO RT2012-10%	BBIO RT2012-20%
Murs extérieurs	<u>Isolation par l'extérieur</u> Brique R=1,06 m ² .K/W PSE graphité 10 cm R=3,2 m ² .K/W	<u>Isolation par l'extérieur</u> Brique R=1,06 m ² .K/W PSE graphité 14 cm R=4,5 m ² .K/W	<u>Isolation par l'extérieur</u> Brique R=1,06 m ² .K/W PSE graphité 14 cm R=4,5 m ² .K/W
Planchers Bas	<u>Isolant sous dallage</u> PSE 8 cm R=2,3 m ² .K/W	<u>Isolant sous dallage</u> PSE 10 cm R=2,85 m ² .K/W	<u>Isolant sous dallage</u> PSE 12 cm R=3,45 m ² .K/W
Planchers Hauts en combles	<u>Laine minérale en vrac</u> 21 cm R=4,5 m ² .K/W	<u>Laine minérale en vrac</u> 21 cm R=4,5 m ² .K/W	<u>Laine minérale en vrac</u> 46,5 cm R=10 m ² .K/W
Menuiseries	Uw = 1,4 W/m ² .K	Uw = 1,4 W/m ² .K	Uw = 1,4 W/m ² .K
Gain / BBIO max	0%	-10%	-20%

1.2.1.3 Habitat Collectif



Plan du bâtiment type



Coupe du bâtiment type

Surface RT 1525 m ²	Surface habitable 1300 m ²	Nombre de logements : 20	
		Type de logements : 20 T3	
Habitat collectif	BBIO RT2012	BBIO RT2012-10%	BBIO RT2012-20%
Murs extérieurs	Isolation par l'extérieur Brique R=1,06 m ² .K/W PSE graphité 10 cm R=3,2 m ² .K/W	Isolation par l'extérieur Brique R=1,06 m ² .K/W PSE graphité 14 cm R=3,68 m ² .K/W	Isolation par l'extérieur Brique R=1,06 m ² .K/W PSE graphité 14 cm R=3,68 m ² .K/W
Planchers Bas	Isolant sous dalle PSE 8 cm R=2,3 m ² .K/W	Isolant sous dalle PSE 12,5 cm R=3,6 m ² .K/W	Isolant sous dalle PSE 12,5 cm R=3,6 m ² .K/W Isolant sous chape PSE 8cm R=2,6 W.K/m ²
Planchers Hauts Toiture terrasse	Isolant toiture terrasse PUR 12 cm R=5,2 m ² .K/W	Isolant toiture terrasse PUR 18 cm R=7,8 m ² .K/W	Isolant toiture terrasse PUR 23 cm R=10 m ² .K/W Isolation des acrotères
Menuiseries	Uw = 1,4 W/m ² .K	Uw = 1,4 W/m ² .K	Uw = 1,4 W/m ² .K
Gain / BBIO max	0%	-10%	-20%

1.2.2 Comparaison financière

1.2.2.1 Habitat groupé

Prix total de construction BBIO RT2102 (équipements inclus - VRD exclus) $\approx 1\,550$ € HT / m²

La **variation des épaisseurs d'isolant** a été suffisante pour obtenir les objectifs visés.
Ainsi seul le coût du matériau brut varie par rapport à la solution de référence.

	BBIO RT2012	BBIO RT2012-10%	BBIO RT2012-20%
Coût de la construction	160 000 € TTC	161 500 € TTC	162 500 € TTC
Ecart / investissement BBIO RT2012		+1%	+1,6%

1.2.2.2 Habitat Intermédiaire

Prix total de construction BBIO RT2102 (équipements inclus - VRD exclus) $\approx 1\,450$ € HT / m²

Comme pour le précédent type d'habitat, **agir sur les épaisseurs d'isolant** a suffi à atteindre les objectifs recherchés.

	BBIO RT2012	BBIO RT2012-10%	BBIO RT2012-20%
Coût total de la construction	464 000 € TTC	469 500 € TTC	471 500 € TTC
Ecart / investissement BBIO RT2012		+1,2%	+1,6%

1.2.2.3 Habitat Collectif

Prix total de construction BBIO RT2102 (équipements inclus - VRD exclus) $\approx 1\,450$ € HT / m²

Pour cette simulation, la **variation seule des épaisseurs d'isolant** n'a pas permis d'obtenir les objectifs recherchés ; des principes constructifs complémentaires ont dû être simulés pour atteindre l'objectif BBIO - 20% : **isolation des acrotères** (estimé à 50 €HT/ml), **isolation sous chape** du plancher bas (estimé à 60€HT/m²).

	BBIO RT2012	BBIO RT2012-10%	BBIO RT2012-20%
Coût total de la construction	2 262 000 € TTC	2 290 000 € TTC	2 325 500 € TTC
Ecart / investissement BBIO RT2012		+1,2%	+3,1%

1.2.3 Conclusions de l'étude comparative au niveau du BBIO

On constate que pour l'ensemble des bâtiments étudiés dans le cadre de cette étude, **l'investissement supplémentaire est négligeable** : l'objectif d'un BBIO inférieur aux exigences de la RT2012 à hauteur de **-10%** ou **-20%** est **atteignable pour tous les types de bâtiments de logement simulés**.

Il est important de préciser que les résultats **varient** énormément d'un projet à l'autre, ils dépendent directement de **l'architecture** et de **l'implantation** du bâtiment.

Les bâtiments simulés dans le cadre de ce rapport sont compacts, seul le bâtiment collectif présente quelques singularités pénalisantes (décrochés, balcons) qui créent des ponts thermiques, ce qui explique le surcoût légèrement plus élevé en terme de pourcentage que les autres bâtiments, pour atteindre l'objectif BBIO RT2012 - 20%.

Cette étude démontre qu'avec une **conception optimisée**, il est possible de **limiter considérablement les besoins en énergie**, et ce **à faible coût**.

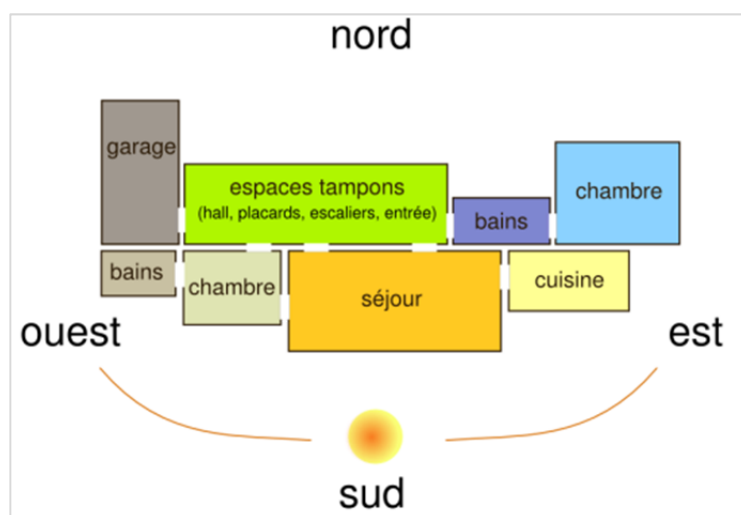
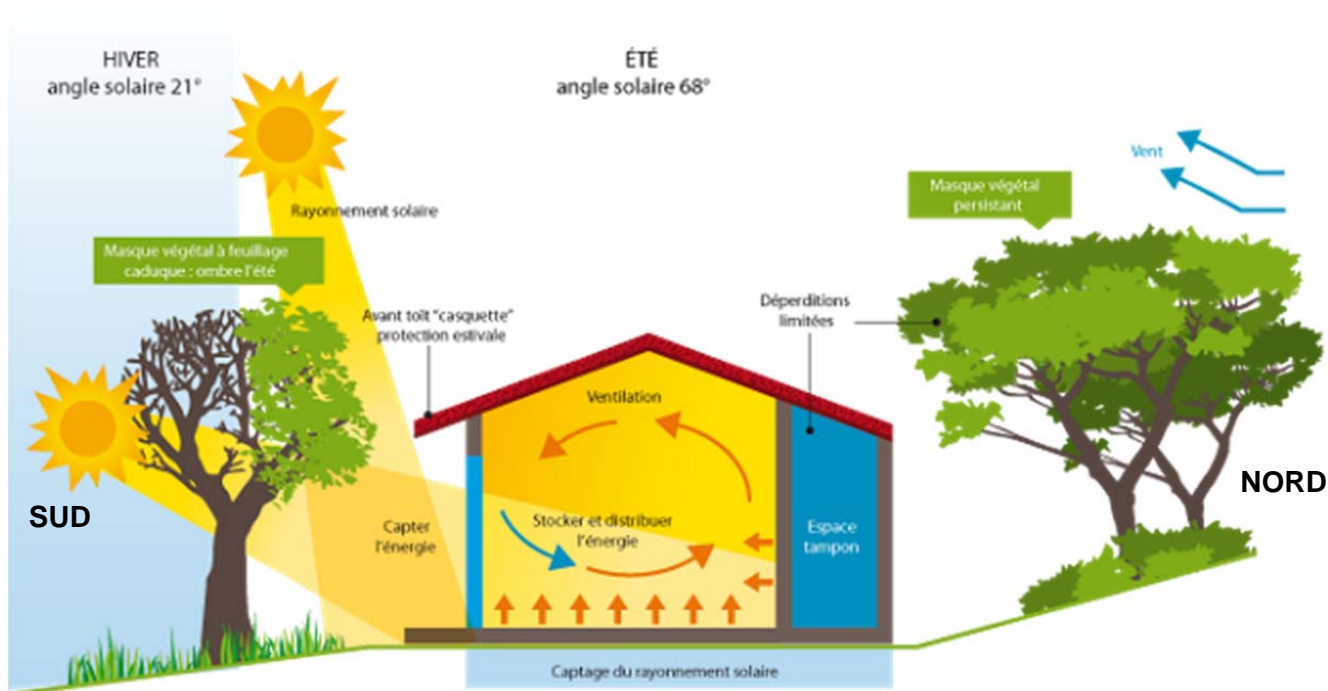
En effet, l'application des **principes bioclimatiques** est indispensable à l'obtention d'un BBIO faible. Les principes suivants doivent être intégrés **dès le démarrage de l'opération**, et non pas seulement au moment de la réalisation de l'étude thermique réglementaire quand l'architecture est déjà fixée :

- Opter pour une **compacité** maximale du bâtiment afin de limiter les déperditions ;
- Exploiter au mieux les **ressources solaires passives** en implantant les surfaces vitrées au sud, pour capter un maximum d'énergie solaire l'hiver ;
- **Limiter les vitrages au nord** qui sont plus déperditifs qu'une paroi isolée et qui ne captent que peu d'apports solaires ;
- Favoriser **l'éclairage naturel** ;
- Prévoir des parois à forte **inertie** pour stocker la chaleur ;
- Prévoir des **espaces tampons** au nord ;
- et ce tout en gardant à l'esprit qu'il faut **protéger le bâtiment des surchauffes** l'été (végétation, casquettes au niveau des vitrages...).

Par la suite le concepteur doit veiller à :

- Prévoir une **isolation thermique efficace** afin de conserver la chaleur dans le bâtiment ;
- **Limiter les déperditions dynamiques** en préconisant des ventilations mécaniques contrôlées (VMC) hygroréglables (qui s'adaptent à l'humidité du local) ou double flux (qui permet la maîtrise des débits et la récupération d'énergie sur l'air extrait).

Les principes bioclimatiques sont illustrés dans les schémas ci-dessous :



Source ADEME

2 EQUIPEMENTS ENERGETIQUES

2.1 REGLEMENTATION RT 2012 - CEP

Comme évoqué précédemment, la réglementation thermique 2012 comporte trois exigences de résultats, dont la consommation d'énergie primaire **Cep**.

Le Cep porte sur les **consommations primaires** de chauffage, de refroidissement, d'éclairage, de production d'eau chaude sanitaire (ECS) et des auxiliaires (pompes et ventilateurs). Cette consommation est théorique, elle est calculée selon une méthode définie par la RT2012.

Il est important de noter que selon le choix d'énergie pour les usages chauffage et production d'ECS, le niveau de performance exigé peut être très différent du fait du coefficient de conversion en énergie primaire, notamment entre l'électricité (coef = 2,58) et les autres énergies (coef = 1). **Les équipements faisant appel à l'électricité sont donc pénalisés.**

D'après la RT2012 le coefficient Cep du bâtiment étudié doit être inférieur ou égal au Cep max. Ce dernier est modulé en fonction de la localisation géographique, l'altitude, le type d'usage du bâtiment, la surface moyenne des logements et les émissions de gaz à effet de serre pour le bois énergie et les réseaux de chaleur les moins émetteurs de CO₂.

Cette exigence impose, en plus de l'optimisation du bâti exprimée par le Bbio, le recours à des **équipements techniques performants**.

Dans la suite du rapport, une description de plusieurs équipements de production d'énergie sera réalisée : solaire photovoltaïque, solaire thermique, géothermie, récupération d'énergie sur eaux usées.

Par la suite, les systèmes de production de chauffage et d'eau chaude sanitaire adaptés au projet de la ZAC Las Fonses seront comparés en termes d'impacts économique et écologique, ainsi qu'au niveau des contraintes techniques et administratives.

2.2 PRODUCTION D'ELECTRICITE PHOTOVOLTAÏQUE

L'énergie solaire photovoltaïque présente un potentiel intéressant pour la **production d'électricité**. Dans le cadre de la RT2012, la mise en place d'une installation photovoltaïque est valorisée. Elle peut être envisagée notamment dans le cas où le chauffage est de type électrique.

Pour l'instant, la mise en place de panneaux photovoltaïques **intégrés au bâti** avec revente totale de l'électricité reste avantageuse.

En effet, au 30 septembre 2015 le tarif d'achat du kWh produit était de 25,78 c€/kWh, ainsi pour une installation de 3 kWc intégrée sur une toiture tuile orientée sud, d'après la méthode de calcul issue de la Réglementation Thermique, la production d'électricité est d'environ 3 200 kWh/an, ce qui revient à un gain approximatif de 800 €/an.

Sachant que le coût moyen de l'installation est de 3 €HT / Wc, le temps de retour sur investissement se rapproche des 10 ans.

On constate cependant que l'intégration des panneaux rebute parfois les promoteurs en raison du coût d'**investissement** supérieur à la surimposition, et de la probabilité d'une mauvaise mise en œuvre qui risquerait de compromettre l'étanchéité de la toiture, déjà rendue complexe par la faible pente des toitures de la région toulousaine. Ainsi, dans ce cas de figure, les systèmes non intégrés au bâti sont préconisés, et au vu des tarifs d'achat de l'électricité photovoltaïque correspondants (voir tableau ci-dessous), le fait d'envisager l'**autoconsommation de l'énergie produite** devient indispensable.

Type d'installation		Tarifs en vigueur pour les installations dont la demande complète de raccordement a été envoyée :
		entre le 1er juillet 2015 et le 30 septembre 2015
Intégrée au bâti ¹	[0-9kW]	25,78 c€/kWh
Intégrée simplifiée au bâti ²	[0-36kW]	14,70 c€/kWh
	[36-100kW]	13,96 c€/kWh
Tout type d'installation	[0-12MW]	6,28 c€/kWh

¹ Une installation photovoltaïque sur toiture respecte les critères d'intégration au bâti (IAB) si elle remplit toutes les conditions suivantes :

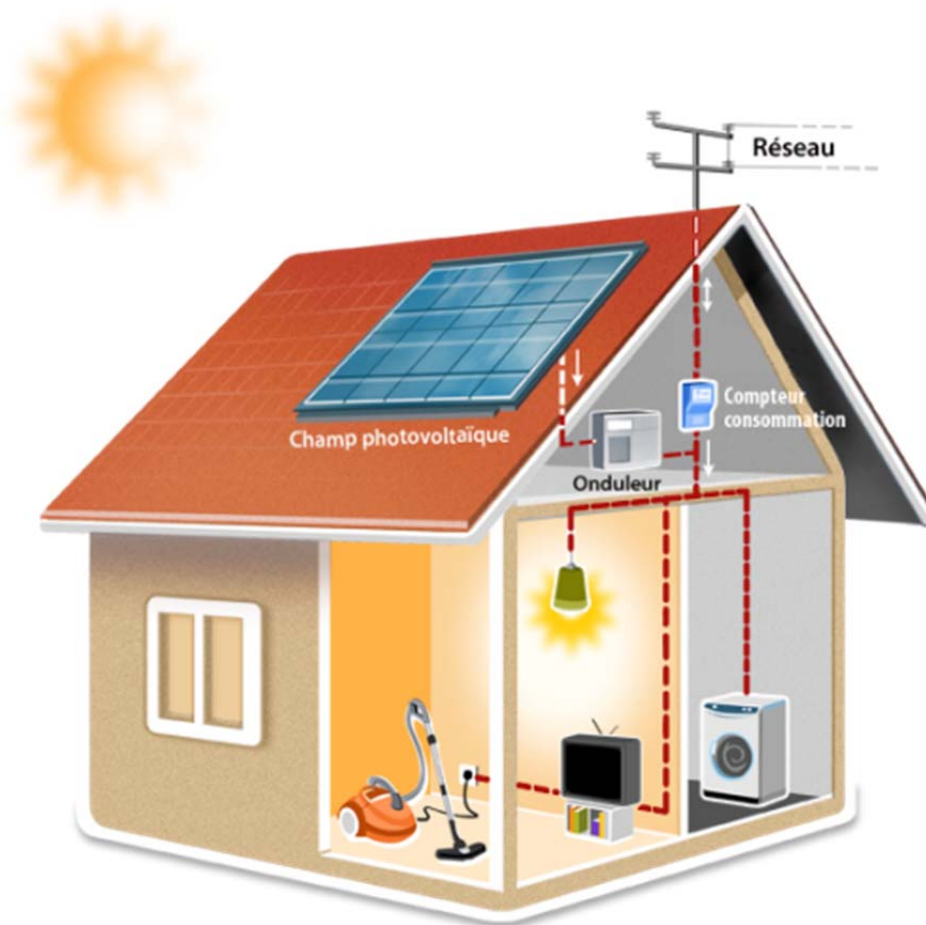
- Le système photovoltaïque est installé sur la toiture d'un bâtiment clos (sur toutes les faces latérales) et couvert, assurant la protection des personnes, des animaux, des biens ou des activités. L'installation photovoltaïque est installée dans le plan de la toiture au sens défini à l'annexe 5 de l'arrêté du 4 mars 2011
- Le système photovoltaïque remplace des éléments du bâtiment qui assurent le clos et couvert, et assure la fonction d'étanchéité. Après installation, le démontage du module photovoltaïque ou du film photovoltaïque ne peut se faire sans nuire à la fonction d'étanchéité assurée par le système photovoltaïque ou rendre le bâtiment impropre à l'usage.
- Pour les systèmes photovoltaïques composés de modules rigides, les modules constituent l'élément principal d'étanchéité du système
- Pour les systèmes photovoltaïques composés de films souples, l'assemblage est effectué en usine ou sur site. L'assemblage sur site est effectué dans le cadre d'un contrat de travaux unique

² Une installation photovoltaïque sur toiture respecte les critères d'intégration simplifiée au bâti (ISB) si elle remplit toutes les conditions suivantes :

- Le système photovoltaïque est installé sur la toiture d'un bâtiment assurant la protection des personnes, des animaux, des biens ou des activités. Il est parallèle au plan de ladite toiture.
- Le système photovoltaïque remplace des éléments du bâtiment qui assurent le clos et couvert, et assure la fonction d'étanchéité.

source : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/>

Le schéma ci-dessous illustre l'autoconsommation :



Source : Hespul

La complexité de l'autoconsommation réside dans le fait que les **profils de consommation des occupants** ne sont pas en adéquation avec les **profils solaires de production** : le retour d'expérience, sans gestion « intelligente » de la consommation d'électricité, montre que la part solaire représente en moyenne **20% des consommations d'électricité du logement**, mais ce pourcentage peut être diminué de 10 à 15% dans le cas de logements équipés de chauffage et de production d'ECS électriques.

Le taux de 40% peut cependant être atteint sans système de stockage, à condition :

- de **réaliser une pré-étude** permettant d'évaluer le taux d'autoconsommation pour dimensionner au plus juste l'installation : le GMPV-FFB – Groupement des Métiers du Photovoltaïque de la Fédération Française du Bâtiment propose aux adhérents un logiciel d'aide au dimensionnement des systèmes photovoltaïques en autoconsommation
- d'ajuster la consommation à la production. Pour ce faire :
 - o les utilisateurs doivent être **formés**, et **informés de la production instantanée** pour **adapter** l'usage d'appareils électriques en fonction de la production
 - o des **horloges** peuvent être installées afin de mettre en route les appareils électriques au moment où l'ensoleillement est supposé maximal

- l'intérêt d'utiliser la **domotique** en vue de réaliser des économies doit être étudié : il existe des systèmes de gestion intelligents qui croisent les données météorologiques, les productions instantanées, les profils d'occupation et permettent une régulation automatisée de la consommation, en agissant sur le chauffage, l'éclairage, les appareils électroménagers...Cependant, dans le cas où le chauffage et l'eau chaude sanitaire ne sont pas électriques, le champ d'action de ce type de gestion reste limitée.

Il existe également des **solutions de stockage** de l'électricité photovoltaïque qui sont proposés sur le marché, afin de différer son utilisation, bien que les pertes de rendement, l'investissement important, les impacts environnementaux des batteries, l'absence de normes techniques précises sur le stockage dans le secteur résidentiel, la durée de vie incertaine des batteries, la maintenance, et le risque de dégradation du rendement de la batterie dans le temps n'encouragent pas spontanément la mise en place de tels systèmes.

En se basant sur les études réalisées par Enertech, et en considérant qu'un logement accueille en moyenne 2,5 personnes, les besoins électriques représentent 2 500 kWh/logement, en dehors des besoins en chauffage et ECS.

En partant sur l'hypothèse d'un tarif d'électricité à de 140 €/HT/MWh, l'économie réalisée grâce à la mise en place d'un système photovoltaïque en autoconsommation sans système de stockage se situerait entre 70 et 140 € par an par logement n'utilisant pas l'électricité pour le chauffage et l'ECS.

Au vu de ces montants, on comprend qu'il est indispensable de **ne pas surdimensionner** les installations d'autoconsommation, c'est pour cela qu'il est indispensable de réaliser une étude avec des logiciels adaptés pour chaque projet.

La fin de vie des installations photovoltaïques est un point important. La directive européenne relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques, dite DEEE impose aux fabricants d'onduleurs et de panneaux photovoltaïques de réaliser à leurs frais la collecte et le recyclage de leurs produits.

Les matériaux extraits lors du recyclage peuvent être valorisés dans la filière de production de modules photovoltaïques, mais aussi dans les filières traditionnelles des matières premières.

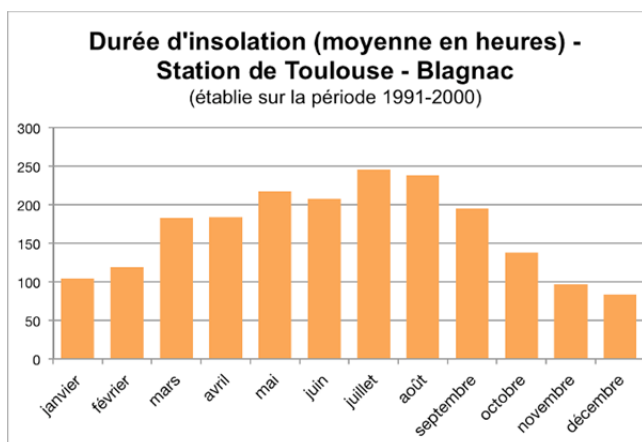
2.3 SYSTEMES DE PRODUCTION D'ENERGIE POUR LE CHAUFFAGE ET L'EAU CHAUDE SANITAIRE

Dans le cadre de ce chapitre, trois systèmes de production de chauffage et d'eau chaude sanitaire vont être étudiés :

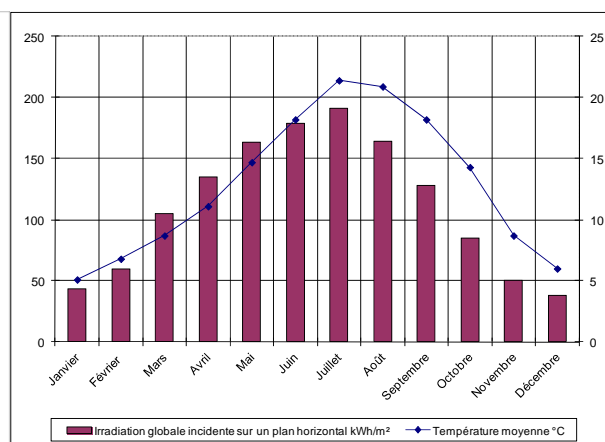
- **chaudière gaz et installation solaire thermique pour la production d'eau chaude sanitaire** (solution de référence pour le logement)
- **pompe à chaleur (PAC) double service pour la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire couplée à de la géothermie**
- **récupération d'énergie sur eaux usées**

2.3.1 Chaudières gaz et installations solaire thermique

La métropole toulousaine bénéficie d'un ensoleillement important, avec un total en 2010 de 2127 heures pour la station de Toulouse-Blagnac.

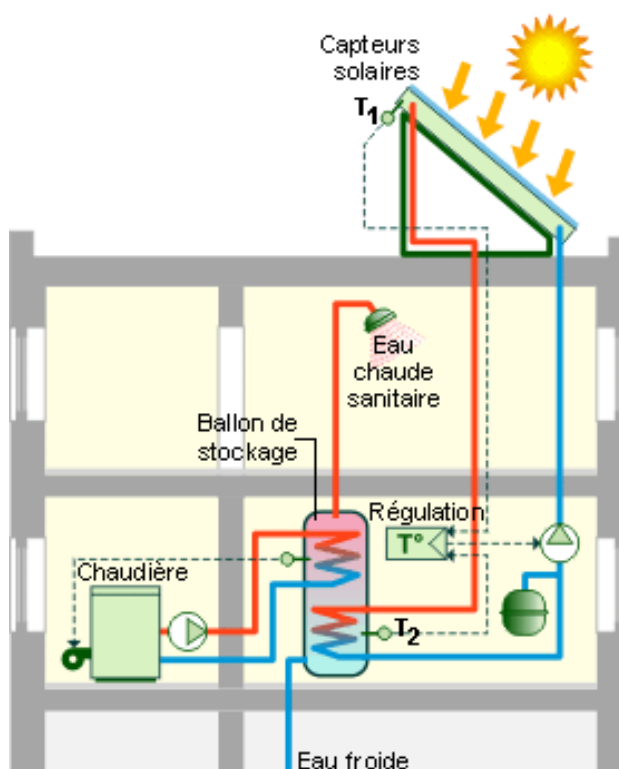


Durée d'insolation moyenne à la station de Toulouse Blagnac



Evolution mensuelle de l'irradiation solaire en kWh/m² et de la température moyenne en °C

L'énergie solaire thermique présente un potentiel intéressant pour la **production d'eau chaude sanitaire** principalement. La solution technique est aujourd'hui bien maîtrisée, elle permet de couvrir dans nos régions environ **50% des besoins** pour la production d'eau chaude sanitaire. Comme présenté sur le schéma ci-contre, l'énergie solaire est récupérée via des capteurs solaires qui préchauffent l'eau chaude. Lorsque l'énergie solaire ne suffit pas, un appoint prend le relais. Dans ce rapport, c'est le cas de l'appoint par chaudière gaz qui sera étudié, mais l'appoint peut aussi être électrique. Le coefficient d'énergie primaire sur l'électricité étant de 2,58 contre 1 pour le gaz (cf.§2.1) nous a orienté vers la solution gaz.



Source : www.energieplus-lesite.be

Quant aux installations solaires combinées qui permettent de produire non seulement de l'ECS mais aussi du chauffage solaire, elles nécessitent l'installation d'une surface de capteurs bien plus importante que dans le cas d'une production d'ECS seule. Or sous nos latitudes, en dehors de la saison de chauffage, seul un faible pourcentage de l'énergie est exploité étant donné que le chauffage est à l'arrêt, dégradant ainsi le temps de retour sur investissement et créant de forts risques de surchauffe. Nous n'étudierons donc pas le solaire combiné dans cette étude.

Plusieurs éléments doivent attirer l'attention des différents acteurs lorsque la solution solaire thermique est retenue.

Le concepteur doit en premier lieu apporter un soin particulier aux **études préliminaires** afin d'**éviter le surdimensionnement** des installations.

En effet, si une quantité trop importante de capteurs est installée, d'une part la rentabilité économique du projet est diminuée, et d'autre part la pérennité des installations est compromise car dans la plupart des cas le surdimensionnement est synonyme de **surchauffe** dans les panneaux (l'énergie produite étant supérieure aux besoins) qui peut endommager les équipements.

Une attention particulière doit être portée à la sélection de l'entreprise, qui doit être **qualifiée** pour ce type de travaux. C'est ensuite au Maître d'œuvre d'assurer un **suivi minutieux** durant la phase chantier, pour vérifier l'équilibrage, le sens de montage des capteurs, le bon raccordement hydraulique des ballons, le vase d'expansion etc.

En ce qui concerne l'implantation des capteurs, une **sécurisation de la toiture** doit être prévue pour permettre l'accès aux panneaux.

De plus, la mise en place d'équipements permettant le **suivi des résultats solaires** est indispensable : compteurs de chaleur, et idéalement équipements de télésuivi.

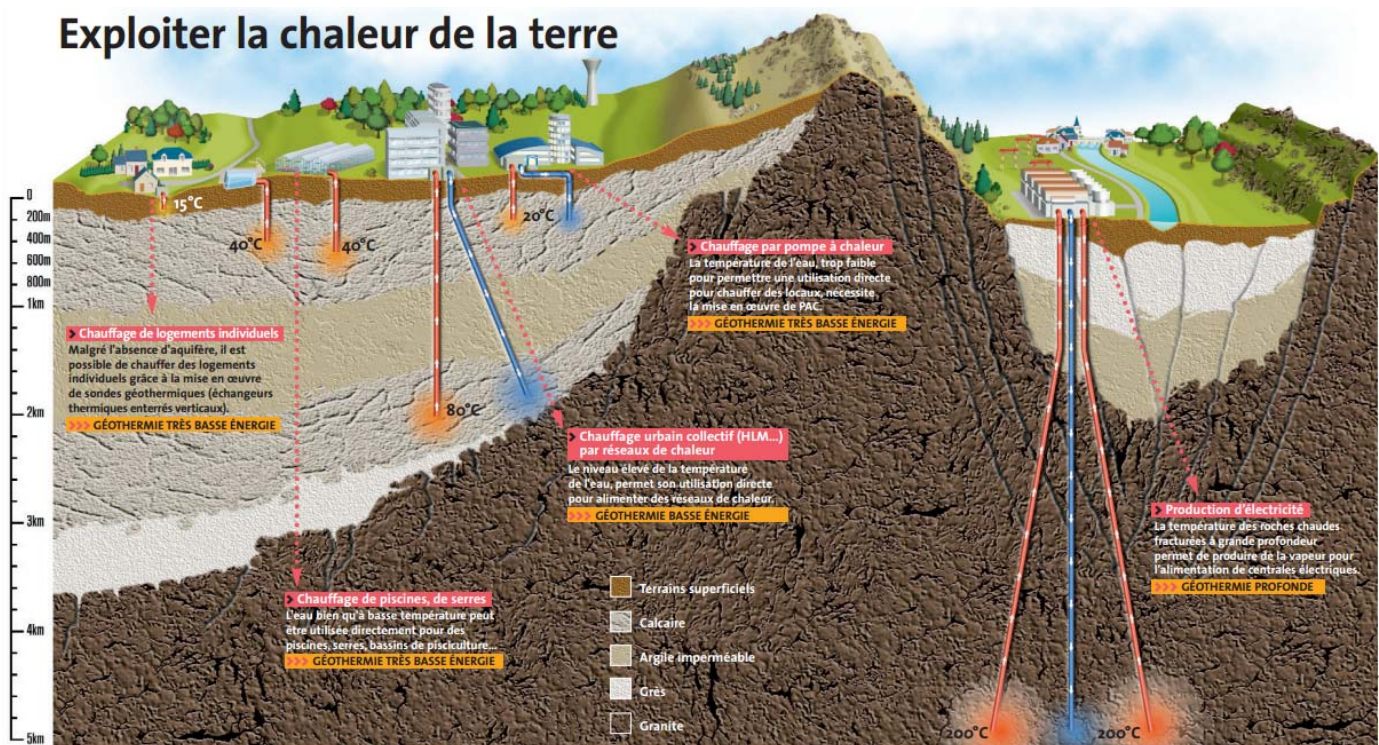
En effet, un des points singuliers du solaire thermique est qu'en cas de dysfonctionnement de l'installation solaire, l'appoint prend le relais, et ce sans que les utilisateurs soient alertés. Ainsi, sans suivi des résultats solaires régulier, c'est uniquement au moment de la réception de la facture énergétique que les occupants ou bailleurs réalisent qu'il y a eu un problème technique.

2.3.2 Géothermie

La géothermie consiste en l'**exploitation de la chaleur du sous-sol**. Soit directement via des sondes verticales peu profondes, soit par le biais de forages permettant d'exploiter la température de l'eau contenue dans les aquifères.

Différents types de géothermie peuvent alors être mobilisés :

Exploiter la chaleur de la terre



Les différents usages de géothermie (source : BRGM)

	Géothermie très basse énergie $T^{\circ}\text{C} < 50^{\circ}\text{C}$	Géothermie basse énergie $50^{\circ}\text{C} < T^{\circ}\text{C} < 90^{\circ}\text{C}$	Géothermie moyenne énergie $90^{\circ}\text{C} < T^{\circ}\text{C} < 150^{\circ}\text{C}$	Géothermie haute énergie $T^{\circ}\text{C} > 150^{\circ}\text{C}$
Provenance de la chaleur	Provenance de la chaleur : - aquifères superficiels par le biais de forages (« en boucle ouverte »), constituant un doublet géothermique ou - directement du sol (« en boucle fermée ») via un fluide caloporteur qui circule dans un échangeur en contact avec le sol.	Eau contenue dans les aquifères « profonds ». Le système fonctionne le plus souvent en doublet géothermique : l'eau est puisée à partir d'un forage, puis réinjectée dans un autre forage.	Eau chaude ou vapeur humide. Se situe à une profondeur inférieure à 1000 m Se retrouve également dans les bassins sédimentaires, à des profondeurs allant de 2000 à 4000 mètres	Fluides atteignant des températures supérieures à 150°C . Les réservoirs se situent à une profondeur généralement supérieure à 1500 m, dans des zones de gradient géothermique anormalement élevé (régions volcaniques)
Utilisation	Généralement l'énergie récupérée passe par une pompe à chaleur pour assurer les besoins de chaleur/de froid des bâtiments	La chaleur peut être directement utilisée pour le chauffage urbain, le chauffage des serres, le thermalisme...	La chaleur peut être utilisée directement pour assurer des besoins de chaleur ou pour produire de l'électricité	Le fluide peut être capté sous forme de vapeur sèche ou humide pour la production d'électricité.

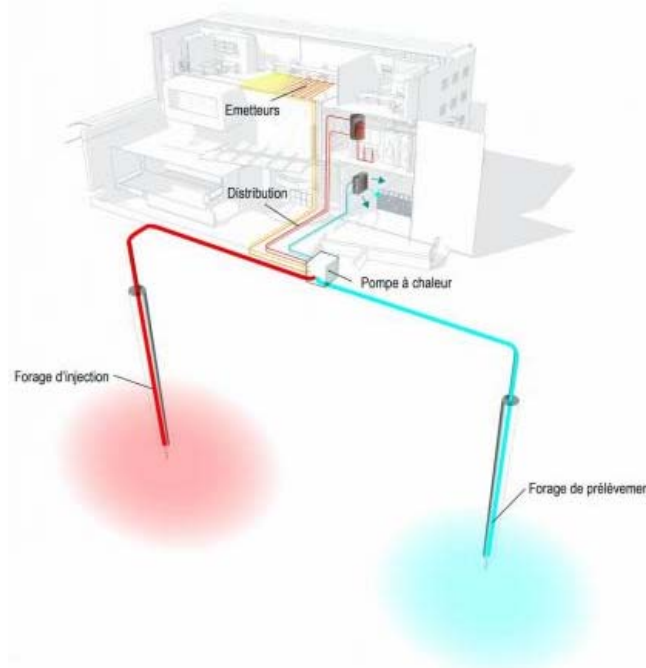
La suite du rapport sera ciblée sur la **géothermie très basse énergie** étant donné que pour cette opération, l'étude se situe à l'échelle du bâtiment voire de l'îlot.

Les pompes à chaleur géothermiques nécessitent un échange thermique avec le sous-sol ; deux technologies sont envisageables : le puisage et le rejet d'eau dans les nappes du sous-sol (système ouvert) ou l'installation de sondes verticales (système fermé).

La Géothermie sur aquifères

Le puisage d'eau dans la nappe consiste en la création d'un **puits de soutirage** et d'un second **puits de réinjection** dans la même nappe (système ouvert). Le principe est de puiser une eau à 12°C en moyenne dans nos régions, et de la réinjecter dans la nappe à 7°C au maximum.

Cette technologie peut s'avérer intéressante lorsque la puissance nécessaire est élevée, l'emprise d'un champ de sondes s'avérant trop importante. Dans le cas d'un couplage à une pompe à chaleur, des forages peu profonds (10-20 m) sont suffisants.



Source : géothermie-perspectives.fr

En revanche, cette solution nécessite de réaliser au préalable des forages exploratoires pour valider le débit d'eau soutirable et le niveau de la nappe, notamment en période de basses eaux, la nature du sol et valider également les propriétés physico-chimiques des eaux (caractère corrosif éventuel de l'eau).

Conformément à l'arrêté du 25 juin 2015, il faut de plus veiller à ce que l'échangeur ne soit pas implanté à moins de 5 mètres de conduites d'assainissement (portés à 35m en l'absence d'étanchéité entre les eaux usées et les horizons géologiques exploités).

Enfin, **ce système a inévitablement une influence sur les caractéristiques des nappes, que nous ne savons évaluer aujourd'hui.**

Deux types de ressources ont été identifiées dans la région midi Pyrénées : les aquifères superficiels alluviaux et les sables infra-molassiques.

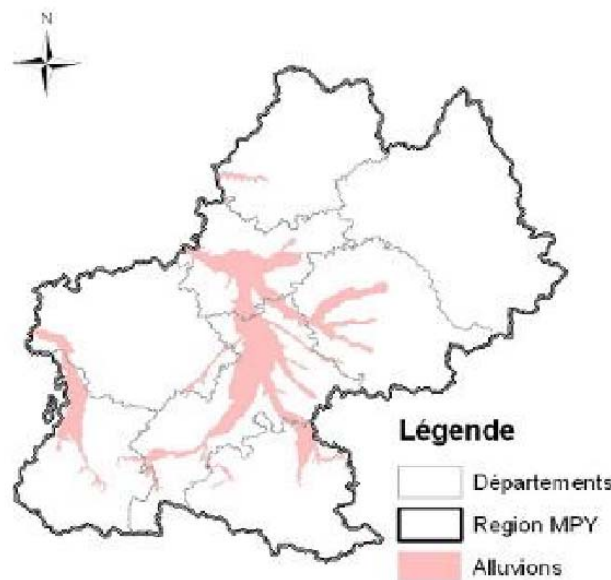
Géothermie sur aquifères alluviaux

Les **formations alluviales**, qui constituent la partie supérieure du sous-sol et suivent le cheminement des cours d'eau (en l'occurrence l'Ariège et la Garonne). Les aquifères alluviaux ont une productivité (débit d'eau soutirable) croissante à mesure qu'ils se rapprochent des cours d'eau. En revanche leur recharge est très sensible aux variations climatiques : on observe les niveaux les plus faibles en fin d'été et en automne.

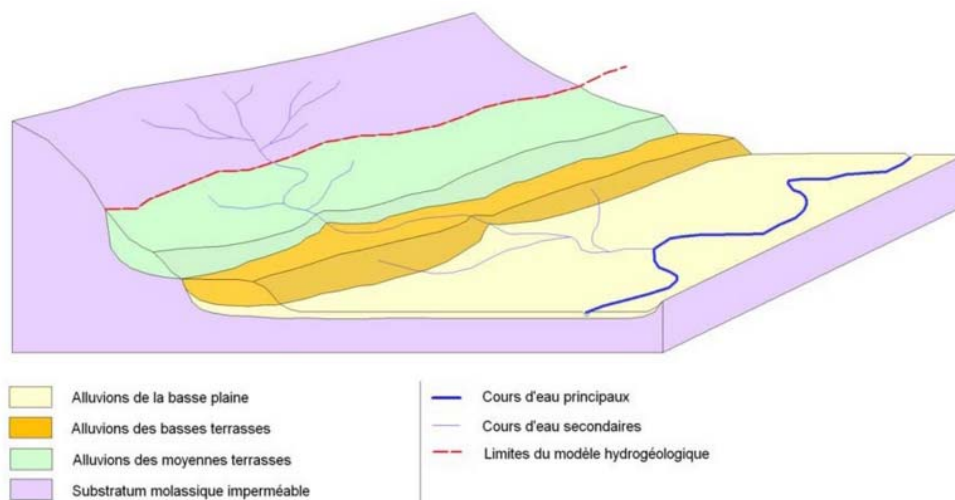
La productivité peut être ponctuellement très variable entre deux sites à quelques centaines de mètres de distance. **Seul un essai de nappe par pompage peut apporter une information fiable.**

Sur un plan physico-chimique, les eaux de nappes alluviales sont globalement proches de la neutralité et de dureté moyenne. Leurs températures oscillent entre 12 et 14°C en fonction des saisons et ne **présentent pas d'anomalie de salinité particulière ou de pouvoir corrosif.**

Ce type d'aquifère est utilisé pour la **géothermie très basse énergie**.



Localisation des formations alluviales – Source : géothermie-perspectives.fr



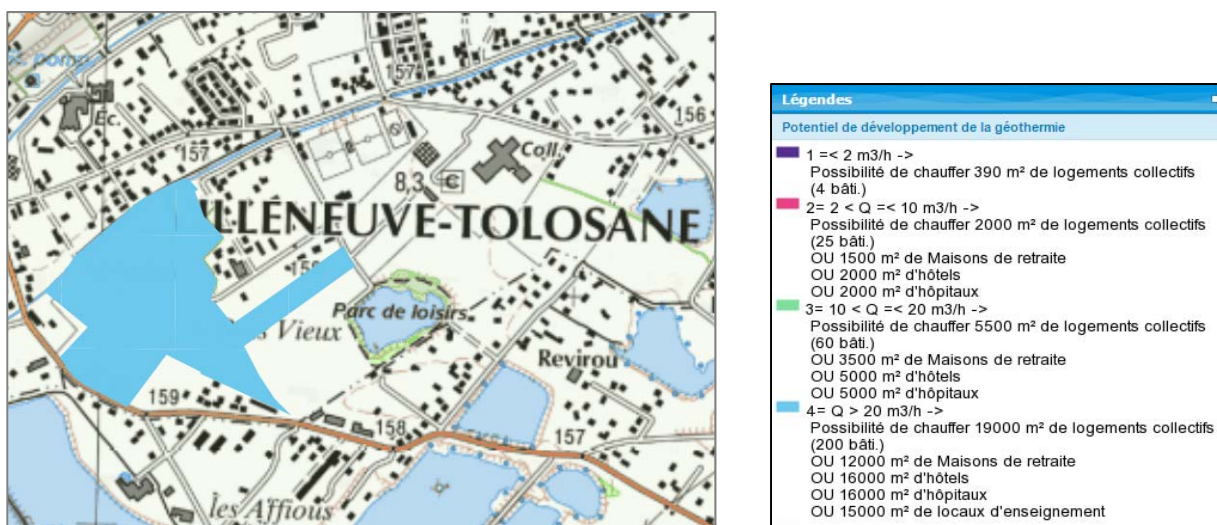
Modélisation de la nappe alluviale de la Garonne en Haute-Garonne – Source : BRGM

Le potentiel calorifique des nappes alluviales au niveau de la ZAC peut être vérifié sur le site du **BRGM** (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) via le SIGES (Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines) :



Source : <http://sigesmpy.brgm.fr>

Dans le cadre du volet géothermie du SRCAE de Midi-Pyrénées (Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie) le BRGM a identifié le potentiel de développement de la géothermie pour les bâtiments neufs notamment. On constate que la ZAC a été précisément identifiée, celle-ci présentant un fort potentiel de développement de la géothermie :



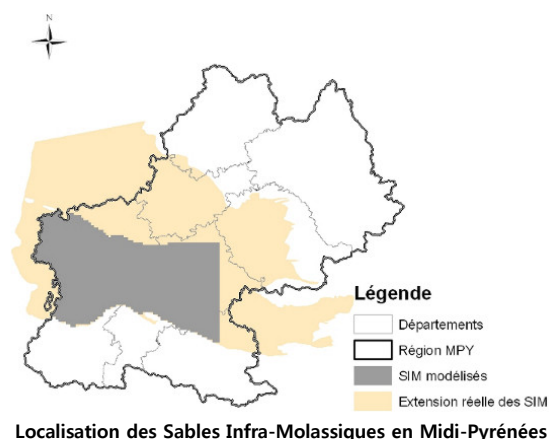
Source : <http://sigesmpy.brgm.fr>

Géothermie sur aquifères des sables infra molassiques

Les **formations de sables infra molassiques (SIM)**, qui couvrent la partie Nord de la Haute-Garonne.

L'aquifère des sables infra-molassiques contient **une nappe captive** (eau confinée entre deux formations très peu perméables) **potentiellement très intéressante** pour l'usage géothermique, avec une température des eaux pouvant atteindre 40°C. Les ouvrages captant cette nappe présentent généralement de bonnes productivités.

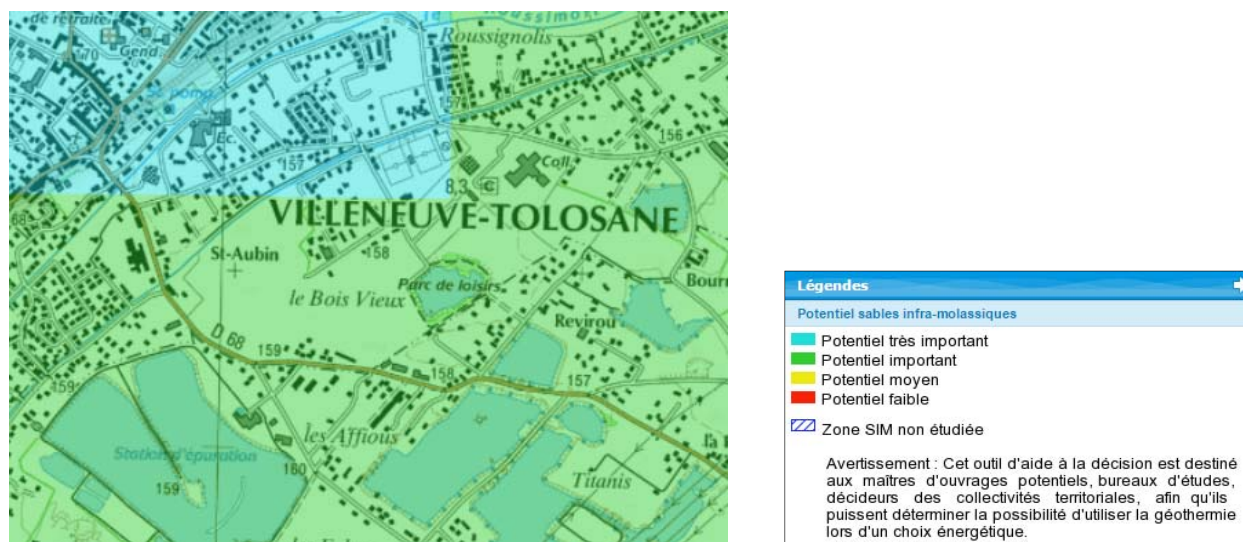
La profondeur de ces sables varie fortement en fonction des différents accidents structuraux et de la position dans le bassin. Le toit des formations peut atteindre plus de 1500 m de profondeur dans la fosse de Tarbes (Hautes-Pyrénées), alors qu'il est sub-affleurant à Barbotan (Gers).



Sur un plan physico-chimique, dans certaines zones de l'aquifère, **les eaux peuvent présenter des salinités importantes**, ainsi qu'un **comportement corrosif** qui peuvent **augmenter considérablement les coûts d'exploitation et d'entretien** d'une installation géothermique.

Ce type d'aquifère est utilisé pour la **géothermie basse énergie**.

Le potentiel calorifique des sables infra-mollasiques de Villeneuve-Tolosane peut également être vérifié sur le site du BRGM :

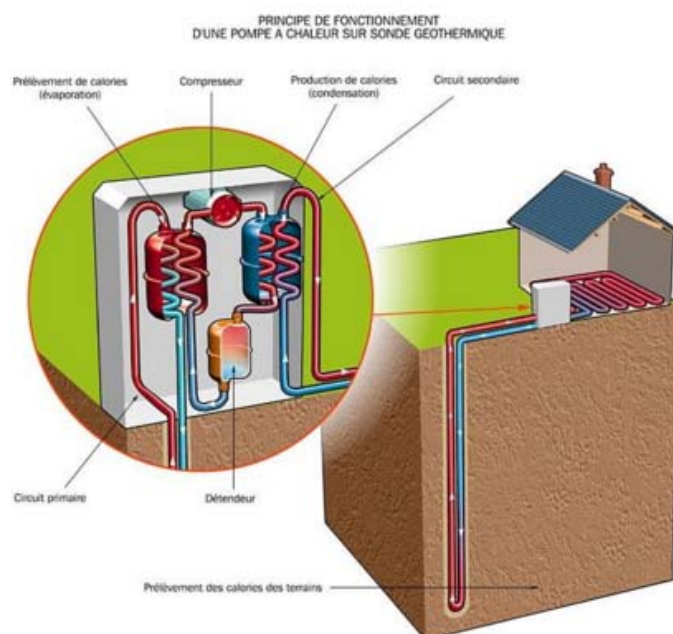


Source : <http://sigesmpy.brgm.fr>

Le potentiel est annoncé comme *important*.

Les Sondes Géothermiques Verticales

Les sondes géothermiques verticales (SGV) se constituent d'une boucle fermée, en polyéthylène haute densité (PEHD), dans laquelle circule de l'eau glycolée. La boucle est placée dans un ou plusieurs forages de 110 à 130 mm de diamètre, dans lesquels est coulé un mélange de ciment et de bentonite favorisant l'échange thermique avec le sol. Il est conseillé de ne pas dépasser une profondeur de forage de 130 m afin d'éviter les diamètres trop importants engendrant des surcoûts.



Source : ADEME - BRGM

Les sondes peuvent être installées indépendamment de la ressource en eau souterraine, dans la mesure où l'échange thermique est réalisé entre le fluide caloporteur (eau glycolée) et le sous-sol. Ce système a pour avantage de bien maîtriser le fonctionnement du circuit échangeant avec le sous-sol, du fait de son caractère « fermé ».

La principale limite de ce système est l'**espace disponible** car il est recommandé d'espacer les sondes de **10m** entre elles et d'éviter d'implanter les sondes sous dalle pour garantir une bonne régénération de la capacité d'échange du sous-sol et du fait des contraintes de réalisation (sondes implantées en amont de la réalisation du gros œuvre). En effet, contrairement aux systèmes sur aquifères, il est possible de multiplier le nombre de sondes pour exploiter au maximum l'énergie du sous-sol, et créer ainsi un champ de sondes.

Pour les systèmes fermés, l'arrêté du 25 juin 2015 précise notamment qu'il faut respecter une distance minimale de **5m par rapport à la limite de propriété** la plus proche, à défaut d'un accord écrit préalable des propriétaires voisins autorisant la réalisation de l'échangeur géothermique de minime importance et de **5 m par rapport aux conduites d'eaux usées**.

Lorsqu'une géothermie par sondes verticales est envisagée, il faut également tenir compte des **contraintes liées aux formations géologiques du sous-sol** : terrains présentant une forte hétérogénéité, zones fissurées, faillées ou bréchifiées, zones présentant des cavités, des roches meubles instables.

Le recours à l'avis d'un expert du sous-sol est indispensable dans ces zones de contraintes pour l'implantation de sondes géothermiques, qui ont été identifiées sur le territoire de la région Midi-Pyrénées dans le cadre du SRCAE. D'après la carte ci-après, **Villeneuve-Tolosane n'est pas concerné par ce point.**



Source : <http://sigesmpy.brgm.fr>

Légendes
Zones de contraintes géologiques
Zones de contraintes géologiques

Pour conclure, les travaux réalisés par le BRGM montrent que le **potentiel des formations alluviales est très important.**

Le système sur **boucle fermée** dans la région de Villeneuve-Tolosane présente également un **très fort potentiel.**

Quant à l'exploitation des **sables Infra-Molassiques**, elle n'est **pas adaptée à la taille du projet.**

La réalisation de forage au-delà de 1 000 m ne se justifie que pour l'alimentation d'un réseau de chaleur.

En fin de vie la PAC doit être démantelée par un professionnel habilité à la manipulation des fluides frigorigènes afin que ce dernier récupère ce fluide pour le recycler ou le détruire.

En ce qui concerne les équipements enterrés, ils possèdent une durée de vie bien supérieure à celle d'une PAC, à condition qu'ils aient été bien conçus et bien réalisés. Ils peuvent donc être conservés lors du remplacement de la PAC. Lorsque la question de la fin de vie des puits ou des sondes se pose, il incombe au propriétaire de mandater un professionnel qualifié pour qu'il réalise la vidange des sondes qui contiennent de l'eau glycolée, ainsi que le démantèlement ou la neutralisation des équipements enterrés.

Récupération d'énergie sur eaux usées

La **récupération de la chaleur des eaux usées** (cloacothermie) pour la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire est un scénario à étudier dans le cadre d'une nouvelle ZAC. Etant donné la température moyenne des eaux usées des égouts (environ 15°C) et leur faible variation de température durant l'année, cette énergie disponible peut être exploitée par le biais d'une **pompe à chaleur qui récupère les calories du réseau**.

L'énergie peut être récupérée depuis :

- des stations d'épuration (STEP)
- des collecteurs du réseau d'assainissement



Source : lemoniteur.fr

Plusieurs conditions techniques doivent être vérifiées afin d'envisager une potentielle récupération d'énergie sur eaux usées :

Paramètres	Conditions
Diamètre tronçon	> 800 mm (entre 500 et 800 mm une mesure de débit doit être réalisée)
Débit	> 12 l/s permanent et continu
Tronçon rectiligne	> 20 ml
Distance logement / source	< 300 ml
Consommation de chaleur utile	> 800 MWh/an
Température réseau de chauffage	basse température < 65°C

Sources : Lyonnaise des eaux système *Degrés Bleus* – Véolia solution système *Energido*

Dans le cadre du projet de la ZAC Las Fonces, **cette solution n'est pas envisageable** car le diamètre maximal du collecteur est de 300 mm (voir Annexe 2 : plan des réseaux d'assainissement de la ZAC – phase 2). **Le débit permanent ne permettrait pas la rentabilité du système.**

Nous avons contacté VEOLIA qui nous a confirmé que la récupération d'énergie sur eaux usées était plus adaptée « aux projets d'habitat collectif dense, de centres commerciaux ou d'équipements publics gros consommateurs comme les piscines / centres aquatiques » plutôt qu'aux ZAC constituées de petits collectifs et de maisons individuelles telles que Las Fonces.

Nous n'étudierons donc pas davantage cette solution.

Solution alternative pour la production d'eau chaude sanitaire à l'échelle du bâtiment

Il reste cependant possible de récupérer l'énergie sur les eaux usées à l'échelle du bâtiment, pour la production d'eau chaude sanitaire seule : on parle dans ce cas de **récupération d'énergie thermique sur les eaux grises** (eaux ménagères).

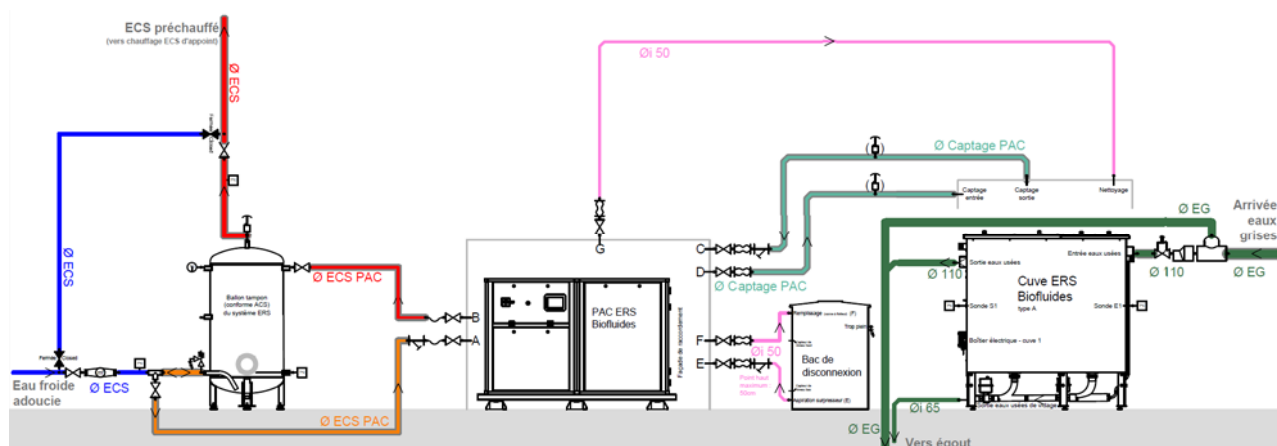
Le système ERS de Biofluides récupère les calories des *eaux grises* par le biais d'une cuve d'échange, et d'une PAC dont le COP est de 4, hors réchauffage de la boucle.

Nous avons contacté le fabricant qui nous a précisé que le nombre minimal de logements pour la mise en œuvre de cet équipement est de 15. Cependant, au vu de l'investissement qu'il représente, il est plus adapté à des bâtiments de grande ampleur : 4500 €/HT/lgt pour un bâtiment de 20 T3 contre 650 €/HT/lgt pour un bâtiment de 360 T1.

L'entretien de ce système reste limité étant donné que **la cuve est autonettoyante**. Cet avantage amène cependant une contrainte car en cas d'implantation en sous-sol, des **pompes de relevage** spéciales boues sont nécessaires pour la vidange automatique journalière de la cuve. Il faut tout de même noter qu'en cas de panne de cette pompe, l'évacuation des EU du bâtiment ne se voit pas interrompue, et le télé-suivi alerte l'exploitant qui peut intervenir en suivant.

Un inconvénient supplémentaire de ce système est que les **chutes et collecteurs d'eaux grises et d'eaux vannes doivent être séparés** dans le bâtiment car ce système récupère, pour l'instant, uniquement les calories des eaux grises.

Nous ne simulerons cependant pas cette solution car elle n'est pas adaptée à l'échelle des bâtiments étudiés.



Principe de fonctionnement de l'ERS de Biofluides

2.4 ETUDE COMPARATIVE QUANTITATIVE ET QUALITATIVE

Le présent chapitre a pour objet d'étudier de façon comparative les consommations de deux typologies de bâtiments présents sur la ZAC :

- **1 lot de bâtiments collectifs (habitat intermédiaire et collectif)**
- **1 maison individuelle (habitat groupé)**

Pour ce faire nous avons pris pour base les bâtiments étudiés dans le chapitre 1 du présent document :

DESCRIPTION	Nb de logements	Surface RT	SHON
<i>Unité</i>	-	<i>m²</i>	<i>m²</i>
Habitat Collectif	20	1 525	1 694
Habitat intermédiaire (x3)	5 x 3	5 x 294	1 633
LOT - COLLECTIF	35	2 995	3 328
MAISON INDIVIDUELLE	1	101	112

Afin d'apprécier l'impact énergétique des différents bâtiments types, nous avons estimé les éléments suivants :

- Besoins de chaleur pour le chauffage
- Besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire

L'objectif de ce chapitre étant notamment de déterminer l'impact financier des différentes solutions, **les besoins et consommations ne seront pas estimés par le biais du moteur de calcul de la RT2012**, dont les résultats peuvent être **éloignées des consommations réelles**, mais à partir de **ratios issus de l'expérience** d'ATMosphères dans le domaine du suivi d'exploitation, ainsi que **d'études référentes** de la profession (AMORCE, GDF, ENERTECH).

La saison hivernale 2008/2009 a été prise comme référence car elle est très proche des moyennes trentenaires de la période 1970-2000. Pour mémoire, le DJU (Degré Jour Unifié) quantifie la rigueur hivernale. Il correspond à l'écart, sur la période de chauffe, entre 18°C (température extérieure à laquelle on considère ne plus avoir besoin de chauffer les bâtiments, du fait des apports solaires notamment) et la température extérieure moyenne du jour.

2.4.1 Estimation des besoins en chauffage et ECS

Les tableaux ci-après présentent la répartition des besoins de chaleur par type de bâtiment :

DESCRIPTION	NB LOGEMENTS	SHON	Surface RT	VOLUME	PUISSANCE CHAUFFAGE	PUISSANCE ECS	PUISSANCE TOTALE	CONSO ECS	BESOINS CHALEUR ECS	BESOINS CHALEUR CHAUFFAGE	BESOINS CHALEUR TOTAL
<i>Unité</i>	-	<i>m²</i>	<i>m²</i>	<i>m³</i>	<i>kW</i>	<i>kW</i>	<i>kW</i>	<i>m³</i>	<i>MWh</i>	<i>MWh</i>	<i>MWh</i>
Habitat Collectif	20	1 694	1 525	3 813	38	30	68	600	48	51	99
Habitat intermédiaire	15	1 633	1 470	3 675	37	23	59	450	36	49	85
LOT - COLLECTIF	35	3 328	2 995	7 488	75	53	127	1 050	84	100	184
MAISON INDIVIDUELLE	1	112	101	253	3	2	4	30	2	3	5

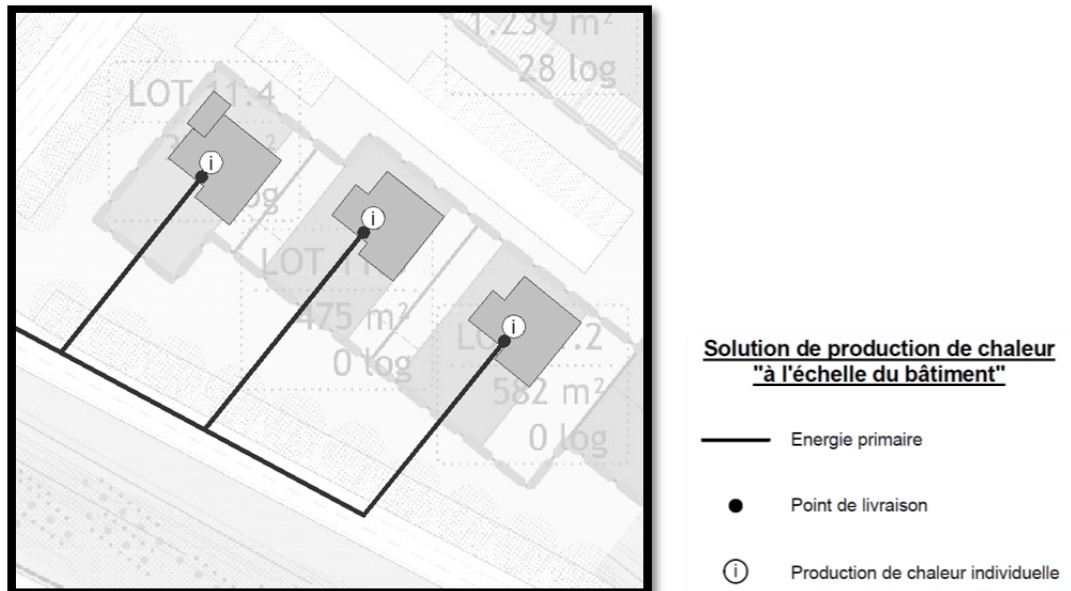
Hypothèses de calcul :

Période de chauffe	11/10 - 24/05	<i>jours</i>	<i>hiver standard Toulouse 2008/2009</i>
DJU de base	1987	<i>°C x J</i>	<i>hiver standard Toulouse 2008/2009</i>
T ext de base (°C)	-5	<i>°C</i>	<i>base sur Toulouse</i>
coef Sdp/ Shon logts	0,9	-	<i>estimation Atmosphères</i>
ratio P ECS Logts	1,5	<i>kW/logt</i>	<i>système semi accu pour 50 logts selon outil GDF</i>
ratio P chauffage Logts	25	<i>W/m²</i>	<i>estimation Atmosphères</i>
ratio conso ECS Logts	30	<i>m³/logt.an</i>	<i>expérience Atmosphères - Vivier, Cassiopée</i>
q ECS collectif	80	<i>kWh utile/m³</i>	<i>expérience Atmosphères - réseau de chaleur</i>
q ECS maison	67	<i>kWh utile/m³</i>	<i>besoins utiles + Pertes liées à la distribution terminale</i>
ratio conso chauffage Logts	30	<i>kWh/m²SHON</i>	<i>étude AMORCE RT2012 - solution gaz collectif ep =chaleur</i>

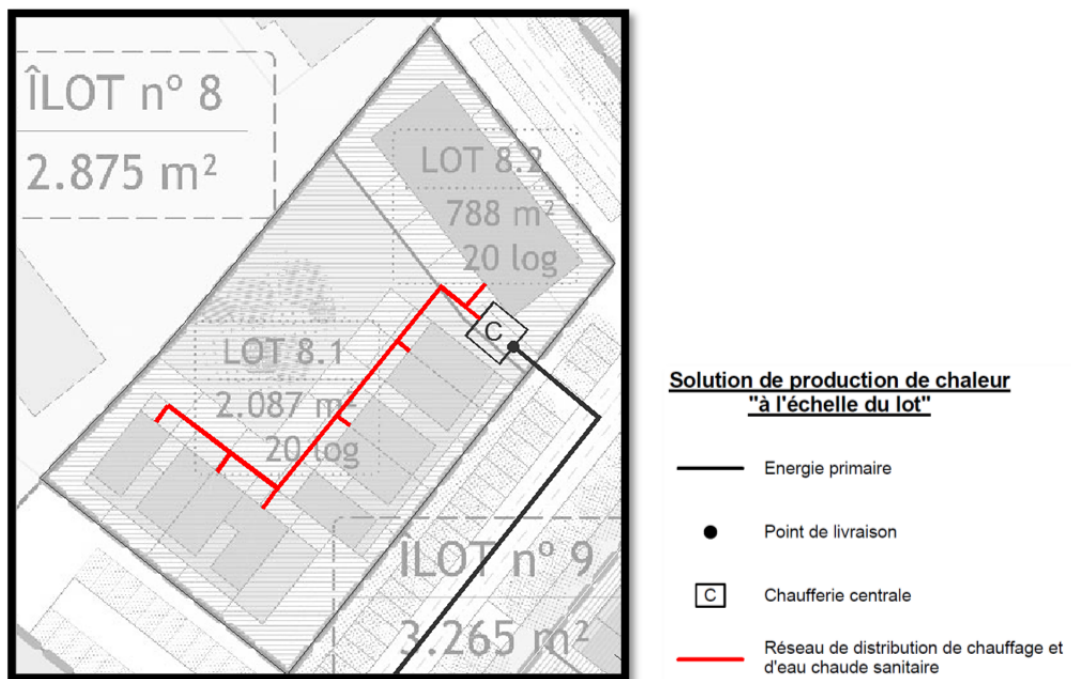
2.4.2 Solutions énergétiques adaptées

Les solutions énergétiques adaptées à chaque type d'habitat sont :

- Les **solutions individuelles** (« à l'échelle du bâtiment ») pour les Maisons individuelles : chaque logement se dote de son propre système de production de chaleur pour les besoins de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire



- Les **solutions collectives** (« à l'échelle du lot ») pour les lots regroupant plusieurs types d'habitat, telles qu'illustrées dans l'exemple ci-dessous : chaque lot se dote de son propre système de production de chaleur pour les besoins de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire. Celui-ci dessert les différentes typologies de logement de l'ilot



Chacun des scenarii est associé à différentes solutions techniques. Pour l'étude, nous avons retenu les solutions suivantes :

- **chaudière gaz** et installation **solaire thermique** pour la production d'eau chaude sanitaire
- **pompe à chaleur (PAC)** électrique double service sur champs de **sondes géothermiques verticales**

Comme vu précédemment, les solutions de récupération d'énergie sur les eaux usées de la ZAC ne sont pas adaptées à ce projet. Cette solution n'est donc pas présentée dans la suite du rapport.

Dans le cadre de certains projets de bâtiments collectifs la performance du bâti est telle que les contraintes de la RT2012 en matière de consommations maximales sont respectées sans avoir à utiliser d'énergie renouvelable. Ainsi nous comparerons les deux solutions techniques ENR à la solution de base suivante :

- **chaudière gaz** pour la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire

Nous présenterons également cette solution technique dans l'individuel, **dans un but purement informatif** car **cette solution n'est pas réglementaire** étant donné que **la RT2012 impose le recours aux énergies renouvelable pour les maisons individuelles**.

Scenario	Typologie de logement	Solution de production de chaleur	Chauffage		Production d'ECS	
			Base	Appoint	Base	Appoint
A L'ECHELLE DU BATIMENT	HABITAT GROUPE (maison de ville)	gaz condensation + ecs solaire	chaudière gaz à condensation		Solaire individuel ou collectif	chaudière gaz à condensation
		PAC élec géothermique double service	PAC élec géothermique haute température	résistance électrique	PAC élec géothermique haute température	résistance électrique
		gaz condensation	chaudière gaz à condensation		chaudière gaz à condensation	
A L'ECHELLE DU LOT	HABITAT COLLECTIF INTERMEDIAIRE	gaz condensation + ecs solaire	chaudière gaz à condensation		Solaire individuel ou collectif	chaudière gaz à condensation
		PAC élec géothermique double service + gaz	PAC élec géothermique haute température	chaudière gaz	PAC élec géothermique haute température	chaudière gaz
		gaz condensation	chaudière gaz à condensation		chaudière gaz à condensation	

En ce qui concerne la géothermie, comme vu précédemment la solution de puisage nécessite de réaliser au préalable des **forages exploratoires** pour valider le débit d'eau soutirable, qui à l'issu peuvent conduire à l'**abandon** de cette solution. De plus, les impacts sur les nappes, ne sont pas précisément connus aujourd'hui.

Ce sont notamment ces raisons, ajoutées au fait que les ilots étudiés présentent des surfaces libres de terrain importantes, permettant l'implantation de champs de sondes, qui ont motivé le choix d'étudier les **sondes géothermiques verticales** dans cette étude.

Quant au choix des PAC étudiées, le choix des **PAC électriques** a été fait car ces dernières sont les plus répandues, cependant il existe également des **PAC gaz à absorption** qui auraient pu convenir aux projets étudiés.

2.4.2.1 Indicateurs environnementaux

Tableau des résultats

Scenario	Typologie de logement	Solution de production de chaleur	Nb de logts	Part ENR	Evaluation du contenu CO2 de la production de chaleur	consommation d'énergie primaire / logt	Possibilité de rafraichissement d'été par free-cooling
				%	g CO2/ kWh u	MWh ep/an.logt	
A L'ECHELLE DU BATIMENT	HABITAT GROUPE (maison de ville)	gaz condensation + ecs solaire	1	20%	192	4,9	non
		PAC élec géothermique double service	1	71%	39	4,0	oui
		gaz condensation	1	0%	239	6,1	non
A L'ECHELLE DU LOT	HABITAT COLLECTIF INTERMEDIAIRE	gaz condensation + ecs solaire	35	24%	204	5,1	non
		PAC élec géothermique double service + gaz	35	58%	81	4,6	oui
		gaz condensation	35	0%	280	7,0	non

Hypothèses de calcul :

Gaz naturel

désignation équipement	Rdt distribution	Rdt production	PCI/PCS	Rdt global
chaudière gaz à condensation	95%	98%	90%	84%
stockage ECS solaire + appoint gaz	95%	166,67%	90%	143%

Taux de couverture solaire = 53% = production solaire / (production solaire + appoint ECS gaz)

Rendement de stockage = 80% - cf justificatif méthode 3CL

taux de rejet de CO2

gaz naturel	234	gCO2/kWh PCI
chauffage électrique	180	gCO2/kWh PCI
production d'ECS électrique	40	gCO2/kWh PCI

facteur d'énergie primaire

gaz naturel	1	selon RT2012
électricité	2,58	

La Part d'ENR

La part d'**ENR** correspond selon les solutions techniques : à l'**énergie solaire** ou à l'**énergie récupérée dans le sous-sol** pour la géothermie. Ce taux représente la quantité d'ENR produite par rapport à la quantité d'énergie totale produite en sortie de chaufferie (ENR + appoint ECS + chauffage).

Les solutions **gaz-solaire** représentent les plus **faibles taux d'ENR**, le solaire ne couvrant qu'une partie des besoins d'ECS.

Les solutions **PAC géothermiques** se situent entre **58 et 71%** selon le scénario. L'écart provient du fait que pour le scénario à l'échelle du lot, un appoint gaz est prévu étant donné qu'investir dans une PAC couvrant 100% des besoins représenterait un investissement trop important. Ainsi, la puissance de la PAC est prise égale à 60% de la puissance maximale nécessaire, afin de couvrir 80% des besoins.

Rejet CO2 par unité de chaleur produite

Le contenu CO2 **pénalise les installations utilisant le gaz naturel**. L'électricité ayant un taux d'émissions de CO2 plus faible.

Il est utilisé pour le calcul du DPE.

Ainsi la comparaison des 2 solutions ENR à la solution gaz seule permet d'apprécier les gains réalisés sur les émissions de gaz à effet de serre.

Consommation d'énergie primaire

Ce calcul intéresse les calculs réglementaires (RT 2012, DPE). Seule l'électricité est impactée par un **coefficient de 2,58** entre énergie finale (celle que l'on paye au compteur) et énergie primaire (énergie puisée dans les ressources naturelles). Ce coefficient correspond au rendement global du réseau d'électricité en France. Le gaz naturel a un coefficient égal à 1.

Le ratio est présenté par logement.

Rafrâichissement en été par free-cooling

Les installations avec PAC géothermique peuvent permettre de **rafraichir** les locaux en période chaude, uniquement par échange entre l'eau du circuit de chauffage et l'eau provenant du sous-sol. Seuls les auxiliaires de pompage génèrent une faible consommation d'électricité.

2.4.2.2 Indicateurs techniques

Tableau des résultats

Scenario	Typologie de logement	Solution de production de chaleur	Nb de logts	Nombre de logts / unité de production de chaleur	Complexité de conception, de mise en œuvre, de maintenance	Métré de tranché réseaux CHF+ECS enterrés / logt	Métré de capteurs verticaux / logt	Quantité de sondes verticales (SGV de 50ml Maisons Indiv ou 130 ml Autres)	Emprise aux sols du champ de capteurs verticaux / installation	Puissance prélevée dans le sous-sol / installation
				-	-	ml	ml	-	m ²	kW
A L'ECHELLE DU BATIMENT	HABITAT GROUPE (maison de ville)	gaz condensation + ecs solaire	1	1	++	0	SO	SO	SO	SO
		PAC élec géothermique double service	1	1	++	0	50	1	-	2
		gaz condensation	1	1	+	0	SO	SO	SO	SO
A L'ECHELLE DU LOT	HABITAT COLLECTIF INTERMEDIAIRE	gaz condensation + ecs solaire	35	35	+++	2,3	SO	SO	SO	SO
		PAC élec géothermique double service + gaz	35	35	+++	2,3	45	12	942	57
		gaz condensation	35	35	++	2,3	SO	SO	SO	SO

Nombre de logements par unité de production

On note que les solutions collectives présentent un ratio 35 logements par unité de production de chaleur. L'**investissement** est donc **mutualisé**.

Contraintes techniques

Comme déjà évoqué, les installations faisant appel aux ENR nécessitent une attention particulière lors de la conception, de la réalisation, et de l'exploitation. Il en est de même pour l'ensemble des installations de productions collectives, même si c'est à moindre échelle pour les solutions sans spécificité technique (chaufferie gaz).

Pour les installations individuelles il existe des kits sur le marché. Bien que la vérification de leur dimensionnement soit nécessaire, leur conception et mise en œuvre en sont simplifiées.

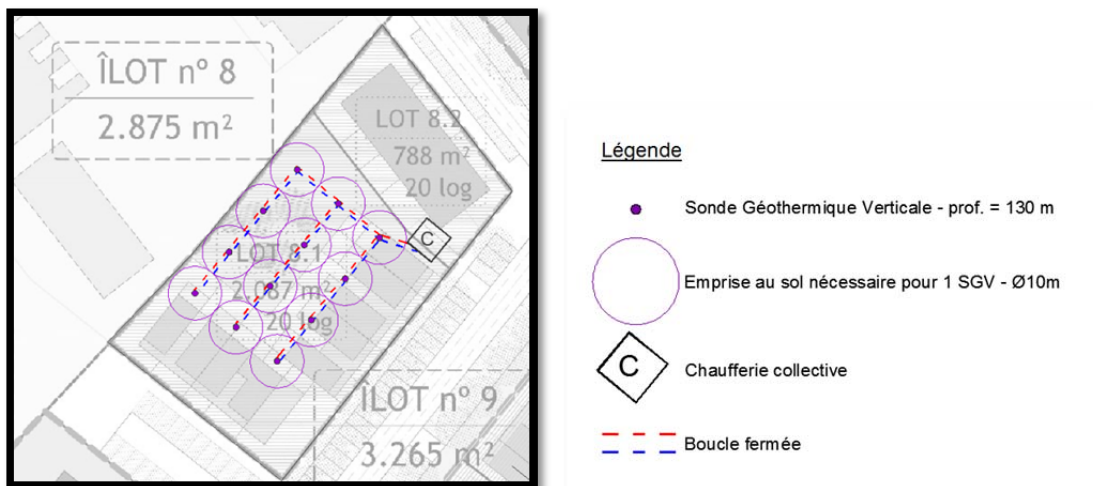
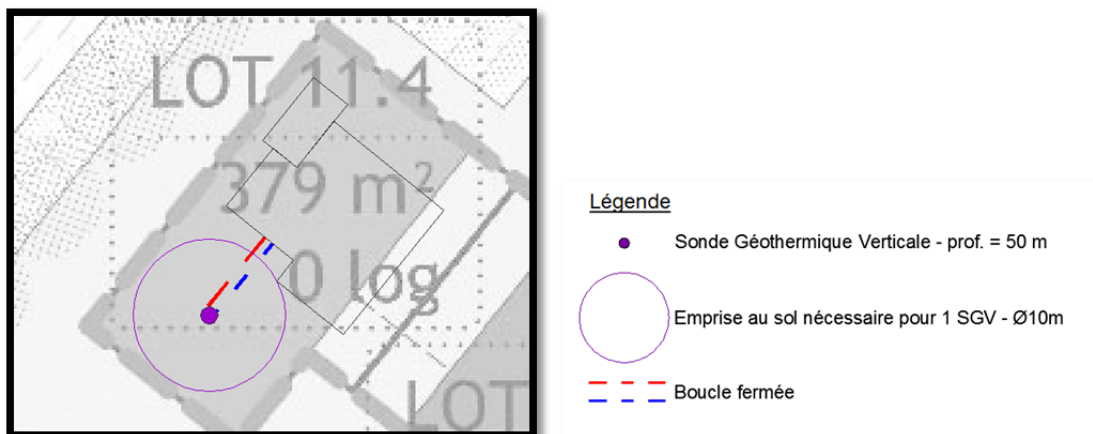
Métré de réseau de chauffage et ECS enterré

En moyenne, il y a 2,3 ml de réseau (tranchée) par logement pour distribuer à l'intérieur du lot le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

Géothermie

Quantité de capteurs verticaux par logement

On constate qu'en moyenne un logement nécessite 45 à 50 ml de capteur vertical.

Emprise au sol par installationA l'échelle du lot : Implantation du champ de SGVA l'échelle de la maison individuelle : Implantation d'une SGV

Dans le cadre d'une ZAC, il apparaît pertinent de programmer la réalisation d'un **test de réponse thermique (TRT)** qui servira de base de données aux futurs constructeurs. Celui-ci comporte :

- 1 **forage** de 120 m (par exemple) équipé d'une sonde PEHD standard (forage récupérable pour un projet sur la parcelle)
- 1 ensemble de **mesures** pendant 3 jours environ à l'aide d'une instrumentation spécifique, de la réponse du sous-sol à un stress thermique
- 1 **rapport** de TRT donnant les caractéristiques thermiques du sous-sol (conductivité, coupe lithologique,...) et les recommandations en matière de puissance extractible
- en complément 1 **simulation numérique** sur 25 ans fonction des charges thermiques types sur 1 année (hypothèses à fournir par le Maître d'Ouvrage), simulation qui permet d'optimiser la longueur totale de forage nécessaire, leur implantation, les températures disponibles au niveau des sondes pour le fonctionnement de la PAC (lois d'eau), ainsi que le bilan énergétique année par année (énergie fournie ou extraite / énergie électrique consommée)

Ce type de test peut être estimé à 15 k€ HT en première approche, sachant que **le forage sera récupérable** pour tout futur projet sur la parcelle.

2.4.2.3 Indicateurs économiques

Tableau des résultats

Scenario	Typologie de logement	Solution de production de chaleur	Nb de logts	coût d'investissement / logt	coût des intérêts de financement de l'investissement / logt	coût d'énergie / logt	coût de maintenance / logt	coût de gros entretien renouvellement / logt	Coût moyen du MWh utile sur 20 ans	Facture Totale par an (Part Loyer+Charges) / logt
				€HT	€HT	€/HT/an	€/HT/an	€/HT/an	€/HT/MWh	€/HT/an
A L'ECHELLE DU BATIMENT	HABITAT GROUPE (maison de ville)	gaz condensation + ecs solaire	1	8 500	3 461	415	165	170	299	1 607
		PAC élec géothermique double service	1	11 000	4 479	172	110	220	281	1 510
		gaz condensation	1	6 500	2 647	501	138	130	278	1 489
A L'ECHELLE DU LOT	HABITAT COLLECTIF INTERMEDIAIRE	gaz condensation + ecs solaire	35	4 906	1 998	272	110	98	204	1 074
		PAC élec géothermique double service + gaz	35	6 021	2 452	221	110	120	209	1 100
		gaz condensation	35	3 906	1 591	349	83	78	203	1 068

Le calcul du coût du MWh utile (c'est-à-dire la consommation de chaleur en sortie de production) sur 20 ans est établi en tenant compte :

- Des prix des énergies au 01/01/2015,
- D'un financement de l'investissement selon un taux d'intérêt de 3,5% fixe sur 20 ans,
- D'hypothèses de révision des prix (selon évolutions constatées sur les 10 dernières années), soit :
 - Gaz naturel : 5% par an,
 - Electricité : 5% par an (hypothèses tenant compte des incidences de la loi NOME supprimant les tarifs jaune et vert fin 2015, et induisant une hausse évaluée entre 5 et 10 % par an),
 - Maintenance : 2,5% par an,
 - Gros entretien renouvellement : 3,5% par an.

De plus nous avons calculé la **facture moyenne annuelle pour 1 logement**.

Il faut noter que **nos calculs ne tiennent pas compte d'aides à l'investissement**. Les solutions favorisant l'utilisation d'ENR sont éligibles aux aides de la Région, du Fonds Chaleur (ADEME) et du FEDER (notamment dans un cadre innovant).

Investissement par logement

On note que les **solutions collectives sont plus compétitives que les solutions individuelles**.

Quant à la technologie, **la chaudière gaz + ECS solaire nécessite l'investissement le moins élevé**.

Le faible coût d'investissement des solutions collectives pour les projets envisagés dans cette étude peut notamment être justifié par le fait que pour le lot étudié, le métré de réseaux entre bâtiments et chaufferie est très faible au vu de sa configuration. Sur des lots plus vastes avec une densité de construction inférieure, l'investissement serait plus conséquent.

Energie par logement

La solution **PAC** géothermique en individuel reste la plus **performante**.

Maintenance par logement

La solution **gaz-solaire** en **individuel** est la plus **onéreuse**.

GER par logement

On peut mettre en parallèle le coût du GER et le coût d'investissement initial, les deux étant liés.

MWh utile et Facture totale par logement

Ces coûts représentent le coût global de l'installation.

On note que les **coûts** du scénario réalisé à l'échelle du lot, traité par une solution mutualisée, sont **moins élevés** que ceux de la maison individuelle.

Les **coûts** sont à l'intérieur de chaque scénario sont **quasiment similaires** : cette étude montre qu'en coût global, les solutions avec et sans ENR conduisent à une facture totale très proche sur 20 ans.

L'argument qui peut cependant être cité **en faveur des ENR** est l'**incertitude qui règne sur l'évolution des tarifs des énergies** (gaz, électricité), qui peut motiver l'utilisation des énergies renouvelables qui elles ne seront pas impactées d'un point de vu financier.

2.4.2.4 Indicateurs opérationnels

Les seules contraintes réglementaires des solutions étudiées sont les **procédures administratives** liées à la **géothermie**.

Les éléments qui suivent son majoritairement issus du site www.géothermie-perspectives.fr.

La réglementation relative à la géothermie est en cours de modification

Les changements envisagés sont importants et, dans cette période charnière (réorganisation des services de l'Etat), il est recommandé aux maîtres d'ouvrage de se rapprocher des services locaux (départementaux et régionaux) en charge de l'instruction des dossiers de déclaration et d'autorisation : **DDT** et **DREAL**.

Prescriptions du Code de l'Environnement

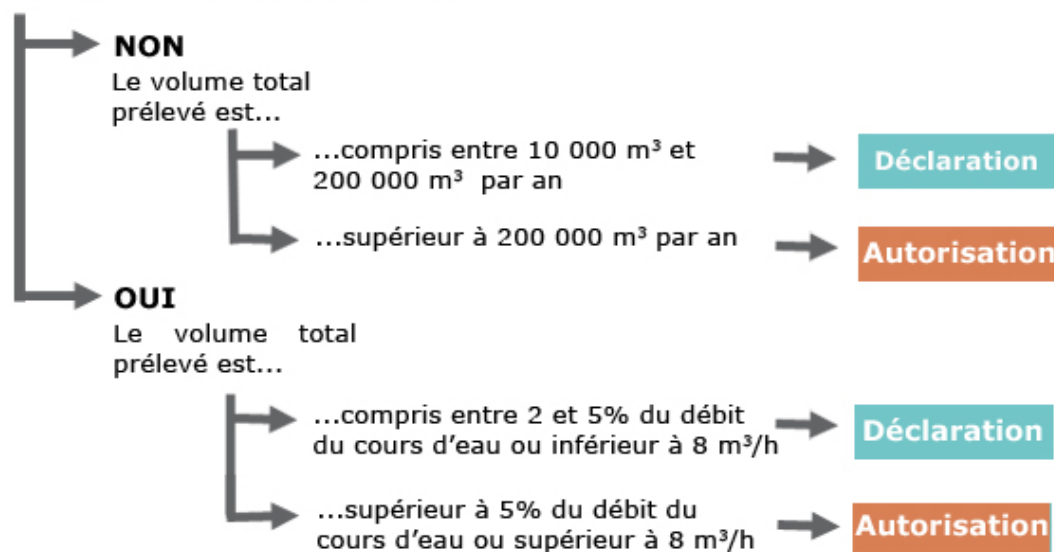
Les déclarations et demandes d'autorisation au titre d'un usage non domestique de l'eau doivent se faire auprès des services en charge de la Police de l'Eau. Selon les régions, ces services sont les **DDT** (Directions Départementales du Territoire) ou les **DREAL** (Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement).

Nous avons interrogé le BRGM concernant le seuil de 8 m³/h en Zone de Répartition des Eaux (ZRE) dont Villeneuve-Tolosane fait partie, qui engendrerait une procédure d'autorisation (voir schéma page suivante) très lourde à mettre en œuvre. Cela correspond à une puissance prélevée dans la nappe de 46 kW, ce qui est très faible.

Nous avons reçu la réponse suivante de la DR Midi-Pyrénées : « S'agissant d'une réinjection de l'eau dans la même nappe, il n'y a pas de prélèvement à proprement parler et les limitations des ZRE ne s'appliquent pas. Par contre, la limite de 80 m³/h en réinjection reste valable. Par ailleurs, et afin d'éviter des conflits d'usage de l'eau, il importe d'établir un dossier Loi sur l'Eau pour une opération de géothermie afin d'être couvert officiellement par l'administration. »

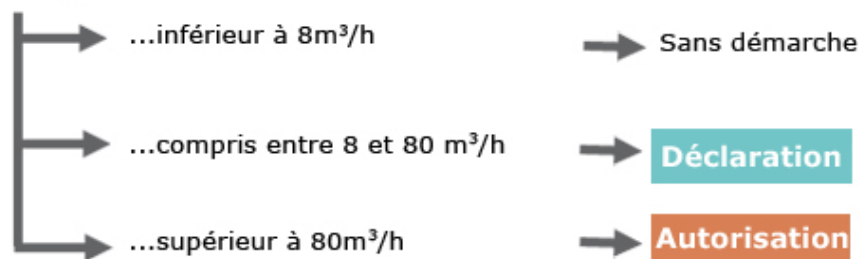
Prélèvement

Le prélèvement a lieu dans une
zone de répartition des eaux ?
Article R211-71 du code de l'Environnement



Réinjection

Le volume total réinjecté est...



Le nouveau cadre réglementaire de la géothermie de minime importance

Conformément au décret n°2015-15 du 8 janvier 2015, il est prévu que pour les activités et installations relevant de la géothermie de minime importance :

- une **déclaration** soit établie conformément à l'article 22-2 du décret n°2006-649 du 2 juin 2006 modifié ;
- la **carte** des zones relatives à la géothermie de minime importance soit prise en considération lors du choix de la localisation du forage d'un échangeur géothermique;

- l'ouvrage géothermique soit mis en œuvre, par une **entreprise de forage qualifiée**, selon l'arrêté des prescriptions générales prévu par l'article 22-5 du décret n°2006-649 du 2 juin 2006 modifié ;
- sur les **zones orange**, un **expert** agréé atteste de la compatibilité du projet aux regards des intérêts du code minier notamment la préservation de la solidité des édifices publics et privés et de la ressource en eau.

Les critères de la géothermie de minime importance (GMI) sont fixés au décret n°78-498 du 28 mars 1978 modifié par le décret n°2015-15 du 8 janvier 2015. A savoir,

« Il - Pour l'application de l'article L. 112-3 du code minier, sont considérées comme des exploitations de gîtes géothermiques à basse température relevant du régime de la minime importance les activités géothermiques ci-après :

1° Pour les activités ne recourant qu'à des échangeurs géothermiques fermés, celles qui remplissent les conditions suivantes :

a) La profondeur du forage est inférieure à 200 mètres ;

b) La puissance thermique maximale prélevée du sous-sol et utilisée pour l'ensemble de l'installation est inférieure à 500 kW ;

2° Pour les activités recourant au moins à un échangeur géothermique ouvert, celles qui remplissent les conditions suivantes :

a) La température de l'eau prélevée en sortie des ouvrages de prélèvement est inférieure à 25° C ;

b) La profondeur du forage est inférieure à 200 mètres ;

c) La puissance thermique maximale prélevée du sous-sol et utilisée pour l'ensemble de l'installation est inférieure à 500 kW ;

d) Les eaux prélevées sont réinjectées dans le même aquifère et la différence entre les volumes d'eaux prélevés et réinjectés est nulle ;

e) Les débits prélevés ou réinjectés sont inférieurs au seuil d'autorisation fixé à la rubrique 5.1.1.0 de l'article R. 214-1 du code de l'environnement.

Toutefois, les activités mentionnées aux 1° et 2° ne relèvent pas de la minime importance lorsqu'elles sont situées dans des zones rouges, où les activités géothermiques présentent des dangers ou inconvénients graves, définies à l'article 22-6 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains. »

D'autres prescriptions locales, non spécifiques à la géothermie de très basse température, peuvent s'appliquer : la réglementation relative à la préservation de la ressource en eau potable et de la qualité des nappes souterraines, la réglementation relative aux enjeux du sol et sous-sol (sols pollués, stockage de gaz et hydrocarbures, mouvement de terrain, ...).

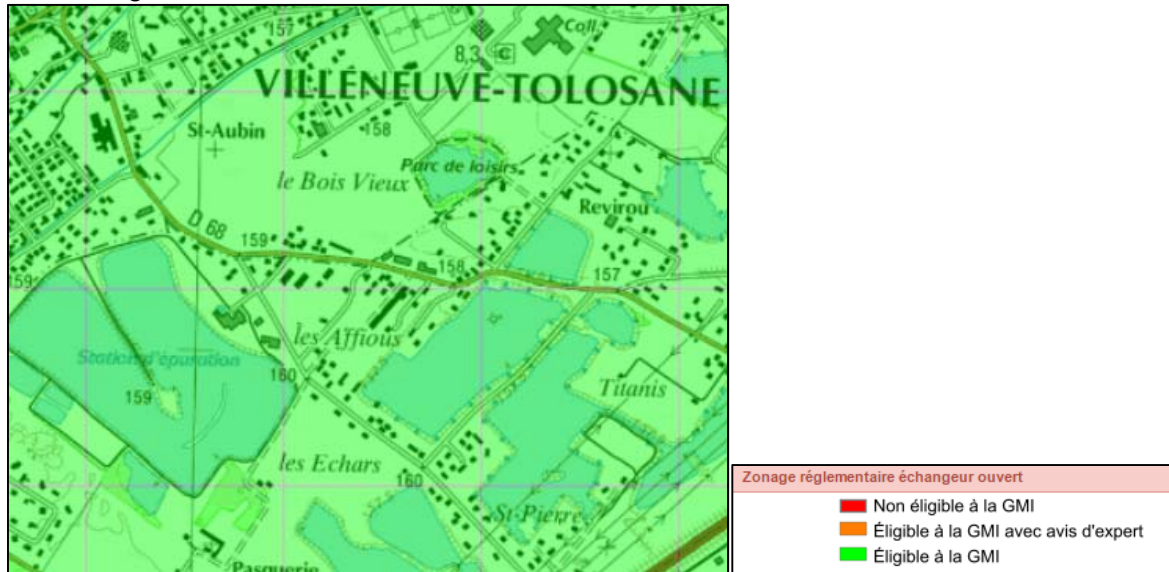
Voir également :

L'arrêté du 25 juin 2015 des prescriptions générales relatives à la géothermie de minime importance ;

L'arrêté du 25 juin 2015 relatif à la qualification des entreprises de forage intervenant en matière de géothermie de minime importance.

Les cartes suivantes issues du site internet géothermie-perspective.fr permettent de vérifier l'éligibilité de la ZAC à la GMI :

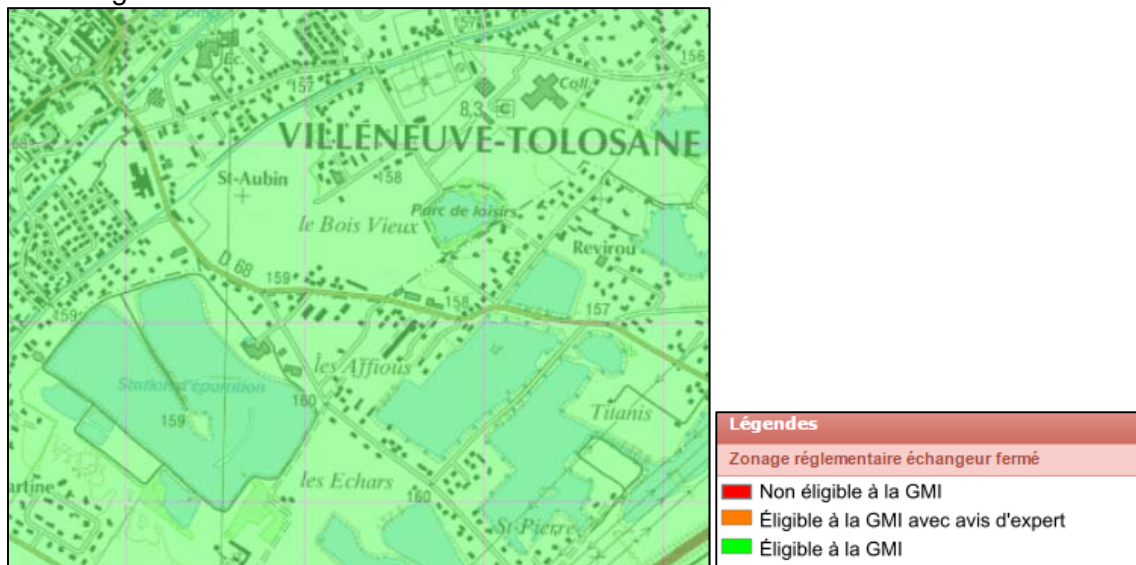
- Echangeurs ouverts :



Source : <http://www.geothermie-perspectives.fr/cartographie>

ZAC LAS FONSES → ELIGIBLE

- Echangeurs fermés :



source : <http://www.geothermie-perspectives.fr/cartographie>

ZAC LAS FONSES → ELIGIBLE

2.4.2.5 Engagement et suivi de résultats

Il faut noter que les **coûts d'exploitation** ont un **fort impact financier**, et l'atteinte des résultats ou des objectifs initiaux dépend fortement de la performance de l'exploitation.

Dans le cas d'installations collectives, un des moyens permettant le contrôle de la performance de l'exploitation est la mise en place d'un **suivi des consommations** par un Assistant à Maîtrise d'Ouvrage. Ce dernier est notamment missionné pour suivre les consommations calculées à partir des index des différents compteurs envoyés régulièrement par l'exploitant. La présence d'un télésuivi permet d'aller plus loin dans la démarche et de contrôler à distance le fonctionnement des installations grâce à des sondes de température et grâce à la télérelève des index. Ainsi, la mise en place d'un suivi régulier permet **d'alerter le client et l'exploitant en cas de dérive**.

De plus, la mise en place d'un **contrat d'exploitation avec intéressement** permet de rendre les objectifs de consommations contractuels, et d'encourager l'exploitant à les respecter : ce dernier est intéressé financièrement s'il réalise des économies d'énergie et pénalisé si les consommations sont excédentaires.

Il est également possible de recourir aux contrats **REM** Réalisation Exploitation Maintenance ou **CREM** Conception Réalisation Exploitation Maintenance (définis par le Code des Marchés Publics) qui sont des **contrats globaux** permettant de fixer des objectifs de résultats, vérifiés en phase d'exploitation.

Dans le cas des **installations individuelles**, la **vérification des performances reste plus complexe**. L'occupant peut réaliser lui-même le suivi de ses consommations grâce aux compteurs dont il dispose, cependant la mise en place d'un suivi par un AMO serait trop onéreuse pour que cette pratique soit généralisée. La sensibilisation des occupants reste la solution la plus adaptée à l'individuel. De plus, **les installations individuelles ne permettent pas de garantir contractuellement les résultats**.

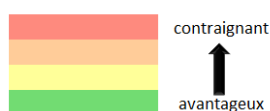
Ces constats nous conduisent à l'importance de la mise en place d'une **démarche qualité**, par les Maîtres d'Ouvrage, visant à réduire le risque de non atteinte des objectifs, par le biais d'actions expertes définies par une tierce partie : il s'agit du **commissionnement**. L'accompagnement du Maître d'Ouvrage tout au long de l'opération de conception, de construction et, au moins, durant la première année de parfait achèvement, est indispensable, notamment pour **fixer les exigences s'imposant aux différents acteurs, assurer la transition entre les différentes phases du projet et les intervenants correspondants, et contrôler le respect des objectifs initiaux**.

2.4.3 Conclusions de l'étude comparative des installations techniques

Tableau de synthèse

Scénario	Typologie de logement	Solution de production de chaleur	Indicateurs environnementaux	Indicateurs techniques	Indicateurs économiques	Procédure administrative	Suivi de résultats
A L'ECHELLE DU BATIMENT	HABITAT GROUPE (maison de ville)	gaz condensation + ecs solaire					
		PAC élec géothermique double service					
		gaz condensation					
A L'ECHELLE DU LOT	HABITAT COLLECTIF INTERMEDIAIRE	gaz condensation + ecs solaire					
		PAC élec géothermique double service + gaz					
		gaz condensation					

Légende



Les études des scénarii montrent que, lorsque le choix se présente, **les installations collectives sont à privilégier** pour assurer les besoins de chauffage et de production d'ECS, en termes d'impacts environnementaux et économiques. De plus cette solution permet de favoriser l'atteinte des objectifs initiaux, et d'assurer un suivi des résultats dans le temps (contrat d'exploitation à engagement de résultat).

L'étude en coût global démontre que **le bilan financier sur 20 ans est quasiment équivalent entre les différents systèmes techniques.**

Cependant, **l'investissement pour la solution géothermique est plus important.** De ce fait, les Maîtres d'Ouvrages bailleurs privilégieront probablement la solution la moins coûteuse pour leurs locataires, quand les promoteurs revendant leurs logements choisiront l'investissement le moins lourd.

Au niveau technique, les deux solutions faisant appel aux ENR nécessitent une **conception et une mise en œuvre pointues.**

Quant à la **géothermie**, elle nécessite une **surface importante au sol**, mais ce point n'a pas été contraignant sur les projets étudiés au vu des surfaces disponibles sur les parcelles.

Les **procédures administratives** imposées par la géothermie peuvent paraître contraignantes aux yeux des promoteurs. Il faut cependant remarquer qu'elles ont été simplifiées par le nouveau cadre réglementaire.

En ce qui concerne les indicateurs environnementaux, l'impact en termes **d'émission de gaz à effet de serre** de la solution **géothermique** est bien **moins significatif** que celui du solaire thermique et de la solution de la chaudière gaz seule.

Ainsi l'étude montre que la **géothermie** est une **solution pertinente**, bien que rarement choisie par les constructeurs du fait de l'investissement initial et par méconnaissance de cette technique. L'aménageur doit donc nécessairement **promouvoir** cette solution auprès des futurs acquéreurs de la ZAC (étude préalable type TRT, réalisation d'un bâtiment témoin...) s'il souhaite le développement de cette technique sur la ZAC Las Fonces.

3 CONCLUSION

Le premier chapitre du présent rapport nous a démontré qu'atteindre l'**objectif ambitieux** d'un **Bbio** inférieur au Bbio max de la RT2012 à hauteur de 10 ou 20% était **réalisable sans surcoût démesuré, à condition de prendre en compte cet élément dès le démarrage du projet**.

Nous avons pu constater par la suite que les solutions **solaires thermiques** et **géothermiques** étaient tout à fait **pertinentes** dans le cadre de la ZAC Las Fonces.

Nous tenions cependant à insister sur le fait que nous avons déjà rencontré, dans le cadre de missions de calculs thermiques réglementaires, le cas de bâtiments collectifs **conformes à la RT2012** en matière de consommations (Cep), **sans avoir recours aux énergies renouvelables. En effet la RT2012 impose l'utilisation d'énergie renouvelable pour les maisons individuelles, mais pas pour les bâtiments collectifs.**

Une contrainte sur le Bbio imposée par le règlement de ZAC, ne garantit donc pas que l'ensemble des bâtiments fasse appel aux énergies renouvelables.

Le **respect d'objectifs** en termes de **consommations** dépend de nombreux facteurs.

Dès la conception, les **principes bioclimatiques** visant à diminuer les besoins intrinsèques du bâtiment et respecter le coefficient Bbio fixé par la RT ou par le règlement de ZAC doivent être intégrés au projet.

Le choix des **équipements techniques** les plus **pertinents** est lui aussi décisif ; notamment le recours aux **énergies renouvelables**.

Par la suite, en phase de réalisation des installations le **respect des règles de l'art** et des **préconisations** du Maître d'œuvre et des fabricants est indispensable au bon fonctionnement des équipements.

Une fois l'installation en fonctionnement, les **occupants** et **l'exploitant** ont également un rôle important à jouer pour que les objectifs de consommations soient atteints.

Ainsi le fait d'imposer un Bbio et un Cep ambitieux est indispensable, mais il est important de garder à l'esprit que les autres aspects évoqués ci-dessus sont déterminants pour atteindre ces objectifs initiaux une fois le bâtiment occupé.

4 ANNEXES

Annexe 1 : plan masse et phasage du projet



Annexe 2 : plan des réseaux d'assainissement de la ZAC – phase 2

