

Part de la géothermie dans le volet Energies Renouvelables du Schéma Régional Climat Air Energie de Midi-Pyrénées

Rapport final

BRGM/RP-60114-FR

Novembre 2011



Part de la géothermie dans le volet Energies Renouvelables du Schéma Régional Climat Air Energie de Midi- Pyrénées

Rapport final

BRGM/RP-60114-FR

Novembre 2011

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2010 10GTHB19

M. Bardeau, A. Poux, B. Monod

Vérificateur :

Nom : O Goyénèche

Date :

Signature :

Approbateur :

Nom : Philippe Roubichou

Date :

Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Mots clés : Géothermie, Midi-Pyrénées, aquifères alluviaux, aquifères des sables infra-molassiques, sonde géothermique

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Bardeau M., Poux A., Monod B., (2011) – Participation GEOTHERMIE à l'étude technique du volet Energies Renouvelables du Schéma Régional Climat Air Energie de Midi-Pyrénées – Rapport BRGM/RP-60114-FR, 174 p., 54 ill., 13 an.

© BRGM, 2011, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le Grenelle de l'Environnement prévoit de porter à au moins 23% la part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale de la France en 2020. Dans ce contexte, le Comité Opérationnel « énergies renouvelables » du Grenelle Environnement (COMOP 10) a proposé une multiplication par 5 de la production de chaleur géothermique (par pompes à chaleur géothermiques ou usage direct de la ressource géothermale) à l'horizon 2020, soit une contribution de 2 millions de tonnes équivalent pétrole (tep), représentant 10% de l'augmentation de la production d'énergie renouvelable à cet horizon.

Pour atteindre cet objectif, la loi portant engagement national pour l'environnement, dite « loi Grenelle 2 », du 12 juillet 2010, impose dans son article 68 la mise en place, au niveau régional, des SRCAE (Schémas Régionaux Climat Air Energie) dans lesquels s'inscrira un schéma régional des énergies renouvelables défini, par zones géographiques, sur la base des ressources potentielles des régions, et qui devra tenir compte des objectifs nationaux en matière de développement des énergies renouvelables.

Ainsi, l'élaboration d'un schéma régional de développement de la géothermie a pour objectif de déterminer la contribution de la région aux objectifs nationaux.

C'est dans ce contexte que la DREAL de Midi-Pyrénées a demandé au BRGM d'établir le volet géothermie du SRCAE de Midi-Pyrénées.

Ce projet a pour objectif, à partir des résultats obtenus par le BRGM lors de la réalisation de l'outil d'aide à la décision en matière de géothermie (cf. rapport BRGM RP-59880-FR), d'approfondir le potentiel de la filière géothermie. Il doit permettre de :

- définir le potentiel géothermique réellement exploitable en région Midi-Pyrénées,
- cibler les utilisateurs potentiels de géothermie d'ici 2020,
- définir un objectif qualitatif et quantitatif de développement de la filière géothermique en Midi-Pyrénées.

Les opérations de géothermie concernées par cette étude ont été choisies parmi les plus couramment employées par rapport aux ressources disponibles et à l'état des lieux dans la région. Il s'agit donc des doublets (un puits producteur et un puits injecteur) sur aquifères superficiels et profonds, et des sondes géothermiques verticales (SGV).

La méthodologie employée pour le calcul du potentiel utilise un système d'informations géographiques (SIG) permettant de conserver la spatialisation des résultats par rapport à celle des données d'origine. Il s'agit d'un élément fondamental de la géothermie. Des

études de cas prenant en compte des bilans énergétiques, économiques et environnementaux ont été confiées au bureau d'étude ALTO Ingénierie.

Le calcul du potentiel a été réalisé sur les bâtiments existants et sur les constructions futures envisageables à l'horizon 2020, pour les aquifères alluviaux (superficiels) et l'aquifère des Sables Infra-Molassiques (profond). S'ajoute également une étude sur les réseaux de chaleur concernant les aquifères profonds. Enfin, le potentiel des SGV est étudié séparément en raison des spécificités de cette filière géothermique.

Les travaux réalisés sur l'évaluation du potentiel de développement de la géothermie sur aquifères alluviaux **montrent que la ressource n'est pas un facteur limitant**. L'exploitation des sables Infra-Molassiques (SIM) pour la géothermie est plus complexe du fait d'un seuil de rentabilité technico-économique difficile à atteindre dans la région. Les autres procédés de géothermie en boucle fermée (SGV) présentent un fort potentiel de développement avec quelques réserves dans les zones karstiques et à évaporites.

Partant de ce constat, les objectifs de développement de la géothermie en Midi-Pyrénées ont été fixés par déclinaison des objectifs nationaux actés lors du Grenelle 2 de l'Environnement.

L'objectif global pour tous les types d'opérations de géothermie, en région Midi-Pyrénées serait de **53 ktep**. Cet objectif représente **4 %** de l'objectif national.

Dans le détail, les pourcentages de participation aux objectifs nationaux de la région Midi-Pyrénées sont :

- pour les Pompes à Chaleur (PAC) individuelles : 1%,
- pour les PAC collectif/tertiaire : 16%,
- pour les réseaux de chaleur : 0,5%

Sur les 16 % dédiés aux PAC collectif/tertiaire, 90 % du potentiel géothermique de la région Midi-Pyrénées se situe dans la ressource des aquifères alluviaux.

Cet objectif est ambitieux, mais réalisable à l'horizon 2020, dans la mesure où les opérations de géothermie sont envisagées en amont des grands projets d'urbanisme et où elles seraient appuyées par une volonté politique locale et nationale affirmée.

Il convient par ailleurs de rappeler que l'ensemble du travail d'évaluation du potentiel est réalisé sur la base d'un maillage carré de 500 m de côté. Les résultats doivent donc être interprétés à une échelle régionale, et ne peuvent en aucun cas remplacer une étude de faisabilité du site.

Sommaire

1. Contexte et objectifs	13
1.1. CONTEXTE.....	13
1.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE	14
2. Les techniques de la géothermie	17
2.1. PRINCIPES GENERAUX DE LA GEOTHERMIE	17
2.2. DIFFERENTS TYPES DE GEOTHERMIES ET POTENTIEL D'UTILISATION	17
2.2.1. Géothermie haute énergie (T°C > 150 °C)	17
2.2.2. Géothermie moyenne énergie (T°C : 90 à 150°C)	17
2.2.3. Géothermie basse énergie (T°C : 50 à 90°C)	18
2.2.4. Géothermie très basse énergie (T°C < 50 °C)	18
2.2.5. Potentiel d'utilisation.....	20
2.3. PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE.....	21
3. L'état des lieux en Midi-Pyrénées	23
3.1. LES OPERATIONS DE GEOTHERMIE REALISEES	23
3.2. LES RESSOURCES AQUIFERES	24
3.3. PRISE EN COMPTE DE LA REGLEMENTATION	26
3.3.1. La réglementation nationale	26
3.3.2. Les réglementations territorialisées	26
3.3.3. L'identification des contraintes réglementaires en Midi-Pyrénées.....	29
4. Eléments méthodologiques pour la définition du potentiel de développement de la géothermie.....	31
4.1. OPERATIONS ETUDIEES DANS LE CADRE DE CETTE ETUDE	31
4.1.1. Le secteur résidentiel individuel.....	31
4.1.2. Le secteur résidentiel collectif / tertiaire.....	31
4.2. LA NECESSAIRE GEOLOCALISATION DES BESOINS	33
4.3. SIG ET CARTOGRAPHIE	33
4.3.1. Définition de l'échelle de travail	34
4.3.2. Cartographie des besoins thermiques	35

4.4. LES CALCULS DE POTENTIEL	40
4.4.1. Le potentiel de développement d'opérations sur aquifères superficiels ..	41
4.4.2. Le potentiel de développement d'opérations sur sondes géothermiques verticales.....	41
4.4.3. Le potentiel de développement d'opérations sur l'aquifère profond des Sables Infra-Molassiques	41
5. Evaluation du potentiel géothermique sur aquifères alluviaux	43
5.1. EVALUATION DU POTENTIEL GEOTHERMIQUE SUR AQUIFERES ALLUVIAUX POUR LE BATI EXISTANT	43
5.1.1. Définition d'un potentiel de la ressource alluviale en puissance par maille	43
5.1.2. Géothermie sur aquifères alluviaux : calcul du taux d'adéquation et interprétation	43
5.1.3. Estimation du potentiel de développement de la géothermie exprimé en tonnes équivalent pétrole substituées pour le bâti existant sur aquifères alluviaux.....	48
5.2. EVALUATION DU POTENTIEL GEOTHERMIQUE SUR AQUIFERES ALLUVIAUX POUR LES CONSTRUCTIONS NEUVES	52
5.2.1. Définition d'un potentiel « théorique »	52
5.2.2. Comparaison avec le développement urbain à l'horizon 2020.....	57
5.2.3. Estimation du potentiel de développement de la géothermie exprimé en tonnes équivalent pétrole substituée pour les constructions neuves sur aquifères alluviaux.....	61
5.3. PRECISION SUR LE POTENTIEL	61
5.3.1. Prise en compte des besoins de froid.....	61
5.4. IMPACT DE LA RENOVATION PAR RAPPORT AUX CONSTRUCTIONS NEUVES DANS L'EVALUATION DU POTENTIEL.....	63
6. Le potentiel des Sondes Geothermiques Verticales.....	65
7. Le potentiel des Sables Infra-Molassiques	69
7.1. DETERMINATION DU POTENTIEL POUR LE DEVELOPPEMENT D'OPERATIONS SUR LES SIM	69
7.2. EVALUATION DE LA RENTABILITE TECHNICO-ECONOMIQUE D'UNE OPERATION DE GEOTHERMIE SUR SIM.....	69
7.3. DETERMINATION DU POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE SUR SIM	73
7.3.1. Potentiel sur constructions existantes.....	75
7.3.2. Potentiel sur les constructions neuves d'ici 2020.....	80

7.4. LES RESEAUX DE CHALEUR.....	80
8. Du potentiel à la définition d'objectifs régionaux de développement de la géothermie.....	83
8.1. ENJEUX	83
8.2. BILAN SUR L'EVALUATION DU POTENTIEL	83
8.3. LES ELEMENTS STRUCTURANTS DU DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE	84
8.3.1. Pour le particulier (ou « PAC individuelle »)	84
8.3.2. Pour le résidentiel collectif / tertiaire (dites « PAC intermédiaire »).....	85
8.3.3. Pour les réseaux de chaleur.....	85
8.4. DEFINITION D'OBJECTIFS A L'ECHEANCE 2020.....	86
8.4.1. Objectifs nationaux.....	86
8.4.2. Pour le particulier (ou « PAC individuelle »)	87
8.4.3. Pour le résidentiel collectif / tertiaire (dites « PAC intermédiaire »).....	88
8.4.4. Pour le développement des réseaux de chaleur (Solutions sur aquifères profonds).....	89
9. Conclusions et perspectives.....	91
10. Bibliographie	93

Liste des illustrations

Illustration 1 – Présentation des différents types d'échangeurs utilisés pour l'alimentation des PAC. Des détails sur les avantages et inconvénients de chaque type de PAC sont disponibles dans le tableau de l'annexe 1 qui provient du site internet de l'ADEME http://www2.ademe.fr .	19
Illustration 2 : Schéma de principe du fonctionnement d'une thermofrigopompe.	20
Illustration 3 – Evolution du nombre de forages de géothermie recensés dans la BSS pour la région Midi-Pyrénées. Géothermie BE = Géothermie Basse Energie (aquifère profond des SIM). Géothermie TBE = Géothermie Très Basse Energie (aquifères alluviaux superficiels).	24
Illustration 4 – Limites d'extension des aquifères de Midi-Pyrénées, étudiés dans le cadre de l'Atlas Géothermie (BRGM/RP-55888-FR, 2007). Gauche : Extension des aquifères superficiels alluviaux ; Droite : Extension des Sables Infra-Molassiques (SIM).	25
Illustration 5 – Carte des zones de contraintes règlementaires pour les alluvions de Midi-Pyrénées.	30
Illustration 6 – Schéma présentant la méthodologie de l'étude basée sur la construction d'un Système d'Information Géographique (SIG).	34
Illustration 7 – Carte des besoins totaux des communes en kWh (source OREMIP).	37
Illustration 8 – Tableau présentant les données cartographiques d'urbanisme par département, fournies par les différents organismes.	38
Illustration 9 – Carte de localisation des mailles avec zones à urbaniser.	39
Illustration 10 – Tableau présentant les différents calculs de potentiels géothermiques réalisés dans cette étude, en fonction des deux natures des besoins en surface et des trois types d'opérations de géothermie.	40
Illustration 11 – Exemple de résultats de taux d'adéquation par la géothermie sur nappe alluviale pour une gamme de débit entre 2 et 10 m ³ /h et un coefficient de chauffe de 2000 heures.	44
Illustration 12 – Carte des taux d'adéquation des besoins actuels par la géothermie sur les nappes alluviales de Midi-Pyrénées (coefficient de chauffe de 1000 h), présentée par mailles.	46
Illustration 13 - Carte des taux d'adéquation des besoins actuels par la géothermie sur les nappes alluviales de Midi-Pyrénées (coefficient de chauffe de 1000 h), présentée par communes.	47
Illustration 14 (page suivante) - Potentiel de développement de la géothermie sur eau dans les nappes alluviales de la région Midi-Pyrénées.	48
Illustration 15 - Calcul du potentiel global de développement de la géothermie sur aquifères alluviaux en Midi-Pyrénées et sensibilité en fonction du coefficient de chauffe.	51
Illustration 16 – Surfaces maximum chauffables par typologie de bâtiment pour un débit de 20 m ³ /h.	53
Illustration 17 – Surfaces minimales à chauffer permettant d'atteindre le seuil de rentabilité, par type de bâtiment (source ALTO).	53

Illustration 18 – Débit minimum nécessaire par m ² de bâtiment pour atteindre le seuil de rentabilité	54
Illustration 19 – Graphique des seuils de rentabilité, en termes de surface par typologie de bâtiments	54
Illustration 20 – Surfaces maximales chauffées à partir des différents débits de l'aquifère. Les surfaces inférieures au seuil de surface rentable sont indiquées en rouge	55
Illustration 21 – Potentiel théorique de la géothermie sur aquifère alluvial pour les constructions neuves, traduit en surface et nombre de bâtiments en fonction du débit et des typologies.	56
Illustration 22 – Surfaces moyennes par typologie des bâtiments en région Midi-Pyrénées.....	57
Illustration 23 – Evolution du nombre et des surfaces des nouvelles constructions d'ici 2020 par typologie de bâtiments (source GALILEO). Dans l'outil GALILEO, la typologie « logement » n'inclus pas les bâtiments équipés de chauffage électrique.	57
Illustration 24 – Comparaison des surface chauffables théoriques d'après la ressource et des surfaces neuves à construire d'ici 2020	58
Illustration 25 – Graphique de comparaison des surfaces qu'il est possible d'alimenter à partir de la géothermie sur nappe et des surfaces construites d'ici 2020	59
Illustration 26 – Besoins énergétiques en kWh/m ² par typologie de bâtiments (Source ALTO)	60
Illustration 27 – Résultats des potentiels théoriques de surface et de la production par la géothermie sur eau des aquifères alluviaux pour cinq communes, répartis en fonction des usages et pour la typologie « bureaux ».....	60
Illustration 28 – Potentiel total de production pour chaque typologie	61
Illustration 29 – Consommations énergétiques finales d'une résidence (source ADEME)	62
Illustration 30 – consommations énergétiques des logements de Midi-Pyrénées par usage (scénario tendanciel)	62
Illustration 31 – Part des nouvelles constructions par rapport au nombre de logements existants en Midi-Pyrénées (Source : OREMIP)	63
Illustration 32 – Carte de localisation des zones de contraintes pour l'implantation de sondes thermiques (principalement des zones karstiques et des zones avec présence d'évaporites à faible profondeur)	66
Illustration 33 – Carte des zones favorables à l'implantation des SGV en Midi-Pyrénées	67
Illustration 34 – Evolution du nombre d'opérations de géothermie sur SGV en Midi-Pyrénées, d'après les données disponibles dans la BSS	68
Illustration 35 – Tableau des configurations types des SIM retenus pour les études de cas	70
Illustration 36 – Zones retenues pour la réalisation d'études de cas technico-économique sur les SIM	71
Illustration 37 – Croisement des zones hydrogéologiques homogènes des SIM avec les zones urbanisées et à urbaniser	71

Illustration 38 – Tableau de synthèse des types de ressources rentables et des besoins optimums pour la géothermie sur SIM	73
Illustration 39 – Localisation des zones de ressources favorables dans le type Privé et Public	74
Illustration 40 – Nombre de communes où les consommations sont supérieures aux besoins optimum pour la mise en œuvre d'opérations de géothermie sur SIM	75
Illustration 41 – Localisation des communes où les consommations totales sont supérieures aux besoins optimums pour le type Privé et Public	76
Illustration 42 – Localisation des 3 communes où les consommations des logements collectifs sont supérieures aux besoins optimums pour le type Public	77
Illustration 43 – Nombre d'opérations sur SIM par commune sur le bâti existant et en considérant les consommations totales (résidentiel + tertiaire) pour le type Public	79
Illustration 44 – Synthèse des potentiels de développement de la géothermie sur SIM pour le bâti existant en tep	79
Illustration 45 – Localisation et type d'énergie des réseaux de chaleur de la région Midi-Pyrénées (source site internet www.viaseva.fr)	81
Illustration 46 – Synthèse des résultats de calcul du potentiel en ktep	83
Illustration 47 – Objectifs de production de chaleur géothermale en ktep sur le territoire national (Source : COMOP 10).....	86

Liste des annexes

Annexe 1 – Caractéristiques des différents procédés de géothermie et procédure technique pour la mise en œuvre des puits sur nappe	95
Annexe 2 –Tableau descriptif des réseaux de chaleur de la région Midi-Pyrénées.....	101
Annexe 3 – Cartes des besoins de chauffage et d'ECS à l'échelle des communes présentes sur les mailles de la ressource alluviale	105
Annexe 4 – Cartes des taux d'adéquation par la géothermie sur nappe alluviale des besoins énergétiques par mailles et par communes pour un coefficient de chauffe de 1000 heures	113
Annexe 5 – Taux d'adéquation des besoins énergétiques par mailles pour différents scénarios de consommation (coef. de chauffe de 1000 h)	119
Annexe 6 – Potentiel chiffré de développement de la géothermie sur aquifères alluviaux pour le bâti existant et par commune	129
Annexe 7 – Carte du potentiel de développement de la géothermie sur aquifères alluviaux pour les bâtiments neufs	133

Annexe 8 – Cartes des surfaces de chauffage possibles par la géothermie sur nappes alluviales sur les différentes typologies de bâtiments neufs construits d’ici 2020	137
Annexe 9 – Potentiel théoriques de la géothermie sur eau des aquifères alluviaux, présenté par communes, pour les constructions neuves et par typologies (prenant en compte les usages)	149
Annexe 10 – Potentiel sur SIM pour les constructions neuves.....	153
Annexe 11 – Bilan des méthodes de calcul et des incertitudes.....	161
Annexe 12 – Etude de sensibilité.....	165
Annexe 13 – Note technique du bureau d’étude ALTO Ingénierie	177

1. Contexte et objectifs

1.1. CONTEXTE

D'après l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), le secteur du bâtiment est responsable de 21 % des émissions de CO₂ et de 43 % de la consommation d'énergie finale en France (648 TWh). Parmi ces 648 TWh d'énergie finale, le secteur résidentiel en représente 65 % et près de 70 % de la consommation d'énergie de ce secteur est liée aux besoins de chauffage et de climatisation. Pour résumer, environ 20 % de la consommation totale d'énergie finale en France concerne le chauffage et la climatisation des bâtiments résidentiels. Il y a donc dans ce domaine une source importante d'amélioration qui doit passer, tout d'abord par l'efficacité énergétique (qualité des bâtiments, comportements individuels, ...) mais également par la pénétration des énergies renouvelables dans le marché.

Le Grenelle de l'Environnement prévoit de porter à au moins 23% en 2020 la part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale de la France. Atteindre cet objectif suppose d'augmenter de 20 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep) la production annuelle d'énergie renouvelable d'ici 2020, en portant celle-ci à 37 Mtep. Parmi ces 20 Mtep, 10 millions seront valorisés sous forme de chaleur.

L'énergie géothermique présente des avantages non négligeables qui lui permettent de participer au développement de solutions durables : indépendance vis-à-vis des éléments climatiques extérieurs, énergie locale respectueuse de l'environnement (très peu d'émissions de Gaz à Effet de Serre), performance énergétique et économique. De plus, la filière géothermie a atteint un stade de maturité qui permet aujourd'hui sa mise en œuvre dans des conditions techniques et économiques satisfaisantes.

Les objectifs de développement de la géothermie au niveau national, proposés par les Comités Opérationnels du Grenelle, ont été fixés par arrêté relatif à la programmation pluriannuelle des investissements de production de chaleur, en date du 15 décembre 2009. Le Comité Opérationnel « énergies renouvelables » du Grenelle de l'Environnement a proposé une multiplication par 6 de la production de chaleur géothermique (par pompes à chaleur géothermiques ou usage direct de la ressource géothermale) à l'horizon 2020, soit une contribution de 2 millions de tonnes équivalent pétrole représentant 10% de l'augmentation de la production d'énergie renouvelable à cet horizon.

La loi portant engagement national pour l'environnement, dite « loi Grenelle 2 », du 12 juillet 2010, impose dans son article 68 la mise en place, au niveau régional, des SRCAE (Schémas Régionaux Climat Air Energie) dans lesquels s'inscrira notamment un schéma régional des énergies renouvelables défini, par zones géographiques, sur la base des ressources potentielles des régions, qui devra tenir compte des objectifs nationaux en matière de développement des énergies renouvelables.

Les SRCAE serviront notamment de cadre aux actions des collectivités locales inscrites dans les Plans Climat Energie Territoriaux (PCET), généralisés aux collectivités territoriales de plus de 50 000 habitants par la loi Grenelle 2. Ainsi, l'élaboration d'un schéma régional de développement de la géothermie a pour objectif de déterminer la contribution de la région aux objectifs nationaux.

Le décret n° 2011-678 du 16 juin 2011 relatif aux SRCAE fixe le contenu et les modalités d'élaboration des SRCAE (articles R. 222-1 à R. 222-7 du Code de l'environnement). Le schéma « *est composé d'un rapport présentant l'état des lieux dans l'ensemble des domaines couverts par le schéma, d'un document d'orientation qui définit les orientations et les objectifs régionaux en matière [...] de développement des filières d'énergies renouvelables* »

Il comprend « *une évaluation du potentiel de développement de chaque filière d'énergie renouvelable terrestre et de récupération, compte tenu de la disponibilité et des priorités d'affectation des ressources, des exigences techniques et physiques propres à chaque filière et des impératifs de préservation de l'environnement et du patrimoine.* »

« *Des objectifs quantitatifs de développement de la production d'énergie renouvelable, à l'échelle de la région et par zones infrarégionales favorables à ce développement, exprimés en puissance installée ou en tonne équivalent pétrole et assortis d'objectifs qualitatifs visant à prendre en compte la préservation de l'environnement et du patrimoine ainsi qu'à limiter les conflits d'usage.* »

1.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE

Dans ce contexte, il est proposé de réaliser une étude visant à préparer l'élaboration du schéma de développement de la géothermie en Midi-Pyrénées qui s'inscrira dans le Schéma Régional Climat Air Energie de Midi-Pyrénées.

Un premier outil cartographique d'aide à la décision, destiné aux maîtres d'ouvrages potentiels, bureaux d'études, décideurs des collectivités territoriales et particuliers, a été développé par le BRGM en 2007, afin que ces derniers puissent déterminer la possibilité d'utiliser la géothermie lorsque se pose la question de l'approvisionnement énergétique (Ghyselinck-Bardeau et al., 2007). Le potentiel géothermique des aquifères superficiels (alluviaux) et profonds (Sables Infra-Molassiques) de Midi-Pyrénées, qui dépend essentiellement du débit de l'aquifère, de la température de l'eau, de ses propriétés physico-chimiques et de sa profondeur, a été étudié et un SIG (système d'information géographique) développé, afin de caractériser ce potentiel géothermique.

Ce SIG, mis en ligne sur le site Internet « [géothermie-perspectives](http://www.geothermie-perspectives.fr) » (www.geothermie-perspectives.fr), est accompagné d'un guide technique, intitulé *outil d'aide à la décision en matière de géothermie très basse et basse énergie (nappes alluviales et SIM) de la région Midi-Pyrénées (Octobre 2007)*. Cet ouvrage a pour

objectif de présenter l'ensemble des éléments à connaître, aussi bien techniques qu'administratifs, avant d'initier une démarche visant à développer un procédé de géothermie sur aquifères (avec ou sans pompe à chaleur).

Dans la continuité de l'outil d'aide à la décision, l'étude qui suit permet d'approfondir le potentiel de la filière géothermie. Elle a pour objectif de :

- définir le potentiel géothermique réellement exploitable en région Midi-Pyrénées,
- cibler les utilisateurs potentiels de géothermie d'ici 2020,
- définir un objectif qualitatif et quantitatif de développement de la filière géothermique en Midi-Pyrénées.

2. Les techniques de la géothermie

2.1. PRINCIPES GENERAUX DE LA GEOTHERMIE

La chaleur dégagée par notre globe a pour origine le refroidissement de son noyau, mais également la désintégration des éléments radioactifs présents dans ses roches : uranium, thorium, potassium, etc. 90% de l'énergie dissipée provient en effet de ce mécanisme. L'énergie est potentiellement considérable : 1 km² de roche, sur une profondeur de 10 km, renferme en moyenne une quantité d'énergie équivalant à 15 millions de tonnes équivalent pétrole ou tep (1 tep $\cong$ 11,630 kWh_{thermique}).

L'accroissement de la température en fonction de la profondeur est appelé "*gradient géothermique*". Il est d'environ 30°C par kilomètre de profondeur dans les zones continentales stables, le flux d'énergie thermique à l'origine de ce gradient étant de l'ordre de 60 mW/m². Ces valeurs peuvent être nettement supérieures dans certaines zones actives du globe. En France, le gradient géothermique est en moyenne de 3,5°C tous les 100 m, et varie de 10°C/100 m dans le nord de l'Alsace à seulement 2°C/100 m au pied des Pyrénées.

Du grec géo (terre) et thermos (chaud), la géothermie consiste à exploiter la chaleur stockée dans le sous-sol de notre planète. Les domaines d'utilisation de l'énergie de la terre recouvrent le chauffage, le rafraîchissement et la production d'électricité.

2.2. DIFFERENTS TYPES DE GEOTHERMIES ET POTENTIEL D'UTILISATION

Il existe plusieurs types de géothermie, en fonction des caractéristiques de la ressource et de l'usage final.

2.2.1. Géothermie haute énergie (T°C > 150 °C)

La géothermie haute énergie ou haute température concerne les fluides qui atteignent des températures supérieures à 150°C. Les réservoirs, généralement localisés au-delà de 1500 mètres de profondeur, se situent dans des zones de gradient géothermique anormalement élevé (régions volcaniques). Lorsqu'il existe un réservoir, le fluide peut être capté sous forme de vapeur sèche ou humide pour la production d'électricité.

2.2.2. Géothermie moyenne énergie (T°C : 90 à 150°C)

La géothermie de moyenne température ou moyenne énergie se présente sous forme d'eau chaude ou de vapeur humide à une température comprise entre 90 et 150°C. Elle se retrouve dans les zones propices à la géothermie haute énergie, mais à une profondeur inférieure à 1000 m. Elle se situe également dans les bassins sédimentaires, à des profondeurs allant de 2000 à 4000 mètres. Pour produire de

l'électricité, une technologie nécessitant l'utilisation d'un fluide intermédiaire est nécessaire (turbine à fluide binaire).

Ces deux types de géothermie permettant la production d'électricité ne seront pas étudiés dans le cadre de cette étude.

2.2.3. Géothermie basse énergie (T°C : 50 à 90°C)

Elle consiste en l'utilisation de la chaleur par extraction d'eau, contenue dans les aquifères dits « profonds » des bassins sédimentaires, suffisamment chaude pour être utilisée directement (via un échangeur de chaleur) pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire. En France métropolitaine, plus de 30 réseaux de chaleur urbains sont alimentés par ce type de géothermie. Ils permettent d'économiser plus de 160 000 tep/an de combustibles fossiles. En région parisienne, l'eau de l'aquifère profond du Dogger est captée, depuis la fin des années 70, entre 1500 et 1800 m de profondeur, à des températures comprises entre 55 et 85°C.

Le système fonctionne généralement en doublet géothermique, l'eau est pompée à partir d'un forage, puis réinjectée dans un deuxième forage. Compte tenu de l'importance des investissements de forage que nécessitent les opérations géothermiques sur des aquifères profonds et l'utilisation de l'énergie géothermale par échange direct, la puissance des installations est importante et un réseau de chaleur y est généralement associé. Ces réseaux, aptes à desservir plusieurs milliers de logements par opération, permettent ainsi de répartir sur un plus grand nombre de postes de consommation la charge des investissements sous-sol de production géothermique.

2.2.4. Géothermie très basse énergie (T°C < 50 °C)

La géothermie est qualifiée de très basse énergie lorsque la température de la ressource est inférieure à 50°C, donc qu'elle ne peut pas être utilisée directement. Il est alors nécessaire de relever le niveau de température en utilisant une PAC. Dans ce cas, la chaleur prélevée provient :

- soit d'aquifères dits superficiels par le biais de forages (systèmes dits « en boucle ouverte »), constituant un doublet géothermique (cf. Illustration 1),
- soit par échange avec le sol, pour les systèmes dits « en boucle fermée » : la chaleur est récupérée grâce à un fluide caloporteur qui circule dans un échangeur en contact avec le sol. Cet échangeur peut être horizontal, vertical ou compact.

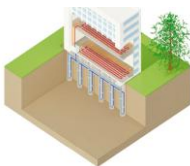
Boucle géothermale	Type d'échangeur		Types de cibles
Boucle fermée : échange avec le sol	Echangeurs horizontaux		Résidentiel individuel
	Echangeurs "compacts"		Résidentiel individuel (éventuellement résidentiel collectif, voire tertiaire)
	Sonde Géothermique Verticale		Résidentiel individuel
	Géostructures énergétiques		Résidentiel collectif et bâtiments du tertiaire
	Champs de sondes		Résidentiel collectif et bâtiments du tertiaire
Boucle ouverte : échange avec les eaux souterraines superficielles	Doublet		Résidentiel collectif et bâtiments du tertiaire (voire résidentiel individuel)

Illustration 1 – Présentation des différents types d'échangeurs utilisés pour l'alimentation des PAC. Des détails sur les avantages et inconvénients de chaque type de PAC sont disponibles dans le tableau de l'annexe 1 qui provient du site internet de l'ADEME <http://www2.ademe.fr>.

2.2.5. Potentiel d'utilisation

Les différents types d'échangeurs utilisés pour alimenter des PAC sont présentés dans l'illustration 1, auxquels sont associées les différentes cibles privilégiées. En effet, les différentes techniques permettent d'apporter de l'énergie pour des maisons individuelles mais également pour alimenter des réseaux de chaleur, les opérations de collectif/tertiaire étant des solutions intermédiaires.

Les applications favorables à l'utilisation de pompes à chaleur sont classées en trois catégories :

- Projets avec besoins de chaud et de froid concomitants. Ce sont les applications les plus adaptées à la géothermie très basse énergie si l'on utilise la technologie de la thermofrigopompe, grâce à laquelle on peut distribuer le chaud et le froid sur deux réseaux distincts et simultanément (Illustration 2). Les typologies de bâtiments concernées sont : hypermarchés, hôpitaux, cliniques ou autres établissements de santé, certains immeubles de bureaux du secteur tertiaire, groupes sportifs alliant piscines et patinoires.

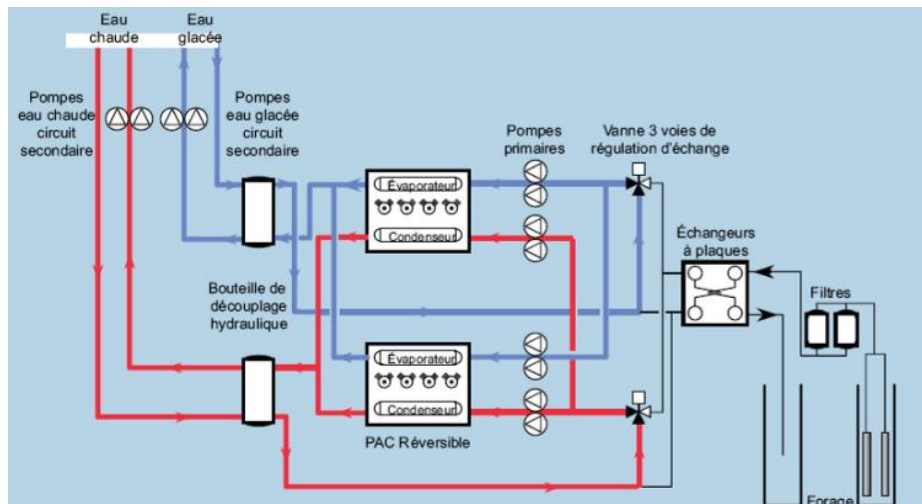


Illustration 2 : Schéma de principe du fonctionnement d'une thermofrigopompe.

- Projets avec besoins saisonniers (besoin de chaud en hiver et de froid en été) : ce sont également des applications très bien adaptées à la géothermie très basse énergie. C'est le cas de certains bâtiments du tertiaire, comme les hôtels, maisons de retraite, immeubles de bureaux.
- Projets avec besoins uniquement de chaud ou uniquement de froid. La géothermie très basse énergie peut répondre à ce type d'application, mais, un risque de déséquilibre des conditions thermiques du sous-sol existe et des

solutions complémentaires permettant de maintenir l'équilibre thermique du sous-sol sur une ou plusieurs années doivent dans ce cas être envisagées (par exemple avec un couplage à des énergies excédentaires l'été si la géothermie est utilisée en mode chauffage uniquement).

Le choix d'une solution par rapport à une autre va dépendre de la bonne adéquation des ressources et des besoins. Il est donc à étudier au cas par cas : typologie de l'utilisateur, ressource disponible (présence ou non d'un aquifère), conditions d'accès et d'exploitation de cette ressource, contraintes réglementaires...

2.3. PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE

S'il est clair que la réglementation thermique 2012 (RT 2012) va diminuer drastiquement les besoins de chauffage, les besoins en ECS ne devraient pas diminuer pour autant puisque la tendance est plutôt à l'augmentation pour les ménages.

Pour les maisons individuelles en particulier, des développements sont en cours sur le dimensionnement des échangeurs afin de les adapter aux nouveaux besoins imposés par la RT2012. En effet, les échangeurs horizontaux par exemple (Illustration 1), peu onéreux s'ils sont mis en place au moment du terrassement du terrain (cas des constructions neuves), auront un plus faible impact en terme de surface lorsque les besoins seront diminués. L'optimisation du dimensionnement entraînera l'optimisation économique du système.

Les échangeurs géothermiques compacts (de type corbeille par exemple) en cours de développement en France (mais plus largement développés à l'étranger) devraient permettre de répondre à un besoin de limiter l'encombrement (par rapport aux échangeurs horizontaux), tout en évitant le coût important de forages de sondes géothermiques verticales.

De plus, la question du rafraîchissement deviendra stratégique puisque le bâtiment sera mieux isolé, il conservera mieux la chaleur apportée par les usages spécifiques, les dispositifs de cuisson et les occupants. Comme le mentionne le rapport sur l'adaptation climatique de l'ONERC¹, « *la consommation annuelle d'énergie diminuerait dans les territoires au climat frais (forte économie de chauffage) mais augmenterait dans les zones méridionales (forte dépendance en climatisation)* ». Cette étude montre la pertinence économique et environnementale des solutions de géothermie en Midi-Pyrénées.

¹ ONERC : Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique

« Changement Climatique Coût des impacts et pistes d'adaptation », Rapport 2009

Enfin, la géothermie n'ayant pas d'impact visuel, elle peut s'avérer être une solution pertinente pour des bâtiments situés dans les centres historiques des villes (bâtiments classés par exemple).

3. L'état des lieux en Midi-Pyrénées

3.1. LES OPERATIONS DE GEOTHERMIE REALISEES

Il n'existe à ce jour aucun inventaire exhaustif des opérations de géothermie fonctionnant en Midi-Pyrénées, que ce soit pour les PAC individuelles, collectives ou tertiaires. Concernant les réseaux de chaleur, seule l'opération de Blagnac est recensée.

Au niveau national, après une forte croissance au début des années 2000, la vente des PAC géothermiques chez le particulier a stagné (d'après les chiffres de ventes de PAC entre 5kW et 50kW, diffusées par l'AFPAC²). Cependant, le nombre croissant d'opérations subventionnées via le Fonds Chaleur montre une augmentation dans le collectif et le tertiaire.

Les données du Fonds Chaleur montrent qu'en Midi-Pyrénées, 4 opérations ont été subventionnées en 2010 :

- 1 opération sur aquifère profond,
- 2 opérations sur champs de sondes,
- 1 PAC sur eaux usées ou eau de mer.

Le nombre d'opérations subventionnées varie, en fonction des régions, entre 0 et 12. A ce jour, aucune opération n'a été couverte par la garantie AquaPac en Midi-Pyrénées.

Le graphique de l'illustration 3 présente l'évolution du nombre de forages de géothermie déclarés en BSS (Banque de données du Sous-Sol gérée par le BRGM) signalés à des fins d'utilisation géothermique.

² : Association Française pour les Pompes à Chaleur

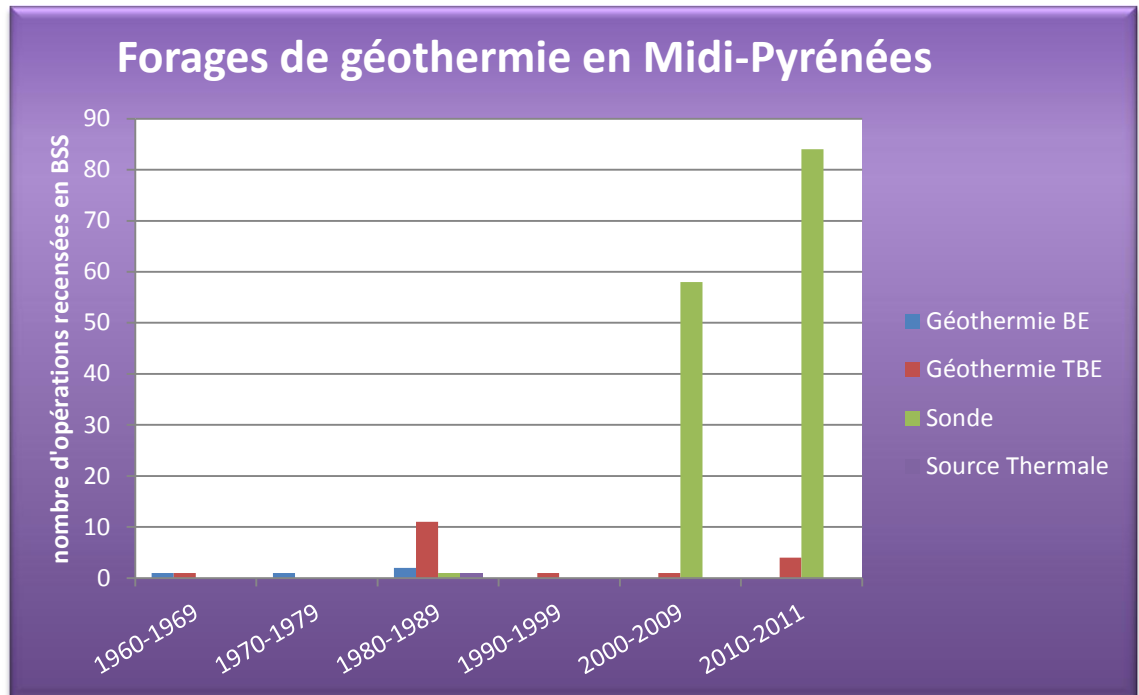


Illustration 3 – Evolution du nombre de forages de géothermie recensés dans la BSS pour la région Midi-Pyrénées. Géothermie BE = Géothermie Basse Energie (aquifère profond des SIM). Géothermie TBE = Géothermie Très Basse Energie (aquifères alluviaux superficiels)

Les quelques opérations majeures de géothermie de la région Midi-Pyrénées ont été recensées dans l'Atlas des potentialités des ressources aquifères de Midi-Pyrénées (Ghyselinck-bardeau et al., 2007) et ont fait l'objet de fiches détaillées dans le rapport BRGM/RP-55888-FR.

3.2. LES RESSOURCES AQUIFERES

La faisabilité et l'efficacité énergétique d'une opération de géothermie vont principalement dépendre des propriétés de la ressource disponible (principalement le débit exploitable et la profondeur de la ressource). L'atlas géothermie (Ghyselinck-Bardeau et al., 2007) a permis d'identifier deux types de ressources (Illustration 4) :

- les **aquifères superficiels alluviaux**, compris entre 0 et 40 m de profondeur. La région Midi-Pyrénées est traversée par un système alluvial composé des alluvions de la Garonne, de l'Ariège, du Tarn, de l'Aveyron et de l'Adour. Au Quaternaire, ces grands fleuves ont creusé leur vallée alluviale sur le substratum molassique, et déposé des sédiments essentiellement sableux et graveleux. Les formations fluviales sont généralement constituées par un

niveau grossier à la base, correspondant à des graviers et galets entremêlés de sable plus ou moins argileux, et par un horizon superficiel à granulométrie plus fine, venant recouvrir le précédent, et caractérisé par des argiles et/ou des limons. Le système alluvial de la région compte au maximum cinq niveaux de terrasses différents (Capdeville et al., 1995). La composition de ces niveaux de terrasses est généralement très proche et se distingue essentiellement par le degré d'évolution de l'altération des galets et l'évolution pédologique des limons. Toutefois, la composition des alluvions varie fortement sur des distances très courtes. Cela peut s'expliquer par la présence de paléo chenaux des cours d'eau.

- l'aquifère profond de la **formation des sables de Lussagnet** (Sables Infra-Molassiques ou SIM). La formation des SIM, a été déposée dans le courant de l'Eocène (Ere Tertiaire), dans une dynamique de système deltaïque progradant très complexe. Le faciès sableux se concentre dans la partie sud/sud-est du Bassin Aquitain. La profondeur de ces sables varie fortement en fonction des différents accidents structuraux (rides et fosses) et de la position dans le bassin (fond ou bord de la cuvette). 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). Cette formation est aquifère et contient une nappe captive potentiellement intéressante pour l'usage géothermique, avec une température des eaux pouvant atteindre 60°C par endroits. En fonction des secteurs, les ouvrages captant cet aquifère peuvent présenter de bons débits d'exploitation, avec des valeurs variant de 10 à 200 m³/h. Dans certaines zones, l'aquifère est jaillissant (artésien) et peut présenter de fortes salinités.

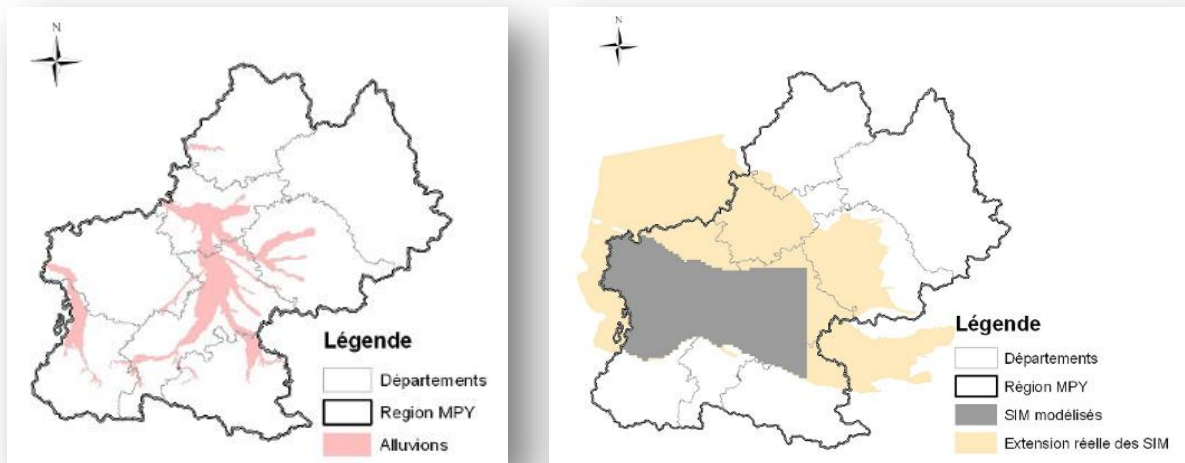


Illustration 4 – Limites d'extension des aquifères de Midi-Pyrénées, étudiés dans le cadre de l'Atlas Géothermie (BRGM/RP-55888-FR, 2007). Gauche : Extension des aquifères superficiels alluviaux ; Droite : Extension des Sables Infra-Molassiques (SIM).

L'illustration 4 montre que les alluvions sont très peu présentes dans le département de l'Aveyron, où ils n'ont pas été étudiés dans le cadre de l'Atlas Géothermie. Les SIM ne sont pas observés dans les départements du Lot, de l'Aveyron et dans la zone Pyrénéenne. Leur extension réelle, schématisée en orange dans l'illustration 4, concerne le Gers, le Tarn-et-Garonne, le nord de la Haute-Garonne et de l'Ariège, et une grande partie du Tarn. Cependant, faute de données de forage, seule la zone indiquée en gris a pu être modélisée et prise en compte dans l'Atlas Géothermie.

3.3. PRISE EN COMPTE DE LA REGLEMENTATION

3.3.1. La réglementation nationale

La géothermie est régie par le code minier en vertu de son article 3 qui donne une définition de la géothermie et du régime juridique qui lui est applicable. Ainsi, « *les gîtes renfermés dans le sein de la terre dont on peut extraire de l'énergie sous forme thermique, notamment par l'intermédiaire des eaux chaudes et des vapeurs souterraines qu'ils contiennent* » sont considérés comme des mines. Une substance minière appartient à l'Etat et non au propriétaire du sol. L'exploitation d'une ressource minière nécessite donc des autorisations accordées par l'Etat.

Les opérations de géothermies entrant dans le champ d'application de différents codes réglementaires : code minier et code de l'environnement, concernent les cas les plus fréquents. Le code de la santé publique et le code général des collectivités territoriales peuvent s'appliquer dans certains cas particuliers. En fonctions de leurs caractéristiques techniques (profondeur, puissance extraite, débit d'exploitation), les opérations géothermiques peuvent être soumises à différents régimes d'autorisation ou de déclaration qui supposent le montage de dossiers administratifs plus ou moins approfondis selon les cas et des circuits d'approbation administrative plus ou moins long.

Il faut noter que le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, du Transport et du Logement mène actuellement une réflexion visant à faire évoluer la réglementation en vigueur de façon à l'adapter aux types d'opérations géothermiques qui se développent actuellement (très basse énergie, souvent faible profondeur et faible puissance).

3.3.2. Les réglementations territorialisées

Certaines portions du territoire, du fait de particularités naturelles, font l'objet de mesures de protection susceptibles d'impacter le dimensionnement d'un projet de géothermie, voire de l'interdire. Les dispositifs de protection les plus courants sont présentés ici.

Mesures générales de protection de la ressource en eau

• Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE)

Le SAGE est un document de planification qui fixe les objectifs généraux d'utilisation, de mise en valeur, de protection quantitative et qualitative de la ressource en eau. Dans le prolongement du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE), il décline au niveau d'un bassin versant (eaux superficielles) ou d'une nappe d'eau souterraine, les actions et moyens à mettre en œuvre pour gérer et garantir au mieux les usages de l'eau.

Du point de vue de sa nature juridique, le SAGE, tout comme le SDAGE, est un acte réglementaire qui présente quatre caractéristiques :

- Il est opposable à l'administration (Etat, collectivités locales, établissements publics...) ;
- Depuis la nouvelle Loi sur l'eau adoptée le 30 décembre 2006, il est également opposable aux tiers. Cela signifie que les modes de gestion, les projets ou les installations d'un tiers doivent être conformes au règlement du SAGE. En cas de non respect, les contrevenants pourront être verbalisés ;
- Il ne crée pas de droit, mais fixe des objectifs généraux en terme de qualité des eaux, de gestion de la ressource (aspect quantitatifs), de préservation des milieux naturels et de gestion du risque d'inondation, ainsi que des priorités pour les atteindre ;
- Ses objectifs généraux s'imposent à l'administration de manière plus ou moins forte selon que celle-ci intervient ou non dans le domaine de l'eau et de l'aménagement du territoire.

Lorsqu'il est situé à l'intérieur du périmètre d'un SAGE, un prélèvement d'eau à usage géothermique (qu'il soit par ailleurs soumis à déclaration ou à autorisation) doit être compatible avec les objectifs généraux et le règlement de celui-ci (Art. L212-5-2 du Code de l'Environnement). Le règlement d'un SAGE peut limiter localement (voir interdire) l'usage géothermique des eaux souterraines.

• Zones de Répartition des Eaux (ZRE)

Les Zones de Répartition des Eaux, comprenant les bassins, sous-bassins, fractions de sous-bassins hydrographiques et systèmes aquifères, ont été instituées au niveau national par les décrets n°94-354 du 29 avril 1994 et n°2003-869 du 11 septembre 2003, pris en application des articles L.211-2 et L.211-3 du Code de l'Environnement. Ce sont des zones où est constatée une insuffisance, autre qu'exceptionnelle, des ressources par rapport aux besoins. Dans chaque département concerné, la liste de communes incluses dans une zone de répartition des eaux est établie par arrêté préfectoral.

Dans les communes classées en ZRE, les seuils d'autorisation et de déclaration pour les prélèvements sont abaissés par le biais de l'application de la rubrique 1.3.1.0. de la nomenclature Eau (article R214-1 du code de l'environnement). Tous les prélèvements d'eau superficielle ou souterraine, à l'exception de ceux inférieurs à 1000 m³/an réputés domestiques sont soumis à autorisation ou déclaration dans les conditions suivantes :

- capacité maximale des installations de prélèvement supérieure à 8 m³/h : autorisation au lieu de 80 m³/h dans le cas général ;
- capacité maximale des installations de prélèvement supérieure à 1000 m³/an mais inférieure à 8 m³/h : déclaration.

Les prélèvements en eau réalisés à des fins géothermiques dans une Zone de Répartition des Eaux sont contraints par l'abaissement des seuils. Cette restriction ne s'applique pas aux installations fonctionnant en doublet, avec réinjection dans l'aquifère après prélèvement.

- **Périmètres de protection des captages d'Alimentation en Eau Potable (AEP) et de sources**

Les périmètres de protection de captages, dans lesquels les activités susceptibles de polluer la ressource en eau souterraine (construction, mise en place d'une opération de géothermie, ...) sont interdites ou soumises à prescription particulière, sont établis autour des sites de captages d'eau destinée à la consommation humaine. Leur objectif est de réduire les risques de pollutions ponctuelles et accidentelles de la ressource. Les périmètres de protection de captages sont définis par l'article L-1321-2 du Code de la Santé Publique et ont été rendus obligatoires pour tous les ouvrages de prélèvement d'eau d'alimentation depuis la loi sur l'eau du 3 janvier 1992.

Ils sont définis à trois échelles correspondant à trois niveaux de protection :

- Le périmètre de protection immédiate : site de captage clôturé (sauf dérogation) appartenant à une collectivité publique, dans la majorité des cas. Toutes les activités y sont interdites hormis celles relatives à l'exploitation et à l'entretien de l'ouvrage de prélèvement de l'eau et au périmètre lui-même. Son objectif est d'empêcher la détérioration des ouvrages et d'éviter le déversement de substances polluantes à proximité immédiate du captage.
- Le périmètre de protection rapprochée : secteur plus vaste (en général quelques hectares) pour lequel toute activité susceptible de provoquer une pollution y est interdite ou est soumise à prescription particulière (construction, dépôts, rejets ...). Son objectif est de prévenir la migration des polluants vers l'ouvrage de captage.
- Le périmètre de protection éloignée : facultatif, ce périmètre est créé si certaines activités sont susceptibles d'être à l'origine de pollutions importantes. Ce secteur correspond généralement à la zone d'alimentation du point de captage, voire à l'ensemble du bassin versant.

L'arrêté préfectoral d'autorisation de prélèvement et d'institution des périmètres de protection fixe les servitudes de protection opposables au tiers par déclaration d'utilité

publique (DUP). Il conviendra donc de se reporter aux arrêtés de mise en place des périmètres de protection de captage pour identifier d'éventuelles contraintes à la réalisation de dispositifs géothermiques.

La protection des espaces et milieux naturels

Il existe différents type d'espaces naturels protégés : les espaces protégés par une réglementation (interdisant ou limitant certaines activités humaines), les espaces protégés au moyen de la maîtrise foncière (acquisition, location, convention avec les propriétaires) et les espaces soumis à une certaine obligation de résultats (protection conventionnelle) mais sans contrainte et en privilégiant les incitations et les moyens contractuels. Les différents outils de protection sont les suivantes :

1. Outils de protection réglementaire :
 - Les Sites Classés
 - Les Sites inscrits
 - Les réserves naturelles (nationales et régionales)
 - Arrêté Préfectoral de Protection de Biotope
 - Les Réserves biologiques domaniales (RBD) et Réserves biologiques forestières (RBF)
2. Outils de protection par la maîtrise foncière :
 - Les espaces naturels sensibles des départements
3. Outils de protection conventionnelle :
 - Les parcs naturels régionaux (PNR)
 - Le réseau Natura 2000
 - L'inventaire patrimonial des ZNIEFF

3.3.3. L'identification des contraintes réglementaires en Midi-Pyrénées

L'identification des contraintes réglementaires (et techniques), bien qu'aucune ne soit complètement restrictive (si ce n'est dans les périmètres de protection immédiat et rapprochés des captages d'eau potable, non identifiables à cette échelle), permet de nuancer le potentiel de développement dans certaines communes.

Dans la région Midi-Pyrénées, les contraintes réglementaires prises en compte pour la géothermie sont les suivantes :

- 1) Milieux naturels (source DREAL) :
 - ZNIEFF
 - ZICO
 - PARC NATUREL

- PARC NATUREL REGIONAL
- RESERVE NATURELLE
- DIRECTIVE HABITAT (PSIC, SIC, ZSC)
- PROTECTION BIOTOPE
- DIRECTIVE OISEAUX (ZPS)

Bien que devant être prises en compte dans tout projet d'aménagement, l'impact de ces contraintes réglementaires reste néanmoins limité. Par ailleurs, les projets de géothermie ont très peu d'influence sur l'environnement et sont insensibles aux aléas climatiques (tempêtes, etc...).

2) Zone de répartition des eaux (source Agence de l'eau)

Toutes ces contraintes ont été intégrées dans une seule zone réglementaire, où les opérations de géothermie peuvent être limitées. L'illustration 5 ci-après présente une carte du contour de ces zones pour les aquifères alluviaux de Midi-Pyrénées.

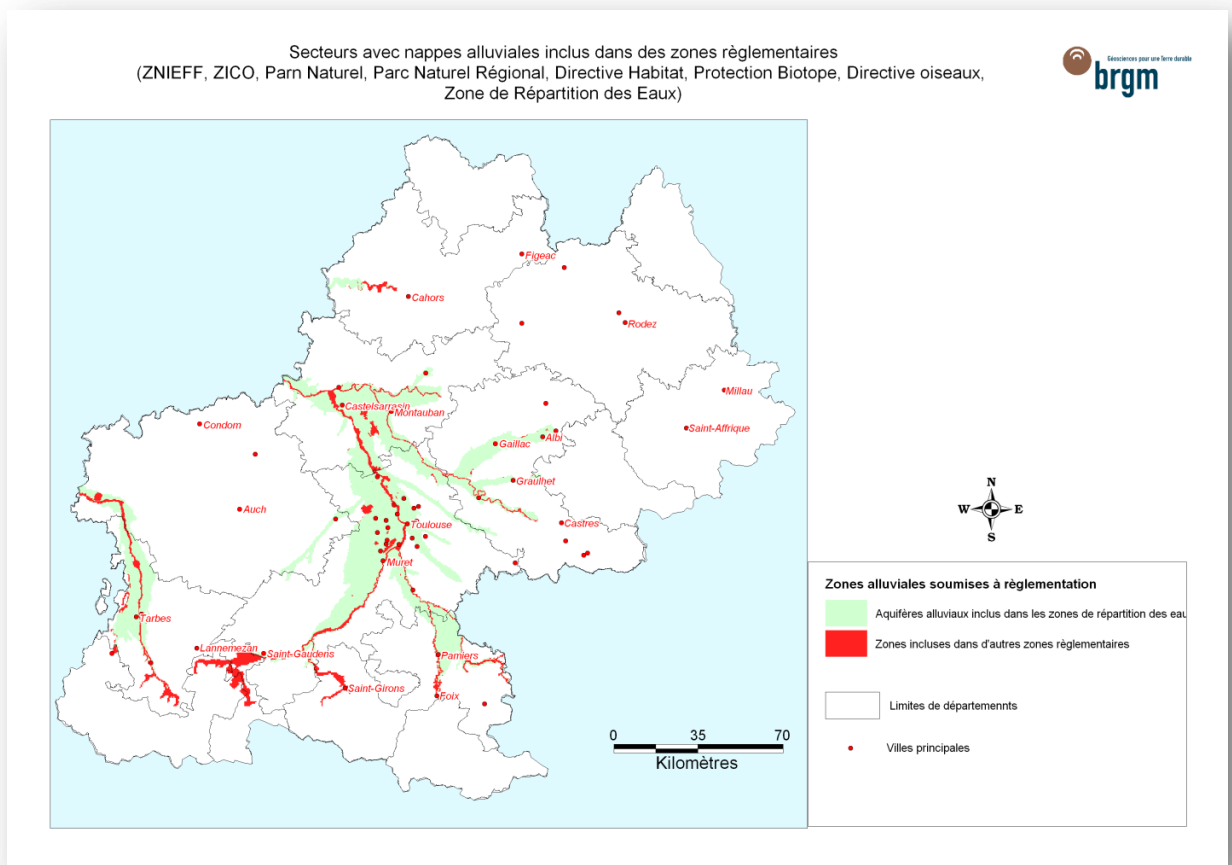


Illustration 5 – Carte des zones de contraintes réglementaires pour les alluvions de Midi-Pyrénées

4. Eléments méthodologiques pour la définition du potentiel de développement de la géothermie

4.1. OPERATIONS ETUDIEES DANS LE CADRE DE CETTE ETUDE

L'ensemble des technologies de géothermie susceptibles d'être exploitées en région Midi-Pyrénées a été considéré :

- la géothermie basse énergie : utilisation de l'aquifère « profond » des SIM pour alimenter des réseaux de chaleur urbains,
- la géothermie très basse énergie :
 - utilisation des aquifères superficiels couplés avec une PAC,
 - développement de champs de sondes géothermiques.

L'étude apporte des éléments techniques quant à la faisabilité d'une opération de géothermie, mais également une dimension de rentabilité en s'appuyant sur les travaux du bureau d'étude ALTO Ingénierie (qui effectue également des prestations pour des SRCAE d'autres régions). Celui-ci propose un comparatif technico-économique de plusieurs solutions de production calorifique (chauffage et ECS) et/ou frigorifique :

- par PAC géothermique sur nappe superficielle ;
- par chaudière gaz et groupe frigorifique ;
- par PAC sur sondes géothermiques.

Les différentes opérations de géothermie sont ensuite étudiées en fonction des secteurs de bâtiments.

4.1.1. Le secteur résidentiel individuel

Les solutions de géothermie développées actuellement pour la maison individuelle sont présentées dans le tableau de l'illustration 1. Parmi ces solutions, cette étude évaluera celles qui sont les plus couramment employées en France : les doublets sur aquifères superficiels (nappe alluviales), et les sondes géothermiques verticales.

4.1.2. Le secteur résidentiel collectif / tertiaire

Deux configurations sont envisagées, les bâtiments neufs (construits d'ici 2020) et les bâtiments existants (rénovation).

- **Bâtiments neufs**

Dans cette étude, les termes « bâtiment neuf » ou « constructions neuves » se rapporteront aux bâtiments construits entre 2011 et 2020. Afin d'évaluer le potentiel de développement de la géothermie pour les bâtiments neufs, il est proposé de réaliser des **études de préfaçabilité « théoriques »** (c'est-à-dire non reliées à des projets réels). Ces études de cas permettront de préciser les cibles privilégiées (typologies de bâtiments et donc besoins) pour le développement de solutions de géothermie intéressantes d'un point de vue technico-économique. Ce travail a été confié au bureau d'étude thermique ALTO Ingénierie.

Les différentes typologies de bâtiments se basent sur les besoins de la région Midi-Pyrénées et présentent des besoins calorifiques et frigorifiques différents. Il s'agit des :

- logements,
- bureaux,
- maisons de retraite,
- locaux d'enseignement,
- hôtels.

- **Bâtiments existants, rénovation**

L'enjeu en rénovation dans le résidentiel collectif / tertiaire ne réside pas dans la baisse des consommations mais dans l'adaptation des émetteurs de chaleur et du système de distribution existants, voire du niveau de température de la pompe à chaleur (côté émetteurs).

L'annexe 13, qui traite des contraintes spécifiques en rénovation, issue d'une note technique réalisée par ALTO Ingénierie, montre qu'il est possible dans certains cas d'adapter le système d'émetteurs de chaleur existant. Dans le cas de chauffage électrique, une rénovation lourde avec changement des émetteurs et du système de distribution sera nécessaire si l'on souhaite alimenter avec de la géothermie.

Ainsi, la mise en place d'une solution de géothermie se fera dans le cadre d'une opération plus globale de rénovation qui pourra être une opération lourde pour les bâtiments alimentés en tout électrique. Pour information, la part du chauffage électrique en Midi-Pyrénées est de 33% et les chiffres nationaux montrent qu'une majorité des logements construits actuellement sont alimentés par du chauffage électrique.

4.2. LA NECESSAIRE GEOLOCALISATION DES BESOINS

L'énergie géothermale ne peut être déplacée. C'est un des atouts principaux de la géothermie, en ce sens qu'il s'agit d'une réelle énergie locale (pas de consommations pour le transport notamment). Le critère essentiel de performance lors de la mise en place d'une solution de géothermie est l'adéquation des ressources et des besoins thermiques en surface. La ressource du sous-sol doit correspondre aux besoins de surface, que ce soit un besoin de chaleur, de rafraîchissement et/ou d'Eau Chaude Sanitaire (ECS). Ainsi, une ressource non utilisée (ou utilisée partiellement) en surface ne peut plus être comptabilisée comme mobilisable.

Pour étudier le potentiel de développement, il faut donc comparer la localisation et la disponibilité des aquifères avec les besoins des utilisateurs potentiels.

Ceci est d'autant plus vrai pour les projets sur aquifères profonds : l'investissement conséquent sur la mise en place d'un réseau de chaleur va s'ajouter à l'investissement de réalisation de la centrale géothermique. Le projet doit donc être réellement adapté en termes de besoins énergétiques avant de lancer l'opération.

Il n'est donc pas concevable de raisonner de manière statistique à l'échelle de la région, mais de manière géolocalisée, que ce soit pour les ressources ou pour les besoins thermiques.

La logique est quelque peu différente dans le cas de solutions sur sondes géothermiques verticales, car le nombre de sondes s'adapte au projet (si l'on considère uniquement l'aspect de la ressource, et pas des contraintes techniques, liées notamment à l'espace foncier qui en découle). De même, les enjeux sont différents pour les maisons individuelles, pour lesquelles les solutions sont multiples. La ressource ne sera pas le facteur limitant, les avantages relatifs des unes par rapport aux autres seront à étudier au cas par cas.

4.3. SIG ET CARTOGRAPHIE

Comme souligné dans la partie ci-dessus, la détermination du développement à l'horizon 2020 de la géothermie nécessite donc un travail géolocalisé afin de croiser les ressources disponibles et les utilisateurs potentiels, actuels et futurs (pour l'horizon 2020) en y intégrant les contraintes (Illustration 6).

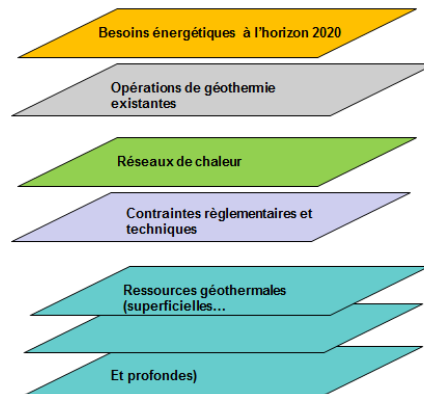


Illustration 6 – Schéma présentant la méthodologie de l'étude basée sur la construction d'un Système d'Information Géographique (SIG)

4.3.1. Définition de l'échelle de travail

Pour constituer le SIG dans l'optique de croiser des données, il est nécessaire de définir l'échelle de travail qui permettra de comparer de manière satisfaisante les ressources géothermales et les besoins.

L'échelle de travail doit se trouver entre :

- l'échelle fine au niveau de l'opération/du bâtiment. Cette étude réalisée à l'échelle régionale n'a pas pour vocation et ne peut se substituer à des études de préféabilité pour chaque bâtiment de Midi-Pyrénées. Nous partirons cependant de données géolocalisées de bâtiments (BD TOPO®) ;
- l'échelle communale, qui semble constituer un seuil pour l'obtention de données notamment énergétiques. Cependant, le croisement à l'échelle de la commune n'est pas satisfaisant. En effet, la façon dont sont répartis les utilisateurs sur la commune va influencer directement le potentiel géothermique. Par exemple, si, à ressource et besoins thermiques constants à l'échelle de la commune, les densités énergétiques varient (existence de zones à habitat collectif concentré par rapport à des zones pavillonnaires), les potentiels de valorisations seront différents (la ressource pouvant être limitante dans le premier cas, alors qu'elle ne le serait pas dans le second cas). Le besoin total à l'échelle de la commune peut correspondre à la somme de besoins partiels dispersés ou bien à quelques gros consommateurs localisés.

Il s'agit alors de trouver une échelle de travail intermédiaire, entre celle du bâtiment et celle de la commune. L'étude des ressources a été réalisée sur un maillage carré de 500*500m pour les nappes alluviales et pour les SIM (rapport BRGM n° RP55888-FR).

Pour évaluer le potentiel des aquifères superficiels, par un croisement de données, il est nécessaire de prendre en compte un nombre limité de doublets de forages (ou nombre limité d'opérations) qui exploiteront les aquifères (densité seuil d'opérations). Une hypothèse de travail va consister à considérer un doublet géothermique par maille, définissant ainsi une densité seuil (voire maximale d'opérations).

L'échelle de travail considérée pour les aquifères superficiels, est une maille carrée de 250*250m. Elle permet de « croiser » l'ensemble des données cartographiques géoréférencées.

Pour évaluer le potentiel des SIM, la taille du maillage original est conservée (500x500m de côté), étant donnée la précision des données sur la ressource d'une part, et les besoins qu'une opération de géothermie à cette profondeur peut satisfaire.

4.3.2. Cartographie des besoins thermiques

Les besoins en surface sont de deux natures différentes, ce qui nécessite deux approches :

- la consommation dans les bâtiments existants, qui permet de déterminer un potentiel pour le développement de la géothermie dans un contexte de rénovation, et qui pourra tenir compte des scénarios de rénovation, en particulier pour l'amélioration des isolations thermiques,
- la consommation dans les constructions neuves, qui prend en compte la réglementation thermique 2012.

1. Dans les bâtiments existants

Pour l'existant, des données de consommations communales (en kWh_{th}) provenant de la base de données OREMIP (Observatoire Régional de l'Energie en Midi-Pyrénées) sont disponibles. Dans cette base, les besoins en chauffage des utilisateurs sont fournis par typologie de bâtiment à l'échelle de la commune sans spatialisation. Or, il est nécessaire de disposer de données infra-communales et surtout spatialisées. La méthode développée utilise, en conséquence, un croisement avec la BD TOPO® (©IGN2011) afin de répartir la consommation de la commune sur les bâtiments implantés sur son territoire, en fonction de la surface chauffée de chaque bâtiment. Il convient de noter que la consommation de tous les modes de chauffage a été prise en compte, ce qui maximise les besoins de chauffe.

Toutes les typologies de bâtiment de la BD TOPO® correspondant aux activités résidentielles et tertiaires ont été prises en compte (zones d'habitation, de santé, administratives, scientifiques et d'enseignement). En revanche, les typologies de type « industrie », qui ne sont pas les cibles principales de développement de la géothermie et qui présentent une trop grande complexité et hétérogénéité de besoins, ont été écartées.

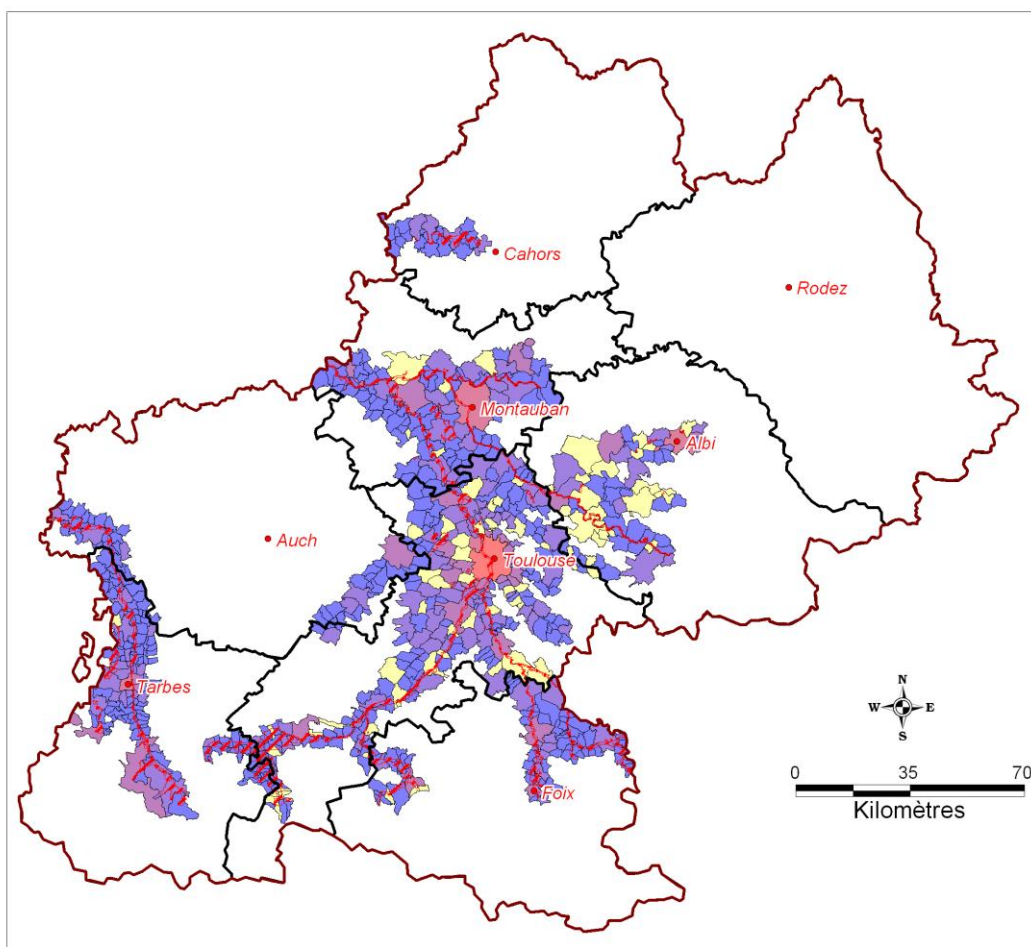
Si la base de données de l'OREMIP permet de connaître les données de consommation par typologie, la BD TOPO® permet de localiser les consommateurs mais ne permet pas de déterminer la typologie des bâtiments concernés. Ainsi, il a été décidé de considérer en priorité l'implantation des bâtiments.

La consommation de chaque bâtiment, proportionnelle à la surface chauffée, correspond à un pourcentage de la consommation totale de la commune (en supposant que tous les bâtiments sont chauffés). La surface totale à chauffer (en m²) par maille est donc déterminée à partir de la BD TOPO® et correspond à la somme des surfaces chauffées des bâtiments dont les centroïdes sont localisés dans la maille. Cette surface chauffée par mailles est donc multipliée par le ratio de consommation communal (en kWh/m²) correspondant à la consommation totale communale divisée par la surface totale chauffée, issues de l'étude OREMIP.

Cela permet d'obtenir une cartographie des besoins thermiques des utilisateurs (pour le chauffage et l'ECS) à l'échelle de la maille. Pour plus de lisibilité, la carte de l'illustration 7 présente les besoins en chauffage et ECS de l'ensemble des secteurs tertiaires et résidentiels, à l'échelle des communes.

Les cartes détaillant séparément les besoins dans les domaines résidentiel et tertiaire sont présentées en annexe 3.

**BESOINS ENERGETIQUES DE CHAUFFAGE TOTAUX (TERTIAIRES ET RESIDENTIELS)
PAR COMMUNE, SUR LA REGION MIDI-PYRENEES**



BESOINS TOTAUX EN KWh

Source OREMIP

	1 - 10 000 000 kWh	(462)
	10 000 000 - 60 000 000 kWh	(139)
	60 000 000 - 290 000 000 kWh	(29)
	290 000 000 - 4 550 000 000 kWh	(4)
	4 550 000 000 - 7 000 000 000 kWh	(1)
	Absence de donnée	(77)

 Secteurs avec contraintes réglementaires

Illustration 7 – Carte des besoins totaux des communes en kWh (source OREMIP)

2. Pour les nouvelles constructions

Il n'existe pas, à priori, de plan prospectif d'aménagement géolocalisé de la région Midi-Pyrénées, permettant de localiser à une échelle assez fine les nouvelles constructions. La cartographie des constructions neuves représente les zones identifiées comme « à urbaniser » et/ou « constructibles », d'après différents documents d'urbanisme collectés auprès de plusieurs organismes (Illustration 8). Le maillage utilisé pour le calcul du potentiel dans les constructions neuves correspond au maillage de la ressource (maillage carré de 250 m de côté) localisé dans les zones identifiées comme « à urbaniser » et « constructibles ». Cela ne prend donc pas en compte les nouvelles constructions dans le diffus (densification de l'existant).

Départements	Type de documents fournis	Organismes
09	POS et PLU	DREAL Midi-Pyrénées
12	-	-
31	POS et PLU PLU	DDT 31 et Sicoval Grand Toulouse
32	Cartes communales	DDT 32
46	POS et PLU	DREAL Midi-Pyrénées
65	POS et PLU	DREAL Midi-Pyrénées
81	POS et PLU	DDT 81
82	POS, PLU et Cartes communales	DDT 82

Illustration 8 – Tableau présentant les données cartographiques d'urbanisme par département, fournies par les différents organismes

La zone d'étude concernée comprend 4772 mailles, au lieu des 74 239 étudiées dans la partie « bâtiments existants ». La localisation de ces mailles comprenant les zones à urbaniser est présentée dans l'illustration 9 ci-après.

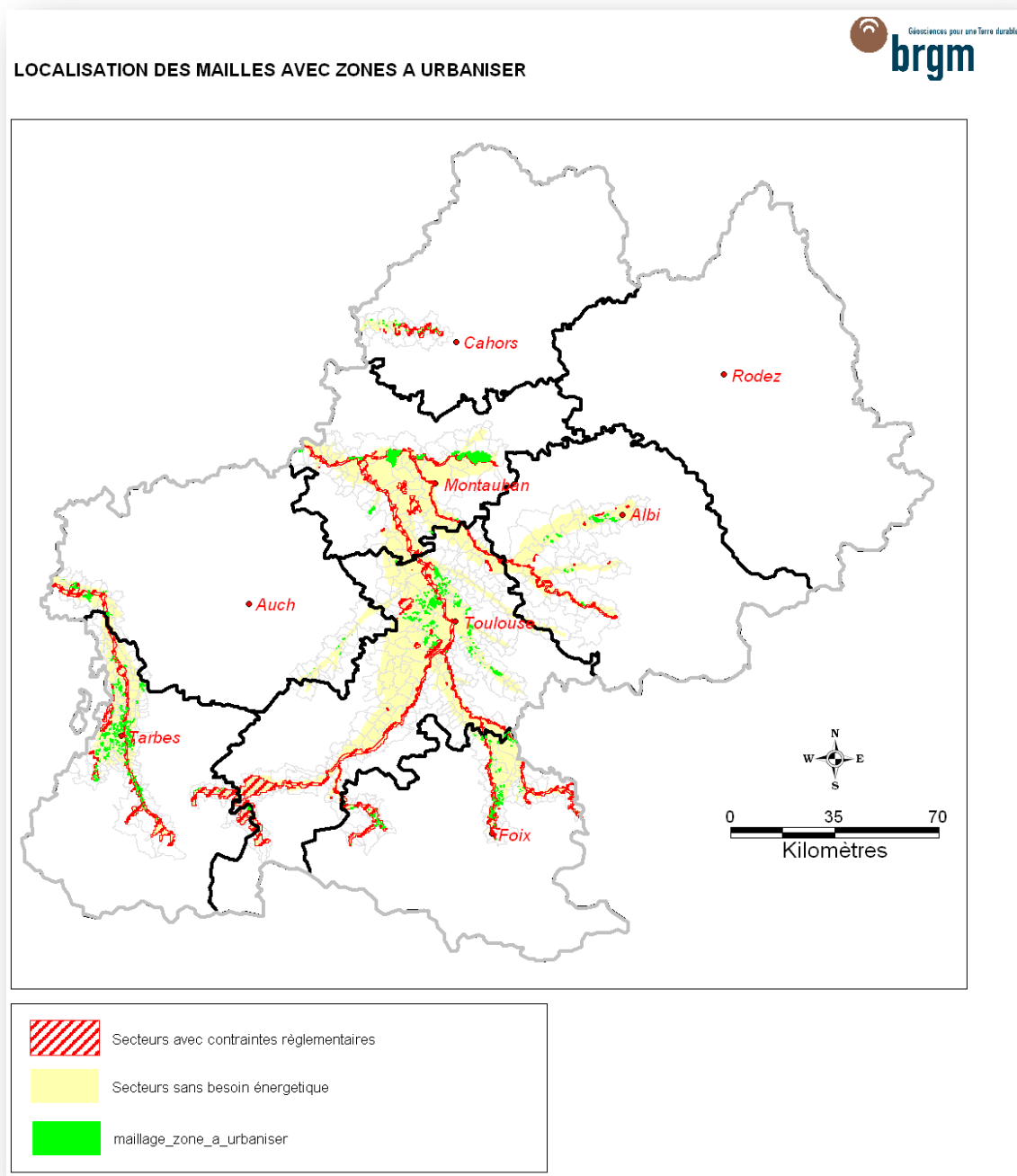


Illustration 9 – Carte de localisation des mailles avec zones à urbaniser

4.4. LES CALCULS DE POTENTIEL

Le potentiel de recours à la géothermie est calculé en croisant les cartes des ressources géothermiques et des contraintes réglementaires, définies sur le maillage de la ressource, à celles des besoins thermiques en surface, définies à l'échelle de la commune. Pour effectuer le croisement, la cartographie des besoins thermiques est affinée par un recoupage des communes avec le maillage de la ressource. La présentation des résultats conserve les deux échelles de travail : sur le maillage et par commune. Pour ce dernier, la représentation du potentiel est la somme des potentiels des mailles présentes à l'intérieur du territoire de la commune.

Pour un même besoin en surface, il peut exister différentes solutions de géothermie envisageables. Les différents calculs de potentiel (et donc de croisement) sont présentés dans le tableau ci-dessous (Illustration 10).

Techniques de géothermie envisagées		PAC sur aquifère superficiel	PAC sur sondes	Usage direct de la chaleur (ou PAC sur aquifères profonds)
Caractérisation des besoins thermiques (utilisateurs potentiels)				
Constructions existantes	Scénarios de rénovation	Calcul du taux d'adéquation		
Nouvelles constructions localisées sur les nouvelles mailles urbaines	Scénarios de développement par typologie de bâtiments	Calcul d'un potentiel de valorisation par typologie de bâtiment	Définition des zones favorables	Mise en avant des zones favorables au développement de réseaux de chaleur

Illustration 10 – Tableau présentant les différents calculs de potentiels géothermiques réalisés dans cette étude, en fonction des deux natures des besoins en surface et des trois types d'opérations de géothermie

Afin de permettre l'interprétation du potentiel de géothermie en fonction des différents types d'opérations, les potentiels ont été étudiés de manière distincte :

4.4.1. Le potentiel de développement d'opérations sur aquifères superficiels

Ce potentiel est défini sur chaque maille, par un taux d'adéquation³ entre les besoins thermiques de surface et la production énergétique que la ressource géothermale peut fournir.

4.4.2. Le potentiel de développement d'opérations sur sondes géothermiques verticales

La ressource n'étant pas le facteur limitant pour le développement d'opérations sur sondes géothermiques verticales, le croisement à l'échelle de la maille n'est pas effectué. Le potentiel est limité par les contraintes techniques et réglementaires. Le potentiel de développement des sondes géothermiques verticales sera évalué à partir de la dynamique de croissance des opérations recensées ces dernières années et prendra en compte les contraintes techniques liées à leur implantation.

4.4.3. Le potentiel de développement d'opérations sur l'aquifère profond des Sables Infra-Molassiques

Le potentiel de développement de l'aquifère profond des SIM est évalué en croisant les résultats d'études de cas technico-économiques, avec les caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère. La réalisation de forages profonds permettant d'atteindre des aquifères suffisamment chauds pour être utilisés directement (sans utilisation de PAC) implique un investissement qu'il convient d'amortir sur un nombre minimal d'utilisateurs concentrés dans un périmètre restreint (il est en effet nécessaire de limiter l'étendue du réseau pour des questions de coût et de déperdition énergétique).

³ Il est préféré ici le terme de taux d'adéquation par rapport au taux de couverture utilisé lors du dimensionnement d'une opération

5. Evaluation du potentiel géothermique sur aquifères alluviaux

5.1. EVALUATION DU POTENTIEL GEOTHERMIQUE SUR AQUIFERES ALLUVIAUX POUR LE BATI EXISTANT

Pour définir le potentiel de développement de la géothermie dans le bâti existant, il est proposé de calculer le taux d'adéquation entre les besoins en puissance et ce que la ressource alluviale peut fournir. Ne figureront dans le texte, uniquement les formules et résultats principaux, le raisonnement est détaillé en annexe 12.

5.1.1. Définition d'un potentiel de la ressource alluviale en puissance par maille

Les puissances potentiellement extractibles sont calculées à partir des cartes de productivité des aquifères issues de l'Atlas (Ghyselinck-Bardeau et al., 2007). Les calculs sont réalisés à partir du maillage carré de la ressource rééchantillonné à 250 m de côté.

Le calcul de la production d'énergie par maille, utilisé par la suite est le suivant :

$$\text{Prod}_{\text{ressource}} \text{ (kWh)} = \text{Pch (kW)} \times \text{Coefficient de chauffe (heures)}$$

Ce calcul fait intervenir la puissance de la ressource (Pch), dépendant directement des caractéristiques de l'aquifère, et le coefficient de chauffe, correspondant à un nombre d'heures d'utilisation à pleine puissance. Les calculs sont réalisés en prenant les deux coefficients de chauffe extrême, à savoir 500 et 2000, de façon à pouvoir évaluer l'amplitude des productions possibles. Une analyse de sensibilité sur ce paramètre est réalisée en annexe 12.

5.1.2. Géothermie sur aquifères alluviaux : calcul du taux d'adéquation et interprétation

- **Consommations actuelles**

A partir des deux cartographies en kWh, des données sur les ressources et sur les consommations énergétiques en surface, le croisement des résultats permet de définir le pourcentage des besoins actuels que la ressource peut couvrir (Illustration 11).

Le taux d'adéquation des besoins énergétiques par la géothermie sur les aquifères alluviaux correspond au rapport sur chaque maille entre la production de la ressource et la consommation :

$$\text{Taux adéquation} = (P_{\text{ressource}} \text{ (kWh)} / \text{Consommation par maille (kWh)}) * 100$$

Production (kWh)	Consommation par maille (kWh)	Taux d'adéquation (%)
136 000	625 227	21
136 000	154 270	88
136 000	74 949	181
136 000	4 492	3 027

Illustration 11 – Exemple de résultats de taux d'adéquation par la géothermie sur nappe alluviale pour une gamme de débit entre 2 et 10 m³/h et un coefficient de chauffe de 2000 heures.

Les résultats obtenus peuvent s'expliquer de la façon suivante :

- un taux supérieur à 100 % signifie que la ressource couvre plus que les besoins en surface. La ressource n'est donc pas le facteur limitant sur la zone couverte par la maille, et la géothermie sur nappe alluviale doit être considérée lors de travaux de rénovation;
- Un taux compris entre 50 % et 100 % exprime une production limitée de la ressource qui doit cependant pouvoir couvrir les besoins d'une majorité de bâtiments. En effet, un taux d'adéquation en puissance entre 50% et 80% permet de couvrir au moins 80% des besoins.
- Un taux inférieur à 50 % signifie que la production de la ressource ne pourra couvrir qu'une partie limitée des besoins des bâtiments présents sur le territoire de la maille. La ressource constitue le facteur limitant. Cependant, en fonction de la typologie du bâtiment il sera éventuellement possible de réaliser une opération. Si le débit disponible de la ressource ne permet pas de chauffer un ensemble important de logements, ce même débit, voire un débit plus faible, peut alimenter une opération pour un petit bâtiment de logements ou une maison individuelle.

Étant données les hypothèses de départ et les incertitudes des données utilisées pour les calculs, les zones retenues comme ayant un potentiel géothermique très intéressant sont celles dont le taux d'adéquation est supérieur à 100 %.

Présentation des résultats

L'illustration 12 présente le résultat du croisement entre besoins énergétiques actuels et ressources à l'échelle de travail, c'est-à-dire les mailles carrées de 250 m de côté et pour un coefficient de chauffe moyen de 1000 heures. Cette figure montre que dans les grandes villes de chaque département, et en particulier dans la ville de Toulouse, le taux d'adéquation des besoins par la géothermie excède rarement 20 %. A l'inverse, dans les zones moins urbanisées, qui couvrent une part importante des plaines du Tarn-et-Garonne, le sud de la Haute-Garonne et les alluvions de l'Ariège, la géothermie peut couvrir entre 50 et 100 % des besoins.

Une moyenne des taux d'adéquation des besoins des différentes mailles à l'intérieur d'une commune permet de donner le pourcentage de couverture des besoins par la géothermie sur cette commune (illustration 13). Cette carte confirme les résultats de l'illustration 12 et met en évidence un taux d'adéquation inférieur à 40 % dans les grandes villes et supérieur à 100 % dans les zones rurales.

Ces illustrations sont également présentées dans un format plus grand dans l'annexe 5.

Une étude de sensibilité est présentée en annexe 12 afin d'évaluer l'impact d'une baisse des consommations liée à des chantiers de rénovation conforme aux nouvelles directives de la RT 2012, soit une baisse de 38% des consommations de chauffage. Cette étude révèle qu'une baisse de 38 % des consommations des bâtiments, par rapport à la consommation actuelle, permettrait d'augmenter de presque 15 % le taux d'adéquation des besoins par la géothermie sur une maille (calcul réalisé avec un coefficient de chauffe moyen fixé à 1000 heures).

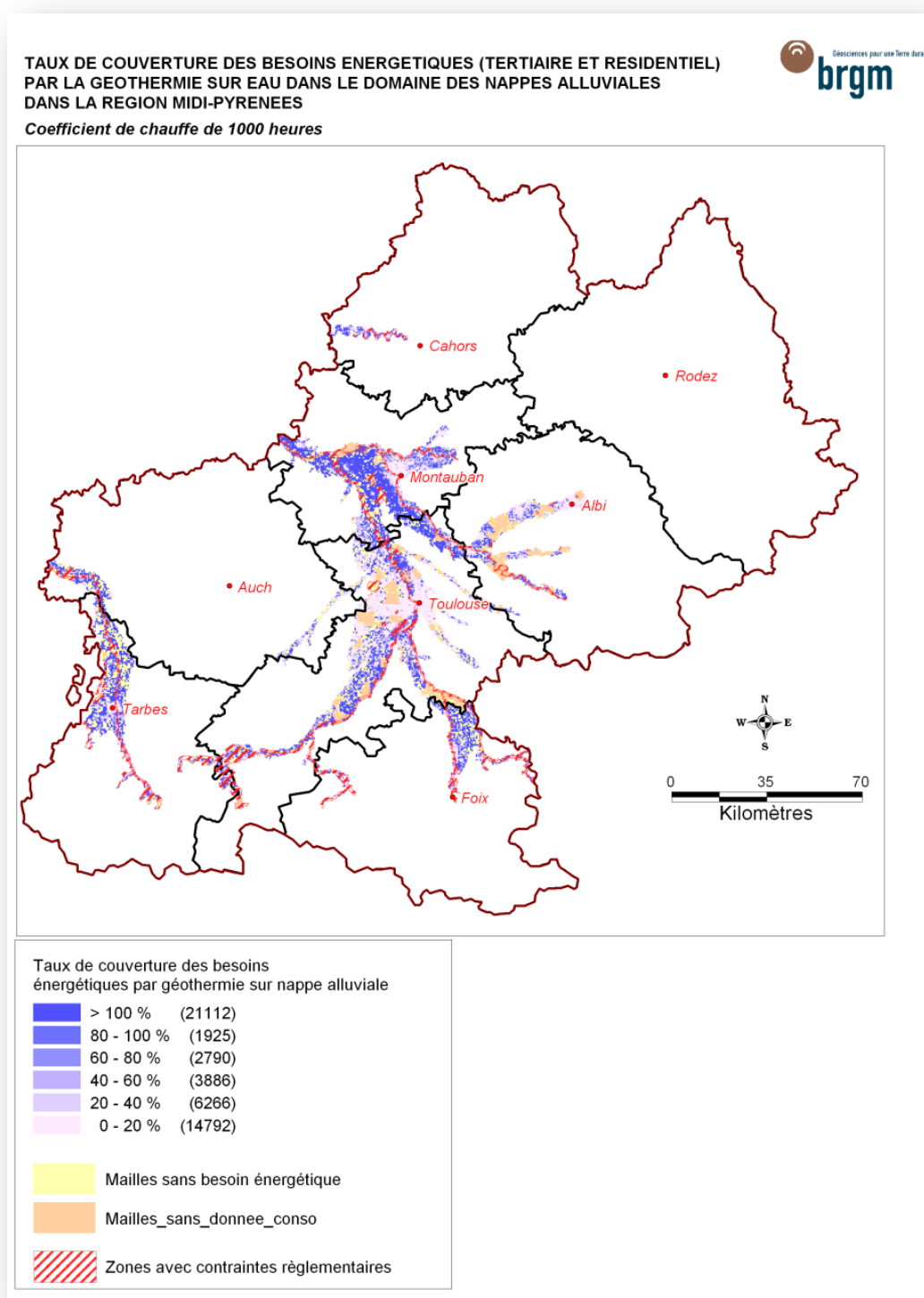
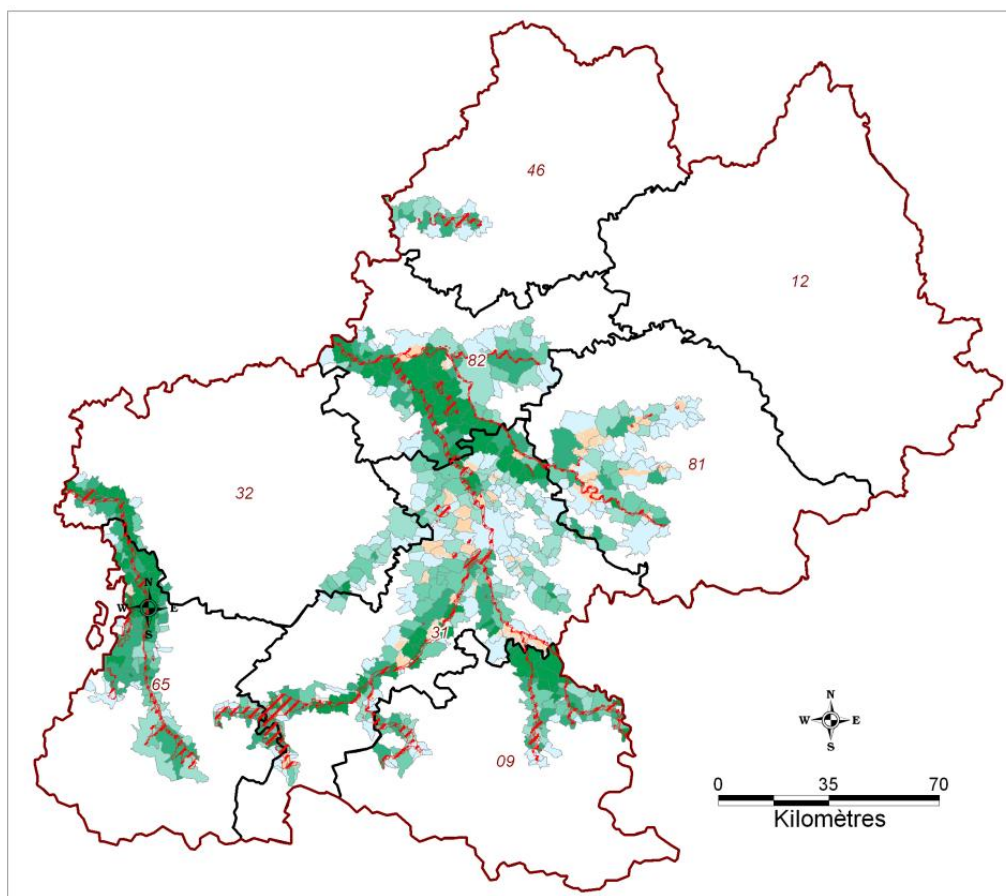


Illustration 12 – Carte des taux d'adéquation des besoins actuels par la géothermie sur les nappes alluviales de Midi-Pyrénées (coefficient de chauffe de 1000 h), présentée par mailles

**TAUX DE COUVERTURE DES BESOINS ENERGETIQUES (TERTIAIRE ET RESIDENTIEL)
PAR LA GEOTHERMIE SUR EAU DANS LE DOMAINE DES NAPPES ALLUVIALES
DANS LA REGION MIDI-PYRENEES**



Taux de couverture des besoins
énergétiques par la géothermie sur EAU

0 - 20 (194)

20 - 40 (93)

40 - 60 (127)

60 - 80 (154)

80 - 100 (144)

Limites de communes

Secteurs avec contraintes
réglementaires

Mailles sans donnée de consommation

Illustration 13 - Carte des taux d'adéquation des besoins actuels par la géothermie sur les nappes alluviales de Midi-Pyrénées (coefficient de chauffe de 1000 h), présentée par communes

5.1.3. Estimation du potentiel de développement de la géothermie exprimé en tonnes équivalent pétrole substituées pour le bâti existant sur aquifères alluviaux

Méthodologie

Les calculs précédents ont permis de déterminer le taux d'adéquation des besoins énergétiques par mailles et par communes et de mettre en avant les zones favorables au développement de la géothermie dans l'existant.

Il s'agit maintenant de calculer le potentiel de développement de la géothermie sur aquifères alluviaux qui doit également être traduit en termes de **production potentielle en tonnes équivalent pétrole (tep)**. Celle-ci est fonction de la puissance fournie par la ressource et des besoins identifiés en surface.

La définition de ce potentiel a été réalisée selon la méthodologie suivante :

Pour chaque maille, lorsque le taux d'adéquation des besoins énergétiques par la géothermie est supérieur à 100, le Potentiel (Po) par maille est défini comme suit :

$$Po_{(tep)} = \text{Consommation par maille (kWh)} \times 8,598.10^{-5}$$

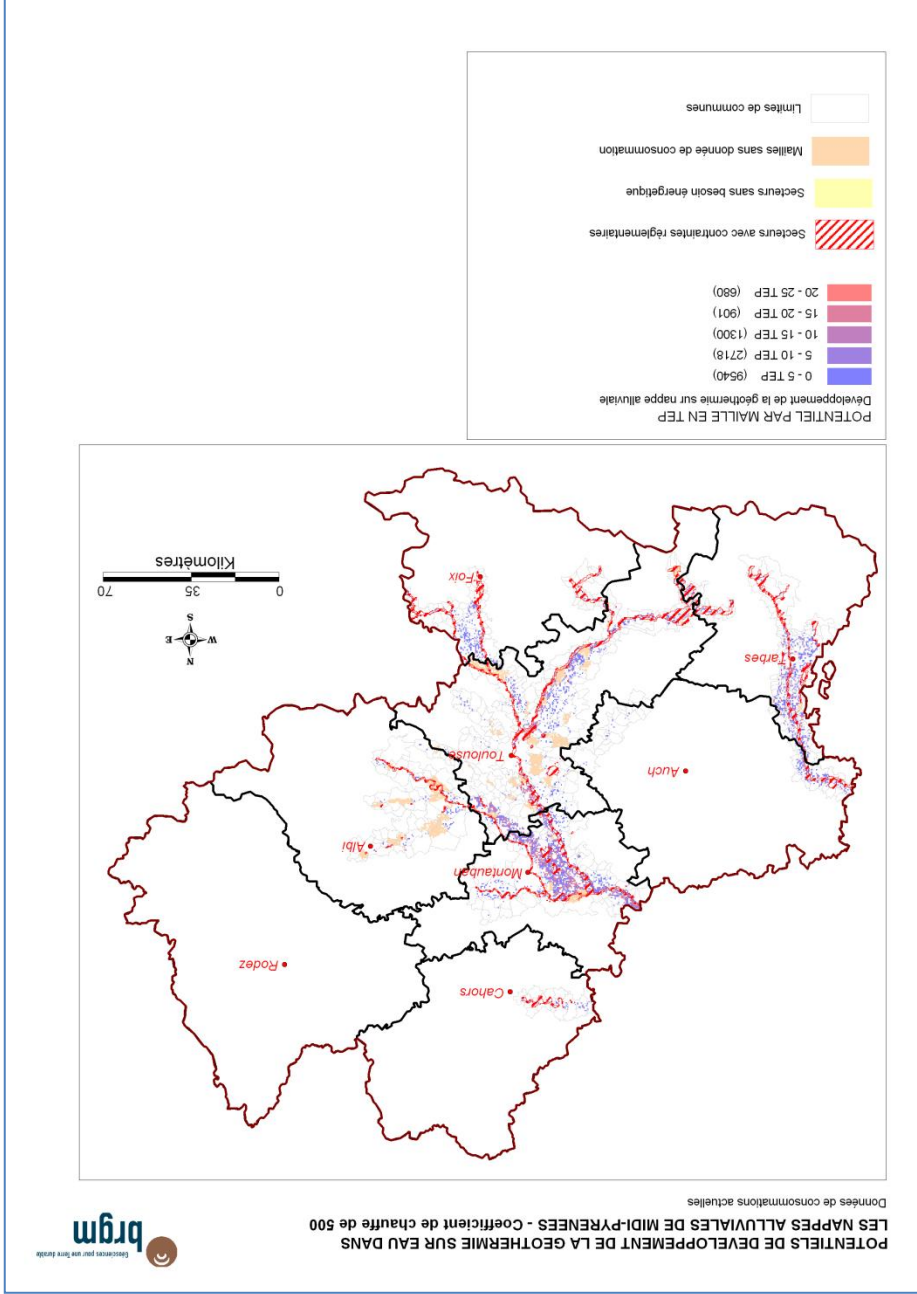
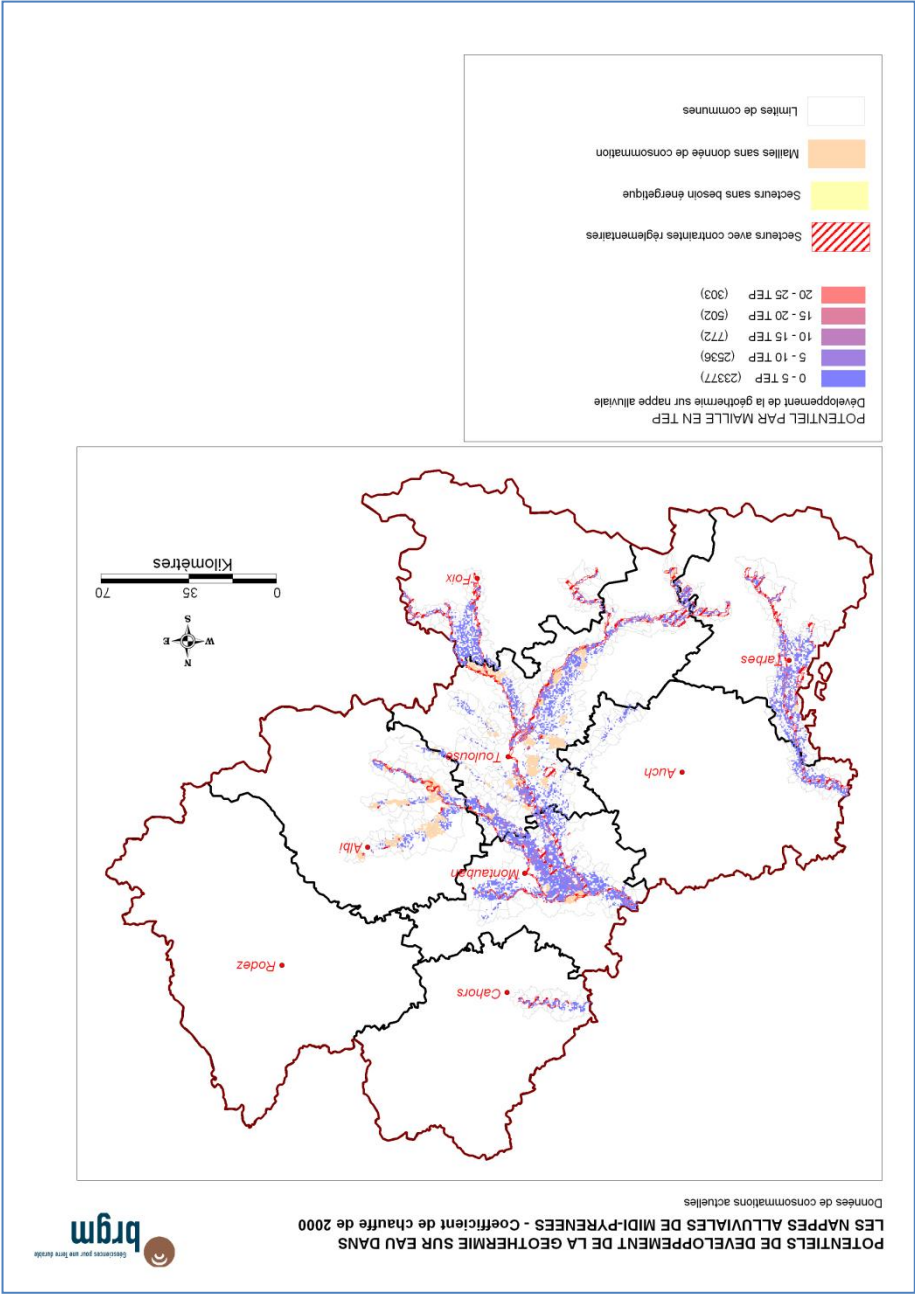
Le potentiel par mailles et ensuite agrégé au niveau de la commune, afin d'obtenir un potentiel en tep par commune. Ces calculs sont effectués pour deux valeurs extrêmes de coefficient de chauffe (500 et 2000 heures) et pour les différents scénarii de consommation (actuelle, -20 % et -38 %).

Résultats

Les résultats obtenus sont présentés dans les cartes de l'Illustration 14 ci-après.

Le potentiel de développement calculé pour chaque commune est présenté dans le tableau de l'annexe 6.

Illustration 14 (page suivante) - Potentiel de développement de la géothermie sur eau dans les nappes alluviales de la région Midi-Pyrénées



Le potentiel global actuel au niveau de la région Midi-Pyrénées est estimé à 78 386 tep pour un coefficient de chauffe de 500 heures et à 295 962 tep pour un coefficient de 2000 h, soit une variation de 3540 % (Illustration 15). La sensibilité du potentiel au coefficient de chauffe est donc très importante.

		Scénario de consommation (ktep)		
		Actuel	-20%	-38%
Coefficient de chauffe	500	78	79	82
	2000	296	288	280
	Différence du nb de mailles selon les coefficients de chauffe	217 576	208 606	197 980

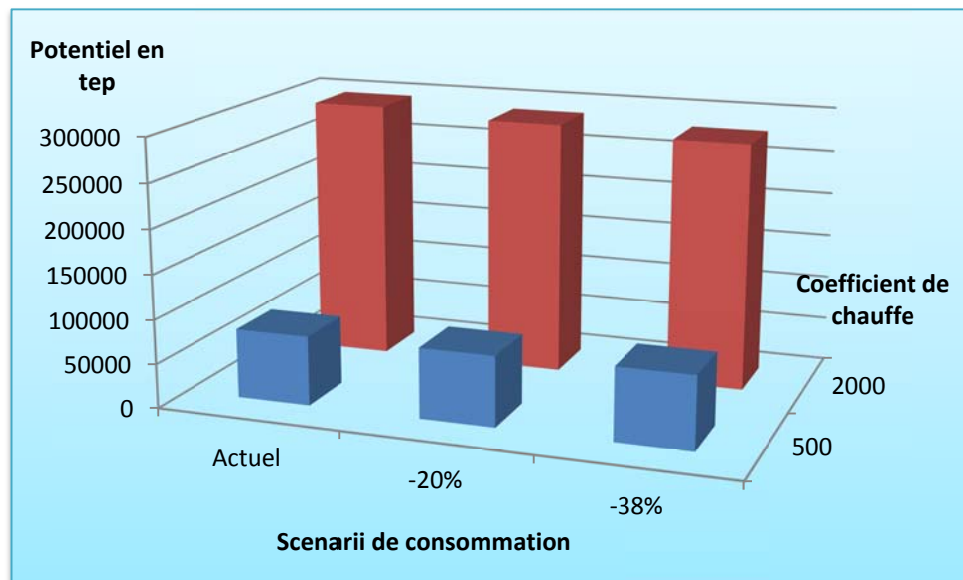


Illustration 15 - Calcul du potentiel global de développement de la géothermie sur aquifères alluviaux en Midi-Pyrénées et sensibilité en fonction du coefficient de chauffe

Il convient de noter que le potentiel augmente avec la diminution de consommation, pour un coefficient de chauffe de 500, alors qu'il diminue pour un coefficient de chauffe de 2000. Le premier cas s'explique par le fait qu'une baisse de la consommation entraîne une augmentation du nombre de mailles couvrant 100% des besoins. Le potentiel étant égal à la consommation sur ces mailles, il doit également augmenter. Le deuxième cas, exprime le fait que la baisse de 38 % de la consommation des mailles couvrant 100% des besoins, est supérieure à l'augmentation des consommations liée à l'augmentation du nombre de mailles couvrant 100% des besoins. Le deuxième cas se rencontrera d'autant plus que la consommation est plus forte sur une maille, donc sera favorisée par un coefficient de chauffe fort.

5.2. EVALUATION DU POTENTIEL GEOTHERMIQUE SUR AQUIFERES ALLUVIAUX POUR LES CONSTRUCTIONS NEUVES

La caractérisation du potentiel géothermique sur les aquifères alluviaux pour les constructions neuves en Midi-Pyrénées est réalisée sur la base des travaux effectués par le bureau d'études ALTO Ingénierie, dans le cadre de ce programme. La note technique présentant les résultats de ces travaux est disponible en annexe 13.

La méthodologie utilisée pour calculer le potentiel de développement de la géothermie pour les constructions neuves est réalisée à partir du maillage des zones ouvertes à l'urbanisation (cf 4.3.2).

Comme il n'existe pas de scénario régional de développement urbain géolocalisé à l'horizon 2020, il est proposé d'étudier le potentiel de la géothermie par typologie de bâtiments. Le choix des typologies est motivé par des besoins énergétiques différents et une représentativité des activités de la région. Les typologies retenues sont :

- les bâtiments dédiés à l'enseignement,
- les hôtels,
- les maisons de retraite (ou EHPAD)
- les logements,
- les bureaux.

5.2.1. Définition d'un potentiel « théorique »

Le terme « potentiel théorique » utilisé ci-après désigne le potentiel maximal de consommation couvert par la production d'énergie géothermique.

La note technique d'ALTO Ingénierie donne les résultats des modélisations ayant permis de déterminer, en fonction du débit disponible au niveau des alluvions, la surface maximale qu'il est possible d'alimenter grâce à un doublet géothermique.

Ces calculs ont été effectués sur la base des hypothèses suivantes :

- Calculs effectués pour des bâtiments neufs répondant à la norme RT 2012,
- Les simulations sont réalisées pour des solutions de chauffe provenant à 100 % de la géothermie,
- Il est considéré un doublet (pompage et injection) sur nappe alluviale par bâtiment,

A noter que pour les calculs de dimensionnement, les puissances de chauffage et d'ECS n'ont pas été cumulées, car la régulation de production permet de faire fonctionner l'installation soit en mode chauffage, soit en mode ECS. Le dimensionnement prend bien en compte la production du chauffage et d'Eau chaude Sanitaire, mais il est considéré que les deux puissances maximales ne seront pas appelées simultanément (décalage possible dû à la régulation).

Les ratios utilisés pour réaliser ces calculs sont présentés dans l'illustration 16.

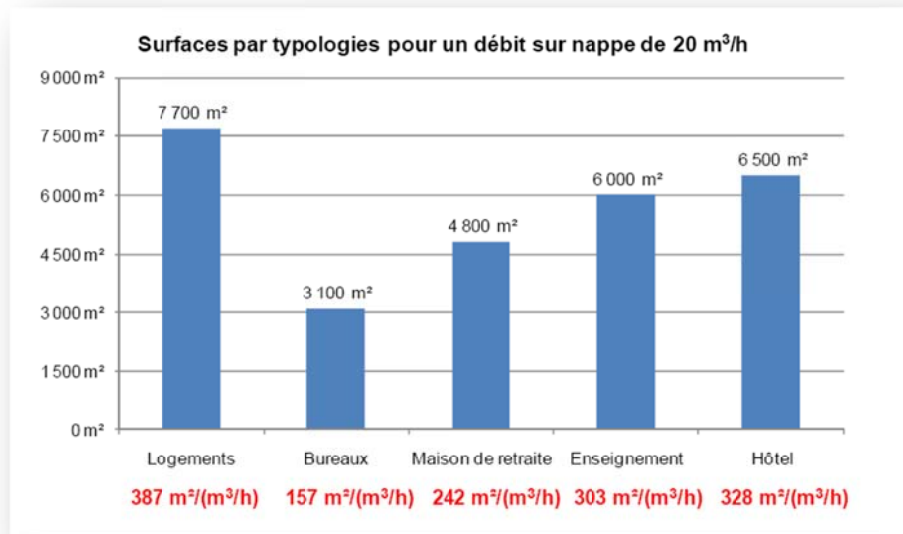


Illustration 16 – Surfaces maximum chauffables par typologie de bâtiment pour un débit de 20 m³/h.

Cet exemple est le résultat des calculs utilisant les ratios en rouge qui expriment le lien direct entre la surface pouvant être prise en compte et le débit de la ressource (source ALTO). Il convient ensuite de vérifier pour chaque maille si la surface pouvant être alimentée est bien supérieure à la surface minimum rentable (correspondant à un débit minimum, Illustration 18) par type de bâtiment, pour une opération de géothermie sur aquifère alluviaux (Illustration 17). Le calcul de surface minimum rentable, effectué par ALTO, fait intervenir le débit de la ressource et l'investissement. Il est complété par une étude de sensibilité prenant notamment en compte l'évolution du prix des énergies (Illustration 19).

Typologie	Surface (m²)	Débit (m³/h)
Logements	4 900	13
Bureaux	1 200	8
Hôtels	800	3
Maison de retraite	700	3
Enseignement	8 200	27

Illustration 17 – Surfaces minimales à chauffer permettant d'atteindre le seuil de rentabilité, par type de bâtiment (source ALTO)

Typologie	Débit minimum pour chauffer 1 m ² de bâtiment	
	m ³ /h	l/h
Logements	2.65E-03	2.7
Bureaux	6.67E-03	6.7
Hôtels	3.75E-03	3.8
Maison de retraite	4.29E-03	4.3
Enseignement	3.29E-03	3.3

Illustration 18 – Débit minimum nécessaire par m² de bâtiment pour atteindre le seuil de rentabilité

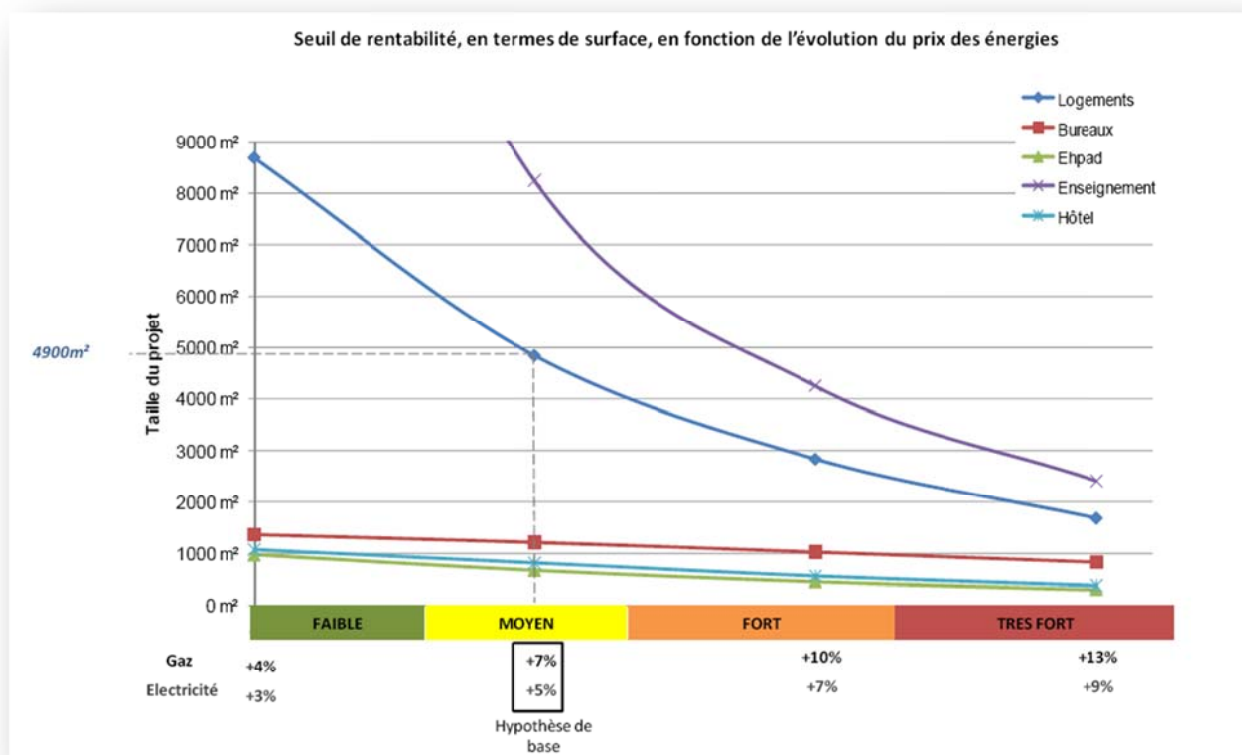


Illustration 19 – Graphique des seuils de rentabilité, en termes de surface par typologie de bâtiments

Les résultats obtenus pour les gammes de débits disponibles dans les aquifères alluviaux de Midi-Pyrénées sont les suivants (Illustration 20).

Gamme de Débit	Débit moyen m^3/h	Logement	Bureaux	EHPAD	Enseignement	Hôtel
$Q \leq 2$ m^3/h	1	387	157	242	303	328
$2 < Q < 10$ m^3/h	6	2322	942	1452	1818	1968
$10 < Q < 20$ m^3/h	15	5805	2355	3630	4545	4920
$Q \geq 20$ m^3/h	50	19350	7820	12100	15150	16400

Illustration 20 – Surfaces maximales chauffées à partir des différents débits de l'aquifère. Les surfaces inférieures au seuil de surface rentable sont indiquées en rouge

Si la surface pouvant être alimentée pour une typologie donnée est inférieure à la surface de rentabilité, alors le potentiel de développement de la géothermie pour ce type de bâtiment est nul sur la maille. Si la surface pouvant être alimentée pour une typologie donnée est supérieure à cette surface de rentabilité, alors le potentiel théorique de développement de la géothermie pour ce type de bâtiment est calculé sur la maille.

Le potentiel théorique de consommation pouvant être couvert par la production d'énergie géothermique se traduit donc par une surface qui est fonction de chaque typologie et du débit (Illustration 21 et annexe 7) :

- Inférieur à $2 \text{ m}^3/\text{h}$, la géothermie sur aquifère alluvial est seulement intéressante pour les petits logements individuels,
- Compris entre 2 et $10 \text{ m}^3/\text{h}$, la géothermie sur aquifères alluviaux est intéressante pour les logements individuels, les EHPAD, les Hôtels et les hôpitaux,
- Compris entre 10 et $20 \text{ m}^3/\text{h}$, la géothermie comble les mêmes besoins, avec en plus les logements collectifs et les bureaux,
- Supérieur à $20 \text{ m}^3/\text{h}$ (valeur de $50 \text{ m}^3/\text{h}$ prise en compte), la géothermie permet d'alimenter les 6 typologies de bâtiments.

	Logements			Bureaux		EHPAD	
Ratio utilisé (d'après ALTO)			387 m²/(m3/h)	157 m²/(m3/h)		242 m²/(m3/h)	
	surface (m²)	Nb bâtiments s		surface (m²)	Nb bâtiments s	surface (m²)	Nb bâtiments s
Gammes de débits		Individuel	Collectif				
< 2 m3/h	387	4	0.0	157	0.0	242	0.0
2 à 10 m3/h	2322	25	0.0	942	0.0	1452	2.0
10 à 20 m3/h	5805	63	1.0	2355	2.0	3630	5.0
> 20 m3/h (50 m3/h)	19350	212	3.0	7850	6.0	12100	17.0
Surface rentables (m²)			4900	1200		700	
	Hôtels			Hôpitaux		Enseignement	
Ratio utilisé (d'après ALTO)	328 m²/(m3/h)			328 m²/(m3/h)		303 m²/(m3/h)	
	surface (m²)			surface (m²)	Nb bâtiments s	surface (m²)	Nb bâtiments s
Gammes de débits		Nb bâtiments					
< 2 m3/h	328	0.0		328	0.0	303	0.0
2 à 10 m3/h	1968	2.0		1968	2.0	1818	0.0
10 à 20 m3/h	4920	6.0		4920	6.0	4545	0.0
> 20 m3/h (50 m3/h)	16400	20.0		16400	20.0	15150	1.0
Surface rentables (m²)	800			800		8200	

Illustration 21 – Potentiel théorique de la géothermie sur aquifère alluvial pour les constructions neuves, traduit en surface et nombre de bâtiments en fonction du débit et des typologies.

Les résultats présentés peuvent également être consultés sous forme de carte de potentiels (en m²) dans l'annexe 7.

Le potentiel théorique peut également être traduit en nombre de bâtiments :

$$\text{Nb de bâtiment qu'il est possible de chauffer} = \frac{\text{Surface pouvant être alimentée}}{\text{surface moyenne en Midi-Pyrénées pour chaque type de bâtiment}}$$

Ce calcul est réalisable en connaissant les surfaces moyennes par type de bâtiments dans la région Midi-Pyrénées. Ces données ont été calculées à partir de données de l'INSEE, aux recherches faites sur Internet et à quelques données issues de GALILEO (Illustration 22).

Typologie de bâtiment	Logement	Bureau	Hôtel	EHPAD	Enseignement	Hôpital
Surface moyenne d'un bâtiment en MPY (m²)	91 (individuel) 4000 (collectif)	800	900	4000	500 (primaire) 1700 (secondaire)	20 000
Sources	http://www.linternaute.com/actualite/societe-france/statistiques-france/surface-logement-france.shtml	Taille moyenne d'entreprise 30 personnes et 30 m² de bureau par personne	INSEE et GALILEO	SITE INTERNET (nb 505 en 2011)	GALILEO et INSEE	SITE INTERNET

Illustration 22 – Surfaces moyennes par typologie des bâtiments en région Midi-Pyrénées

5.2.2. Comparaison avec le développement urbain à l'horizon 2020

Le potentiel théorique fourni par la ressource doit être mis en perspective par rapport aux surfaces de construction prévues ou estimées d'ici 2020. Ces données, issues de l'outil GALILEO de l'ADEME, sont synthétisées dans l'illustration 23.

		2010	2020	Augmentation
Logement (nombre)		138 000	214 000	76 000
Bureaux (surface)		7 600 000 m²	9 400 000 m²	1 800 000 m²
Hôtels (nombre)		1200	1360	160
Maison de retraite (nombre)		379	408	29
Enseignement (surface)	Primaire	1 356 898 m²	1 525 224 m²	168 326 m²
	Secondaire	863 687 m²	970 829 m²	107 142 m²

Illustration 23 – Evolution du nombre et des surfaces des nouvelles constructions d'ici 2020 par typologie de bâtiments (source GALILEO). Dans l'outil GALILEO, la typologie « logement » n'inclus pas les bâtiments équipés de chauffage électrique.

Certaines des données de GALILEO étant disponibles en nombre d'établissements et non pas en surface, il a été nécessaire d'utiliser les surfaces moyennes des différents types de bâtiments pour la région Midi-Pyrénées (Illustration 22).

Les résultats de la comparaison entre les surfaces de bâtiment du potentiel théorique et les surfaces construites d'ici 2020, sont présentés dans les Illustration 24 et Illustration 25 ci-après. Les nombres de la 1ere ligne ne doivent pas être additionnés car il s'agit du potentiel total sur une seule typologie dans chaque cellule.

	Logements (m ²)	Bureaux (m ²)	EHPAD (m ²)	Hôtel (m ²)	Enseignement (m ²)
Surface (m2) chauffable pour les constructions neuves	31 571 460	12 808 060	19 742 360	26 758 240	21 028 200
Surface (m2) nouvellement construite d'ici 2020	6 916 000	1 800 000	116 000	144 000	275 468
% d'Utilisation de la GTH si utilisation à 100% avec 1 seule typo	22%	14%	1%	1%	1%

Illustration 24 – Comparaison des surface chauffables théoriques d'après la ressource et des surfaces neuves à construire d'ici 2020

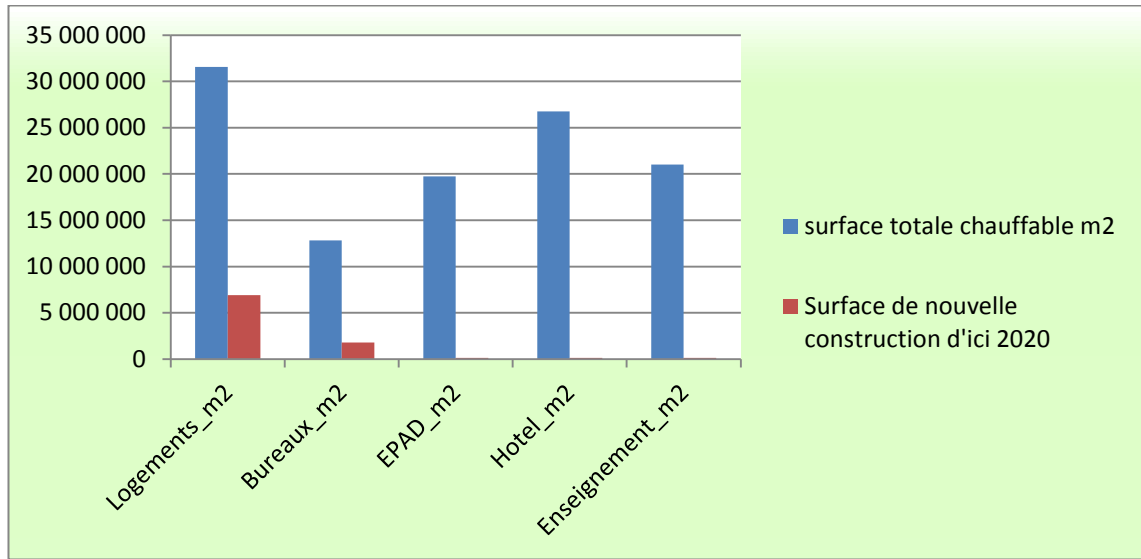


Illustration 25 – Graphique de comparaison des surfaces qu'il est possible d'alimenter à partir de la géothermie sur nappe et des surfaces construites d'ici 2020

L'illustration 24 et l'illustration 25 montrent que dans la globalité, la ressource n'est pas le facteur limitant par rapport aux surfaces prévues à la construction d'ici 2020. Par contre, c'est la spatialisation de ces ressources, en fonction de l'implantation des futurs bâtiments, qui va déterminer le potentiel réel de développement de la géothermie. Les implantations devront se faire sur les zones identifiées sur la carte de l'annexe 7.

Les données de potentiel théorique de surface, définies par maille, sont ensuite agrégées par commune afin de spatialiser le potentiel. Ce calcul permet d'obtenir des potentiels de surface pour chaque type de bâtiment sur les communes concernées (annexe 8).

Le potentiel théorique de surface peut enfin être défini en termes de potentiel de production (kWh) grâce à un ratio calculé par ALTO Ingénierie (Illustration 26). Ce ratio permet d'exprimer la production énergétique (kWh) par typologie de bâtiment en fonction de chaque usage (chauffage, ECS, froid).

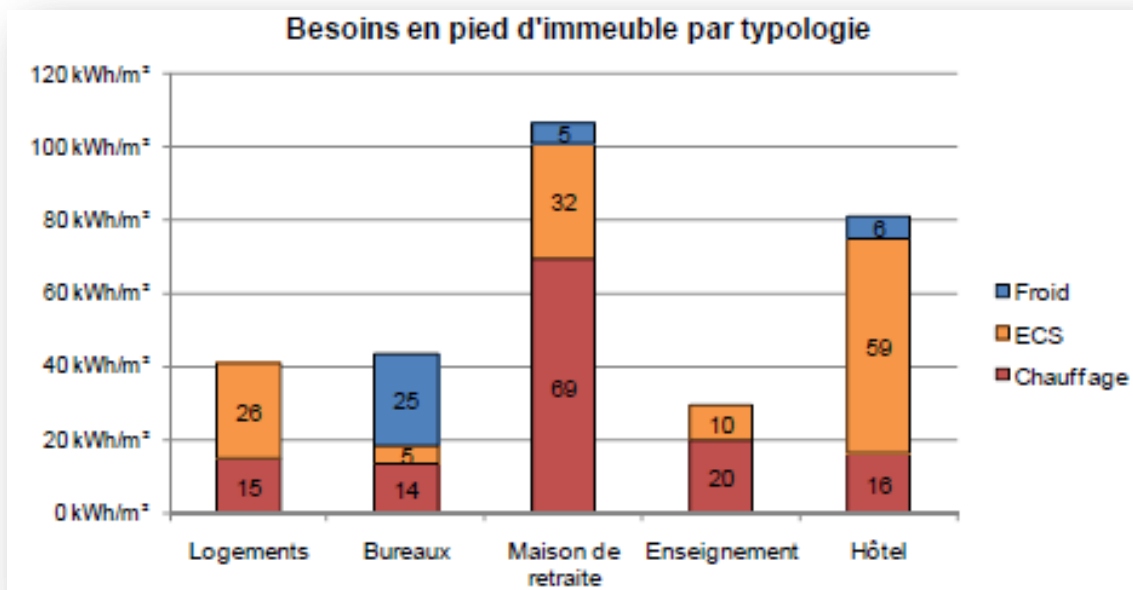


Illustration 26 – Besoins énergétiques en kWh/m² par typologie de bâtiments (Source ALTO)

L'illustration 27 montre les résultats en prenant l'exemple de la typologie « Bureaux » pour quelques communes de la région Midi-Pyrénées. L'intégralité des résultats est disponible dans le tableau de l'annexe 9.

NUMERO	NOM_COMMUNE	Bureaux_m2	Prod_Bureau_Froid_kWh	Prod_Bureau_ECS_kWh	Prod_Bureau_ChauF_kWh	Prod_Bureau_TOTAL_kWh
9225	PAMIER	4 710	117 750	23 550	65 940	207 240
31069	BLAGNAC	101 422	2 535 550	507 110	1 419 908	4 462 568
31555	TOULOUSE	222 940	5 573 500	1 114 700	3 121 160	9 809 360
65440	TARBES	333 625	8 340 625	1 668 125	4 670 750	14 679 500

Illustration 27 – Résultats des potentiels théoriques de surface et de la production par la géothermie sur eau des aquifères alluviaux pour cinq communes, répartis en fonction des usages et pour la typologie « bureaux ».

Le potentiel théorique de consommation pouvant être couvert par la production d'énergie géothermique sera utilisé pour estimer le potentiel réel de développement de la géothermie.

5.2.3. Estimation du potentiel de développement de la géothermie exprimé en tonnes équivalent pétrole substituée pour les constructions neuves sur aquifères alluviaux

Le potentiel théorique total de consommation peut être couvert par la production d'énergie géothermique pour chaque typologie et pour les 173 communes dont le territoire contient des zones à urbaniser est présenté sur l'illustration 28. Pour chaque typologie, il s'agit du potentiel total de la ressource. Les valeurs ne peuvent donc pas être additionnées. Le potentiel varie en raison des différences de sollicitation de la ressource liées aux différents usages de chaque typologie.

	Logements	Bureaux	EHPAD	Hôtel	Enseignement
Potentiel de conso couvert par la gth (Gwh)	1 503	654	2 430	2 517	861
Potentiel de conso couvert par la gth (ktep)	129	56	209	216	74

Illustration 28 – Potentiel total de production pour chaque typologie

5.3. PRECISION SUR LE POTENTIEL

5.3.1. Prise en compte des besoins de froid

Cette étude ne calcule pas le potentiel en termes de production de froid. Il est souligné cependant en introduction les possibilités, pour les solutions avec pompes à chaleur, de produire du chaud et du froid, de manière alternative ou de manière simultanée, et ce avec le même investissement « sous-sol » initial. Ces solutions de rafraîchissement s'accompagnent en outre d'une excellente efficacité énergétique.

L'intérêt de la production de chaud et de froid avec la géothermie se retrouve dans les analyses technico-économiques. Cela va également avoir un impact, notamment thermique, sur la gestion de la ressource. En effet, la production de froid l'été conduit à recharger thermiquement le sous-sol exploité l'hiver.

Pour le secteur résidentiel, le tableau ci-dessous (Illustration 29), extrait du document prospectif de l'OREMIP, montre la répartition, par usage, des consommations énergétiques finales d'une résidence. Le poste de consommation de loin le plus important est donc le chauffage qui, avec la consommation d'eau chaude sanitaire, représente plus des $\frac{3}{4}$ de la consommation finale.

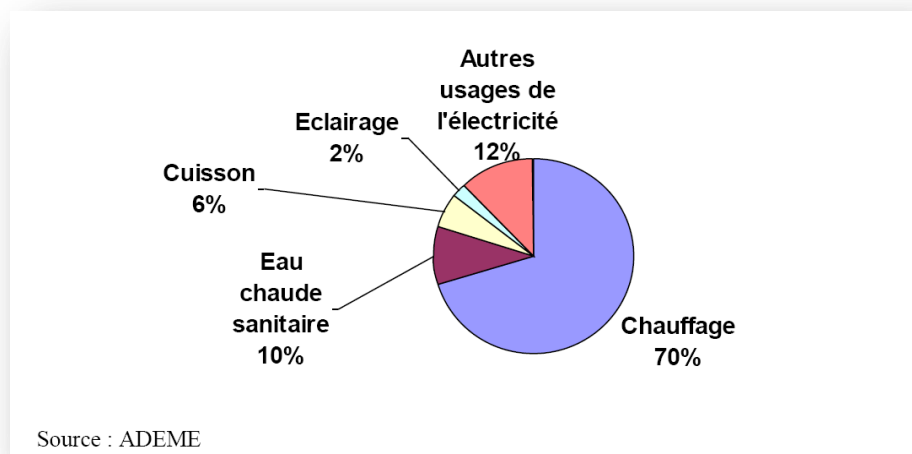
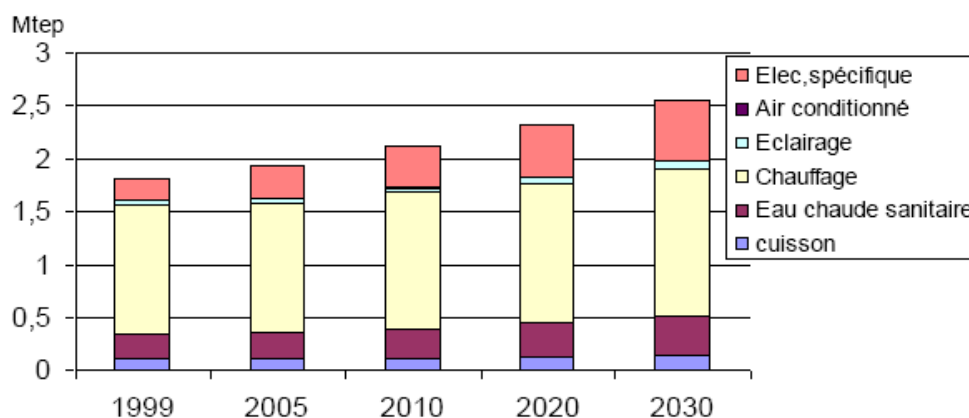


Illustration 29 – Consommations énergétiques finales d'une résidence (source ADEME)

Ceci met donc l'accent sur la nécessité de baser le raisonnement autour de la production de chaleur (y compris lors d'opérations de rénovation).

Il est à noter cependant que l'augmentation de consommation énergétique la plus forte en valeur absolue concerne la climatisation (Illustration 30). Cette tendance est liée au développement du parc de logements mais également au développement de certains usages.



Source : OREMIP (Med Pro)

Illustration 30 – consommations énergétiques des logements de Midi-Pyrénées par usage (scénario tendanciel)

Concernant la climatisation dans le tertiaire et suivant un scénario tendanciel, les besoins ont également tendance à augmenter. Leur proportion reste aujourd'hui limitée, en tout cas en moyenne, d'après les données de l'étude OREMIP : « *bien que la consommation énergétique liée à la climatisation augmente, elle représente moins de 5% des consommations du tertiaire* ». Ces besoins de climatisation peuvent toutefois, pour certaines typologies, représenter une part conséquente des besoins,

comme le montrent les études de cas réalisées dans le cadre de cette étude (annexe 13).

5.4. IMPACT DE LA RENOVATION PAR RAPPORT AUX CONSTRUCTIONS NEUVES DANS L'EVALUATION DU POTENTIEL

Les freins au développement d'opérations de géothermie sont plus importants en rénovation que dans le cas de nouvelles constructions. La nécessité de disposer d'espace suffisant pour la construction d'un champ de sondes est contraignante dans le cas d'une opération de rénovation. Les actions de rénovation ou réhabilitation peuvent être limitées dans les centres historiques anciens par exemple, or, près de 5 millions de logements occupés en 2000 ont été construits avant 1915.

Cette contrainte d'espace disparaît quasiment totalement dans le cas d'une construction nouvelle où des solutions peuvent être appréhendées en amont (sondes implantées sous le bâtiment ou sous un parking).

Cependant, l'impact énergétique et environnemental des nouvelles constructions est faible (inférieure à 2%) étant donné le taux de nouvelles constructions par rapport au parc de logements (Illustration 31) d'une part, et les nouvelles réglementations thermiques (RT 2012) pour les nouvelles constructions, d'autre part.

Tableau 7 : Projection de logements : structure du parc de logements de Midi-Pyrénées

Hypothèses régionalisées	1999	2005	2010	2020	2030
Nombre de logements (en millions) ⁸	1,07	1,20	1,28	1,45	1,61
Nombre moyen de constructions annuelles neuves ⁹	22 000	22 000	19 000	20 000	21 000
Part des maisons individuelles	69%	63%	61%	58%	55%
Part des logements collectifs	31%	37%	39%	42%	45%

Sources : INSEE, DRE

Illustration 31 – Part des nouvelles constructions par rapport au nombre de logements existants en Midi-Pyrénées (Source : OREMIP)

L'amélioration de la performance énergétique dans le bâti se fera en combinant des actions fortes de rénovation/réhabilitation, avec la pénétration d'énergies renouvelables, comme les PAC géothermiques. Comme le montre l'étude du CLIP n°18 (janvier 2007), intitulée *Pompes à chaleur et habitat – Prospective des consommations d'énergie et des émissions de CO2 dans l'habitat : les gisements offerts par les pompes à chaleur*, « les PAC sont sans aucun doute un moyen de rendre plus performants les logements et peuvent accompagner sans conteste les politiques d'amélioration de l'habitat existant ».

Lorsque le potentiel existe, les possibilités d'intégration de la géothermie vont donc dépendre :

- En rénovation
 - Du programme de rénovation entrepris. L'objectif national fixé par le Grenelle de l'environnement est une rénovation de 400 000 logements par an ;
 - Du type de travaux de rénovation ;
 - Des contraintes d'implantation (à étudier au cas par cas).
- Dans le neuf
 - D'une sélection en amont du type d'émetteurs
 - De la possibilité d'intégrer le(s) bâtiment(s) à un réseau de chaleur ou un micro réseau susceptible d'être alimenté par géothermie.

6. Le potentiel des Sondes Géothermiques Verticales

Les sondes géothermiques verticales (SGV) peuvent être installées indépendamment de la ressource en eau souterraine, dans la mesure où elles exploitent la chaleur du sous-sol et le gradient géothermique terrestre. Contrairement aux PAC sur aquifères superficiels, il est possible de multiplier le nombre de sondes (champ de sondes) pour atteindre la puissance souhaitée pour le projet.

L'espace disponible constitue une contrainte technique majeure à la mise en œuvre de ce procédé, dans la mesure où les sondes doivent être écartées les unes des autres d'environ 10 m. L'autre contrainte principale est liée aux formations géologiques rencontrées lors de la foration.

Certains contextes géologiques sont peu favorables⁴ au développement de SGV, comme les terrains présentant une forte hétérogénéité, les zones structurales intensément fissurées, faillées ou bréchifiées, ou encore les zones présentant des cavités naturelles comme les karsts ou des cavités anthropiques. En effet, dans ces types de terrains la mise en œuvre de la cimentation du forage présentera d'importantes difficultés et il sera difficile d'obtenir un scellement des sondes efficaces et conforme à la norme.

De plus, des précautions particulières et le recours à l'avis d'un expert du sous-sol (géologue, hydrogéologue) sont vivement recommandés dans les zones où l'on rencontre des roches meubles instables (roches volcano-sédimentaires, pouzzolanes) ainsi que des roches présentant des risques de dissolution (évaporites) ou de retrait-gonflement (argiles).

Les zones de contraintes pour l'implantation de sondes géothermiques ont été identifiées sur le territoire de la région Midi-Pyrénées. Les zones karstiques se rencontrent essentiellement dans les Causses du Quercy (Lot), l'est de l'Aveyron, et les contreforts de Pyrénées. La carte de l'illustration 32 permet de localiser ces zones de contraintes.

⁴ Cf. Norme NF X 10-970 « Forage d'eau et de géothermie Sonde géothermique verticale (échangeur géothermique vertical en U avec liquide caloporteur en circuit fermé), Réalisation, mise en œuvre, entretien, abandon. »

**CARTE DES SYSTEMES AQUIFERES KARSTIQUES AFFLEURANT EN MIDI-PYRENEES
= ZONES DE CONTRAINTES TECHNIQUES POUR LA MISE EN PLACE DE SONDES THERMIQUES**

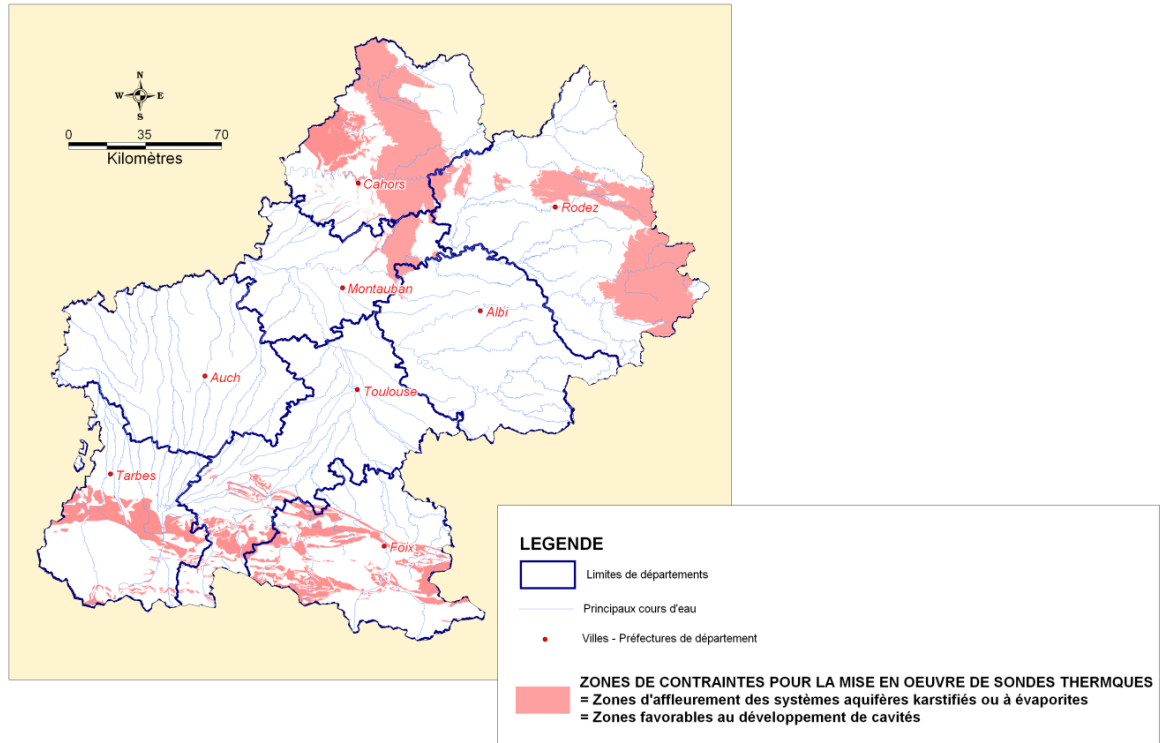


Illustration 32 – Carte de localisation des zones de contraintes pour l'implantation de sondes thermiques (principalement des zones karstiques et des zones avec présence d'évaporites à faible profondeur)

En considérant uniquement les mailles de 250 m de côté, où les taux d'adéquation des besoins de chauffage par la géothermie est inférieur à 100 %), ainsi que l'ensemble des secteurs où il n'existe pas de contraintes géologiques, il est possible de réaliser une carte des secteurs favorables à l'implantation des SGV (Illustration 33).

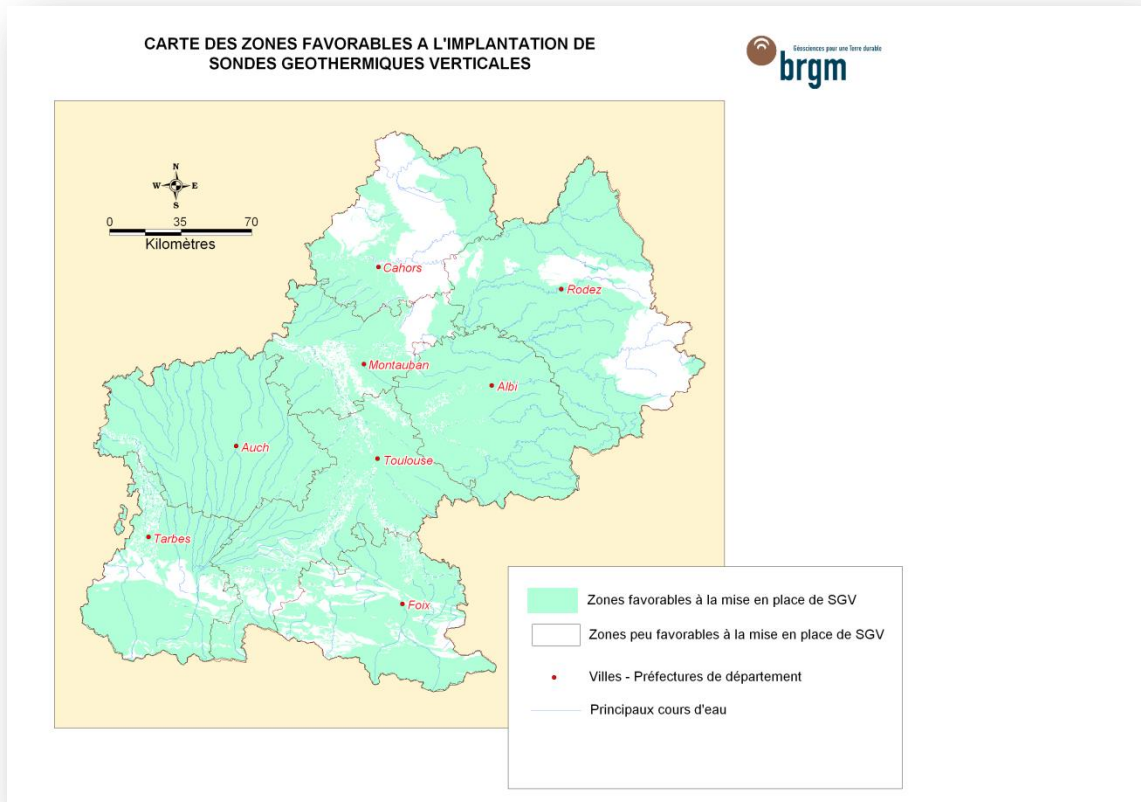


Illustration 33 – Carte des zones favorables à l'implantation des SGV en Midi-Pyrénées

Cette carte montre qu'une majeure partie de la région Midi-Pyrénées est favorable à l'implantation de SGV. Dans la mesure où l'urbanisation de la région reste majoritairement extensive, avec présence d'une surface de terrain suffisamment grande pour permettre l'implantation d'une ou plusieurs sondes, il n'existe pas, a priori, de grands facteurs limitant le potentiel.

L'évaluation du nombre de SGV à prévoir d'ici 2020 est traitée dans le paragraphe sur les objectifs.

L'évaluation d'un nombre de SGV à atteindre d'ici 2020 doit donc davantage se baser sur le nombre d'opérations recensées ces dernières années, affecté d'un facteur accélérateur.

La Banque de données du Sous-Sol (BSS) du BRGM permet d'évaluer l'évolution du nombre d'opérations de géothermie sur SGV dans la région Midi-Pyrénées depuis les années 1980. Les données extraites de la BSS sont mises en forme dans le graphique de l'illustration 34.

Ce graphique montre une nette croissance du nombre d'opérations (multiplication par 26) dans les 5 dernières années (2005-2010), soit une augmentation annuelle

moyenne de 200%. Il est probable que cette dynamique de croissance connaisse un ralentissement si les aides de l'état diminuent.

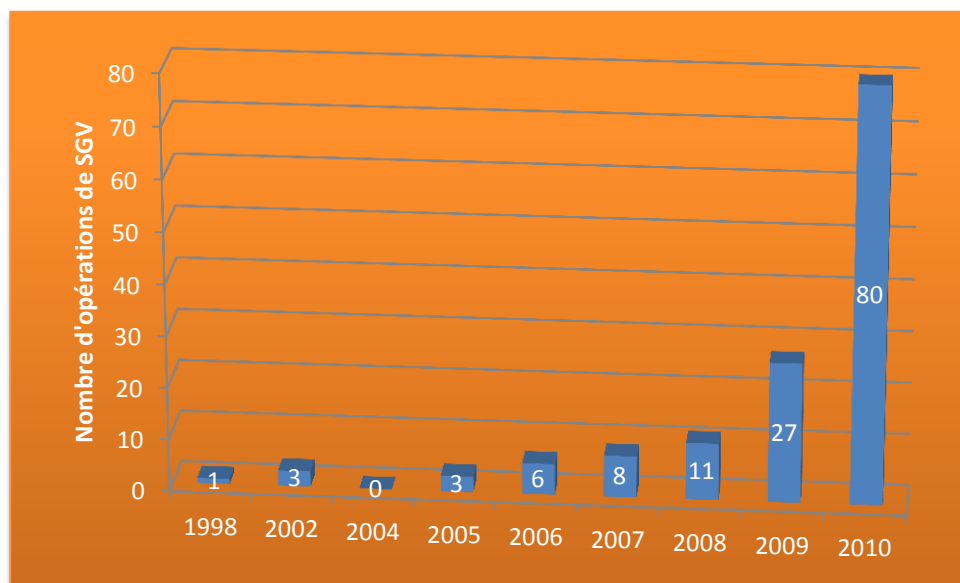


Illustration 34 – Evolution du nombre d'opérations de géothermie sur SGV en Midi-Pyrénées, d'après les données disponibles dans la BSS

7. Le potentiel des Sables Infra-Molassiques

7.1. DETERMINATION DU POTENTIEL POUR LE DEVELOPPEMENT D'OPERATIONS SUR LES SIM

Le potentiel de développement de la géothermie profonde sur l'aquifère des SIM peut se définir à l'échelle de la maille de la ressource (500x500m) car ces opérations seront mises en place uniquement dans les secteurs où il existe une demande suffisante et localisée dans un périmètre restreint (densité de besoins nécessaire pour optimiser et rentabiliser l'investissement). Ainsi, dans le cadre de cette étude, le bureau d'études ALTO Ingénierie a défini, en fonction des caractéristiques types de cet aquifère, les besoins thermiques nécessaires pour rentabiliser une opération, tout en garantissant un bilan énergétique et environnemental pertinent. Cet optimum, en termes de consommations énergétiques ou d'équivalent-logements, est ensuite utilisé pour déterminer des zones potentielles au développement d'opérations sur les SIM.

La rentabilité technico-économique d'une opération de géothermie exploitant les SIM dépendra, entre autres, de la profondeur de l'aquifère (et donc des forages), de la température de l'eau et de sa qualité (degré de minéralisation), et du caractère artésien de l'aquifère.

Le développement de réseau de chaleur sera probablement plus favorable dans le cas de création d'un nouveau quartier ou pour la substitution d'une énergie fossile dans un réseau existant (cf. 7.3).

7.2. EVALUATION DE LA RENTABILITE TECHNICO-ECONOMIQUE D'UNE OPERATION DE GEOTHERMIE SUR SIM

Pour évaluer la rentabilité technico-économique d'une opération de géothermie sur les SIM, ALTO Ingénierie a travaillé à partir d'études de cas types. Pour cela, il est nécessaire d'identifier les caractéristiques de l'aquifère qui soient les plus représentatives de la région Midi-Pyrénées. Ces caractéristiques géologiques et hydrogéologiques ont ensuite été combinées aux secteurs identifiés comme déjà urbanisés ou à urbanisation future. En effet, l'étude de cas porte à la fois sur des bâtiments existants et sur des bâtiments neufs. Le croisement des données hydrogéologiques et d'urbanisation a permis de générer des cas types synthétisés dans le tableau de l'illustration 35.

N°	Q en m3/h	Profondeur de foration (m)	T°C moyenne	Chimie Eau	Bâti
1	150	1800	60	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Existant
2	50	1500	50	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Existant
3	100	1800	40	Eau non salée	Existant
4	130	600	30	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Existant
5	130	600	30	Eau non salée	Existant
6	80	2200	70	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Existant
7	150	1800	60	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Futur
8	50	1500	50	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Futur
9	100	1800	40	Eau non salée	Futur
10	130	600	30	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Futur
11	130	600	30	Eau non salée	Futur
12	80	2200	70	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Futur

Illustration 35 – Tableau des configurations types des SIM retenus pour les études de cas

Les zones homogènes sur le plan géologique et hydrogéologiques retenues pour les études de cas sont présentées dans l'illustration 36 ci-après. Ces zones concernent des secteurs où la profondeur de foration dans l'aquifère varie de 600 à 1800 m de profondeur, le débit d'exploitation théorique est compris entre 50 et 150 m³/h et la température oscille entre 30 et 60 °C.

La carte des zones à urbaniser dans la région Midi-Pyrénées (Illustration 37) a permis de déterminer si les zones hydrogéologiques doivent être déclinées ou non pour les bâtiments existants et/ou futurs.

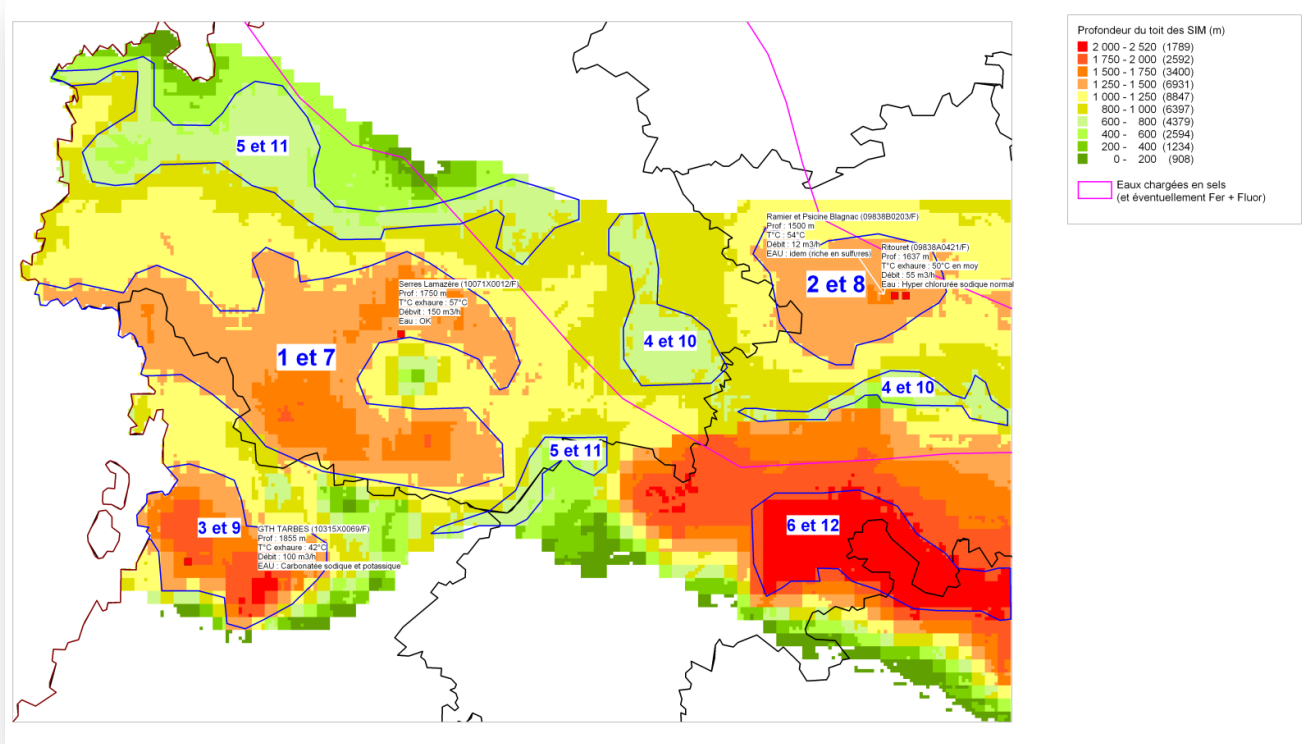


Illustration 36 – Zones retenues pour la réalisation d'études de cas technico-économique sur les SIM

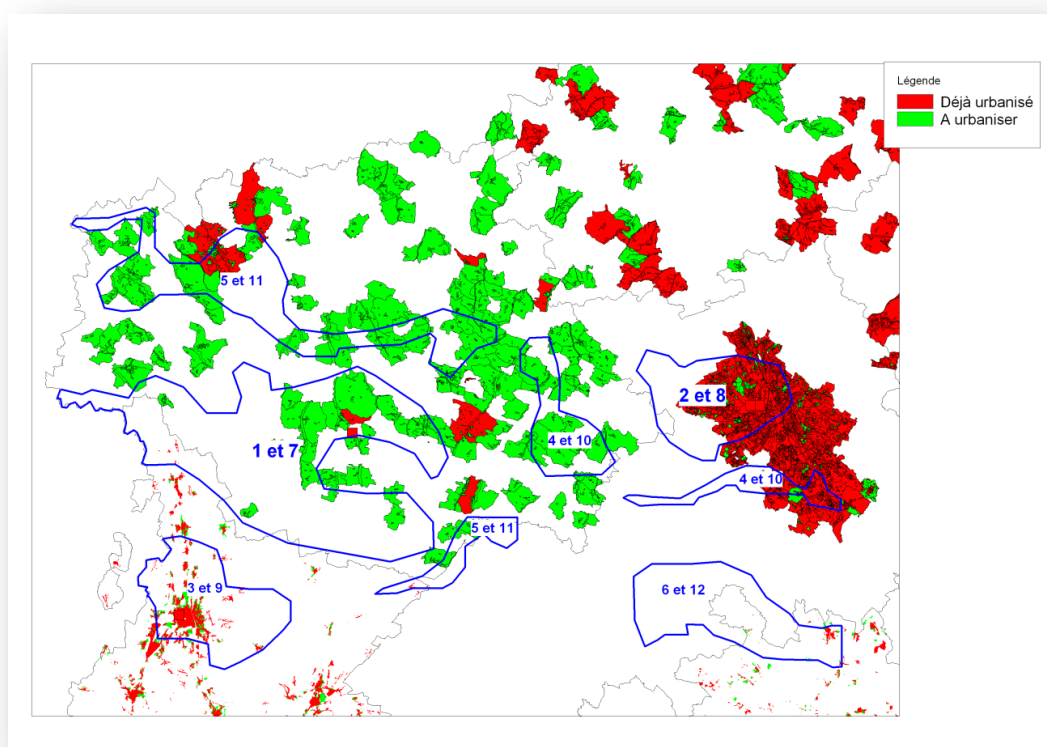


Illustration 37 – Croisement des zones hydrogéologiques homogènes des SIM avec les zones urbanisées et à urbaniser

Les études de cas réalisées sur la base de ces 12 configurations sont présentées en annexe 13. Les taux de rentabilité économique des opérations de géothermie ont été calculés pour chaque type de ressource et pour des bâtiments de type « logements collectifs ». La taille maximale permettant d'assurer la performance énergétique et environnementale a également été calculée pour les différents types de ressources, ainsi que les besoins optimums adéquats d'un point de vue économique, énergétique et environnemental.

Les simulations ont été effectuées pour deux types d'hypothèses économiques :

- Un cas où l'investissement est amorti sur une période longue (40 ans), ce qui pourrait être le cas d'une collectivité. Ce cas sera dénommé « type Public »,
- Un cas où l'investissement est amorti sur 25 ans et où les évolutions des coûts des énergies prises en compte sont plus prudentes et le taux d'actualisation plus élevé. Ce cas correspond davantage à des investisseurs privés et sera donc dénommé « type Privé ».

Ces résultats ont été utilisés pour réaliser le calcul du potentiel de développement de la géothermie sur SIM dans la région Midi-Pyrénées.

7.3. DETERMINATION DU POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE SUR SIM

Dans un premier temps, les zones de ressources qui présentent un réel avantage ou une bonne rentabilité économique pour les types Privé et Public ont été identifiées.

Pour le type Public, tous les types de ressources proposés dans le tableau de l'illustration 38 sont rentables, mais 5 types de ressources présentent des gains supérieurs à 60 % par rapport à un coût global de référence.

Pour le type Privé, la rentabilité est beaucoup moins évidente et seules 4 types de ressources présentent des gains compris entre 0 et 10 % par rapport à un coût global de référence.

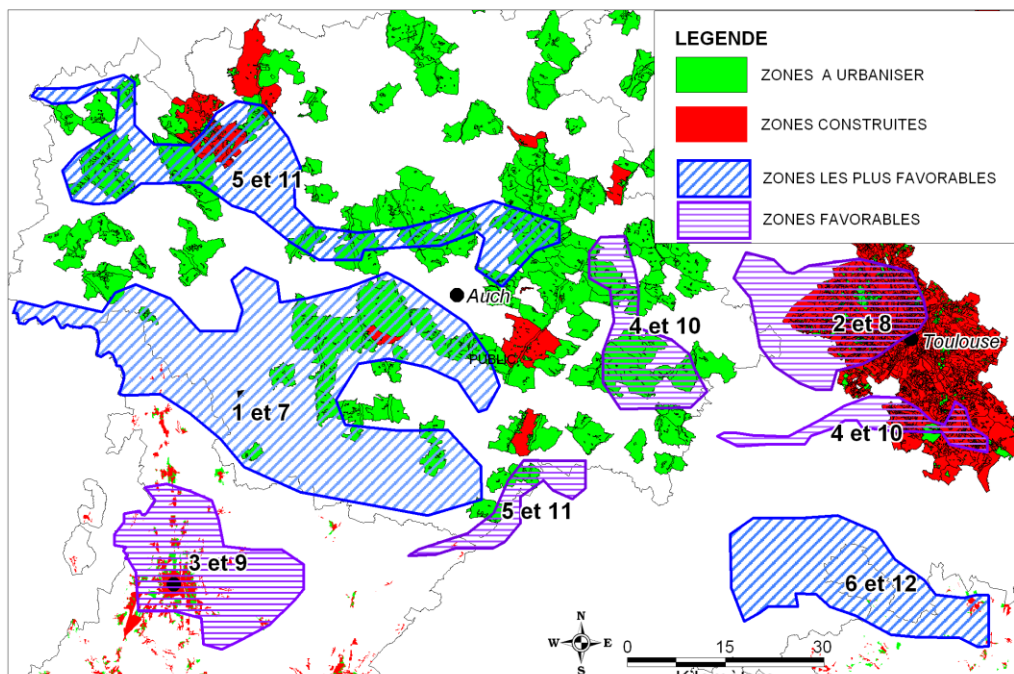
Le tableau de l'illustration 38 met en évidence le classement des types de ressources où les opérations de géothermie sur SIM sont considérées comme rentables. Il permet également de synthétiser par zone les surfaces maximales de besoins, ainsi que les besoins optimums permettant d'assurer la rentabilité de l'opération.

Résultats "Public"											
N°	Ordre de priorité (en terme de rentabilité)	Q en m3/h	Profondeur de foration (m)	T°C moyenne	Chimie Eau	Bâti	Rentabilité	Max de besoins pour une rentabilité optimale en MWh	Max de surface (rentabilité) en m² pour logements	Besoins optimaux MWh	Besoins optimaux MWh
7	1	150	1800	60	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Futur	Gammes les plus rentables	45000	918367	25000	2.50E+07
12	2	80	2200	70	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Futur		30000	612245	21000	2.10E+07
1	3	150	1800	60	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Existant		45000	1730769	27000	2.70E+07
11	4	130	600	30	Eau non salée	Futur		17000	346939	11000	1.10E+07
6	5	80	2200	70	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Existant		30000	1153846	21000	2.10E+07
5	6	130	600	30	Eau non salée	Existant	Gammes un peu moins rentables			11000	1.10E+07
9	7	100	1800	40	Eau non salée	Futur				18000	1.80E+07
10	8	130	600	30	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Futur				15000	1.50E+07
8	9	50	1500	50	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Futur				13000	1.30E+07
4	10	130	600	30	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Existant				14000	1.40E+07
3	11	100	1800	40	Eau non salée	Existant				18000	1.80E+07
2	12	50	1500	50	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Existant				18000	1.80E+07
Résultats "Privé"											
N°	Ordre de priorité (en terme de rentabilité)	Q en m3/h	Profondeur de foration (m)	T°C moyenne	Chimie Eau	Bâti	Rentabilité	Max de besoins pour une rentabilité optimale en MWh	Conversion en surface	Besoins optimaux	
7	1	150	1800	60	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Futur	Gammes les plus rentables	45000	918367	25000	
11	2	130	600	30	Eau non salée	Futur		17000	346939	11000	
12	3	80	2200	70	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Futur		30000	612245	21000	
1	4	150	1800	60	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Existant		45000	1730769	27000	
2		50	1500	50	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Existant	Gammes non rentables				
3		100	1800	40	Eau non salée	Existant					
4		130	600	30	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Existant					
5		130	600	30	Eau non salée	Existant					
6		80	2200	70	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Existant					
8		50	1500	50	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Futur					
9		100	1800	40	Eau non salée	Futur					
10		130	600	30	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Futur					

Illustration 38 – Tableau de synthèse des types de ressources rentables et des besoins optimums pour la géothermie sur SIM

Ces zones sont localisées dans les cartes de l'illustration 46.

CAS DES INVESTISSEMENTS SUR LONGUE DUREE (TYPE "PUBLIC")



CAS DES INVESTISSEMENTS SUR UNE PLUS COURTE DUREE (TYPE "PRIVE")

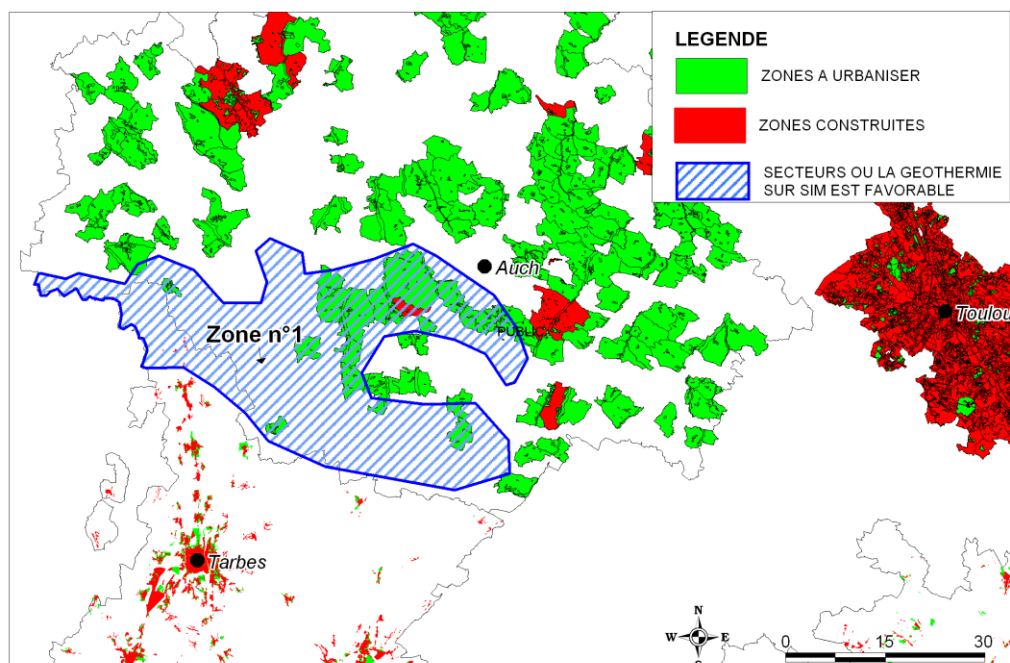


Illustration 39 – Localisation des zones de ressources favorables dans le type Privé et Public

7.3.1. Potentiel sur constructions existantes

Dans un premier temps, les communes où les consommations totales dans les domaines résidentiels et tertiaires (données 2006 – source OREMIP) sont supérieures aux besoins optimums calculés pour chaque zone de ressources ont été identifiées.

Le même travail a été effectué en considérant uniquement les besoins de chauffage dans les logements collectifs (données 2006 – source OREMIP).

Le nombre de communes concerné est synthétisé dans le tableau de l'illustration 40 et sur les cartes des Illustration 41 et Illustration 42.

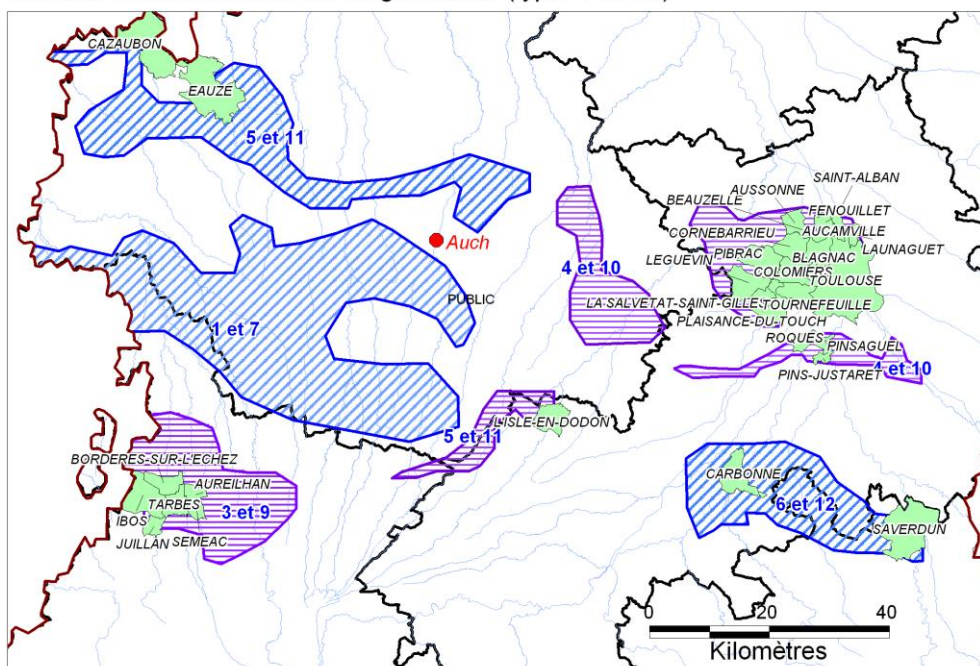
	Consommations totales (chauffage + ECS pour résidentiel + tertiaire)	Consommations de chauffage + ECS dans logements collectifs
Type Public	29	3
Type Privé	0	0

Illustration 40 – Nombre de communes où les consommations sont supérieures aux besoins optimum pour la mise en œuvre d'opérations de géothermie sur SIM

Communes où le besoins totaux en chauffage et ECS sont supérieurs aux besoins optimaux pour la géothermie sur SIM



Cas des investissements de longue durée (type "Public")



Cas des investissements de plus courte durée (type "Privé")

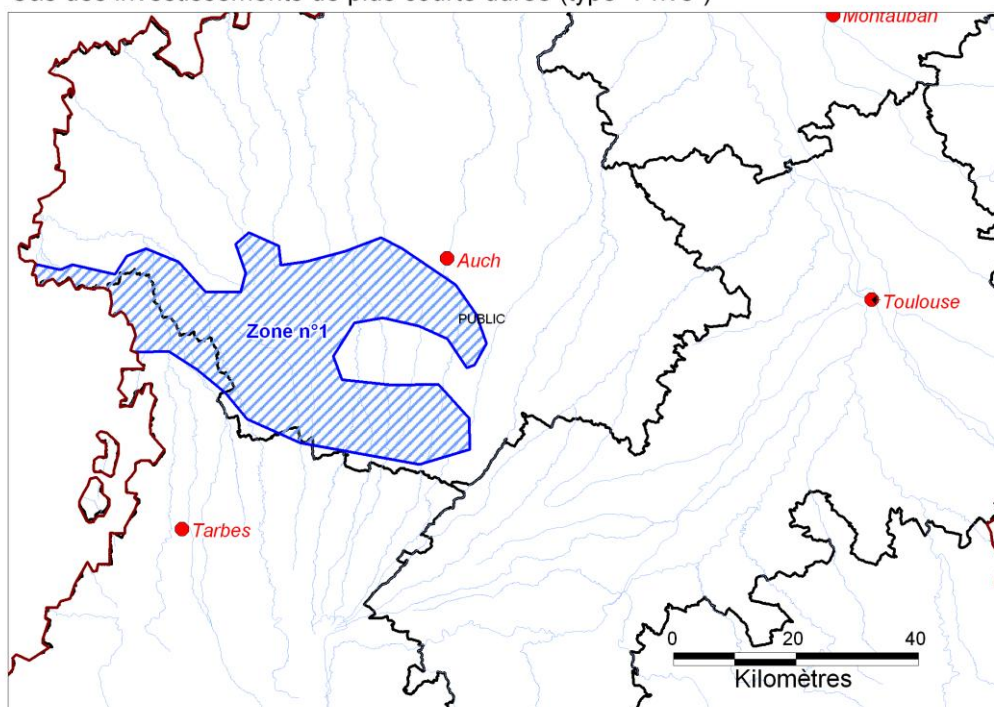


Illustration 41 – Localisation des communes où les consommations totales sont supérieures aux besoins optimaux pour le type Privé et Public

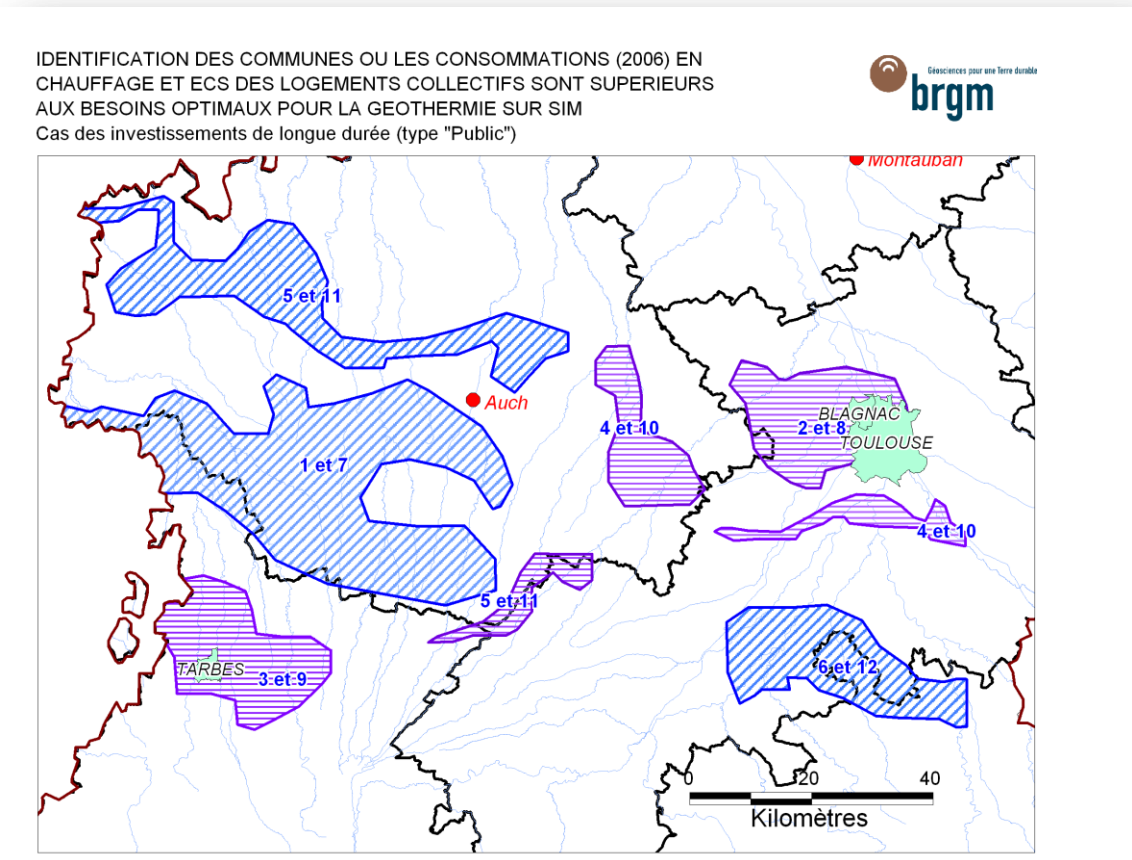


Illustration 42 – Localisation des 3 communes où les consommations des logements collectifs sont supérieures aux besoins optimaux pour le type Public

Dans le type « Privé », aucune commune ne présente de consommations suffisamment importantes, qu'elles soient totales ou pour les logements collectifs, pour permettre la mise en œuvre d'une opération de géothermie sur SIM rentable. Ce cas ne sera donc pas étudié par la suite.

Pour les autres cas de figure, le nombre d'opérations potentiel de géothermie sur SIM a été calculé sur chaque commune selon la méthode suivante :

$$\text{Nb opérations théorique} = \frac{\text{Consommation (totale/logements collectifs)}}{\text{Besoins optimaux de la ressource concernée par la commune}}$$

Comme pour toutes les communes concernées, le nombre d'opérations calculées est inférieur au nombre de mailles (de 500 m de côté) situées sur la communes, alors ce nombre d'opérations théoriques correspond à un nombre potentiel d'opérations.

Le potentiel de développement de la géothermie sur SIM est ensuite calculé en tep, sur la base de la relation suivante :

$$\text{POTENTIEL COMMUNAL (tep)} = \text{Nb d'opérations} \times \text{Besoins optimum de la ressources concernée par la commune (kWh)} \times 8,598.10^{-5}$$

Les résultats sont présentés dans l'illustration 43 ci-après pour les seules communes présentant un potentiel. Les résultats complets de toutes les communes sont présentés en annexe 10.

Le tableau de l'illustration 43 montre que pour certaines communes, le nombre calculé d'opérations est très important (communes de Toulouse, Tarbes), car les consommations sont très importantes. Or ces résultats ne sont pas « réalistes » au vu de la densité de réseaux de chaleur qu'il est possible de mettre en place sur une commune. Sur la base des connaissances disponibles sur les réseaux de chaleur existants (emprise en surface, longueur de réseaux, nombre d'équivalent-logements desservis), un nombre maximum d'opérations de géothermie sur SIM a été défini par commune dans le tableau ci-après.

Par ailleurs, il convient de rappeler que le bureau d'études ALTO a défini un seuil de rentabilité économique optimum égal à 2200 équivalent-logements.

Dans l'illustration 43 ci-après, toutes les communes où la consommation est supérieure au besoin optimal sont présentées. A titre indicatif, les communes surlignées en rouge présentent une population estimée à 2020 inférieure à 9000 habitants.

INSEE COMMUNE	NOM COMMUNE	N° zone SIM	Type Investissement	BOPTIMUM OTIM ZONE kWh	NB OPE théoriques pour conso. Totales	NB Opé théoriques pour conso logement coll.	Nb opé réalisables (conso. Totales)	Nb opé réalisables (conso. Logement coll.)
31022	AUCAMVILLE	2 et 8	PUBLIC	18000000	2	1	1	1
65047	AUREILHAN	3 et 9	PUBLIC	18000000	2	2	1	1
31032	AUSSONNE	2 et 8	PUBLIC	18000000	1	1	1	1
31056	BEAUZELLE	2 et 8	PUBLIC	18000000	1	1	1	1
31069	BLAGNAC	2 et 8	PUBLIC	18000000	11	5	1	1
65100	BORDERES-SUR-L'ECHÉZ	3 et 9	PUBLIC	18000000	1	1	1	1
31107	CARBONNE	6 et 12	PUBLIC	21000000	1	1	1	1
32096	CAZAUBON	5 et 11	PUBLIC	11000000	1	1	1	1
31149	COLOMIERS	2 et 8	PUBLIC	18000000	11	7	2	2
31150	CORNEBARRIEU	2 et 8	PUBLIC	18000000	2	1	1	1
32119	EAUZE	5 et 11	PUBLIC	11000000	2	2	1	1
32119	EAUZE	5 et 11	PUBLIC	11000000	2	2	1	1
31182	FENOUILLET	2 et 8	PUBLIC	18000000	2	1	1	1
65226	IBOS	3 et 9	PUBLIC	18000000	1	1	1	1
65235	JULLAN	3 et 9	PUBLIC	18000000	1	1	1	1
31526	LA SALVETAT-SAINT-GILLES	2 et 8	PUBLIC	18000000	1	1	1	1
31282	LAUNAGUET	2 et 8	PUBLIC	18000000	2	1	1	1
31291	LEGUEVIN	2 et 8	PUBLIC	18000000	2	1	1	1
31239	L'ISLE-EN-DODON	5 et 11	PUBLIC	11000000	1	1	1	1
31417	PIBRAC	2 et 8	PUBLIC	18000000	2	2	1	1
31420	PINSAGUEL	4 et 10	PUBLIC	15000000	1	1	1	1
31421	PINS-JUSTARET	4 et 10	PUBLIC	15000000	1	1	1	1
31424	PLAISANCE-DU-TOUCH	2 et 8	PUBLIC	18000000	4	3	1	1
31458	ROQUES	4 et 10	PUBLIC	15000000	2	1	1	1
31467	SAINT-ALBAN	2 et 8	PUBLIC	18000000	2	1	1	1
9282	SAVERDUN	6 et 12	PUBLIC	21000000	1	1	1	1
65417	SEMEAC	3 et 9	PUBLIC	18000000	2	2	1	1
65440	TARBES	3 et 9	PUBLIC	18000000	21	12	2	2
31555	TOULOUSE	2 et 8	PUBLIC	18000000	179	99	5	5
31557	TOURNEFEUILLE	2 et 8	PUBLIC	18000000	6	5	2	2
TOTAL toutes communes							37	37
TOTAL communes avec pop > 9000 hab							13	13

Illustration 43 – Nombre d'opérations sur SIM par commune sur le bâti existant et en considérant les consommations totales (résidentiel + tertiaire) pour le type Public

Le tableau de l'illustration 44 ci-après présente le cumul des potentiels de développement de la géothermie sur SIM en Midi-Pyrénées, exprimé en tep. L'essentiel du potentiel se trouve dans le type Public dans le cas des consommations totales.

	Consommations totales (Résidentiel + tertiaire)	Logements collectifs
Type Public	408 748 tep	51 072 tep
Type Privé	3 783 tep	0 tep

Illustration 44 – Synthèse des potentiels de développement de la géothermie sur SIM pour le bâti existant en tep

7.3.2. Potentiel sur les constructions neuves d'ici 2020

Ce travail a été réalisé sur la base du maillage carré de 500 m de côté de l'aquifère des SIM. Dans un premier temps, les zones à urbaniser situées dans le maillage des SIM ont été sélectionnées.

Ensuite, la surface de zones à urbaniser situées à l'intérieur des mailles a été calculée.

Le calcul du potentiel de développement de la géothermie sur les bâtiments qui seront construits d'ici 2020 a été effectué en prenant les hypothèses suivantes :

- Si la surface de la zone à urbaniser est supérieure à la moitié de la surface de la maille (soit 0,125 km²),
- Alors, une opération de géothermie peut être réalisée dans cette maille.
- Le potentiel de développement est alors égal à :

$$\text{Potentiel maille (tep)} = \text{Besoin optimum (kWh) de la zone où est située la maille} \times 8,598.10^{-5}$$

Les résultats par maille sont ensuite agrégés à l'échelle des communes.

Le potentiel total des communes concernées par le développement de la géothermie sur aquifères profonds pour des constructions neuves à l'échéance 2020 est de : **318 469 tep.**

En réalité, il est beaucoup plus réaliste de prendre comme hypothèse une opération par commune. Le calcul est donc repris en considérant qu'une seule opération par communes est possible. Il convient de rappeler qu'il existe 47 communes présentant des surfaces à urbaniser situées dans les zones où l'aquifère des SIM présente une bonne productivité dans la région Midi-Pyrénées.

Le potentiel total obtenu sur les bâtiments neufs est de **69 500 tep.**

Les résultats par communes sont synthétisés dans l'annexe 10.

7.4. LES RESEAUX DE CHALEUR

Sept réseaux de chaleur actuellement existants ont été inventoriés en région Midi-Pyrénées (source : www.visaeva.fr), avec utilisation d'énergies variées et le plus souvent mixte. Leur localisation et le type d'énergie exploitée sont présentés dans la carte de l'illustration 45 ci-après.

Le détail descriptif de ces opérations est synthétisé dans le tableau de l'annexe 2. Il convient de noter que certains réseaux sont alimentés par des usines d'incinération d'ordures ménagères qui disqualifient, a priori, ces derniers pour l'usage de la géothermie.



Illustration 45 – Localisation et type d'énergie des réseaux de chaleur de la région Midi-Pyrénées (source site internet www.viaseva.fr)

8. Du potentiel à la définition d'objectifs régionaux de développement de la géothermie

8.1. ENJEUX

La filière géothermie doit actuellement répondre à deux grands enjeux :

- Se développer fortement et conformément aux attentes relayées par la directive européenne sur les énergies renouvelables (2009/28/CE), déclinées au niveau français à travers les lois dites « Grenelle 1 » et « Grenelle 2 » et la PPI Chaleur 2009-2020 (Programmation Pluriannuelle des Investissements de production de chaleur), pour laquelle l'objectif est une multiplication par 6 de la production de chaleur géothermique entre 2006 et 2020.
- Se développer dans de bonnes conditions de durabilité, c'est-à-dire, dans le respect de la ressource et des autres usages de cette ressource. Ce second enjeu passe par un encadrement réglementaire et normatif qui existe déjà mais qui devra évoluer et s'adapter aux technologies les plus couramment utilisées et à la masse d'opérations attendue.

8.2. BILAN SUR L'EVALUATION DU POTENTIEL

Le potentiel de développement de la géothermie en Midi-Pyrénées a été calculé pour les nappes alluviales, sur les bâtiments existants et pour les constructions neuves, ainsi que pour l'aquifère profond des Sables Infra-Molassiques, pour les bâtiments existants et pour les constructions neuves.

L'ensemble des résultats obtenus est synthétisé dans le tableau de l'illustration 46 ci-après.

Potentiel de la géothermie en Midi-Pyrénées (ktep)				
	Alluvions	SIM	SGV	Total
Bâtiments Existants	De 80 (coef. 500) à 290 (coef. 2000)	De 50 (logements collectifs) à 412 (Résidentiel+tertiaire)	pas de limite	De 130 à 702
Bâtiments neufs	De 74 (Enseignement) à 216 (hôtel)	70	pas de limite	De 144 à 286

Illustration 46 – Synthèse des résultats de calcul du potentiel en ktep

Le tableau de l'annexe 11 permet de faire le bilan des incertitudes induites par les hypothèses de travail, les données de base et les méthodes de calcul. Il n'est pas possible de quantifier réellement ces incertitudes, mais ce document permet de les identifier et d'estimer si elles ont tendance à sur ou sous-évaluer le potentiel de développement de la géothermie.

8.3. LES ELEMENTS STRUCTURANTS DU DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE

Les éléments structurants sont distingués en fonction des différentes filières :

- pour le résidentiel individuel, regroupant tous types d'opération de géothermie alimentant une PAC, dont les doublets sur aquifères alluviaux et les sgv de cette étude,
- le résidentiel collectif tertiaire, regroupant les doublets sur aquifères alluviaux et les champs de sonde, et
- l'alimentation des réseaux de chaleur, concernant la géothermie sur les SIM.

8.3.1. Pour le particulier (ou « PAC individuelle »)

L'objectif est de :

- Pérenniser les mécanismes incitatifs et plus particulièrement le crédit d'impôt : les Lois de Finances précédentes ont modifié le crédit d'impôt pour la géothermie.
Une première modification, intervenue fin 2009, a conduit à ce que l'assiette, qui ne comprenait initialement que le matériel installé, inclut désormais la pose de l'échangeur (c'est à dire le forage).
Une seconde modification, décidée fin 2010, a conduit à ramener le taux du crédit d'impôt de 40% à 36%, sous l'effet du « coup de rabot » de 10% appliqué à toutes les niches fiscales. Il faut noter également que certaines régions proposent des aides complémentaires pour les particuliers (exemple : Crédit à taux zéro en région Centre).
- Favoriser la certification des professionnels, notamment le label Qualiforage pour les foreurs et le label QualiPAC pour les installateurs.
- Permettre le développement de nouvelles technologies : le développement de la géothermie pour le particulier sera également lié à l'effort produit sur les solutions d'échangeurs compacts, solutions intermédiaires entre les échangeurs verticaux (sondes géothermiques verticales) et les échangeurs horizontaux et visant un bon compromis encombrement/coût d'investissement.

8.3.2. Pour le résidentiel collectif / tertiaire (dites « PAC intermédiaire »)

L'objectif est de :

- Pérenniser les subventions du Fonds Chaleur.
- Simplifier la réglementation : des travaux sont en cours au niveau national pour simplifier la réglementation. La géothermie est principalement régie par le Code minier et le Code de l'environnement, mais également par le Code de la santé publique et le Code des collectivités territoriales.
- Inciter les maîtres d'ouvrage à la souscription d'un dispositif de couverture du risque, tel que la garantie AquaPac pour les opérations sur aquifères superficiels. Les opérations de plus de 30kW souscrivant à cette garantie sont assurées contre le risque de ne pas trouver la ressource souhaitée (adéquate avec le projet).
- Recenser les opérations existantes pour étudier le développement et limiter les conflits d'usage.

8.3.3. Pour les réseaux de chaleur

Les éléments suivants vont structurer le développement d'opérations :

- Pérenniser les subventions du Fonds Chaleur
- Développer les réseaux de chaleur hors Ile-de-France⁵, conformément aux préconisations du rapport « Propositions pour le développement des énergies renouvelables appliquées au bâtiment » issu du Groupe de travail "Energies renouvelables appliquées au bâtiment" du Plan Bâtiment Grenelle. En effet, 30 réseaux de chaleur franciliens sont alimentés par l'aquifère profond du Dogger, et ce, depuis plus de 30 ans pour 29 d'entre eux. Il convient de dupliquer le modèle dans d'autres régions, en s'appuyant sur les collectivités qui en ont la compétence. En outre, la loi Grenelle 2 prévoit différents mécanismes incitatifs pour le développement de ces réseaux (obligation de raccordement par exemple) et leur conversion aux énergies renouvelables (réduction de TVA pour un taux de couverture thermique supérieur à 50%).
- Améliorer le taux de couverture du risque de réalisation d'opérations en dehors de l'Ile-de-France. Pour les opérations sur aquifères profonds, la SAF-Environnement propose une garantie court terme (assurance contre le risque d'échec du premier forage) et long terme (garantie sur 20 ans de la pérennité de la ressource). Concernant le court terme, elle assure 65% du coût de

⁵ « Proposition n°38 - Développer les réseaux de chaleur géothermiques- et notamment hors Ile-de-France en développant la connaissance de la ressource et en mettant en place des **démonstrateurs** permettant de valider le bon fonctionnement de ces installations géothermiques dans d'autres bassins sédimentaires ou dans d'autres aquifères que celles d'Ile-de-France". »

l'investissement sur le premier forage. Certaines régions, comme l'Ile-de-France, couvrent, en complément, 25% de plus. Le maître d'ouvrage est alors garanti, en cas d'échec, à 90% de l'investissement sur son premier forage.

8.4. DEFINITION D'OBJECTIFS A L'ECHEANCE 2020

Les enjeux présentés ci-dessus, associés aux données de potentiel, doivent permettre de fixer des objectifs de développement de la géothermie. Les objectifs fixés ne vont pas avoir le même impact en termes de gains énergétiques et environnemental, en fonction des différentes filières. La « concurrence » avec la biomasse et/ou le solaire thermique doit également être prise en compte.

8.4.1. Objectifs nationaux

Les objectifs de développement de la production de chaleur à partir d'énergie géothermique en France (PPI Chaleur 2009-2020) sont les suivants (Illustration 47), en termes de production globale :

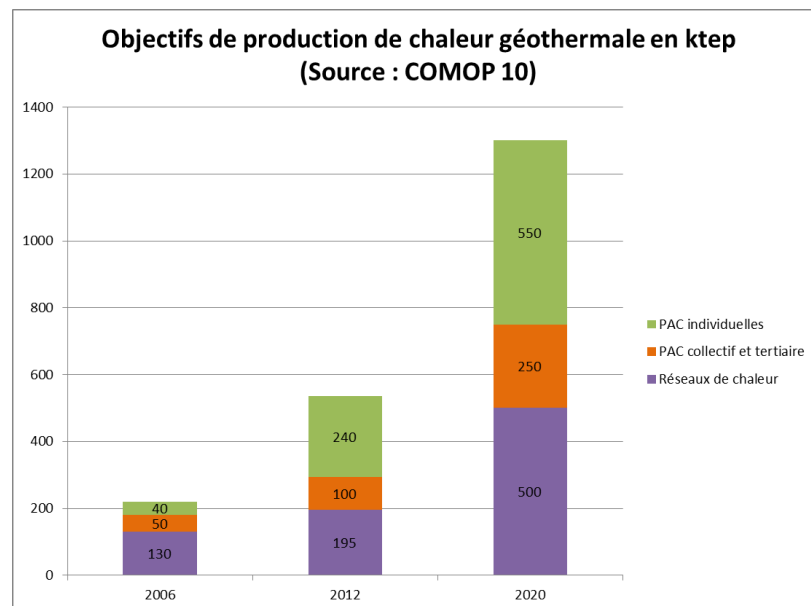


Illustration 47 – Objectifs de production de chaleur géothermale en ktep sur le territoire national (Source : COMOP 10)

Il est proposé un objectif qui correspondrait à une **valeur moyenne régionale** des objectifs nationaux, qui prévoient une multiplication par 5 entre 2010 et 2020 de la production de chaleur à partir d'énergie géothermique (Illustration 47). Etant données les valeurs de potentiel obtenues, cet objectif doit pouvoir être atteint si les propositions inscrites dans les éléments structurants (cf. supra) sont appliquées.

Afin d'être comparée avec les objectifs nationaux, la présentation des objectifs provenant de cette étude suivra un découpage selon les mêmes filières de géothermie que le document du COMOP 10 (Illustration 47).

8.4.2. Pour le particulier (ou « PAC individuelle »)

Le résidentiel individuel a été intégré au bâti existant, dans les besoins thermiques de surface. Il s'agit maintenant de fixer un objectif concernant l'équipement de nouvelles maisons individuelles. Les opérations de géothermie étudiées dans ce rapport et concernées pour la maison individuelle sont les SGV et PAC sur nappe alluviale.

D'après les documents du Commissariat Général au Développement Durable (le point sur le mode de chauffage des maisons individuelles), en 2007, *près d'un tiers des particuliers qui ont fait bâtir une maison individuelle ont opté pour un chauffage utilisant une énergie renouvelable, mais l'enquête ne permet pas de distinguer de quel type d'énergies renouvelables il s'agit.*

Le facteur qui agit avec le maximum d'influence sur le choix d'un chauffage par énergies renouvelables (seules ou combinées à un autre mode) est le professionnel qui coordonne la construction de la maison.

L'objectif du Grenelle de l'Environnement est d'atteindre, au niveau national 600 000 pompes à chaleur géothermiques d'ici 2020, ce qui équivaut globalement à une multiplication par 5. Actuellement, selon les chiffres de l'AFPAC (Association Française pour les Pompes A Chaleur) provenant de données datant de 2010, 121 686 pompes à chaleur géothermiques sont recensées.

Si ce ratio est appliqué à la région Midi-Pyrénées, en proportion du nombre de maisons individuelles, il est possible de considérer que 6 090 maisons individuelles sont équipées d'une pompe à chaleur géothermique. Etant donné le nombre de techniques géothermiques disponibles pour alimenter une maison individuelle, il faut considérer qu'il est toujours possible d'y installer une pompe à chaleur géothermique.

L'objectif Grenelle, appliqué à la région Midi-Pyrénées, pourrait être de multiplier par 5 le nombre de PAC géothermiques, soit d'atteindre environ 30 000 pompes à chaleur individuelles, ce qui équivaut (en prenant en compte les données prospectives de l'OREMIP) à équiper presque 40% des maisons individuelles neuves en Midi-Pyrénées, d'ici 2020. Rappelons, à titre de comparaison, qu'en Suède plus de 90% des maisons individuelles sont équipées d'une pompe à chaleur géothermique

Ce raisonnement, à partir de ratios nationaux, présente cependant des limites. En effet, selon les documents produits par le Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logements, le taux de maisons chauffées par énergies renouvelables est particulièrement élevé en Alsace, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Rhône-Alpes, Franche-Comté et Languedoc Roussillon. Les particularités du climat de ces régions mais aussi les politiques environnementales mises en œuvre peuvent être

des facteurs explicatifs de ces résultats. Il est à noter également une baisse des ventes de PAC géothermiques au niveau national. Il est ainsi difficile de fixer un objectif tendanciel, complètement contraire aux objectifs Grenelle.

En considérant qu'une opération pour un particulier équivaut à 0,3 tep (source : ADEME), 30 000 PAC en Midi-Pyrénées **en 2020** font donc **9 ktep** ou une production supplémentaire entre 2010 et 2020 de 7 ktep.

8.4.3. Pour le résidentiel collectif / tertiaire (dites « PAC intermédiaire »)

Les tendances nationales des objectifs appliquées à la région Midi-Pyrénées, aboutissent à :

- une moyenne de 20 opérations par an sur aquifères superficiels, soit 160 opérations d'ici 2020,
- une moyenne de 10 opérations par an jusqu'en 2015 et 20 opérations jusqu'en 2020, pour les champs de sondes, soit 130 opérations d'ici 2020.

Cela s'explique par :

- la croissance du nombre de déclarations de forages pour les sondes observée en BSS,
- la couverture partielle des aquifères superficiels,
- la part des besoins de froid dûs au climat qui permettront d'équilibrer et d'améliorer le rendement technico-économique,
- la croissance observée en Suisse et en Allemagne,
- l'exemple de l'opération sur champs de sonde de l'Etat hôtel à Blagnac,
- la parution d'une nouvelle réglementation thermique en 2015 intégrant des critères environnementaux et climatiques.

La consommation moyenne prise en compte pour le calcul des objectifs est de 0,06 ktep pour les PAC sur aquifère superficiel et 0,01 ktep pour les PAC sur SGV (d'après chiffres du Fonds Chaleur ADEME). Cela aboutit à un objectif de **12 ktep** pour les solutions sur aquifères superficiels et de **1.4 ktep** pour les solutions sur champs de sondes.⁶

L'objectif de Galileo (ADEME) est de 22,8 ktep et le potentiel calculé précédemment sur la base du calcul d'adéquation entre la ressource et les besoins, est largement supérieur à cet objectif (plus de dix fois supérieur). De ce fait, une politique volontariste permettrait d'atteindre un objectif plus ambitieux de **40 ktep** pour 2020.

⁶ Valeurs moyenne des productions EnR issues des opérations financées par le Fonds Chaleur de l'ADEME en 2010

8.4.4. Pour le développement des réseaux de chaleur (Solutions sur aquifères profonds)

Le potentiel est disponible, que ce soit dans la rénovation ou dans les nouvelles constructions, mais sur des zones restreintes. Etant donné :

- le temps de développement de ces projets (minimum 5 ans de l'idée à la mise en place opérationnelle),
- l'existence d'une seule opération réussie dans la région (à Blagnac), sur les cinq opérations réalisées,

Un objectif de mise en place d'une (1) opération sur les Sables Infra-Molassiques est considérée comme raisonnable (en comparaison, le rythme actuel en Ile-de-France est de 1 à 2 opérations par an). Cela équivaut à un objectif de production supplémentaire de **2.6 ktep**.

Cet objectif est nettement inférieur au potentiel en raison de la complexité technique et financière de mener à bien, sans expérience, une opération de cette envergure.

9. Conclusions et perspectives

Dans le cadre des SRCAE, le BRGM a été mandaté par la DREAL Midi-Pyrénées pour réaliser le volet géothermie. Une méthodologie originale a été mise place pour calculer un potentiel de développement de cette énergie renouvelable.

La méthodologie employée utilise un SIG afin de conserver la spatialisation des résultats par rapport à celle des données, élément fondamental du développement de la géothermie. Des études de cas prenant en compte des bilans énergétiques, économiques et environnementaux ont été confiées au bureau d'étude ALTO Ingénierie.

Le calcul du potentiel a été réalisé sur les bâtiments existants et sur les constructions futures, envisageables d'ici 2020, pour les aquifères alluviaux (superficiels) et l'aquifère des Sables Infra-Molassiques (profond). S'ajoute également une étude sur les réseaux de chaleur concernant les aquifères profonds. Enfin, le potentiel des sondes géothermiques verticales (SGV) est étudié séparément, en raison des spécificités de ce type de géothermie.

Les travaux réalisés sur l'évaluation du potentiel de développement de la géothermie sur aquifères alluviaux montrent que la ressource n'est pas un facteur limitant. Le potentiel des aquifères alluviaux varie de 80 à 290 ktep en rénovation sur les bâtiments existants et de 74 à 216 ktep pour les constructions neuves. Le potentiel des SIM varie de 50 à 412 ktep pour les bâtiments existants et est égal à 70 ktep dans les constructions neuves. Enfin, le potentiel des SGV n'est quant à lui pas limité par la ressource.

Cependant, l'exploitation des Sables Infra-Molassiques (SIM) pour la géothermie est complexe du fait d'un seuil de rentabilité technico-économique difficile à atteindre dans la région. Les autres procédés de géothermie en boucle fermée présentent un fort potentiel de développement avec quelques réserves dans les zones karstiques et à évaporites.

Partant du constat que le potentiel n'est pas un facteur limitant, les objectifs de développement de la géothermie en Midi-Pyrénées ont été fixés par déclinaison des objectifs nationaux actés lors du Grenelle 2 de l'Environnement.

L'objectif global pour tous les types d'opérations de géothermie, pour la région Midi-Pyrénées serait de **53 ktep**. Cet objectif représente **4 %** de l'objectif national.

Dans le détail, les pourcentages de participation aux objectifs nationaux de la région Midi-Pyrénées sont :

- pour les PAC individuelles : 1%,
- pour les PAC collectif/tertiaire : 16%,
- pour les réseaux de chaleur : 0,5%

Sur les 16 % dédiés aux PAC collectif/tertiaire, 90 % du potentiel géothermique de la région Midi-Pyrénées se situe dans la ressource des aquifères alluviaux.

Cet objectif est ambitieux, mais réalisable à l'horizon 2020, dans la mesure où les opérations de géothermie sont envisagées en amont des grands projets d'urbanisme et appuyées par une volonté politique locale et nationale affirmée.

Il convient par ailleurs de rappeler que l'ensemble du travail d'évaluation du potentiel est réalisé sur la base d'un maillage carré de 500 m de côté. Les résultats doivent donc être interprétés à une échelle régionale, et ne peuvent en aucun cas remplacer une étude de faisabilité du site.

Enfin, il convient de préciser que d'autres techniques de géothermie n'ont pas été étudiées mais peuvent augmenter le potentiel de développement de la géothermie en Midi-Pyrénées. Citons notamment les fondations géothermiques, échangeurs compacts, les géostructures énergétiques, les possibilités de stockage, les récupérations de sources d'eaux thermales ...

Par ailleurs la mutualisation des forages dans les aquifères superficiels permettant d'alimenter un micro réseau de chaleur montre un intérêt dans le développement d'éco quartiers (Impens et al., 2011).

D'autres perspectives d'utilisation de l'énergie géothermique sont en cours de développement et viendront compléter les solutions de géothermie existantes. Il s'agit en particulier du stockage d'énergie thermique dans le sous-sol, qui consiste à mettre à profit les propriétés des formations géologiques pour emmagasiner une énergie disponible et excédentaire à un instant donné (c'est à dire sans utilisation immédiate) pour l'exploiter ultérieurement en période de demande. Ces dispositifs de stockage devraient permettre de valoriser au mieux les énergies et de garantir une gestion pérenne des ressources par maintien d'un équilibre thermique dans le sous-sol. Ces solutions devraient également permettre de favoriser le mix énergétique (stockage d'énergies fatales dans le sous-sol l'été, récupérées lors de la période de chauffe).

10. Bibliographie

CAPDEVILLE JP., DUBREUILH J., 1995 – Les formations superficielles du Bassin d'Aquitaine - Identification, potentialités, contraintes - 1ere partie – rapport BRGM n° R38271.

CAPDEVILLE JP., DUBREUILH J., 1995 – Les formations superficielles du Bassin d'Aquitaine - Identification, potentialités, contraintes - 2e partie – rapport BRGM n° R38699.

GHYSELINCK-BARDEAU M., WUILLEUMIER A., 2007 – Outil d'aide à la décision en matière de géothermie très basse énergie (nappes alluviales et thermalisme) dans la région Midi-Pyrénées – Rapport final – rapport BRGM/RP-55888-FR, 307 p., 59 ill., 33 annexes.

IMPENS A.C., POUX A., CHARTIER M., JORIO M., 2011 – Géothermie et échelle de territoire – étude des micro-réseaux de chaleur. Rapport final. Rapport BRGM/RP-59967-FR, 147 p., 6 fig, A ann.

Annexe 1 – Caractéristiques des différents procédés de géothermie et procédure technique pour la mise en œuvre des puits sur nappe

	PAC sol / sol ou sol / eau	PAC eau glycolée / eau ou eau / eau	PAC air extérieur / eau	PAC air extérieur / air ou air extrait / air neuf
Coût	- Investissement : de 70 à 100 € TTC par m² chauffé, hors eau chaude sanitaire et rafraîchissement. - Fonctionnement : de 2,3 à 3,5 € TTC par m² et par an.	- Investissement : - systèmes à capteurs horizontaux, de 85 € TTC par m² chauffé (option chauffage) à 135 € TTC par m² chauffé (option chauffage et rafraîchissement) ; - systèmes à capteurs verticaux, de 145 à 185 € TTC par m² chauffé ; - systèmes sur eau de nappe, 80 à 130 € TTC par m² chauffé. - Fonctionnement : de 2,3 à 3,5 € TTC par m² et par an.	- Investissement : - de 65 € TTC par m² à 90 € TTC par m² (chauffé et rafraîchi) ; - Fonctionnement : - de 2,5 € TTC par m² et par an à 3,7 € TTC par m² et par an.	- Investissement : - de 60 € TTC par m² à 90 € TTC par m² (chauffé et rafraîchi) ; - Fonctionnement : de l'ordre de 2,5 € TTC par m² et par an à 3,7 € TTC par m² et par an.
Appoint	Pas nécessaire.	Fonctionnement : de 2,3 à 3,5 € TTC par m² et par an.	Toujours intégré au système, peu ou pas utilisé dans les systèmes les plus	Toujours nécessaire.
Eau chaude sanitaire	Production possible.	Production possible.	Préchauffage ou production possibles	Non conçu pour produire de l'eau chaude sanitaire.
Rafraîchissement	Pas possible sur plancher chauffant, possible avec des unités à détente directe.	Possible (sauf si les émetteurs sont des radiateurs) et bien maîtrisé.	Possible (sauf si les émetteurs sont des radiateurs) et bien maîtrisé.	Possible et bien maîtrisé.
Avantages	- Système simple, coût limité pour du géothermique ; - adaptée aux climats rigoureux ; - existence obligatoire d'un avis technique du CSTB (pompe sol / sol).	- Adaptée aux climats rigoureux ; <u>peu de fluide frigorigène, confiné dans la PAC ;</u> - adaptation possible à un réseau de chauffage central existant.	- Système simple, coût limité ; - utilisable en appartement à chauffage individuel ; <u>peu de fluide frigorigène, confiné dans la PAC ;</u>	- Utilisable en appartement à chauffage individuel ; <u>couplage avec la VMC pour les PAC air extrait / air neuf.</u>
Contraintes	- Systèmes à capteurs horizontaux seulement ; <u>quantité importante de fluide frigorigène mise en oeuvre (surtout pour la pompe sol / sol) ;</u> - exiger une solide expérience de l'installateur. - pour la PAC sol/sol, technologie de plancher spécifique.	- Système plus coûteux qu'une PAC sol / sol ou sol / eau. - Pour les PAC à capteurs verticaux ou sur eau de nappe : - exiger une solide expérience de l'installateur et du foreur ; - démarches et autorisations à envisager ; - coût élevé des forages.	- adaptation possible à un réseau de chauffage central - Exiger des modèles particulièrement performants - vérifier le niveau de bruit développé par la PAC.	- N'assure pas la production d'eau chaude sanitaire ; - nécessite le passage d'un réseau de gaines de soufflage de l'air (dans un faux-plafond ou des combles, accessibles pour les besoins de l'entretien). - n'assure pas la totalité du chauffage pour les PAC air extrait / air neuf.

La validation d'un projet de pompe à chaleur sur nappe nécessite, en plus des études de conception nécessaires à tout projet une approche spécifique de la connaissance de la ressource en eau souterraine qui sera sollicitée.

Les principales étapes de la mise en œuvre sont les suivantes :

Détermination des besoins.

Il s'agit de déterminer les puissances de chaud et de froid qu'il faudra fournir au bâtiment.

Conversion de ces deux puissances en débit d'eau à prélever sur la nappe ;

Identification préalable de la ressource.

L'analyse des données de l'atlas et l'estimation du débit nécessaire pour satisfaire tout ou partie des besoins thermiques permettra une première orientation.

Dans l'analyse de l'adéquation besoins/ressources, il n'est pas toujours pertinent de chercher à couvrir la totalité des besoins avec la solution PAC sur nappe. L'analyse du fonctionnement dynamique du bâtiment et des systèmes peut mettre en évidence des fluctuations importantes d'appel de puissance sur de faibles parts du temps de fonctionnement.

Etude de faisabilité hydrogéologique.

Cette étape requiert l'intervention d'un bureau d'étude spécialisé, car il s'agit d'affiner la démarche d'identification préalable de la ressource, en intégrant en particulier le nombre et le dimensionnement préalable des ouvrages, leur positionnement prévisionnel en fonction des contraintes du site,

Une première approche réglementaire peut également être réalisée à ce niveau ; ce qui permettra de connaître les documents administratifs à prévoir.

Conception, suivi, réception des travaux en sous-sol.

Dans cette étape, le bureau d'étude hydrogéologique disposant ou s'associant les compétences d'un expert thermicien intervient en tant qu'assistant à la maîtrise d'œuvre de la phase de conception jusqu'à la réception des travaux. Tant pour les aspects techniques et financiers des ouvrages (forages, équipements, maintenance) que pour la partie administrative et réglementaire.

Enfin, il faut noter qu'il existe une procédure de « garantie sur la ressource en eau souterraine à faible profondeur utilisée à des fins énergétiques » qui est destinée à couvrir le risque d'aléa sur la ressource et sa pérennité. C'est la procédure AQUAPAC.

Ces différentes étapes doivent être menées en concertation avec les autres intervenants du projet, afin d'obtenir le meilleur ajustement besoin - ressource. Une analyse économique devra comprendre une étude comparative afin de justifier la solution pompes à chaleur sur nappe, intégrant les coûts d'investissement et les coûts de fonctionnement (énergie, maintenance), ainsi que l'aspect environnemental.

Dans le cas d'opération pour l'habitat individuel

Si les principes de la démarche restent les mêmes, il est rarement fait appel à un bureau d'étude hydrogéologique. C'est sur le savoir-faire et l'expérience de l'installateur chauffagiste et du foreur que repose la réussite de l'opération.

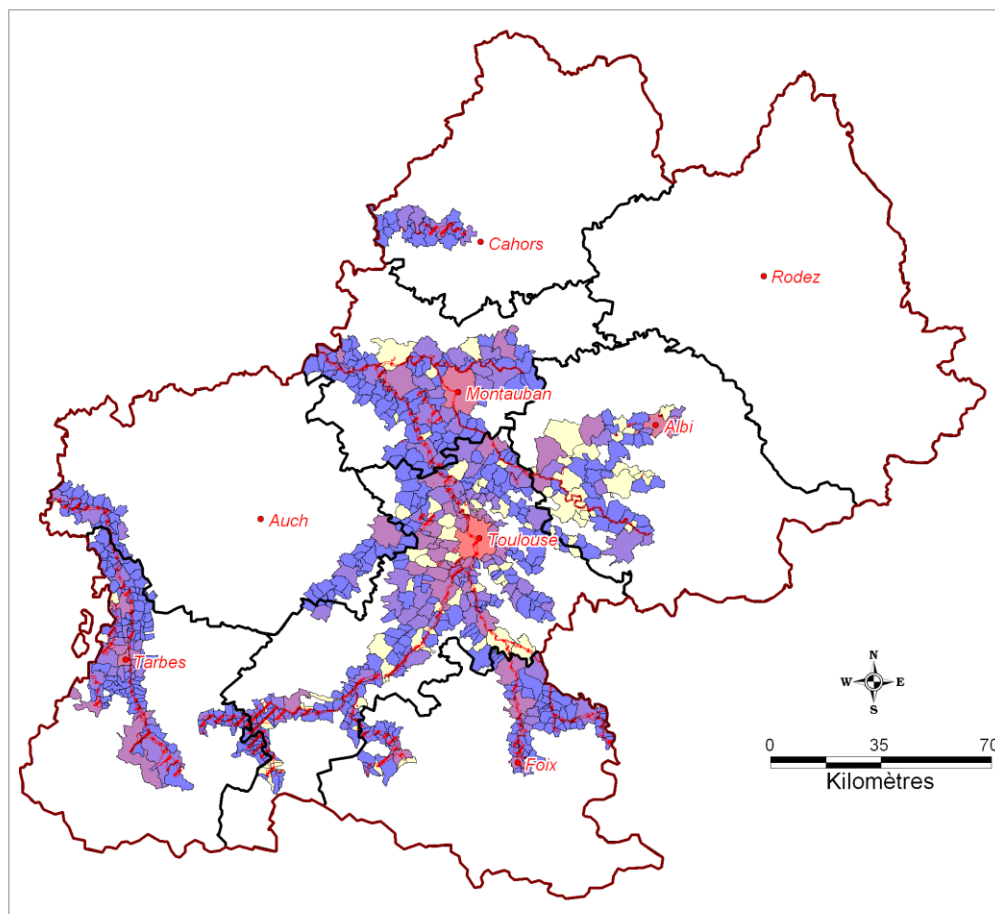
Enfin, on peut noter que dans le cas de logements pavillonnaires groupés, il peut être envisagé de mutualiser la ressource, en distribuant l'eau souterraine extraite à chacun des pavillons à partir d'un seul forage (ou groupe de forages).

Annexe 2 –Tableau descriptif des réseaux de chaleur de la région Midi-Pyrénées

Ville	Nom	Autorité concédente			Société Gestionnaire				Description du réseau				Energie utilisée																									
		Adresse 1	Ville	Nom	Adresse 1	Adresse 2	CP + ville	Téléphone	Long. réseau	Equivalents logements desservis	Livraisons totales	Charbon	Fioul (FOL & CHV & (NAT GPL)	Gaz (GPL & NAT)	Biomasse	Gaz renouvelable & récupération	UOM	Géothermie	Industrielle	Chaleur	Autres	Autres	Présence de cogénération(s)	Production totale CO ² du réseau (donnée 2008)														
Blagnac	ZAC du Ritouret	Ville de Blagnac	5 impasse des Alouettes	BLAGNAC CEDEX	DALKIA France	37 avenue du Marechal Lattre de Tassigny	BP 38	03 84 21 97 77	4,0 km	1 926	19824	-	-	61%	-	-	-	23%	-	16%	PAC	Non	-	0.148 kg/kWh	7430	0.166 kg/kWh	Decazeville	Réseaux de Carnaux	Réseau de Decazeville	Montauban - SIRTOMAD	Réseau de Mairie de Nuzéjols	Nuzéjols	Toulouse	CSU Rangueil	Toulouse	Toulouse	Toulouse	
Decazeville	Réseau de Decazeville				DALKIA France	37 avenue du Marechal Lattre de Tassigny	BP 38	03 84 21 97 77	3,0 km	940	12236	88%	-	12%	-	-	-	97%	-	-	-	Non	-	-	0.166 kg/kWh	11558	0.018 kg/kWh	Decazeville	Réseau de Nuzéjols	Nuzéjols	Toulouse	CSU Rangueil	Toulouse	Toulouse	Toulouse	Toulouse	Toulouse	
Carnaux	Réseaux de Carnaux				ENERGIES SERVICES OCCITANS	57 ter, Tassinay		05 63 80 22 25	4,0 km	1 046	10766		1%	-	99%	-	-	-	-	-	-	Oui	7430	0.166 kg/kWh	11558	0.018 kg/kWh	Decazeville	Réseau de Nuzéjols	Nuzéjols	Toulouse	CSU Rangueil	Toulouse	Toulouse	Toulouse	Toulouse	Toulouse	Toulouse	
Montauban	Réseau de Montauban - Sirtom	9 rue de l'Hotel de Ville	MONTAUBAN	SIRTOMAD				05 63 22 14 97	3,0 km	1 652	17000	-	-	3%	-	-	-	97%	-	-	-	Non	-	-	0.057 kg/kWh	11558	0.018 kg/kWh	Decazeville	Réseau de Nuzéjols	Nuzéjols	Toulouse	CSU Rangueil	Toulouse	Toulouse	Toulouse	Toulouse	Toulouse	Toulouse
Nuzéjols	Réseau de Nuzéjols	Mairie de Nuzéjols	Le Bourg	NUZEJOLS	DALKIA	2 allée du Petit Cher	Les Granges Avertin	02 47 80 36 44	1,8 km	54	610	-	-	12%	-	88%	-	-	-	-	-	Non	-	-	0.057 kg/kWh	11558	0.018 kg/kWh	Decazeville	Réseau de Nuzéjols	Nuzéjols	Toulouse	CSU Rangueil	Toulouse	Toulouse	Toulouse	Toulouse	Toulouse	Toulouse
Toulouse	Réseau de Toulouse	Ville de Toulouse	place du Capitole	TOULOUSE	ENERGANCE	1. chemin de Perpignan	UOM du Mirail	31100	06 08 88 75 75	19,0 km	13 979	143889	-	-	-	-	100%	-	-	-	-	Non	-	-	0.018 kg/kWh	11558	0.018 kg/kWh	Decazeville	Réseau de Toulouse	Toulouse	CSU Rangueil	Toulouse	Toulouse	Toulouse	Toulouse	Toulouse	Toulouse	Toulouse

Annexe 3 – Cartes des besoins de chauffage et d'ECS à l'échelle des communes présentes sur les mailles de la ressource alluviale

**BESOINS ENERGETIQUES DE CHAUFFE TOTAUX DANS LE DOMAINE RESIDENTIEL PAR COMMUNE
SUR LA REGION MIDI-PYRENEES**

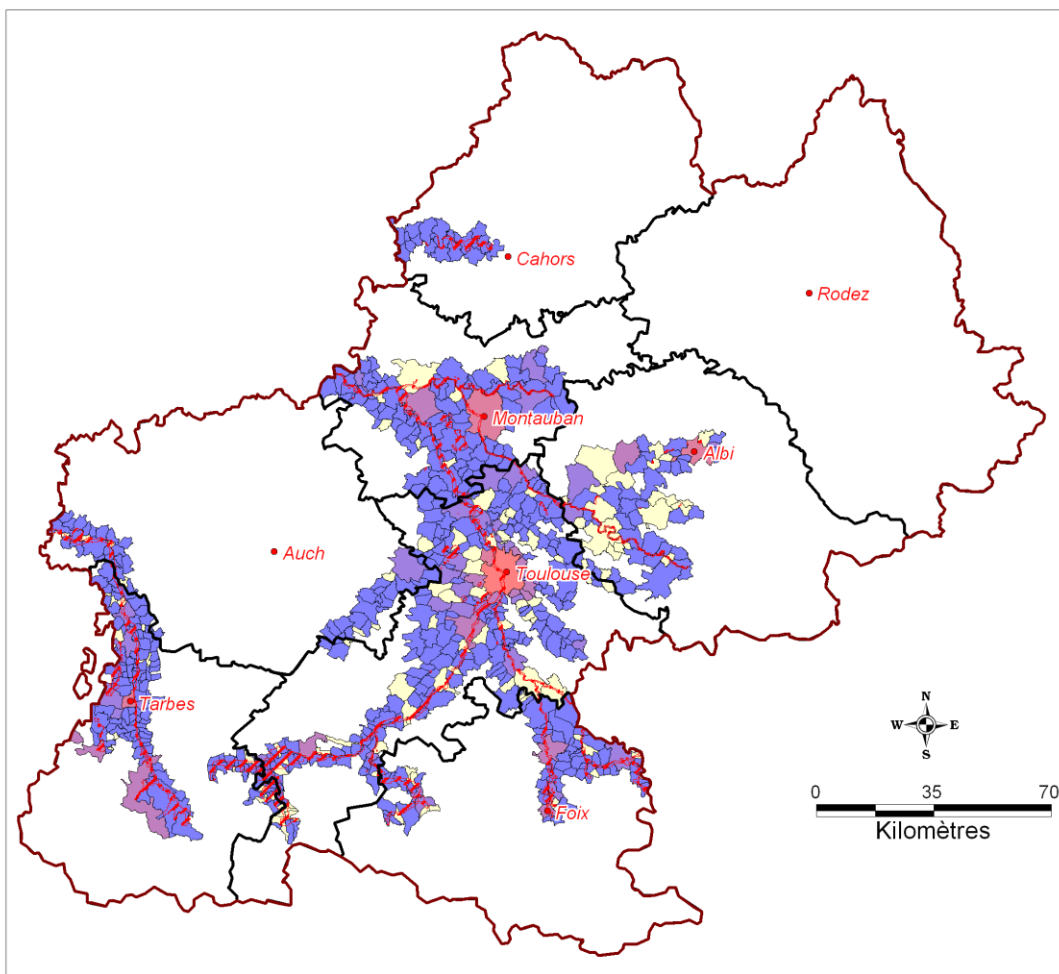


BESOINS DE CHAUFFE DANS LE DOMAINE RESIDENTIEL EN KWh
Source OREMIP

	1 - 10 000 000 kWh	(481)
	10 000 000 - 30 000 000 kWh	(105)
	30 000 000 - 230 000 000 kWh	(45)
	230 000 000 - 2 040 000 000 kWh	(3)
	2 040 000 000 - 3 800 000 000 kWh	(1)
	Absence de données	(77)

 Secteurs avec contraintes réglementaires

**BESOINS ENERGETIQUES DE CHAUFFE TOTAUX DANS LE DOMAINE TERTIAIRE PAR COMMUNE
SUR LA REGION MIDI-PYRENEES**

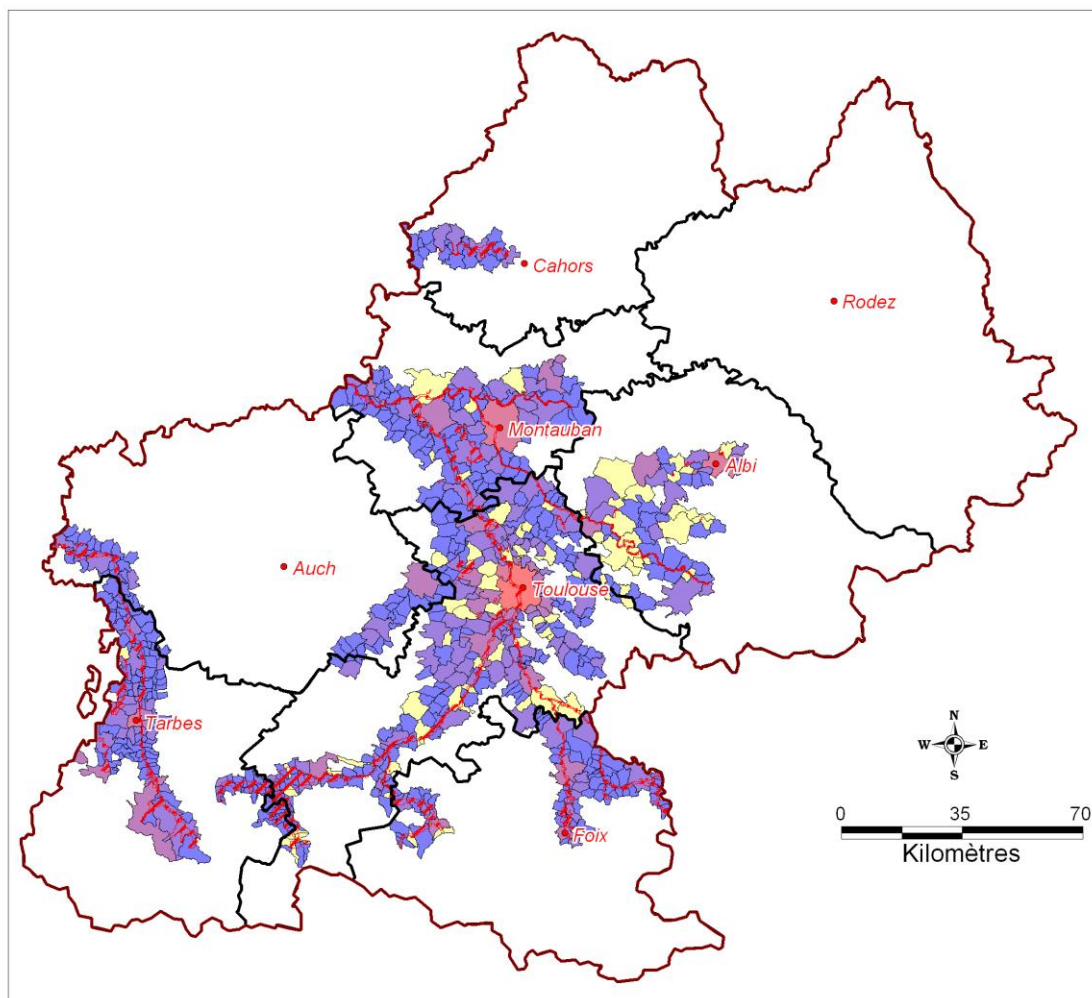


BESOINS DE CHAUFFE DANS LE DOMAINE TERTIAIRE en kWh
Source OREMIP

	1 - 10 000 000 kWh	(541)
	10 000 000 - 40 000 000 kWh	(37)
	40 000 000 - 190 000 000 kWh	(15)
	190 000 000 - 2 500 000 000 kWh	(4)
	2 500 000 000 - 2 510 000 000 kWh	(1)
	Absence de donnée	(114)

 Secteurs avec contraintes réglementaires

**BESOINS ENERGETIQUES DE CHAUFFAGE TOTAUX (TERTIAIRES ET RESIDENTIELS)
PAR COMMUNE, SUR LA REGION MIDI-PYRENEES**



BESOINS TOTAUX EN KWh

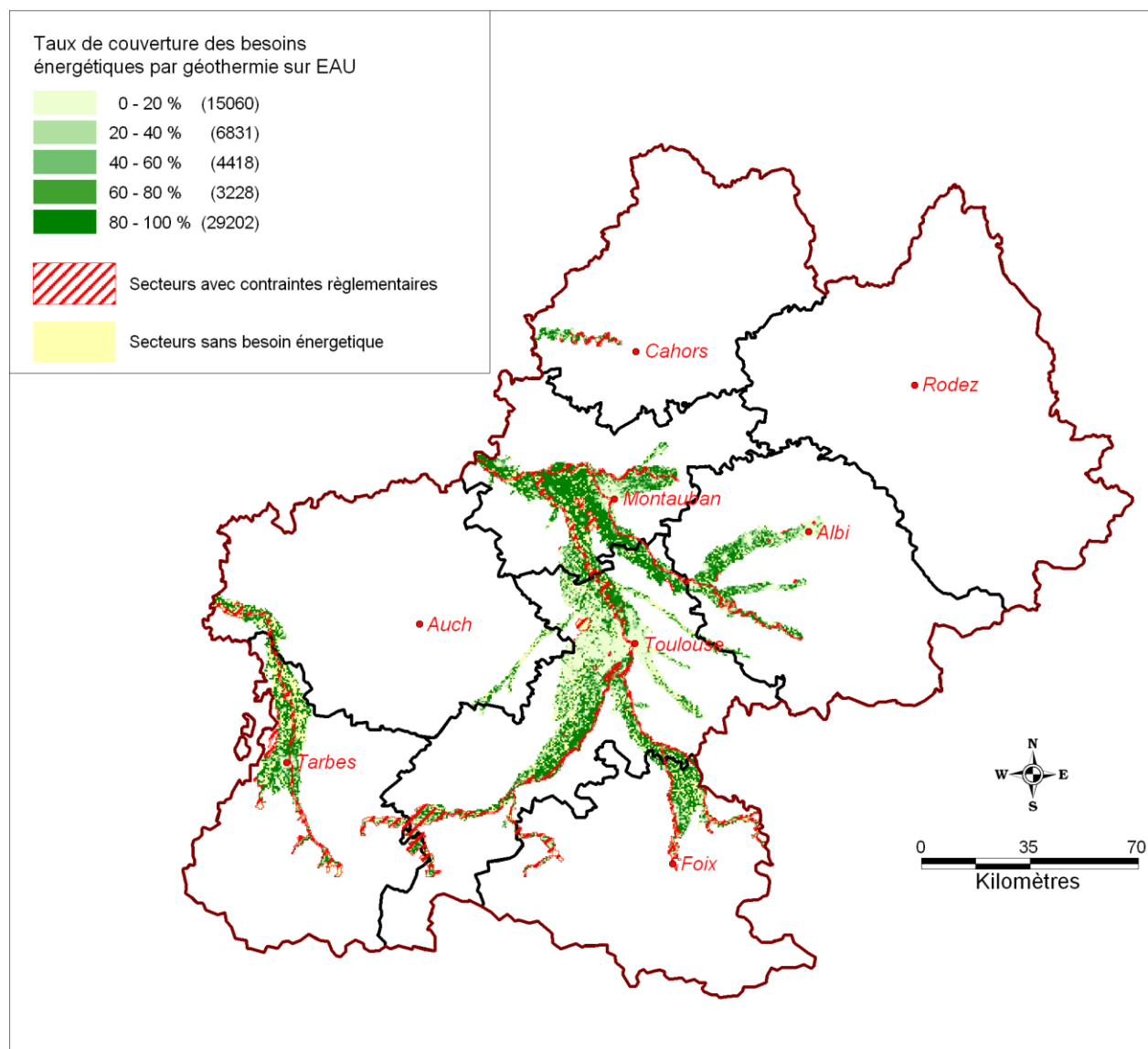
Source OREMIP

	1 - 10 000 000 kWh	(462)
	10 000 000 - 60 000 000 kWh	(139)
	60 000 000 - 290 000 000 kWh	(29)
	290 000 000 - 4 550 000 000 kWh	(4)
	4 550 000 000 - 7 000 000 000 kWh	(1)
	Absence de donnée	(77)

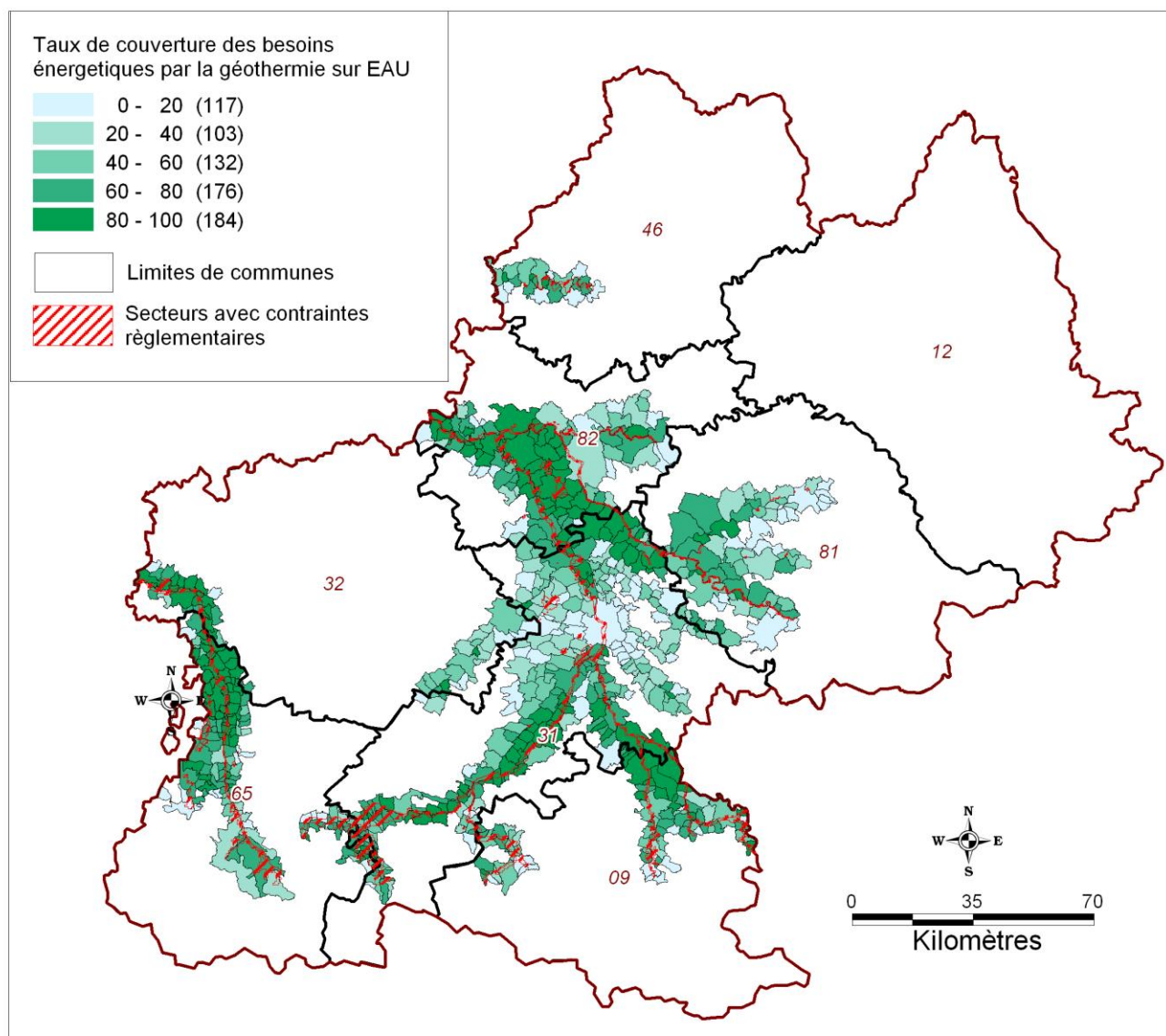
 Secteurs avec contraintes réglementaires

Annexe 4 – Cartes des taux d'adéquation par la géothermie sur nappe alluviale des besoins énergétiques par mailles et par communes pour un coefficient de chauffe de 1000 heures

**TAUX DE COUVERTURE DES BESOINS ENERGETIQUES (TERTIAIRE ET RESIDENTIEL)
PAR LA GEOTHERMIE SUR EAU DANS LE DOMAINE DES NAPPES ALLUVIALES
DANS LA REGION MIDI-PYRENEES** - Coefficient de chauffe : 1000 heures



**TAUX DE COUVERTURE DES BESOINS ENERGETIQUES (TERTIAIRE ET RESIDENTIEL)
PAR LA GEOTHERMIE SUR EAU DANS LE DOMAINE DES NAPPES ALLUVIALES
DANS LA REGION MIDI-PYRENEES - Coefficient de chauffe : 1000 heures**

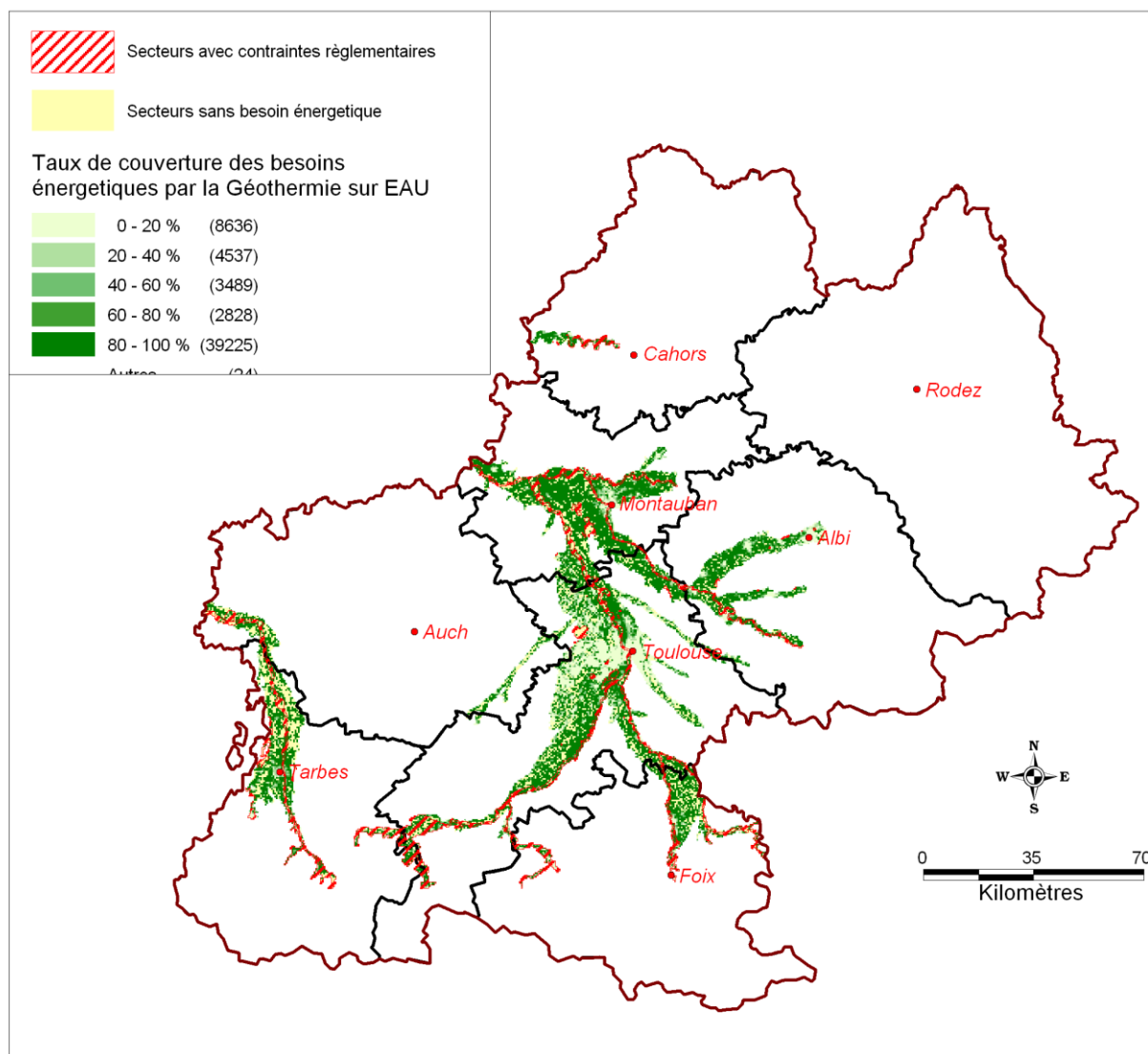


Annexe 5 – Taux d'adéquation des besoins énergétiques par mailles pour différents scenarios de consommation (coef. de chauffe de 1000 h)

**TAUX DE COUVERTURE DES BESOINS ENERGETIQUES (TERTIAIRE ET RESIDENTIEL)
PAR LA GEOTHERMIE SUR EAU DANS LE DOMAINE DES NAPPES ALLUVIALES
DANS LA REGION MIDI-PYRENEES**



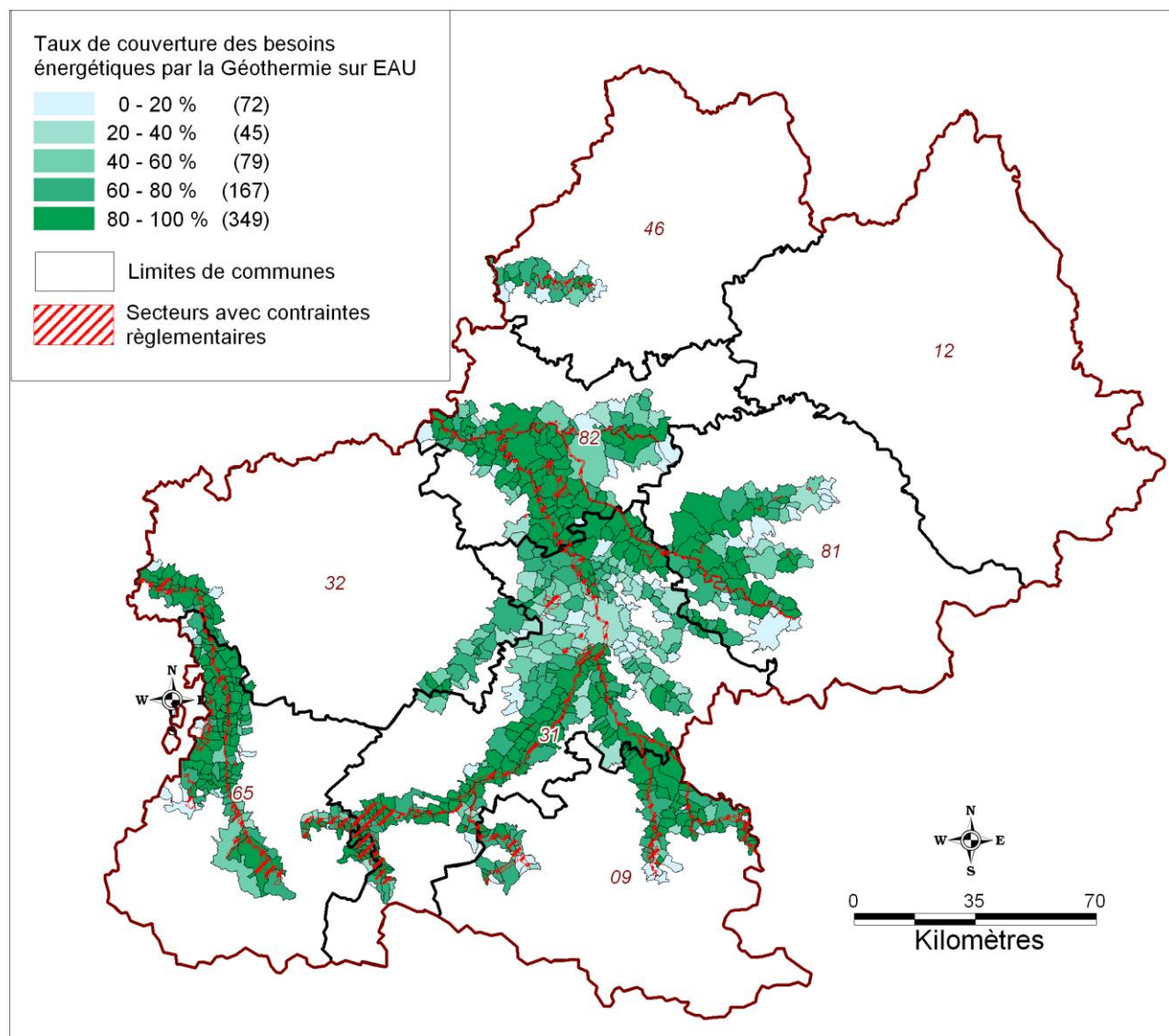
SCENARIO AVEC BAISSSE DE CONSOMMATION DE 20 % PAR RAPPORT A L'ACTUEL
(coefficient de 1000)



**TAUX DE COUVERTURE DES BESOINS ENERGETIQUES (TERTIAIRE ET RESIDENTIEL)
PAR LA GEOTHERMIE SUR EAU DANS LE DOMAINE DES NAPPES ALLUVIALES
DANS LA REGION MIDI-PYRENEES**



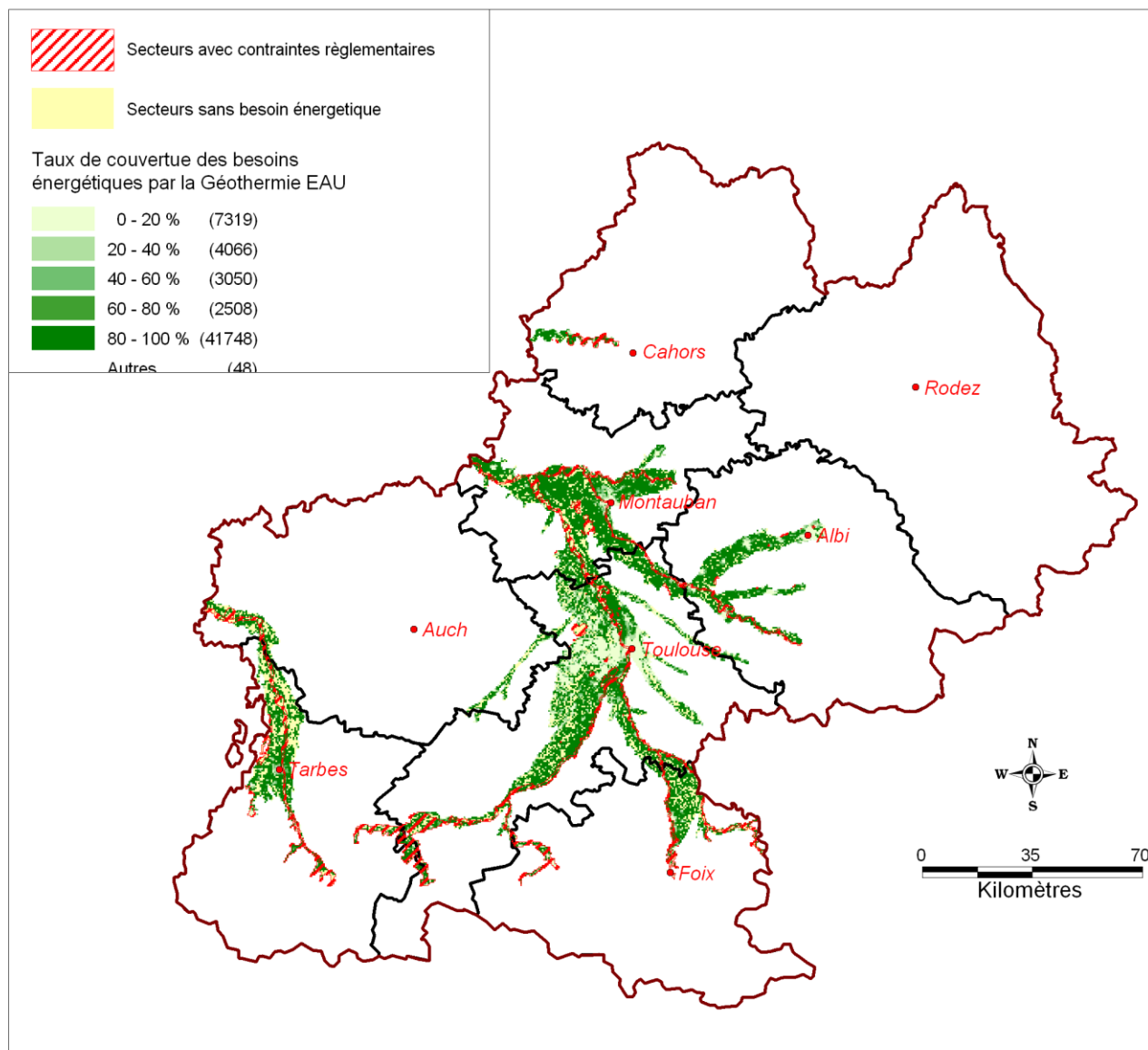
Réduction des besoins énergétiques de 20 % par rapport à l'actuel et coefficient de 1000



TAUX DE COUVERTURE DES BESOINS ENERGETIQUES (TERTIAIRE ET RESIDENTIEL) PAR LA GEOTHERMIE SUR EAU DANS LE DOMAINE DES NAPPES ALLUVIALES DANS LA REGION MIDI-PYRENEES



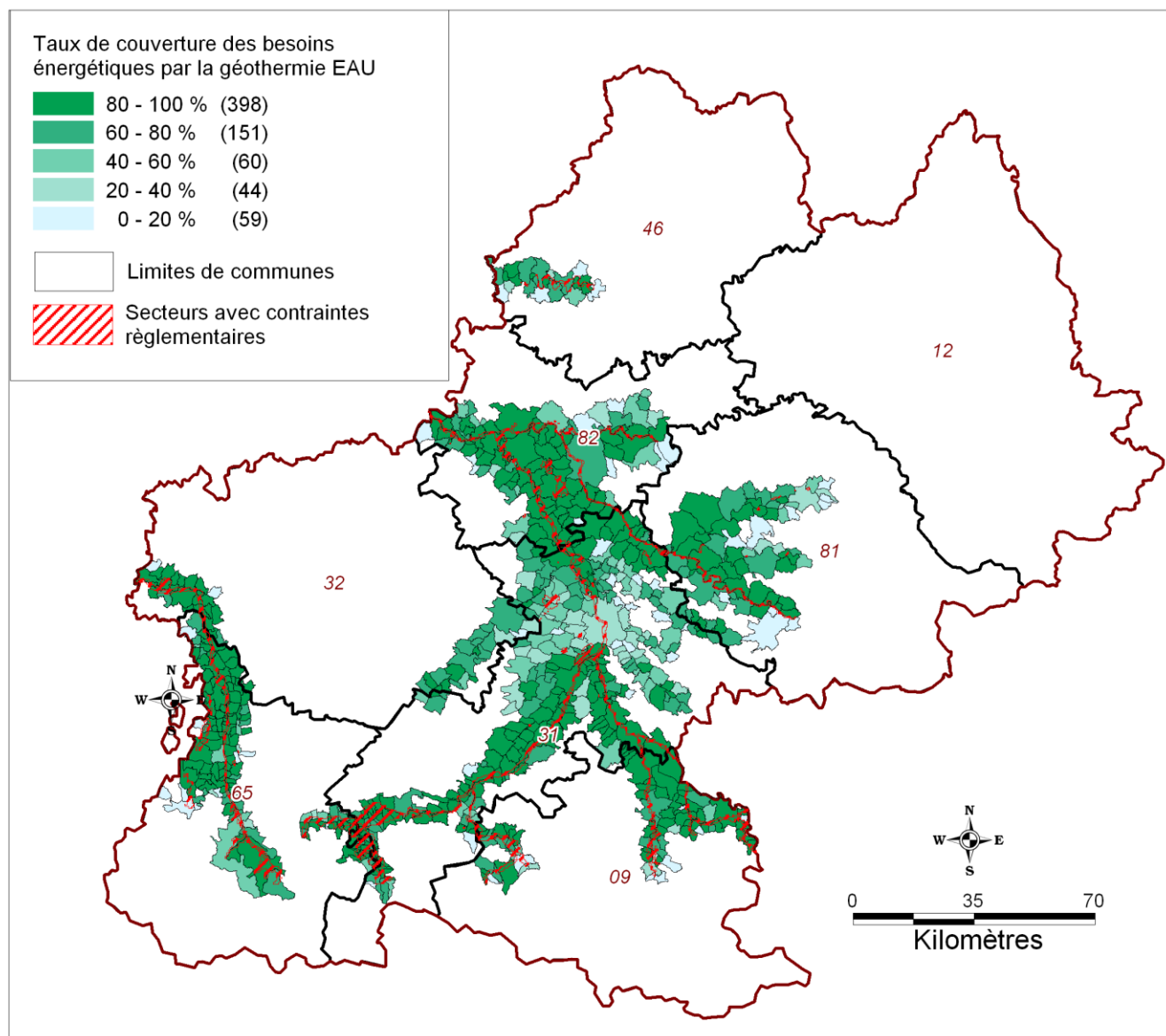
SCENARIO AVEC BAISSSE DE CONSOMMATION DE 38 % PAR RAPPORT A L'ACTUEL
(coefficient de 1000)



**TAUX DE COUVERTURE DES BESOINS ENERGETIQUES (TERTIAIRE ET RESIDENTIEL)
PAR LA GEOTHERMIE SUR EAU DANS LE DOMAINE DES NAPPES ALLUVIALES
DANS LA REGION MIDI-PYRENEES**



Réduction des besoins énergétiques de 38 % par rapport à l'actuel et coefficient de 1000



Annexe 6 – Potentiel chiffré de développement de la géothermie sur aquifères alluviaux pour le bâti existant et par commune

NOM DEPT	N° DEPT	NOM COMMUNE	N° INSEE	TAUX DE COUVERTURE MIN (COEF1000)	TAUX COUVERTURE MAXI (COEF1000)	NB DE MAILLES AVEC Taux DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 500)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 500)	NB DE MAILLES AVEC Taux DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 2000)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 2000)	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 20%	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 38%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -20%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -38%
ARIEGE	9	ARABAUX	9013	38.8015	1449.28	4	OUI	4	OUI	0	0	0	0	40	80
ARIEGE	9	ARROUT	9018	21.7642	469.095	8	OUI	12	OUI	12	12	12	40	36	32
ARIEGE	9	ARVIGNA	9022	11.1211	3563.94	8	OUI	16	OUI	4	4	16	44	36	32
ARIEGE	9	AUDRESSEIN	9026	11.4914	732.522	4	OUI	8	OUI	4	4	4	24	64	56
ARIEGE	9	BALAGUERES	9035	4.59201	608.556	4	OUI	8	OUI	4	4	4	24	20	20
ARIEGE	9	LA BASTIDE-DE-LORDAT	9040	13.3168	6719.37	28	OUI	36	OUI	40	44	36	68	56	48
ARIEGE	9	LA BASTIDE-DU-SALAT	9041	10.3785	4542.42	27	OUI	27	OUI	23	19	19	23	19	19
ARIEGE	9	BESSET	9052	14.9543	527.091	12	OUI	20	OUI	28	20	20	80	108	96
ARIEGE	9	BEZAC	9056	19.9901	238.871	4	OUI	12	OUI	0	0	0	108	88	76
ARIEGE	9	BONNAC	9060	0.765924	2241.74	24	OUI	48	OUI	48	72	84	444	376	544
ARIEGE	9	CAMON	9074	6.77318	23129.25	36	OUI	36	OUI	44	32	28	44	32	28
ARIEGE	9	CANTE	9076	47.6619	7130.94	20	OUI	28	OUI	60	76	64	204	276	236
ARIEGE	9	LE CARLARET	9081	28.0429	11683.85	36	OUI	80	OUI	36	56	36	272	228	184
ARIEGE	9	CAUMONT	9086	8.0238	1637.76	16	OUI	20	OUI	12	8	8	32	24	24
ARIEGE	9	COUTENS	9102	9.28062	212.546	4	OUI	4	OUI	12	8	8	12	52	48
ARIEGE	9	DALOU	9104	8.62526	238.737	4	OUI	12	OUI	24	20	16	176	148	128
ARIEGE	9	GAUDIES	9132	18.8819	2681.39	36	OUI	80	OUI	40	28	64	288	272	244
ARIEGE	9	LES ISSARDS	9145	17.7981	607.306	8	OUI	12	OUI	8	8	8	28	72	108
ARIEGE	9	LABATUT	9147	76.2838	1121.9	20	OUI	24	OUI	84	72	60	160	136	116
ARIEGE	9	LACAVE	9148	11.5041	773.782	5	OUI	12	OUI	5	5	14	33	26	26
ARIEGE	9	LAGARDE	9150	20.7432	1834.37	8	OUI	16	OUI	12	8	8	92	116	148
ARIEGE	9	LISSAC	9170	21.2828	267.975	4	OUI	8	OUI	20	20	16	76	68	56
ARIEGE	9	MALEGOUDE	9178	71.931	1731.6	12	OUI	24	OUI	16	16	8	92	80	60
ARIEGE	9	MAZERES	9185	0.953877	12014.13	136	OUI	440	OUI	312	484	532	2452	2212	1976
ARIEGE	9	MERCENAC	9187	7.49583	1275.08	8	OUI	24	OUI	8	16	12	96	120	100
ARIEGE	9	MIREPOIX	9194	0	7391.3	24	OUI	72	OUI	20	40	44	328	276	280
ARIEGE	9	MONTAUT	9199	5.09278	18478.26	232	OUI	308	OUI	484	456	468	952	848	772
ARIEGE	9	MOULIN-NEUF	9213	12.7124	4603.93	12	OUI	20	OUI	0	0	0	44	36	32
ARIEGE	9	MOULIS	9214	5.17333	451.258	4	OUI	28	OUI	4	16	12	176	188	156
ARIEGE	9	PAMIERS	9225	0.283203	3554.35	44	OUI	216	OUI	104	112	200	2424	2552	2460
ARIEGE	9	PRAT-BONREPAUX	9235	3.04059	1925.25	12	OUI	28	OUI	4	4	4	144	216	228
ARIEGE	9	LES PUJOLS	9238	7.9538	2583.59	8	OUI	32	OUI	12	20	28	148	204	272
ARIEGE	9	RIEUCROS	9244	5.88296	4663.92	4	OUI	4	OUI	0	0	0	0	44	80
ARIEGE	9	RIEUX-DE-PELLEPORT	9245	8.15421	368.948	8	OUI	12	OUI	40	32	32	148	120	336
ARIEGE	9	ROUMENGOUX	9251	8.63766	3247.37	8	OUI	16	OUI	8	8	8	92	76	68
ARIEGE	9	SAINT-AMADOU	9254	9.74246	208.999	4	OUI	8	OUI	12	8	8	36	28	24
ARIEGE	9	SAINT-JEAN-DU-FALGA	9265	5.70211	647.359	8	OUI	20	OUI	24	68	60	140	216	192
ARIEGE	9	SAINT-LIZIER	9268	0.815006	209.799	4	OUI	20	OUI	12	8	8	120	100	128
ARIEGE	9	SAINT-QUIRC	9275	23.9701	347.978	8	OUI	32	OUI	36	32	100	364	300	256
ARIEGE	9	SAVERDUN	9282	0.344914	3455.24	108	OUI	316	OUI	376	596	684	3464	3008	2620
ARIEGE	9	LORP-SENTARAILLE	9289	2.36	355.221	8	OUI	36	OUI	16	48	32	204	176	144
ARIEGE	9	TEILHET	9309	11.0903	395.579	4	OUI	12	OUI	4	24	20	28	24	20
ARIEGE	9	LA TOUR-DU-CRIEU	9312	1.59253	1765.32	28	OUI	68	OUI	64	48	84	432	512	548
ARIEGE	9	TOURTROL	9314	16.5208	1248.62	4	OUI	28	OUI	0	12	20	148	128	108
ARIEGE	9	TREMOULET	9315	7.29588	289.584	4	OUI	8	OUI	8	20	12	20	20	12
ARIEGE	9	VALS	9323	12.0001	3071.36	12	OUI	16	OUI	4	0	12	20	12	12
ARIEGE	9	VARILHES	9324	2.14332	11147.33	72	OUI	112	OUI	232	220	196	976	936	920
ARIEGE	9	VERNAJOUL	9329	2.696	6115.11	12	OUI	32	OUI	12	8	8	152	168	152
ARIEGE	9	LE VERNET	9331	12.8368	5045.74	24	OUI	64	OUI	64	84	100	676	576	496
ARIEGE	9	VERNIOLLE	9332	3.29628	10413.48	36	OUI	60	OUI	84	80	72	348	332	488
ARIEGE	9	VILLENEUVE-DU-PAREAGE	9339	11.809	1620.24	20	OUI	80	OUI	56	96	148	536	484	428
ARIEGE	9	VIRA	9340	8.49075	250.516	4	OUI	12	OUI	8	32	24	32	32	24
HAUTE-GARONNE	31	ARDIEGE	31013	10.1607	460.58	2	OUI	8	OUI	2	2	2	54	86	76
HAUTE-GARONNE	31	ARNAUD-GUILHEM	31018	7.88774	1220.32	8	OUI	12	OUI	96	80	72	360	300	264
HAUTE-GARONNE	31	AUSSON	31031	23.3591	1306.08	12	OUI	28	OUI	168	136	120	508	420	368
HAUTE-GARONNE	31	AUSSONNE	31032	0.36349	631.458	8	OUI	44	OUI	4	16	16	236	284	296

NOM DEPT	N° DEPT	NOM COMMUNE	N° INSEE	TAUX DE COUVERTURE MIN (COEF1000)	TAUX COUVERTURE MAXI (COEF1000)	NB DE MAILLES AVEC TAUX DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 500)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 500)	NB DE MAILLES AVEC TAUX DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 2000)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 2000)	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 20%	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 38%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -20%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -38%
HAUTE-GARONNE	31	AUTERIVE	31033	0.49737	1150.74	53	OUI	140	OUI	232	312	303	1614	2035	2104
HAUTE-GARONNE	31	BAGIRY	31041	28.3224	6896.55	8	OUI	17	OUI	12	8	8	53	44	40
HAUTE-GARONNE	31	BARBAZAN	31045	3.82184	617.116	4	OUI	16	OUI	4	4	4	108	180	156
HAUTE-GARONNE	31	BEAUCHALOT	31050	53.1812	42356.45	16	OUI	32	OUI	28	112	96	940	780	680
HAUTE-GARONNE	31	BEAUZELLE	31056	1.23577	38018.74	8	OUI	12	OUI	20	16	12	316	260	224
HAUTE-GARONNE	31	BERAT	31065	0.971291	2842.81	52	OUI	96	OUI	72	76	88	204	164	144
HAUTE-GARONNE	31	BESSIERES	31066	1.29573	50000	60	OUI	124	OUI	328	296	276	800	760	748
HAUTE-GARONNE	31	BLAGNAC	31069	0.226407	11547.06	20	OUI	52	OUI	264	304	352	1368	1140	992
HAUTE-GARONNE	31	BOIS-DE-LA-PIERRE	31071	3.76413	1090.62	32	OUI	60	OUI	60	84	76	204	168	192
HAUTE-GARONNE	31	BONDIGOUX	31073	4.78848	4159.02	28	OUI	40	OUI	40	32	24	132	112	88
HAUTE-GARONNE	31	NREPOS-SUR-AUSSONNE	31075	3.13778	756.06	4	OUI	12	OUI	4	16	12	20	20	16
HAUTE-GARONNE	31	BORDES-DE-RIVIERE	31076	20.943	57664.97	12	OUI	28	OUI	88	76	160	472	392	388
HAUTE-GARONNE	31	BOURG-SAINT-BERNARD	31082	7.64579	1146.13	8	OUI	32	OUI	12	8	8	212	172	156
HAUTE-GARONNE	31	BOUSSENS	31084	9.13268	215.454	4	OUI	17	OUI	92	76	64	799	1021	1242
HAUTE-GARONNE	31	BRETX	31089	2.68394	13178.29	4	OUI	12	OUI	0	0	0	8	8	8
HAUTE-GARONNE	31	BRUGUIERES	31091	0.467592	3089.81	20	OUI	40	OUI	248	204	180	548	452	780
HAUTE-GARONNE	31	LE BURGAUD	31093	1.14628	2588.24	20	OUI	56	OUI	8	12	12	64	76	92
HAUTE-GARONNE	31	BUZET-SUR-TARN	31094	4.63264	24037.24	124	OUI	228	OUI	772	672	600	1440	1204	1036
HAUTE-GARONNE	31	CONTIGNAN-DE-COMMINGE	31200	29.3723	966.184	4	OUI	4	OUI	4	4	0	4	4	0
HAUTE-GARONNE	31	FRONTON	31202	0	12358.57	80	OUI	160	OUI	596	692	1048	4468	4436	4604
HAUTE-GARONNE	31	FROUZINS	31203	1.92439	786.218	16	OUI	28	OUI	28	24	20	372	308	268
HAUTE-GARONNE	31	GAGNAC-SUR-GARONNE	31205	24.6108	58196.72	24	OUI	48	OUI	52	44	120	1216	1732	1492
HAUTE-GARONNE	31	GALIE	31207	15.2954	844.406	4	OUI	16	OUI	4	4	16	64	56	48
HAUTE-GARONNE	31	GARDOUCH	31210	2.35059	4042.81	12	OUI	25	OUI	12	12	12	124	146	134
HAUTE-GARONNE	31	GEMIL	31216	50.7489	224.781	4	OUI	8	OUI	88	72	64	472	392	344
HAUTE-GARONNE	31	GENSAC-SUR-GARONNE	31219	25.3819	2269.1	36	OUI	44	OUI	248	216	272	544	460	396
HAUTE-GARONNE	31	GOURDAN-POLIGNAN	31224	8.9913	379.357	4	OUI	20	OUI	52	44	140	496	412	777
HAUTE-GARONNE	31	GOYRANS	31227	30.4844	280.584	8	OUI	12	OUI	148	128	112	360	304	264
HAUTE-GARONNE	31	GRATENS	31229	4.67616	4342.27	4	OUI	40	OUI	0	12	8	248	328	284
HAUTE-GARONNE	31	GRAZAC	31231	8.70275	343.795	8	OUI	16	OUI	44	40	60	140	120	100
HAUTE-GARONNE	31	GRENADE	31232	0.674151	19770.27	100	OUI	216	OUI	416	372	324	2504	2692	2356
HAUTE-GARONNE	31	GREPIAC	31233	3.64692	2699.48	28	OUI	48	OUI	32	24	24	300	440	428
HAUTE-GARONNE	31	HIS	31237	9.55307	2126.33	12	OUI	12	OUI	12	8	8	12	8	8
HAUTE-GARONNE	31	HUOS	31238	5.5654	4375.8	4	OUI	8	OUI	0	0	0	20	16	16
HAUTE-GARONNE	31	ISSUS	31240	10.3385	283.652	4	OUI	4	OUI	8	8	4	8	8	4
HAUTE-GARONNE	31	LABARTHE-INARD	31246	34.1008	14122.33	32	OUI	52	OUI	196	160	140	1060	1240	1080
HAUTE-GARONNE	31	LABARTHE-RIVIERE	31247	2.80036	21930.5	48	OUI	62	OUI	156	132	112	286	317	301
HAUTE-GARONNE	31	LABARTHE-SUR-LEZE	31248	5.93478	1362.44	24	OUI	72	OUI	140	116	196	1136	1268	1320
HAUTE-GARONNE	31	LABASTIDE-SAINT-SERNIN	31252	4.74833	2558.31	8	OUI	20	OUI	4	16	12	76	108	92
HAUTE-GARONNE	31	LABASTIDETTE	31253	5.00463	513.906	8	OUI	28	OUI	8	32	24	132	116	96
HAUTE-GARONNE	31	LABEGE	31254	0.440719	207.065	4	OUI	4	OUI	12	8	8	12	8	8
HAUTE-GARONNE	31	LABROQUERE	31255	9.60911	817.308	12	OUI	28	OUI	16	24	20	132	156	132
HAUTE-GARONNE	31	LACROIX-FALGARDE	31259	14.5653	1353.77	4	OUI	8	OUI	16	12	108	148	120	108
HAUTE-GARONNE	31	LAFITTE-VIGORDANE	31261	14.1947	16915.42	64	OUI	96	OUI	208	180	160	972	888	776
HAUTE-GARONNE	31	LAGARDELLE-SUR-LEZE	31263	2.62523	2551.1	56	OUI	96	OUI	216	200	236	688	680	600
HAUTE-GARONNE	31	LAMASQUERE	31269	8.12281	4387.1	32	OUI	44	OUI	36	28	28	104	80	76
HAUTE-GARONNE	31	LAUNAC	31281	0.567291	811.209	8	OUI	40	OUI	4	4	4	68	76	80
HAUTE-GARONNE	31	LAUNAGUET	31282	0.491676	331.336	4	OUI	20	OUI	8	16	12	112	452	756
HAUTE-GARONNE	31	AVELANET-DE-COMMINGE	31286	8.01441	221875	146	OUI	178	OUI	441	397	442	737	633	602
HAUTE-GARONNE	31	LAVERNOSE-LACASSE	31287	0	34175.69	112	OUI	188	OUI	240	216	176	964	900	840
HAUTE-GARONNE	31	LAYRAC-SUR-TARN	31288	9.75064	1959.65	20	OUI	40	OUI	28	20	32	152	164	148
HAUTE-GARONNE	31	LEGUEVIN	31291	0.203296	357.838	4	OUI	16	OUI	8	4	4	28	32	36
HAUTE-GARONNE	31	LESPINASSE	31293	18.3968	885.356	20	OUI	52	OUI	288	244	300	1976	2372	2056
HAUTE-GARONNE	31	STELLE-DE-SAINT-MARTO	31296	57.2835	57373.74	44	OUI	60	OUI	84	160	140	860	712	620
HAUTE-GARONNE	31	LEVIGNAC	31297	0.878954	212.437	4	OUI	12	OUI	0	0	12	60	52	84
HAUTE-GARONNE	31	LHERM	31299	0.394891	18378.38	68	OUI	156	OUI	92	108	104	576	532	476

NOM DEPT	N° DEPT	NOM COMMUNE	N° INSEE	TAUX DE COUVERTURE MIN (COEF1000)	TAUX COUVERTURE MAXI (COEF1000)	NB DE MAILLES AVEC Taux DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 500)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 500)	NB DE MAILLES AVEC Taux DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 2000)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 2000)	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 20%	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 38%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -20%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -38%
HAUTE-GARONNE	31	LONGAGES	31303	3.18732	30537.63	88	OUI	196	OUI	340	300	368	2048	1832	1600
HAUTE-GARONNE	31	LOUBENS-LAURAGAIS	31304	5.80696	265.169	4	OUI	16	OUI	8	8	20	64	140	124
HAUTE-GARONNE	31	LUSCAN	31308	30.0893	377.254	4	OUI	4	OUI	8	4	4	8	4	44
HAUTE-GARONNE	31	MANCIOUX	31314	47.9162	1116.35	16	OUI	28	OUI	104	184	156	360	644	560
HAUTE-GARONNE	31	MANE	31315	2.29	2707.01	4	OUI	16	OUI	0	0	0	72	64	140
HAUTE-GARONNE	31	MARIGNAC	31316	2.50741	559.073	12	OUI	16	OUI	16	16	12	44	40	32
HAUTE-GARONNE	31	MARIGNAC-LASCLARES	31317	15.6327	14049.59	8	OUI	40	OUI	8	32	44	200	168	184
HAUTE-GARONNE	31	MARQUEFAVE	31320	23.9359	2766.95	60	OUI	77	OUI	657	628	556	1551	1289	1509
HAUTE-GARONNE	31	MARTRES-DE-RIVIERE	31323	10.248	5267.23	8	OUI	18	OUI	2	2	8	82	68	60
HAUTE-GARONNE	31	MARTRES-TOLOSANE	31324	1.59065	4578.06	52	OUI	120	OUI	200	190	190	767	828	924
HAUTE-GARONNE	31	MAURAN	31327	62.1033	1437.36	20	OUI	28	OUI	104	84	72	332	276	240
HAUTE-GARONNE	31	MAURESSAC	31330	23.3893	243.777	2	OUI	12	OUI	12	10	8	188	158	136
HAUTE-GARONNE	31	MAUZAC	31334	24.488	40922.19	24	OUI	44	OUI	188	160	400	880	736	632
HAUTE-GARONNE	31	MAZERES-SUR-SALAT	31336	2.48467	8272.51	16	OUI	28	OUI	16	8	8	104	84	76
HAUTE-GARONNE	31	MENVILLE	31338	7.00301	1298.45	4	OUI	8	OUI	0	0	0	4	48	84
HAUTE-GARONNE	31	MERENVIELLE	31339	6.90079	496.314	4	OUI	8	OUI	4	4	4	24	20	20
HAUTE-GARONNE	31	MERVILLE	31341	0.578582	2752.74	60	OUI	200	OUI	116	104	96	884	944	908
HAUTE-GARONNE	31	MIRAMONT-DE-COMMINGE	31344	22.083	15058.32	28	OUI	40	OUI	124	104	176	632	880	764
HAUTE-GARONNE	31	MIREMONT	31345	0	820.223	76	OUI	140	OUI	308	308	320	1192	1080	1152
HAUTE-GARONNE	31	MIREPOIX-SUR-TARN	31346	6.37169	1016.75	4	OUI	8	OUI	4	0	0	20	16	12
HAUTE-GARONNE	31	MONDAVEZAN	31349	4.21228	6759.44	32	OUI	56	OUI	20	36	32	200	252	304
HAUTE-GARONNE	31	MONDONVILLE	31351	0.458228	1027.08	8	OUI	16	OUI	0	0	0	8	8	8
HAUTE-GARONNE	31	MONTAIGUT-SUR-SAVE	31356	1.14511	10608.42	4	OUI	20	OUI	0	12	8	52	44	44
HAUTE-GARONNE	31	MONTESPAN	31372	52.1578	2882.08	12	OUI	28	OUI	160	312	268	980	808	700
HAUTE-GARONNE	31	MONTGISCARD	31381	0.821818	1180.35	4	OUI	12	OUI	0	0	0	76	64	52
HAUTE-GARONNE	31	MONTJOIRE	31383	68.4971	7879.04	124	OUI	136	OUI	1264	1060	984	1884	1576	1348
HAUTE-GARONNE	31	MONTLAUR	31384	2.70824	698.152	8	OUI	24	OUI	12	8	32	116	136	124
HAUTE-GARONNE	31	MONTREJEAU	31390	3.99049	247.203	4	OUI	8	OUI	80	64	56	344	652	568
HAUTE-GARONNE	31	MURET	31395	0.635905	21115.24	188	OUI	316	OUI	1692	1580	1576	6328	5740	6296
HAUTE-GARONNE	31	NOE	31399	13.9241	8926.61	72	OUI	124	OUI	640	724	716	2840	2752	2760
HAUTE-GARONNE	31	ONDES	31403	41.512	4568.12	60	OUI	68	OUI	400	328	296	924	764	1360
HAUTE-GARONNE	31	ORE	31405	13.1658	9090.91	12	OUI	12	OUI	4	4	4	4	48	44
HAUTE-GARONNE	31	PALAMINY	31406	19.5892	39831.7	52	OUI	68	OUI	320	272	232	1072	900	772
HAUTE-GARONNE	31	PAULHAC	31407	35.4642	440.238	4	OUI	24	OUI	44	120	288	856	716	1004
HAUTE-GARONNE	31	PEYSSIES	31416	14.1593	40028.19	32	OUI	52	OUI	204	164	144	312	296	260
HAUTE-GARONNE	31	PIBRAC	31417	0.335068	2872.06	12	OUI	40	OUI	4	16	12	44	56	48
HAUTE-GARONNE	31	PINSAGUEL	31420	15.1623	2474.95	8	OUI	32	OUI	20	20	100	1336	1116	968
HAUTE-GARONNE	31	PINS-JUSTARET	31421	8.00534	967.401	12	OUI	36	OUI	152	124	208	1504	1592	1500
HAUTE-GARONNE	31	PLAISANCE-DU-TOUCH	31424	0.313184	4945.45	24	OUI	44	OUI	32	32	32	148	248	352
HAUTE-GARONNE	31	POINTIS-DE-RIVIERE	31426	5.9688	32568.81	32	OUI	64	OUI	176	240	296	648	532	468
HAUTE-GARONNE	31	POINTIS-INARD	31427	6.14742	232786.89	52	OUI	72	OUI	260	208	180	540	444	384
HAUTE-GARONNE	31	PONLAT-TAILLEBOURG	31430	9.32355	2788.03	20	OUI	28	OUI	164	140	120	484	456	392
HAUTE-GARONNE	31	PORTET-SUR-GARONNE	31433	4.13925	3392.87	32	OUI	100	OUI	340	460	684	3432	3568	3836
HAUTE-GARONNE	31	POUCHARRAMET	31435	0	493.495	16	OUI	92	OUI	8	20	24	188	260	256
HAUTE-GARONNE	31	RADERE-LES-BOURGUET	31438	25.861	521.312	8	OUI	28	OUI	16	20	32	128	100	184
HAUTE-GARONNE	31	PRESERVILLE	31439	0.979404	230.103	4	OUI	4	OUI	12	8	8	12	8	8
HAUTE-GARONNE	31	PUYDANIEL	31442	29.6313	1083.86	20	OUI	28	OUI	88	76	64	240	308	268
HAUTE-GARONNE	31	QUINT	31445	0.58173	230.399	4	OUI	4	OUI	12	8	8	12	92	84
HAUTE-GARONNE	31	RENNEVILLE	31450	7.4062	267.17	4	OUI	8	OUI	8	8	8	28	28	68
HAUTE-GARONNE	31	RIEUX	31455	0.433046	290.101	8	OUI	13	OUI	152	128	108	587	829	715
HAUTE-GARONNE	31	ROQUEFORT-SUR-GARONNE	31457	1.0883	33870.01	23	OUI	31	OUI	194	159	227	674	607	582
HAUTE-GARONNE	31	ROQUES	31458	13.2341	4813.56	28	OUI	88	OUI	260	472	588	3228	3032	3384
HAUTE-GARONNE	31	ROQUETTES	31460	22.3343	1216.77	16	OUI	36	OUI	128	108	188	1288	1072	936
HAUTE-GARONNE	31	SAINT-ALBAN	31467	2.02712	1119.08	8	OUI	16	OUI	112	96	80	644	872	752
HAUTE-GARONNE	31	T-BERTRAND-DE-COMMINES	31472	7.55943	851.81	11	OUI	31	OUI	11	11	7	135	145	122
HAUTE-GARONNE	31	SAINT-CEZERT	31473	2.24703	1705.43	20	OUI	40	OUI	4	16	12	60	52	64

NOM DEPT	N° DEPT	NOM COMMUNE	N° INSEE	TAUX DE COUVERTURE MIN (COEF1000)	TAUX COUVERTURE MAXI (COEF1000)	NB DE MAILLES AVEC Taux DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 500)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 500)	NB DE MAILLES AVEC Taux DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 2000)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 2000)	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 20%	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 38%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -20%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -38%
HAUTE-GARONNE	31	SAINT-CLAR-DE-RIVIERE	31475	0	2342.4	24	OUI	36	OUI	32	28	24	60	52	56
HAUTE-GARONNE	31	SAINT-ELIX-LE-CHATEAU	31476	14.0733	12302.36	56	OUI	92	OUI	256	204	192	756	696	656
HAUTE-GARONNE	31	AINTE-FOY-D'AIGREFEUIL	31480	2.08195	1032.34	4	OUI	16	OUI	4	0	0	104	132	156
HAUTE-GARONNE	31	AINTE-FOY-DE-PEYROLIER	31481	0.589547	229.024	4	OUI	28	OUI	0	24	28	104	104	80
HAUTE-GARONNE	31	SAINT-GAUDENS	31483	0.169184	1680.57	16	OUI	46	OUI	140	116	296	2048	2394	2086
HAUTE-GARONNE	31	SAINT-HILAIRE	31486	6.48149	4084.08	28	OUI	40	OUI	108	88	76	192	156	220
HAUTE-GARONNE	31	SAINT-JORY	31490	11.8568	14865.22	140	OUI	248	OUI	1780	1744	1780	7040	5868	5480
HAUTE-GARONNE	31	SAINT-JULIEN	31492	54.2714	308695.65	85	OUI	93	OUI	414	358	383	898	762	643
HAUTE-GARONNE	31	SAINT-LYS	31499	0.208592	1136.36	12	OUI	28	OUI	4	16	16	76	112	140
HAUTE-GARONNE	31	SAINT-MARTORY	31503	10.4917	14076.83	36	OUI	52	OUI	84	256	220	592	496	428
HAUTE-GARONNE	31	SAINT-ORENS-DE-GAMEVIL	31506	0.102105	435.228	4	OUI	4	OUI	4	4	4	4	4	4
HAUTE-GARONNE	31	SAINT-PAUL-SUR-SAVE	31507	1.60698	1690.28	16	OUI	24	OUI	16	12	12	68	56	52
HAUTE-GARONNE	31	SAINT-ROME	31514	46.3594	8374.38	20	OUI	28	OUI	28	36	32	80	112	96
HAUTE-GARONNE	31	SAINT-RUSTICE	31515	67.7015	1649.2	8	OUI	20	OUI	24	16	104	600	496	432
HAUTE-GARONNE	31	SAINT-SAUVEUR	31516	0.331496	1477.62	4	OUI	20	OUI	0	0	0	108	136	116
HAUTE-GARONNE	31	SALLES-SUR-GARONNE	31525	145.559	10406.74	68	OUI	72	OUI	536	452	484	672	564	484
HAUTE-GARONNE	31	SAUBENS	31533	4.78409	49092.48	16	OUI	52	OUI	80	64	148	1932	1608	1400
HAUTE-GARONNE	31	SEILH	31541	2.69411	3009.11	12	OUI	28	OUI	68	56	48	304	256	220
HAUTE-GARONNE	31	SEILHAN	31542	24.0006	947.735	5	OUI	27	OUI	5	5	14	167	183	158
HAUTE-GARONNE	31	SEYSSES	31547	1.83151	2091.93	72	OUI	172	OUI	432	480	440	1836	1620	1592
HAUTE-GARONNE	31	TOULOUSE	31555	0.0305126	26308.48	76	OUI	220	OUI	788	1100	1160	7608	8168	7844
HAUTE-GARONNE	31	VACQUIERS	31563	35.8798	827.277	12	OUI	48	OUI	152	392	340	1844	1536	1332
HAUTE-GARONNE	31	VALCABRERE	31564	15.0566	2672.96	4	OUI	16	OUI	0	20	16	56	92	128
HAUTE-GARONNE	31	VALENTINE	31565	0	38984.21	34	OUI	39	OUI	118	102	82	156	157	302
HAUTE-GARONNE	31	VENDINE	31571	12.9033	903.174	24	OUI	44	OUI	32	44	48	156	136	116
HAUTE-GARONNE	31	VENERQUE	31572	0.165881	981.067	4	OUI	16	OUI	4	100	100	156	284	252
HAUTE-GARONNE	31	VERNET	31574	7.82966	11029.13	24	OUI	72	OUI	40	56	48	952	792	684
HAUTE-GARONNE	31	VIEILLE-TOULOUSE	31575	21.8487	2846.26	20	OUI	24	OUI	244	204	180	584	488	776
HAUTE-GARONNE	31	VILLARIES	31579	0.505294	272.044	4	OUI	4	OUI	8	8	8	8	8	8
HAUTE-GARONNE	31	VILLAUDRIC	31581	19.6795	19874.04	64	OUI	80	OUI	396	344	292	1316	1112	956
HAUTE-GARONNE	31	VILLEFRANCHE-DE-LAURAG	31582	0.434636	424.814	8	OUI	16	OUI	12	12	12	72	144	124
HAUTE-GARONNE	31	VILLEMATIER	31583	12.0501	45331.21	132	OUI	176	OUI	800	772	668	1316	1096	1000
HAUTE-GARONNE	31	VILLEMUR-SUR-TARN	31584	1.53421	56293.36	160	OUI	284	OUI	1340	1568	1560	4364	4072	3536
HAUTE-GARONNE	31	VILLENEUVE-DE-RIVIERE	31585	12.4798	56800	29	OUI	44	OUI	167	138	123	1064	885	774
HAUTE-GARONNE	31	VILLENEUVE-LES-BOULOC	31587	0.592205	246.421	4	OUI	8	OUI	8	8	8	36	28	28
HAUTE-GARONNE	31	VILLENEUVE-TOLOSANE	31588	1.09852	389.372	12	OUI	32	OUI	152	128	108	1416	1524	1688
HAUTE-GARONNE	31	VILLENOUVELLE	31589	2.06752	781.609	12	OUI	40	OUI	20	16	40	208	216	240
HAUTE-GARONNE	31	LARRA	31592	1.47044	1703.41	44	OUI	96	OUI	36	32	32	204	164	176
GER	32	BARCELONNE-DU-GER	32027	5.81702	5860.18	85	OUI	187	OUI	353	446	445	1961	1724	1509
GER	32	CADEILLAN	32069	34.9329	1217.55	4	OUI	12	OUI	0	0	0	12	56	44
GER	32	CAHUZAC-SUR-ADOUR	32070	5.2148	4021.64	40	OUI	56	OUI	124	160	172	272	228	204
GER	32	CAUMONT	32093	79.2312	853.89	8	OUI	24	OUI	36	52	44	256	204	180
GER	32	CAZAUX-SAVES	32098	1.51202	2053.14	4	OUI	4	OUI	0	0	0	0	0	0
GER	32	CORNEILLAN	32108	24.7833	316.04	4	OUI	4	OUI	20	16	12	20	16	12
GER	32	ESPAON	32124	38.5676	547.813	4	OUI	56	OUI	4	28	32	280	228	248
GER	32	GALIA	32136	35.3721	60813.7	52	OUI	60	OUI	112	128	108	216	184	160
GER	32	GEE-RIVIERE	32145	146.958	6993.87	20	OUI	24	OUI	44	36	64	84	68	64
GER	32	GOUX	32151	6.11604	2149.32	24	OUI	24	OUI	48	44	32	48	44	32
GER	32	L'ISLE-JOURDAIN	32160	0.436958	2905.98	16	OUI	52	OUI	8	16	12	268	272	312
GER	32	IZOTGES	32161	45.0422	8244.94	20	OUI	20	OUI	32	24	20	32	132	116
GER	32	JU-BELLOC	32163	0	36668.82	56	OUI	72	OUI	212	172	156	552	456	404
GER	32	LABASTIDE-SAVES	32171	3.49193	239.538	8	OUI	24	OUI	20	24	24	120	96	88
GER	32	LADEVEZE-VILLE	32175	3.65965	240.635	4	OUI	8	OUI	24	20	16	84	72	60
GER	32	LOMBEZ	32213	0.99003	1248.62	4	OUI	44	OUI	0	0	12	232	244	344
GER	32	MAULICHERES	32244	5.13378	5912.86	24	OUI	40	OUI	96	80	64	312	260	220
GER	32	PLAISANCE	32319	4.17138	7872.93	24	OUI	36	OUI	84	96	80	276	336	628

NOM DEPT	N° DEPT	NOM COMMUNE	N° INSEE	TAUX DE COUVERTURE MIN (COEF1000)	TAUX COUVERTURE MAXI (COEF1000)	NB DE MAILLES AVEC Taux DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 500)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 500)	NB DE MAILLES AVEC Taux DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 2000)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 2000)	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 20%	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 38%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -20%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -38%
GERS	32	PRECHAC-SUR-ADOUR	32330	27.1132	6472.2	28	OUI	36	OUI	124	128	116	224	184	168
GERS	32	RISCLE	32344	3.44188	7086.61	104	OUI	192	OUI	324	380	368	1400	1516	1416
GERS	32	SABAILLAN	32353	11.4406	485.333	4	OUI	12	OUI	4	4	4	64	56	96
GERS	32	SAINT-GERME	32378	16.487	2729.45	44	OUI	68	OUI	184	152	156	532	448	492
GERS	32	SAMATAN	32410	0.329342	3204.52	24	OUI	64	OUI	24	28	28	296	432	464
GERS	32	SARRAGACHIES	32414	30.0367	1538.05	12	OUI	36	OUI	28	20	20	404	332	288
GERS	32	SAUVETERRE	32418	2.34274	284.912	4	OUI	16	OUI	8	8	4	108	92	76
GERS	32	SEGOUFIELLE	32425	6.02886	233.436	4	OUI	8	OUI	12	8	8	52	40	120
GERS	32	TARSAC	32439	30.0833	21085.08	32	OUI	36	OUI	44	40	36	156	136	120
GERS	32	TASQUE	32440	108.831	12629.25	56	OUI	68	OUI	172	176	156	428	360	320
GERS	32	TERMES-D'ARMAGNAC	32443	35.8	1089.45	32	OUI	48	OUI	124	160	144	308	256	228
GERS	32	TIESTE-URAGNOUX	32445	14.591	3769.01	28	OUI	44	OUI	96	100	116	288	236	204
LOT	46	ALBAS	46001	0	1955.63	20	OUI	44	OUI	48	36	56	364	336	296
LOT	46	ANGLARS-JUILLAC	46005	0	609.537	12	OUI	60	OUI	20	76	96	648	540	556
LOT	46	CAILLAC	46044	6.21029	6630.48	12	OUI	30	OUI	48	68	60	276	271	239
LOT	46	DOUELLE	46088	5.19122	4279.28	20	OUI	24	OUI	52	44	40	124	104	204
LOT	46	DURAVEL	46089	5.48604	6019.01	20	OUI	38	OUI	48	44	44	348	290	484
LOT	46	GREZELS	46130	0	12734.08	12	OUI	20	OUI	20	40	64	88	72	168
LOT	46	LAGARDELLE	46147	0	2415.25	12	OUI	16	OUI	24	16	12	44	136	160
LOT	46	LUZEC	46182	0	816.58	20	OUI	52	OUI	80	72	60	532	440	428
LOT	46	PARNAC	46214	9.92305	3472.79	6	OUI	22	OUI	28	24	48	224	192	164
LOT	46	PESCADIOIRES	46218	20.2226	2112.42	12	OUI	20	OUI	12	8	8	120	212	184
LOT	46	PUY-L'EVEQUE	46231	0	371.062	4	OUI	36	OUI	16	12	12	604	500	484
LOT	46	SOTURAC	46307	0	1440.97	12	OUI	28	OUI	40	36	28	280	432	412
LOT	46	TOUZAC	46321	0	2405.06	20	OUI	52	OUI	68	92	116	412	336	292
LOT	46	VIRE-SUR-LOT	46336	0	4871.06	28	OUI	84	OUI	80	84	120	464	536	464
HAUTES-PYRENEES	65	ADE	65002	3.43022	3043.87	36	OUI	44	OUI	76	56	48	148	160	140
HAUTES-PYRENEES	65	ALLIER	65005	1.73829	20955.88	20	OUI	24	OUI	120	100	88	272	224	196
HAUTES-PYRENEES	65	ANDREST	65007	9.48263	35544.43	28	OUI	48	OUI	176	244	244	776	772	772
HAUTES-PYRENEES	65	ANERES	65009	8.474	4709.14	16	OUI	16	OUI	16	16	16	16	16	16
HAUTES-PYRENEES	65	ANLA	65012	34.4177	7649.04	24	OUI	36	OUI	4	4	28	72	60	56
HAUTES-PYRENEES	65	ANSOST	65013	442.709	8021.47	20	OUI	20	OUI	92	76	64	92	76	64
HAUTES-PYRENEES	65	ANTICHAN	65014	46.8752	10271.9	4	OUI	8	OUI	0	0	0	40	72	64
HAUTES-PYRENEES	65	ANTIST	65016	0	426.412	4	OUI	8	OUI	4	4	4	24	20	16
HAUTES-PYRENEES	65	ARCIZAC-ADOUR	65019	6.664	60105.82	20	OUI	32	OUI	48	64	56	352	288	248
HAUTES-PYRENEES	65	ARTAGNAN	65035	60.0642	30922.24	36	OUI	52	OUI	188	248	308	896	748	648
HAUTES-PYRENEES	65	ASTE	65042	0.831441	2782.32	4	OUI	4	OUI	0	0	0	0	84	76
HAUTES-PYRENEES	65	AUREILHAN	65047	7.6411	4632.57	28	OUI	64	OUI	380	320	644	1876	1936	2412
HAUTES-PYRENEES	65	AURENSAN	65048	34.9855	597894.74	44	OUI	60	OUI	168	140	208	948	796	684
HAUTES-PYRENEES	65	AURIEBAT	65049	76.1469	8219.97	36	OUI	64	OUI	148	148	132	492	408	364
HAUTES-PYRENEES	65	AVENTIGNAN	65051	6.46053	551.098	8	OUI	12	OUI	12	8	8	32	64	96
HAUTES-PYRENEES	65	AVEUX	65053	44.5169	3174.6	11	OUI	19	OUI	8	4	16	48	80	72
HAUTES-PYRENEES	65	AZEREIX	65057	6.81914	12302.16	72	OUI	80	OUI	112	84	80	272	216	196
HAUTES-PYRENEES	65	BARBACHEN	65061	233.137	6074.87	12	OUI	12	OUI	128	104	92	128	104	92
HAUTES-PYRENEES	65	BARBAZAN-DEBAT	65062	16.3521	215.494	4	OUI	20	OUI	92	76	64	1096	912	1900
HAUTES-PYRENEES	65	BARRY	65067	9.27409	436.335	4	OUI	8	OUI	0	0	88	124	104	88
HAUTES-PYRENEES	65	BAZET	65072	23.212	16535.66	16	OUI	36	OUI	52	124	108	1180	984	1576
HAUTES-PYRENEES	65	BAZILLAC	65073	0	436923.08	32	OUI	48	OUI	84	164	140	652	548	472
HAUTES-PYRENEES	65	BAZUS-NESTE	65076	34.2996	868.677	8	OUI	12	OUI	12	12	8	32	32	24
HAUTES-PYRENEES	65	BEAUDEAN	65078	8.66189	2669.81	12	OUI	32	OUI	12	8	8	160	176	236
HAUTES-PYRENEES	65	BENAC	65080	8.11209	31838.57	36	OUI	52	OUI	132	216	188	616	508	444
HAUTES-PYRENEES	65	BERNAC-DEBAT	65083	0	61206.9	28	OUI	44	OUI	192	184	156	872	720	620
HAUTES-PYRENEES	65	BERNAC-DESSUS	65084	18.4555	9791.42	12	OUI	16	OUI	24	20	20	232	192	172
HAUTES-PYRENEES	65	BERTREN	65087	8.82504	10134.13	4	OUI	8	OUI	0	0	0	28	24	20
HAUTES-PYRENEES	65	BIZOUS	65094	20.4264	6896.55	12	OUI	20	OUI	12	16	24	40	28	24
HAUTES-PYRENEES	65	BORDERES-SUR-L'ECHIZ	65100	4.52186	45367.41	92	OUI	124	OUI	576	564	692	1096	1580	1484

NOM DEPT	N° DEPT	NOM COMMUNE	N° INSEE	TAUX DE COUVERTURE MIN (COEF1000)	TAUX COUVERTURE MAXI (COEF1000)	NB DE MAILLES AVEC TAUX DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 500)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 500)	NB DE MAILLES AVEC TAUX DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 2000)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 2000)	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 20%	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 38%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -20%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -38%
HAUTES-PYRENEES	65	BOURS	65108	50.4964	1446.8	36	OUI	56	OUI	316	268	232	1672	1396	1208
HAUTES-PYRENEES	65	CAMALES	65121	37.6686	48857.14	20	OUI	24	OUI	124	108	88	284	244	580
HAUTES-PYRENEES	65	CAMPAN	65123	2.35961	2859.55	79	OUI	187	OUI	111	107	99	839	1043	1091
HAUTES-PYRENEES	65	ASTELNAU-RIVIERE-BASS	65130	2.01787	1503.3	28	OUI	60	OUI	108	96	80	660	556	476
HAUTES-PYRENEES	65	CASTERA-LOU	65133	2.14575	374.475	8	OUI	8	OUI	148	124	104	148	124	104
HAUTES-PYRENEES	65	CAUSSADE-RIVIERE	65137	170.541	16004.51	36	OUI	40	OUI	176	180	148	212	180	148
HAUTES-PYRENEES	65	CHIS	65146	120.375	231836.73	36	OUI	44	OUI	192	156	232	488	404	348
HAUTES-PYRENEES	65	DOURS	65156	2.3103	234710.74	8	OUI	8	OUI	36	32	28	36	32	28
HAUTES-PYRENEES	65	ESCONDEAUX	65161	114.641	49912.13	44	OUI	48	OUI	192	164	136	364	304	260
HAUTES-PYRENEES	65	ESTIRAC	65174	131.207	9056.12	28	OUI	32	OUI	144	116	100	188	152	132
HAUTES-PYRENEES	65	GAYAN	65189	34.2625	9059.01	12	OUI	16	OUI	52	40	36	156	232	204
HAUTES-PYRENEES	65	GENSAC	65196	226.532	17805.64	24	OUI	24	OUI	140	116	100	140	116	100
HAUTES-PYRENEES	65	HAGEDET	65215	4.17003	469.664	4	OUI	4	OUI	12	12	8	12	12	8
HAUTES-PYRENEES	65	HERES	65219	14.808	8333.33	40	OUI	44	OUI	80	64	60	216	180	160
HAUTES-PYRENEES	65	HIBARETTE	65220	28.4258	8162.29	12	OUI	12	OUI	108	88	76	108	88	76
HAUTES-PYRENEES	65	HIIS	65221	0	343.348	8	OUI	8	OUI	16	12	12	16	60	52
HAUTES-PYRENEES	65	HORGUES	65223	7.14934	1626.71	16	OUI	36	OUI	88	188	164	488	520	452
HAUTES-PYRENEES	65	IBOS	65226	2.55711	55686.27	116	OUI	176	OUI	228	328	312	1124	1060	1384
HAUTES-PYRENEES	65	ILHEU	65229	33.1691	427.002	8	OUI	8	OUI	16	12	12	16	12	12
HAUTES-PYRENEES	65	IZAOURT	65230	10.5947	3200	12	OUI	20	OUI	8	8	4	80	72	60
HAUTES-PYRENEES	65	IZAUX	65231	2.36664	217.308	4	OUI	12	OUI	12	8	8	56	136	116
HAUTES-PYRENEES	65	JUILLAN	65235	0.730122	44901.19	48	OUI	92	OUI	216	272	264	2496	2752	2396
HAUTES-PYRENEES	65	JULOS	65236	8.2207	374.017	4	OUI	12	OUI	8	4	16	48	36	36
HAUTES-PYRENEES	65	LABATUT-RIVIERE	65240	31.9016	49693.79	84	OUI	112	OUI	188	152	192	580	480	416
HAUTES-PYRENEES	65	LACASSAGNE	65242	2.51742	7758.5	16	OUI	16	OUI	44	36	28	44	36	28
HAUTES-PYRENEES	65	LAFITOLE	65243	4.9704	30769.23	60	OUI	72	OUI	456	384	320	856	716	612
HAUTES-PYRENEES	65	LAGARDE	65244	4.45806	1443.89	16	OUI	16	OUI	56	44	40	56	264	232
HAUTES-PYRENEES	65	LALOUBERE	65251	18.092	2359.49	16	OUI	28	OUI	196	168	140	732	616	528
HAUTES-PYRENEES	65	LANNE	65257	0	17307.69	32	OUI	40	OUI	52	40	36	208	280	244
HAUTES-PYRENEES	65	LARREULE	65262	75.0338	89873.42	56	OUI	64	OUI	416	340	296	860	708	616
HAUTES-PYRENEES	65	LASCAZERES	65264	45.2848	1968.23	20	OUI	20	OUI	148	124	108	148	828	720
HAUTES-PYRENEES	65	LIAC	65273	142.524	9086.55	28	OUI	32	OUI	272	220	192	408	336	292
HAUTES-PYRENEES	65	LOMBRES	65277	14.3819	452.82	8	OUI	12	OUI	12	12	12	40	36	32
HAUTES-PYRENEES	65	LORTET	65279	3.55474	242.545	4	OUI	8	OUI	8	8	8	24	24	20
HAUTES-PYRENEES	65	LOUEY	65284	17.7837	18939.65	24	OUI	40	OUI	112	84	256	632	860	752
HAUTES-PYRENEES	65	MARSAC	65299	67.4592	880.4	12	OUI	16	OUI	76	60	52	364	300	260
HAUTES-PYRENEES	65	MAUBOURGUET	65304	2.78359	53133.77	92	OUI	124	OUI	524	432	376	2048	1704	2300
HAUTES-PYRENEES	65	MAZERES-DE-NESTE	65307	6.92739	309.936	4	OUI	11	OUI	8	8	4	65	95	84
HAUTES-PYRENEES	65	MOMERES	65313	11.7	2537.47	16	OUI	32	OUI	20	16	72	272	220	316
HAUTES-PYRENEES	65	MONFAUCON	65314	84.7243	400.429	4	OUI	12	OUI	48	40	36	508	424	372
HAUTES-PYRENEES	65	MONTÉGUT	65319	15.5888	4331.21	8	OUI	12	OUI	4	4	4	20	16	16
HAUTES-PYRENEES	65	MONTGAILLARD	65320	0	1961.35	16	OUI	32	OUI	12	20	16	120	100	132
HAUTES-PYRENEES	65	MONTOUSSE	65322	17.8861	2015.41	7	OUI	15	OUI	4	4	4	52	44	80
HAUTES-PYRENEES	65	NESTIER	65327	5.73846	2562.17	7	OUI	15	OUI	4	4	0	56	48	36
HAUTES-PYRENEES	65	NOUILHAN	65330	95.1803	84649.78	28	OUI	44	OUI	144	120	100	568	472	404
HAUTES-PYRENEES	65	ODOS	65331	5.18736	1703.02	16	OUI	36	OUI	124	200	176	552	564	488
HAUTES-PYRENEES	65	ORDIZAN	65335	5.82899	747.993	4	OUI	4	OUI	4	4	4	4	4	4
HAUTES-PYRENEES	65	ORLEIX	65340	4.16735	227200	52	OUI	64	OUI	332	368	408	740	2060	1792
HAUTES-PYRENEES	65	OSSUN	65344	0.53503	20981.6	68	OUI	92	OUI	124	104	96	368	312	276
HAUTES-PYRENEES	65	OURSBELILLE	65350	10.5867	21348.31	48	OUI	68	OUI	72	140	152	376	544	480
HAUTES-PYRENEES	65	PUJO	65372	58.9375	171601.21	20	OUI	40	OUI	80	68	236	1064	888	768
HAUTES-PYRENEES	65	RABASTENS-DE-BIGORRE	65375	5.33558	22930.96	44	OUI	56	OUI	280	232	392	768	988	856
HAUTES-PYRENEES	65	SACOE	65382	25.3837	514.995	8	OUI	8	OUI	8	8	8	8	8	8
HAUTES-PYRENEES	65	SAINT-LAURENT-DE-NESTE	65389	1.64771	544.218	12	OUI	12	OUI	16	16	12	16	16	12
HAUTES-PYRENEES	65	SAINT-LEZER	65390	1.72707	3126.03	24	OUI	32	OUI	192	184	156	392	324	276
HAUTES-PYRENEES	65	SAINT-MARTIN	65392	0	7145.84	32	OUI	52	OUI	32	28	24	268	232	196

NOM DEPT	N° DEPT	NOM COMMUNE	N° INSEE	TAUX DE COUVERTURE MIN (COEF1000)	TAUX COUVERTURE MAXI (COEF1000)	NB DE MAILLES AVEC TAUX DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 500)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 500)	NB DE MAILLES AVEC TAUX DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 2000)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 2000)	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 20%	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 38%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -20%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -38%
HAUTES-PYRENEES	65	SAINT-PAUL	65394	2.91248	384.42	4	OUI	4	OUI	8	4	4	8	4	4
HAUTES-PYRENEES	65	SALECHAN	65398	10.1204	2195.67	24	OUI	28	OUI	24	20	32	40	32	76
HAUTES-PYRENEES	65	SALLES-ADOUR	65401	43.7396	410.673	4	OUI	16	OUI	16	12	12	260	680	596
HAUTES-PYRENEES	65	SAMURAN	65402	84.9522	1835.36	8	OUI	12	OUI	4	4	4	32	28	24
HAUTES-PYRENEES	65	SARNIGUET	65406	104.095	40169.73	12	OUI	20	OUI	152	132	200	464	392	336
HAUTES-PYRENEES	65	SARP	65407	0	246.279	4	OUI	12	OUI	8	8	8	60	52	44
HAUTES-PYRENEES	65	SARRIAC-BIGORRE	65409	77.417	57959.18	68	OUI	76	OUI	264	312	260	628	524	444
HAUTES-PYRENEES	65	SAUVETERRE	65412	130.638	8571	12	OUI	20	OUI	72	144	124	320	268	232
HAUTES-PYRENEES	65	SEGALAS	65414	591.587	20394.97	68	OUI	68	OUI	168	140	128	168	140	128
HAUTES-PYRENEES	65	SEMEAC	65417	12.2209	8178.55	16	OUI	32	OUI	124	184	256	936	776	1052
HAUTES-PYRENEES	65	SIARROUY	65425	4.34585	3288.18	20	OUI	28	OUI	88	72	64	196	164	144
HAUTES-PYRENEES	65	SIRADAN	65427	7.98882	557.697	8	OUI	8	OUI	8	8	8	8	8	8
HAUTES-PYRENEES	65	SOMBRUN	65429	8.9632	5186.53	20	OUI	32	OUI	104	88	160	408	344	292
HAUTES-PYRENEES	65	SOUBLECAUSE	65432	3.19324	1476.68	12	OUI	12	OUI	40	36	28	40	36	28
HAUTES-PYRENEES	65	SOUES	65433	14.9999	90590.11	20	OUI	40	OUI	128	284	244	1252	1420	1236
HAUTES-PYRENEES	65	TALAZAC	65438	36.8279	2160.18	12	OUI	12	OUI	20	20	8	20	20	124
HAUTES-PYRENEES	65	TARBES	65440	1.29534	512.77	16	OUI	40	OUI	240	196	260	1044	968	1616
HAUTES-PYRENEES	65	TIBIRAN-JAUNAC	65444	25.1544	2121.02	27	OUI	39	OUI	32	34	38	84	66	186
HAUTES-PYRENEES	65	TOSTAT	65446	50.5119	17678.18	28	OUI	40	OUI	120	188	164	796	664	576
HAUTES-PYRENEES	65	TREBONS	65451	3.42724	1370.14	8	OUI	12	OUI	8	4	4	28	64	96
HAUTES-PYRENEES	65	TROUBAT	65453	20.0957	1569.35	8	OUI	12	OUI	0	0	12	16	12	12
HAUTES-PYRENEES	65	UGNOUAS	65457	282.83	122678.19	20	OUI	20	OUI	132	108	96	132	108	96
HAUTES-PYRENEES	65	VIC-EN-BIGORRE	65460	6.3455	80112.83	156	OUI	208	OUI	968	892	852	2956	2468	2496
HAUTES-PYRENEES	65	VIELLE-ADOUR	65464	0	3403.66	12	OUI	24	OUI	28	24	80	404	340	300
HAUTES-PYRENEES	65	VILLEFRANQUE	65472	3.33598	3229.29	8	OUI	8	OUI	16	12	12	16	12	12
HAUTES-PYRENEES	65	VILLENAVE-PRES-MARSAC	65477	233.029	515.239	8	OUI	8	OUI	120	100	88	120	100	88
TARN	81	ALBI	81004	0.157868	232.893	4	OUI	24	OUI	12	8	8	176	280	500
TARN	81	BRENS	81038	4.1403	1459.85	28	OUI	160	OUI	36	52	52	972	1112	1152
TARN	81	BRIATEXTE	81039	1.63711	2601.38	12	OUI	44	OUI	16	24	36	280	368	328
TARN	81	CAMBON-LES-LAVAL	81050	4.53696	368.504	4	OUI	44	OUI	8	16	24	232	192	216
TARN	81	CASTELNAU-DE-LEVIS	81063	2.6348	2493.58	4	OUI	12	OUI	0	0	0	68	152	204
TARN	81	COUFOULEUX	81070	5.4273	4670.33	84	OUI	252	OUI	144	220	252	1112	1196	1116
TARN	81	CUQ	81075	13.5782	328.598	4	OUI	24	OUI	8	16	12	168	144	116
TARN	81	CUQ-TOULZA	81076	1.87309	1763.94	8	OUI	30	OUI	8	16	12	157	240	246
TARN	81	DAMIATTE	81078	2.7306	271.057	4	OUI	40	OUI	8	8	20	272	364	364
TARN	81	FIAC	81092	9.48645	360.017	4	OUI	48	OUI	8	4	4	356	544	560
TARN	81	GAILLAC	81099	0.344678	1196.34	8	OUI	72	OUI	8	16	24	464	720	756
TARN	81	PUYBEGON	81215	15.47	224.282	4	OUI	32	OUI	12	8	8	256	256	356
TARN	81	RABASTENS	81220	0.640244	8564.23	52	OUI	168	OUI	64	88	80	880	912	860
TARN	81	RIVIERES	81225	9.6856	12363.64	16	OUI	68	OUI	16	24	36	356	468	444
TARN	81	SAINT-GAUZENS	81248	10.6555	293.863	16	OUI	52	OUI	40	32	28	308	340	384
TARN	81	SAINT-JEAN-DE-RIVES	81255	42.5109	28691.98	24	OUI	52	OUI	40	32	24	288	404	360
TARN	81	SAINT-JULIEN-DU-PUY	81258	5.6678	655.991	16	OUI	48	OUI	32	40	56	216	264	272
TARN	81	SAINT-LIEUX-LES-LAVAL	81261	14.4048	383.185	28	OUI	96	OUI	64	68	80	544	528	508
TARN	81	SAINT-PAUL-CAP-DE-JOUX	81266	0.212673	223.677	4	OUI	17	OUI	12	8	8	123	196	208
TARN	81	SAINT-SULPICE	81271	1.14021	4629	20	OUI	96	OUI	28	44	60	492	548	528
TARN	81	SENOUILLAC	81283	2.25796	303.422	4	OUI	8	OUI	8	8	4	40	80	68
TARN	81	TERSSAC	81297	6.50758	619.985	12	OUI	28	OUI	20	12	12	144	204	312
TARN	81	TEULAT	81298	0.614568	2143.08	4	OUI	4	OUI	0	0	0	0	0	0
TARN	81	VIELMUR-SUR-AGOUT	81315	3.67166	1045.67	35	OUI	95	OUI	63	71	83	423	461	446
TARN	81	VITERBE	81323	13.7718	701.103	24	OUI	64	OUI	40	44	52	256	304	264
TARN-ET-GARONNE	82	ALBEFEUILLE-LAGARDE	82001	17.7706	2931.92	40	OUI	96	OUI	136	128	132	504	464	404
TARN-ET-GARONNE	82	ALBIAS	82002	2.65022	14529.91	52	OUI	196	OUI	60	132	136	1048	1152	1540
TARN-ET-GARONNE	82	AUCAMVILLE	82005	1.18659	4710.96	72	OUI	192	OUI	96	108	120	568	540	476
TARN-ET-GARONNE	82	AUVILLAR	82008	1.11533	2001.83	12	OUI	20	OUI	36	32	28	216	180	160
TARN-ET-GARONNE	82	LES BARTHES	82012	132.817	21458.25	84	OUI	88	OUI	676	560	492	824	684	600

NOM DEPT	N° DEPT	NOM COMMUNE	N° INSEE	TAUX DE COUVERTURE MIN (COEF1000)	TAUX COUVERTURE MAXI (COEF1000)	NB DE MAILLES AVEC Taux DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 500)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 500)	NB DE MAILLES AVEC Taux DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 2000)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 2000)	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 20%	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 38%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -20%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -38%
ARN-ET-GARONNE	82	BESSENS	82017	14.0688	2642.72	36	OUI	52	OUI	316	356	392	776	1384	1200
ARN-ET-GARONNE	82	BIOULE	82018	16.647	13307.24	80	OUI	204	OUI	92	116	140	888	872	844
ARN-ET-GARONNE	82	BOUDOU	82019	1.43396	278.275	8	OUI	20	OUI	144	120	104	888	740	644
ARN-ET-GARONNE	82	BOURRET	82023	16.9367	25759.64	28	OUI	28	OUI	176	148	124	176	148	124
ARN-ET-GARONNE	82	BRESSOLS	82025	18.5229	43625.19	200	OUI	284	OUI	2280	2344	2588	5984	4976	4676
ARN-ET-GARONNE	82	CAMPAS	82027	0.841146	27479.44	112	OUI	116	OUI	792	752	660	900	760	664
ARN-ET-GARONNE	82	CANALS	82028	5.10863	732.45	12	OUI	16	OUI	112	92	80	372	308	268
ARN-ET-GARONNE	82	CASTELFERRUS	82030	1.17004	47451.96	12	OUI	20	OUI	36	112	96	164	136	116
ARN-ET-GARONNE	82	CASTELMAYRAN	82031	5.33938	17788.91	44	OUI	84	OUI	104	96	80	384	408	388
ARN-ET-GARONNE	82	CASTELSARRASIN	82033	3.84478	38586.96	664	OUI	972	OUI	6880	7420	7760	19768	18280	15840
ARN-ET-GARONNE	82	CAUMONT	82035	1.89951	879.007	32	OUI	92	OUI	56	104	100	340	292	240
ARN-ET-GARONNE	82	CAUSSADE	82037	0.826101	6250	4	OUI	28	OUI	0	0	0	144	168	192
ARN-ET-GARONNE	82	CAYRAC	82039	15.0506	2660.41	16	OUI	64	OUI	20	16	40	352	372	336
ARN-ET-GARONNE	82	CORBARIEU	82044	2.43687	4945.45	12	OUI	52	OUI	16	12	24	308	380	416
ARN-ET-GARONNE	82	CORDES-TOLOSANNES	82045	12.2846	19137.47	40	OUI	72	OUI	68	76	76	212	216	188
ARN-ET-GARONNE	82	DIEUPENTALE	82048	3.4895	3307.33	12	OUI	24	OUI	68	56	52	572	476	784
ARN-ET-GARONNE	82	DONZAC	82049	28.7325	1680.92	40	OUI	64	OUI	344	376	332	1628	1352	1180
ARN-ET-GARONNE	82	ESCATALENS	82052	47.457	270476.19	164	OUI	172	OUI	684	668	592	1084	1256	1104
ARN-ET-GARONNE	82	ESPALAIS	82054	50.8322	7237.51	48	OUI	52	OUI	316	260	228	700	580	508
ARN-ET-GARONNE	82	FINHAN	82062	26.0335	186842.11	84	OUI	104	OUI	404	348	384	1348	1132	972
ARN-ET-GARONNE	82	GOLFECH	82072	61.7297	45843.42	96	OUI	120	OUI	608	592	512	1900	1584	1376
ARN-ET-GARONNE	82	GOUDOURVILLE	82073	1.65627	29676.07	36	OUI	60	OUI	184	248	216	432	404	396
ARN-ET-GARONNE	82	GRISOLLES	82075	3.6904	31892.2	112	OUI	136	OUI	812	680	588	2288	2260	2328
ARN-ET-GARONNE	82	LABASTIDE-SAINT-PIERRE	82079	15.0254	5491.64	192	OUI	260	OUI	1732	1636	1504	4612	3920	3412
ARN-ET-GARONNE	82	LABASTIDE-DU-TEMPLE	82080	59.0346	79440.56	100	OUI	120	OUI	800	824	812	1700	1396	1220
ARN-ET-GARONNE	82	LABOURGADE	82081	8.00775	603.908	12	OUI	12	OUI	20	12	12	20	12	12
ARN-ET-GARONNE	82	LACOURT-SAINT-PIERRE	82085	22.0409	28357.46	188	OUI	204	OUI	1308	1092	1128	1616	1352	1172
ARN-ET-GARONNE	82	LAFITTE	82086	4.85758	900.066	4	OUI	24	OUI	4	4	0	164	188	168
ARN-ET-GARONNE	82	LAFRANCAISE	82087	0	905.58	16	OUI	32	OUI	108	200	172	304	308	268
ARN-ET-GARONNE	82	LAMAGISTERE	82089	18.1661	146770.03	112	OUI	120	OUI	820	684	592	1320	1452	1264
ARN-ET-GARONNE	82	LAMOTHE-CAPDEVILLE	82090	1.26648	990.099	8	OUI	20	OUI	12	8	8	104	124	104
ARN-ET-GARONNE	82	LA VILLE-DIEU-DU-TEMPLE	82096	32.1907	26704.28	300	OUI	328	OUI	2312	2296	2080	3248	2724	2356
ARN-ET-GARONNE	82	LIZAC	82099	5.00425	160000	84	OUI	88	OUI	528	532	460	644	532	460
ARN-ET-GARONNE	82	MALAUSE	82101	3.20482	21572.35	32	OUI	48	OUI	140	120	112	528	432	428
ARN-ET-GARONNE	82	MAS-GRENIER	82105	2.73568	29430.05	52	OUI	100	OUI	108	120	96	280	248	248
ARN-ET-GARONNE	82	MEAUZAC	82108	50.348	122150.54	112	OUI	172	OUI	732	776	776	1984	1652	1432
ARN-ET-GARONNE	82	MERLES	82109	63.9699	3728.5	56	OUI	76	OUI	220	176	164	356	288	268
ARN-ET-GARONNE	82	MONTASTRUC	82120	6.08404	4978.04	8	OUI	20	OUI	4	16	8	92	124	104
ARN-ET-GARONNE	82	MONTAUBAN	82121	0.124294	700.959	60	OUI	248	OUI	572	736	916	3468	3796	3888
ARN-ET-GARONNE	82	MONTBARTIER	82123	1.15655	10860.42	52	OUI	76	OUI	428	456	572	1300	1088	944
ARN-ET-GARONNE	82	MONTBETON	82124	14.2892	42867.92	128	OUI	180	OUI	1200	1076	1308	3204	3516	3444
ARN-ET-GARONNE	82	MONTECH	82125	11.2717	55199.22	348	OUI	404	OUI	2624	2444	2108	5096	4592	4352
ARN-ET-GARONNE	82	MONTEILS	82126	6.00629	209.948	4	OUI	28	OUI	12	8	8	176	272	280
ARN-ET-GARONNE	82	MONTRICOUX	82132	2.55238	460.642	16	OUI	56	OUI	32	36	44	276	432	432
ARN-ET-GARONNE	82	NEGREPELISSE	82134	2.12556	4732.08	100	OUI	348	OUI	144	204	220	1904	2032	2024
ARN-ET-GARONNE	82	NOHC	82135	10.6409	6464.09	88	OUI	128	OUI	672	656	576	1020	880	872
ARN-ET-GARONNE	82	ORGUEIL	82136	65.3795	61538.46	148	OUI	168	OUI	1012	952	824	1832	1540	1336
ARN-ET-GARONNE	82	LE PIN	82139	3.38212	630.798	16	OUI	36	OUI	20	16	16	104	92	76
ARN-ET-GARONNE	82	POMMEVIC	82141	7.78469	2609.33	52	OUI	72	OUI	312	260	304	776	648	600
ARN-ET-GARONNE	82	POMPIGNAN	82142	0.710781	6775.62	24	OUI	28	OUI	268	224	192	420	348	1064
ARN-ET-GARONNE	82	REALVILLE	82149	1.69997	319.94	8	OUI	60	OUI	16	28	32	296	336	380
ARN-ET-GARONNE	82	REYNIES	82150	7.35135	763.482	12	OUI	64	OUI	36	44	48	384	360	400
ARN-ET-GARONNE	82	SAINT-AIGNAN	82152	19.8677	3341.57	24	OUI	36	OUI	56	44	40	448	368	320
ARN-ET-GARONNE	82	SAINT-CLAIR	82160	1.02339	811.65	4	OUI	8	OUI	4	4	16	20	16	16
ARN-ET-GARONNE	82	SAINT-ETIENNE-DE-TULMON	82161	5.74222	310.63	4	OUI	88	OUI	8	16	24	652	788	732
ARN-ET-GARONNE	82	SAINT-LOUP	82165	1.99726	6507.79	72	OUI	88	OUI	284	240	216	376	316	276

NOM DEPT	N° DEPT	NOM COMMUNE	N° INSEE	TAUX DE COUVERTURE MIN (COEF1000)	TAUX COUVERTURE MAXI (COEF1000)	NB DE MAILLES AVEC Taux DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 500)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 500)	NB DE MAILLES AVEC Taux DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 2000)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 2000)	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 20%	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 38%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -20%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -38%
ARN-ET-GARONNE	82	SAINT-MICHEL	82166	7.20093	7173	28	OUI	56	OUI	96	80	84	220	176	148
ARN-ET-GARONNE	82	SANT-NICOLAS-DE-LA-GRANDE	82169	2.3986	45222.93	248	OUI	312	OUI	876	740	848	1436	1244	1124
ARN-ET-GARONNE	82	SAINT-PORQUIER	82171	53.6182	182051.28	148	OUI	164	OUI	848	788	688	1832	1516	1324
ARN-ET-GARONNE	82	SAVENES	82178	3.85528	2091.25	56	OUI	144	OUI	36	56	48	196	188	184
ARN-ET-GARONNE	82	VAISSAC	82184	4.36128	256.613	4	OUI	4	OUI	8	8	8	8	8	8
ARN-ET-GARONNE	82	VALENCE	82186	0.568317	10477.66	92	OUI	112	OUI	1116	904	900	1648	1384	1224
ARN-ET-GARONNE	82	VERDUN-SUR-GARONNE	82190	1.79615	183818.77	192	OUI	316	OUI	768	852	840	1712	2092	2000
ARN-ET-GARONNE	82	VILLEMADE	82195	10.9278	606.061	32	OUI	76	OUI	72	80	72	360	428	372
ARIEGE	9	BENAGUES	9050	8.26514	183.456	0	NON	16	OUI	0	0	0	280	224	200
ARIEGE	9	CRAMPAGNA	9103	7.33464	123.981	0	NON	8	OUI	0	0	0	56	88	76
ARIEGE	9	LOUBIERES	9174	12.7491	140.795	0	NON	8	OUI	0	0	0	56	84	76
ARIEGE	9	MANSES	9180	5.96824	60.1456	0	NON	4	OUI	0	0	0	40	32	28
ARIEGE	9	MAUVEZIN-DE-PRAT	9183	16.5755	75.1414	0	NON	4	OUI	0	0	0	32	24	24
ARIEGE	9	SAINTE-FELIX-DE-TOURNEGAUD	9259	23.1859	139.239	0	NON	12	OUI	0	0	0	60	52	44
ARIEGE	9	SAINT-JEAN-DE-VERGES	9264	0.981841	129.715	0	NON	4	OUI	0	0	0	44	164	144
ARIEGE	9	TAURIGNAN-VIEUX	9308	6.82238	168.167	0	NON	8	OUI	0	12	12	44	40	36
HAUTE-GARONNE	31	AYGUESVIVES	31004	0.93377	52.3443	0	NON	5	OUI	0	0	0	55	45	40
HAUTE-GARONNE	31	AUCAMVILLE	31022	1.6269	129.652	0	NON	16	OUI	0	0	0	952	792	688
HAUTE-GARONNE	31	AURIN	31029	12.9496	88.491	0	NON	4	OUI	0	0	0	28	24	20
HAUTE-GARONNE	31	BAZIEGE	31048	0.58271	190.056	0	NON	12	OUI	0	12	8	52	84	72
HAUTE-GARONNE	31	BAZUS	31049	1.68183	81.3446	0	NON	4	OUI	0	0	0	28	24	20
HAUTE-GARONNE	31	BELBERAUD	31057	0.707786	98.4851	0	NON	4	OUI	0	0	0	24	20	16
HAUTE-GARONNE	31	BOISSEDE	31072	27.1472	60.1323	0	NON	4	OUI	0	0	0	40	32	28
HAUTE-GARONNE	31	GRAGNAGUE	31228	3.00457	184.472	0	NON	28	OUI	0	24	28	184	156	140
HAUTE-GARONNE	31	L'ISLE-EN-DODON	31239	0.72701	83.8031	0	NON	8	OUI	0	0	0	36	76	64
HAUTE-GARONNE	31	LAGRACE-DIEU	31264	11.8787	167.142	0	NON	8	OUI	0	28	52	72	60	52
HAUTE-GARONNE	31	LANTA	31271	0.86895	111.186	0	NON	8	OUI	0	0	0	60	48	44
HAUTE-GARONNE	31	LAPEYROUSE-FOSSAT	31273	0.906152	123.911	0	NON	4	OUI	0	0	0	20	16	56
HAUTE-GARONNE	31	LASSERRE	31277	0.56021	96.5237	0	NON	4	OUI	0	0	0	24	20	16
HAUTE-GARONNE	31	LAUZERVILLE	31284	0.901102	58.4554	0	NON	4	OUI	0	0	0	40	32	28
HAUTE-GARONNE	31	MIRAMBEAU	31343	5.28788	114.929	0	NON	12	OUI	0	0	0	68	56	48
HAUTE-GARONNE	31	MONTESQUIEU-LAURAGAIS	31374	8.43858	158.801	0	NON	24	OUI	0	0	12	192	204	216
HAUTE-GARONNE	31	MONTSAUNES	31391	4.91768	84.9092	0	NON	4	OUI	0	0	0	232	192	168
HAUTE-GARONNE	31	PECHABOU	31409	2.69703	66.0836	0	NON	4	OUI	0	0	0	36	28	24
HAUTE-GARONNE	31	POMPERTUZAT	31429	0.34216	107.075	0	NON	8	OUI	0	0	0	52	88	76
HAUTE-GARONNE	31	RIEUMES	31454	0.541546	113.954	0	NON	4	OUI	0	0	0	4	4	4
HAUTE-GARONNE	31	ROQUESERIERE	31459	42.3765	99.0474	0	NON	8	OUI	0	0	0	548	840	736
HAUTE-GARONNE	31	SAINT-BEAT	31471	1.78859	50.0007	0	NON	4	OUI	0	0	0	48	40	32
HAUTE-GARONNE	31	SAINTE-LIVRADE	31496	3.97006	101.171	0	NON	8	OUI	0	0	0	48	40	36
HAUTE-GARONNE	31	SAINT-MARCEL-PAULEL	31501	3.27942	123.675	0	NON	16	OUI	0	0	0	140	240	212
HAUTE-GARONNE	31	SALVETAT-SAINT-GILLE	31526	0.388991	53.9139	0	NON	4	OUI	0	0	0	44	36	32
HAUTE-GARONNE	31	TOUILLE	31554	5.08675	53.1487	0	NON	4	OUI	0	0	0	44	36	32
HAUTE-GARONNE	31	TOURNEFEUILLE	31557	0.335295	69.8432	0	NON	12	OUI	0	0	0	104	180	164
HAUTE-GARONNE	31	VERFEIL	31573	1.03452	72.392	0	NON	4	OUI	0	0	0	32	28	24
HAUTE-GARONNE	31	VIEILLEVIGNE	31576	1.6951	109.242	0	NON	8	OUI	0	0	0	64	92	139
HAUTE-GARONNE	31	VILLATE	31580	8.03075	68.9413	0	NON	4	OUI	0	0	0	84	72	60
HERAULT	34	ARBLADE-LE-BAS	32004	34.7156	174.103	0	NON	8	OUI	0	28	24	128	108	208
HERAULT	34	CANNET	32074	5.06796	84.9749	0	NON	8	OUI	0	0	0	84	72	64
HERAULT	34	HAGET	32152	37.5934	131.144	0	NON	4	OUI	0	0	0	148	124	484
HERAULT	34	LELIN-LAPUJOLLE	32209	38.5491	156.787	0	NON	12	OUI	0	0	56	120	328	396
HERAULT	34	MARESTAING	32234	8.7881	52.7242	0	NON	4	OUI	0	0	0	44	36	32
HERAULT	34	NOILHAN	32297	7.84809	65.0176	0	NON	4	OUI	0	0	0	36	28	28
HERAULT	34	POMPIAC	32322	2.5072	67.5904	0	NON	4	OUI	0	0	0	36	28	24
HERAULT	34	SAINT-MONT	32398	0.970565	52.9146	0	NON	8	OUI	0	0	0	228	188	164
HERAULT	34	TOURNAN	32451	3.98311	105.818	0	NON	8	OUI	0	0	0	60	92	80
HERAULT	46	PRAYSSAC	46225	0	192.976	0	NON	36	OUI	0	64	84	452	580	544

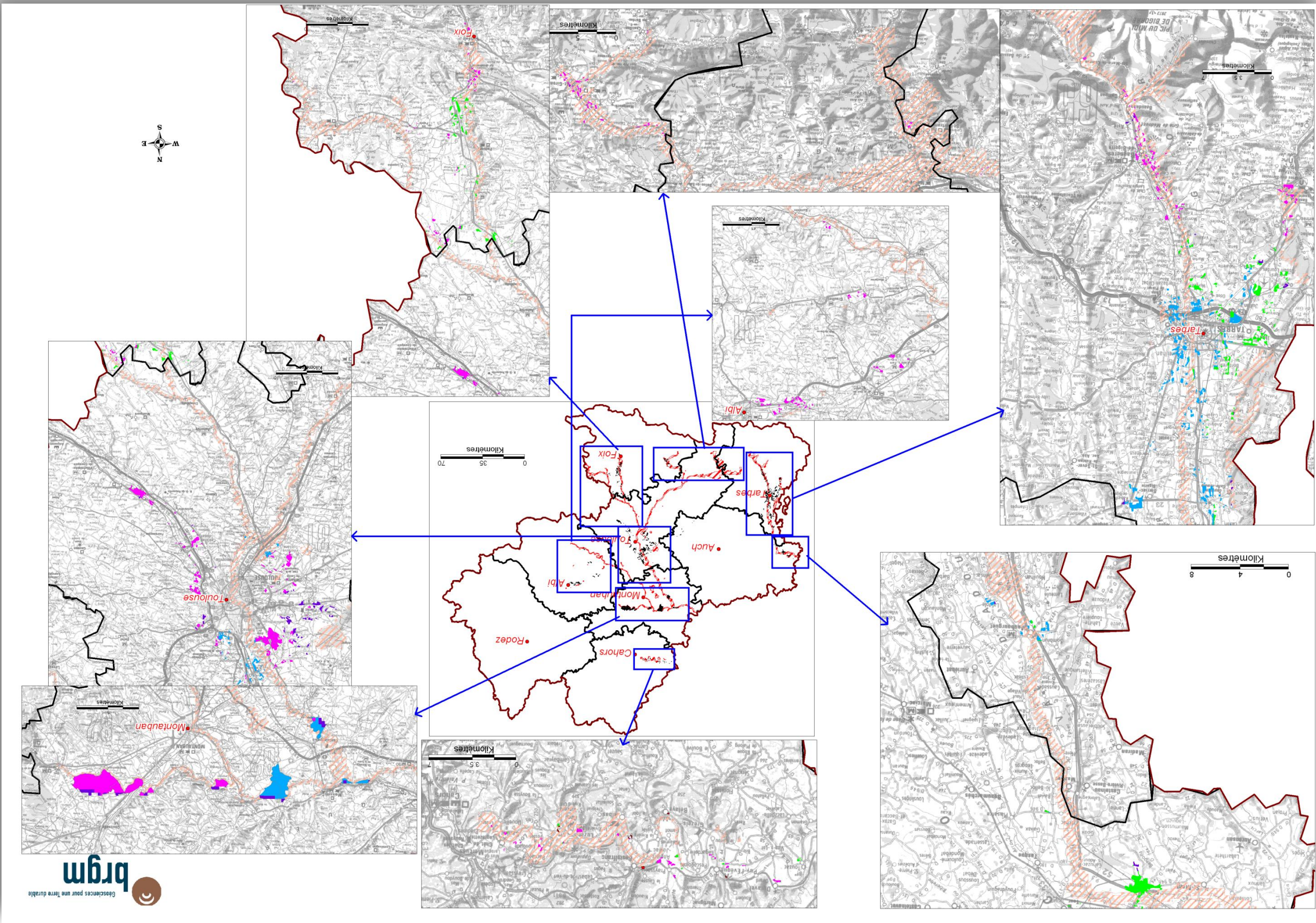
NOM DEPT	N° DEPT	NOM COMMUNE	N° INSEE	TAUX DE COUVERTURE MIN (COEF1000)	TAUX COUVERTURE MAXI (COEF1000)	NB DE MAILLES AVEC Taux DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 500)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffe 500)	NB DE MAILLES AVEC Taux DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 2000)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffe 2000)	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 20%	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 38%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -20%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -38%
HAUTES-PYRENEES	65	ANCIZAN	65006	2.97091	110.314	0	NON	5	OUI	0	0	0	25	20	20
HAUTES-PYRENEES	65	BAGNERES-DE-BIGORRE	65059	0.277791	156.089	0	NON	29	OUI	0	0	24	157	171	155
HAUTES-PYRENEES	65	GAUDENT	65186	35.524	152.302	0	NON	9	OUI	0	0	12	41	32	32
HAUTES-PYRENEES	65	GEMBRIE	65193	30.447	162.353	0	NON	12	OUI	0	0	12	56	48	44
HAUTES-PYRENEES	65	LESCURRY	65269	64.3898	64.3898	0	NON	4	OUI	0	0	0	304	252	220
HAUTES-PYRENEES	65	LOURES-BAROUSSE	65287	2.10093	137.911	0	NON	16	OUI	0	0	0	100	88	76
HAUTES-PYRENEES	65	POUZAC	65370	2.67489	142.057	0	NON	8	OUI	0	0	0	52	40	36
TARN	81	BANNIERES	81022	3.22807	180.343	0	NON	12	OUI	0	12	8	68	56	92
TARN	81	BUSQUE	81043	2.36463	76.0099	0	NON	8	OUI	0	0	0	76	64	56
TARN	81	FLORENTIN	81093	10.1052	67.0354	0	NON	8	OUI	0	0	0	72	60	96
TARN	81	PARISOT	81202	2.46871	165.181	0	NON	8	OUI	0	0	24	32	68	64
TARN	81	SERVIES	81286	7.84754	166.202	0	NON	24	OUI	0	0	12	176	244	212
TARN	81	VILLENEUVE-LES-LAVAU	81318	6.51817	184.717	0	NON	24	OUI	0	24	20	152	128	112
TARN-ET-GARONNE	82	BEAUPUY	82014	1.98608	72.9685	0	NON	4	OUI	0	0	0	4	4	4
TARN-ET-GARONNE	82	GARGANVILLAR	82063	43.237	90.4636	0	NON	8	OUI	0	0	0	572	856	744
TARN-ET-GARONNE	82	LARRAZET	82093	0.456855	55.1626	0	NON	4	OUI	0	0	0	44	80	68
TARN-ET-GARONNE	82	PIQUECOS	82140	3.73704	118.008	0	NON	12	OUI	0	0	0	88	120	108
TARN-ET-GARONNE	82	SAINT-CIRICE	82158	5.26097	57.2285	0	NON	4	OUI	0	0	0	40	76	72
TARN-ET-GARONNE	82	VILLEBRUMIER	82194	2.30147	186.041	0	NON	8	OUI	0	12	20	28	24	20
ARIEGE	9	CAZALS-DES-BAYLES	9089	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
ARIEGE	9	CESCAU	9095	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
ARIEGE	9	COUSSA	9101	3.39935	14.0514	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
ARIEGE	9	ENCOURTIECH	9110	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
ARIEGE	9	ENGOMER	9111	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
ARIEGE	9	EYCHEIL	9119	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
ARIEGE	9	FERRIERES-SUR-ARIEGE	9121	1.17724	1.17724	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
ARIEGE	9	FOIX	9122	0.152884	42.4947	0	NON	0	NON	0	0	0	0	44	40
ARIEGE	9	GAJAN	9128	10.2022	46.077	0	NON	0	NON	0	0	0	0	44	80
ARIEGE	9	L'HERM	9138	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
ARIEGE	9	LAPENNE	9153	11.8135	31.2354	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
ARIEGE	9	LUDIES	9175	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
ARIEGE	9	MONTGAILLARD	9207	0.590509	0.590509	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
ARIEGE	9	SAINT-GIRONS	9261	0.363777	14.3467	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
ARIEGE	9	TAURIGNAN-CASTET	9307	22.9285	44.4811	0	NON	0	NON	0	0	0	0	44	40
ARIEGE	9	VIVIES	9341	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	AIGREFEUILLE	31003	1.21039	17.8449	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	AUZEVILLE-TOLOSANE	31035	0.940781	45.0749	0	NON	0	NON	0	0	0	0	88	76
HAUTE-GARONNE	31	BALMA	31044	0.0850118	49.47	0	NON	0	NON	0	0	0	0	40	124
HAUTE-GARONNE	31	BEAUMONT-SUR-LEZE	31052	2.75991	37.164	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	44
HAUTE-GARONNE	31	BONREPOS-RIQUET	31074	15.2679	20.5243	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	BOULOC	31079	0.361488	0.361488	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	BRAX	31088	0.37814	25.0895	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	CALMONT	31100	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	CAMBERNARD	31101	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	CAPENS	31104	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	CARBONNE	31107	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	CASSAGNE	31110	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	CASTAGNEDE	31112	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	CASTANET-TOLOSAN	31113	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	CASTELGINEST	31116	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	CASTELMAUROU	31117	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	STELNAU-D'ESTRETEFON	31118	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	LE CASTERA	31120	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	STILLON-DE-SAINT-MARTIN	31124	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	CAUJAC	31128	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	CAZERES	31135	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0

NOM DEPT	N° DEPT	NOM COMMUNE	N° INSEE	TAUX DE COUVERTURE MIN (COEF1000)	TAUX COUVERTURE MAXI (COEF1000)	NB DE MAILLES AVEC Taux DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 500)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 500)	NB DE MAILLES AVEC Taux DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 2000)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 2000)	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 20%	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 38%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -20%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -38%
HAUTE-GARONNE	31	CEPET	31136	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	CHAUM	31139	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	CIER-DE-RIVIERE	31143	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	CIERP-GAUD	31144	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	CINTEGABELLE	31145	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	CLARAC	31147	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	CLERMONT-LE-FORT	31148	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	COLOMIERS	31149	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	CORNEBARRIEU	31150	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	COULADERE	31153	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	CUGNAUX	31157	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	DAUX	31160	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	DEYME	31161	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	DONNEVILLE	31162	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	EAUNES	31165	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	ESCALQUENS	31169	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	ESTANCARBON	31175	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	ESTENOS	31176	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	EUP	31177	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	LE FAGET	31179	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	LE FAUGA	31181	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	FENOUILLET	31182	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	FONBEAUZARD	31186	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	FONSORBES	31187	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	FONTENILLES	31188	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	LE FOUSSERET	31193	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	FRANCARVILLE	31194	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	FRONSAC	31199	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	GAILLAC-TOULZA	31206	4.24081	22.4374	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	GARGAS	31211	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	GARIDECH	31212	0.170386	0.530544	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	GAURE	31215	0.452308	0.452308	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	GRATENTOUR	31230	0.243403	35.7891	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	LABRUYERE-DORSA	31256	9.94533	30.3726	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	A MAGDELEINE-SUR-TART	31311	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	MARIGNAC-LASPEYRES	31318	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	MOLAS	31347	13.023	16.3199	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	MONTAUT	31361	25.3325	25.3325	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	MONTBERON	31364	1.01551	23.523	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	MONTGAILLARD-DE-SALIES	31376	20.6914	49.2768	0	NON	0	NON	0	0	0	0	84	76
HAUTE-GARONNE	31	MONTGAILLARD-LAURAGAIS	31377	6.44984	12.0778	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	MONTRABE	31389	0.0783651	0.179615	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	NOUEILLES	31401	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	PECHBONNIEU	31410	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	RAMONVILLE-SAINT-AGNE	31446	0.143298	17.2782	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	SAIGUEDE	31466	1.66274	25.1751	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	SAINT-JEAN-LHERM	31489	0.639268	0.639268	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	SAINT-PIERRE	31511	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	SALEICH	31521	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	SALIES-DU-SALAT	31523	0.838686	35.8727	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	SANA	31530	11.7118	31.6522	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	SAUSSENS	31534	4.16792	4.16792	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	SAVERES	31538	6.0778	6.0778	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	SIGNAC	31548	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	TARABEL	31551	4.36401	4.36401	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTE-GARONNE	31	THIL	31553	0.848593	26.4379	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0

NOM DEPT	N° DEPT	NOM COMMUNE	N° INSEE	TAUX DE COUVERTURE MIN (COEF1000)	TAUX COUVERTURE MAXI (COEF1000)	NB DE MAILLES AVEC TAUX DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 500)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffe 500)	NB DE MAILLES AVEC TAUX DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 2000)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffe 2000)	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 20%	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 38%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -20%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -38%
HAUTE-GARONNE	31	L'UNION	31561	0.123092	13.1176	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
GERS	32	AURADE	32016	4.01156	10.039	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
GERS	32	CASTILLON-SAVES	32090	13.8953	33.0834	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
GERS	32	ENDOUIELLE	32121	6.05912	48.5867	0	NON	0	NON	0	0	0	0	40	36
GERS	32	LIAS	32210	0.614902	0.614902	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
GERS	32	MONTADET	32276	15.927	15.927	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
GERS	32	NIZAS	32295	10.9753	25.8573	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
GERS	32	POUYDRAGUIN	32325	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
GERS	32	PUJAUDRAN	32334	1.64657	37.7358	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	8
GERS	32	PUYLAUSIC	32336	5.4262	20.8743	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
GERS	32	SAUVIMONT	32420	22.8901	22.8901	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
GERS	32	VERGOIGNAN	32460	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
LOT	46	BELAYE	46022	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
LOT	46	CASTELFRANC	46062	0	14.2231	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
LOT	46	CRAYSSAC	46080	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
LOT	46	LACAPELLE-CABANAC	46142	6.49112	6.49112	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
LOT	46	MAUROUT	46187	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
LOT	46	PRADINES	46224	0	17.7787	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
LOT	46	SAINT-VINCENT-RIVE-D'OL	46296	0	29.6457	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	LA BARTHE-DE-NESTE	65069	1.51737	24.7069	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	BARTRES	65070	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	BOULIN	65104	1.13005	14.1605	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	BOURREAC	65107	14.3282	14.3282	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	BRAMEVAQUE	65109	32.8987	32.8987	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	CAIXON	65119	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	CRECHETS	65154	24.1143	24.1143	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	ESCALA	65159	4.27249	13.4477	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	GERDE	65198	2.41956	21.9979	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	HAUTAGET	65217	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	LAYRISSE	65268	0	16.145	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	LEZIGNAN	65271	2.96022	2.96022	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	LOUIT	65285	22.743	22.743	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	LOURDES	65286	0.213485	25.0191	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	MADIRAN	65296	3.06791	3.06791	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	SAINTE-MARIE	65391	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	SARROUILLES	65410	0.383374	0.383374	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	SOUYEAUX	65436	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	TARASTEIX	65439	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	THEBE	65441	11.7135	11.7135	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	TUZAGUET	65455	3.54162	31.4112	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
HAUTES-PYRENEES	65	VISKER	65479	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	AMBRES	81011	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	ARTHES	81018	1.18203	1.82975	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	CADALEN	81046	1.62129	1.90224	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	CAMBON	81052	1.08419	2.4385	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	CARLUS	81059	2.3718	3.38396	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	CUNAC	81074	1.12849	9.01624	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	GIROUSSENS	81104	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	GRAULHET	81105	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	GUITALENS	81107	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	LABASTIDE-DE-LEVIS	81112	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	LABASTIDE-SAINT-GEORGE	81116	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	LABESSIERE-CANDEIL	81117	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	LABOUTARIE	81119	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	LAGRAVE	81131	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	LALBAREDE	81132	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0

NOM DEPT	N° DEPT	NOM COMMUNE	N° INSEE	TAUX DE COUVERTURE MIN (COEF1000)	TAUX COUVERTURE MAXI (COEF1000)	NB DE MAILLES AVEC TAUX DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 500)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 500)	NB DE MAILLES AVEC TAUX DE COUVERTURE > 100 % (Coef. 2000)	Mailles à intérêt (Coef. Chauffage 2000)	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 20%	POTENTIEL AVEC COEF 500 ET CONSO 38%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO ACUTELLES	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -20%	POTENTIEL AVEC COEF 2000 ET CONSO -38%
TARN	81	LAVOUR	81140	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	LESCURE-D'ALBIGEOIS	81144	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	LISLE-SUR-TARN	81145	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	LOUPIAC	81149	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	LUGAN	81150	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	MARSSAC-SUR-TARN	81156	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	MARZENS	81157	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	MASSAC-SERAN	81159	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	MAURENS-SCOPONT	81162	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	MEZENS	81164	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	MONTANS	81171	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	MONTCABRIER	81173	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	MONTDRAGON	81174	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	PEYROLE	81208	0.439515	0.439515	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	PUYLAURENS	81219	0.507108	0.726763	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	ROUFFIAC	81232	2.85976	27.4344	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	SAINT-GENEST-DE-CONTES	81250	4.63987	29.6801	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	SAINT-JUERY	81257	0.724106	22.9479	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	SEMALENS	81281	0.652968	0.652968	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN	81	LE SEQUESTRE	81284	1.69434	40.2196	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	44
TARN	81	TEYSSODE	81299	11.8378	27.2757	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN-ET-GARONNE	82	ANGEVILLE	82003	5.96397	5.96397	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN-ET-GARONNE	82	ASQUES	82004	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN-ET-GARONNE	82	BARRY-D'ISLEMADE	82011	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN-ET-GARONNE	82	BOUILLAC	82020	1.35076	36.211	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN-ET-GARONNE	82	BRUNIQUEL	82026	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN-ET-GARONNE	82	DUNES	82050	1.1838	1.1838	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN-ET-GARONNE	82	FABAS	82057	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN-ET-GARONNE	82	GASQUES	82065	0	38.8086	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	44
TARN-ET-GARONNE	82	L'HONOR-DE-COS	82076	1.07179	6.63804	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN-ET-GARONNE	82	LEOJAC	82098	1.49828	1.49828	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN-ET-GARONNE	82	MIRABEL	82110	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN-ET-GARONNE	82	MOISSAC	82112	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN-ET-GARONNE	82	MONBEQUI	82114	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN-ET-GARONNE	82	MONTAIN	82118	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN-ET-GARONNE	82	PUYGAILLARD-DE-QUERCY	82145	0	0	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN-ET-GARONNE	82	SAINT-ARROUMEX	82156	14.7273	18.9696	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN-ET-GARONNE	82	SAINT-CIRQ	82159	1.78064	16.1141	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN-ET-GARONNE	82	SAINT-VINCENT	82174	1.09443	1.87598	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0
TARN-ET-GARONNE	82	SAINT-VINCENT-LESPINASS	82175	5.68478	29.6054	0	NON	0	NON	0	0	0	0	0	0

Annexe 7 – Carte du potentiel de développement de la géothermie sur aquifères alluviaux pour les bâtiments neufs

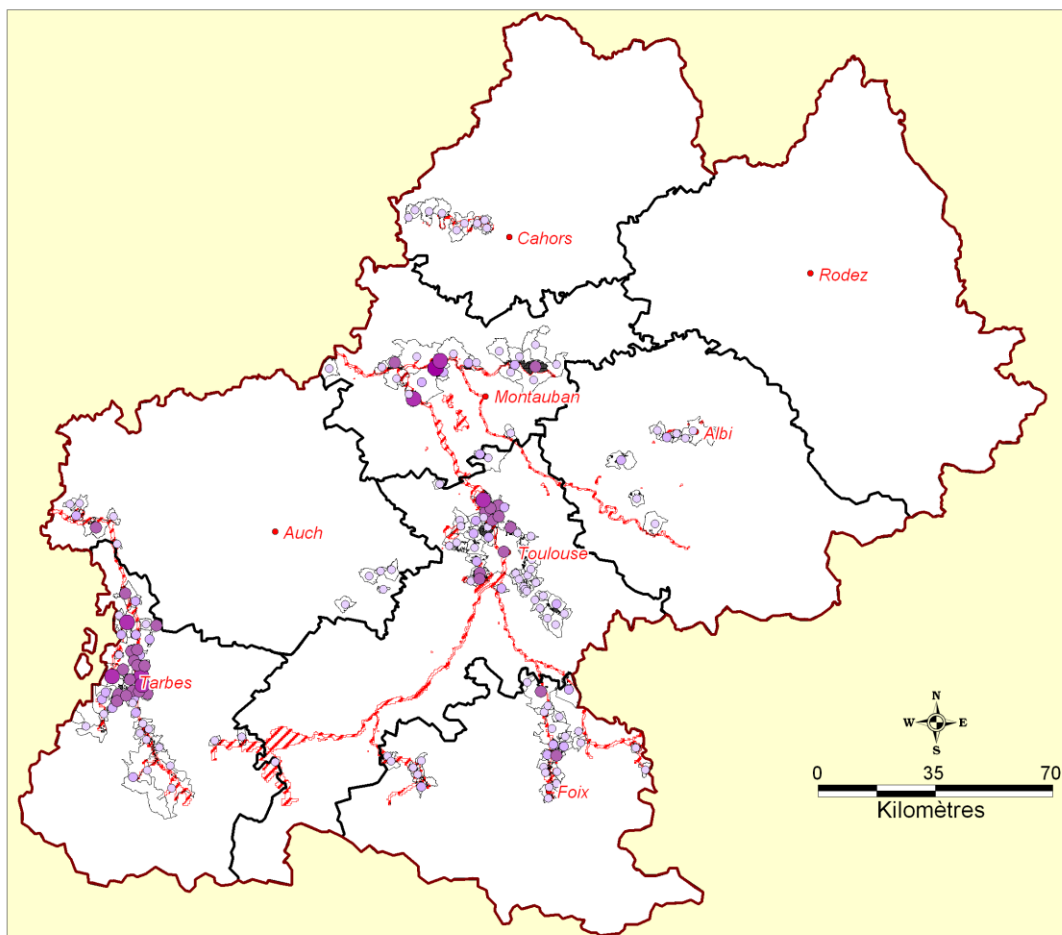


LEGENDE DE LA CARTE CI-DESSUS

LEGENDE :	
	Q ≤ 2 m³/h / Possibilité de chauffer 390 m² de logements collectifs (4 bâti.)
	2 < Q < 10 m³/h / Possibilité de chauffer 390 m² de logements collectifs (4 bâti.) OU 1500 m² de Maisons de retraite OU 2000 m² d'hôtels OU 2000 m² d'hôpitaux
	2 < Q < 10 m³/h / Possibilité de chauffer 390 m² de logements collectifs (4 bâti.) OU 1500 m² de Maisons de retraite OU 2000 m² d'hôtels OU 2000 m² d'hôpitaux OU 2400 m² de bureaux
	2 < Q < 10 m³/h / Possibilité de chauffer 390 m² de logements collectifs (4 bâti.) OU 1500 m² de Maisons de retraite OU 2000 m² d'hôtels OU 2000 m² d'hôpitaux OU 2400 m² de bureaux OU 15 000 m² de locaux d'enseignement
	Zones avec réglementation

Annexe 8 – Cartes des surfaces de chauffage possibles par la géothermie sur nappes alluviales sur les différentes typologies de bâtiments neufs construits d'ici 2020

**POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE SUR NAPPES ALLUVIALES
POUR LES LOGEMENTS NEUFS CONSTRUITS D'ICI 2020
RESULTATS EXPRIMES EN SURFACE (m²) CUMULES A L'ECHELLE DES COMMUNES**



**SURFACES DE CHAUFFAGE POSSIBLES
Pour les LOGEMENTS en m²**

● 2 000 000 - 3 000 000	(1)
● 1 000 000 - 2 000 000	(7)
● 300 000 - 1 000 000	(29)
● 100 000 - 300 000	(31)
● 1 - 100 000	(105)



Secteurs avec contraintes réglementaires

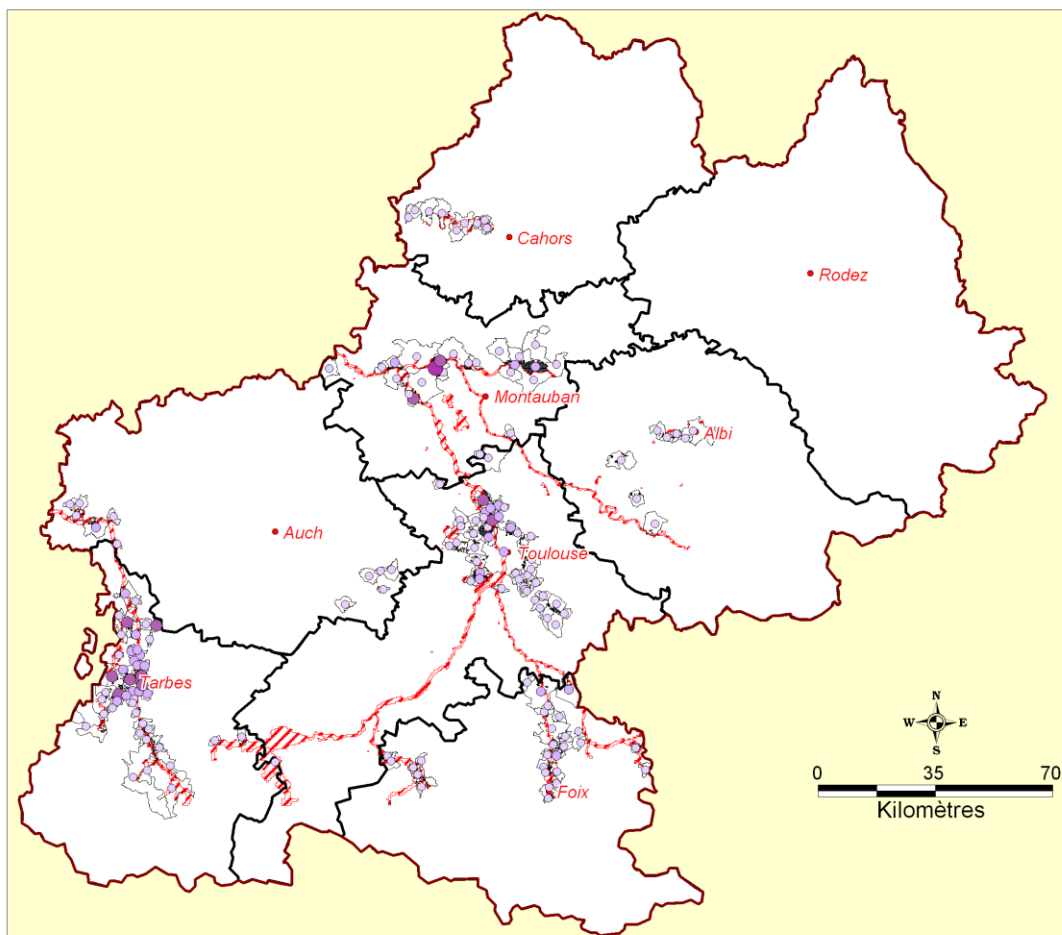


Limite de Région



Limites de départements

**POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE SUR NAPPES ALLUVIALES
POUR LES BUREAUX NEUFS CONSTRUITS D'ICI 2020
RESULTATS EXPRIMES EN SURFACE (m²) CUMULES A L'ECHELLE DES COMMUNES**



**SURFACES DE CHAUFFAGE POSSIBLES
Pour les BUREAUX en m²**

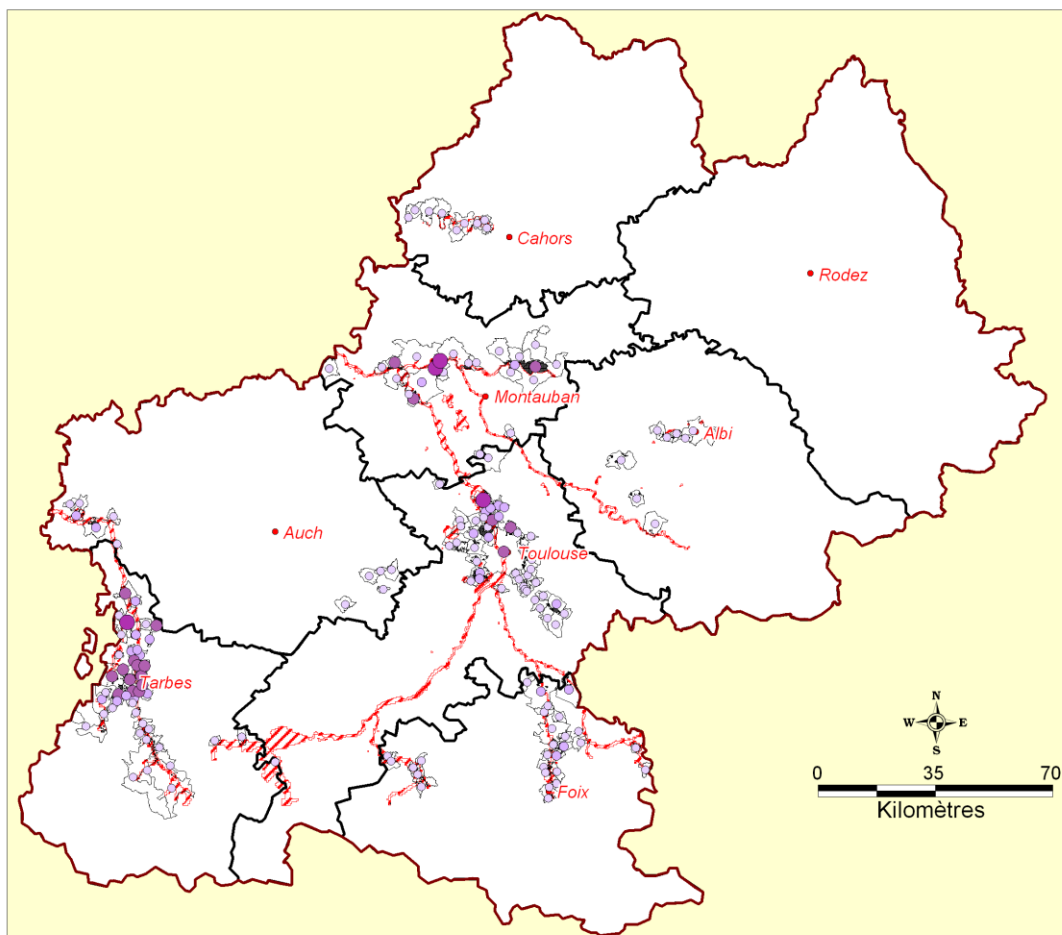
- 1 000 000 - 2 000 000 (1)
- 300 000 - 1 000 000 (11)
- 100 000 - 300 000 (30)
- 1 - 100 000 (131)

Secteurs avec contraintes réglementaires

Limite de Région

Limites de départements

**POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE SUR NAPPES ALLUVIALES
POUR LES EHPAD NEUFS CONSTRITS D'ICI 2020
RESULTATS EXPRIMES EN SURFACE (m²) CUMULES A L'ECHELLE DES COMMUNES**



**SURFACES DE CHAUFFAGE POSSIBLES
Pour les EHPAD en m²**

- 1 000 000 - 2 000 000 (4)
- 300 000 - 1 000 000 (19)
- 100 000 - 300 000 (29)
- 1 - 100 000 (121)



Secteurs avec contraintes réglementaires

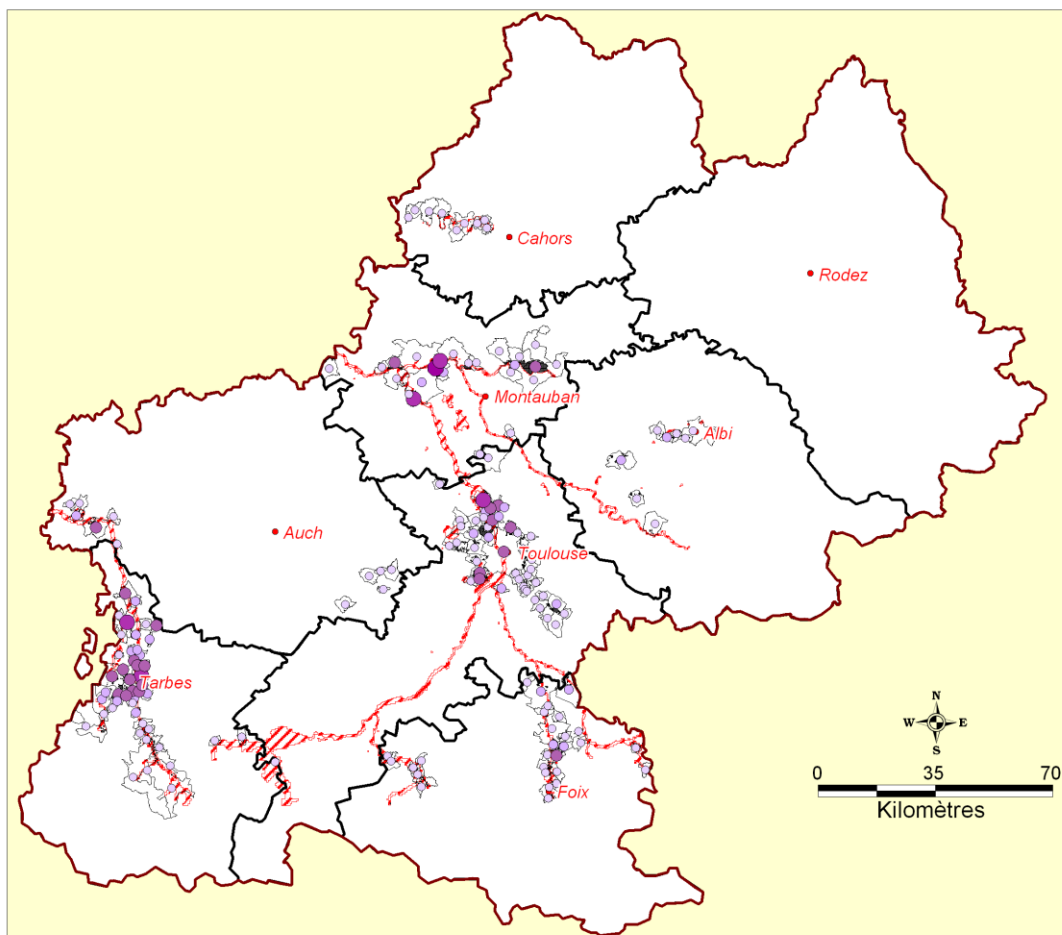


Limite de Région



Limites de départements

**POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE SUR NAPPES ALLUVIALES
POUR LES ETABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT NEUFS CONSTRUITS D'ICI 2020
RESULTATS EXPRIMES EN SURFACE (m²) CUMULES A L'ECHELLE DES COMMUNES**



SURFACES DE CHAUFFAGE POSSIBLES

Pour les établissements d'ENSEIGNEMENTS en m²

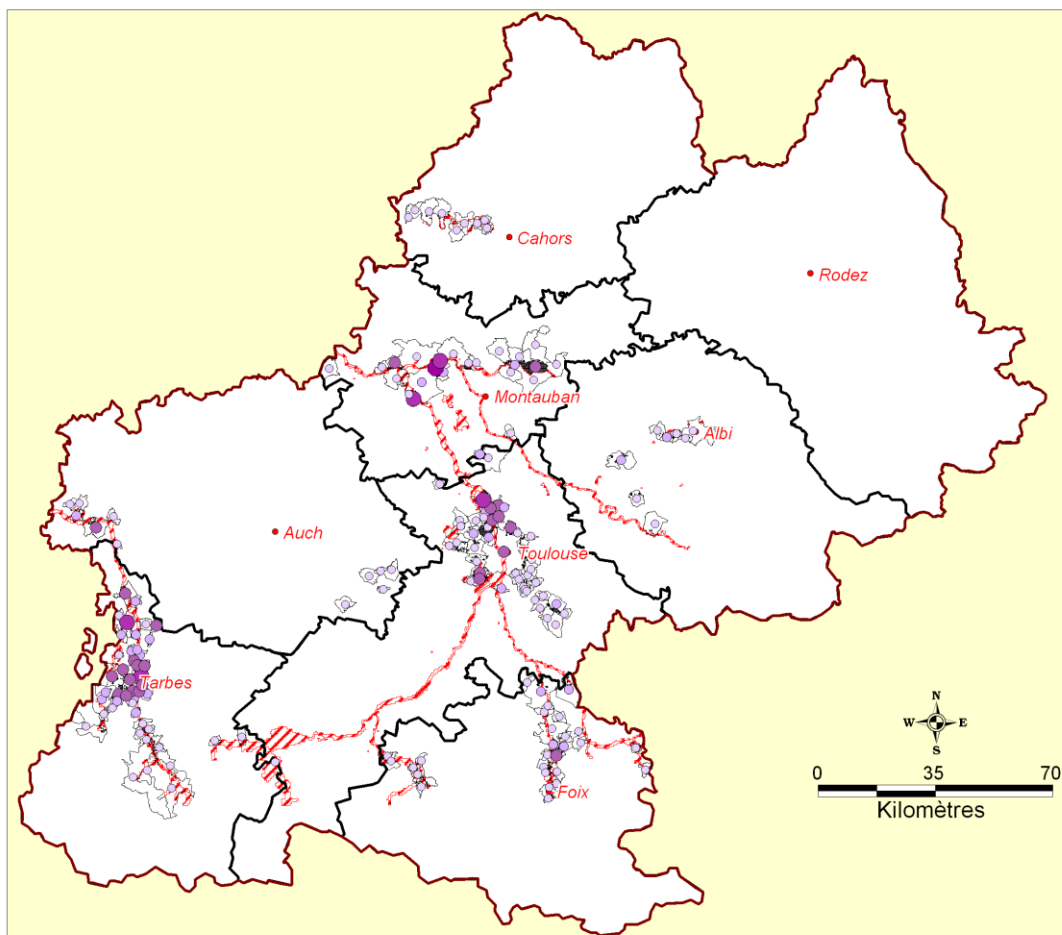
- 2 000 000 - 3 000 000 (1)
- 1 000 000 - 2 000 000 (5)
- 300 000 - 1 000 000 (24)
- 100 000 - 300 000 (29)
- 1 - 100 000 (114)

 Secteurs avec contraintes réglementaires

 Limite de Région

 Limites de départements

**POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE SUR NAPPES ALLUVIALES
POUR LES HOTELS NEUFS CONSTRUITS D'ICI 2020
RESULTATS EXPRIMES EN SURFACE (m²) CUMULES A L'ECHELLE DES COMMUNES**



**SURFACES DE CHAUFFAGE POSSIBLES
Pour les HOTELS neufs en m²**

- 2 000 000 - 3 000 000 (1)
- 1 000 000 - 2 000 000 (5)
- 300 000 - 1 000 000 (25)
- 100 000 - 300 000 (30)
- 1 - 100 000 (112)

 Secteurs avec contraintes réglementaires

 Limite de Région

 Limites de départements

Annexe 9 – Potentiel théoriques de la géothermie sur eau des aquifères alluviaux, présenté par communes, pour les constructions neuves et par typologies (prenant en compte les usages)

Annexe 10 – Potentiel sur SIM pour les constructions neuves

Calcul du potentiel en tep par commune à partir des mailles du modèle

NOM_COMMUNE	POTENTIEL_SIM_NEUF_TEP
AIGNAN	0
AIGREFEUILLE	0
ANDREST	0
ANGOS	0
ANSAN	0
ARBLADE-LE-BAS	0
ARCIZAC-ADOUR	0
ARDIZAS	0
AUBIET	0
AUGNAX	1891.56
AURADE	0
AUREILHAN	10833.48
AURENSAN	0
AUTERIVE	4642.92
AZEREIX	0
BALMA	0
BARBAZAN-DEBAT	0
BARCELONNE-DU-GERS	0
BARRAN	4642.92
BAZET	0
BEAUZELLE	7738.2
BEDECHAN	0
BERDOUES-PONSAMPERE	0
BETCAVE-AGUIN	0
BETPLAN	0
BEZAC	0
BEZERIL	0
BIRAN	0
BLAGNAC	10833.48
BONNAC	0
BORDERES-SUR-L'ECHEZ	29405.16
BORDES	0
BOUCAGNERES	0
BOULAU	0
BOURS	1547.64
CAIXON	0
CAMALES	0
CANTE	0
CARLA-BAYLE	0
CASTELGINEST	0
CASTELNAU-BARBARENS	0
CASTELNAU-D'ANGLES	0

CASTEX-D'ARMAGNAC	0
CASTILLON-MASSAS	0
CASTILLON-SAVES	0
CASTIN	0
CATONVIELLE	0
CAUPENNE-D'ARMAGNAC	2837.34
CAZAUBON	0
CAZAUX-SAVES	1289.7
COLOGNE	0
COLOMIERS	40238.64
CORNEBARRIEU	35595.72
CRAMPAGNA	0
CRASTES	2837.34
CUGNAUX	0
DREMIL-LAFAGE	0
EAUZE	3783.12
ENCAUSSE	0
ENDOUIELLE	0
ESCLASSAN-LABASTIDE	0
ESCONDEAUX	0
ESCORNEBOEUF	2579.4
ESCOSSE	0
ESPAS	0
ESTANG	0
FLOURENS	0
FREGOUVILLE	2579.4
FUSTEROUAU	0
GAGNAC-SUR-GARONNE	0
GALAN	0
GAUJAC	0
GAUJAN	0
GONDRIN	0
HAULIES	0
HORGUES	0
IBOS	12381.12
JEGUN	0
JUILLAN	4642.92
JUILLES	0
JUSTIAN	0
LABEGE	0
LAFITOLE	0
LAGARDE	0
LAGRAULET-DU-GERS	0
LAHAS	0
LAHITTE	0
LALANNE-ARQUE	0

LALOUBERE	13928.76
LANNE	0
LAREE	0
LARTIGUE	0
LASSERAN	4642.92
LASSEUBE-PROPRE	9285.84
LAUJUZZAN	0
LAUNAGUET	0
LAVARDENS	0
LAYMONT	0
LE FOSSAT	0
LE VERNET	3611.16
LEBOULIN	5674.68
LELIN-LAPUJOLLE	0
LES BORDES-SUR-ARIZE	0
LESPINASSE	0
L'ISLE-DE-NOE	9285.84
LOUEY	0
LOURTIES-MONBRUN	0
LOUSSOUS-DEBAT	0
L'UNION	0
LUSSAN	0
MADIERE	0
MANCIET	2837.34
MARAMBAT	0
MARSAN	0
MAUBOURGUET	0
MAURENS	0
MERENS	0
MIRAMONT-D'ASTARAC	0
MIREPOIX	1891.56
MONBLANC	0
MONBRUN	0
MONCLAR-SUR-LOSSE	0
MONDONVILLE	0
MONTAUT-LES-CRENEAUX	0
MONTEGUT	0
MONTEGUT-PLANTAUREL	0
MONTESQUIOU	4642.92
MONTIES	0
MONTRABE	0
MONTREAL	0
NIZAS	0
NOGARO	0
NOILHAN	3869.1
NOUGAROLET	0

ODOS	3095.28
ORDAN-LARROQUE	0
ORLEIX	3095.28
OSSUN	0
PANJAS	945.78
PEBEES	0
PERCHEDE	0
PESSAN	0
PIBRAC	4642.92
POLASTRON	0
POUYLEBON	0
PRECHAC-SUR-ADOUR	11607.3
PUYCASQUIER	3783.12
PUYLAUSIC	0
PUYSEGUR	0
QUINT	0
RABASTENS-DE-BIGORRE	0
RAZENGUES	0
REANS	0
RISCLE	0
ROQUEBRUNE	1891.56
ROQUEFORT	1891.56
ROQUELAURE	0
SAINT-ANDRE	0
SAINT-ANTONIN	0
SAINT-BLANCARD	945.78
SAINT-CHRISTAUD	0
SAINT-CRICQ	0
SAINTE-ANNE	0
SAINTE-MARIE	0
SAINT-GEORGES	0
SAINT-GERME	0
SAINT-GERMIER	0
SAINT-GRIEDE	0
SAINT-JEAN-POUTGE	945.78
SAINT-JORY	0
SAINT-LARY	0
SAINT-LEZER	0
SAINT-MARTIN-D'ARMAGNAC	0
SAINT-MAUR	0
SAINT-MEDARD	0
SAINT-ORENS	0
SAINT-ORENS-DE-GAMEVILLE	0
SAINT-SAUVY	0

SAINT-YBARS	5416.74
SARNIGUET	3095.28
SAUVETERRE	0
SAVERDUN	1805.58
SAVIGNAC-MONA	0
SEAILLES	0
SEILH	7738.2
SEMEAC	7738.2
SIMORRE	0
SIRAC	0
SOUES	12381.12
TARBES	3095.28
TERMES-D'ARMAGNAC	0
TOULOUSE	1547.64
TOURNAY	0
TOURRENQUETS	2837.34
TRIE-SUR-BAISE	0
VIC-EN-BIGORRE	0
VIC-FEZENSAC	0
VILLENEUVE-TOLOSANE	0
TOTAL	318 470

Calcul du potentiel en tep avec une opération maximum par commune

NOM_COMMUNE	INSEE_COMMUNE	NOM_DEPT	NUM_DEPT	POTENTIEL_NEUF_TEP
AUREILHAN	65047	HAUTES-PYRENEES	65	1547.64
CAUPENNE-D'ARMAGNAC	32094	GERS	32	945.78
IBOS	65226	HAUTES-PYRENEES	65	1547.64
PRECHAC-SUR-ADOUR	32330	GERS	32	2321.46
BOURS	65108	HAUTES-PYRENEES	65	1547.64
EAUZE	32119	GERS	32	945.78
PANJAS	32305	GERS	32	945.78
BORDERES-SUR-L'ECHEZ	65100	HAUTES-PYRENEES	65	1547.64
SEMEAC	65417	HAUTES-PYRENEES	65	1547.64
SOUES	65433	HAUTES-PYRENEES	65	1547.64
MANCIET	32227	GERS	32	945.78
JUILLAN	65235	HAUTES-PYRENEES	65	1547.64
TARBES	65440	HAUTES-PYRENEES	65	1547.64
SARNIGUET	65406	HAUTES-PYRENEES	65	1547.64
ODOS	65331	HAUTES-PYRENEES	65	1547.64
ORLEIX	65340	HAUTES-PYRENEES	65	1547.64
LALOUBERE	65251	HAUTES-PYRENEES	65	1547.64
ROQUEBRUNE	32346	GERS	32	945.78
SAINT-JEAN-POUTGE	32382	GERS	32	945.78
MONTESQUIOU	32285	GERS	32	2321.46
L'ISLE-DE-NOE	32159	GERS	32	2321.46
BARRAN	32029	GERS	32	2321.46
LASSERAN	32200	GERS	32	2321.46
LASSEUBE-PROPRE	32201	GERS	32	2321.46
SAINT-BLANCARD	32365	GERS	32	945.78
ROQUEFORT	32347	GERS	32	945.78
AUTERIVE	32019	GERS	32	2321.46
LEBOULIN	32207	GERS	32	945.78
MIREPOIX	32258	GERS	32	945.78
PUYCASQUIER	32335	GERS	32	945.78
TOURRENQUETS	32453	GERS	32	945.78
CRASTES	32112	GERS	32	945.78
AUGNAX	32014	GERS	32	945.78
ESCORNEBOEUF	32123	GERS	32	1289.7
FREGOUVILLE	32134	GERS	32	1289.7
NOILHAN	32297	GERS	32	1289.7
CAZAUX-SAVES	32098	GERS	32	1289.7
PIBRAC	31417	HAUTE-GARONNE	31	1547.64
CORNEBARRIEU	31150	HAUTE-GARONNE	31	1547.64
COLOMIERS	31149	HAUTE-GARONNE	31	1547.64
SEILH	31541	HAUTE-GARONNE	31	1547.64
BEAUZELLE	31056	HAUTE-GARONNE	31	1547.64
BLAGNAC	31069	HAUTE-GARONNE	31	1547.64
SAINT-YBARS	9277	ARIEGE	9	1805.58
TOULOUSE	31555	HAUTE-GARONNE	31	1547.64
LE VERNET	9331	ARIEGE	9	1805.58
SAVERDUN	9282	ARIEGE	9	1805.58
			TOTAL	69471.84

Annexe 11 – Bilan des méthodes de calcul et des incertitudes

[illegible]

Annexe 12 – Etude de sensibilité

Evaluation du potentiel géothermique sur aquifères alluviaux pour le bâti existant : détails du raisonnement

1- Définition du potentiel de la ressource

Les puissances potentiellement extractibles sont calculées à partir des cartes de productivité des aquifères issues de l'Atlas (Ghyselinck-Bardeau et al., 2007). Les calculs sont réalisés à partir du maillage carré de la ressource rééchantillonné à 250 m de côté.

Pour déterminer la puissance extractible à partir d'un aquifère, il est nécessaire de définir un mode de fonctionnement par usage « production de chaleur » et usage « production de fraîcheur ». En effet, le dimensionnement en mode chauffage est différent du dimensionnement en mode rafraîchissement. De plus, pour une puissance donnée de chaud et de froid, la puissance de froid est en général déterminante, et ce d'autant plus si l'on souhaite faire du free-cooling⁷. Cependant, nous nous intéressons ici au potentiel pour les besoins de chauffage et d'Eau Chaude Sanitaire (ECS). En effet, il existe une grande variété de consommations de froid au sein d'une même typologie de bâtiment. De plus, les données sont difficiles à obtenir car souvent intégrées dans les données d'usage spécifiques de l'électricité.

En premier lieu, nous calculons la puissance disponible en prenant le débit moyen à partir de la fourchette de débit disponible dans l'Atlas. Des hypothèses de calcul portent sur le choix d'un ΔT de référence (différence entre la température de l'eau prélevée et la température de l'eau rejetée après utilisation par la PAC), et le choix d'un COP (Coefficient de performance) de référence des PAC.

Les calculs de puissance utilisés en mode chauffage sont les suivants :

$$P_{ch} \text{ (kW)} = (Q * 1.16 * \Delta T) / (1 - 1/COP)$$

Avec $Q \text{ (m}^3/\text{h)}$ = débit moyen de l'aquifère ; $COP = 3.5$; $\Delta T = 7^\circ\text{C}$

$$\text{Alors } P_{ch} \text{ (kW)} = Q * 11.368$$

Ce calcul permet de déterminer la puissance maximale que peut fournir un doublet géothermique. Cette puissance doit être comparée avec les besoins des utilisateurs potentiels (kWh). Il s'agit donc de déterminer quelle puissance est nécessaire en surface ou quelle valorisation peut être faite de la puissance géothermale.

⁷ : Le "free cooling" consiste à refroidir un bâtiment par ventilation en utilisant l'énergie gratuite de l'air extérieur lorsque celui-ci présente une température inférieure à la température intérieure. En hiver, de l'air frais extérieur peut alimenter, en journée, les zones à rafraîchir sans nécessiter l'enclenchement des groupes frigorifiques. En été, une ventilation nocturne peut décharger le bâtiment de la chaleur accumulée en journée

Le lien entre puissance maximale et énergie fournie dépend de la façon dont est utilisée la puissance, et plus particulièrement du nombre d'heures d'utilisation. Le lien entre puissance et énergie se détermine en réalisant la courbe monotone d'une opération (déterminée lors du dimensionnement). Cette courbe, présentée dans l'illustration 1 dépend de la typologie du bâtiment, et de ses besoins en énergie (utilisation d'eau chaude sanitaire, production de froid, ...).

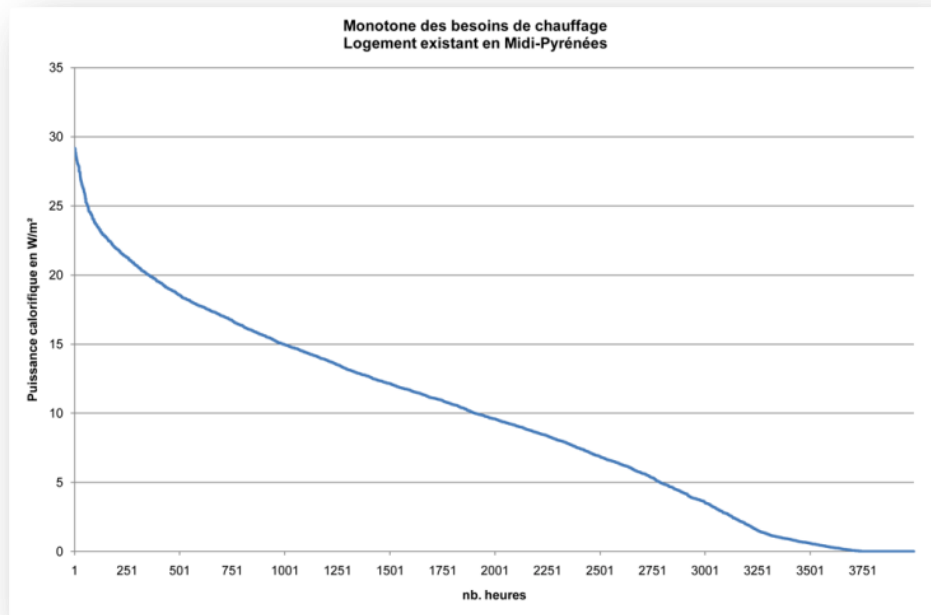


illustration 1 - Courbe monotone du nombre d'heures de chauffe pour un logement en région Midi-Pyrénées (source ALTO Ingénierie)

Le tableau ci-dessous (illustration 2), issu de données fournies par ALTO Ingénierie, présente les résultats du nombre d'heures d'utilisation à pleine puissance (coefficient de chauffe) pour différentes typologies de bâtiments en région Midi-Pyrénées.

	Nombre d'heures équivalentes (Chauffage +ECS	Nombre d'heures équivalentes pour le chauffage uniquement
Logements	1108	625
Bureaux	655	519
Maison de	1906	1816

retraite		
Enseignement	892	645

Illustration 2 - Tableau présentant le nombre d'heures de chauffe par type de bâtiment en Midi-Pyrénées (source ALTO ingénierie)

Il n'est pas possible, à partir des données disponibles, de connaître le nombre de bâtiment par typologie sur l'ensemble du bâti de la région Midi-Pyrénées. Il est donc très difficile de pouvoir calculer un coefficient de chauffe moyen pour tous les bâtiments de la région. Aussi, il a été décidé de réaliser les calculs pour les deux coefficients de chauffe extrême, à savoir 500 et 2000, de façon à pouvoir évaluer l'amplitude des productions possibles.

Le calcul de la production d'énergie par maille, utilisé par la suite est le suivant :

$$\text{Prod}_{\text{ressource}} \text{ (kWh)} = \text{Pch (kW)} \times \text{Coefficient de chauffe (heures)}$$

2- Etude de sensibilité sur le coefficient de chauffe

Comme cela a été évoqué précédemment, les calculs ont été réalisés en utilisant plusieurs gammes de coefficient de chauffe. L'étude de sensibilité de ce paramètre est présentée grâce à l'illustration 3 et illustration 4.

Coefficient de chauffe (h)	Taux d'adéquation (%)	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%	>100%
300		51	12	7	4	3	22
500		41	19	7	5	4	30
1000		29	12	8	5	4	42
2000		20	10	7	5	4	54
3000		15	8	6	5	4	62

Illustration 3 – Evolution du nombre de mailles (%) couvrant les différentes classes de taux d'adéquation des besoins par la géothermie sur nappe alluviale en fonction des coefficients de chauffe.

L'allure de la courbe sur l'illustration 4 montre bien que la ressource n'est pas un facteur limitant. Au contraire, la géothermie étant une ressource fixe, une utilisation plus importante de celle-ci (coefficient de 3000 heures prenant en compte la production

de froid), peut entraîner une augmentation du taux d'adéquation si elle permet d'utiliser toute l'énergie de la ressource.

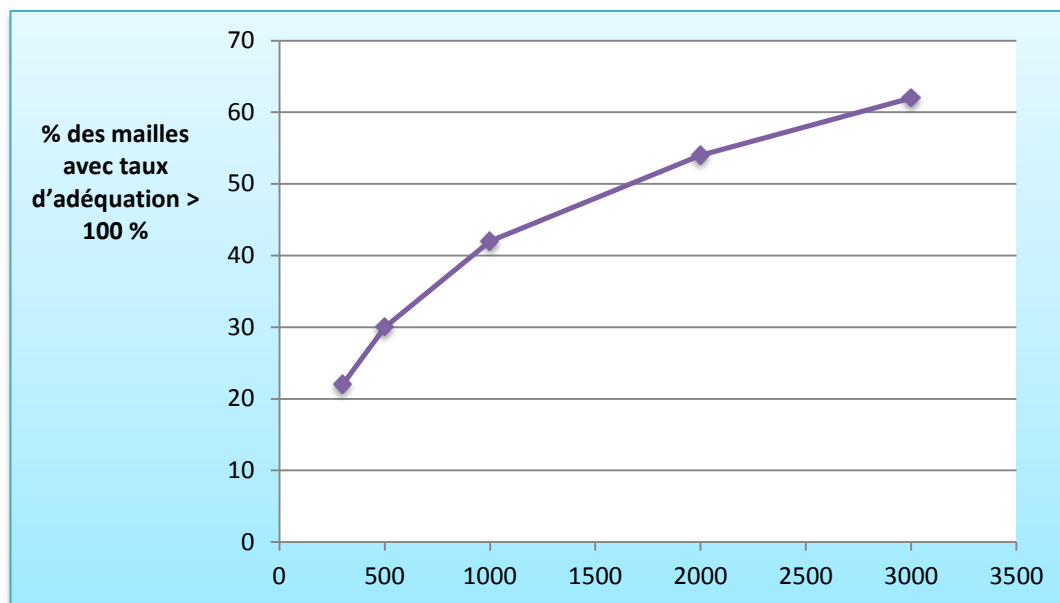
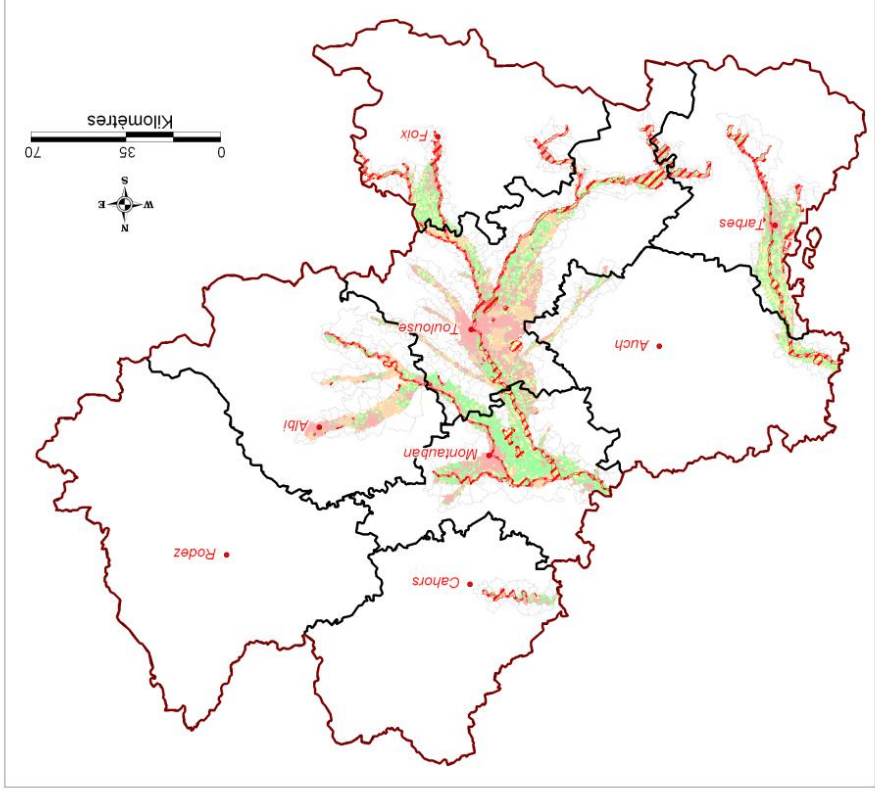
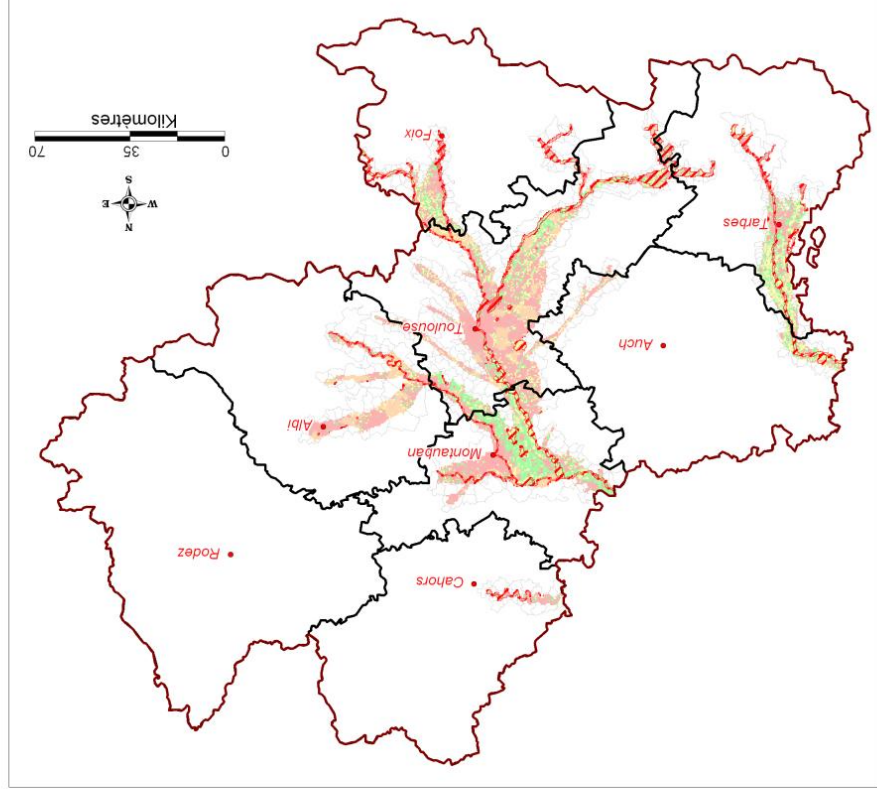


Illustration 4 - Graphique présentant la sensibilité du taux d'adéquation des besoins énergétiques en fonction du coefficient de chauffe

L'illustration 5, ci-après, met en évidence **les mailles dont le taux d'adéquation est supérieur à 100 % pour les deux coefficients de chauffe extrêmes, soit 500 et 2000 heures.**

Le tableau de l'illustration 3 montrait que le taux de mailles avec une couverture supérieure à 100 % des besoins actuels passait de 30 % à 54 % pour un coefficient de chauffe de 500 et 2000 heures. L'illustration 5 montre que ces 24 % supplémentaires sont essentiellement localisés dans le sud et le nord-ouest de l'agglomération toulousaine, dans la plaine alluviale de l'Ariège et de l'Aveyron (dans le département du Tarn-et-Garonne) et dans la plaine amont du Tarn (département du Tarn).

Illustration 5 – Cartes présentant les mailles avec un taux d'adéquation des besoins énergétiques actuels supérieurs à 100 %, pour des coefficients de chauffe de 500 et 2000 heures



3- Perspectives des consommations à l'horizon 2020

Afin d'évaluer le potentiel de développement de la géothermie sur les nappes alluviales, il faut également tenir compte de l'évolution des consommations d'ici 2020, en particulier avec les nouvelles directives de la RT 2012.

Aussi, les mêmes calculs ont été réalisés (coefficient de chauffe de 1000 heures) pour des consommations énergétiques réduites de 20 % et de 38 % par rapport à l'actuel. La réduction de -38% des consommations est l'objectif fixé par le Grenelle de l'Environnement grâce à l'application de la RT 2012.

Les cartes de résultats sont présentées dans l'illustration 6 ci-après, et repris dans un format plus grand dans l'annexe 5.

Les calculs effectués avec un coefficient de chauffe de 1000 heures, permettent de mettre en évidence les données suivantes :

- Pour une consommation actuelle, 45 % des mailles répondent à plus de 100 % des besoins,
- Pour une consommation diminuée de 20 %, 50 % des mailles répondent à plus de 100 % des besoins
- Pour une consommation diminuée de 38 %, 54 % des mailles répondent à plus de 100 % des besoins

Une baisse de 38 % des consommations des bâtiments, par rapport à la consommation actuelle, permettrait d'augmenter de presque 15 % le taux d'adéquation des besoins par la géothermie sur une maille, avec un coefficient de chauffe moyen, fixé à 1000 heures.

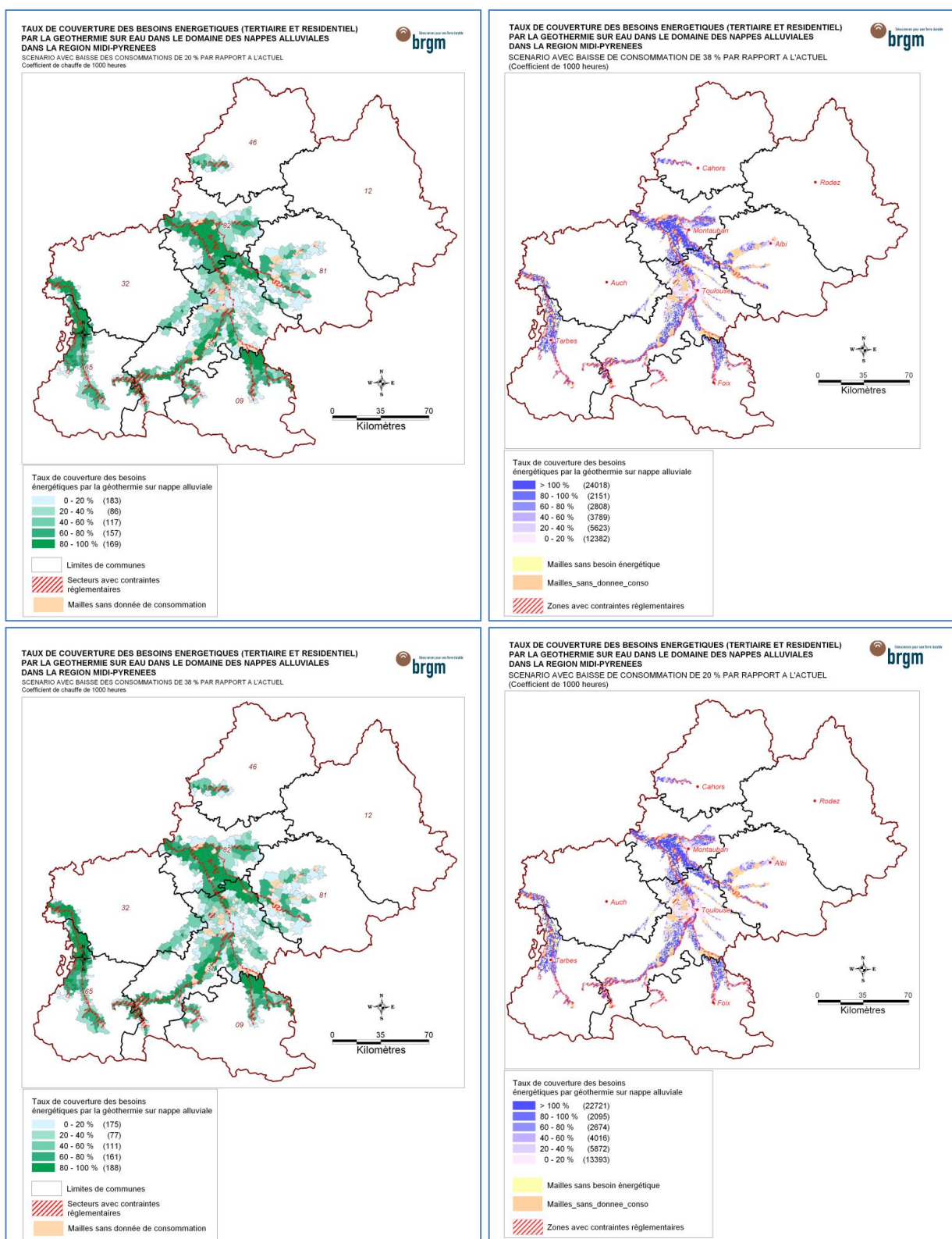


Illustration 6 – Cartes montrant l'évolution des taux d'adéquation par maille et par commune pour des baisses de consommation énergétique de 20 et 38 % et un coefficient de chauffe de 1000 heures

Une analyse de sensibilité de la baisse de consommation et du coefficient de chauffe a été réalisée. Les résultats sont synthétisés dans le tableau et le graphique de l'illustration 7.

Coef. de chauffe / Nb de mailles avec taux > 100 %	300	500	1000	2000	3000
Conso. actuelle	11382	15139	21112	27490	31506
Conso -20%	12682	16650	22721	29416	33151
Conso -38 %	13695	17911	24018	30669	34466
Conso -38% / Conso actuelle	20%	18%	14%	12%	09%

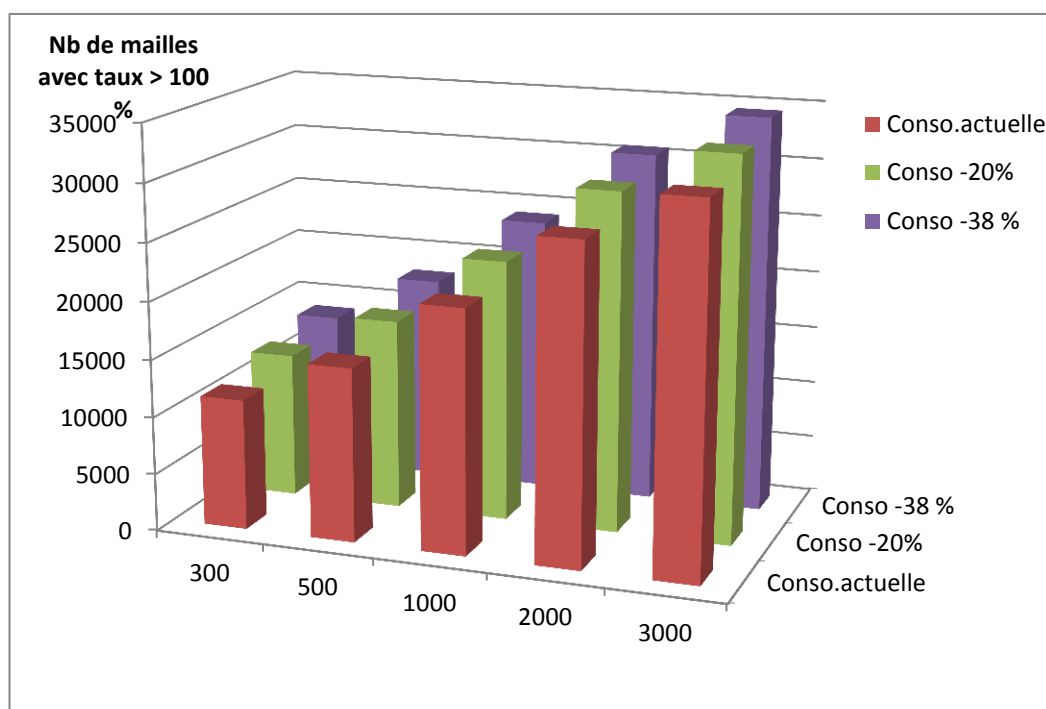


Illustration 7 – Evolution du nombre de mailles avec un taux d'adéquation supérieur à 100 % en fonction de l'évolution des consommations et du coefficient de chauffe

L'impact d'une baisse de la consommation sur le nombre de mailles couvrant plus de 100 % des besoins est plus important pour un nombre d'heure de chauffe moins élevé.

Annexe 13 – Note technique du bureau d'étude ALTO Ingénierie

BRGM

NOTE TECHNIQUE
Etude de potentialités de la géothermie en Midi-Pyrénées

Note :	NT01
Indice :	C
Nombre de pages :	46

REVISION

Date	Référence	Objet
07/2011	2110136 - NT01A&B - Etude des potentialités de la géothermie en Midi Pyrénées.docx	Versions provisoires
08/2011	2110136 - NT01C - Etude des potentialités de la géothermie en Midi Pyrénées.docx	Version complète

DIFFUSION

BRGM - Adeline POUX	T. 02 38 64 46 94	a.poux@brgm.fr	M
BRGM - Mélanie BARDEAU		m.bardeau@brgm.fr	M
BRGM – Bernard MONOD		b.monod@brgm.fr	M

Rédaction : USA/ACI	Validation : PDA	Diffusion : ACI
---------------------	------------------	-----------------

SOMMAIRE

1	OBJET DE L'ETUDE	3
2	GEOTHERMIE SUPERFICIELLE.....	4
2.1	Besoins par typologie et ressource nécessaire.....	4
2.2	Description des solutions comparées	6
2.3	Bilan énergétique et environnemental.....	7
2.4	Bilan économique.....	9
3	GEOTHERMIE PROFONDE.....	14
3.1	Estimation des besoins et puissances	14
3.2	Ressource disponible	15
3.3	Description des solutions comparées	15
3.4	Bilan énergétique et environnemental.....	19
3.5	Bilan économique.....	20
3.6	Dimensions de projet adéquates.....	25
4	CONCLUSION	27
5	ANNEXES	30
5.1	Précisions relatives aux solutions étudiées.....	30
5.2	Hypothèses utilisées pour l'évaluation du bilan environnemental et financier	33
5.3	Détail des résultats – géothermie superficielle.....	36
5.4	Détail des résultats – géothermie profonde	43

1 OBJET DE L'ETUDE

L'étude vise à préparer l'élaboration du schéma directeur de développement de la géothermie en Midi-Pyrénées. Dans ce cadre, les différentes technologies de géothermie susceptibles d'être exploitées en région Midi-Pyrénées sont envisagées :

- La géothermie très basse énergie : exploitation, avec une pompe à chaleur, des aquifères superficiels ou du sol via des champs de sondes géothermiques, pour alimenter un bâtiment voire un petit îlot de bâtiments (secteur résidentiel collectif et tertiaire)
- La géothermie basse énergie : utilisation des aquifères « profonds » pour alimenter des réseaux de chaleur urbains.

Il s'agit d'évaluer quels sont les cas où ces technologies sont les plus pertinentes du point de vue technique (consommations d'énergie, émissions de gaz à effet de serre) et économique. Dans ce but, les différentes solutions sont comparées à une solution de référence (chaufferie gaz et groupe frigorifique).

Pour la géothermie superficielle, on étudie plusieurs typologies de bâtiments, représentatives des principaux programmes prévus pour les années à venir en Midi Pyrénées, et ayant des besoins calorifiques et frigorifiques différents : logement collectif, bureaux, établissement scolaire, maison de retraite, hôtel. On étudie le cas de programmes neufs uniquement. La géothermie superficielle peut également être utilisée pour des bâtiments existants, mais à condition que ceux-ci puissent être alimentés en basse température – ce qui implique généralement une rénovation, a minima des émetteurs – ou en faisant fonctionner la PAC à haute température, mais dans ce cas le rendement est dégradé.

Pour la géothermie profonde, l'étude porte sur des bâtiments neufs et existants. Nous considérons uniquement la production de chaleur, bien que la production de froid, pour des nappes de température inférieure à 40°C, pourrait être envisagée.

L'intérêt technique et économique dépendra des caractéristiques de la ressource, et de l'adéquation entre ressource et besoins. Nous réaliserons des analyses de sensibilité sur ces points de manière à évaluer :

- En géothermie superficielle, la surface maximale pouvant être alimentée par un doublet et la surface minimale, pour chaque typologie de bâtiment et en fonction de l'évolution du coût des énergies, pour que l'installation d'une PAC sur les alluvions soit rentable ;
- En géothermie profonde, le nombre maximal d'équivalents logements (neuf ou existant, selon l'urbanisation dans chaque zone étudiée) pouvant être alimentés, et le nombre minimum d'équivalent logement nécessaires pour rentabiliser la réalisation d'un doublet de forages géothermiques dans les SIM. Les caractéristiques des SIM (température, profondeur, qualité d'eau) étant très variables selon la zone, plusieurs cas sont étudiés, en privilégiant les zones où le potentiel est le plus intéressant et où l'urbanisation, existante ou à venir, est la plus dense.

2 GEOTHERMIE SUPERFICIELLE

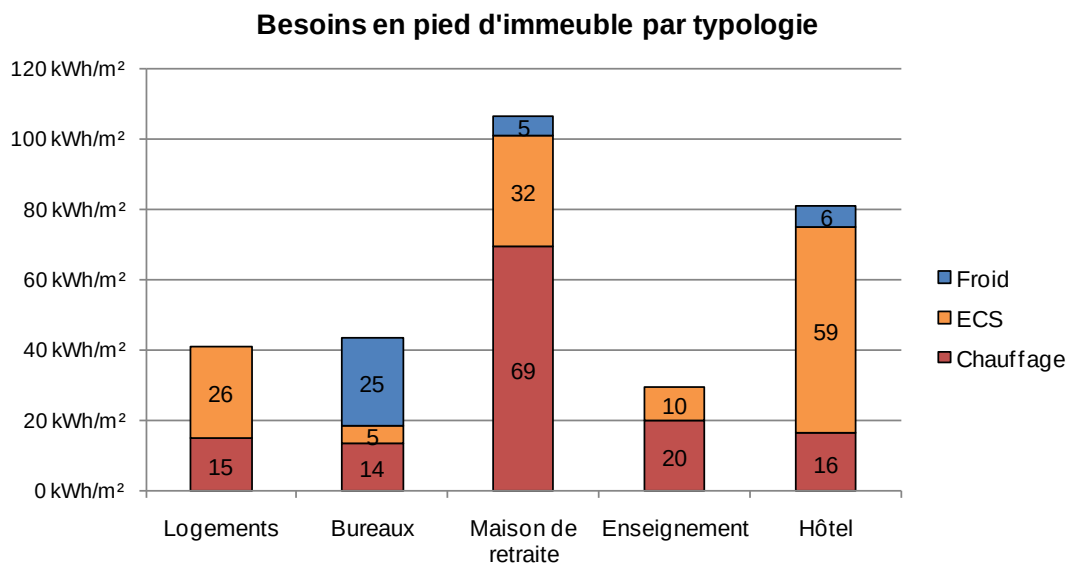
2.1 Besoins par typologie et ressource nécessaire

2.1.1 Estimation des besoins et puissances

Le niveau de performance énergétique considéré pour les différentes typologies est un niveau BBC, soit le niveau minimal que devront respecter les constructions neuves suite à la RT 2012. Les besoins d'énergie en pied de bâtiment (c'est-à-dire en tenant compte des pertes de distribution, d'émission et de régulation) ainsi que les puissances à satisfaire ont été déterminés sur la base de simulations thermiques dynamiques. Ces besoins et puissances se décomposent en plusieurs postes : chauffage, ECS et froid.

Estimation des besoins

Le graphique suivant donne les besoins à l'entrée du bâtiment par typologie :



La quantité et la décomposition de ces besoins varient fortement d'une typologie à l'autre. On peut dégager trois catégories :

- Maison de retraite et Hôtel : forts besoins
- Logements et Enseignement : besoins modérés et de chaleur uniquement :
- Bureaux : besoins modérés et quasi-équilibrés entre chaleur et refroidissement

Maison de retraite et Hôtel : forts besoins

- en chauffage pour les maisons de retraite en raison de la température de consigne plus élevée et de la période de chauffe ininterrompue et plus longue ;
- en ECS pour les hôtels liés aux besoins élevés de cette typologie.

Logements et Enseignement : besoins modérés et de chaleur uniquement :

- principalement en ECS pour les logements ;
- principalement en chauffage pour l'enseignement, l'ECS étant liée uniquement à la restauration. L'occupation moindre de cette typologie génère les besoins les moins importants ;

Bureaux : besoins modérés et quasi-équilibrés entre chaleur et refroidissement. D'autre part cette typologie fait apparaître des besoins simultanés entre « chaud » et « froid process ».

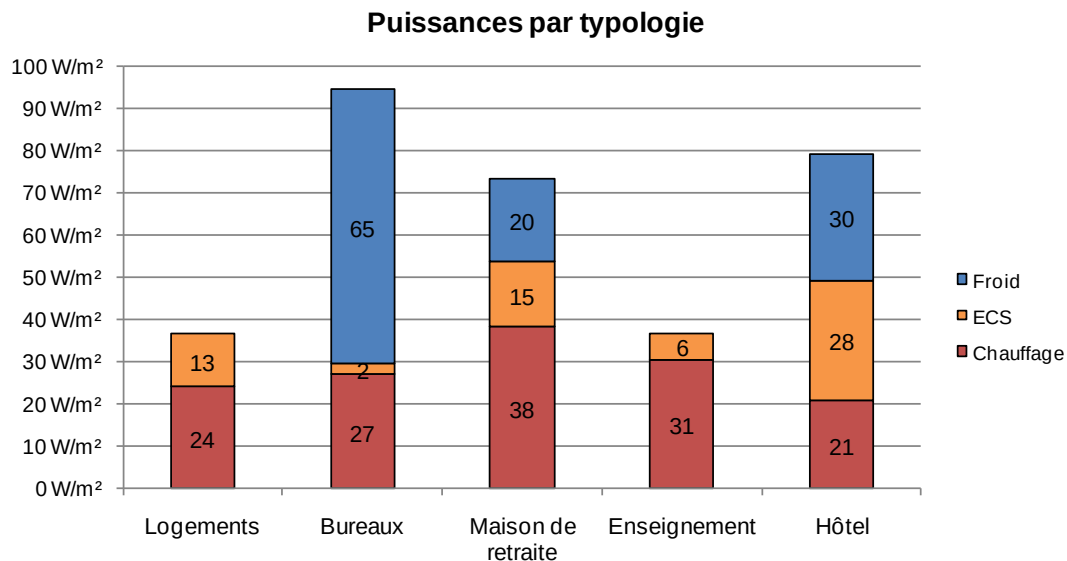
Notons que pour les bureaux, les besoins de froid se décomposent en deux parties :

- Froid Ambiance : 15 kWh/m², assurables en partie par panneaux rayonnants et eau rafraîchie (régime 18/21°C).
- Froid Process : 10 kWh/m², assurables par eau glacée uniquement (régime 7/12°C).

Les besoins de froid des typologies « Maison de retraite » et « Hôtel » sont des besoins d'ambiance.

Estimation des puissances

Les puissances nécessaires par typologie sont les suivantes :



Les puissances d'ECS ont été déterminées sur la base d'un système à accumulation (temps de chauffe 5h).

Les puissances nécessaires par poste et par typologie ne sont pas proportionnelles aux besoins. Ceci montre une différence de taux d'utilisation de la puissance disponible par typologie. Ce paramètre influera sur la rentabilité des solutions.

Les usages dimensionnants sont :

- Le chauffage pour : Logements, Maison de retraite, Enseignement ;
- Le froid pour : Bureaux ;
- L'ECS pour : Hôtel.

Pour ce dimensionnement, les puissances de chauffage et d'ECS n'ont jamais été cumulées. On considère que la régulation de la production permet de faire fonctionner l'installation soit en mode chauffage, soit en mode ECS. Cela permet de ne pas surdimensionner l'installation et donc de traiter une surface plus importante pour un même débit de nappe.

2.1.2 Débits de nappe nécessaire par typologie

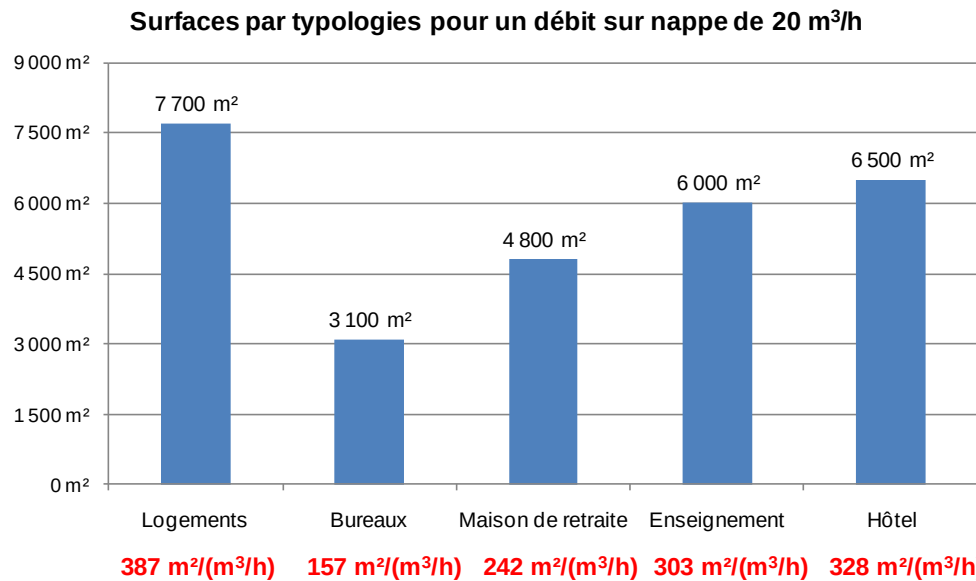
En accord avec le BRGM, on considère les hypothèses suivantes sur la ressource disponible :

- Débit : fonction des typologies,
- Température moyenne de 12°C et possibilité d'obtenir une différence de température entre puisage et rejet de 6°C en mode chauffage, de 11°C en mode froid
- Profondeur : 15m

Ces hypothèses font l'objet d'une analyse de sensibilité.

A partir des hypothèses de différence de température entre puisage et rejet on peut déterminer les surfaces correspondantes par typologies, pour différents débits.

Le graphique suivant donne les surfaces de projets envisageables avec un débit de nappe de 20 m³/h :



La relation entre le débit et la surface envisageable est linéaire, le rapport entre les deux, précisé dans le graphique ci-dessus, diffère selon les typologies.

2.2

Description des solutions comparées

Ce paragraphe décrit le fonctionnement des installations pour les deux solutions de production envisagées : solution de référence et solution PAC sur nappe. Pour chaque typologie, le matériel à installer, et donc les investissements, sont donnés dans le tableau suivant :

Typologie	Solution PAC sur nappe	Solution Référence	
	Pompe à chaleur + forages + pompes + échangeurs	Chaufferie gaz	Groupe frigorifique à condensation par eau + aéroréfrigérants
Logements	X	X	
Bureaux	X	X	X
Maison de retraite	X	X	X
Enseignement	X	X	
Hôtel	X	X	X

Dans le cas des maisons de retraite et bâtiments d'enseignement, on considère qu'une sécurité plus grande est nécessaire sur l'installation et qu'en conséquence on installe 2 équipements de chauffage de chacun 2/3 de la puissance nécessaire afin de disposer encore de 2/3 de la puissance en cas de panne de l'un des équipements.

Pour les typologies « Bureaux » et « Maison de retraite », la solution PAC sur sondes est également étudiée.

Solution Référence

Pour toutes les typologies, les besoins de chauffage et d'ECS sont satisfaits par la chaudière gaz. Les besoins frigorifiques sont satisfaits par une unité à condensation par eau, refroidie par des aéroréfrigérants. Le régime d'eau glacée est de 7/12°C.

Les principales hypothèses liées à la performance de la production sont les suivantes :

Rendement chaufferie gaz (sur PCI) :	0.95
Rapport PCS/PCI :	1.11
Rendement groupes froids :	3.5
Consommations aéroréfrigérants et pompes :	5% de la chaleur évacuée

Solution PAC sur nappe

Pour toutes les typologies, les besoins de chauffage et d'ECS sont assurés à 100% par la PAC. Les régimes de température au condenseur étant différents pour le chauffage et l'ECS, les performances de la PAC le sont également (la température en sortie de PAC est adaptée en fonction de l'usage).

Pour les typologies « Maison de retraite », « Hôtel » et « Bureaux », le rafraîchissement direct (sans utilisation de la PAC) est privilégié pour assurer les besoins de froid. Ils sont assurés par des plafonds rayonnants dans les bureaux et par du plancher rafraîchissant dans les autres typologies. Pour ces besoins, l'eau circulant dans les émetteurs est rafraîchie via un échangeur en direct sur l'eau de nappe. Le régime d'eau associé est de 18/21°C.

Lorsque ces besoins de froid sont importants, il reste néanmoins nécessaire de recourir à la PAC pour augmenter la différence de température entre puisage et rejet de manière à puiser plus de frigories sur la nappe. De plus, une partie des besoins de froid est considérée couverte par un rafraîchissement de l'air neuf au moyen d'une batterie à eau glacée ; pour cette part des besoins, le recours à la PAC est nécessaire.

Pour la typologie « Bureaux », qui présente des besoins calorifiques et frigorifiques simultanés (chaleur dégagée par les locaux serveurs à évacuer au moyen d'eau glacée en toute saison, donc y compris lorsque du chauffage est nécessaire), la pompe à chaleur permet d'effectuer un transfert entre la chaleur à évacuer (besoins de froid) et la chaleur à fournir (besoins de chaud et ECS), augmentant ainsi ponctuellement la performance de l'installation.

Les principales hypothèses liées à la performance de la production sont les suivantes :

COP (mode chauffage) :	4
COP (mode ECS) :	3
EER (mode froid) :	4
ΔT rafraîchissement direct :	3
part des besoins de froid Ambiance couvert par eau glacée :	30%
EER en production de chaud et froid simultanée :	3.

Solution PAC sur sondes

La solution est analogue à la PAC sur nappe. Les principales différences sont :

- Les performances de la PAC en mode chaud : COP de 3,2 (valeur moyenne chauffage – ECS) ;
- La puissance moindre de la pompe côté sondes ;
- Les investissements.

2.3 Bilan énergétique et environnemental

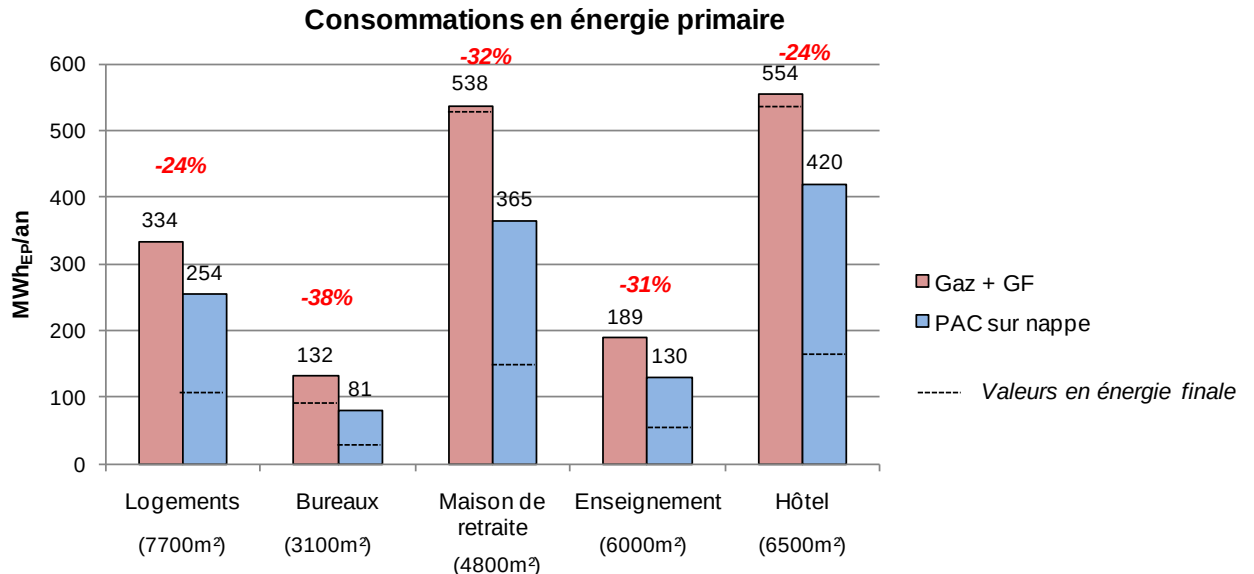
Nous disposons donc maintenant de l'ensemble des éléments nécessaires pour :

- évaluer au pas de temps horaire les consommations dans les différentes solutions, pour chacun des éléments (production principale de froid et de chaud des différents bâtiments, appoints, auxiliaires), et en déduire le bilan énergétique puis environnemental des solutions ;
- évaluer les coûts d'investissement et de maintenance/gros entretien-renouvellement ;
- en déduire une comparaison en coût global par typologie.

Ces bilans ont été déterminés pour un débit disponible sur la nappe de 20 m³/h, mais les variations entre référence et solutions géothermiques resteraient identiques pour un débit différent. Les détails de la décomposition par poste des consommations et émissions de GES sont donnés en annexe 6.

2.3.1 PAC sur nappe : bilan énergétique

Le graphique ci-dessous donne les consommations en énergie primaire pour les deux solutions, par typologie. Les consommations en énergie finales sont également repérées :

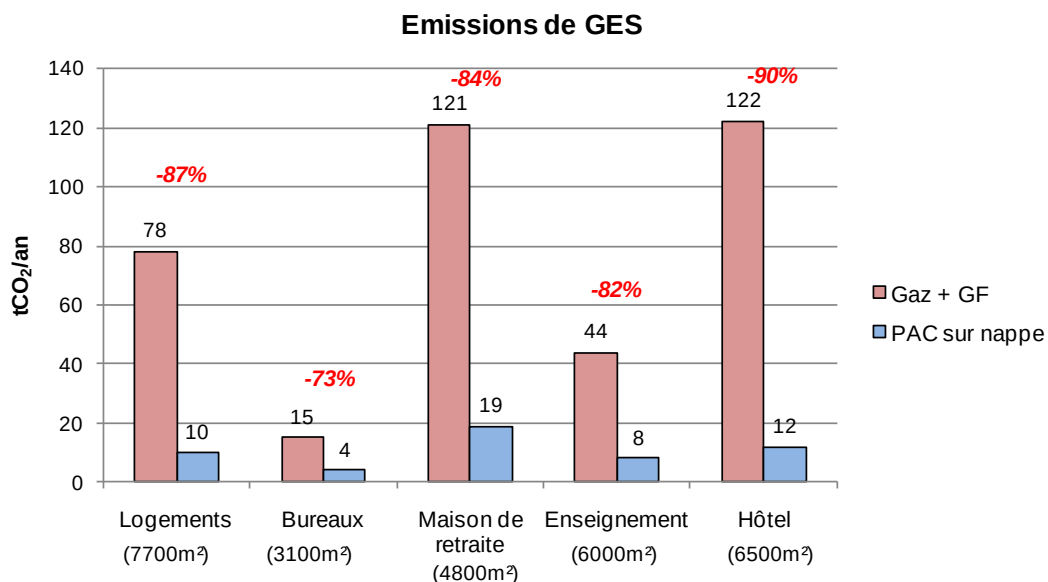


Quelque soit la typologie, la solution PAC sur nappe présente un meilleur bilan en énergie primaire. Elle permet une réduction des consommations allant de 25% à 40% selon les typologies.

En énergie finale cet écart est considérablement augmenté du fait du facteur de conversion entre énergie finale et énergie primaire de 2,58 pour l'électricité.

2.3.2 PAC sur nappe : bilan environnemental

Le graphique ci-dessous présente les émissions de GES (gaz à effet de serre) en tonnes équivalent CO₂ par an pour les deux solutions et par typologie. Ces émissions intègrent les émissions liées à la production d'énergie (effets directs) et les fuites de fluide frigorigène contenu dans les pompes à chaleur (effets indirects) :



La solution PAC sur nappe permet une réduction très importante des émissions de CO₂, allant de 73% à 90% selon les typologies.

En contrepartie, les solutions 2 et 3 entraînent la production de déchets nucléaires et ont un impact plus important sur l'acidification de l'atmosphère.

2.3.3 PAC sur sondes

La performance légèrement moindre de la PAC du fait d'un niveau de température du sol plus faible conduit à une augmentation de l'ordre de 5 à 15% des consommations et émissions de GES.

Les évaluations détaillées pour les bureaux et maisons de retraite sont présentées en annexe 5.3.1.2.

L'écart est légèrement plus marqué pour les typologies où les besoins de chaleur sont dominants car la principale différence de performance porte sur la production de chaleur.

Les bilans énergétiques et environnementaux sont très proches de ceux obtenus avec une PAC sur nappe. Par rapport à la solution de référence, les consommations énergétiques sont réduites d'environ 10 à 35 %, les émissions de l'ordre de 70 à 80%.

2.4 Bilan économique

Les solutions sont comparées sur la base d'une analyse en coût global, c'est-à-dire incluant les coûts énergétiques (P1), les coûts de maintenance (P2), de gros entretien-renouvellement (P3) et d'investissement (P4).

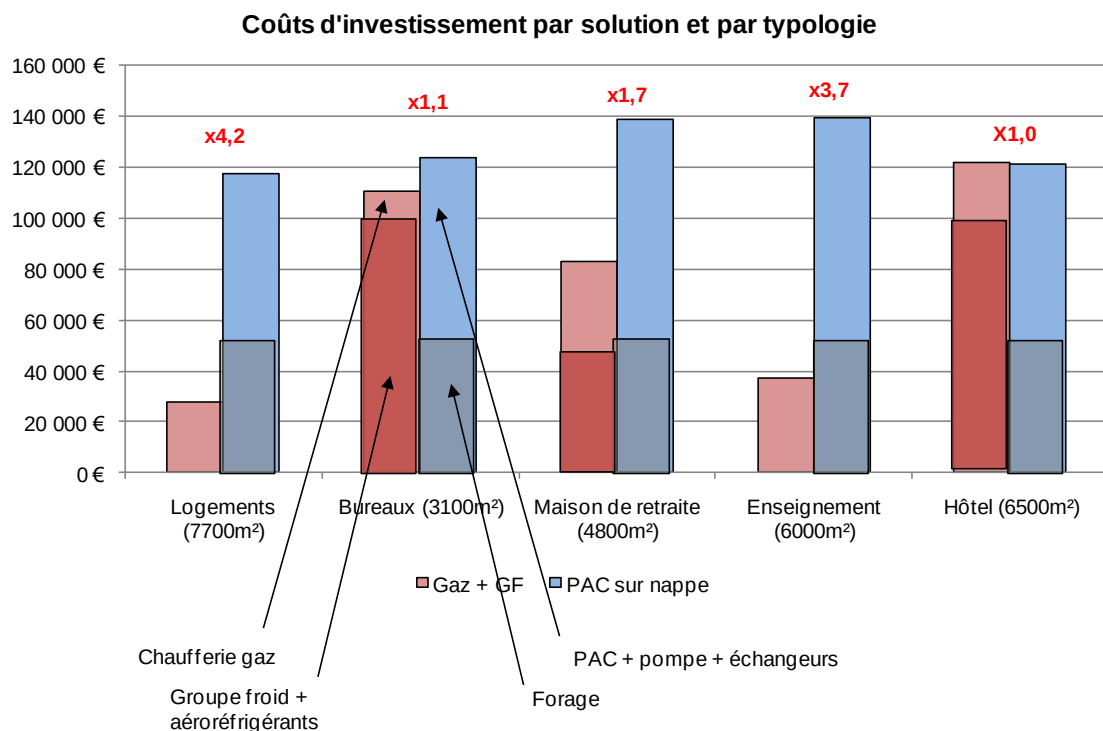
On évalue le coût global de l'ensemble de ces postes sur 25 ans, en tenant compte des coûts financiers via un taux d'actualisation de 4%, de l'évolution générale des prix via un taux d'inflation de 2%, et de l'évolution des coûts énergétiques (hors abonnement). On estime également le niveau d'aide qu'il est envisageable d'obtenir (voir annexe 5.2.2.2).

Sur la base des évolutions sur une période d'une dizaine d'années, on considère que le prix du gaz augmente de 7%/an, celui de l'électricité de 5%/an. Ce point fait l'objet d'une analyse de sensibilité.

Le détail des hypothèses prises pour l'évaluation de la maintenance et du gros entretien est présenté en annexe 5.2.3.2.

2.4.1 PAC sur nappe : coûts d'investissement pour une ressource de 20 m³/h

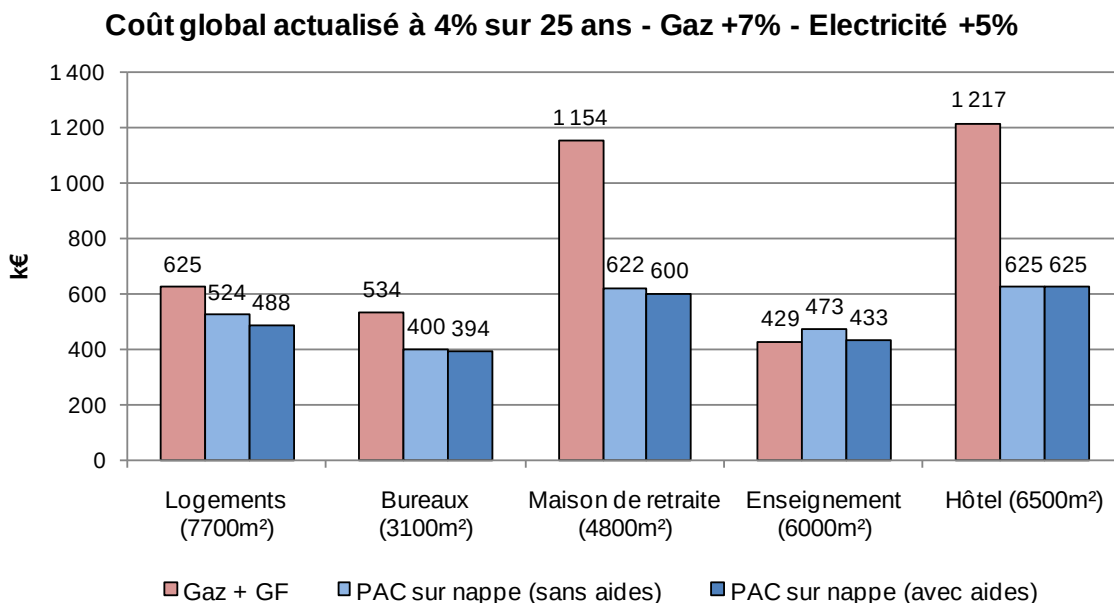
Le graphique suivant donne la répartition des coûts d'investissements par typologie pour la solution de référence (chaufferie gaz/groupes froids et aéroréfrigérants) et la solution PAC sur nappe (forage/PAC, pompe et échangeurs) :



En fonction des typologies, le surinvestissement lié à la solution PAC sur nappe est plus ou moins important. Il est fortement réduit lorsqu'il y a des besoins de froid à satisfaire soit pour les typologies « Bureaux », « Hôtel » et « Maison de retraite » dans une moindre mesure.

2.4.2 PAC sur nappe : coût global pour une ressource de 20 m³/h

Le graphique suivant donne les coûts globaux par typologie. Deux scénarios sont distingués : sans subvention et avec subventions¹. A titre indicatif, les taux de charge calorifiques (chauffage et ECS) sont également donnés. Ils représentent l'énergie délivrée par l'installation par rapport à l'énergie maximale délivrable sur la saison de chauffe². Cet indicateur représente un taux d'utilisation de la production.



On constate que la solution PAC sur nappe est plus intéressante pour toutes les typologies sauf l'«Enseignement» (avec les hypothèses considérées).

Les typologies les plus favorables à la solution PAC sur nappe sont celles qui présentent un taux de charge élevé. Dans ce cas, l'investissement est plus vite rentabilisé car l'installation fonctionne plus souvent. Ainsi la typologie « Enseignement », qui présente le taux d'utilisation le moins élevé, n'est pas rentable.

La présence de besoins de froid, qui réduit l'écart d'investissement avec la solution de référence, est également favorable. Ainsi les typologies « Logements » et « Enseignements » sont les moins intéressantes, la solution de référence ne comportant pas de production frigorifique pour ces typologies.

La typologie « Bureaux » présentent bilan positif malgré des besoins relativement modérés. Les raisons sont les suivantes :

- écart d'investissement faible par rapport à la solution de référence ;
- prépondérance des besoins de froid dont une partie est satisfaite par le rafraîchissement direct (présentant une efficacité très élevée car la PAC ne fonctionne pas) ;
- transferts d'énergie entre le froid process et les besoins de chaleur, permettant une optimisation des consommations de la PAC.

¹ Ces subventions sont estimées à hauteur de 40% de la plus value générée par la solution PAC sur nappe par rapport à la solution de référence.

² Pour la typologie « Bureaux », cet indicateur est biaisé par les transferts d'énergie avec les besoins de froid liés au process. D'autre part, le mode froid est dimensionnant pour cette typologie. L'indicateur n'est en conséquence pas significatif.

Ainsi, hormis pour les bureaux qui présentent des spécificités, les deux paramètres qui influent sur la rentabilité de la solution PAC sur nappe sont :

- l'écart d'investissement entre les deux solutions ;
- le taux d'utilisation de l'installation.

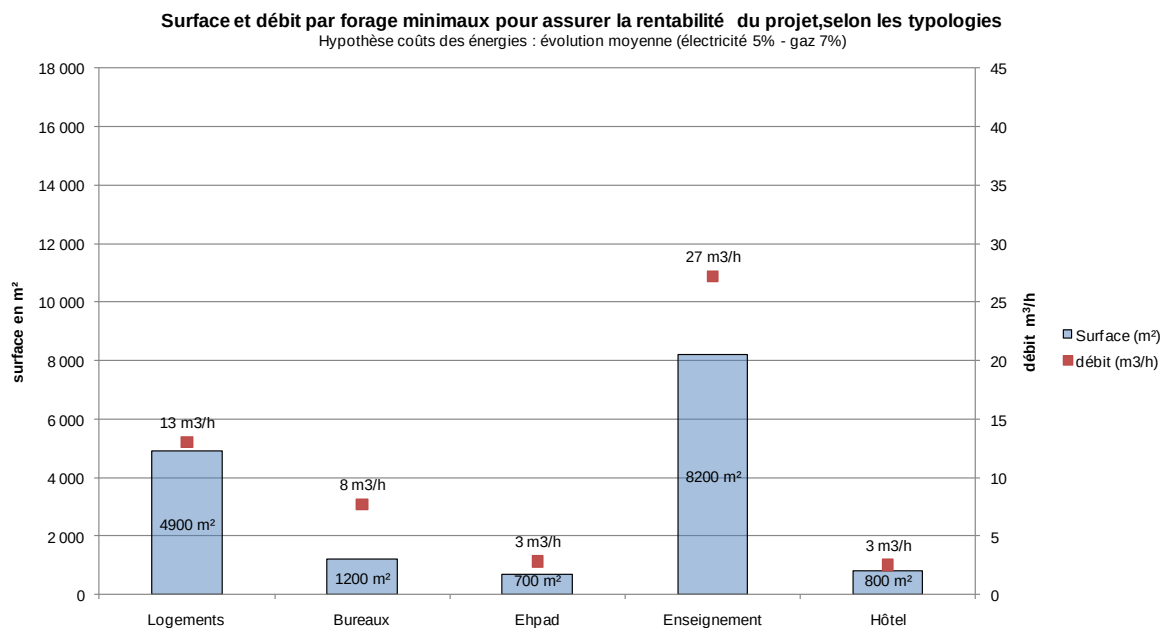
Une typologie présentant un fonctionnement et des besoins proches des typologies « Maison de retraite » et « Hôtel » ainsi que des besoins frigorifiques notables présenterait une rentabilité encore plus importante. Les hôpitaux se rapprochent de ce cas de figure.

2.4.3

PAC sur nappe : seuils de rentabilité en termes de surface du projet et débit de nappe

Plus le projet est petit, plus les coûts fixes liées à la solution PAC sur nappe, à savoir le forage et sa maintenance, prennent une part importante du bilan et donc plus il est difficile de rentabiliser l'installation.

Le graphique ci-dessous indique, par typologie, la surface de bâtiment minimale pour que l'opération soit rentable, en supposant qu'un seul doublet de forages est réalisé, et le débit minimal correspondant :



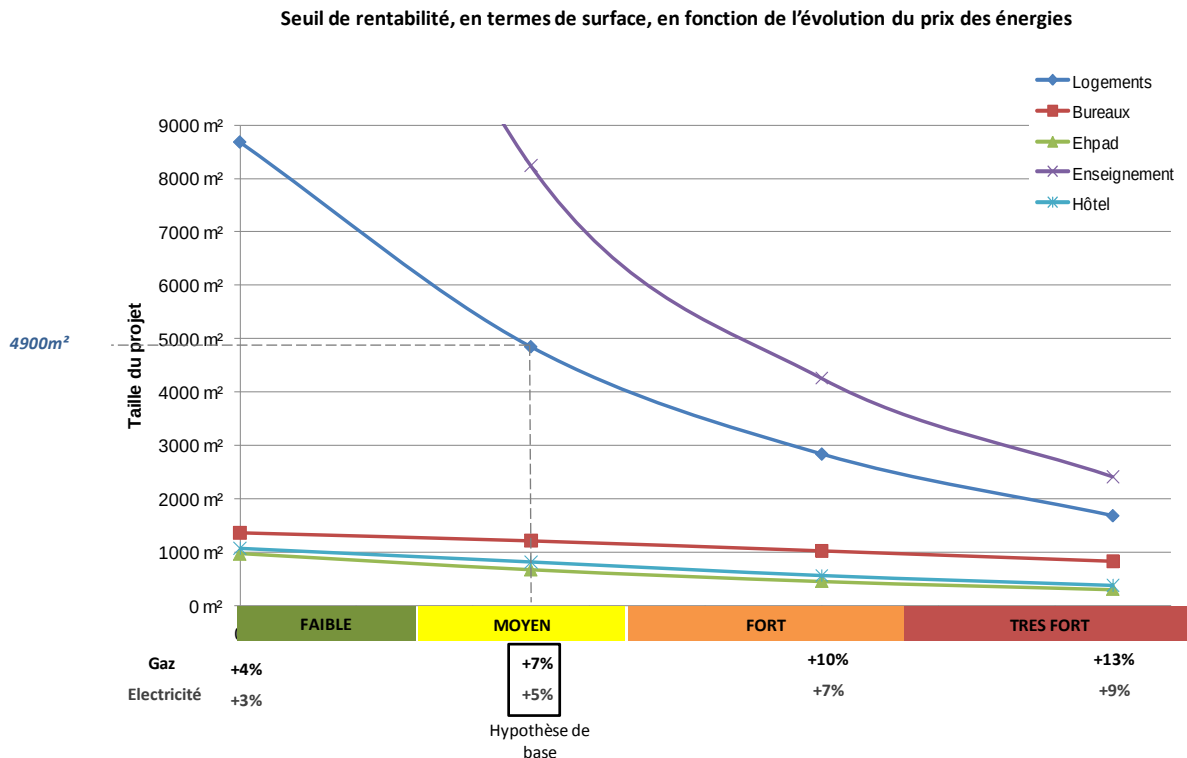
Avec les hypothèses de base, la rentabilité est atteinte pour des surfaces de projets faibles pour les typologies « Bureaux » (1200m²), « Maison de retraite » (700m²) et « Hôtel » (800 m²). Les débits nécessaires pour que les opérations puissent être rentables sont également faibles (3 à 10 m³/h).

Pour les logements, il est nécessaire pour atteindre la rentabilité d'avoir un ensemble de taille relativement conséquente, d'environ 4900 m² (soit de l'ordre de 70 logements) ; le débit nécessaire est un peu plus important mais reste modéré (13 m³/h).

Pour les bâtiments d'enseignement, la rentabilité est atteinte uniquement pour les grands projets (>8 200m²), et à condition d'avoir une ressource relativement importante (>27m³/h).

2.4.4 PAC sur nappe : sensibilité du seuil de rentabilité à l'évolution des prix des énergies

Le prix des énergies influe sur la rentabilité du projet. Le graphique suivant montre la variation du seuil de rentabilité en surface (et donc en débit) pour chaque typologie, selon les hypothèses prises :



Exemple d'interprétation : Pour une opération de logements, avec les hypothèses économiques retenues en base, la solution PAC sur nappe est rentable à partir d'une surface de projet de 4900 m². Avec une augmentation du prix du gaz supérieure à 13% par an, ce seuil de rentabilité descend à moins de 2000m².

Notes :

- On suppose dans l'analyse ci-dessus que le débit sur la nappe est suffisant pour que le bâtiment soit alimenté par un unique doublet de forages. S'il ne l'est pas à la surface correspondant au seuil de rentabilité, cela signifie que la solution PAC sur nappe au vu du potentiel hydrogéologique ne peut pas être rentable pour le niveau d'évolution du coût des énergies considéré.
- C'est le prix du gaz qui présente l'effet le plus notable, celui de l'électricité a un impact moindre car les consommations en énergie finale sont faibles par rapport aux consommations de gaz (cf. § 4.1). Faire varier le taux d'évolution du coût de l'électricité en maintenant l'hypothèse sur le coût du gaz fait peu varier les résultats.

Pour les typologies « Bureaux », « Maison de retraite » et « Hôtel », qui présentent des besoins de froid, la rentabilité est peu sensible au coût des énergies. Elle y est par contre très sensible dans le cas des logements et de l'enseignement.

Pour les typologies « Logements » et « Enseignement », la sensibilité est au contraire très forte. Une augmentation des prix du gaz importante rend la solution PAC sur nappe rentable pour des surfaces et débits modérés.

2.4.5 PAC sur sondes

Du point de vue économique, la solution PAC sur sondes est généralement plus coûteuse que la solution PAC sur nappe du fait d'un coût d'investissement plus élevé pour les sondes que pour un forage, dès lors que le nombre de sondes est important.

Néanmoins, pour de petites surfaces, la solution PAC sur sondes peut devenir plus intéressante car le nombre de sondes s'adapte à la surface du bâtiment tandis que le coût du forage est pratiquement constant. De plus il n'y a pas de maintenance à réaliser sur les sondes, ce qui réduit le coût du P2/P3.

Le tableau ci-dessous indique si la solution PAC sur sondes est ou non plus rentable que la solution gaz (ce qui dépend relativement peu de la surface) et le seuil au delà duquel la solution PAC sur nappe devient plus rentable que la solution PAC sur sonde :

Rentabilité typologie par	Logements	Bureaux	Maison de retraite	Enseignement	Hôtel
Rentabilité par rapport à la solution gaz (écart en coût global)	Non	Coût similaire à la référence (+/- 5%)	Oui (environ -40%)	Non	Oui
Seuil en deçà duquel la solution PAC sur sonde est plus rentable que sur nappe	<i>Non évalué (solution en tous les cas non rentable)</i>	1100 m ²	2400 m ²	<i>Non évalué (solution en tous les cas non rentable)</i>	3000 m ²

L'analyse détaillée pour les bureaux et les maisons de retraite est présentée en annexe § 5.3.2.2.

Les typologies favorables sont les mêmes qu'avec les PAC sur nappe : ce sont celles qui présentent un fort taux d'utilisation de la ressource, soit les hôtels et maisons de retraite. Pour ces typologies, la solution PAC sur sondes est plus rentable que la solution gaz ; elle est plus rentable que la solution PAC sur nappe pour de faibles surfaces.

Pour les bureaux, la solution PAC sur sondes entraîne un surcoût modéré.

Ce surcoût est plus important pour les logements et l'enseignement.

3 GEOTHERMIE PROFONDE

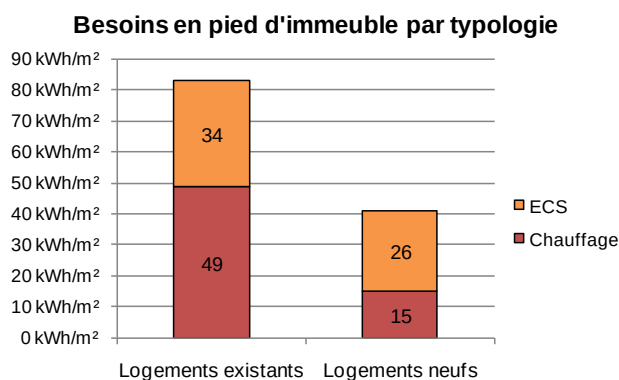
3.1 Estimation des besoins et puissances

Il s'agit cette fois non plus d'étudier un unique bâtiment, mais une zone dans sa globalité. L'étude est centrée sur les besoins de chaleur : chauffage et ECS. Sur une zone, les logements constituent la typologie la plus répandue, l'étude sera donc réalisée sur la base de profils de logements, et les seuils de rentabilité seront exprimés en nombre d'équivalents logements. Nous étudions deux types d'urbanisation :

- Logements neufs de niveau BBC ;
- Logements existants ; le niveau choisi correspond à une performance énergétique typique des années 90, ou encore d'un logement plus ancien ayant été rénové pour diminuer ses consommations énergétiques : double vitrage, isolation 8cm, ventilation auto-réglable (correspond à une classe énergétique C à D).

Estimation des besoins

Le graphique suivant donne les besoins à l'entrée du bâtiment (c'est-à-dire en incluant les pertes de distribution) dans ces deux cas :



On raisonnera dans la suite en termes d'**équivalents logements**, et on considérera qu'un logement typique a une surface de 70 m² soit :

- Un équivalent logement neuf = 5,8 MWh/an ;
- Un équivalent logement existant = 2,9 MWh/an.

Nota : la notion d'équivalent-logement présente l'avantage d'être parlante mais elle peut porter à confusion dans la mesure où sa définition n'a rien d'universel, ce qui est logique puisque les besoins de chaleur varient suivant l'époque de construction et la région.

Estimation des puissances

Les puissances nécessaires sont les suivantes :

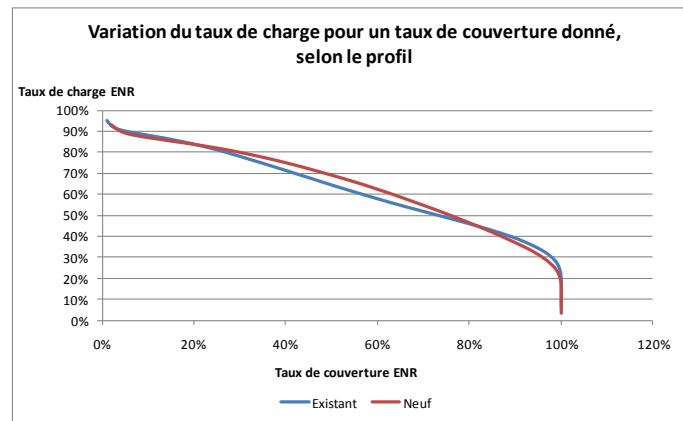
	Chauffage	ECS	Valeur retenue
Logements existants	40 W/m²	16 W/m²	40 W/m²
Logements neufs	24 W/m²	13 W/m²	24 W/m²

Les puissances d'ECS ont été déterminées sur la base d'un système à accumulation (temps de chauffe 5h). Le chauffage est dimensionnant. Une résistance électrique dans le ballon ECS pourra être prévue pour les cas exceptionnels où la puissance maximale de chauffage serait nécessaire pendant une longue durée.

Analyse des profils

Le taux de charge¹ des logements existants (24%), lorsque l'on s'intéresse à la puissance totale installée, est nettement supérieur à celui des logements neufs (11%). En conséquence, une installation centralisée de production de chaleur sans appoint est plus rentable si l'on y raccorde de l'existant que du neuf.

¹ Ratio Energie nécessaire / Energie totale que fournirait le système de chauffage s'il était toujours à pleine puissance (= Puissance installée * 8760h).



Cependant cet effet est fortement atténué si l'on utilise en appoint une installation peu coûteuse à l'investissement. En effet, pour un même taux de couverture par les énergies renouvelables, le taux de charge de l'installation d'énergies renouvelables est similaire pour nos deux profils, donc leur rentabilité est similaire (et il est même légèrement meilleur pour les bâtiments neufs lorsque le taux de couverture par les ENR se situe entre 20 et 80%).

3.2 Ressource disponible

Les sables infra-molassique présentent des caractéristiques très variables suivant la localisation. Nous étudions 5 cas principaux :

- Une ressource de 130m³/h à 30°C, à une profondeur de 600m ;
- Une ressource de 100m³/h à 40°C, à une profondeur de 1800m ;
- Une ressource de 50m³/h à 50°C, à une profondeur de 1500m ;
- Une ressource de 150m³/h à 60°C, à une profondeur de 1800m ;
- Une ressource de 80m³/h à 70°C, à une profondeur de 2200m ;

Ces cas sont déclinés suivant le type d'urbanisation (neuf / existant) et pour le premier cas suivant la qualité de l'eau (présence de sels), qui a un impact sur les coûts d'investissement et d'exploitation. Un tableau en annexe 5.1 récapitule les cas étudiés.

3.3 Description des solutions comparées

3.3.1 Solution de référence

Afin de pouvoir juger de l'intérêt d'une solution réseau de chaleur, nous la comparons de nouveau à une solution de référence classiquement mise en œuvre. Nous choisissons de faire la comparaison avec une solution gaz, qui couvre les besoins de chauffage et d'ECS. La géothermie implique la mise en place d'un réseau mais celui-ci ne présente pas d'intérêt lorsque l'on utilise du gaz, nous considérons donc une solution décentralisée (une chaufferie par bâtiment). Le rendement pris en compte est le même que pour la géothermie superficielle (95%).

3.3.2 Réseau de chaleur utilisant la géothermie

Puits géothermiques

L'eau est extraite d'un puits grâce à une pompe immergée. Afin de préserver la ressource, qui est considérée comme vulnérable en termes de production, et d'éviter toute contamination d'autres ressources par l'eau puisée, parfois fortement minéralisée, l'eau est réinjectée dans un second puits. Les forages sont déviés de manière à assurer une distance d'au moins 1000m entre puisage et rejet, tout en ayant des têtes de puits proches.

Nota : dans les zones où l'eau des SIM est potable, on pourrait imaginer exploiter un unique puits pour fournir à la fois de la chaleur et de l'eau potable, ce qui augmenterait fortement la rentabilité de la solution. Ce cas un peu particulier n'a pas été développé.

Boucle principale

Nous considérons que la géothermie est valorisée via une boucle d'eau à la température de la nappe. Lorsque celle-ci n'est pas suffisante pour couvrir les besoins de chauffage et ECS par échange direct de chaleur, des pompes à chaleur sont mises en place au niveau des sous-stations, dans chaque bâtiment, pour relever la température.

Cette solution présente plusieurs avantages par rapport à une production par pompe à chaleur centralisée :

- Elle limite les déperditions dans les réseaux (puisque la température de l'eau distribuée est plus faible) ;
- Elle permet d'adapter la température de l'eau produite aux besoins de chaque bâtiment, donc d'optimiser les rendements et de valoriser au mieux l'échange direct (plutôt que de produire en permanence l'eau à une température élevée pour répondre aux besoins du bâtiment le moins performant).

Un appoint centralisé est mis en place de manière à couvrir la totalité des besoins lors des périodes les plus critiques (grand froid...) ; il est ainsi possible de raccorder un plus grand nombre de bâtiments, et donc de valoriser au mieux la ressource géothermique. Nous considérons que cet appoint est réalisé au gaz.

Le débit de la boucle s'ajuste en fonction de la demande des sous-stations.

Lorsque les besoins sont supérieurs aux calories disponibles sur la nappe, l'appoint est déclenché de manière à maintenir la température de retour de la boucle supérieure à la température minimale de rejet sur la nappe, choisie de manière à éviter tout risque de gel (dans la modélisation nous tenons compte d'une température de rejet minimale de 10°C au niveau des sous-stations).

Sous-stations

Chaque sous-station comporte, en série :

- Un échangeur permettant la récupération directe de calories, lorsque la température de la boucle est supérieure à la température de retour ECS/chauffage ;
- Une première PAC utilisée, lorsque l'échange direct n'est pas suffisant, en priorité pour l'ECS et, lorsqu'il n'y a pas de besoins d'ECS, pour le chauffage ;
- Une seconde PAC utilisée pour le chauffage lorsque la première est déjà utilisée pour l'ECS, ou lorsqu'elle ne suffit pas à couvrir l'ensemble des besoins.

L'utilisation de deux PAC en série permet d'optimiser le rendement de la première PAC en ayant une température de rejet plus élevée sur cette PAC.

Le principe de régulation des différents éléments pris en compte est précisé en annexe 5.1.2.1 (la régulation sera à adapter au cas par cas, mais il était nécessaire de prendre des hypothèses pour la modélisation).

Cas particulier de l'échange direct seul

Lorsque la température de la nappe est supérieure à 65°C, il n'est pas nécessaire d'avoir recours à des pompes à chaleur, à condition qu'une température de 65°C suffise au chauffage.

Dans ce cas, la sous-station comporte uniquement la partie échange direct.

L'investissement est donc réduit, néanmoins on exploite moins les calories présentes dans la nappe et il est plus fréquemment nécessaire d'avoir recours à un appoint ; cette solution est donc moins performante du point de vue énergétique et environnemental.

Dans la suite, les résultats présentés supposent toujours la présence de PAC, même pour la nappe de température 70°C.

Schéma de principe simplifié du réseau (production et boucle principale)

Production centralisée

Appoint gaz

Nappe

Retour

Aller

Sous-station 1

Sous-station 2

LEGENDE



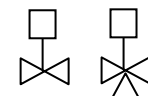
Echangeur



Pompe



Pompe à débit variable



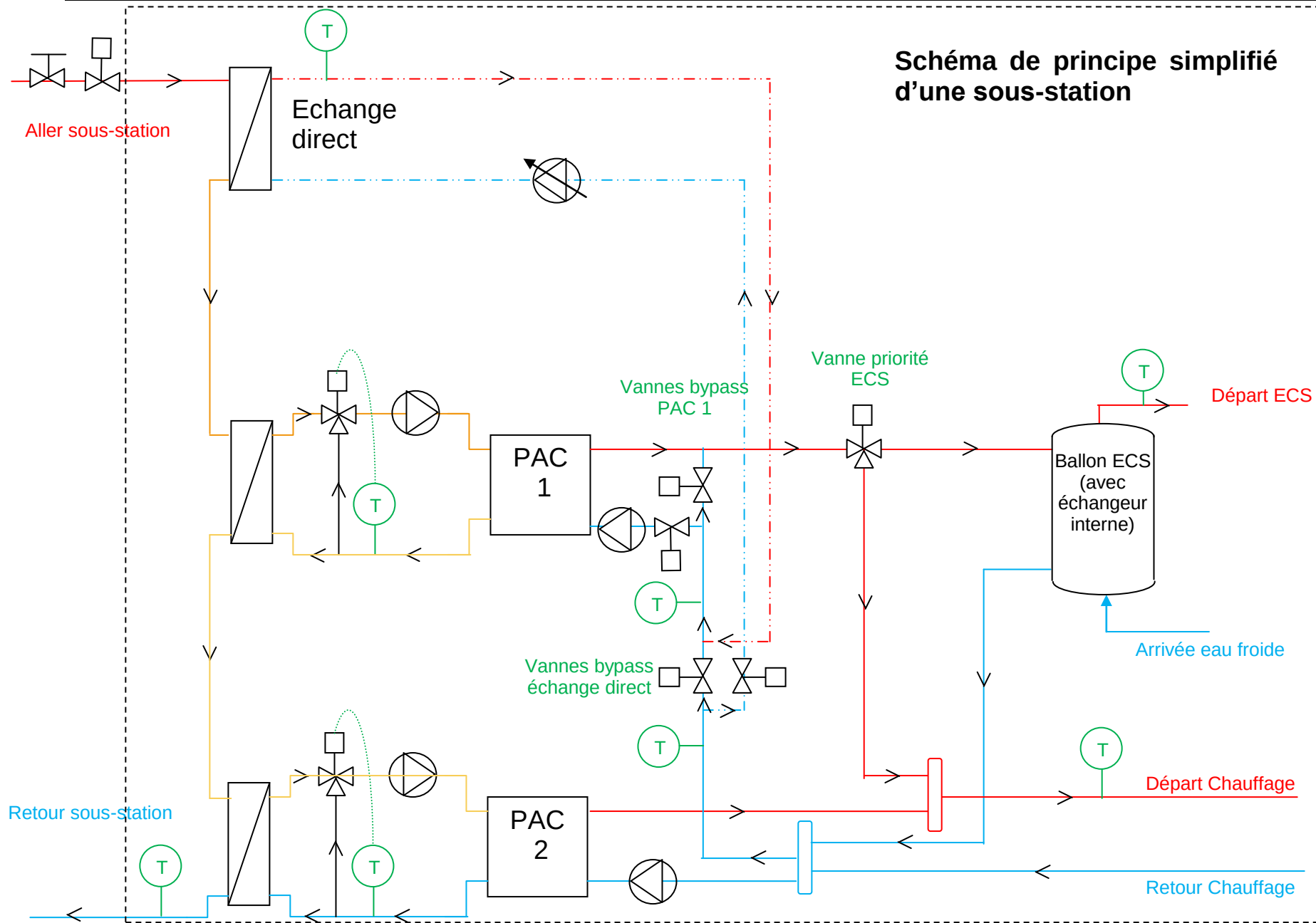
Vanne 2 voies ou 3 voies motorisée



Vanne d'équilibrage



Sonde de température



3.4 Bilan énergétique et environnemental

Le bilan énergétique et environnemental va varier en fonction de la part prise par l'appoint, et donc pour une ressource donnée, du nombre d'équivalents logements alimentés.

3.4.1 Préliminaire : qu'est ce qu'une solution performante ?

Deux critères nous semblent particulièrement importants au vu des enjeux actuels :

- L'**impact sur le réchauffement climatique**, dû aux émissions de gaz à effet de serre (GES) ;
- La **déplétion des ressources fossiles**, évaluée par la consommation en énergie primaire.

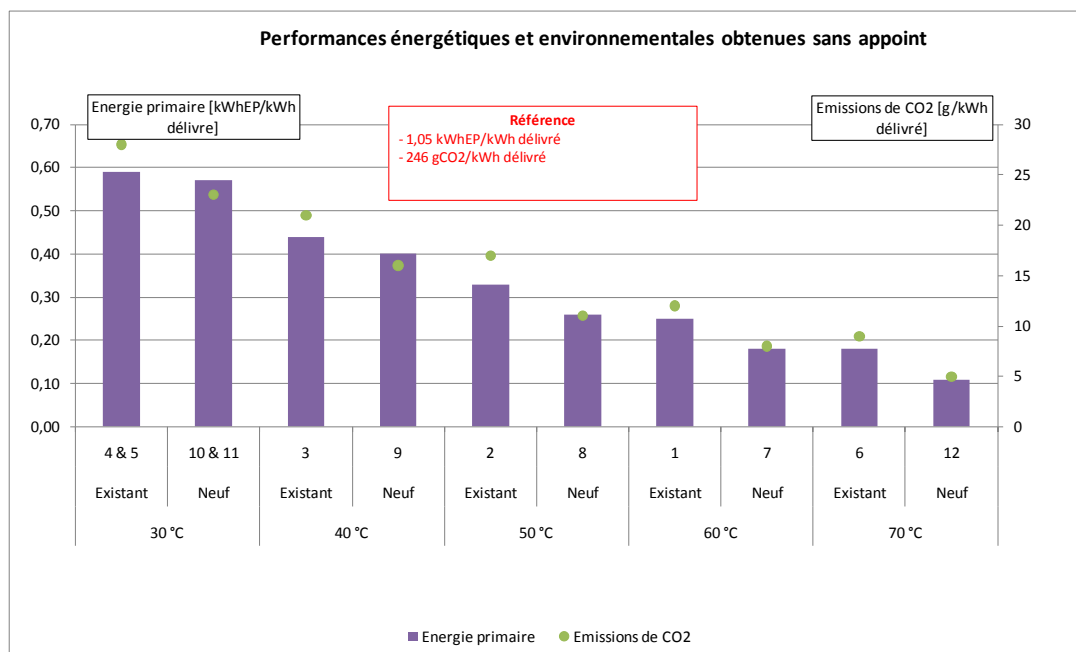
Nous ne présentons pas la production de déchets nucléaires, néanmoins avec des consommations en énergie primaire très réduites, les consommations d'électricité, et donc leurs impacts, sont également réduits.

Pour ces deux critères, il est délicat de définir des seuils absolus en deça desquels une solution est performante. Concernant les émissions de GES, nous proposons de retenir l'appartenance à la catégorie de réseaux de chaleur la plus performante selon la RT2012, soit une limite de 50 gCO₂/kWh. Concernant l'énergie primaire, nous proposons de fixer la limite, de manière partiellement arbitraire, à 0,7 kWh_{EP}/kWh_{deliv}¹.

Un autre critère courant pour les réseaux est celui de la **part d'énergies renouvelables** : au-delà de 50%, le raccordement au réseau peut être imposé pour les nouvelles constructions. Notre cas est un peu particulier : la boucle sera alimentée en majeure partie par la géothermie (disons au maximum à environ 20% par le gaz : au delà nous dépasserions le seuil d'émissions de GES fixé ci-dessus). Cependant il y a également une consommation d'électricité, conventionnellement considérée comme non renouvelable, au niveau des pompes à chaleur. Dans les cas les moins favorables (nappe à 30°C, bâti existant nécessitant des températures élevées, soit un COP moyen d'environ 4,5), en tenant compte des auxiliaires, la consommation d'énergie finale (non renouvelable) est de 0,33kWh/kWh délivré ce que l'on peut interpréter comme une proportion d'énergie renouvelable de 67%. Ce critère est donc bien vérifié dans tous les cas. Cependant nous préférons conserver le critère de l'énergie primaire.

3.4.2 Bilan énergétique et environnemental optimal

Dans un premier temps, nous présentons les performances atteintes lorsque la boucle d'eau est réchauffée uniquement par la géothermie, sans appoint.



¹ A titre de comparaison un réseau de chaleur alimenté à 80% au bois et 20% au gaz présente un coefficient d'environ 0,4 en tenant compte d'un coefficient de conversion de 0,2 pour le bois.

Le coefficient énergie primaire/énergie délivrée varie environ de 0,1 à 0,6, soit des économies de 40 à 90% par rapport à la solution de référence.

Les émissions de CO₂ par kWh sont très faibles dans tous les cas : elles sont comprises entre 5 et 30g CO₂ / kWh.

Plus la température de la nappe est élevée, plus la proportion de chaleur par échange direct est élevée et donc meilleurs sont les résultats.

Les bâtiments neufs présentent des résultats légèrement meilleurs. En effet, ils permettent plus l'échange direct ; la différence est plus nette encore pour les émissions de CO₂ du fait de la proportion plus importante d'eau chaude sanitaire dans les besoins de chaleur (or les consommations d'électricité pour cet usage entraînent moins d'émissions de CO₂ que celles liées au chauffage).

3.5 **Bilan économique**

3.5.1 **Préliminaire**

Les coûts et la viabilité économique d'une solution dépendent d'un nombre important de paramètres :

- « Techniques » : coût du forage et potentiel offert par la ressource ;
- Financiers, dépendant du type d'opérateur et du montage financier qu'il choisit ;
- Et enfin du nombre et des besoins de chaleur des bâtiments raccordés.

D'autres éléments propres au site peuvent l'influencer. Les résultats doivent donc être pris avec précaution et ne constituent en aucun cas une prévision pour un cas précis.

3.5.2 **Evaluation de l'investissement et des coûts d'exploitation**

3.5.2.1 Coûts énergétiques (R1 et R21)

Les coûts énergétiques sont déduits des consommations évaluées, en tenant compte des tarifs réglementés les plus adaptés (voir annexe 5.2.4.2). Note : en réalité, lorsque la part d'appoint est importante, l'achat direct sur les marchés de l'énergie peut permettre d'obtenir des prix plus faibles, mais le poids des coûts énergétiques dans le bilan étant limité, cela a un impact faible sur les résultats.

3.5.2.2 Coûts de maintenance et renouvellement (R22 et R23)

Les hypothèses prises sont précisées en annexe 5.2.4.3. Nous tenons compte d'un surcoût lorsque la nappe est salée. Notons qu'il s'agit d'une première approche et non d'une évaluation détaillée.

3.5.2.3 Investissement (R24)

Coûts des forages

Outre bien sûr la profondeur, le coût des forages dépend de divers paramètres tels que :

- les particularités des formations géologiques (nature des sous-sols, nombre de nappes traversées...) impactant le nombre de tubages techniques nécessaires,
- le débit,
- le caractère artésien ou non du puits,
- la qualité de l'eau,
- la technique employée pour les forages profonds (forage dévié ou non),
- la présence éventuelle de contraintes particulières.

Ces points peuvent modifier de manière importante le coût du forage.

Nous avons considéré des forages non déviés, sans difficulté particulière. Peu de forages profonds ont été réalisés récemment en Midi Pyrénées. Les prix ont donc été établis sur la base d'estimations fournies par des entreprises capables de réaliser ces ouvrages. Les coûts pris en compte sont indiqués en annexe 5.2.4.1.

Coûts du réseau

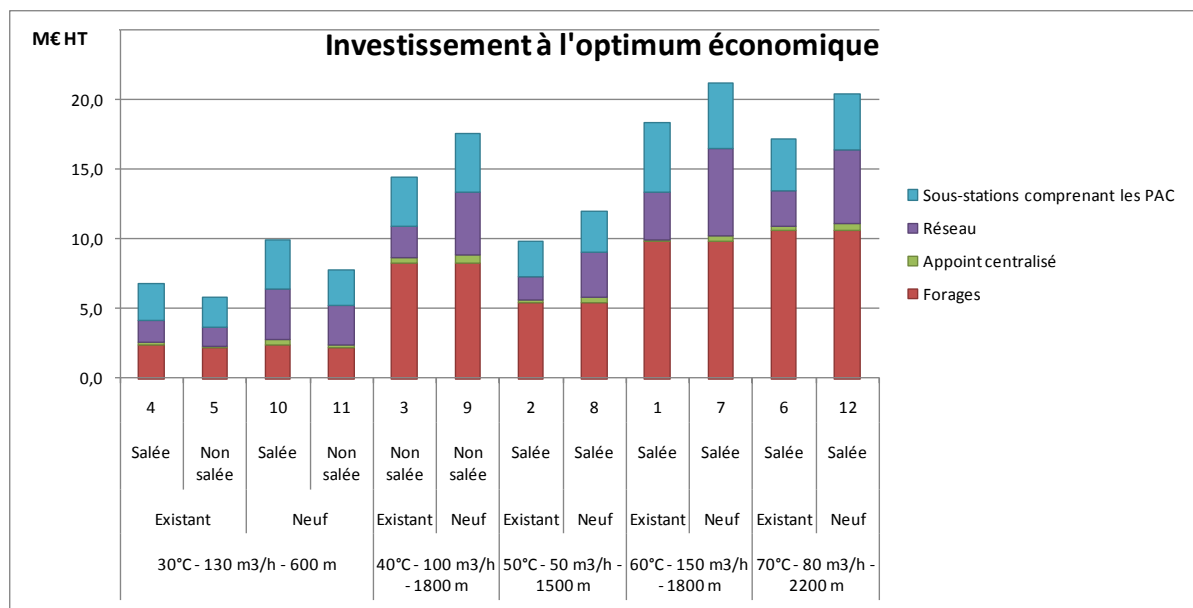
Les coûts ont été évalués en tenant compte de longueurs de réseaux correspondant à des zones urbaines (voir précisions en annexe 5.2.4.1) - en réalité, le coût du réseau dépendra de la configuration de la zone et de la complexité pour faire passer les réseaux. Nous avons considéré un coût plus élevé pour l'existant, car le génie civil y sera en général plus complexe.

Coûts des équipements

A ces coûts s'ajoutent le coût de la chaufferie d'appoint lorsqu'il y en a une, et le coût des sous-stations comprenant les pompes à chaleur, échangeurs pour l'échange direct, les circuits hydrauliques et la régulation.

Coûts totaux

La répartition des coûts entre ces différents postes dépend de la taille de la zone alimentée : plus elle est étendue, plus le poids du forage est réduit. Nous présentons ici cette répartition sur les cas les plus pertinents dégagés dans les paragraphes suivants (« optimum économique »).



Les **coûts d'investissement** (forage, réseau, productions) varient d'environ 6 M€ pour un projet dans l'Albien sur une zone existante de taille plus restreinte, à plus de 20 M€ pour les forages profonds sur des zones importantes.

Le **forage** représente de 25% à 60% des coûts, son poids est d'autant plus important que la nappe est profonde.

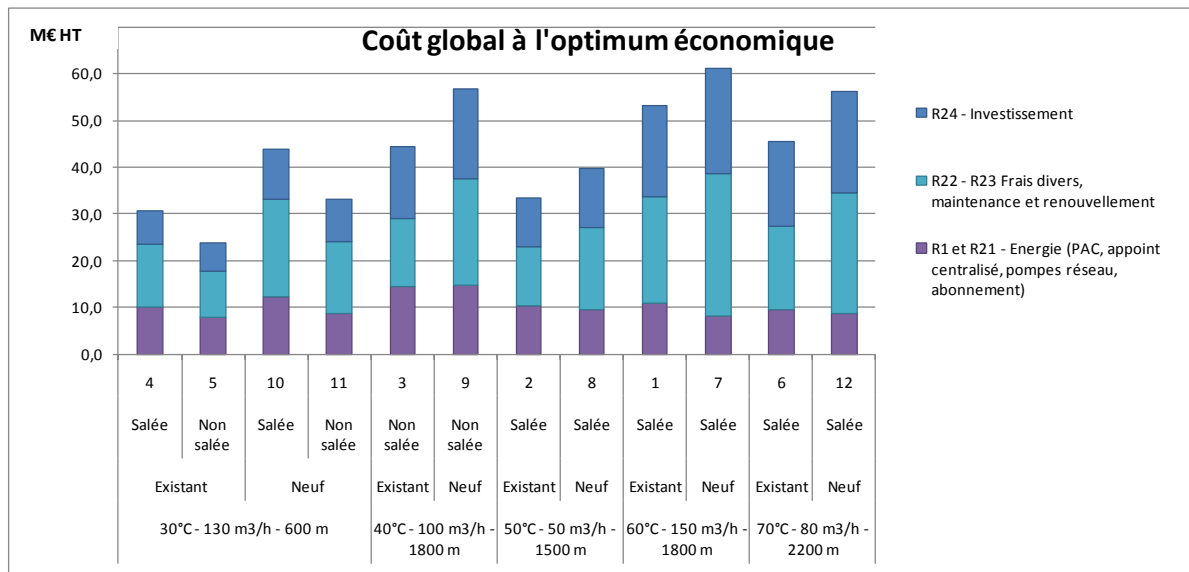
Le **réseau** a un poids plus important dans le neuf que dans l'existant, le nombre de m² alimentés étant plus important du fait des besoins plus faibles.

3.5.2.4

Bilans

La répartition du coût global entre les différents postes dépend fortement des hypothèses prises, comme nous le précisons ci après. Le graphique ci-dessous présente un exemple qui permet de comparer la solution de référence et la solution géothermie pour une configuration pertinente :

Le graphique ci-dessous précise pour chaque gamme la décomposition du coût global à l'optimum économique :



Pour une même ressource, les coûts sont sensiblement plus élevés pour les bâtiments neufs pour une quantité de chaleur distribuée généralement similaire. Cela tient essentiellement à un surcoût au niveau de l'exploitation (R22-R23) et dans une moindre mesure de l'investissement, du fait d'un nombre de sous-stations environ 2 fois supérieur et d'un réseau plus étendu.

La part des coûts fixes (R2) est très importante : elle représente environ 70 à 90% des coûts ; elle est d'autant plus élevée que la température de l'eau puisée est élevée (car alors l'énergie dépensée au niveau des PAC est faible).

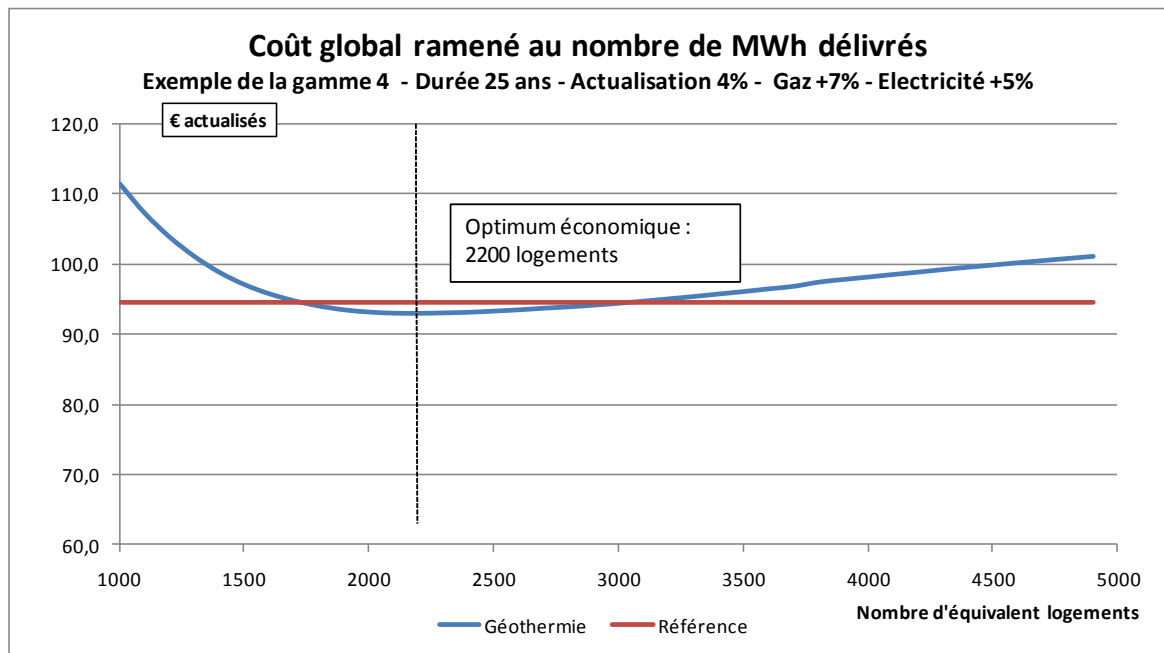
L'évolution des charges sera donc très faible, tandis qu'au contraire le prix de la solution de référence évoluera plus vite que l'inflation. Surtout, les coûts sont peu sensibles à l'évolution des coûts des énergies.

Le poids des coûts fixes pourra se refléter dans le tarif proposé aux abonnés au travers d'un abonnement élevé mais d'un coût au MWh faible.

Note : Le R22-R23 est relativement élevé en raison du coût de maintenance des PAC, qui sont nombreuses, en particulier dans les bâtiments neufs ou le nombre de bâtiments alimentés, du fait des faibles besoins, est très élevé. Nous avons considéré des coûts correspondant à une gestion classique bâtiment par bâtiment ; une maintenance centralisée par le gestionnaire du réseau permettrait probablement une diminution significative de ces coûts et donc une amélioration sensible de la rentabilité de la solution géothermie.

3.5.3 Optimum économique

Plus le nombre de logements connectés est élevé, mieux la ressource géothermique, qui fournit une énergie très peu coûteuse à l'exploitation, est utilisée. Cependant parallèlement une part de plus en plus grande de l'énergie doit être fournie par l'appoint, à un coût marginal élevé. Il existe donc un nombre d'équivalents logements optimal du point de vue économique, comme le montre la courbe ci-dessous :



Sous les hypothèses prises, la solution géothermie est rentable pour un nombre d'équivalents logements connectés d'environ 1700 à 2800, avec un optimum à environ 2200 équivalents logements existants.

Note : La valeur indiquée sur le graphique est le coût global actualisé divisé par le nombre total de MWh délivré sur la période d'analyse. Il ne s'agit pas d'un prix de vente moyen. Des valeurs obtenues sur des durées différentes ou avec des taux d'actualisation différents ne sont pas directement comparables. Le prix de vente initial dépendra du montage financier et son évolution sera indexée sur l'inflation et l'évolution du prix des énergies et pourra également dépendre du montage financier

Analyse de sensibilité

Il s'agit d'évaluer la sensibilité des résultats aux hypothèses prises, quand celles-ci varient dans une plage plausible. Les cas testés et les graphiques correspondants sont précisés en annexe 5.4.1.

La **plage de rentabilité** dépend bien sûr des hypothèses prises :

- Elle est d'autant plus grande que l'on suppose une hausse des coûts des énergies importante, et n'apparaît d'ailleurs dans certains cas qu'au-delà d'un certain niveau d'augmentation ;
- Elle augmente également avec la durée d'analyse (qui est en quelque sorte la durée d'amortissement) prise en compte, et est d'autant plus importante que les charges financières, traduites par le taux d'actualisation, sont faibles. Notons que les charges financières et la durée sur laquelle l'investissement doit être amorti diffèrent selon le gestionnaire du réseau.

L'**optimum économique en termes d'équivalents logements** est abaissé lorsque l'on fait varier les hypothèses dans un sens améliorant la rentabilité, et inversement.

La plage de rentabilité varie fortement suivant les hypothèses financières et relatives au coût de l'énergie ; l'optimum est nettement moins variable que la plage de rentabilité (variation de l'ordre de 20%).

3.5.4 Analyse de la rentabilité pour les différentes gammes de ressource

La rentabilité de la solution géothermie par rapport à la solution de référence, pour les différentes gammes de ressource étudiées, est évaluée dans différents schémas :

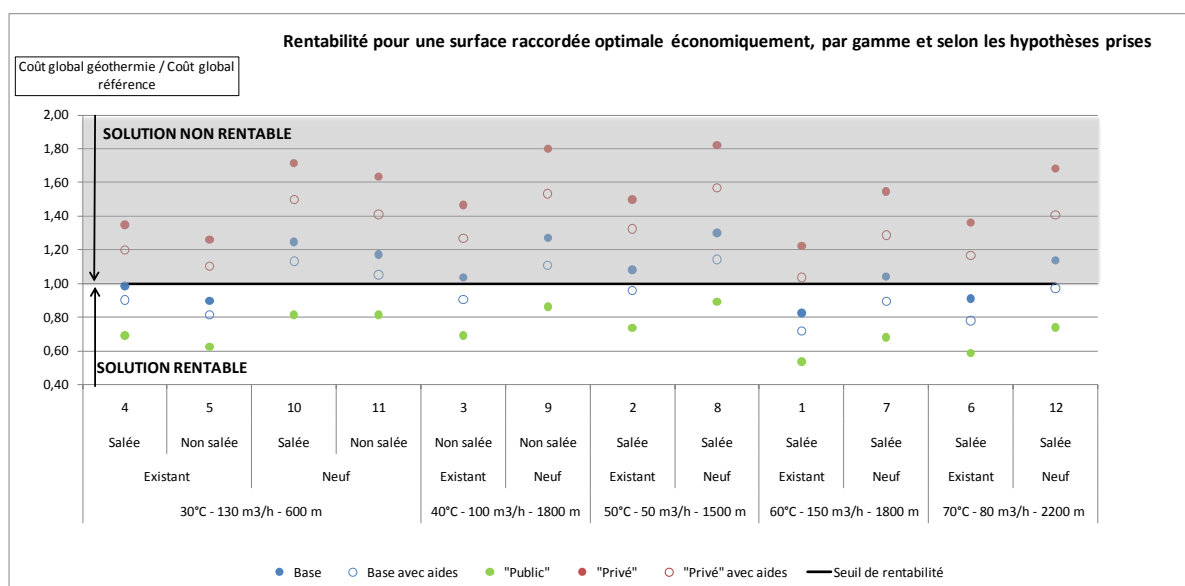
- Un cas moyen, appelé « base »,

- Un cas où l'investissement est amorti sur une période plus longue, ce qui pourrait par exemple être le cas si une collectivité réalise l'investissement, appelé « public » (cas favorable) ;
- Un cas où les évolutions des coûts des énergies prise en compte sont plus prudentes, et où le taux d'actualisation est plus élevé (coût de l'argent plus élevé), appelé « privé » (cas défavorable).

Le tableau ci-dessous résume les hypothèses prises :

	Base	« Public »	« Privé »
Durée d'amortissement	25 ans	40 ans	25 ans
Taux d'actualisation	4%	4%	8%
Evolution du coût du gaz	7%	7%	5%
Evolution du coût de l'électricité	5%	5%	3%

Le graphique ci-dessous présente les ratios coût global géothermie/coût global référence dans les différents cas ; une valeur supérieure à 1 signifie donc que la solution n'est pas rentable même lorsque la zone desservie est optimale. Sauf précision contraire, les valeurs indiquées ne prennent pas en compte d'aides.



Note : on suppose que des pompes à chaleur sont mises en place au niveau des sous-stations y compris pour les nappes à température élevée.

On retrouve le fait que les résultats sont très variables selon le schéma retenu.

Dans le cas de **base** :

- **dans l'existant** la solution géothermie avec une surface de bâtiment raccordée idéale est toujours rentable à condition d'obtenir des aides, et n'entraîne dans les cas les moins favorables qu'un léger surcoût sans aides (inférieur à 10%). La ressource est donc exploitable à condition de trouver un débouché adéquat pour la chaleur.

- **dans le neuf** les seules ressources permettant d'atteindre la rentabilité, y compris en tenant compte des aides, sont celles de températures élevées (60/70°C). Une nappe au contraire à basse température mais peu profonde (cas 11) avec une bonne qualité d'eau permet d'être proche de la rentabilité avec aides. Dans les autres cas, le surcoût reste d'environ 10 à 20% avec aides.

Si l'on prend en compte une durée d'amortissement de 40 ans (cas « **public** »), toutes les gammes sont rentables sans aides, et les gains sont de l'ordre de 10 à 40%.

Par contre, avec des hypothèses plus prudentes sur l'évolution des coûts des énergies et une exigence de rentabilité plus élevée (cas « **privé** »), aucune gamme n'est rentable. Seul un cas est proche de la rentabilité, en tenant compte d'aides (gamme 1 : nappe à 1800m permettant d'obtenir 150 m3/h à 60°C, alimentant de l'existant).

Bien que la part d'échange direct soit plus élevée dans les bâtiments neufs, le surcoût à l'investissement et à l'exploitation dû à la nécessité de raccorder un nombre très important de bâtiments pour exploiter convenablement la chaleur dégrade sensiblement la rentabilité.

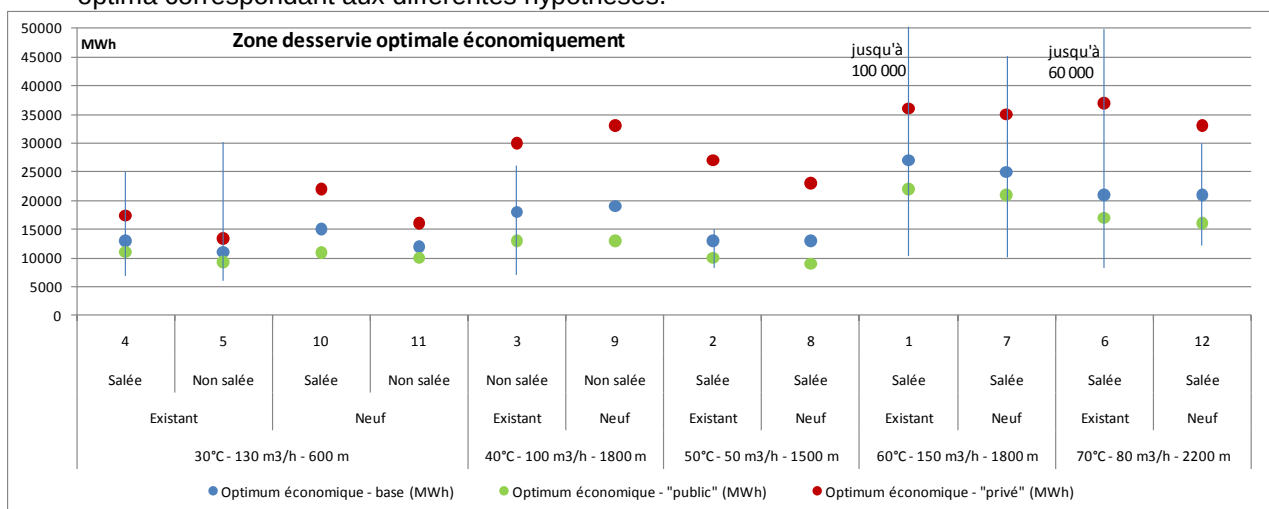
Il n'y a pas de relation simple entre le rapport coût du forage / puissance fournie par la nappe (qui dépend de sa température et de son débit) et la rentabilité : malgré un coût au kW beaucoup plus élevé pour les gammes présentant une température élevée, la rentabilité est meilleure car la part d'échange direct est plus importante.

3.6 Dimensions de projet adéquates

Afin de permettre une comparaison plus facile des résultats pour le neuf et l'existant, les « tailles » de zones à desservir seront présentées en MWh de besoins de chaleur ; elles peuvent être aisément converties en m² ou équivalents logements en utilisant les valeurs présentées en § 3.1.

3.6.1 Tailles de projet optimales du point de vue économique

Le graphique ci-dessous présente les tailles de projet optimales du point de vue économique ; le trait noir représente la plage de rentabilité dans les hypothèses de base (avec aides), les points les optima correspondant aux différentes hypothèses.



La plage de rentabilité de la solution géothermie est, lorsque la solution est rentable, généralement relativement large ; elle l'est d'autant plus que la solution est plus rentable à l'optimum.

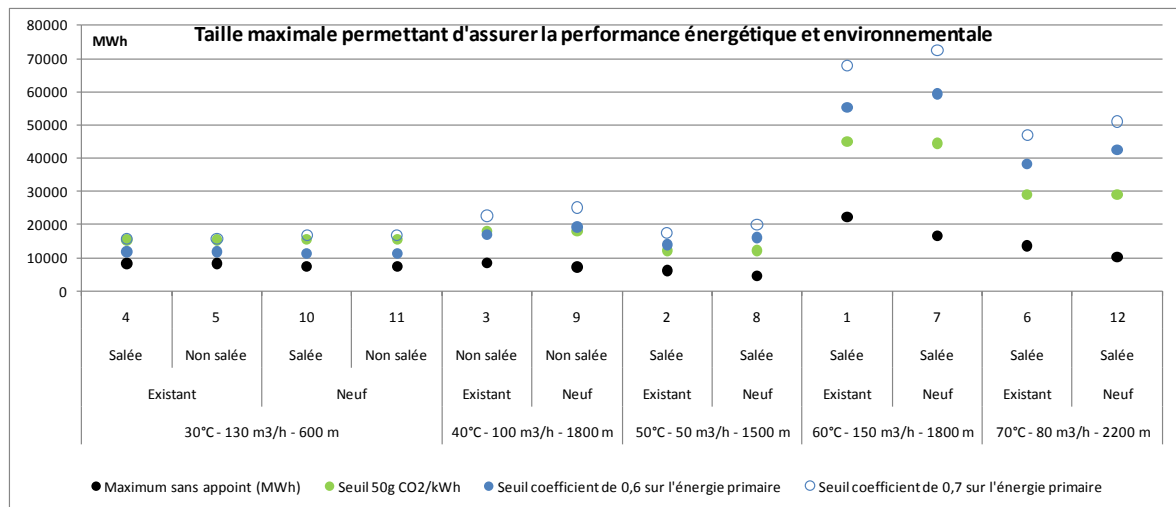
Le minimum de rentabilité se situe généralement autour de 10 000 MWh délivrés par an (soit environ 1700 équivalents logements existants).

Les optima dans les hypothèses base et « public » sont relativement proches, dans l'hypothèse « privé » l'optimum est significativement supérieur (ce qui tient notamment aux hypothèses d'évolution plus faibles des coûts de l'énergie).

3.6.2 Taille maximale garantissant la performance énergétique et environnementale

Le graphique ci-dessous indique la taille de zone desservie maximale permettant de garantir :

- Des émissions de GES inférieures à 50g CO₂/kWh ;
- Un coefficient énergie primaire consommée / énergie finale inférieur à 0,6 ou 0,7.



Le critère coefficient énergie primaire < 0,6 et émissions de GES < 50g CO₂/kWh sont proches pour les nappes de température inférieure ou égale à 50°C. Au-delà, la part d'échange direct est plus élevée ce qui réduit les consommations d'électricité et donc d'énergie primaire, et le critère des émissions de GES devient plus restrictif. Le critère des émissions de GES suffit à garantir un coefficient énergie primaire / énergie finale < 0,7, nous proposons donc de retenir ce seul critère.

La taille maximale des zones pouvant être alimentée est de :

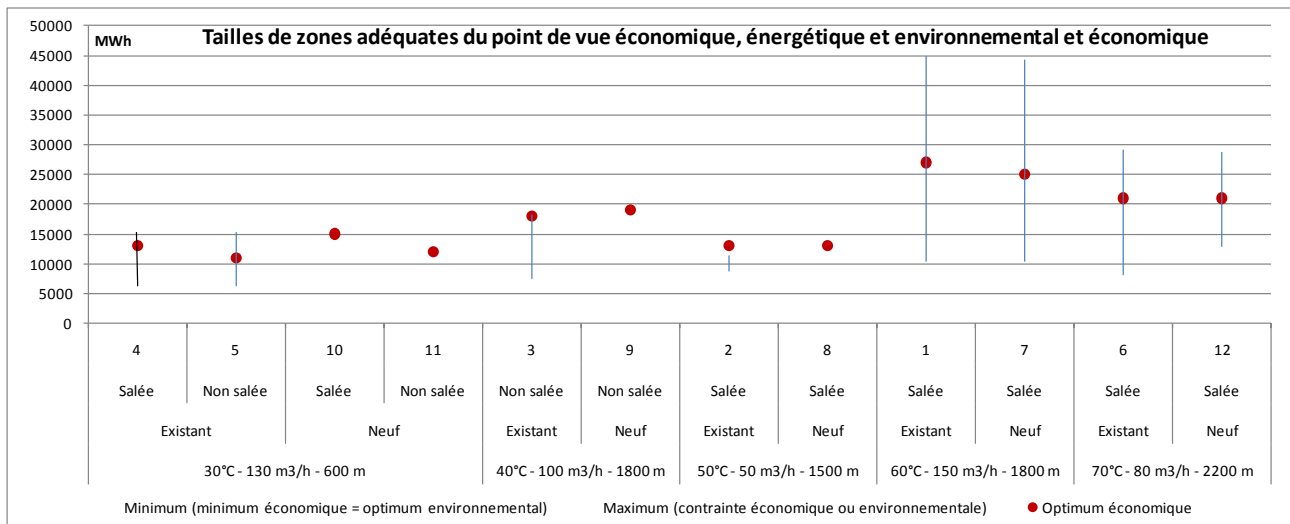
- environ 15 000 MWh pour une ressource de 130 m³/h à 30°C ;
- environ 20 000 MWh pour une ressource de 100 m³/h à 40°C ;
- environ 12 000 MWh pour une ressource de 50 m³/h à 50°C ;
- environ 45 000 MWh pour une ressource de 150 m³/h à 60°C ;
- environ 30 000 MWh pour une ressource de 80 m³/h à 70°C.

Notons que ces seuils correspondent à des solutions très performantes, et qu'alimenter une zone plus grande en dégradant légèrement ces performances reste possible.

3.6.3 Conclusion : dimensions adéquates et performances obtenues

Nous avons étudié les performances pour une surface optimale du point de vue énergétiques et environnemental d'une part, et du point de vue de la rentabilité de l'autre. Il convient donc de déterminer les surfaces, ou plutôt les besoins de chaleur, permettant d'obtenir le meilleur compromis.

Le graphique ci-dessous indique la plage correspondant au croisement des différents critères : rentabilité dans les hypothèses de base (avec aides) et haute performance énergétique et environnementale (émissions de GES < 50g CO₂/kWh), et rappelle l'optimum économique :



A condition qu'il existe une plage de rentabilité, les contraintes économiques, énergétiques et environnementales sont compatibles. Si on choisit dans la plage de tailles possibles l'optimum économique (toujours compatible avec les contraintes environnementales, sauf dans le cas de la gamme 2 où il est très légèrement supérieur), la taille idéale se situe autour de :

- 15 000 MWh pour une ressource de 130 m³/h à 30°C salée ;
- 10 000 MWh pour une ressource de 130 m³/h à 30°C non salée ;
- 20 000 MWh pour une ressource de 100 m³/h à 40°C ;
- 15 000 MWh pour une ressource de 50 m³/h à 50°C ;
- 25 000 MWh pour une ressource de 150 m³/h à 60°C ;
- 20 000 MWh pour une ressource de 80 m³/h à 70°C.

4

CONCLUSION

Potentiel d'exploitation de la géothermie superficielle

L'exploitation de la géothermie superficielle est très intéressante du point de vue énergétique et environnemental. Les PAC sur nappe permettent une réduction de la consommation en énergie primaire par rapport à la solution de référence allant de 25 à 40 % selon les typologies (en énergie finale, l'écart est encore bien plus important). Les émissions de gaz à effet de serre sont quant à elles réduites de 70 à 90%. Les PAC sur sonde offrent des performances presque aussi intéressantes. Notons que la surface maximale de projet alimentable sur un site est proportionnelle au débit disponible (avec un coefficient propre à chaque typologie), et se détermine donc très facilement.

Sur le plan économique, la rentabilité est variable suivant les typologies. Pour l'utilisation de PAC sur nappes, en raison du poids du forage dans le coût global, il est de plus nécessaire que les projets dépassent une certaine taille pour qu'ils puissent être rentables. Il faut en outre que la ressource obtenue soit suffisante pour rendre l'investissement intéressant. Pour toutes les typologies, il existe des conditions dans lesquelles l'utilisation d'une PAC sur nappe est rentable, mais celles-ci sont plus ou moins fréquemment vérifiées selon les typologies :

- pour les maisons de retraite et hôtels, qui présentent de forts besoins (chauffage, ECS, froid pour les hôtels) tout au long de l'année, ainsi que pour les bureaux, pour lesquels la PAC sert à la fois à la production de chaleur et à la production de froid, les valeurs sont facilement atteintes : les débits nécessaires sont de 3 à 10 m³/h pour des surfaces minimales variant entre 700 et 1200 m².
- Pour les logements, qui présentent des besoins plus modérés, il est nécessaire pour atteindre la rentabilité d'avoir un ensemble de taille relativement conséquente, d'environ 4900 m² (soit de l'ordre de 70 logements) ; le débit nécessaire est de 13 m³/h.
- Les bâtiments d'enseignement sont moins favorables du fait de besoins limités (peu d'ECS) ; la rentabilité est atteinte uniquement pour les grands projets (>8 200m²), et à condition d'avoir une ressource relativement importante (>27m³/h).

Ces résultats sont valables sous les hypothèses financières et les hypothèses d'évolution des coûts des énergies précisées ; ces hypothèses sont critiques pour les projets moins favorables (logements, enseignement), tandis qu'elles ont un impact plus limité pour les autres typologies.

A la différence de la solution PAC sur nappe, il y a peu d'effet d'échelle pour la solution PAC sur sondes car le nombre de sondes s'adapte à la surface du bâtiment. Pour de petites surfaces, la solution PAC sur sondes peut donc être moins coûteuse. Néanmoins le coût d'investissement pour les sondes est élevé au regard de la puissance offerte, ce qui rend cette solution plus difficilement rentable. Elle n'est intéressante par rapport à la solution de référence que dans le cas des maisons de retraite et hôtels ; c'est pour ces typologies la solution la plus intéressante en deça de, respectivement, 2 400 et 3 000 m².

Potentiel d'exploitation de la géothermie profonde

Du point de vue énergétique et environnemental, l'exploitation de la géothermie profonde est encore plus favorable du fait du niveau de température plus élevé. Les économies en énergie primaire sont de 40 à 90% par rapport à la solution de référence, les émissions de CO₂ sont réduites de plus de 80%. Les performances obtenues sont donc très attractives pour les maîtres d'ouvrage visant une labellisation ou même simplement le respect de la RT 2012 : coefficient de conversion réel énergie primaire/énergie délivrée de 0,1 à 0,6 et émissions de CO₂ inférieures à 50g CO₂/kWh donnant droit à une consommation d'énergie plus importante. De plus, ces performances sont atteintes y compris pour les bâtiments existants, malgré des niveaux de température d'eau distribuée plus élevés. Plus la température de la nappe est élevée, plus la proportion de chaleur par échange direct est élevée et donc meilleurs sont les résultats.

Plus encore que dans le cas de la géothermie superficielle, les hypothèses financières prises (taux d'actualisation, durée d'amortissement et taux d'évolution des coûts des énergies) prises ont un impact important sur les résultats, car un réseau possède une durée de vie importante. Or ces hypothèses dépendent du type de gestionnaire de réseau, ce qui rend relativement complexe l'évaluation a priori de la rentabilité. De plus, il s'agit de cas d'études ; un projet réel différera probablement de ces cas sur de nombreux points (densité des bâtiments, complexité du forage...) ce qui peut modifier de manière significative les résultats. Nous pouvons néanmoins dégager des grandes lignes.

Sous des hypothèses « moyennes », les différentes ressources étudiées peuvent être exploitées de manière rentable à condition que le projet bénéficie d'aides et qu'il existe un débouché suffisant à proximité pour la chaleur dans des bâtiments existants ; sans aides, le surcoût reste inférieur à 10% par rapport à une solution classique. Les ressources les plus favorables parmi celles étudiées sont celles de températures élevées (60/70°C) ou au contraire les nappes à basse température (30°C) peu profondes.

Dans le neuf, la rentabilité n'est atteinte, avec aides, que dans ces cas favorables, même avec des aides ; dans les autres cas, le surcoût est de 10 à 20%. Les coûts d'investissement et d'exploitation sont en effet sensiblement supérieurs car il faut connecter plus de bâtiments pour un même niveau d'exploitation de la ressource – notons néanmoins que nous ne tenons pas compte dans l'étude du fait que les coûts de génie civil pour les réseaux peuvent être réduits si l'installation se fait lors de la création de la zone, et que nous considérons des zones de densité égales. Une zone neuve très dense peut convenir, et sera préférable à une zone d'existant peu dense.

Si l'on prend en compte une durée d'amortissement de 40 ans (cas « **public** »), toutes les gammes sont rentables sans aides, et les gains sont de l'ordre de 10 à 40%. A l'inverse, avec des hypothèses plus prudentes sur l'évolution des coûts des énergies et une exigence de rentabilité plus élevée (cas « **privé** »), aucune gamme n'est rentable. Seul un cas est proche de la rentabilité, en tenant compte d'aides (gamme 1 : nappe à 1800m permettant d'obtenir 150 m³/h à 60°C, alimentant de l'existant).

Le débouché optimal - qui lui dépend moins des hypothèses financières prises - varie de 10-15 000 MWh (de l'ordre de 2000 équivalents logements existant) pour les nappes les moins profondes à 20-25 000 MWh (environ 4000 équivalents logements existants) pour les nappes à haute température. Il s'agit donc dans tous les cas d'opérations de grande envergure.

Les coûts d'investissement (forage, réseau, productions) pour ces tailles optimales varient d'environ 6 M€ pour un projet dans l'Albien sur une zone existante de taille plus restreinte, à plus de 20 M€ pour les forages profonds sur des zones importantes. Le forage représente de 25% à 60% des

coûts, son poids est d'autant plus important que la nappe est profonde. La part des coûts fixes - investissement mais également maintenance et renouvellement - dans les coûts d'exploitation est très importante (70 à 90% des coûts).

5 ANNEXES

5.1 Précisions relatives aux solutions étudiées

5.1.1 Caractéristiques de la ressource en géothermie profonde : cas types étudiés

Le tableau ci-dessous récapitule les gammes de valeur étudiées.

N°	Q en m3/h	Profondeur de foration (m)	T°C moyenne	Chimie Eau	Bâti
1	150	1800	60	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Existant
2	50	1500	50	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Existant
3	100	1800	40	Eau non salée	Existant
4	130	600	30	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Existant
5	130	600	30	Eau non salée	Existant
6	80	2200	70	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Existant
7	150	1800	60	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Futur
8	50	1500	50	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Futur
9	100	1800	40	Eau non salée	Futur
10	130	600	30	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Futur
11	130	600	30	Eau non salée	Futur
12	80	2200	70	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	Futur

5.1.2 Fonctionnement et modélisation du réseau de chaleur exploitant la géothermie profonde

5.1.2.1 Régulation

Boucle principale

Note : On suppose ici que l'énergie supplémentaire fournie par l'appoint est délivrée en augmentant la température de la boucle. On pourrait imaginer alternativement une augmentation du débit.

- **Débit nappe :**
Débit maximal sauf si $\Delta T_{\text{ALLER-RETOUR}} \leq 3^{\circ}\text{C}$, auquel cas on réduit le débit jusqu'à obtenir une différence de 3°C (objectif : éviter les consommations de pompes superflues)
- **Débit boucle :**
Débit variable de manière à assurer toujours la même pression ; le débit s'adapte donc automatiquement en fonction du niveau d'ouverture des électrovannes des sous-stations ; il est égal à la somme des débits « demandés » par les sous-stations. Le débit nominal permet de fournir à l'ensemble des sous-stations la puissance souscrite (avec un coefficient de foisonnement).
- **Déclenchement appoint :**
Lorsque débit nappe maximal et $T_{\text{RETOUR}} \leq T_{\text{MINIMALE DE REJET SUR LA NAPPE}}$
(Puissance permettant de ramener T_{RETOUR} à $T_{\text{MINIMALE DE REJET SUR LA NAPPE}}$)

Les vannes d'équilibrage placées en entrée de chaque sous-station, qui sont réglées à la livraison des sous-stations, permettent d'assurer l'équilibrage de la boucle, en adéquation avec les puissances souscrites par les différents utilisateurs.

Sous-station

- **Electrovanne sous-station :**
 - o En base, position précalculée qui permet que le débit du réseau ne dépasse pas celui de la nappe.

- Si $T_{\text{RETOUR SOUS STATION}} \leq T_{\text{MINIMALE DE REJET SUR LA NAPPE}}$ (cas « besoins élevés »), ouverture augmentée de manière à ce que la température de retour de la sous-station repasse au dessus de la valeur minimale
- Si $\Delta T_{\text{ALLER-RETOUR SOUS STATION}} \leq 3^{\circ}\text{C}$ (cas « besoins faibles »), on réduit l'ouverture jusqu'à obtenir une différence de 3°C ou atteindre la fermeture complète
- **Echange direct :**
 - **Vanne bypass échange direct :** ouverte dès que la température de retour ECS/chauffage est supérieure à la température de la boucle en entrée de sous-station
 - **Pompe :** allumée lorsque vanne bypass fermée, débit asservi à celui de la sous-station.
- **PAC1 :** déclenchement de manière à assurer les températures de départ ECS et Chauffage voulues ; si non nécessaire, vanne ouverte pour bypass
- **Vanne priorité ECS :** permet de répondre en priorité aux besoins d'ECS par l'échange direct et/ou PAC 1
- **Déclenchement PAC 2 :** si PAC 1 utilisée pour l'ECS ou déjà à pleine puissance, déclenchement de PAC 2 pour assurer la température départ chauffage voulue
- **Boucles évaporateurs PAC 1 et 2 :** vanne 3 voies permettant de limiter la température à l'évaporateur

Note : l'optimisation de la régulation du débit au niveau des sous-stations est une question complexe car l'optimum technique dépend du fonctionnement de l'ensemble des sous-stations.

L'ajustement du débit au niveau des sous-stations permet de réduire les consommations des pompes du réseau et surtout d'éviter que le débit de la boucle devienne supérieur à celui de la nappe, ce qui aurait automatiquement pour conséquence que la température sur la boucle serait inférieure à celle de la nappe. On considère qu'un débit de base tel que le débit de la boucle ne dépasse pas celui de la nappe est attribué à chaque sous-station, et que ce débit n'est dépassé que lorsque c'est nécessaire pour fournir les calories voulues à la sous-station (c'est à dire quand la température de rejet de la sous-station devient trop basse).

Cet ajustement ne présente pas d'intérêt direct pour l'utilisateur de la sous-station mais celui-ci peut être incité à le faire par la tarification (prise en compte du volume d'eau transitant par la sous-station et non uniquement des calories consommées). La régulation optimale sera en réalité variable selon les utilisateurs (exploitation plus ou moins importante de l'échange direct notamment).

5.1.2.2 Hypothèses de modélisation**RESSOURCE HYDROGEOLOGIQUE**

Température nappe	selon gamme considérée
Débit nappe	selon gamme considérée
Profondeur	selon gamme considérée
Profondeur de pompage	100 m
Proportion du débit en deçà de laquelle le puits fonctionne en artésien	30%
Température minimale de rejet dans la nappe	10 °C

APPOINT CENTRALISE GAZ

Rendement sur PCI	95%
température de la nappe sont faibles le rendement sera amélioré	

RESEAURégimes des température

Déperditions dans la boucle :	$1+(5-1)/(70-30)*(Température_nappe-30)$ °C
Température maximale autorisée sur la boucle	90 °C

Pertes de charge

Pertes de charge du réseau	20 mmCE/m
Pertes de charge par sous-station	60 kPa

Pompes

Pompe de forage	1
Nombre de pompes en cascade sur réseau	4

<u>Taux de charge</u>	<u>Rendement</u>
0%	0,46
28%	0,46
34%	0,54
40%	0,59
50%	0,67
60%	0,73
70%	0,77
80%	0,79
90%	0,8
100%	0,8

Note : il s'agit pour les pertes de charge et les pompes d'hypothèses en première approche destinées à évaluer le poids des consommations d'auxiliaires.

REGULATION DES DEBITS

ΔT minimal entrée-sortie SST	3 °C
ΔT minimal sur la nappe	3 °C

TEMPERATURES DE DISTRIBUTION DE L'EAU POUR LE CHAUFFAGE DANS LES BÂTIMENT

Text / Tdistrib	Existant	Neuf
-5°C (température de base)	60	45
15°C	30	30
Variation Aller/retour en °C	10	10

POMPES A CHALEUR

Température de rejet maximale à l'évaporateur	20 °C
Delta T à l'évaporateur	5 °C
COP = $(-0,0024*Tdistrib+0,2292)*Trejet+12,25*exp(-0,028*Tdistrib)$	
P = $(-0,0137*Tdistrib+2,0994)*Trejet-0,1497*Tdistrib+49,037$	

5.2 Hypothèses utilisées pour l'évaluation du bilan environnemental et financier

5.2.1 Bilan environnemental

Les hypothèses retenues pour les émissions de CO₂ sont :

- 234gCO₂/kWh pour le gaz en chauffage et en production d'ECS
- 180gCO₂/kWh pour l'électricité en chauffage
- 40gCO₂/kWh pour l'électricité en production d'ECS et de froid
- 110gCO₂/kWh pour les auxiliaires.

(valeurs issues de l'arrêté du 18 décembre 2007 relatif aux études de faisabilité des approvisionnements en énergie des bâtiments neufs, hormis la valeur pour les auxiliaires, que l'on choisit intermédiaire entre les valeurs précédentes).

Les émissions liées au fluide frigorigène sont basés sur l'hypothèse de l'utilisation de R410a (GWP = 1720 kgCO₂/kg). Les quantités suivantes (pour un débit de 20 m³/h) sont considérées 20 kg pour les bureaux et de 15 kg pour l'ensemble des autres typologies.

5.2.2 Bilan financier – généralités

5.2.2.1 Bases de calcul

On considère un taux d'inflation de 2%.

Le taux d'actualisation est indiqué au cas par cas. On suppose que l'investissement correspond en totalité à un emprunt réalisé à un taux d'intérêt égal au taux d'actualisation.

On considère que les frais généraux ainsi que les abonnements énergétiques évoluent au rythme de l'inflation ; nous considérons pour l'évolution du coût des énergies différentes hypothèses précisées au cas par cas.

5.2.2.2 Aides

Les montants d'aides sont déterminés au cas par cas, l'objectif étant d'atteindre un coût de la chaleur renouvelable pour l'utilisateur inférieur de 5% à celui obtenu avec une solution conventionnelle. L'ADEME indique néanmoins un ordre de grandeur de cette aide (document méthode de calcul du niveau d'aide 2010 datant du 09/07/2010). Nous nous sommes appuyés sur ces éléments pour estimer le niveau d'aide qu'il est envisageable d'obtenir. Cependant il ne peut s'agir que de premières estimations et les mécanismes d'aide sont susceptibles d'être révisés, ces données sont donc à considérer avec précaution.

Pour la partie PAC sur eau de nappe

L'aide peut couvrir de l'ordre de 40% des dépenses éligibles, c'est à dire la différence entre les dépenses liées à l'opération et les dépenses pour une installation classique à combustible fossile couvrant les mêmes besoins. Il est indiqué que cela correspond à un niveau d'aide compris entre 1000 et 2500 €/tep sortie installation/an.

Pour la partie réseau de chaleur

Le soutien au réseau est une aide à l'investissement qui s'élève à 60% de l'investissement réseau avec un plafond de 600 € /mètre linéaire de canalisation -((aller + retour)/2 (soit une assiette maximale de 1000€/ml). Les équipements pris en compte dans l'assiette de l'aide au réseau sont les pompes en chaufferie qui alimentent le réseau, le système de régulation de température et débit du réseau, le génie civil pour les tranchées, les tuyaux isolés, les équipements.

5.2.3 Bilan financier – géothermie superficielle

5.2.3.1 Coûts énergétiques (P1)

Pour la solution gaz, on considère un tarif B2S :

- o Abonnement : 916,32 €
- o Energie : 0,02825 €/HT/kWh en été, 0,04288 €/HT/kWh en hiver (+0,00119€/kWh TICGN, en considérant le tarif clients non résidentiels)

Pour l'électricité, on considère un tarif jaune :

Prix hors taxes ^(a) au : 15/08/2010**TARIF JAUNE - OPTION BASE**
en métropole continentale

	Version	Prime fixe annuelle €/kVA	Prix de l'énergie (c€/kWh)				
			Pointe	Hiver HPH	HCH	HPE	Eté HCE
JAUNE	UL	41,28	8,706	8,706	6,216	4,046	2,867
OPTION BASE	UM	29,16	10,098	10,098	7,063	4,082	2,908
Coefficients de puissance réduite			1,00	0,77	0,77	0,77	0,77
ou UL			1,00	1,00	0,39	0,39	0,39
ou UL			1,00	1,00	1,00	0,23	0,23
UM			1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Calcul des dépassements			12,80				
Hiver			de novembre à mars inclus				
Eté			d'avril à octobre inclus				
Pointe en UL			2h le matin et 2h le soir de décembre à février inclus				
Heures Creuses			8h par jour tous les jours				

* UL : un seul dénivelé possible

5.2.3.2 Coûts entretien courant (P2) et gros entretien (P3)**Chaudière gaz**

- P2 : 4% du montant d'investissement par an ; 2 à 3 visites annuelles
- P3 : 9€/kW/an ; changement de brûleur tout les 5 ans

Pompes à chaleur et groupes frigorifiques

- P2 : 15% du montant d'investissement correspondant au PAC pour les faibles puissances, 4500€/an pour une puissance comprise entre 100 et 200kW thermiques, 5500€ entre 200 et 400kW thermiques, 7000€/an pour une puissance comprise entre 400 et 600kW thermiques, 10 000€ entre 600 et 800 kW thermiques ; 2 à 4 visites par an
- P3 : 16€/kW thermique ; pièces et recharge en fluide frigorigène

Aéroréfrigérants

P2 : 4% du montant d'investissement

P3 : 3,4% du montant d'investissement (provisions pour renouvellement pièces)

Forages

P2/P3 : 2200€/forage/an ; 2 visites annuelles et des prestations occasionnelles d'examen endoscopique, de dépose des pompes et des colonnes et éventuellement un détartrage

5.2.4 Bilan financier – géothermie profonde**5.2.4.1 Coût d'investissement (R24)****Forages**

Gamme	Débit [m3/h]	Profondeur [m]	Qualité d'eau	Coût doublet(€)	Coût total compris centrale de production et assurances
4	130	600	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	1 500 000	2 400 000
5	130	600	Eau non salée	1 500 000	2 200 000
10	130	600	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	1 500 000	2 400 000
11	130	600	Eau non salée	1 500 000	2 200 000
3	100	1800	Eau non salée	7 000 000	8 300 000
9	100	1800	Eau non salée	7 000 000	8 300 000
2	50	1500	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	4 400 000	5 400 000
8	50	1500	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	4 400 000	5 400 000
1	150	1800	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	8 000 000	9 800 000
7	150	1800	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	8 000 000	9 800 000
6	80	2200	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	9 000 000	10 600 000
12	80	2200	Chlorurée sodique + Fer + Fluor	9 000 000	10 600 000

Réseau

Longueur de réseau évaluée en considérant en première approche un cas type urbain, sur la base d'environ 100ml de réseau pour 10 000 m² SHON construit. Dans notre cas type, l'emprise au sol est de l'ordre de 0,6 ha pour 10 000 m². La chaufferie est supposée située à un emplacement central.

Coût supposé de 1000€ /ml (auquel s'ajoute le coût des sous-stations calculé indépendamment). En réalité le coût du réseau dépendra beaucoup du site, notamment la partie génie civil.

Production décentralisée / sous-stations

Coût adapté selon la puissance nécessaire, qui dépend elle-même de la température de la nappe, et pout l'appoint de la taille de la zone alimenté.

Exemples de répartition des coûts d'investissement à l'optimum économique

5.2.4.2 Coûts énergétiques (R1 et R21)

Pour la solution gaz, on considère un tarif B2I :

- Abonnement : 146,40 €
- Energie : 0,0417 €HT/kWh

Pour la solution géothermie profonde avec appoint gaz, on considère :

- Un tarif jaune UM pour l'électricité (bâtiments d'une part, réseau de l'autre) – note : on néglige le fait que pour les ouvrages les plus importants un tarif vert puisse être nécessaire pour le réseau ;
- Un tarif B2S ou TEL pour l'appoint gaz ; le tarif TEL, appliqué dès lors que la consommation dépasse 5 GWh/an, est identique au tarif B2S si ce n'est que l'abonnement est plus élevé : 6774,72 €.

5.2.4.3 Coûts de maintenance et de renouvellement (R22 et R23)

Chaufferies gaz et pompes à chaleur

Idem géothermie superficielle

Forages

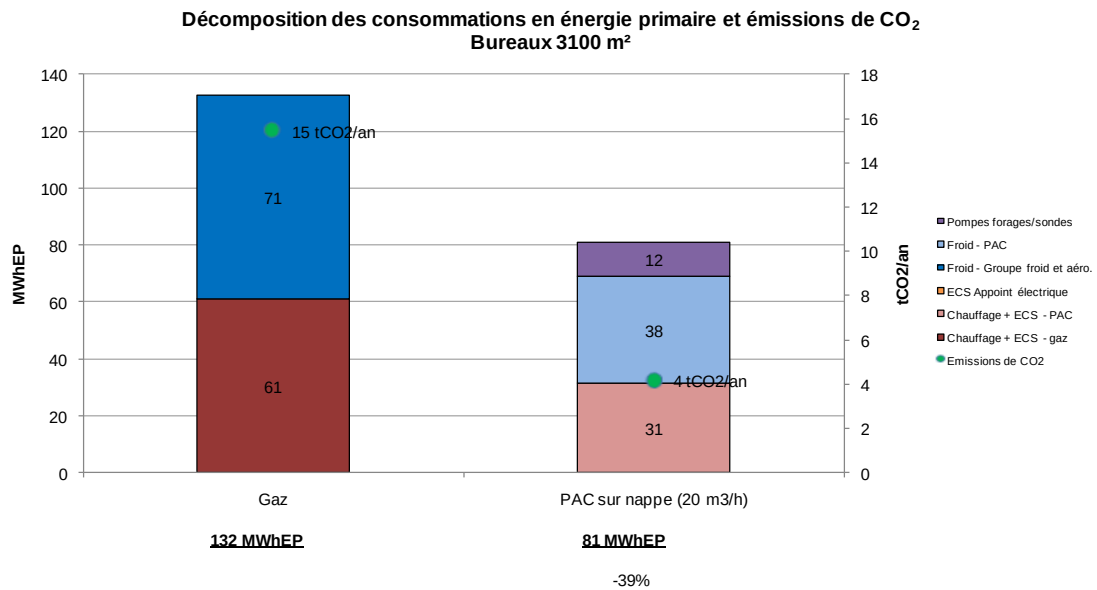
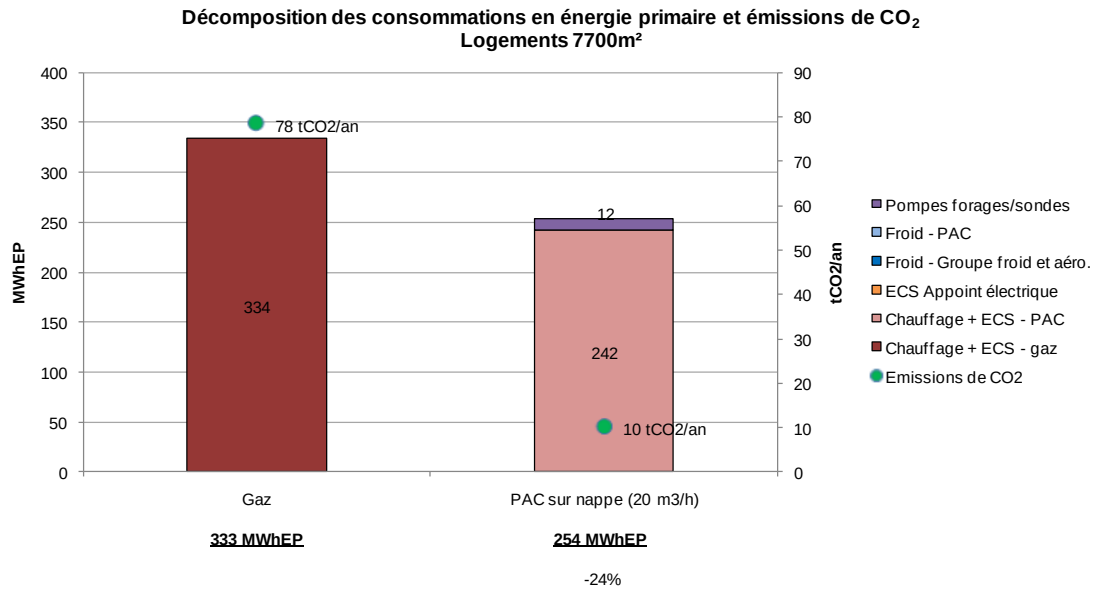
Réseau (approche simplifiée)

- P2 : 10 €/ml réseau
- P3 : 2,3 % du montant d'investissement par an ; changement de vannes...
- Sous-stations : 4% du coût d'investissement
- Frais divers (gestion...) : 5% du coût d'exploitation hors investissement

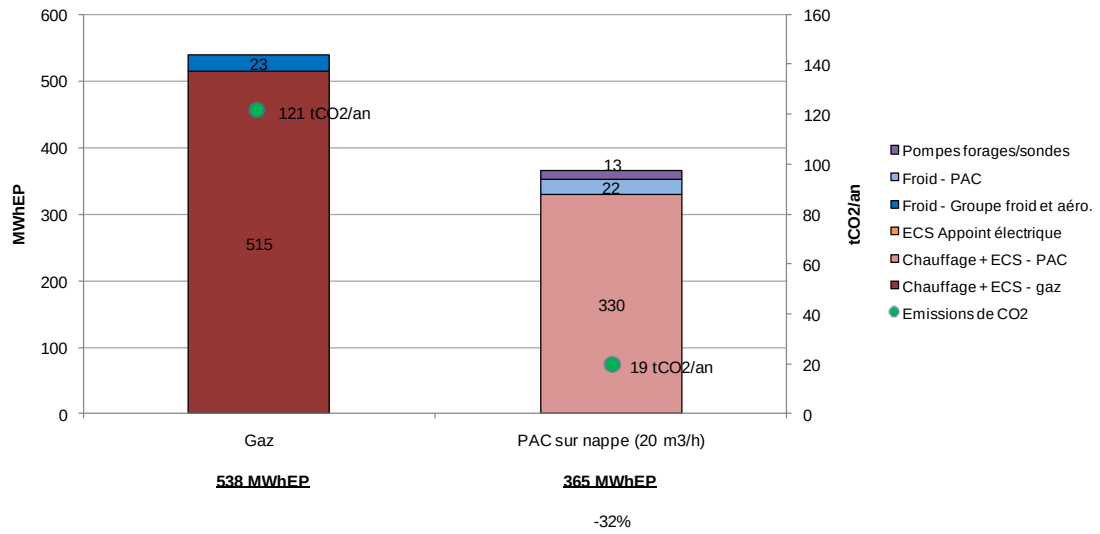
5.3 Détail des résultats – géothermie superficielle

5.3.1 Détail des consommations et des émissions de GES par typologie

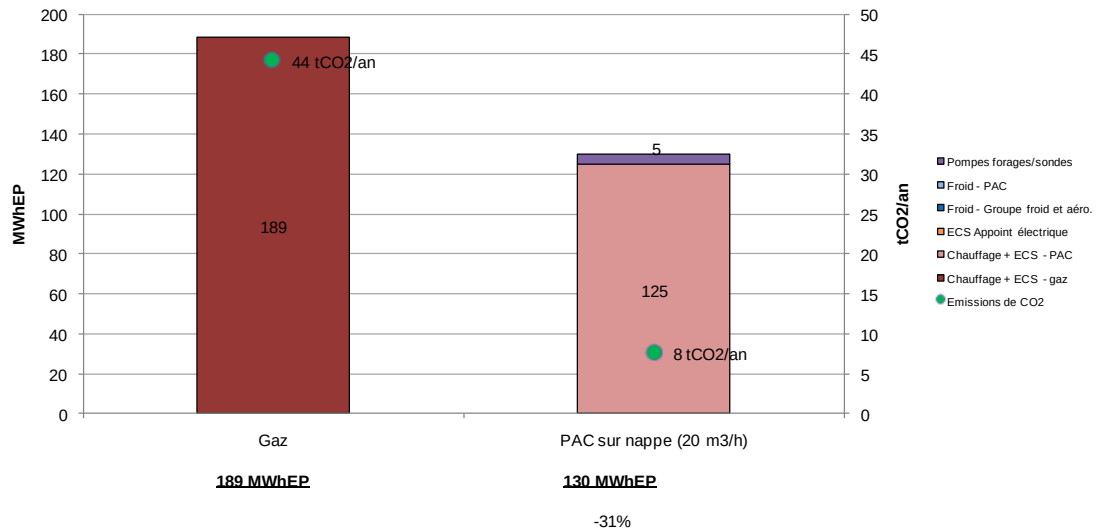
5.3.1.1 PAC sur nappe



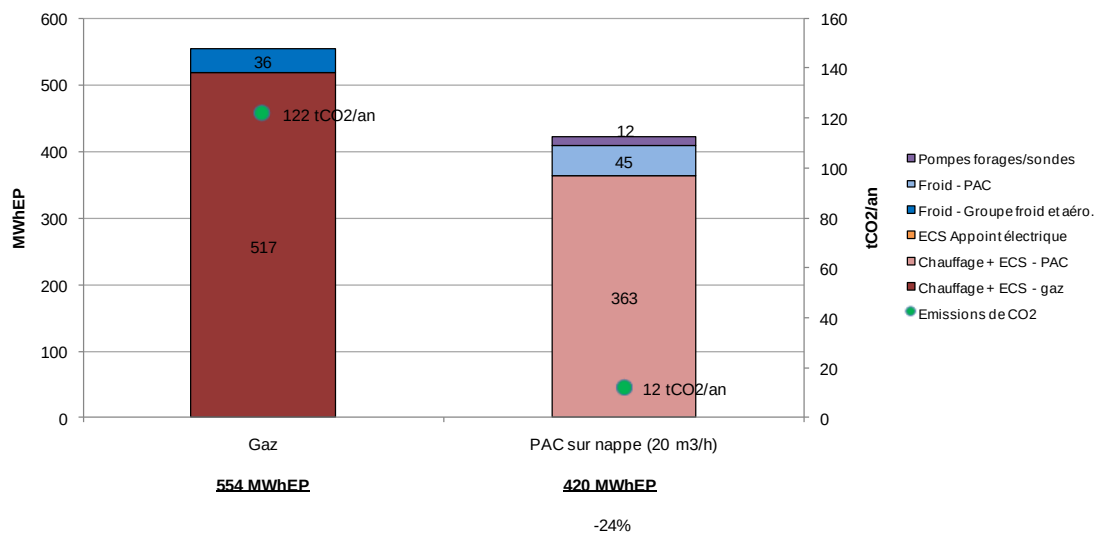
Décomposition des consommations en énergie primaire et émissions de CO₂ Maison de retraite 4800m²



Décomposition des consommations en énergie primaire et émissions de CO₂ Enseignement 6000m²



Décomposition des consommations en énergie primaire et émissions de CO₂ Hôtel 6500m²



5.3.1.2 PAC sur sonde

Les graphiques ci-dessous présentent les bilans énergétique et environnemental pour les typologies bureaux et maisons de retraite.

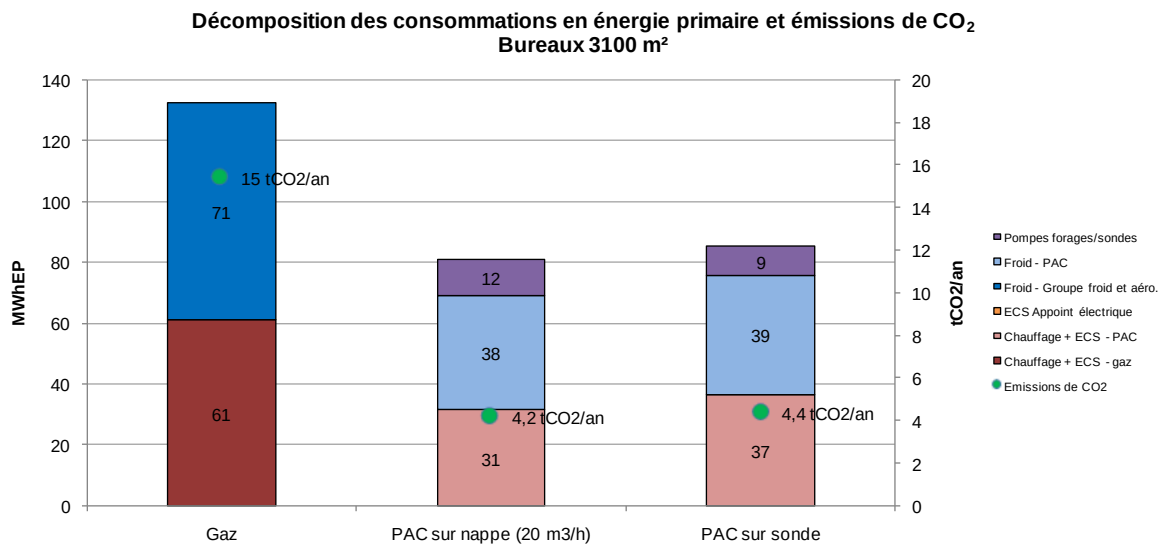
On constate que, dans la solution PAC sur sondes, par rapport à la solution PAC sur nappe :

- Les consommations d'auxiliaires sont réduites
- Les consommations pour la production de froid sont très similaires (+2% environ) ;
- Les consommations pour la production de chaleur sont légèrement augmentées (+15%).

En conséquence, les consommations énergétiques et les émissions de CO₂ augmentent légèrement par rapport à la solution PAC sur nappe.

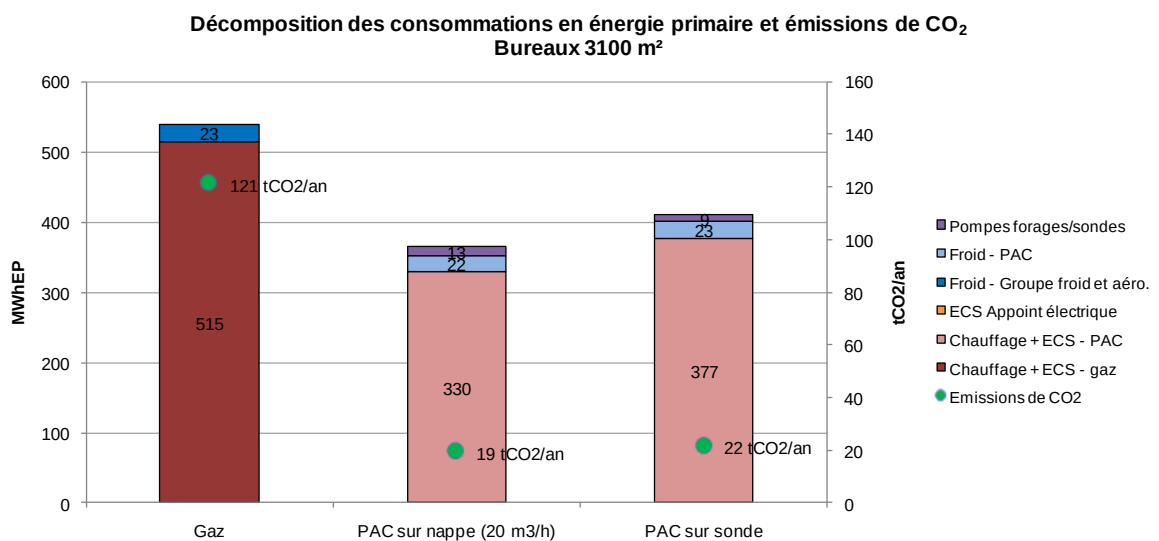
Bureaux

Le bilan énergétique et environnemental est très proche de la solution PAC sur nappe (+5%) :



Maison de retraite

Le bilan énergétique et environnemental est proche de la solution PAC sur nappe (+12%) :



L'écart est plus marqué pour les maisons de retraite que pour les bureaux à cause des forts besoins de chauffage satisfaits avec une performance légèrement moins bonne qu'avec la PAC sur nappe.

5.3.2 Détail de la décomposition du coût global par typologie

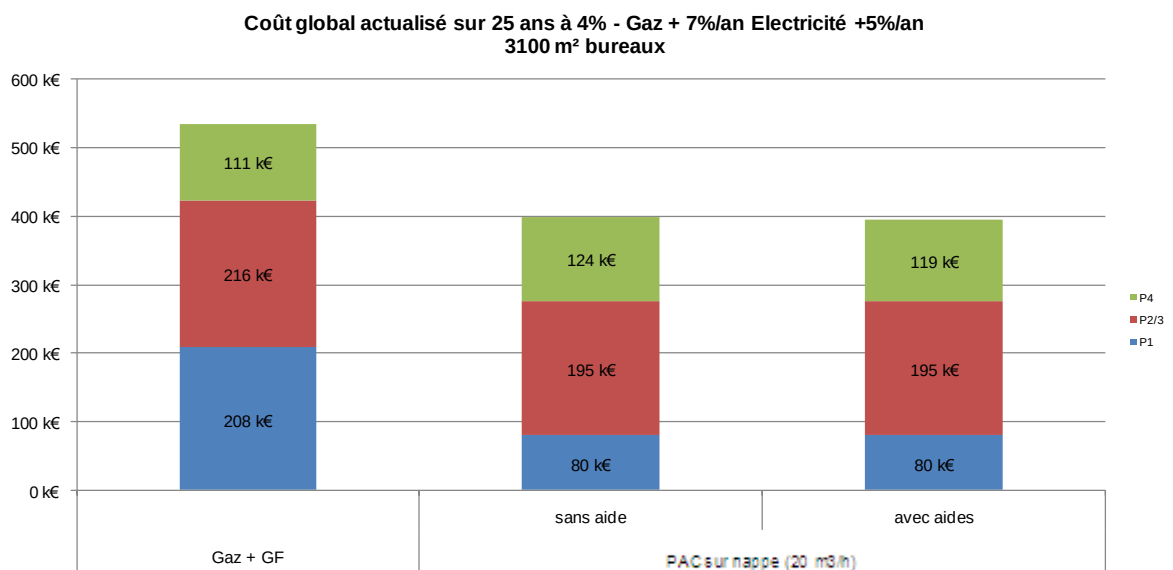
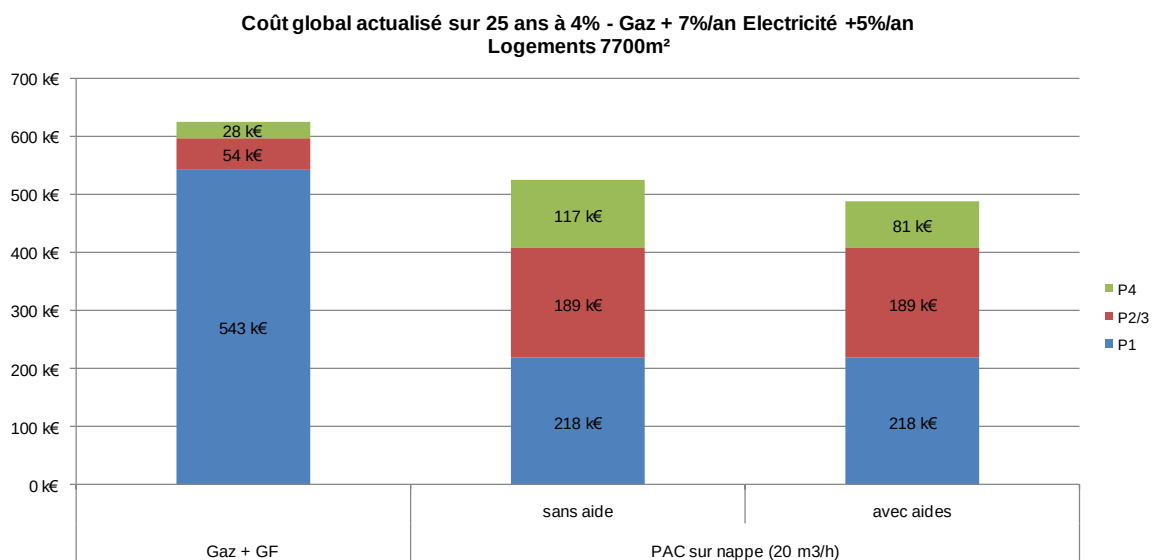
Les graphiques ci-dessous présentent la répartition des coûts par poste :

- P1 : Energie
- P2-P3 : maintenance et gros entretien renouvellement
- P4 : investissement.

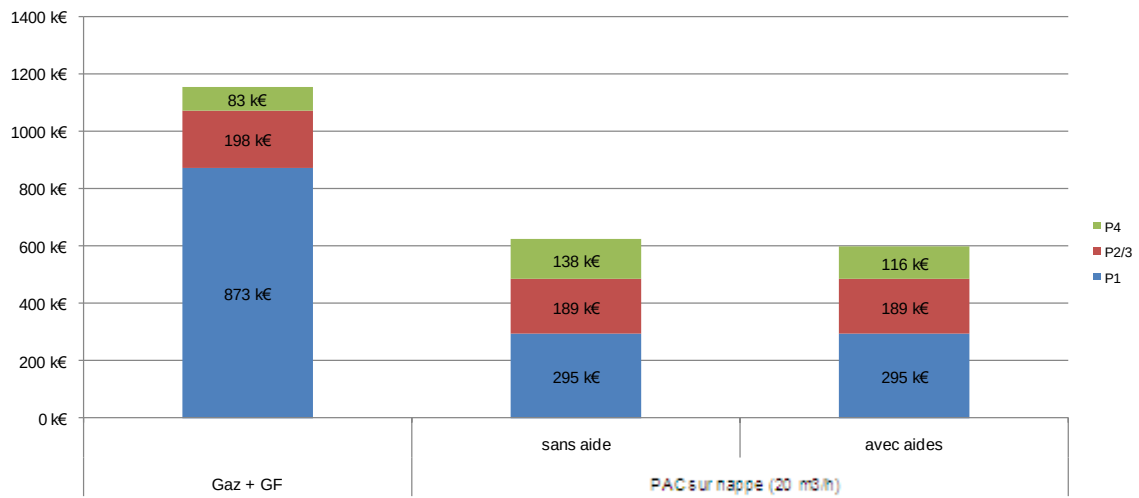
Les surfaces de projet considérées sont celles qui peuvent être alimentées par une ressource de 20 m3/h.

5.3.2.1 PAC sur nappe

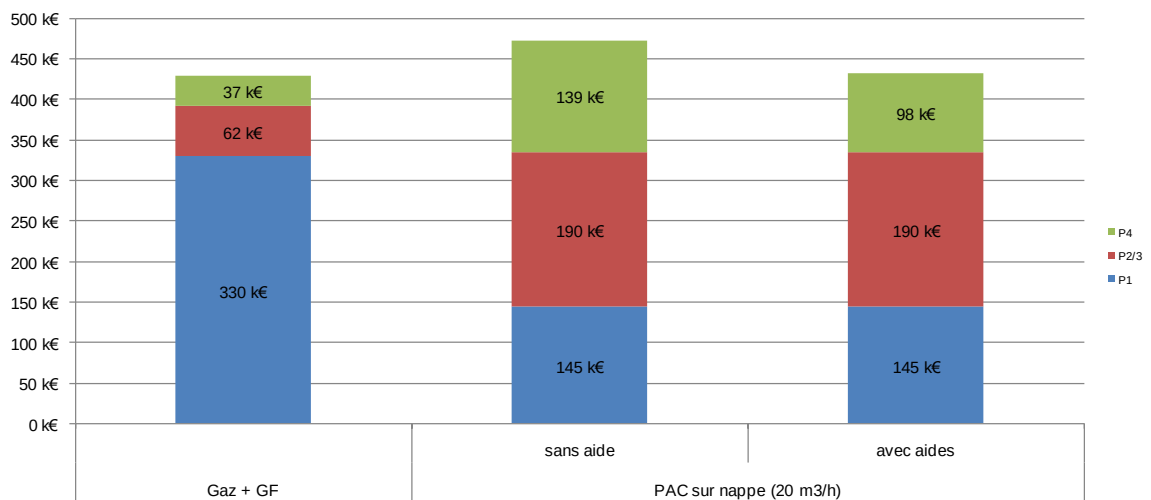
On constate que les **coûts énergétiques** ont toujours un poids beaucoup plus important dans la solution de référence. Les coûts de **maintenance** ainsi que l'**investissement** sont similaires lorsqu'une production de froid est nécessaire, ils sont supérieurs dans la solution PAC sur nappe dans les autres cas.



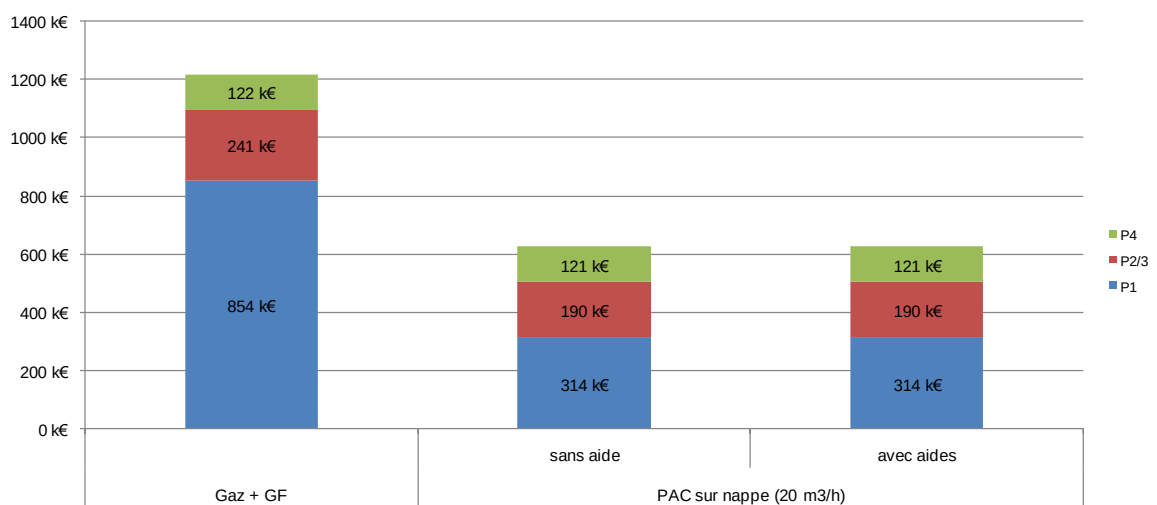
**Coût global actualisé sur 25 ans à 4% - Gaz + 7%/an Electricité +5%/an
Maison de retraite 4800m²**



**Coût global actualisé sur 25 ans à 4% - Gaz + 7%/an Electricité +5%/an
Enseignement 6000m²**



**Coût global actualisé sur 25 ans à 4% - Gaz + 7%/an Electricité +5%/an
Hôtel 6500m²**

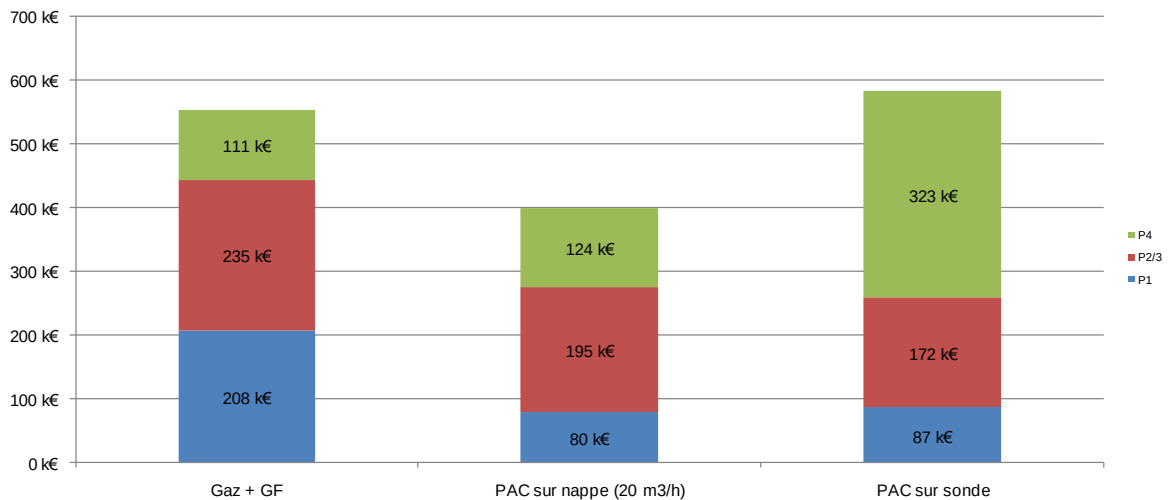


5.3.2.2 PAC sur sondes

Bureaux

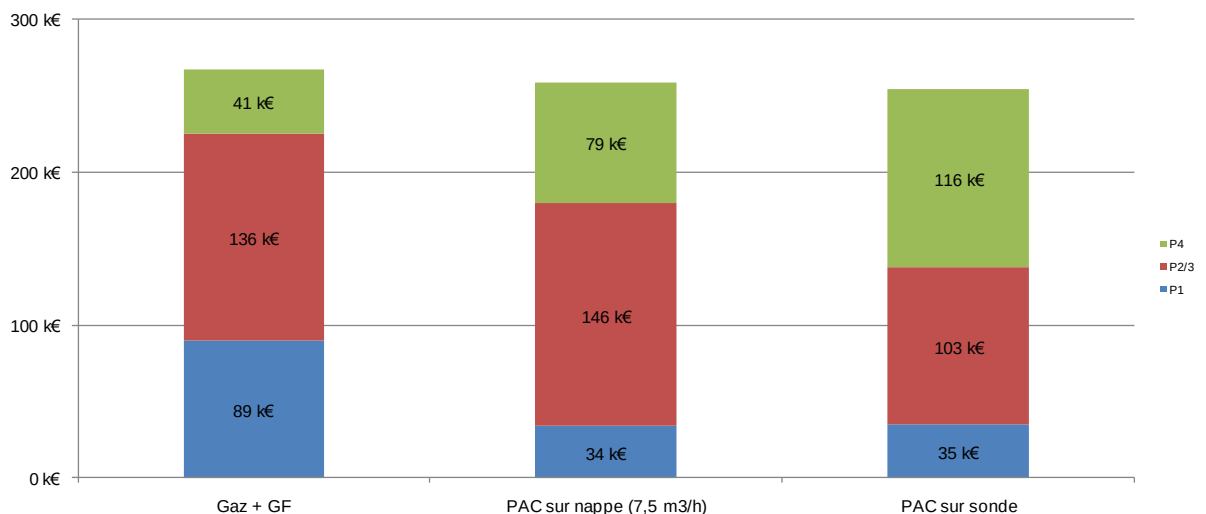
D'un point de vue économique, la solution PAC sur sondes est la moins intéressante du fait des coûts d'investissements très élevés liés à cette solution. Dans ce cas (3100m² de bureaux), le mode froid étant dimensionnant, il est nécessaire d'avoir 56 sondes de 90 mètres de profondeur.

Coût global actualisé sur 25 ans à 4% - Gaz + 7%/an Electricité +5%/an
3100 m² bureaux



Afin d'être rentable cette solution doit s'appliquer sur des très petits projets. En considérant un projet de bureaux d'une surface de 1100m², soit l'installation de 18 sondes, la solution PAC sur sondes présente un coût global équivalent à la solution PAC sur nappe. En deçà de cette surface, la solution PAC sur sondes est légèrement plus avantageuse :

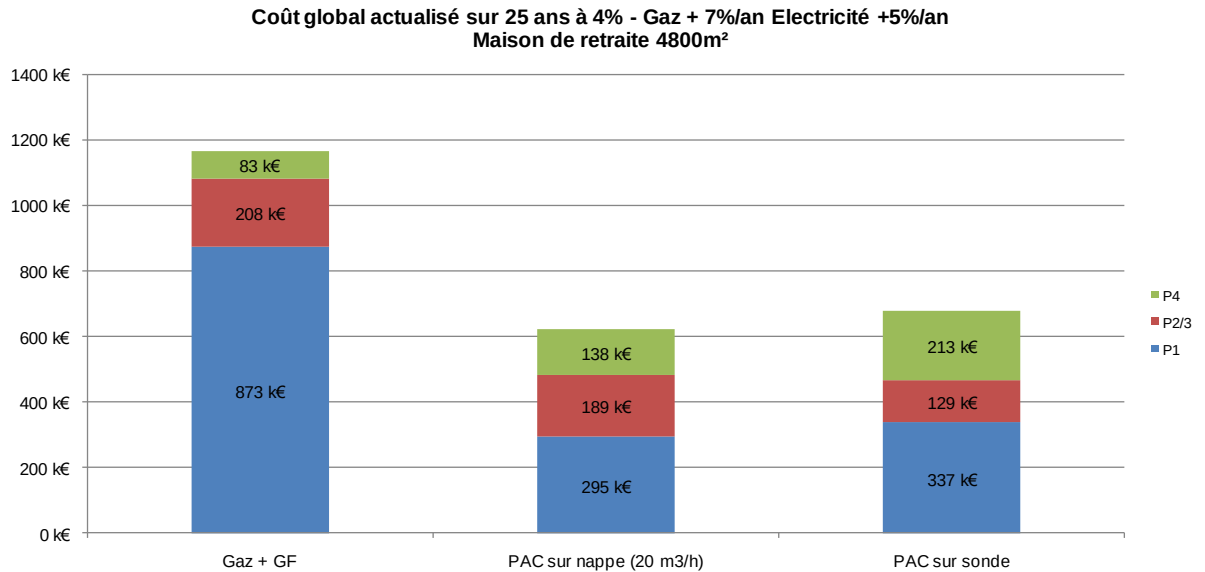
Coût global actualisé sur 25 ans à 4% - Gaz + 7%/an Electricité +5%/an
1100 m² bureaux



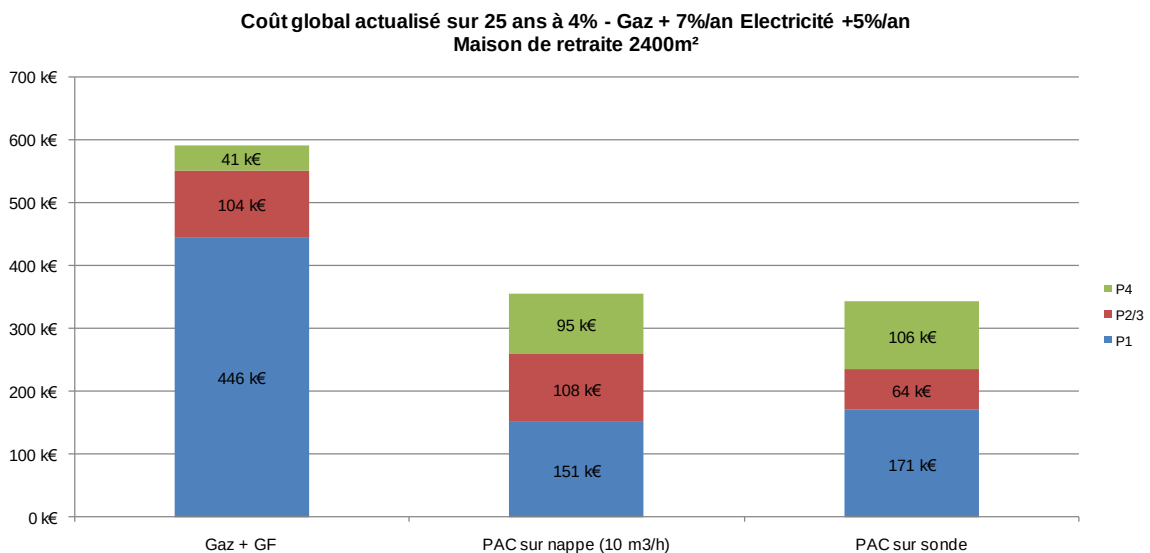
Maison de retraite

Dans le cas initial (4800m²), la PAC sur sondes est plus intéressante que la solution gaz. Le mode dimensionnant étant le chauffage, l'investissement est moins important que pour les bureaux où c'est le froid. En effet 28 sondes sont nécessaires, contre le double pour les bureaux d'une surface moindre.

La meilleure rentabilité par rapport au gaz s'explique également par le taux d'utilisation élevé de la typologie.



Par rapport à la solution PAC sur nappe, l'investissement ne comprend pas de part fixe liée au forage, il est proportionnel à la surface du projet. Ainsi, pour des opérations plus petites, la solution PAC sur sonde devient plus intéressante. Les deux solutions présentent un bilan équivalent pour une surface de projet de 2400m² :



Pour les projets d'une taille inférieure ou égale à 2400m², la solution PAC sur sondes devient plus intéressante.

Autres typologies

Les conclusions de la typologie « hôtel » seront identiques à celle de « maison de retraite ».

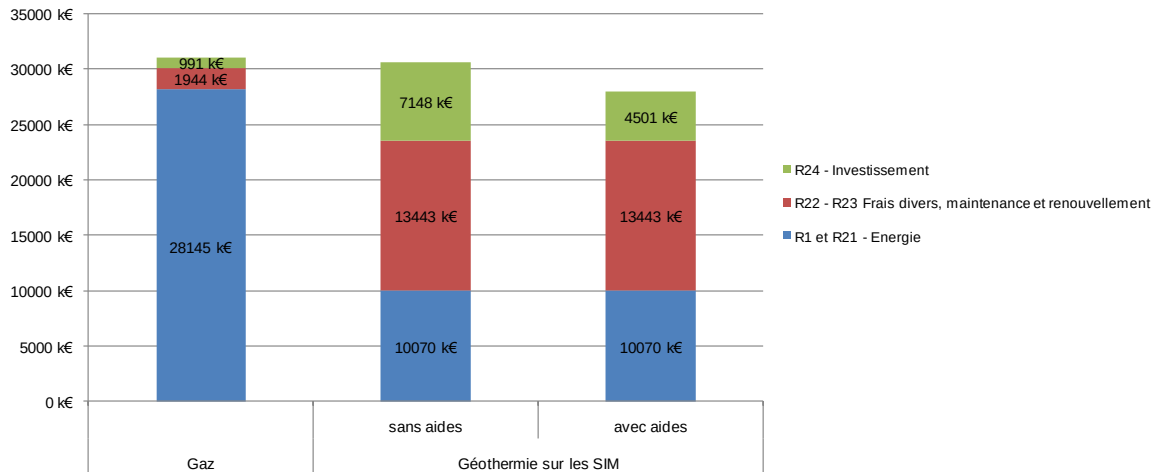
La solution PAC sur nappe n'est pas intéressante pour les logements et bâtiments d'enseignement à cause de leur taux d'utilisation trop faible.

5.4 Détail des résultats – géothermie profonde

5.4.1 Répartition par postes du coût global : comparaison référence / géothermie

Le graphique ci-dessous montre la répartition du coût global par poste dans la solution de référence et dans la solution géothermie sur l'exemple de la gamme 4, dans les hypothèses de base, à l'optimum économique :

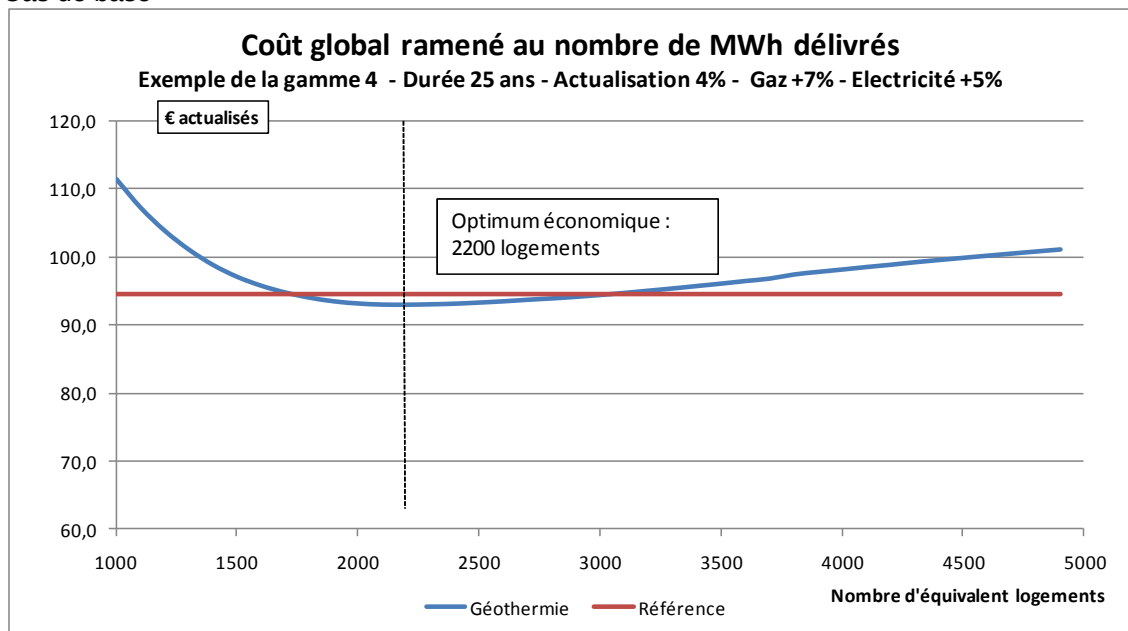
Coût global actualisé sur 25 ans



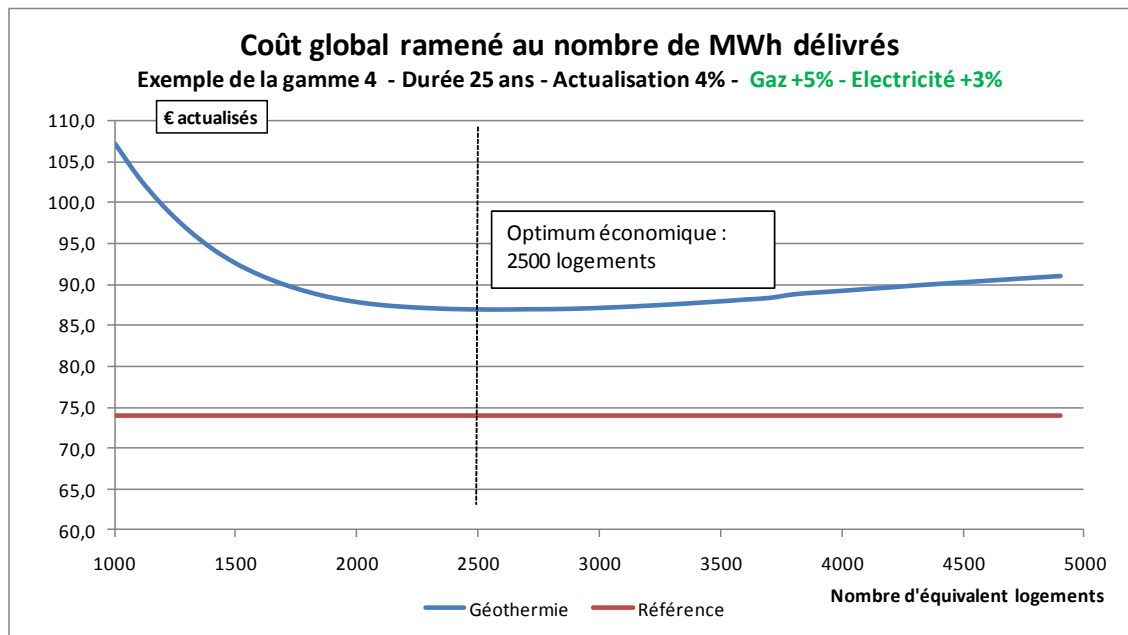
5.4.2 Analyse de sensibilité sur la plage de rentabilité et l'optimum économique

Les graphiques ci-dessous permettent de visualiser les conclusions énoncées quant à la variation de l'optimum et de la plage de rentabilité en fonction des hypothèses prises. On notera en particulier que la plage de rentabilité est beaucoup plus dépendante des hypothèses prises que l'optimum.

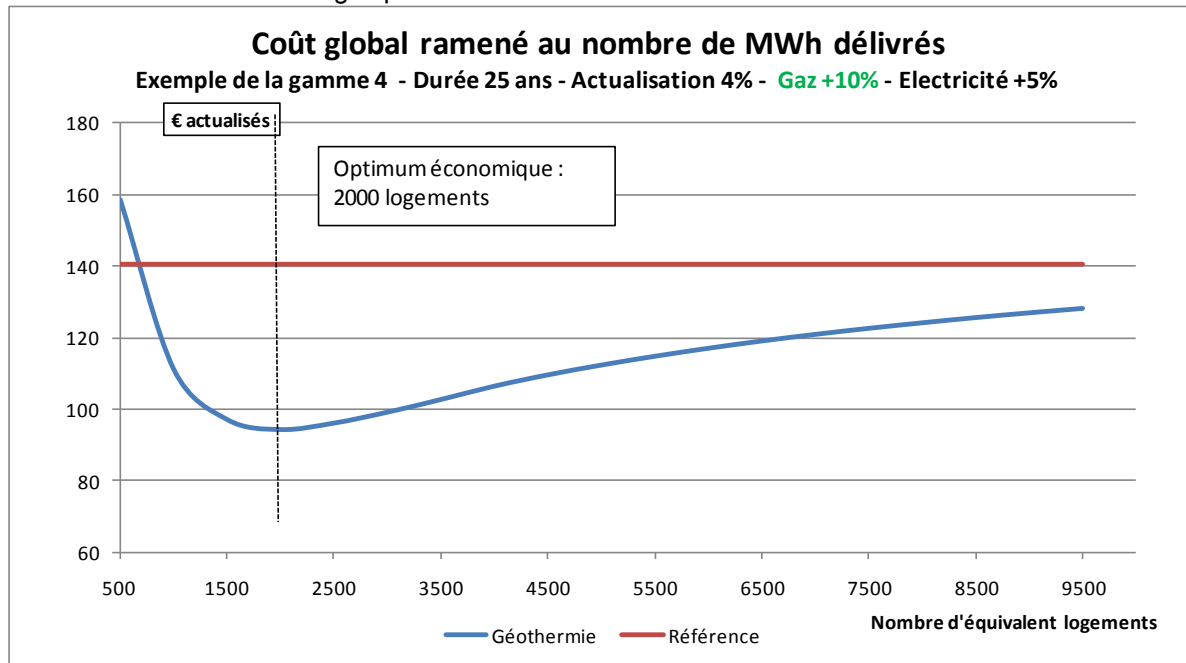
Cas de base



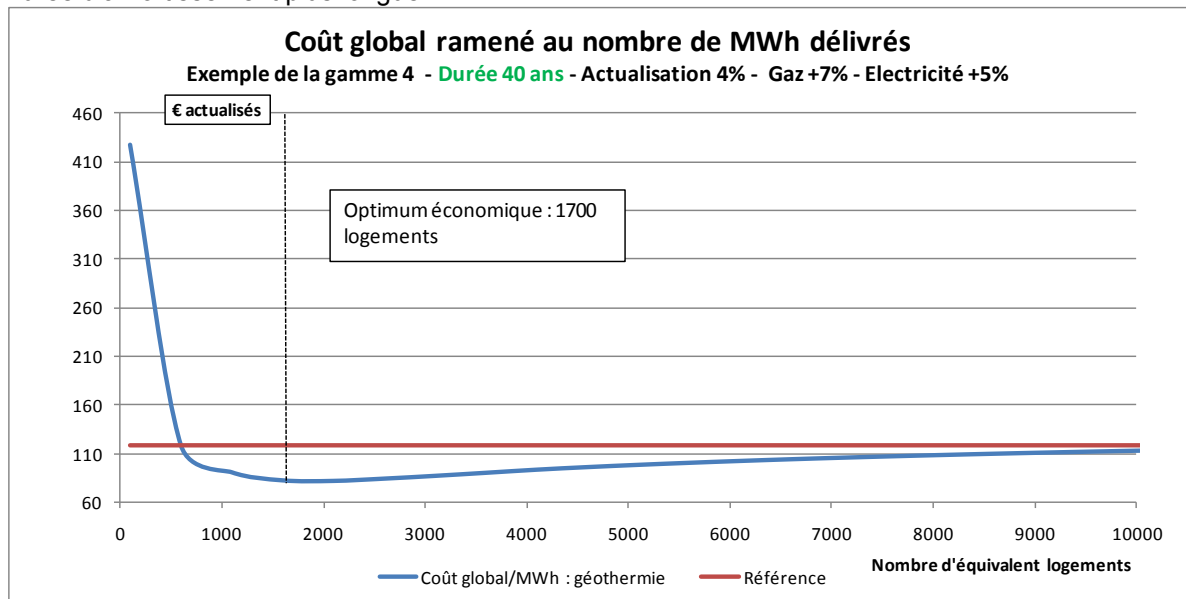
Taux d'évolution des coûts des énergies plus faibles



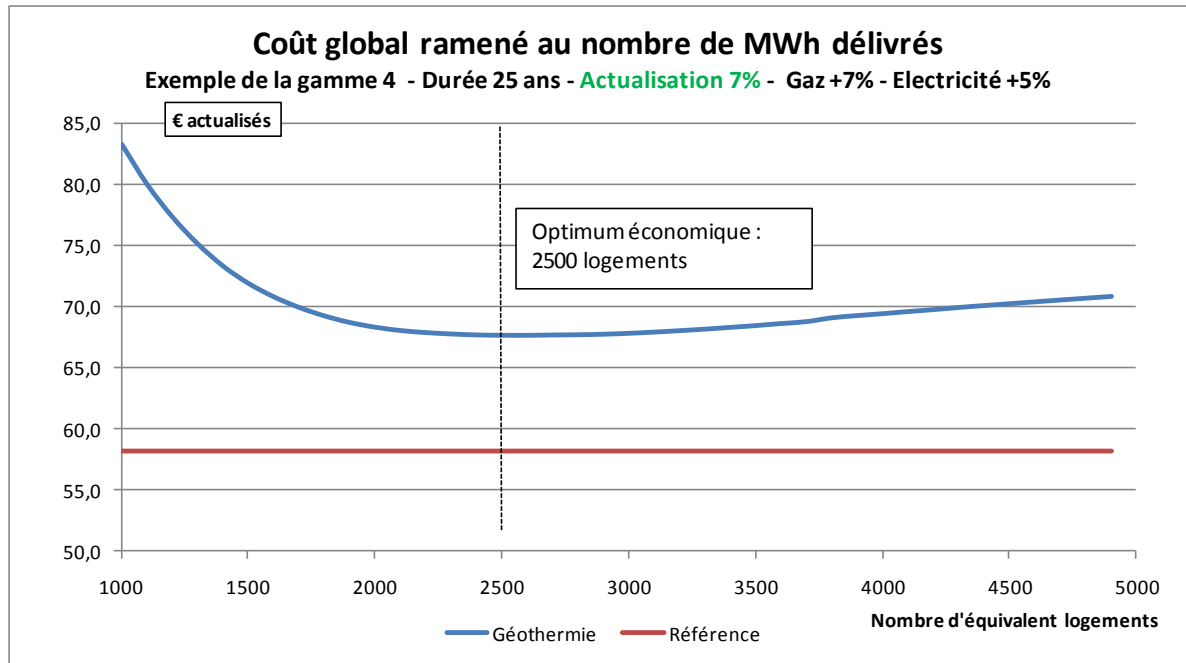
Taux d'évolution du coût du gaz plus élevé



Durée d'amortissement plus longue



Taux d'actualisation élevé





Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Midi-Pyrénées

Parc technologique du Canal
3, rue Marie Curie, Bât. ARUBA, BP 49,
31527 – Ramonville-Saint-Agne – France
Tél. : 05 62 24 14 50