



*ÉTUDE DE PREFIGURATION
DES ENERGIES RENOUVELABLES ET DE RECUPERATION*

Rapport Phase 2

Section 2 / 3

Groupement

EGEE DEVELOPPEMENT – COHERENCE ENERGIES

E & E CONSULTANT – SOLAGRO

Co-financé par :



Août 2018

Réalisé par :



Sommaire

La Géothermie

- Annexe 1 **Fiches techniques des procédés géothermiques**
- Annexe 2 **Arrêtés relatifs à la géothermie de minime importance**
- Annexe 3 **Résumé des ZNIEFF sur le territoire du Grand Douaisis**
- Annexe 4 **Récapitulatif des sites Natura 2000 sur le territoire du Grand Douaisis**
- Annexe 5 **Historique piézométrique de l'ouvrage situé à Roost-Warendin**
- Annexe 6 **Historique piézométrique de l'ouvrage situé à Belonne**
- Annexe 7 **Historique piézométrique de l'ouvrage situé à Abscon**
- Annexe 8 **Historique piézométrique de l'ouvrage situé à Rieulay**

Le Biogaz

- Annexe 9 **Le logiciel MoDeGaz**

Les Stations de Relevage

- Annexe 10 **Liste des Stations de Relevage des Eaux sur le territoire du Grand Douaisis**

Les réseaux de Chaleur

- Annexe 11 **Extrait d'un potentiel de la FEDENE**

**Annexe 1 : Fiches techniques des procédés
géothermiques**



Champ de Sondes Géothermiques Verticales

FICHE PROCEDE

PRESENTATION DU PROCEDE :

Un champ de sondes géothermiques verticales (au-delà de 5 sondes) est constitué de tubes de polyéthylène haute densité (PEHD) dans lesquels circule un fluide caloporteur (eau glycolée), en circuit fermé, pour extraire l'énergie du sous-sol. Une Pompe A Chaleur (PAC) permet de transférer l'énergie extraite pour satisfaire le niveau de température nécessaire au chauffage (ou rafraîchissement) du bâtiment.

Les sondes sont :

- Scellées dans des forages verticaux de petits diamètres (inférieur à 200 mm) dont la profondeur est généralement comprise entre 100 et 200 mètres.
- Raccordées entre elles par un réseau connecté à la PAC.

La longueur totale nécessaire de sondes est fonction :

- ✓ Des besoins (puissance, heures de fonctionnement)
- ✓ De l'usage
- ✓ De la nature des terrains traversés.

DOMAINES D'APPLICATION :

Ce procédé permet de répondre aux besoins de chauffage et/ou rafraîchissement pour l'habitat collectif, des bureaux, des espaces culturels ou sportifs, etc...

La possibilité d'une utilisation mixte (chaud / froid) contribue à l'efficacité de ce procédé par stockage et déstockage de l'énergie dans le sous-sol.

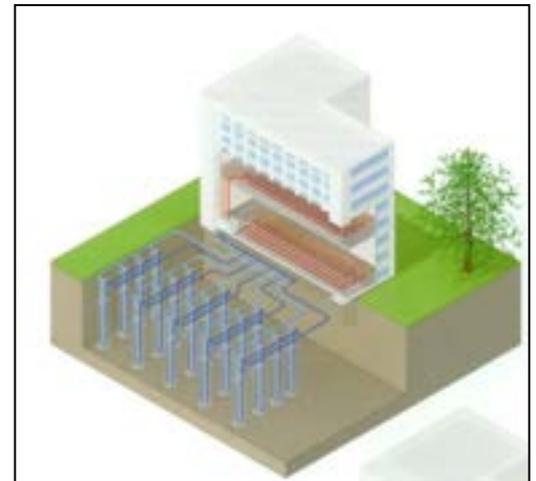


Schéma d'un champ de sondes Géothermiques.
[Source : la géothermie et les réseaux de chaleur - BRGMéditations]

USAGES

Chauffage

Rafraîchissement

Eau chaude
sanitaire

SECTEURS

Résidentiel
collectif

Tertiaire

Industrie

FAISABILITE :

Opportunités
Coût de maintenance et d'exploitation limités
Dossier administratif limité au Code Minier (simple déclaration pour des sondes inférieures à 200 m)
Procédé applicable en tous lieux, même en l'absence de nappe d'eau souterraine
Performances indépendantes des conditions climatiques

Conditions
Accessibilité pour les travaux de forage
Conformité au P.L.U. (Plan Local d'Urbanisme)
Disponibilité foncière adaptée au nombre de sondes
Coût des travaux de forages proportionnel au nombre de sondes



Cliché EGEE Développement 2010

Mise en place d'une sonde géothermique verticale

MISE EN ŒUVRE :

La mise en place des sondes géothermiques verticales (SGV) doit être réalisée dans les règles de l'art, précisées par la **norme AFNOR NFX 10-970** :

- Recours à un **bureau d'études** pour garantir le bon dimensionnement du champ de sondes.
- Cimentation remontante de l'espace annulaire (compris entre la sonde et la paroi du forage) par un **ciment spécial** assurant une bonne conductivité entre les terrains et la sonde.
- Réalisation d'un **test de réponse thermique (TRT)** sur la première sonde pour déterminer le linéaire total de sondes et fixer la meilleure géométrie du champ.

Le recours à une entreprise de forage Qualiforage*, assure la création du champ de sondes suivant cette norme.

Délai moyen de mise en œuvre pour une installation respectant les critères de la Géothermie de Minime Importance

:

- Télédéclaration au titre du Code minier : instantanée
- Sonde test, TRT et dimensionnement : 2 semaines
- Forage et pose d'une sonde : moins de 1 semaine

* : Label de qualité géré par Qualit'EnR

EXEMPLE DE REALISATION SUR LA COMMUNE DE CUINCY



Désignation de l'opération : Médiathèque sur la commune de Cuincy
 Localisation : Cuincy (59)
 Maître d'ouvrage : La commune de Cuincy
 Maître d'œuvre : B plus B architectures

A.M.O. géothermie : EGEE Développement
 Surface : 840 m²
 Année de construction : 2018 - 2019

Utilisation :

- Usages : Chauffage
- Période de fonctionnement : toute l'année

Caractéristiques techniques :

- Ressource géothermique : 8 sondes de 190 m
- Puissance de la PAC (COP 4) :
 - Chaud : 100 kW
- Émetteur : Plancher chauffant et radiateur haute température
- Appoint : Non (couverture 100 % par géothermie)



Le doublet de forages

FICHE PROCEDE

PRESENTATION DU PROCEDE :

Ce procédé est généralement constitué d'un doublet de forages composé d'un pompage et d'une réinjection*. Il consiste à exploiter en circuit ouvert les propriétés thermiques des eaux souterraines à l'aide d'une Pompe A Chaleur (PAC) ; celle-ci permet de transférer l'énergie extraite pour satisfaire le niveau de température nécessaire au chauffage (ou rafraîchissement) du bâtiment. L'eau prélevée est, de préférence, réinjectée dans la même nappe.

Le dimensionnement des ouvrages est fonction :

- ✓ Des besoins (puissance, débit d'exploitation,...)
- ✓ De l'usage
- ✓ Des caractéristiques de la nappe exploitée (profondeur, sens d'écoulement, productivité,...)

* : en fonction des besoins du bâtiment et de la ressource disponible, le nombre de forages peut être plus important.

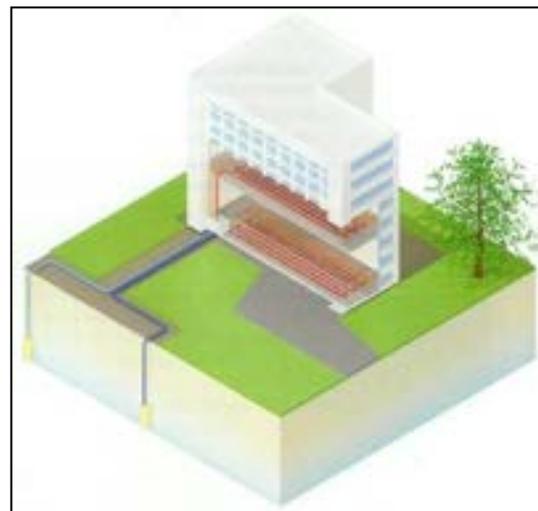


Schéma d'un doublet de forages sur nappe.
[Source : la géothermie et les réseaux de chaleur - BRGMéditations]

USAGES

Chauffage

Rafrâichissement

Eau chaude
sanitaire

SECTEURS

Habitat individuel

Résidentiel
collectif

Tertiaire

Complexe sportif

Agriculture

DOMAINES D'APPLICATION :

Sous réserve de la disponibilité et de la qualité de la ressource en eau, ce procédé est applicable à une vaste gamme de bâtiments, allant de l'habitat individuel, en passant par des bureaux, et jusqu'aux grands complexes sportifs (tels les piscines).

FAISABILITE :

Opportunités
Performances indépendantes des conditions climatiques
Large gamme de puissances
Utilisation mixte : Chaud / Froid

Conditions
Accessibilité pour les travaux de forage
Conformité au P.L.U. (Plan Local d'Urbanisme)
Conformité au Code de l'environnement et au Code minier
Emprise foncière minimale requise ; plus la puissance sera importante, plus l'écartement entre les ouvrages le sera.



Cliché EGEE Développement 2011

Mise en œuvre d'un forage

MISE EN ŒUVRE :

La création des forages doit être réalisée dans les règles de l'art, en suivant les préconisations définies par la **norme AFNOR NFX 10-999** :

- Les ouvrages créés ne peuvent capter qu'un seul et même aquifère
- La bonne qualité de l'ouvrage et son débit d'exploitation maximal sont définis par un pompage d'essai par paliers de débit
- Les caractéristiques de la nappe exploitée sont définies par un pompage d'essai de longue durée (entre 24 et 72 h).

Selon l'importance des besoins à couvrir, le recours à un bureau d'études sous-sol permettra de dimensionner l'écartement des ouvrages (pompage et réinjection) ; ce dimensionnement a pour but d'éviter ou de limiter un recyclage des eaux qui diminuerait l'efficacité des installations thermiques.

Délai moyen de mise en œuvre :

- Télédéclaration au titre du Code minier : instantanée
- Les travaux des forages : 1 à 2 mois

EXEMPLE DE REALISATION D'UNE MEDIATHEQUE



Désignation de l'opération : Regroupement Pédagogique Concentré de Monchy-Lagache
 Localisation : Monchy-Lagache (80)
 Maître d'ouvrage : Ville de Monchy-Lagache
 Maître d'œuvre : Antoine MAUGNARD Architecte

A.M.O. géothermie : EGEE Développement
 Année de construction : 2018 - 2019
 Couverture de la géothermie : 100 %

Utilisation :

- Usages : Chauffage et Eau Chaude Sanitaire
- Période de fonctionnement : Constant

Caractéristiques techniques :

- Ressource géothermique : doublet de forages
- Puissance de la PAC (COP 5,5) : kW
- Débit d'exploitation : 16 m³/h en pointe
- Écartement des forages : 100 mètres

Bilan de fonctionnement :

- Besoins annuels de chauffage : 145 000 kW

Bilan économique :

- Aide obtenue en 2017 par le fond Chaleur (ADEME) : environ 30 000 euros
- Reste à charge du client : entre 30 et 40 000 euros

PRESENTATION DU PROCEDE :

Un capteur horizontal est constitué d'un serpentin en polyéthylène haute densité (PEHD) dans lequel circule un fluide caloporteur (eau glycolée) utilisé comme vecteur de transfert des calories entre le sous-sol et la Pompe A Chaleur (PAC).

Un capteur horizontal est installé sous la profondeur hors gel (environ 70 cm dans le Nord de la France) et au maximum à 1,5 m de profondeur.

La surface nécessaire à la réalisation de ce procédé géothermique est d'environ 1,5 à 2 fois la surface à chauffer.



Schéma d'un capteur horizontal.

[Source : la géothermie et les réseaux de chaleur - BRGMéditations]

DOMAINES D'APPLICATION :

Ce procédé permet de répondre aux besoins de chauffage et / ou de rafraîchissement de bâtiments de faible surface et disposant d'un terrain disponible et suffisant pour la mise en place du capteur.

USAGES

Chauffage

Rafrâichissement

SECTEURS

Habitat individuel

Petit tertiaire

FAISABILITE :

Opportunités
N'impose pas de travaux de forages
Coût de maintenance et d'exploitation limités
Procédé applicable en tous lieux, même en l'absence de nappe d'eau souterraine
Aucune démarche administrative

Conditions
Accessibilité pour les travaux de terrassement
Disponibilité foncière adaptée à la surface du capteur
Coût parfois important des travaux de terrassement, et proportionnel au linéaire du capteur
Performances pouvant être dépendantes des conditions climatiques



Cliché Packo Géothermie 2011

Mise en place de capteurs horizontaux

MISE EN ŒUVRE :

Il n'existe actuellement aucune réglementation ou norme pour la mise en œuvre des capteurs horizontaux. Les travaux doivent être réalisés en suivant des règles visant à protéger le serpentín :

- **Le remblayage** doit se faire avec précaution (matériau sans pierre) pour ne pas endommager le serpentín.
- Pour favoriser l'échange thermique, les boucles doivent être mises en place de façon à **espacer les tubes d'au moins 40 cm** les uns des autres.
- Le serpentín doit être **sous pression** pendant la phase de remblaiement pour rester bien en place et éviter tout désordre. Un grillage avertisseur doit être placé au-dessus du capteur.
- La surface au-dessus du capteur peut être engazonnée, en revanche **les arbres sont à proscrire**.

Délais moyens de mise en œuvre :

La majeure partie des délais de mise en œuvre des capteurs horizontaux est due aux opérations de terrassements.



Le capteur compact

FICHE PROCEDE

PRESENTATION DU PROCEDE :

Les capteurs compacts* sont des échangeurs à haute performance énergétique constitués d'un tube de polyéthylène haute densité (PEHD) spiralé (conique ou cylindrique) dans lequel circule un fluide caloporteur (eau glycolée) ; une Pompe A Chaleur (PAC) utilise les calories prises au sous-sol pour subvenir aux besoins en chauffage du bâtiment ciblé.

Les capteurs compacts sont installés sous la profondeur hors gel (variable d'une région à l'autre) et au minimum à 1m de profondeur.

Si les besoins nécessitent la mise en place de plusieurs capteurs compacts, il faut veiller à respecter une distance entre axes d'au moins 4 mètres.

Le nombre de capteurs à mettre en place est fonction:

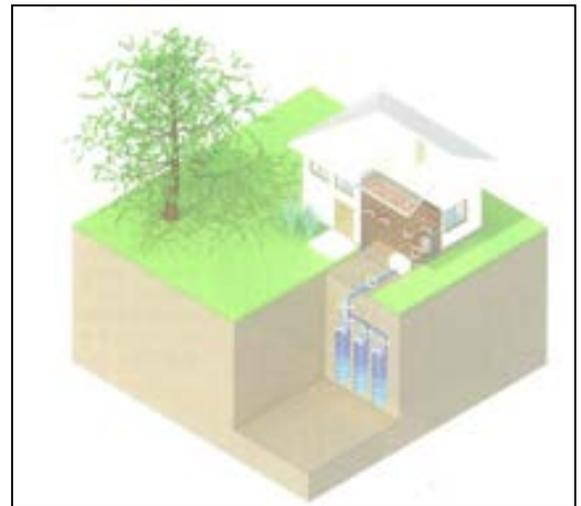
- ✓ Des besoins (puissance, heures de fonctionnement)
- ✓ De l'usage
- ✓ De la nature des terrains traversés.

*Aussi appelés 'Corbeilles', 'Panier' ou capteurs hélicoïdaux

DOMAINES D'APPLICATION :

Ce procédé permet de répondre aux besoins de chauffage et/ou rafraîchissement pour l'habitat individuel, le petit collectif et le secteur tertiaire.

La possibilité d'une utilisation mixte (chaud / froid) contribue à l'efficacité de ce procédé par stockage et déstockage de l'énergie dans le sous-sol.



[Source : la géothermie et les réseaux de chaleur - BRGMéditations]

USAGES

Chauffage

Raîchissement

SECTEURS

Habitat individuel

Résidentiel collectif

Tertiaire

FAISABILITE :

Opportunités
Faibles coûts d'investissements (pas de forages), de maintenance et d'exploitation
Aucune contrainte administrative
Procédé applicable en tous lieux, même en l'absence de nappe d'eau souterraine
Performances peu dépendantes des conditions climatiques

Conditions
Accessibilité pour les travaux de terrassement
Disponibilité foncière adaptée au nombre de capteurs
Interdit toute plantation à racines profondes au droit des capteurs



Mise en place d'un capteur compact

MISE EN ŒUVRE :

Aucune norme n'est actuellement en vigueur pour l'installation des capteurs compacts ; en revanche leur mise en place doit être réalisée en suivant quelques règles visant à protéger les tubes :

- **Le remblayage** doit se faire avec précaution (matériau sans pierre) pour ne pas endommager les tubes.
- La corbeille doit être **sous pression** pendant la phase de remblaiement pour rester bien en place et éviter tout désordre.
- La surface des capteurs peut être engazonnée, en revanche **les arbres sont à proscrire**.
- La **Norme NF EN 12613** (mise en place d'un grillage de couleur jaune 30 cm au-dessus des corbeilles) doit être respectée

Délai moyen de mise en œuvre :

L'essentiel du délai de mise en œuvre des capteurs compacts correspond aux travaux de terrassement (un chantier classique est réalisé en 1 semaine).



Les fondations thermoactives

FICHE PROCEDE

PRESENTATION DU PROCEDE :

Les fondations thermoactives sont constituées de tubes de polyéthylène haute densité (PEHD) dans lesquels circule un fluide caloporteur (eau glycolée) utilisé comme vecteur de transfert des calories entre le sous-sol et la Pompe A Chaleur (PAC).

Les tubes de PEHD (capteurs) sont directement installés dans les éléments de fondations nécessaires à la stabilité du bâtiment (Pieux, parois moulées, radiers...).

Les capteurs sont :

- Scellés dans les éléments de fondations, accrochés aux cages d'armatures.
- Raccordés entre eux par un réseau connecté à la PAC.

Le nombre total d'éléments porteurs à équiper est fonction :

- ✓ Des besoins (puissance, heures de fonctionnement)
- ✓ De l'usage
- ✓ De la nature des terrains traversés.

DOMAINES D'APPLICATION :

Ce procédé permet de répondre aux besoins de chauffage et/ou rafraîchissement pour l'habitat collectif, le secteur tertiaire, les espaces culturels ou sportifs, etc...

La possibilité d'une utilisation mixte (chaud / froid) contribue à l'efficacité de ce procédé par stockage et déstockage de l'énergie dans le sous-sol.

FAISABILITE :

Opportunités
Coût de maintenance et d'exploitation limités
Dossier administratif limité au Code Minier (simple déclaration)
Les installations géothermiques font directement partie de la structure des fondations
Performances indépendantes des conditions climatiques

Conditions
Nécessité de fondations profondes
Conformité au P.L.U. (Plan Local d'Urbanisme)
Dimensionnement des fondations plus conséquent
Obtention d'un ATEC (accord technique)

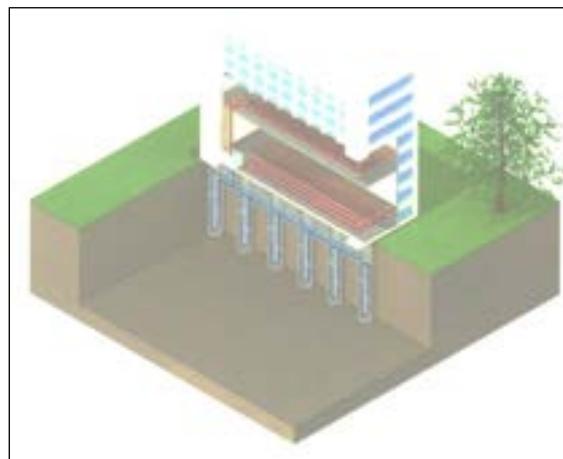


Schéma de fondations thermoactives.

[Source : la géothermie et les réseaux de chaleur - BRGMéditations]

USAGES
Chauffage
Rafraîchissement
Eau chaude sanitaire

SECTEURS
Résidentiel collectif
Tertiaire
Complexe sportif



Mise en place des tubes caloporteurs
sur la cage d'armatures

Délais moyens de mise en œuvre :

- S'intègre dans le planning de réalisation de l'ensemble du bâtiment.
- Déclaration au titre du Code minier (environ 2 à 3 semaines).

MISE EN ŒUVRE :

La mise en place de fondations thermoactives doit être réalisée dans les règles de l'art, sur la base des préconisations de la **norme AFNOR NFX 10-970** qui s'appliquent aux sondes géothermiques verticales :

- Recours à un **bureau d'études** pour garantir le bon dimensionnement des fondations thermoactives.
- Concertation entre le bureau d'études thermiques et celui en charge du calcul des structures (application de l'Eurocode 7).
- Obtention d'un avis technique favorable délivré par le CSTB.
- *Réalisation d'un **test de réponse thermique (TRT)** sur le premier élément de fondation pour ajuster le dimensionnement définitif.*



Le puits Canadien

FICHE PROCEDE

PRESENTATION DU PROCEDE :

Le puits canadien permet un échange de calories entre le sol et l'air extérieur par l'intermédiaire d'une canalisation enterrée ; couplé au système de ventilation du bâtiment (VMC simple ou double-flux), ce procédé permet de réguler la température de l'air entrant et donc de diminuer l'apport énergétique nécessaire au chauffage ou au rafraîchissement.

Le sol garde une température relativement stable dès 2 mètres de profondeur (entre 10 et 18 °C selon les saisons, les régions, la nature du sol) ; plus on est profond, plus la température est constante.

Le but du puits canadien est que l'air sortant soit à la température du sol. Pour arriver à ce résultat, plusieurs paramètres sont déterminants :

- La masse volumique du sol
- Les propriétés thermiques du sol (conductivité et capacité thermique)
- Les dimensions du tube enterré (longueur, diamètre)
- Le débit d'air circulant à l'intérieur du tube.

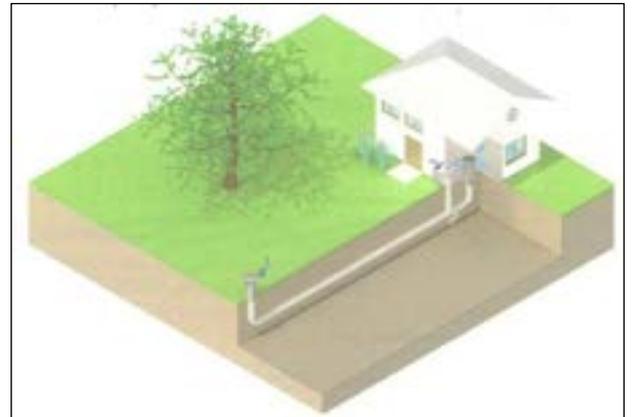


Schéma d'un Puits canadien.

[Source : la géothermie et les réseaux de chaleur - BRGMéditations]

USAGES

Régulation de la température de l'air

SECTEURS

Habitat individuel

Résidentiel collectif

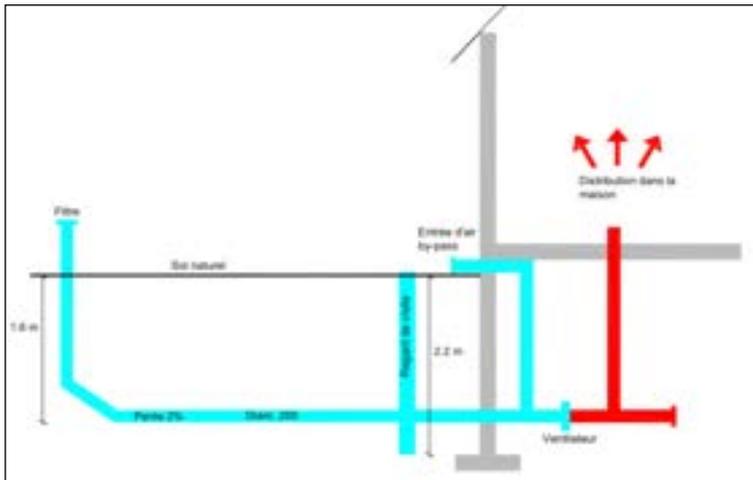
Petit tertiaire

DOMAINES D'APPLICATION :

Ce procédé permet le préchauffage / le refroidissement de l'air entrant dans un bâtiment ; il est bien adapté à l'habitat individuel, au petit collectif, ainsi qu'aux bureaux.

FAISABILITE :

Opportunités	Conditions
Coût de maintenance et d'exploitation limités	Accessibilité pour les travaux de terrassement
Pas de dossier réglementaire	Rendement thermique limité
Système applicable en tous lieux	Disponibilité foncière adaptée



Coupe transversale d'un puits Canadien

MISE EN ŒUVRE :

La mise en place d'un puits canadien doit être réalisée dans les règles de l'art en respectant les principes suivants :

- Tube enterré avec une pente d'au moins 2 % pour l'évacuation des condensats au niveau du regard de visite.
- Regard de visite équipé d'une pompe pour l'évacuation des eaux.
- Filtre pour éviter l'intrusion de rongeurs ou d'insectes.
- Linéaire total de la conduite calculé à partir du débit d'air souhaité et du diamètre de la conduite.

Annexe 2 : Arrêtés relatifs à la géothermie de minime importance

**Annexe 3 : Résumé des ZNIEFF sur le territoire du
Grand Douaisis**

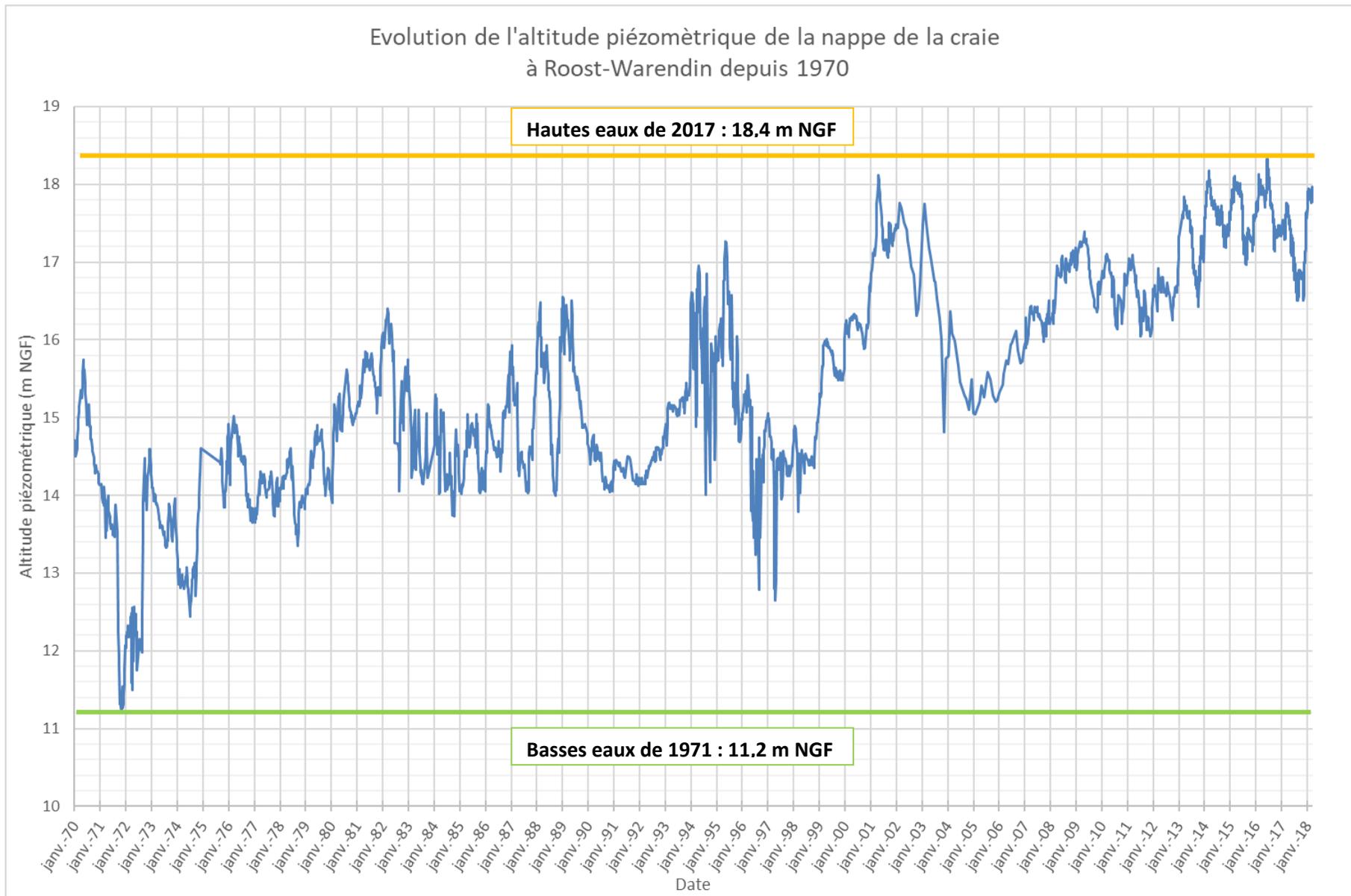
ID SPN	Appellation	Statut
310030009	Marais du Bois de Bias à Pecquencourt	Type 1*
310030007	Parc des Renouvelles, marais de Dechy	Type 1
310030005	Carrière de Cantin	Type 1
310030000	Bois de Faux à Marchiennes	Type 1
310014513	Massif forestier de Saint-Amand et ses lisières	Type 1
310014029	Terril d'Auberchicourt	Type 1
310013764	Pelouses et bois métallicoles d'Auby	Type 1*
310013763	Terril n°136 dit Lains Ouest et marais de Pont Pinet à Roost-Warendin	Type 1*
310013752	Ancienne carrière d'Emerchicourt	Type 1*
310013749	Bois de la Garenne, Mont d'Erchin et bois de Lewarde	Type 1*
310013714	Marais de la tourberie	Type 1*
310013713	Bois de Flines-les-Raches	Type 1*
310013710	Marais de Fenain	Type 1*
310013709	Complexe humide entre la ferme de la Tourberie, le bois de Saint-Amand et la ferme d'Hertain	Type 1*
310013708	Marais de Sonnevile et complexe humide des Pinchelots	Type 1*
310013707	Marais du Vivier et Prés des Veaux	Type 1*
310013706	Tourbière de Vred	Type 1*
310013705	Tourbière de Marchiennes	Type 1*
310013703	Forêt domaniale de Marchiennes et ses lisières	Type 1*
310013317	Vallée de l'Escrebieux, marais de Wagnonville et Bois des Anglais	Type 1*
310013265	Marais de Roost-Warendin	Type 1*
310013264	Marais de la Sensée entre Aubigny-au-bac et Bouchain	Type 1*
310013262	Marais des Viviers et des Grandes Billes à Lecluse,	Type 1*
310013261	Marais d'Aubigny et de Brunemont	Type 1*

310013260	Complexe humide entre Roost-Warendin et Raimbaucourt	Type 1*
310013257	Marais de Râches et la Tourbière	Type 1*
310013256	Prés de Warlaing et Prés de Briolles	Type 1*
310013255	Bois de Bouvignies et prairies humides du Cattelet et du Faux Vivier à Flines-lez-Raches et Marchiennes	Type 1*
310007251	Marais d'Arleux, de Palluel, de Saudemont, d'Ecourt Saint-Quentin, de Rumaucourt et d'Oisy-le-Verger	Type 1*
310007248	Marais de Rieulay	Type 1*
310007229	Terril de Germignies-Nord et de Rieulay-Pecquencourt, bois de Montigny et marais avoisinants	Type 1*
310013254	La Plaine alluviale de la Scarpe entre Flines-lez-Râches et la confluence avec l'Escaut	Type 2**
310007249	Le complexe écologique de la Vallée de la Sensée	Type 2**
* ZNIEFF de Type 1 : secteurs de grand intérêt biologique ou écologique		
** ZNIEFF de Type 2 : Grands ensembles naturels riches et peu modifiés, offrant des potentialités biologiques importantes		

Annexe 4 : Récapitulatif des sites Natura 2000 sur le territoire du Grand Douaisis

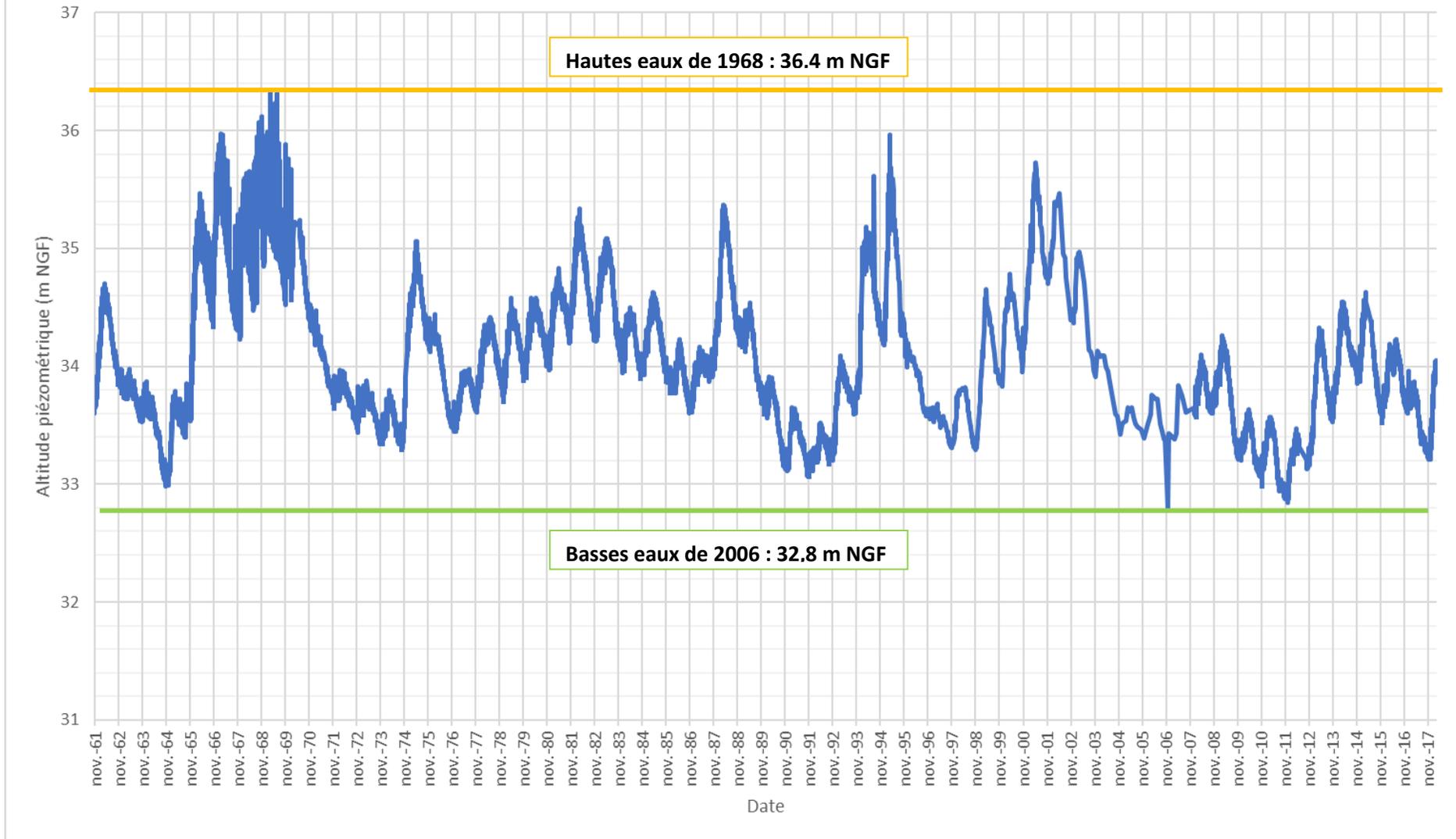
Code	Appellation	Statut
FR3100506	Bois de Flines-les-Raches et système alluvial du courant des Vanneaux	SIC*
FR3100507	Forêts de Raismes / Saint Amand / Wallers et Marchiennes et plaine alluviale de la Scarpe	SIC*
FR3100504	Pelouses métallicoles de la plaine de la Scarpe	SIC*
FR3112005	Vallée de la Scarpe et de l'Escaut	ZPS**
* SIC = Site d'Importance Communautaire ** ZPS = Zone de Protection Spéciale		

**Annexe 5 : Historique piézométrique de l'ouvrage
situé à Roost-Warendin**

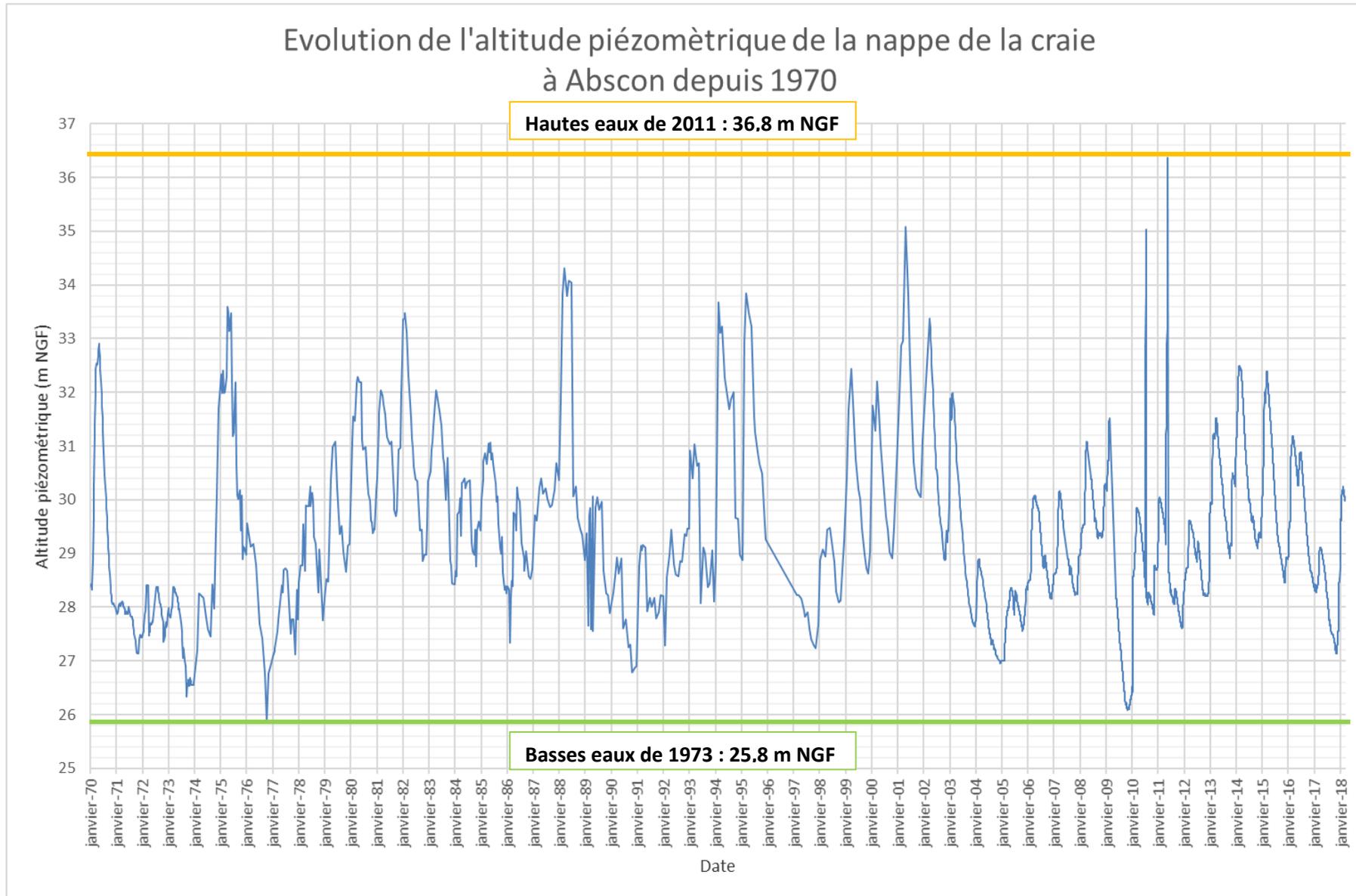


**Annexe 6 : Historique piézométrique de l'ouvrage
situé à Belonne**

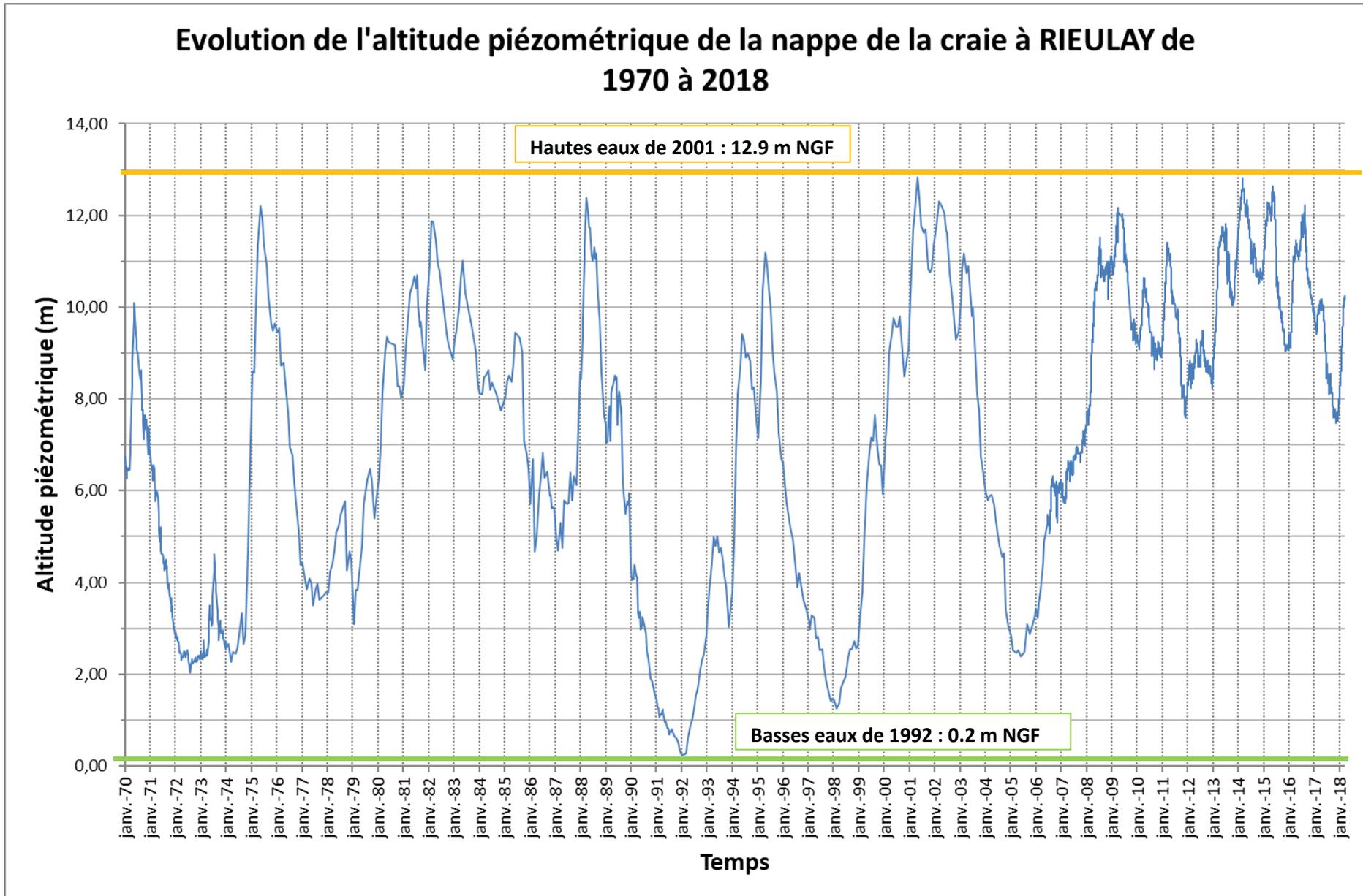
Evolution de l'altitude piézométrique de la nappe de la craie à Belonne depuis 1961



**Annexe 7 : Historique piézométrique de l'ouvrage
situé à Abscon**



**Annexe 8 : Historique piézométrique de l'ouvrage
situé à Rieulay**



Annexe 9 : Le logiciel MoDeGaz

1.1.1 Fonction de l'outil

MoDeGaz est un outil développé par Solagro et qui permet d'évaluer la demande de gaz journalière, par grands usages, et à la maille communale. Il peut recomposer la demande actuel ou futur en prenant en compte des hypothèses d'évolution des usages, et ou des conditions climatiques (températures).

1.1.2 Recomposition de la demande actuelle

L'outil se base sur la description des consommations annuelles à la maille IRIS que fourni le SDES¹. D'autres sources statistiques permettent de réajuster les consommations entre secteurs, et d'identifier le secteur de la production d'électricité.

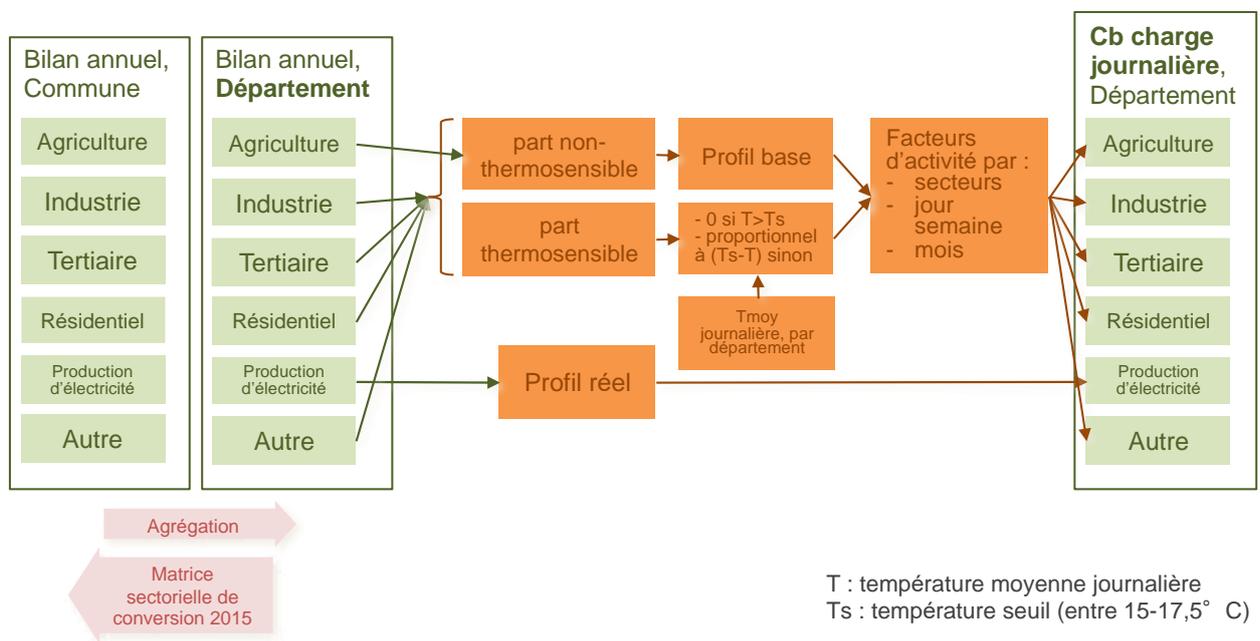


Figure 1 : Principe de modélisation de la demande actuelle

Pour reconstituer le profil journalier de la demande de gaz, la demande annuelle est répartie en considérant deux principaux déterminants :

- L'activité : représente l'activité du secteur (les activités économiques telles que l'industrie et le tertiaire peuvent être réduites durant le week-end ou les vacances, à l'inverse de l'occupation des logements). L'activité est ainsi modélisée par la multiplication de 2 facteurs prenant en compte différents « rythmes » : activité « jour semaine », et l'activité « mensuelle »
- Les conditions climatiques : ce facteur s'applique uniquement aux usages thermosensibles tels que le chauffage. De manière simplifiée, les conditions climatiques sont prises en compte à partir des températures moyennes journalières (T). La répartition de la consommation

¹ service de la donnée et des études statistiques (SDES) du ministère de la Transition écologique et solidaire : <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/accueil.html>

annuelle thermosensible suit le principe suivant (considérant que T_s est une température seuil comprise entre 15 et 17,5°C définie pour chaque mois) :

- Si $T > T_s$, pas de consommation journalière
- Si $T \leq T_s$, consommation proportionnelle à $(T_s - T)$

La décomposition des secteurs en usage thermosensible et non-thermosensible est faite notamment à partir du bilan énergétique français. Les secteurs agricoles et de production centralisée d'électricité ne font pas faits l'objet de décomposition :

- L'agriculture : par manque de donnée, et en considérant le fait que ce secteur est négligeable (moins de 1% des consommations annuelles)
- La production d'électricité : la production d'électricité à partir de gaz dépend de nombreux paramètres qu'il n'est pas possible de modéliser dans cet exercice. Pour 2015, les données réelles de production, par centrale et au pas de temps horaire fournies par RTE ont été utilisées.

Au final, les principaux paramètres (température seuil et facteurs d'activité) du modèle sont calés afin de reproduire au plus près la courbe de charge journalière nationale. La Figure 2 présente la comparaison entre la courbe modélisée et celle issue des statistiques des GRT pour l'année 2015.

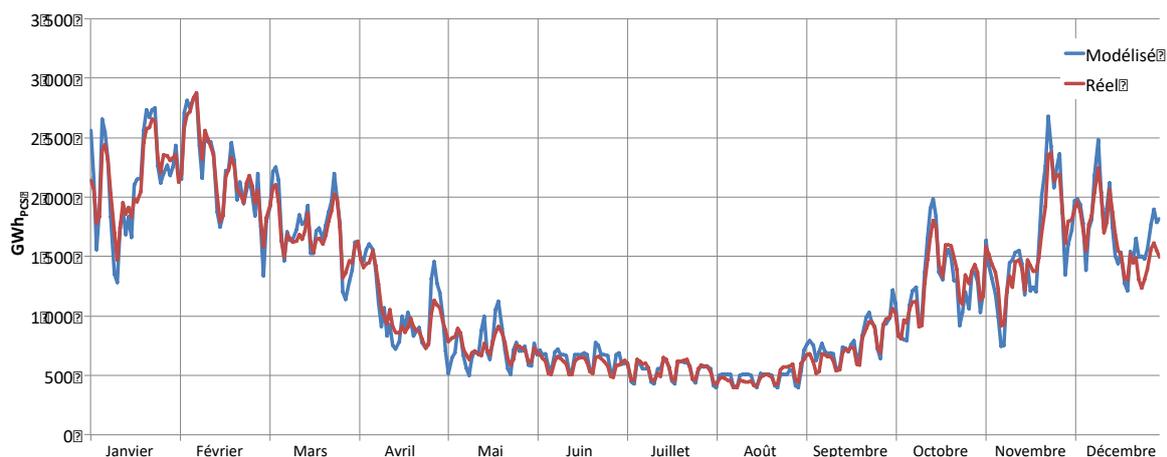


Figure 2 : Comparaison des courbes de charge journalière de consommation de gaz en France en 2015 : modélisation / réel
(Source : GRTgaz, TIGF, Solagro)

L'outil permet également de décomposer la courbe de charge par composante sectorielle (Figure 3). Les secteurs résidentiels et tertiaires sont fortement saisonnalisés et dépendants des aléas de températures. Le secteur industriel est plus constant, moins thermosensible et avec un cycle hebdomadaire particulièrement marqué (baisse de consommation le week-end). La production d'électricité possède à la fois un cycle saisonnier, elle se concentre sur la période majoritairement hivernale de fin septembre à avril et un cycle hebdomadaire, avec une forte baisse voire un arrêt le week-end.

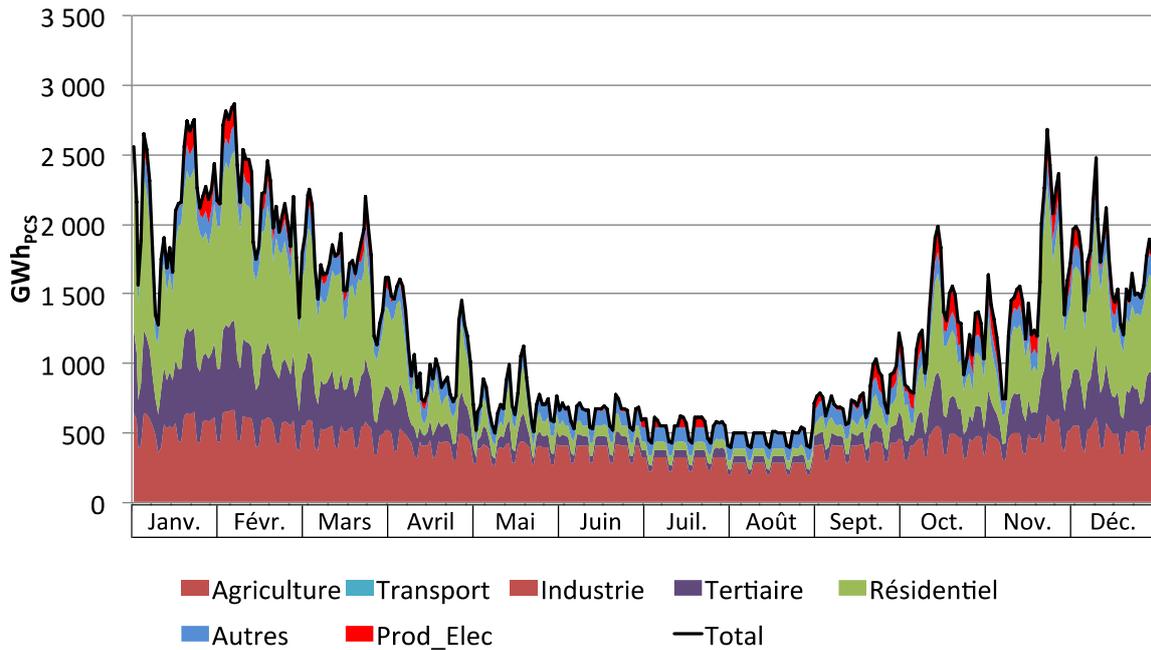


Figure 3 : Décomposition sectorielle de la courbe de charge journalière de consommation de gaz, 2015(réel)

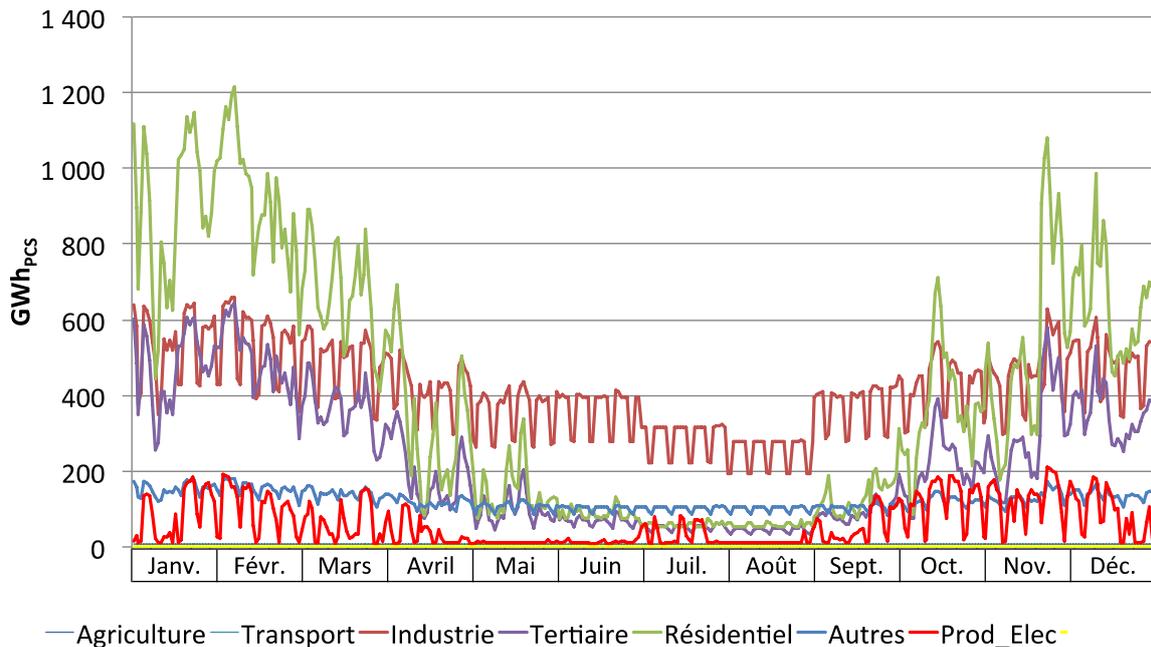


Figure 4 : Courbes de charge journalière de consommation de gaz, par secteur, 2015(réel)

1.1.3 Prise en compte d'hypothèses pour projections futures

L'outil de modélisation permet également d'évaluer la consommation en prenant en compte un autre jeu de conditions climatiques (jeu de température) et des évolutions de la consommation. Le principe de modélisation est décrit sur la figure suivante.

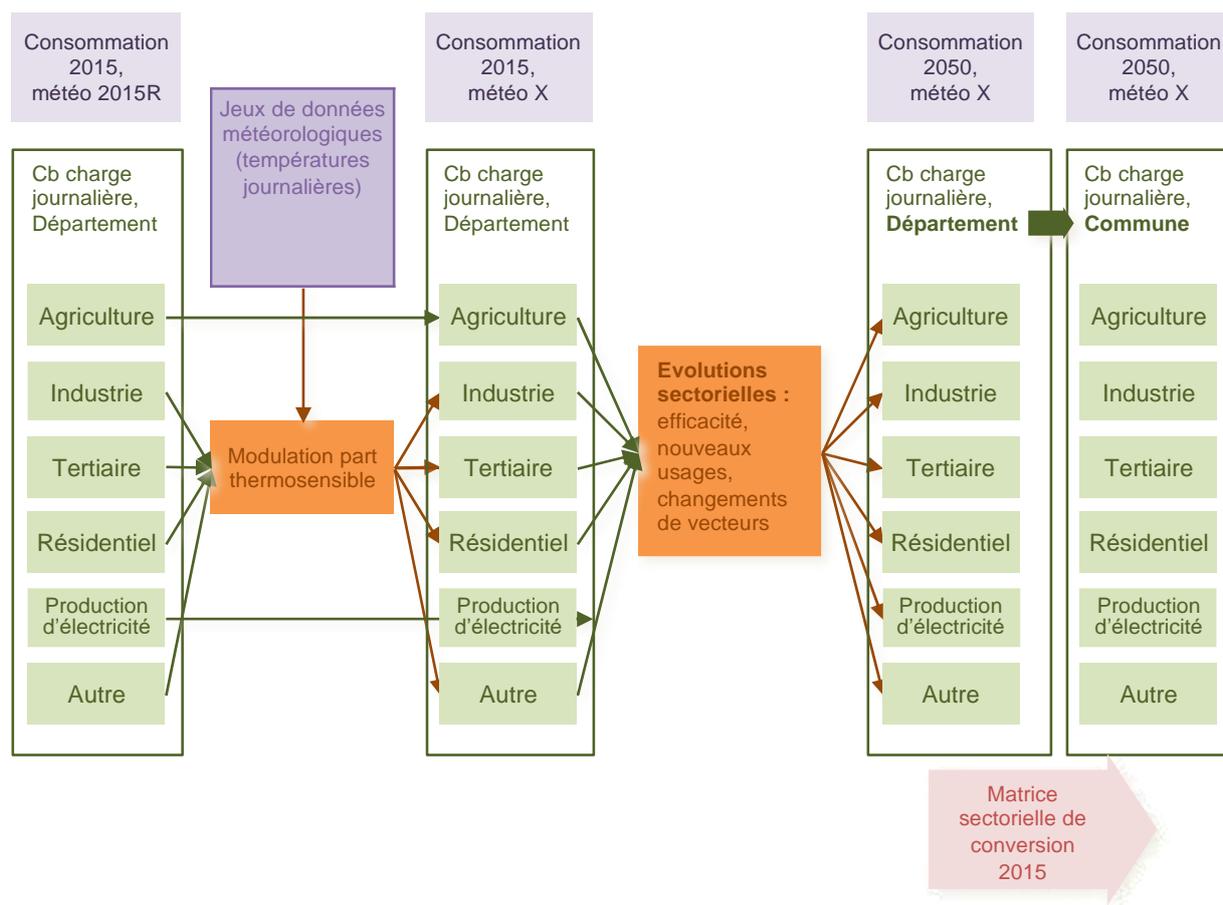


Figure 5 : Principe de modélisation de la projection de la demande

Le premier module permet d'évaluer la demande en fonction de divers jeux de données de température. Cet effet s'applique uniquement sur les usages thermosensibles définis, à savoir les secteurs résidentiels, tertiaires, industriels et autres.

En réalité, cet effet de météo modifie probablement également la production d'électricité, il n'est pas pris en compte dans le modèle en raison de la complexité de mise en œuvre : son évaluation nécessiterait une modélisation à part entière du système électrique, avec simulation des jeux de données météo. Néanmoins, il est important de souligner que la production centralisée d'électricité à partir de gaz concerne aujourd'hui seulement une dizaine de communes françaises, ainsi dans la majorité des études de cas territoriaux, cette simplification méthodologique n'aura aucun impact.

Le dernier module du modèle permet de prendre en compte les évolutions des usages. Un facteur d'évolution 2015->2050 est attribué à chaque usage modélisé, c'est à dire aux différents secteurs, en différenciant si besoin les usages thermosensibles et non-thermosensibles.

En base, les hypothèses de projection par secteur et usage s'appuient sur celles du scénario énergie climat ADEME 2035-2050², les valeurs retenues sont présentées sur le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Ainsi on voit par exemple que la part thermosensible du secteur résidentiel (R1) en 2050 représente seulement 27% de celle de 2015.

² ADEME, Enerdata, et Energies Demain, « Actualisation du scénario énergie-climat - ADEME 2035-2050 », septembre 2017, www.ademe.fr/actualisation-scenario-energie-climat-ademe-2035-2050.

			2050/2015
A0	Agriculture	Non-thermosensible	0,70
I0	Industrie	Non-thermosensible	0,65
I1	Industrie	Thermosensible	0,65
T0	Tertiaire	Non-thermosensible	0,19
T1	Tertiaire	Thermosensible	0,14
R0	Résidentiel	Non-thermosensible	0,59
R1	Résidentiel	Thermosensible	0,27
N0	Autre	Non-thermosensible	0,36
N1	Autre	Thermosensible	0,36

Tableau 1 : Évolutions sectorielles issues du scénario énergie climat ADEME 2035-2050

Par ailleurs, un nouveau secteur est créé, celui du transport, avec une consommation nationale estimée dans le scénario ADEME 2035-2050 en 2050 à 106 TWh_{PCS} de gaz carburant : dans ce scénario le gaz correspond à environ la moitié de l'énergie finale du secteur du transport³.

Cette consommation est répartie géographiquement selon deux clés de répartition :

- Répartition par département selon les volumes de consommation actuelle de carburant traditionnel
- Répartition au sein des communes d'un département au prorata de la population.

La **Figure 6** présente la courbe de charge 2015 et 2050 d'un département français, elle permet d'illustrer la modélisation de la projection de la demande.

D'une manière générale, on observe que la baisse de la demande ne se répartit pas de manière homogène sur l'année. Cette baisse se concentre sur la partie hivernale au sens large (octobre -> avril), en raison d'une forte baisse des usages saisonniers dans les secteurs résidentiels et tertiaires.

Sur la période estivale les niveaux de consommation des profils 2015 et 2050 sont similaires, la baisse liée aux économies d'énergie sur les secteurs « historiques » (industrie, résidentiel, tertiaire) est compensée par le développement du gaz carburant pour les transports.

2015

2050

³ ADEME, Enerdata, et Energies Demain.

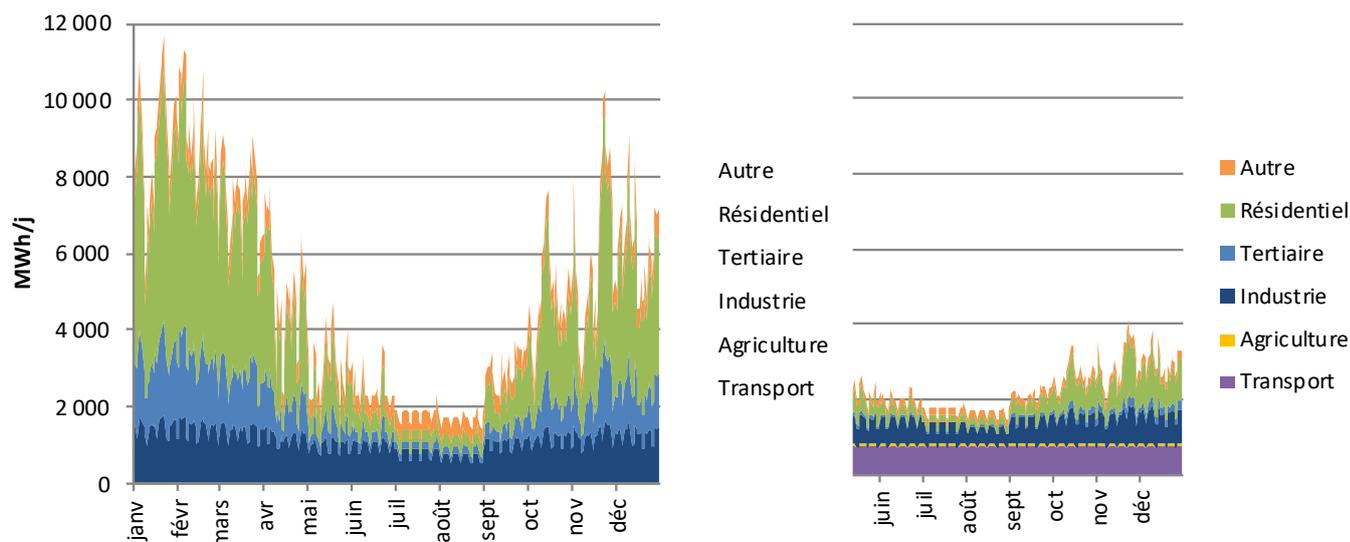


Figure 6 : Estimation de la consommation journalière d'un département 2015 et 2050

1.2 RESEAU DE GAZ – INTEGRATION DE PRODUCTION DECENTRALISEE

1.2.1 Fonctionnement du réseau de gaz

Les infrastructures gazières sont composées d'un réseau de transport national (Figure 7) maillant le territoire et alimentant les réseaux de distribution locaux. Elles comportent également 16 stockages souterrains de gaz raccordés au réseau de transport et d'une capacité totale d'environ 12 Mm³ (132 TWh_{PCS}), soit l'équivalent de près d'un tiers de la consommation annuelle. Cette capacité importante donne une très grande flexibilité, en permettant notamment l'équilibrage entre des importations de gaz relativement constantes au cours de l'année et une consommation fortement saisonnalisée, nettement plus importante en hiver.

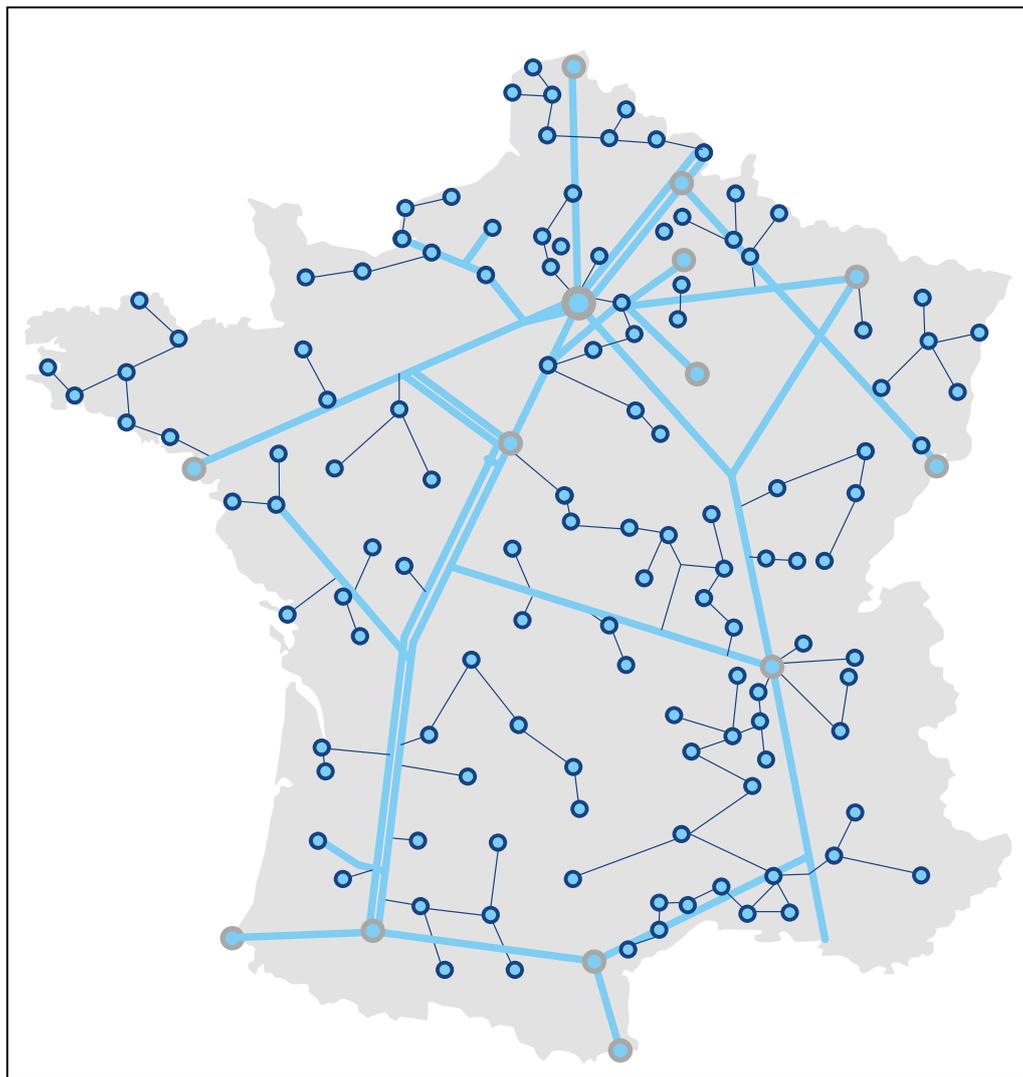


Figure 7 : Réseau de transport gaz France⁴

Aujourd'hui, la quasi-totalité du gaz consommé en France est importée, principalement par gazoduc via les frontières nord et est de la France, mais aussi par bateau sous forme de GNL (Gaz Naturel Liquéfié) par l'intermédiaire des terminaux méthaniers (Fos-sur-Mer, Montoir-de-Bretagne et récemment Dunkerque). Une partie du gaz est réexporté via une connexion au réseau espagnol (point virtuel « Pirineos ») et une interconnexion au réseau italien via la Suisse à Oltingue.

Les consommateurs finaux sont principalement raccordés aux réseaux de distributions, sauf pour les très gros consommateurs (grande industrie). Les réseaux de distributions se ramifient en plusieurs niveaux de pression, les plus petits consommateurs (logement individuels) étant raccordé aux pressions les plus basses.

Ainsi, aujourd'hui, le gaz circule de manière unidirectionnelle depuis les réseaux de transport (importation ou stockage) jusqu'au consommateur final. Le gaz est monté à haute pression (40-80 bar) dans les conduites de transport. Cette pression lui permet de vaincre les pertes de charge des différents réseaux jusqu'aux utilisateurs finaux. Des postes de détente sont installés à la jonction entre les réseaux de différentes classes de pression : ces organes de détente imposent une pression

⁴ GRDF, GRTgaz, TIGF, SPEGNN, « Bilan prévisionnel pluriannuel du gaz 2017 », 2017

plus faible au réseau aval, et empêche tout flux du réseau basse pression vers le réseau haute pression (fonctionnement unidirectionnel).

Récemment autorisé (2011), les unités de production décentralisée (méthanisation) peuvent être raccordées à différents points du réseau.

La Figure 8 résume ces différents éléments.

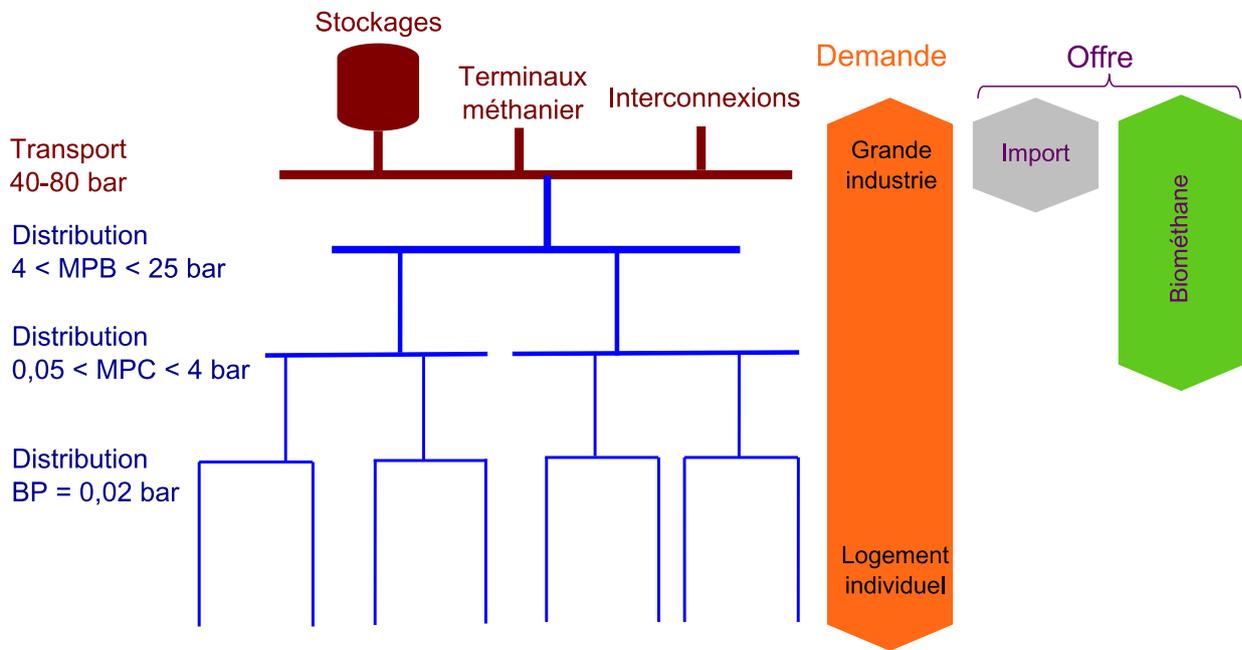


Figure 8 : Principe de fonctionnement du réseau de gaz (Source : Solagro)

1.2.2 Intégration de la production décentralisée

Les contraintes d'injection

Aujourd'hui, le raccordement d'unité de production de biométhane au réseau peut être contraint en termes de débit. On parle alors de capacité d'injection du réseau de gaz. En effet, le point de raccordement de l'unité de production conditionne la maille d'équilibrage. Sur cette maille d'équilibrage, à chaque instant la production locale doit rester inférieure à la consommation (sinon le réseau monte en pression et atteint sa pression max). Cette contrainte ne s'applique pas aux unités raccordées aux principales artères du réseau de transport qui permettent d'accéder aux capacités de stockage souterrain. Par ailleurs, chaque réseau possède également une capacité de stockage par respiration⁵ mais qui se limite souvent à quelques heures.

Pour les unités raccordées au réseau de distribution, étant donné le fonctionnement actuellement unidirectionnel des postes de détente, la maille d'équilibrage est composée du réseau d'injection plus les réseaux aval (Figure 9). Sans modification du réseau, la production injectable sera limitée à la consommation sur cette maille d'équilibrage.

⁵ Chaque niveau du réseau possède une plage de pression de fonctionnement, en jouant sur le niveau de pression on peut stocker ou déstocker du gaz. Ces capacités restent limitées comparé au stockage saisonnier.

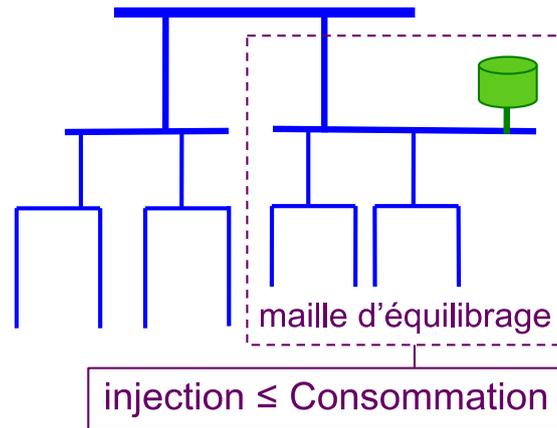


Figure 9 : Maille d'équilibrage pour le raccordement d'une unité de production de biométhane (Source : Solagro)

Les consommations de gaz ont un profil fortement saisonnalisé (Figure 10) en raison des usages thermosensibles dominants (chauffage) : elles sont beaucoup plus faibles en été qu'en hiver. L'effet est d'autant plus grand lorsque les consommateurs de type résidentiel et tertiaire sont dominants.

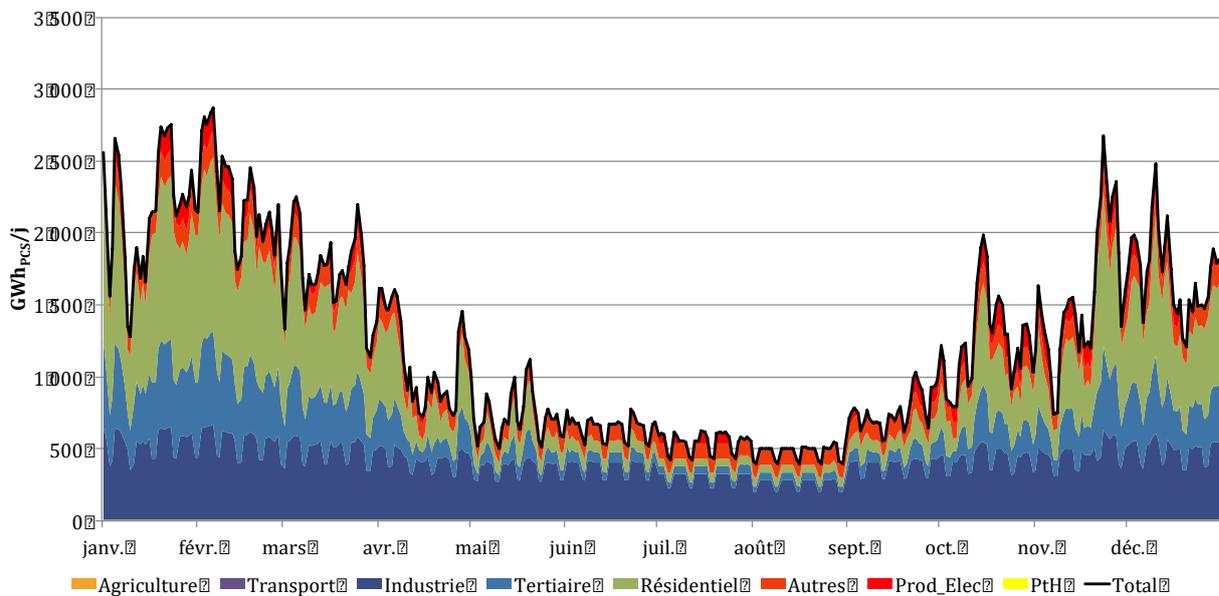


Figure 10 : Courbe de charge journalière de consommation de gaz – France – 2015 (reconstitution Solagro – MoDeGaz)

La production est quant à elle continue. Introduire de la flexibilité sur le profil de production est coûteux :

- Une flexibilité de quelques heures est possible avec un gazomètre (stockage de gaz basse pression). Les unités de production sont typiquement conçues avec un gazomètre permettant 3-6h de stockage, donc infra-journalières ;
- Introduire une flexibilité saisonnière est également possible en jouant sur la ration. Néanmoins, cette pratique entraîne une augmentation des coûts de production⁶ qui est souvent difficilement justifiable.

⁶ Ce mode de fonctionnement entraîne un surdimensionnement de l'installation (méthaniseur + épurateur), et/ou des capacités de stockage d'intrant supplémentaires.

Le débit d'injection continu sur l'année sera donc limité par l'étiage annuel de consommation sur la maille d'équilibrage.

Leviers pour augmenter la capacité d'injection

Si la capacité maximum d'injection est atteinte, plusieurs leviers peuvent permettre d'augmenter cette capacité :

Levier	Illustration	Etat de mise en œuvre
<p>Flexibilité locale</p> <p>Gazomètre sur méthaniseur</p> <p>+</p> <p>Possibilité de moduler la consigne de pression dans les réseaux (gonflage/dégonflage du réseau local)</p>		<p>En déploiement</p>
<p>Maillage entre deux réseaux de distribution pour agrandir la maille d'équilibrage</p>		<p>Déjà mis en œuvre</p>
<p>Rebours : compresseur permettant de remonter du gaz dans un réseau de pression supérieure</p>		<p>Premières expérimentations en France prévue en 2019</p>

Tableau 2 : Leviers pour augmenter la capacité d'injection

**Annexe 10 : Liste des Stations de Relevage des Eaux
sur le territoire du Grand Douaisis**

Réf.	Communes d'implantation	Collectivités concernées	Syndicats d'assainissement	Propriétaires	Nombre de pompe	Total débit théorique (m ³ /h)	Date de rénovation ou de construction
ED17	ANHIERS [3]	CAD	Noréade Pécquencourt Nord	Etat	6	7 870	2004
ED27	AUBERCHICOURT	CCCO	SIRSA	Coeur d'Ostrevent	2	1 440	-
ED15	DECHY [3]	CAD	DIRAH	Etat	3	1 840	2005
ED11	DOUAI [3]	CAD	DIRAH	Etat	2	600	2005
ED12	DOUAI [3]	CAD	DIRAH	Etat	6	7 300	1994
ED24	FLINES LEZ RACHES [3]	CAD	Noréade Pécquencourt Nord	SI de la Scarpe	4	8 640	-
ED8	GUESNAIN [3]	CAD	DIRAH	CAD ?	3	1 400	-
ED18	LALLAING [3]	CAD	Noréade Pécquencourt Nord	Coeur d'Ostrevent	4	3 692	-
ED44	LALLAING [3]	CAD	Noréade Pécquencourt Nord	Lallaing	7	4 500	-
ED19	PECQUENCOURT [3]	CCCO	Noréade Pécquencourt Nord	Etat	3	2 000	2001
ED23	PECQUENCOURT [3]	CCCO	Noréade Pécquencourt Nord	Etat	2	1 900	2004
ED22	PECQUENCOURT [3]	CCCO	Noréade Pécquencourt Nord	Etat	2	900	2004
ED21	PECQUENCOURT [3]	CCCO	Noréade Pécquencourt Nord	Etat	5	6 333	2004
ED43	SIN LE NOBLE [3]	CAD	DIRAH	Etat	1	252	-
ED4	SIN LE NOBLE [3]	CAD	DIRAH	Etat	2	610	1987
ED2	SIN LE NOBLE [3]	CAD	DIRAH	Etat	4	7 740	2005
ED40	SIN LE NOBLE [3]	CAD	DIRAH	Etat	-	-	-
ED1	WAZIERS [3]	CAD	DIRAH	Etat	4	4 530	2005
ED14	WAZIERS [3]	CAD	DIRAH	Etat	7	12 000	2005
ED6	DOUAI [3]	CAD	DIRAH	CAD	5	1 644	-
ED39	DOUAI [3]	CAD	DIRAH	CAD	5	2 780	-
ED38	FLERS EN ESCREBIEUX [3]	CAD	DIRAH	Etat	4	3 200	-
ED42	RAIMBEAUCOURT	CAD	Noréade Pécquencourt Nord	Etat	2	400	-

ED28	RAIMBEAUCOURT	CAD	Noréade Pécquencourt Nord	Etat	4	2 370	2003
ED29	RAIMBEAUCOURT [3]	CAD	Noréade Pécquencourt Nord	Etat	4	1 506	2003
ED30	ROOST WARENDIN [3]	CAD	Noréade Pécquencourt Nord	Etat	5	4 905	2004 ?
ED32	ROOST WARENDIN [3]	CAD	Noréade Pécquencourt Nord	Etat	4	3 912	2003
ED33	ROOST WARENDIN [3]	CAD	Noréade Pécquencourt Nord	Etat	2	306	2004
ED34	ROOST WARENDIN [3]	CAD	Noréade Pécquencourt Nord	Etat	5	8 000	2003
EV45	FENAIN [3]	CCCO	-	SMAHVSBE [2]	4	1 300	2003
EV48	FENAIN [3]	CCCO	-	Etat	5	5 240	2005
ED26	RIEULAY [3]	CCCO	-	Etat	3	2 000	-
ED25	SOMAIN [3]	CCCO	-	Etat	2	2 100	2004
EV46	SOMAIN [3]	CCCO	-	Somain	3	1 440	-

Annexe 11 : Extrait d'un potentiel FEDENE