

**ANNEXE 4 Résultats des essais de perméabilité**

Sondage : **EE1**  
 Passe d'essai : **1,0 - 2,0 m**

Essai n° : 1  
 Date : 07/06/2022

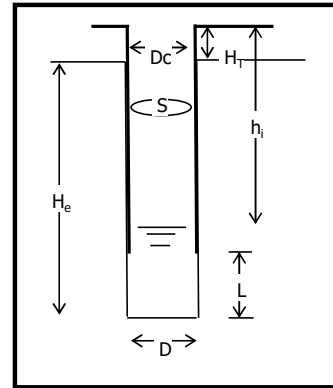
$H_T$ (m) =	0
$H_e$ (m) =	2
$L$ (m) =	1
$D$ (m) =	0.089 $\phi$ cavité
$D_c$ (m) =	0.104 $\phi$ int. tube

**NB : Cavité cylindrique**

$S$ (m <sup>2</sup> ) =	0.00849	tube
$L/D$ =	11.24	cavité
$F$ =	2.01885	

<b>F</b>	
$L/D > 10$	2.01885
$1.2 < L/D < 10$	2.01757
$0.7 < L/D < 1.2$	1.895

**Méthode d'essai à charge variable**

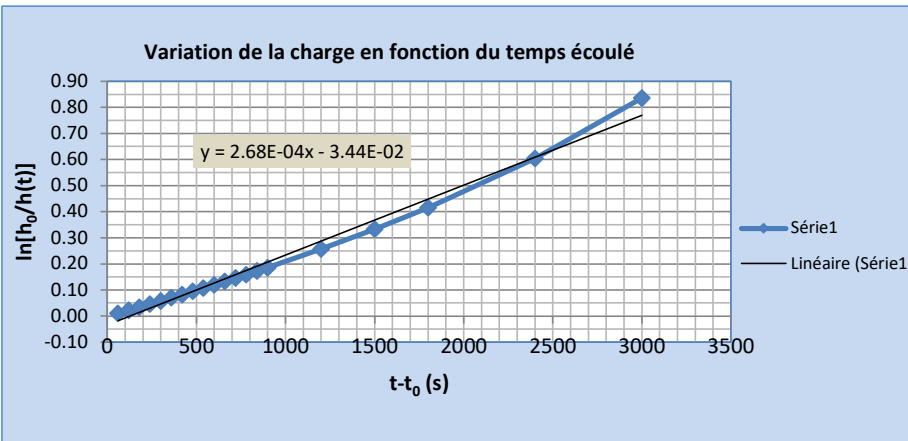
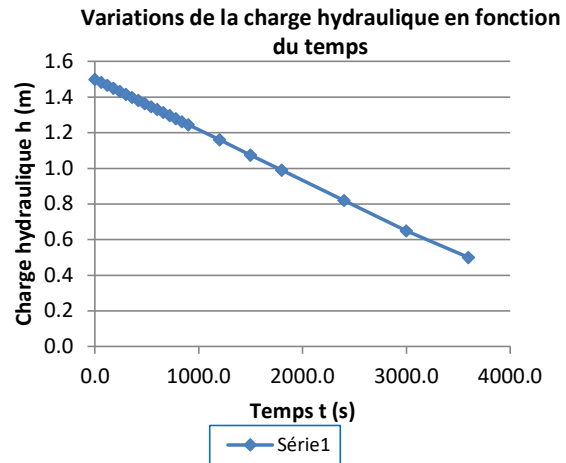


**Mesure de la descente après remplissage et annulation du débit**

(méthode de la courbe de vitesse)

Niveau de l'eau $h_i$ (m)	Temps t (sec)	Charge hydraulique $h(t)$ en m (*)	$\ln[h_0/h(t)]$	$t - t_0$ (s)
0.000	0	1.50		
0.017	60	1.48	1.14E-02	60
0.034	120	1.47	2.29E-02	120
0.051	180	1.45	3.46E-02	180
0.068	240	1.43	4.64E-02	240
0.085	300	1.42	5.83E-02	300
0.102	360	1.40	7.04E-02	360
0.119	420	1.38	8.27E-02	420
0.136	480	1.36	9.50E-02	480
0.153	540	1.35	1.08E-01	540
0.170	600	1.33	1.20E-01	600
0.187	660	1.31	1.33E-01	660
0.204	720	1.30	1.46E-01	720
0.221	780	1.28	1.59E-01	780
0.238	840	1.26	1.73E-01	840
0.255	900	1.25	1.86E-01	900
0.340	1200	1.16	2.57E-01	1200
0.425	1500	1.08	3.33E-01	1500
0.510	1800	0.99	4.16E-01	1800
0.680	2400	0.82	6.04E-01	2400
0.850	3000	0.65	8.36E-01	3000
1.000	3600	0.50	1.10E+00	3600

(\*) : par rapport au milieu de la cavité



**Perméabilité :**

**$k$  (m/s) = 1.1E-06**

A l'infiltration  
 Interprétation entre 0 et 50 min. Faible perméabilité.  
 Léger décolmatage en fin d'essai

**Type d'essai non utilisable pour évaluer un débit d'exhaure**

Sondage : **EE2**  
 Passe d'essai : **1,0 - 2,0 m**

Essai n° : 2  
 Date : 09/06/2022

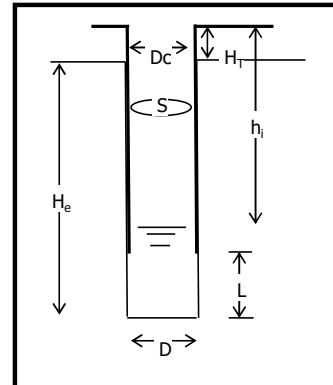
$H_T$ (m) =	0
$H_e$ (m) =	2
$L$ (m) =	1
$D$ (m) =	0.089 $\phi$ cavité
$D_c$ (m) =	0.104 $\phi$ int. tube

**NB : Cavité cylindrique**

$S$ (m <sup>2</sup> ) =	0.00849	tube
$L/D$ =	11.24	cavité
$F$ =	2.01885	

F	
$L/D > 10$	2.01885
$1.2 < L/D < 10$	2.01757
$0.7 < L/D < 1.2$	1.895

**Méthode d'essai à charge variable**

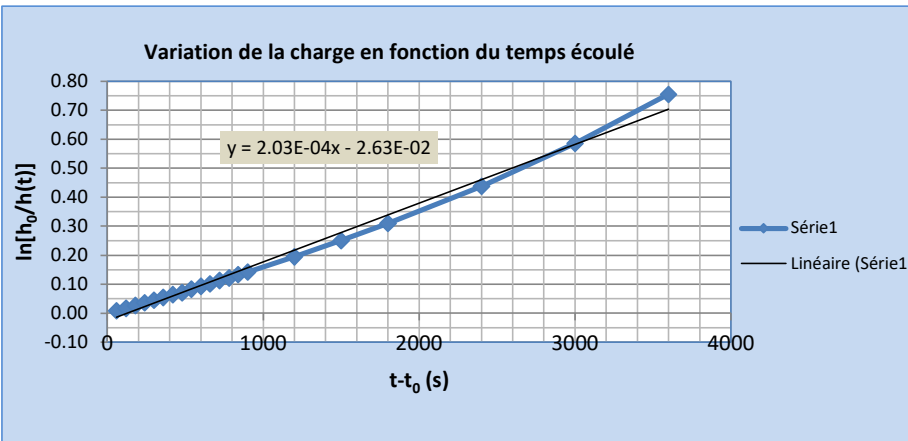
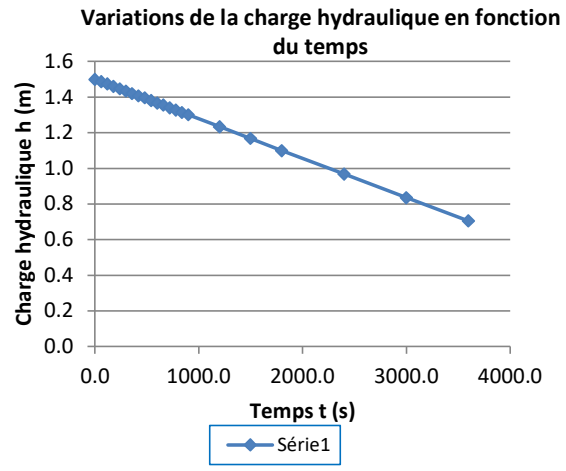


**Mesure de la descente après remplissage et annulation du débit**

(méthode de la courbe de vitesse)

Niveau de l'eau $h_i$ (m)	Temps t (sec)	Charge hydraulique $h(t)$ en m (*)	$\ln[h_0/h(t)]$	t - t <sub>0</sub> (s)
0.000	0	1.50		
0.013	60	1.49	8.70E-03	60
0.026	120	1.47	1.75E-02	120
0.040	180	1.46	2.70E-02	180
0.053	240	1.45	3.60E-02	240
0.066	300	1.43	4.50E-02	300
0.080	360	1.42	5.48E-02	360
0.093	420	1.41	6.40E-02	420
0.103	480	1.40	7.11E-02	480
0.120	540	1.38	8.34E-02	540
0.133	600	1.37	9.28E-02	600
0.145	660	1.36	1.02E-01	660
0.160	720	1.34	1.13E-01	720
0.172	780	1.33	1.22E-01	780
0.187	840	1.31	1.33E-01	840
0.199	900	1.30	1.42E-01	900
0.266	1200	1.23	1.95E-01	1200
0.332	1500	1.17	2.50E-01	1500
0.400	1800	1.10	3.10E-01	1800
0.532	2400	0.97	4.38E-01	2400
0.665	3000	0.84	5.86E-01	3000
0.795	3600	0.71	7.55E-01	3600

(\*) : par rapport au milieu de la cavité



**Perméabilité :**

**$k$  (m/s) = 8.5E-07**

A l'infiltration  
 Interprétation entre 0 et 60 min. Très faible perméabilité.  
 Léger décolmatage en fin d'essai

**Type d'essai non utilisable pour évaluer un débit d'exhaure**

Sondage : **EE3**  
 Passe d'essai : **1,0 - 2,0 m**

Essai n° : 3  
 Date : 09/06/2022

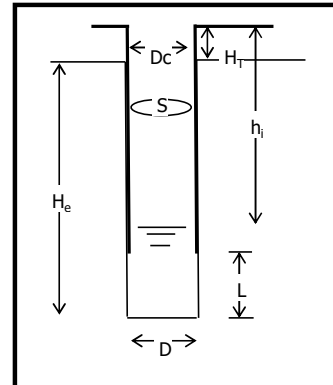
H <sub>T</sub> (m) =	0
H <sub>e</sub> (m) =	2
L (m) =	1
D (m) =	0.089 <small>φ cavité</small>
D <sub>c</sub> (m) =	0.104 <small>φ int. tube</small>

**NB : Cavité cylindrique**

S (m <sup>2</sup> ) =	0.00849	tube
L/D =	11.24	cavité
F =	2.01885	

F	
L/D > 10	2.01885
1.2 < L/D < 10	2.01757
0.7 < L/D < 1.2	1.895

**Méthode d'essai à charge variable**

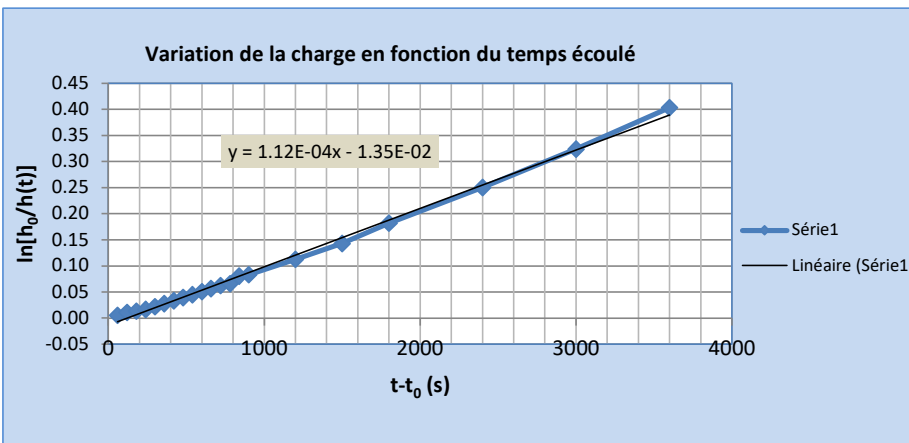
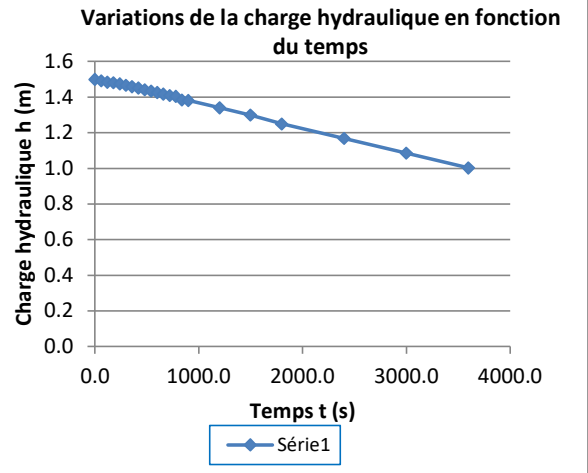


**Mesure de la descente après remplissage et annulation du débit**

(méthode de la courbe de vitesse)

Niveau de l'eau h <sub>i</sub> (m)	Temps t (sec)	Charge hydraulique h(t) en m (*)	ln[h <sub>0</sub> /h(t)]	t - t <sub>0</sub> (s)
0.000	0	1.50		(t <sub>0</sub> , h <sub>0</sub> )
0.008	60	1.49	5.35E-03	60
0.016	120	1.48	1.07E-02	120
0.020	180	1.48	1.34E-02	180
0.025	240	1.48	1.68E-02	240
0.033	300	1.47	2.22E-02	300
0.041	360	1.46	2.77E-02	360
0.049	420	1.45	3.32E-02	420
0.058	480	1.44	3.94E-02	480
0.066	540	1.43	4.50E-02	540
0.074	600	1.43	5.06E-02	600
0.083	660	1.42	5.69E-02	660
0.091	720	1.41	6.26E-02	720
0.096	780	1.40	6.61E-02	780
0.116	840	1.38	8.05E-02	840
0.120	900	1.38	8.34E-02	900
0.160	1200	1.34	1.13E-01	1200
0.200	1500	1.30	1.43E-01	1500
0.250	1800	1.25	1.82E-01	1800
0.332	2400	1.17	2.50E-01	2400
0.415	3000	1.09	3.24E-01	3000
0.498	3600	1.00	4.03E-01	3600

(\*) : par rapport au milieu de la cavité



**Perméabilité :**

**k (m/s) = 4.7E-07**

A l'infiltration  
 Interprétation entre 0 et 60 min. Faible perméabilité.  
 Léger décolmatage en fin d'essai

**Type d'essai non utilisable pour évaluer un débit d'exhaure**

## ANNEXE 5 Résultats des essais en laboratoire

<b>Site de prélèvement</b>	<b>Perigueux</b>	<b>Société</b>	<b>SEMOFI</b>
<b>N° de Sondage</b>	<b>ST1 - ST2</b>	<b>Vos références dossier</b>	C22-17225
<b>Profondeur (m)</b>	<b>(1,0 - 1,5) - (1,5 - 2,0)</b>	<b>Nos références dossier</b>	S22-10488
<b>Date du prélèvement</b>	01/07/2022	<b>Date de réception du dossier</b>	31/08/2022
<b>Prélèvement effectué par</b>	GEOSOND	<b>Date de réalisation de l'essai</b>	06/09/2022
<b>Condition de conservation</b>	Sac	<b>Opérateur:</b>	MAG

**Description visuelle de l'échantillon :**

Grave à matrice sablo-limoneuse marron ferme, réagit au HCl

Essais réalisés sur le mélange des sacs ST1 (1,0 - 1,5) et ST2 (1,5 - 2,0)

Classe GTR déterminée : **B6****Température d'étuvage de la prise d'essai en °C:** **105**

Les résultats suivants s'appliquent à la détermination de la teneur en eau pondérale effectuée à partir d'un échantillon intact, remanié ou reconstitué, de tous sols et de tous les matériaux cités de la NF P 11-300.

La teneur en eau est un paramètre d'état qui permet d'approcher certaines caractéristiques mécaniques et d'apprécier la consistance d'un sol fin.

$$W_N = 10,1\%$$

La limite de liquidité et la limite de plasticité d'Atterberg s'appliquent aux éléments passants au travers d'un tamis de dimension nominale d'ouverture 0,400 mm.

Les limites d'Atterberg sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et à caractériser son état au moyen de son indice de consistance.

<b>Limite de Plasticité <math>W_P</math></b>	<b>26%</b>
<b>Limite de Liquidité <math>W_L</math></b>	<b>39%</b>
<b>Indice de Plasticité <math>IP</math></b>	<b>13</b>
<b>Indice de Consistance <math>I_c</math></b>	<b>2,23</b>

Ce présent document s'applique à la description des sols en vue de leur classification, à la détermination des classes granulométriques et à la vérification des classes granulométriques imposées.

L'essai contribue à apprécier les qualités drainantes et la sensibilité à l'eau de leurs matériaux ainsi que leurs aptitudes au compactage.

<b>Diamètre du Tamis en mm</b>	50	20	5	2	0,08	0,063
<b>% Tamisats Cumulés</b>	100%	88%	62%	49%	21%	21%

Nota: Ces données sont factuelles issues des différentes normes les régissant, l'interprétation et l'application au site doivent être effectuées par une ingénierie compétente.

Procès verbal établi à Villeneuve le Roi le : 12-sept.-22

**Agathe JANKOVJEVIC**Responsable des essais  
de Classification des Sols

**ANNEXE 6 Classification des missions géotechniques  
types**

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage	Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux		
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.

### **ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)**

Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elle comprend deux phases :

#### Phase Étude de Site (ES)

Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site.

- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.
- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

#### Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).

### **ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)**

Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases :

#### Phase Avant-projet (AVP)

Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques.

#### Phase Projet (PRO)

Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

#### Phase DCE / ACT

Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques.

- Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).
- Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

### **ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées)**

#### **ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)**

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives :

##### Phase Étude

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.

##### Phase Suivi

- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO)

#### **SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)**

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives :

##### Phase Supervision de l'étude d'exécution

- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

##### Phase Supervision du suivi d'exécution

- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).
- donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

#### **DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)**

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.
- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).

**Annexe 12. Lettre  
Archéologie préventive  
Consultation préalable à un projet  
d'aménagement - DRAC**

22 AOÛT 2022



**PRÉFÈTE  
DE LA RÉGION  
NOUVELLE-AQUITAINE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**Direction régionale  
des affaires culturelles**

Service régional de l'archéologie

Lamotte

Affaire suivie par :  
Hervé GAILLARD  
05 57 95 02 66

40 Avenue Ariane

33700 MÉRIGNAC

herve.gaillard@culture.gouv.fr

Références : CP0243222200025-1

À l'attention de M. Jean-François Fayot,

Bordeaux, le 04 août 2022

**Lettre recommandée avec accusé de réception**

**Objet :** Archéologie préventive - Consultation préalable à un projet d'aménagement  
**Références :** PERIGUEUX (DORDOGNE), 2022 - 5 promenade du Canal, site Barcométal  
CP0243222200025  
Votre courrier du 1er août 2022  
Livre V du Code du patrimoine

Monsieur le directeur,

Vous m'avez transmis un dossier relatif au projet visé en référence afin que j'examine s'il est susceptible de donner lieu à des prescriptions archéologiques. Cet envoi constitue une demande d'information préalable au titre de l'article R.523-12 du code du patrimoine. J'ai l'honneur d'en accuser réception à la date du 4 août 2022.

Après examen du dossier, je vous informe que ce projet ne donnera pas lieu à une prescription d'archéologie préventive. En effet, même si la position en berge à l'amont du pont médiéval de la Cité, disparu au XIXe siècle, donne quelque intérêt au site d'un point de vue archéologique, la transformation du terrain lors de sa conversion industrielle et les teneurs en métaux lourds et hydrocarbures condamnent son accès pour une opération archéologique, y compris en diagnostic.

En conséquence, je suis réputée avoir renoncé à émettre des prescriptions d'archéologie préventive. Ce renoncement est valable cinq ans sauf si votre projet connaît des modifications substantielles ou si l'état des connaissances archéologiques sur ce territoire évolue.

Je vous rappelle toutefois qu'en cas de découverte fortuite de vestiges archéologiques vous avez l'obligation d'en faire la déclaration immédiate auprès du maire de la commune concernée conformément à l'article L.531-14 du code du patrimoine, et je vous remercie d'en informer mes services.

Mes services se tiennent à votre disposition pour vous apporter toutes les informations que vous jugerez utiles.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le directeur, l'expression de ma considération distinguée.

Pour la Préfète de Région,  
et par délégation, pour la Directrice régionale des affaires culturelles  
et par subdélégation,  
La Conservatrice régionale adjointe de l'Archéologie

Hélène MAVERAUD-TARDIVEAU

# **Annexe 12. Etude de perméabilité SEMOFI**



## CONSTRUCTION DE LOGEMENTS COLLECTIFS

5 Promenade du Canal  
Périgueux (24)

### NEXITY

17, Rue Montesquieu  
33 000 - Bordeaux

### Compte-rendu d'essais de perméabilité

Réf. SEMOFI	Date	Phase	Type	Indice	Pièce
C22-17225	19/07/2022	HYDRO	CR	A	02

Indice	Date	Objet de l'édition/révision	Rédacteur	Superviseur	Approuvé par
A	19/07/2022	Première émission	M. N. DUCASSE	M. T. FORT	G. CASADO

Nombre de pages 11 + 3 Annexes

## GRILLE DE REVISION

PAGE	REVISION	A	B	C	D	PAGE	REVISION	A	B	C	D
1	X					33					
2	X					34					
3	X					35					
4	X					36					
5	X					37					
6	X					38					
7	X					39					
8	X					40					
9	X					41					
10	X					42					
11	X					43					
12						44					
13						45					
14						46					
15						47					
16						48					
17						49					
18						50					
19						51					
20						52					
21						53					
22						54					
23						55					
24						56					
25						57					
26						58					
27						59					
28						60					
29						61					
30						62					
31						63					
32						64					

---



---

## SOMMAIRE

---



---

<b>1.</b>	<b>Introduction</b> .....	<b>4</b>
1.1.	Généralités.....	4
1.2.	Mission.....	4
1.3.	Documents fournis.....	4
<b>2.</b>	<b>Présentation du site et du projet</b> .....	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Contexte géologique et hydrogéologique succinct</b> .....	<b>7</b>
3.1.	Données géologiques bibliographiques.....	7
3.2.	Contexte hydrologique général.....	8
3.3.	Contexte hydrogéologique local.....	9
<b>4.</b>	<b>Investigations in situ</b> .....	<b>10</b>
4.1.	Sondages réalisés .....	10
4.2.	Résultats des essais de perméabilité réalisés .....	10
<b>5.</b>	<b>Avis sur la perméabilité mesurée</b> .....	<b>11</b>

---



---

## LISTE DES FIGURES

---



---

Figure 1 :	Localisation du site d'étude sur photo aérienne (Source : Géoportail).....	5
Figure 2 :	Extrait du plan de masse du projet (Source : Schurdi-Levraud Architecture) .....	6
Figure 3 :	Plan en coupe transversale du projet (Source : Schurdi-Levraud Architecture) .....	6
Figure 4 :	Extrait de la carte géologique de Périgueux Ouest au 1/50 000 (Source : Infoterre - BRGM) .....	7
Figure 5 :	Contexte hydrologique autour du site (Source : Géoportail) .....	8
Figure 6 :	Extrait de la carte de diagnostic pour la stratégie du TRI de Périgueux (Source : DREAL) .....	8

---



---

## LISTE DES TABLEAUX

---



---

Tableau 1 :	Documents fournis.....	4
Tableau 2 :	Sondages réalisés .....	10
Tableau 3 :	Résultats du test de perméabilité .....	10
Tableau 4 :	Aptitude des sols à l'infiltration (EPNAC) .....	11

---



---

## ANNEXES

---



---

- Annexe 1 : Plan de situation et vue aérienne actuelle
- Annexe 2 : Plan d'implantation et coupes des sondages
- Annexe 3 : Procès verbaux des essais de perméabilité

# 1. Introduction

## 1.1. Généralités

A la demande et pour le compte de Nexity, sis au 14 rue Montesquieu à Bordeaux (33 000), SEMOFI effectue une mission hydrogéologique de caractérisation de la perméabilité des sols au droit du futur projet immobilier situé au 5 promenade du Canal à Périgueux (24).

À la suite de notre proposition technique et financière n°P22.31960\_ind 2 en date du 18/05/2022, Nexity a missionné SEMOFI pour la réalisation des études suivantes :

- Une étude géotechnique préliminaire de type G2-AVP, rapport C22.17225 – Pièce n°1\_ind A, en date du 08/07/2022 ;
- Un compte-rendu de la perméabilité des sols, rapport référencé C22.17225 – Pièce n°2\_ind A, objet du présent document ;
- Une étude géotechnique de conception de type G2-PRO, à venir ;
- Un suivi piézométrique de 5 mesures au droit du site qui fera l'objet d'un compte-rendu, prévu entre octobre 2022 et mars 2023, à venir.

## 1.2. Mission

Il s'agit d'une mission d'investigations in-situ pour la réalisation de 3 tests de perméabilité de type Nasberg au droit des espaces disponibles pour l'implantation d'un système de gestion des eaux pluviales du projet immobilier.

Les essais de perméabilité ont été réalisés dans le cadre des investigations pour l'étude géotechnique G2 AVP, rapport C22.17225 – Pièce n°1\_ind A, en date du 08/07/2022.

Notre mission se conclura par l'interprétation de ces 3 tests de perméabilité (par infiltration - essai en forage).

## 1.3. Documents fournis

Pour réaliser cette mission il nous a été fourni :

Référence	Auteur	Date	Information
Plan d'état des lieux altimétrique	SELARL AUIGE	13/09/2021	Plan topographique de la zone d'étude
Esquisse Architecturale	LAMOTTE	15/04/2022	Plan de masse et coupes de principes des aménagements

**Tableau 1 : Documents fournis**

## 2. Présentation du site et du projet

Le projet prend place au 5 promenade du Canal à Périgueux (24).

Cette opération prévoit l'aménagement d'un nouveau quartier en lieu et place d'un ancien site industriel. Il est prévu :

- 4 bâtiments d'habitation collectifs de type R+3 à R+4 sans sous-sol ;
- 22 maisons individuelles de type T3 à T4 ;
- Du réseau de voirie permettant la desserte des différents bâtiments ;
- De places de stationnement ;

Le site est localisé entre le cours d'eau et le canal.

D'après les plans fournis par le client, la topographie du site est relativement plane et sa cote altimétrique s'établit entre 85,3 et 85,9 mNGF environ.

Le projet prendra place au niveau des parcelles cadastrales n° 411, 412 et 479 de la section BD, pour une superficie totale de 24 376 m<sup>2</sup> environ.

Le site est présenté ci-dessous.



**Figure 1 : Localisation du site d'étude sur photo aérienne (Source : Géoportail)**

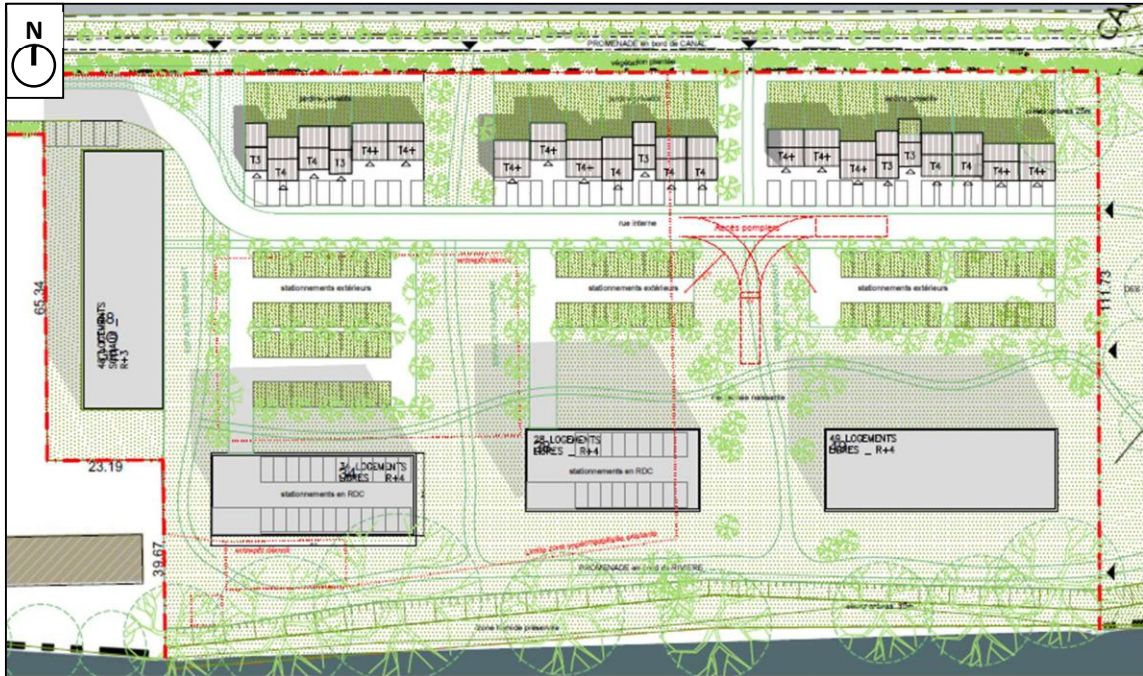


Figure 2 : Extrait du plan de masse du projet (Source : Schurdi-Levraud Architecture)

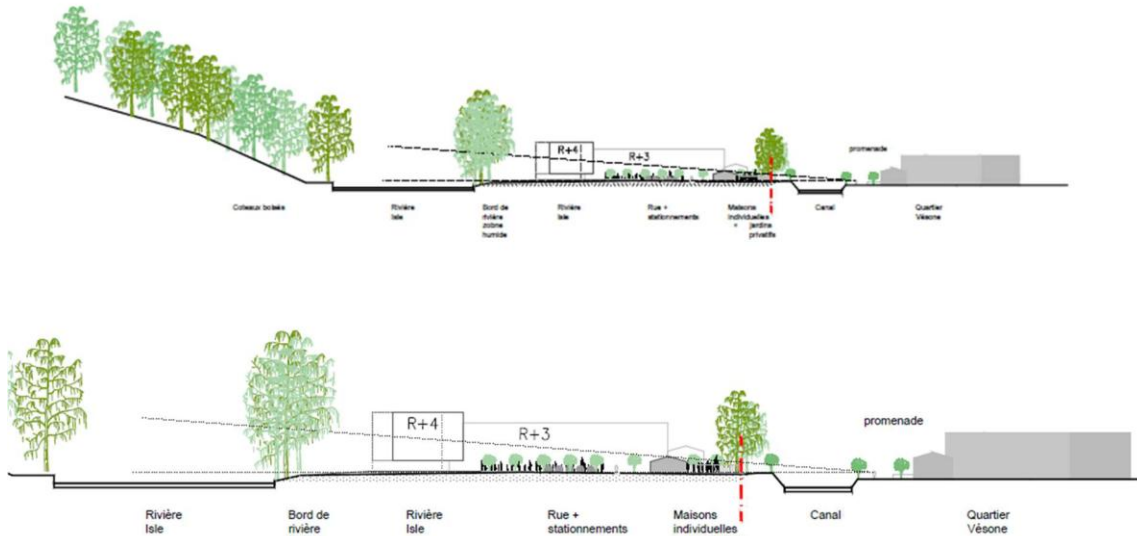


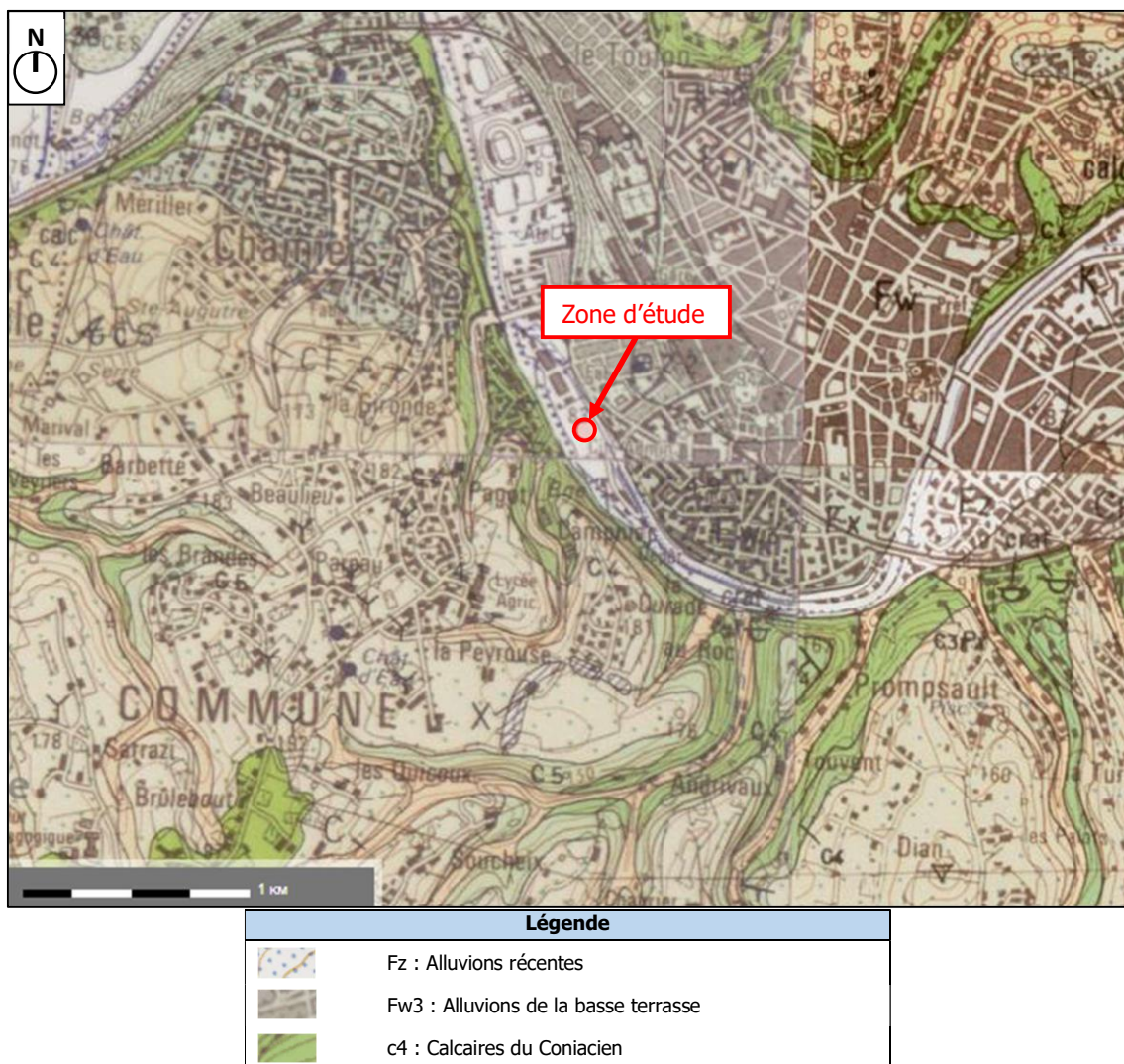
Figure 3 : Plan en coupe transversale du projet (Source : Schurdi-Levraud Architecture)

## 3. Contexte géologique et hydrogéologique succinct

### 3.1. Données géologiques bibliographiques

Le site étudié se trouve en contexte général de plaine alluviale de l'Isle. D'après la carte géologique au 1/50000 du secteur (feuille n°758 Périgueux Ouest), le contexte géologique au droit du site est caractérisé par les formations suivantes :

- Remblais anthropiques (X) éventuels,
- Alluvions fluviales récentes (Fz), représentées par un ensemble de limons sableux et de sables,
- Calcaires du Coniacien (c4), représentés par des calcaires gréseux, sableux et marneux.



**Figure 4 : Extrait de la carte géologique de Périgueux Ouest au 1/50 000 (Source : Infoterre - BRGM)**

## 3.2. Contexte hydrologique général

Le projet est localisé au droit d'un îlot à proximité directe de l'Isle, en rive droite du cours principal et en rive gauche du canal latéral de l'Isle.



Figure 5 : Contexte hydrologique autour du site (Source : Géoportail)

Le projet est localisé au sein du TRI de Périgueux, dans une enveloppe de probabilité de crue moyenne (occurrence entre 100 ans et 300 ans). Le projet est donc localisé en zone inondable pour des crues exceptionnelles.

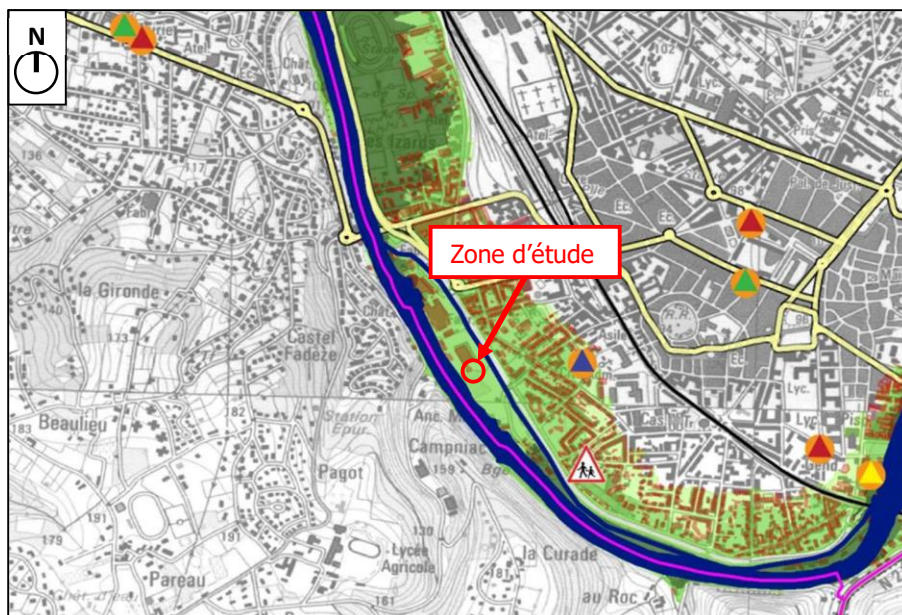


Figure 6 : Extrait de la carte de diagnostic pour la stratégie du TRI de Périgueux (Source : DREAL)

### 3.3. Contexte hydrogéologique local

Des circulations d'eau superficielles et anarchiques se développent à la faveur de passées plus perméables (sableuses ou autres), alimentées par le ruissellement, les précipitations et/ou des fuites de réseaux. Elles ne sont pas pérennes et se produisent notamment en période pluvieuse prolongée.

D'après le contexte géologique et les éléments en notre possession, le contexte hydrogéologique intéressant directement le projet est alors caractérisé par :

#### - **Aquifère Alluvial du Quaternaire**

La nappe superficielle du Quaternaire s'écoule dans la vallée de l'Isle. Les aquifères se localisent dans les formations récentes fluviales composées de limons sableux, sables et graviers calcaires, parfois recouverts de tourbe.

Elles sont beaucoup plus étendues que les terrasses anciennes, en position topographique favorable par rapport aux rivières et ont une transmissivité élevée de l'ordre de  $1.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Les nappes des terrasses anciennes, plus discontinues et plus hautes que les précédentes, sont drainées par celles-ci et leurs caractéristiques sont souvent moins bonnes.

La surface piézométrique de cette nappe est généralement proche du sol. Dans le secteur, l'Isle constitue l'alimentation principale de la nappe dont les variations seront en relation directe et forte avec les niveaux du cours d'eau et du canal.

A noter que ces nappes sont également captées pour les besoins d'alimentation en eau potable pour des débits de l'ordre de  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  (débits relevés au droit de pompages à proximité de la Dronne, au nord de Périgueux).

#### - **Aquifère du Coniacien**

La nappe du Coniacien est contenue dans des faciès calcaires ou calcaires gréseux à la base des étages. Les débits de cette nappe sont variables et sont conditionnés par la fracturation du massif et l'étendue du bassin versant.

Cette formation est notamment utilisée pour l'alimentation en eau potable pour des débits d'exhaure voisins de  $25 \text{ m}^3/\text{h}$ . Il peut également faire l'objet d'émergence dans certains secteurs (notamment à Creyssac ou Marsac), à travers les alluvions récentes. Cette formation peut également être karstique, caractérisée par la présence de rivière souterraines, dont l'exutoire serait au sein de l'Isle.

En résumé : Au droit du site, les niveaux de nappe seront directement impactés par les variations de l'Isle. D'après les données de Vigicrue, une station est localisée 450 au nord-est du site. Cette station enregistre les hauteurs d'eau au droit de l'Isle.

Au premier abord, une variation annuelle de l'ordre de 2.5 m environ peut être attendue au droit de l'Isle, avec des niveaux compris entre 79.0 mNGF à l'étiage et 81.5 mNGF en période de hautes eaux annuelles.

Les crues historiques de l'Isle ont été enregistrées au droit de cette station aux cotes de 82.70 mNGF le 22/09/1993, 82.77 mNGF le 07/01/1982 et 83.83 mNGF le 08/12/1944.

D'après ces données, le site ne serait pas inondé par ces crues exceptionnelles.

A ce jour, un relevé du piézomètre a été réalisé en fin d'intervention, le 09/06/2022, présentant un niveau de nappe à environ 2.7 m/TN soit environ 82.9 mNGF. Ce niveau peut être considéré ici comme non stabilisé et non représentatif des niveaux de nappes au droit du site.

Le suivi piézométrique permettra de vérifier la cote de la nappe et l'impact de l'Isle sur ceux-ci.

## 4. Investigations in situ

### 4.1. Sondages réalisés

Dans le cadre de la mission de caractérisation de la perméabilité des sols, il a été réalisé, au droit du site, 3 essais de perméabilité par infiltration de type Nasberg dans le cadre de l'étude géotechnique G2-AVP, rapport C22.17225 – Pièce n°1\_ind A, en date du 08/07/2022 ;

*Nota : Les sondages ont tous été réalisés hors nappe.*

Les sondages réalisés sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

Sondage	Lanterne de mesure (m/TA)	Dimensions de la cavité / Diamètre du tubage (mm)	Mode de forage
EE1	1.0 – 2.0 m	89 / 104	Mécanique – Tricône, foré à l'eau
EE2			
EE3			

**Tableau 2 : Sondages réalisés**

Les essais Nasberg ont été réalisés entre le 07/06/2022 et le 09/06/2022.

L'implantation des sondages et les coupes sont fournies en Annexe 2.

### 4.2. Résultats des essais de perméabilité réalisés

Les résultats des essais sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Sondage	Lanterne de mesure (m/TA)	Formation testée	Lithologie	Type	Perméabilité mesurée (en m/s)
EE1	1.0 - 2.0 m	Remblais	Limons argileux à sableux noirs / Limons argileux marron à graviers et galets	Nasberg – Injection Mesure de la descente	$1,1 \cdot 10^{-6}$
EE2		Remblais / Alluvions	Limons argileux à sableux noirs		$8,5 \cdot 10^{-7}$
EE3		Remblais	Limons argileux à sableux noirs		$4,7 \cdot 10^{-7}$

**Tableau 3 : Résultats du test de perméabilité**

Les essais ont été réalisés après une période de saturation de 1h. Ils ont été également suivis pendant 1 heure.

Les essais réalisés montrent une certaine matrice limono-argileuse pour les matériaux recoupés, aussi bien au sein des remblais qu'au sein des alluvions, qui bien que possédant une partie sableuse, restent essentiellement à dominante limono-argileuse à ces profondeurs.

Les procès-verbaux des essais de perméabilité sont présentés en Annexe 3.

## 5. Avis sur la perméabilité mesurée

Les essais de type Nasberg présentent des valeurs considérées comme « peu à très peu perméable » : entre  $4,7 \cdot 10^{-7}$  m/s et  $1,1 \cdot 10^{-6}$  m/s (valeur approchée).

Ces essais ont été réalisés au sein de la formation des Remblais et ponctuellement au toit de la formation des alluvions (EE1) et caractérisent la perméabilité de ces horizons à l'infiltration.

Perméabilité		Typologie du sol	Aptitude à l'infiltration
m/s	mm/h		
$K < 10^{-6}$	$K < 4$	très peu perméable	Nulle
$10^{-6} < K < 3 \cdot 10^{-6}$	$4 < K < 11$	peu perméable	Mauvaise
$3 \cdot 10^{-6} < K < 10^{-5}$	$11 < K < 36$	perméabilité médiocre	Faible
$10^{-5} < K < 2 \cdot 10^{-5}$	$36 < K < 72$	assez perméable	Bonne
$2 \cdot 10^{-5} < K < 5 \cdot 10^{-5}$	$72 < K < 180$	perméable	Bonne
$K > 5 \cdot 10^{-5}$	$K > 180$	très perméable	Très bonne

**Tableau 4 : Aptitude des sols à l'infiltration (EPNAC)**

Selon le tableau ci-dessus les résultats des essais par infiltration obtenus par la méthode Nasberg (en forage) présentent une aptitude à l'infiltration considérée comme mauvaise à nulle.

Les perméabilités mesurées majoritairement au sein des remblais de surface sont hétérogènes et caractéristiques de la formation testée. Des passages plus ou moins compactés, plus ou moins argileux peuvent être rencontrés.

Ainsi, les résultats mesurés lors de ces essais Nasberg ne permettent pas d'estimer précisément une perméabilité pour la formation des remblais dans son ensemble.

Toutefois, il semble que les alluvions sous-jacentes aux remblais présentent une perméabilité légèrement plus élevée (EE1 à  $1,1 \cdot 10^{-6}$  m/s).

Étant donné son caractère « localisé », la réalisation d'essai en forage (Nasberg) reste moins représentative qu'un essai en fouille (à grande échelle) notamment au droit de terrains à dominante argileuse.

Ce type d'essai permet une « homogénéisation » des faciès limono-argileux. Il fournirait ainsi probablement des valeurs légèrement plus importantes dans ce contexte.

En tout état de cause, l'infiltration des eaux pluviales au droit du site reste peu envisageable.

SEMOfi se tient à la disposition du Maître d'Ouvrage pour toutes missions complémentaires éventuelles sur ce projet.

**Etude hydrogéologique**  
**Annexes**

# Etude hydrogéologique

**Annexe 1 : Plan de situation et vue aérienne actuelle**



**Extrait : Localisation du projet sur extrait de carte IGN (source : Géoportail)**



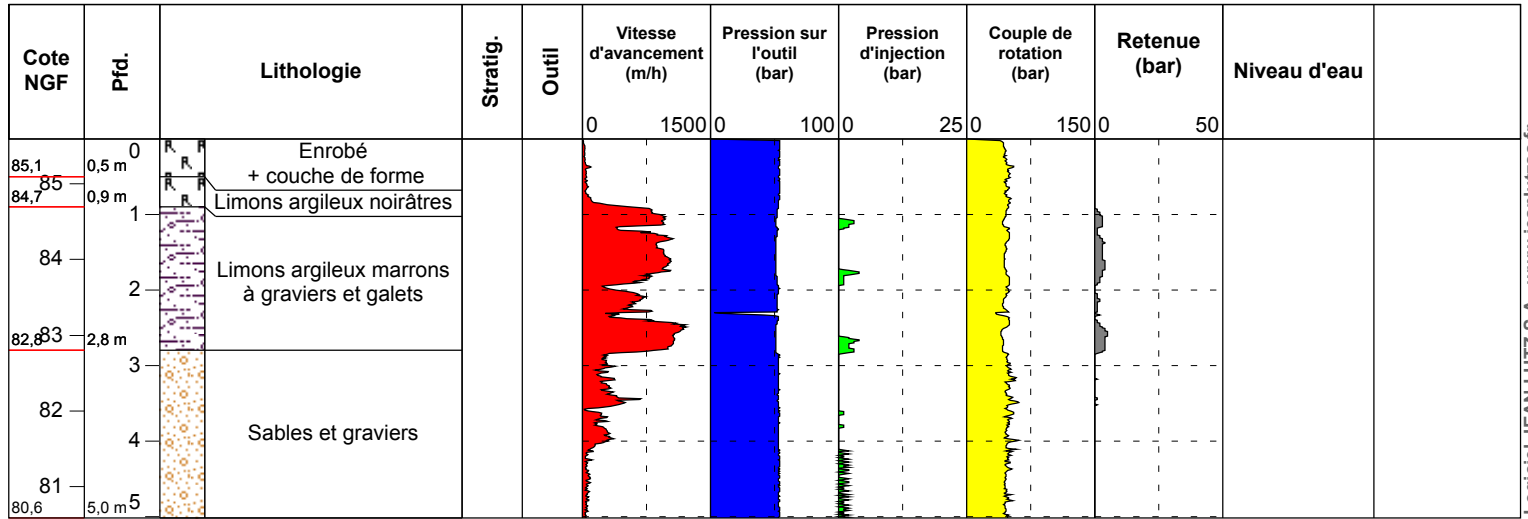
**Extrait : Localisation du projet sur vue aérienne (source : Géoportail)**

# **Etude hydrogéologique**

**Annexe 2 : Plan d'implantation et coupes des sondages**



**Plan d'implantation sur plan existant**



Cote NGF	Pfd.	Lithologie	Stratig.	Outil	Vitesse d'avancement (m/h)		Pression sur l'outil (bar)		Pression d'injection (bar)		Couple de rotation (bar)		Retenue (bar)	Essai de perméabilité
					0	1500	0	100	0	15	0	100		
85.1	0	Enrobé + couche de forme	C0 - Remblais	Tricône Ø90mm + eau claire										
85	0,5 m	Limons argileux à sableux noirs												
84.1	1	Limons argileux marron à graviers et galets	C1 - All.											1,1.E-6 m/s
84	1,5 m													
83.6	2,0 m													2,0 m

Cote NGF	Pfd.	Lithologie	Stratig.	Outil	Vitesse d'avancement (m/h)		Pression sur l'outil (bar)		Pression d'injection (bar)		Couple de rotation (bar)		Retenue (bar)	Essai de perméabilité			
					0	1500	0	100	0	15	0	100			0	50	
85.1	0	Enrobé + couche de forme	C0 - Remblais	Tricône Ø90mm + eau claire									0				
85	0,5 m	Limons argileux à sableux noirs													1	1,00 m	
84	2,2 m															8,5E-7 m/s	
83.4	2,2 m				2,00 m												

Cote NGF	Pfd.	Lithologie	Stratig.	Outil	Vitesse d'avancement (m/h)	Pression sur l'outil (bar)	Pression d'injection (bar)	Couple de rotation (bar)	Retenue (bar)	Essai de perméabilité
					0 1500	0 100	0 15	0 100	0 50	
85.1	0	Enrobé + couche de forme								
85	0,5 m	Limens sableux noirs								1,00 m
84	1									4,7E-7 m/s
83.5	2,1 m2									2,00 m

# Etude hydrogéologique

Annexe 3 : Procès verbaux des essais de perméabilité

Sondage : **EE1**  
 Passe d'essai : **1,0 - 2,0 m**

Essai n° : 1  
 Date : 07/06/2022

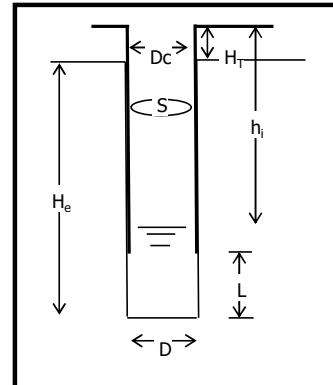
H <sub>T</sub> (m) =	0
H <sub>e</sub> (m) =	2
L (m) =	1
D (m) =	0.089 <small>φ cavité</small>
D <sub>c</sub> (m) =	0.104 <small>φ int. tube</small>

**NB : Cavité cylindrique**

S (m <sup>2</sup> ) =	0.00849	tube
L/D =	11.24	cavité
F =	2.01885	

F	
L/D > 10	2.01885
1.2 < L/D < 10	2.01757
0.7 < L/D < 1.2	1.895

**Méthode d'essai à charge variable**

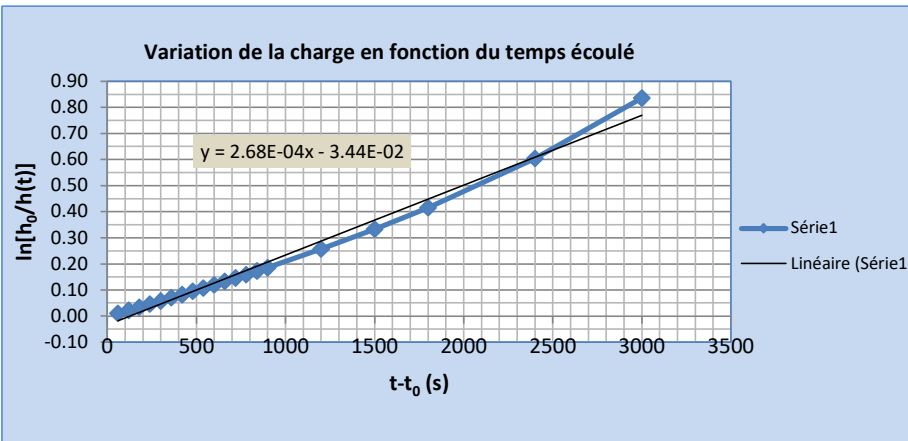
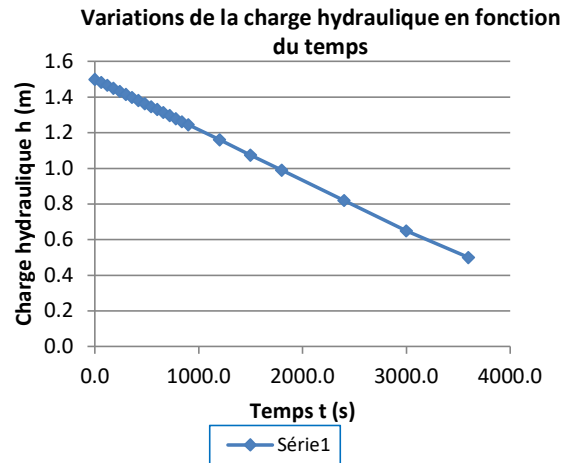


**Mesure de la descente après remplissage et annulation du débit**

(méthode de la courbe de vitesse)

Niveau de l'eau h <sub>i</sub> (m)	Temps t (sec)	Charge hydraulique h(t) en m (*)	ln[h <sub>0</sub> /h(t)]	t - t <sub>0</sub> (s)
0.000	0	1.50		(t <sub>0</sub> , h <sub>0</sub> )
0.017	60	1.48	1.14E-02	60
0.034	120	1.47	2.29E-02	120
0.051	180	1.45	3.46E-02	180
0.068	240	1.43	4.64E-02	240
0.085	300	1.42	5.83E-02	300
0.102	360	1.40	7.04E-02	360
0.119	420	1.38	8.27E-02	420
0.136	480	1.36	9.50E-02	480
0.153	540	1.35	1.08E-01	540
0.170	600	1.33	1.20E-01	600
0.187	660	1.31	1.33E-01	660
0.204	720	1.30	1.46E-01	720
0.221	780	1.28	1.59E-01	780
0.238	840	1.26	1.73E-01	840
0.255	900	1.25	1.86E-01	900
0.340	1200	1.16	2.57E-01	1200
0.425	1500	1.08	3.33E-01	1500
0.510	1800	0.99	4.16E-01	1800
0.680	2400	0.82	6.04E-01	2400
0.850	3000	0.65	8.36E-01	3000
1.000	3600	0.50	1.10E+00	3600

(\*) : par rapport au milieu de la cavité



**Perméabilité :**

**k (m/s) = 1.1E-06**

A l'infiltration  
 Interprétation entre 0 et 50 min. Faible perméabilité.  
 Léger décolmatage en fin d'essai

**Type d'essai non utilisable pour évaluer un débit d'exhaure**

Sondage : **EE2**  
 Passe d'essai : **1,0 - 2,0 m**

Essai n° : 2  
 Date : 09/06/2022

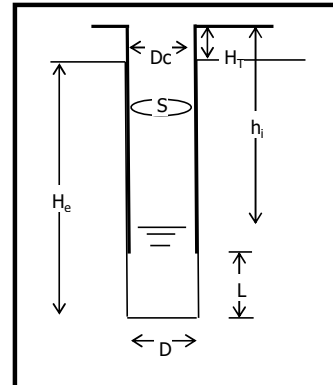
H <sub>T</sub> (m) =	0
H <sub>e</sub> (m) =	2
L (m) =	1
D (m) =	0.089 <small>φ cavité</small>
D <sub>c</sub> (m) =	0.104 <small>φ int. tube</small>

**NB : Cavité cylindrique**

S (m <sup>2</sup> ) =	0.00849	tube
L/D =	11.24	cavité
F =	2.01885	

F	
L/D > 10	2.01885
1.2 < L/D < 10	2.01757
0.7 < L/D < 1.2	1.895

**Méthode d'essai à charge variable**

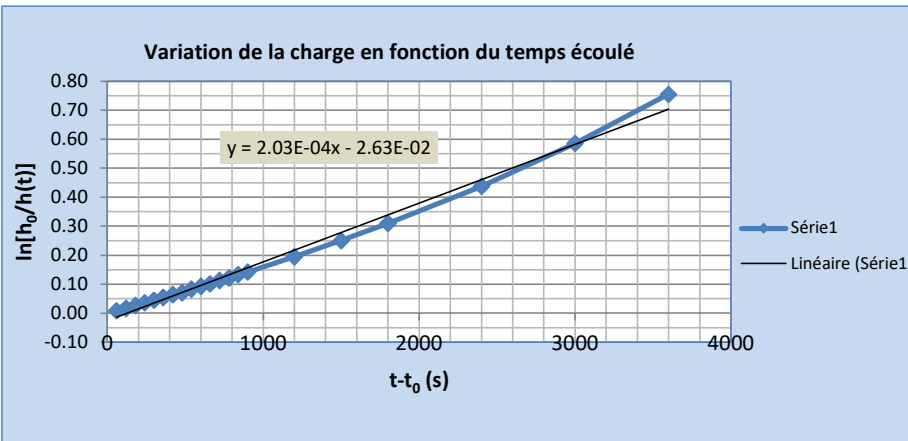
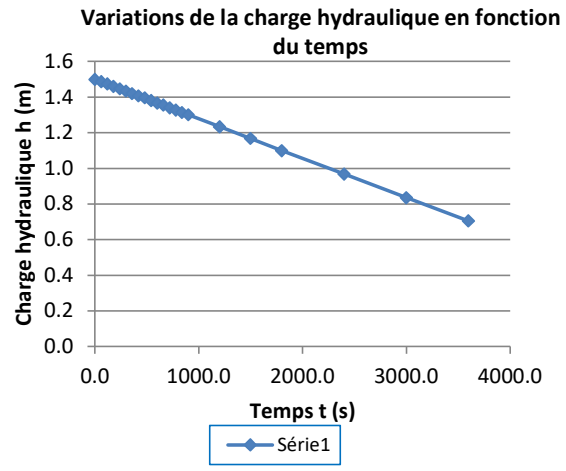


**Mesure de la descente après remplissage et annulation du débit**

(méthode de la courbe de vitesse)

Niveau de l'eau h <sub>i</sub> (m)	Temps t (sec)	Charge hydraulique h(t) en m (*)	ln[h <sub>0</sub> /h(t)]	t - t <sub>0</sub> (s)
0.000	0	1.50		(t <sub>0</sub> , h <sub>0</sub> )
0.013	60	1.49	8.70E-03	60
0.026	120	1.47	1.75E-02	120
0.040	180	1.46	2.70E-02	180
0.053	240	1.45	3.60E-02	240
0.066	300	1.43	4.50E-02	300
0.080	360	1.42	5.48E-02	360
0.093	420	1.41	6.40E-02	420
0.103	480	1.40	7.11E-02	480
0.120	540	1.38	8.34E-02	540
0.133	600	1.37	9.28E-02	600
0.145	660	1.36	1.02E-01	660
0.160	720	1.34	1.13E-01	720
0.172	780	1.33	1.22E-01	780
0.187	840	1.31	1.33E-01	840
0.199	900	1.30	1.42E-01	900
0.266	1200	1.23	1.95E-01	1200
0.332	1500	1.17	2.50E-01	1500
0.400	1800	1.10	3.10E-01	1800
0.532	2400	0.97	4.38E-01	2400
0.665	3000	0.84	5.86E-01	3000
0.795	3600	0.71	7.55E-01	3600

(\*) : par rapport au milieu de la cavité



**Perméabilité :**

**k (m/s) = 8.5E-07**

A l'infiltration  
 Interprétation entre 0 et 60 min. Très faible perméabilité.  
 Léger décolmatage en fin d'essai

**Type d'essai non utilisable pour évaluer un débit d'exhaure**

Sondage : **EE3**  
 Passe d'essai : **1,0 - 2,0 m**

Essai n° : **3**  
 Date : **09/06/2022**

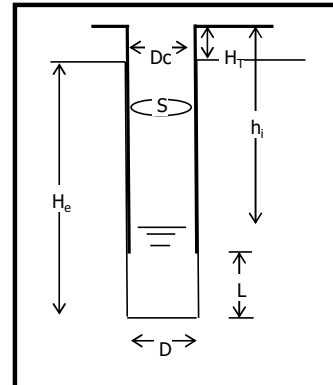
H <sub>T</sub> (m) =	0
H <sub>e</sub> (m) =	2
L (m) =	1
D (m) =	0.089 <small>φ cavité</small>
D <sub>c</sub> (m) =	0.104 <small>φ int. tube</small>

**NB : Cavité cylindrique**

S (m <sup>2</sup> ) =	0.00849	tube
L/D =	11.24	cavité
F =	2.01885	

F	
L/D > 10	2.01885
1.2 < L/D < 10	2.01757
0.7 < L/D < 1.2	1.895

**Méthode d'essai à charge variable**

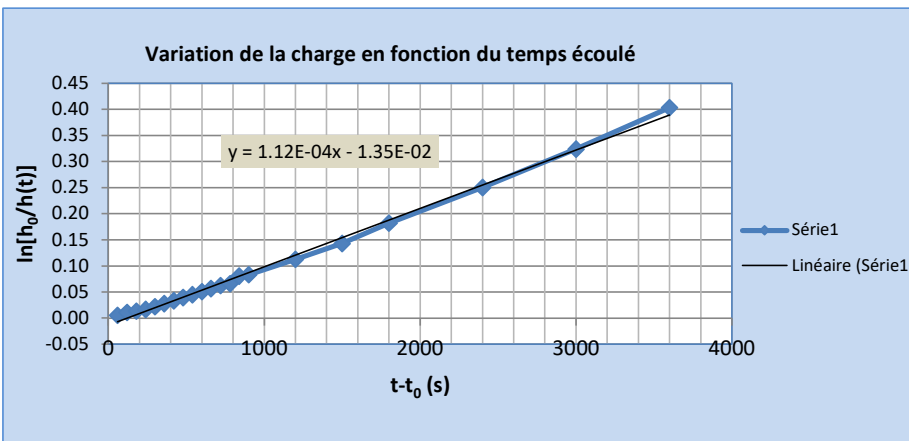
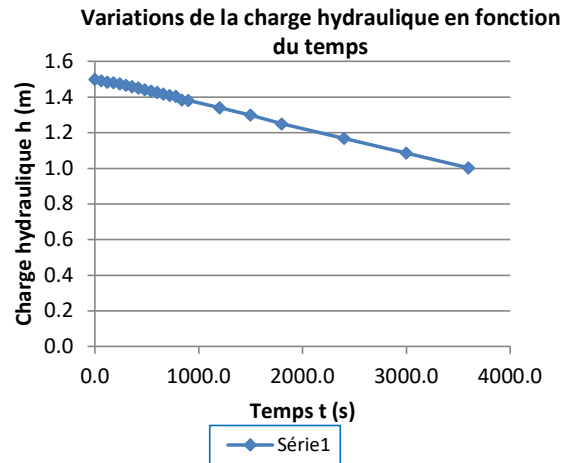


**Mesure de la descente après remplissage et annulation du débit**

(méthode de la courbe de vitesse)

Niveau de l'eau h <sub>i</sub> (m)	Temps t (sec)	Charge hydraulique h(t) en m (*)	ln[h <sub>0</sub> /h(t)]	t - t <sub>0</sub> (s)
0.000	0	1.50		(t <sub>0</sub> , h <sub>0</sub> )
0.008	60	1.49	5.35E-03	60
0.016	120	1.48	1.07E-02	120
0.020	180	1.48	1.34E-02	180
0.025	240	1.48	1.68E-02	240
0.033	300	1.47	2.22E-02	300
0.041	360	1.46	2.77E-02	360
0.049	420	1.45	3.32E-02	420
0.058	480	1.44	3.94E-02	480
0.066	540	1.43	4.50E-02	540
0.074	600	1.43	5.06E-02	600
0.083	660	1.42	5.69E-02	660
0.091	720	1.41	6.26E-02	720
0.096	780	1.40	6.61E-02	780
0.116	840	1.38	8.05E-02	840
0.120	900	1.38	8.34E-02	900
0.160	1200	1.34	1.13E-01	1200
0.200	1500	1.30	1.43E-01	1500
0.250	1800	1.25	1.82E-01	1800
0.332	2400	1.17	2.50E-01	2400
0.415	3000	1.09	3.24E-01	3000
0.498	3600	1.00	4.03E-01	3600

(\*) : par rapport au milieu de la cavité



**Perméabilité :**

**k (m/s) = 4.7E-07**

A l'infiltration  
 Interprétation entre 0 et 60 min. Faible perméabilité.  
 Léger décolmatage en fin d'essai

**Type d'essai non utilisable pour évaluer un débit d'exhaure**

# **Annexe 13. Etude faisabilité ENR DEXO**

Nexity Lamotte  
40 Avenue Ariane  
33700 MERIGNAC

**Construction de logements collectifs (Bâtiment A/B/C/D) et de maisons individuelles  
Promenade du canal, Site « Barcométal »  
24 000 Périgueux**

**Etude thermique réglementaire RE2020**



Date de réalisation de l'étude : 10/01/2023  
Etablie par : M. Hanafi Yassine  
N° affaire : 1355  
Indice de l'étude : A



770 Rue Alfred Nobel  
34000 Montpellier  
Tél : 04.67.54.66.26

## SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>PRESENTATION.....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>OBJECTIF ET ENJEUX .....</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>PRESENTATION DU SITE .....</b>	<b>4</b>
	3.1. CONTEXTE .....	4
<b>4.</b>	<b>POTENTIEL EN ENERGIES RENOUVELABLES .....</b>	<b>5</b>
	4.1. Energies renouvelables .....	5
	4.2. Besoins énergétiques du projet.....	6
	4.3. Ressources locales et réseaux disponibles sur le site .....	7
<b>5.</b>	<b>SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE .....</b>	<b>8</b>
	5.1. Description.....	8
	5.2. Conclusion sur solaire photovoltaïque .....	9
<b>6.</b>	<b>SOLAIRE THERMIQUE .....</b>	<b>9</b>
<b>7.</b>	<b>GEOOTHERMIE.....</b>	<b>10</b>
	7.1. Description.....	10
	7.2. Géothermie sur nappe.....	10
	7.3. Géothermie à capteurs verticaux .....	11
<b>8.</b>	<b>AEROTHERMIE .....</b>	<b>12</b>
	8.1. Système VRV (volume de réfrigérant variable) .....	12
<b>9.</b>	<b>EOLIEN.....</b>	<b>13</b>
	9.1. Description.....	13
	9.2. Conclusion.....	14
<b>10.</b>	<b>BIOMASSE.....</b>	<b>15</b>
	10.1. Description.....	15
	10.2. Dimensionnement.....	15
<b>11.</b>	<b>COGENERATION .....</b>	<b>16</b>
<b>12.</b>	<b>RESEAU DE CHALEUR .....</b>	<b>17</b>
	12.1. Description.....	17
<b>13.</b>	<b>RESULTATS .....</b>	<b>0</b>
<b>14.</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>0</b>

## 1. PRESENTATION

DEXO est un bureau d'études fluides indépendant spécialisé en thermique (Etude thermique, simulation thermique dynamique, facteur lumière du jour), génie climatique, électricité Courant fort et Courant Faible dans le domaine du bâtiment.

Depuis le 1er janvier 2008, toute opération dont la surface est supérieure à 1000 m<sup>2</sup> doit réaliser, avant le dépôt de permis de construire, une étude de faisabilité technique et économique des diverses solutions d'approvisionnement en énergie (art. L. 111-9 du code de la construction).

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2014, le champ d'application de ce dispositif a été élargi. Ainsi, désormais les seules exceptions sont les bâtiments dont la surface de plancher est inférieure à 50 m<sup>2</sup>, les maisons individuelles ou accolées, et les extensions de bâtiments existants (décret n°2013-797 et arrêté du 30 octobre 2013).

La présente étude de faisabilité en approvisionnement des énergies est réalisée conformément aux modalités d'application définies par le décret n°2007-63 du 29 mars 2007 et à l'arrêté du 18 décembre 2007.

## 2. OBJECTIF ET ENJEUX

Le but de cette étude est de favoriser le recours aux énergies renouvelables et aux systèmes les plus performants.

Elle donne au maître d'ouvrage la liberté de choisir la ou les sources d'énergies disponibles, guidé par les conclusions de cette étude qui visent notamment à montrer les bénéfices engendrés en matière de consommation d'énergie et d'émissions de gaz à effet de serre par rapport aux investissements supplémentaires éventuels.

Elle compare les informations suivantes pour un système pressenti et d'un certain nombre de variantes :

- Consommation conventionnelle en kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.an ;
- Production d'énergie renouvelable en kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.an ;
- Emission des gaz à effet de serre en kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an ;
- Classe énergie et Climat au sens DPE construction ;
- Coût d'exploitation annuel ;
- Coût d'investissement ;
- Temps de retour brut ;
- Avantages et inconvénients.

Les cas à étudier, éventuellement combinés, sont :

- Les systèmes solaires thermiques ;
- Les systèmes solaires photovoltaïques ;
- Les systèmes de chauffage au bois ou à biomasse ;
- Les systèmes éoliens ;
- Le raccordement à un réseau de chauffage ou de refroidissement collectif à plusieurs bâtiments ou urbain ;
- Les pompes à chaleur géothermiques ;
- Les autres types de pompes à chaleur ;
- Les chaudières à condensation ;

- Les systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité.

Un argumentaire sera développé pour chaque solution écartée du fait des spécificités du projet (Localisation, taille, usage, etc.)

De façon à répondre au mieux aux exigences du projet, nous aurons recours à des ratios estimatifs et d'expérience dans les différents domaines concernés.

L'opération doit respecter le niveau de performance imposé par la RE2020 pour les bâtiments A, B, C et D et le niveau de performance imposé par la RE2020 avec dans notre cas une consommation maxi :

**De 38.15 kWhEP/m<sup>2</sup>.an pour le bâtiment A ;**

**De 62.17 kWhEP/m<sup>2</sup>.an pour le bâtiment B ;**

**De 76.30 kWhEP/m<sup>2</sup>.an pour le bâtiment C ;**

**De 88.43 kWhEP/m<sup>2</sup>.an pour le bâtiment D ;**

### **Les enjeux de cette étude sont :**

Cette étude vise à dresser un état des lieux des énergies renouvelables qui pourraient être utilisées sur le projet et à définir notamment les possibilités d'implantations de systèmes centralisés permettant de fournir de l'énergie nécessaire aux bâtiments à travers des réseaux de chaleur par exemple.

L'évolution culturelle et réglementaire actuelle impose en effet la réalisation de bâtiments de plus en plus performants (approche bioclimatique, meilleure isolation, utilisation d'équipements performants et d'énergies renouvelables) afin de limiter globalement l'impact du secteur du bâtiment sur l'appauvrissement des ressources fossiles et sur le dérèglement climatique.

L'objet de ce document est de réaliser une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables dans le cadre de la construction de logements collectifs à Neuilly-Plaisance.

### 3. PRESENTATION DU SITE

#### 3.1. CONTEXTE

La présente étude concerne la construction de 48 logements à vocation sociale et 109 logements en accession, situé Promenade du canal, Site « Barcométal » à Périgueux.

Ce projet comporte 4 bâtiments de logements collectifs avec des parkings extérieurs et 29 maisons individuelles en accession dont certaines sont groupées /accolées. La présente étude a été réalisée sur les bâtiments A, B, C et D. En ce qui concerne les maisons individuelles, l'étude de faisabilité n'est pas obligatoire. En effet pour ces typologies de construction la réglementation impose d'avoir recours à une énergie renouvelable. Les maisons seront équipées de deux panneaux photovoltaïques par villas et des pompes a chaleur seront disposées dans les cabanons de jardin des villas et pour les maisons de type T5 elles seront disposées dans les garages.



Plan de masse  
[Source : Plans PDF du 09/01/2023]

L'étude a été réalisée avec les plans PC transmis par SI Architecture le 09/01/2023.

La répartition des logements est la suivante :

	T1	T2	T3	T4	T5	Total
Bâtiment A	-	3	7	9	-	19
Bâtiment B	8	18	12	6	-	44
Bâtiment C	-	13	30	1	-	44
Bâtiment D	4	20	15	11	-	50
TOTAL	-	-	-	-	-	157

## 4. POTENTIEL EN ENERGIES RENOUVELABLES

### 4.1. *Energies renouvelables*

Les énergies renouvelables sont des énergies inépuisables issues du soleil, du vent, de l'eau, du vivant et de la terre. Ce type d'énergie engendre peu de déchets et d'émission de polluants au regard des énergies fossiles. On qualifie les énergies renouvelables d'énergies "flux" par opposition aux énergies "stock", elles-mêmes constituées de gisements limités de combustibles fossiles : pétrole, charbon, gaz, uranium.

- Aujourd'hui, ces énergies renouvelables sont sous-exploitées par rapport à leur potentiel. Ainsi à l'échelle de l'Europe en 2011, les énergies renouvelables couvraient 21% de la consommation brute d'électricité mais seulement 13 % de la consommation brute d'énergie finale. L'objectif étant d'arriver à couvrir en Europe 20% de la consommation brute d'énergie finale à l'horizon 2020. En ce qui concerne le cas de la France en 2011, les énergies renouvelables couvraient 12,8% de la consommation brute d'électricité mais seulement 13,2 % de la consommation brute d'énergie finale. L'objectif étant d'arriver à couvrir en France 23% de la consommation brute d'énergie finale à l'horizon 2020. (Source : Etat des énergies renouvelables en Europe en 2012, EurObserv'ER)

Les énergies renouvelables peuvent être classées en 5 grandes familles :

- L'énergie solaire (photovoltaïque et thermique)
- L'énergie éolienne
- L'énergie hydraulique (petite ou grande centrale hydroélectrique, énergie des mers)
- La biomasse (bois énergie, valorisation énergétique des déchets, biogaz, biocarburants)
- La géothermie (très basse énergie sources à moins de 30°C, basse énergie sources de 30 à 90°C, moyenne énergie sources de 90 à 150°C, haute énergie sources de plus de 150°C)

Dans le cadre de la réglementation thermique, la consommation répondant à des besoins en énergie est exprimée en kWh<sub>ep</sub> (kilowattheure d'énergie primaire). Cette énergie primaire correspond à la quantité d'énergie nécessaire (extraction, transport, distribution, utilisation) pour produire une quantité d'énergie disponible pour l'utilisateur, appelée énergie finale ou utile.

Selon les types d'énergie, la quantité d'énergie primaire varie pour produire un kWh d'énergie finale.

Ainsi, la réglementation thermique considère les équivalences suivantes :

- 1 kWh gaz = 1 kWh<sub>ep</sub>
- 1kWh fioul = 1 kWh<sub>ep</sub>
- 1kWh électrique = 2,58 kWh<sub>ep</sub>
- 1kWh bois = 1 kWh<sub>ep</sub>

La part des besoins en énergie primaire relative aux consommations d'électricité est donc importante au regard des autres énergies. L'utilisation d'énergies renouvelables pour produire de l'électricité représente donc un intérêt pour respecter la réglementation

Dans le cadre de la réglementation thermique, les émissions liées aux consommations énergétiques finales des bâtiments dépendent des énergies utilisées. Par exemple, l'arrêté du 15 septembre 2006 (version consolidée du 1er juillet 2011) relatif au diagnostic de performance énergétique pour les bâtiments existants précise les facteurs de conversion des kWh finaux en émissions de gaz à effet de serre (ci-dessous l'exemple du CO<sub>2</sub>) :

- gaz naturel= 0,0234 kgCO<sub>2</sub>/kWh<sub>ef</sub>/an
- fioul domestique = 0,300 kgCO<sub>2</sub>/kWh<sub>ef</sub>/an
- électrique d'origine non renouvelable= 0,084 kgCO<sub>2</sub>/kWh<sub>ef</sub>/an
- bois, biomasse = 0,013 kgCO<sub>2</sub>/kWh<sub>ef</sub>/an

L'utilisation des énergies renouvelables dans le mix énergétique du projet présente donc un intérêt vis-à-vis des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

#### 4.2. *Besoins énergétiques du projet*

Désignation	Valeur
SREF/SHAB Bâtiment A	1352.20
Coefficient Bbio	28.00
Besoins annuels en chaud en kWh / (m <sup>2</sup> SRT)	8.37
Besoins annuels en froid en kWh / (m <sup>2</sup> SRT)	0.91
Besoins annuels en éclairage en kWh / (m <sup>2</sup> SRT)	0.86

Désignation	Valeur
SREF/ SHAB Bâtiment B	2209.90
Coefficient Bbio	44.73
Besoins annuels en chaud en kWh / (m <sup>2</sup> SRT)	13.68
Besoins annuels en froid en kWh / (m <sup>2</sup> SRT)	1.49
Besoins annuels en éclairage en kWh / (m <sup>2</sup> SRT)	1.75

Désignation	Valeur
SREF/ SHAB Bâtiment C	2519.50 m <sup>2</sup>
Coefficient Bbio	51.00
Besoins annuels en chaud en kWh / (m <sup>2</sup> SRT)	15.60
Besoins annuels en froid en kWh / (m <sup>2</sup> SRT)	1.70
Besoins annuels en éclairage en kWh / (m <sup>2</sup> SRT)	2

Désignation	Valeur
SREF/ SHAB Bâtiment D	2819 m <sup>2</sup>
Coefficient Bbio	57.06
Besoins annuels en chaud en kWh / (m <sup>2</sup> SRT)	17.45
Besoins annuels en froid en kWh / (m <sup>2</sup> SRT)	1.90
Besoins annuels en éclairage en kWh / (m <sup>2</sup> SRT)	2.46

Construction de 4 bâtiments de 157 logements collectifs et de 29 maisons individuelles, Promenade du canal, Site « Barco-métal », à Périgueux

#### **4.3. Ressources locales et réseaux disponibles sur le site**

Electricité : Energie accessible sur le site

Gaz naturel : Energie accessible sur le site

Réseau de chaleur : Energie non accessible sur le site

## 5. SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

### 5.1. Description

L'énergie solaire est une énergie inépuisable et gratuite pouvant être exploitée pour produire de l'électricité.

Le solaire photovoltaïque a pour but de produire de l'électricité. Celle-ci peut :

- Soit être revendue à un acheteur d'électricité avec des prix de vente différents selon que les panneaux sont intégrés ( $\approx 0.057$  Euros/Kwh) ou non-intégrés ( $\approx 0.030$  Euros/Kwh) au bâti.
- Soit être utilisée pour les besoins internes en autoconsommation et le surplus est réinjecté sur le réseau du concessionnaire.

#### **Les modules photovoltaïques monocristallins**

Ils possèdent un meilleur rendement mais sont plus cher, ils sont essentiellement utilisés lorsque les espaces sont restreints.

Une surface de 5 m<sup>2</sup> de modules photovoltaïques monocristallin correspond à une puissance crête de 1kWc.

Leur rendement est de 18 à 24%. Néanmoins, elles présentent deux inconvénients :

- Le coût, plus élevé que celui d'une autre installation de même puissance, contrarie le développement de cette technique.
- Une durée d'amortissement de l'investissement en énergie élevée

Le coût est d'environ 800 € HT/m<sup>2</sup> (pose incluse et hors subvention).

#### **Les modules photovoltaïques polycristallins**

Ils sont élaborés à partir d'un bloc de silicium cristallisé en plusieurs cristaux dont les orientations sont différentes. Leur rendement est de l'ordre de 14 à 18%, mais ils engendrent un coût de production moins élevé que les cellules monocristallines. (Car issue de silicium recyclé). Une surface de 6m<sup>2</sup> de modules photovoltaïques polycristallin correspond à environ une puissance crête de 1kWc.

La grande différence entre les cellules polycristallines et les monocristallines réside dans leur sensibilité à la lumière. En effet, les panneaux solaires monocristallins fonctionneront dans des faibles conditions d'ensoleillement, en l'occurrence par temps nuageux et couvert, alors que, dans ce cas, les panneaux solaires polycristallins ne délivreront pas de courant.

Par ailleurs, les panneaux solaires polycristallins ne supportent pas d'être masqués, même partiellement. Les cellules photovoltaïques étant raccordées en série, la moindre obturation stoppera toute production d'énergie. Les panneaux solaires monocristallins n'ont pas ce problème. Masqué par le branchage d'un arbre, le panneau solaire monocristallin continuera à produire de l'énergie.

Le coût est d'environ 600 € HT/m<sup>2</sup> (pose incluse et hors subvention).

#### **Les modules photovoltaïques amorphes**

Ces modules auront un bon avenir car ils peuvent être souples et ont une meilleure production par faible lumière. Le silicium amorphe possède un rendement divisé par trois par rapport à celui du

cristallin, ce qui nécessite plus de surface pour la même puissance installée. Toutefois, le prix au m<sup>2</sup> installé est plus faible que pour des panneaux solaires composés de cellules.

Ces cellules sont composées d'un support en verre ou en matière synthétique sur lequel est disposé une fine couche de silicium (l'organisation des atomes n'est plus régulière comme dans un cristal). Leur rendement est de l'ordre de 5 à 8 %, plus bas que celui des cellules cristallines mais le courant produit est relativement bon marché. Elles sont appliquées dans les petits produits de consommation : montres, calculatrices, mais peu utilisées dans le cadre des installations solaires.

Cependant, elles ont l'avantage de mieux réagir à la lumière diffuse et à la lumière fluorescente et sont donc plus performantes à une température élevée.

Une surface de 16m<sup>2</sup> de membrane assure une puissance crête de 1kWc.

Le coût est d'environ 300€ HT/m<sup>2</sup> (pose incluse et hors subvention).

## **5.2. Conclusion sur solaire photovoltaïque**

Les panneaux seront positionnés en toiture et mis en œuvre dans une zone bénéficiant d'un ensoleillement quasi-permanent et éloigné de tous masques susceptibles de créer une ombre.

Il n'y a pas d'impact vis-à-vis du terrain et ce type d'équipement n'a pas d'impact acoustique.

## **6. SOLAIRE THERMIQUE**

L'énergie solaire est une énergie inépuisable et gratuite pouvant être exploitée pour produire de l'eau chaude sanitaire. En phase d'exploitation, le processus de production de l'énergie thermique n'a pas d'impact sur l'environnement. Il n'y a pas de rejets de polluants ou de déchets. Les technologies solaire thermique directes et indirectes sont simples et relativement peu coûteuses. Ce sont des technologies matures d'ores et déjà disponibles sur le marché. Or, la production de chaleur dépend des conditions météorologiques, ce qui implique qu'un système permettant d'assurer l'appoint est nécessaire.

Le solaire thermique a pour but de produire de l'eau chaude sanitaire. La chaleur transmise par le soleil se fait par rayonnement. Le capteur solaire est l'outil permettant de transformer le rayonnement solaire en chaleur. La chaleur emmagasinée est ensuite transportée au sein d'un circuit « primaire » contenant un mélange caloporteur d'eau et d'antigel. Grâce à un échangeur thermique, le liquide caloporteur contenu dans le circuit primaire transmet son énergie thermique à de l'eau sanitaire contenue dans les ballons. Le liquide caloporteur refroidi repart ensuite vers les capteurs afin d'être réchauffé. Lorsque l'eau chauffée dans le ballon est utilisée, elle est remplacée par de l'eau froide du réseau, réchauffée selon le même principe. L'appoint sera assuré par les chaudières gaz. Le coût est d'environ 1500 € HT par logement.

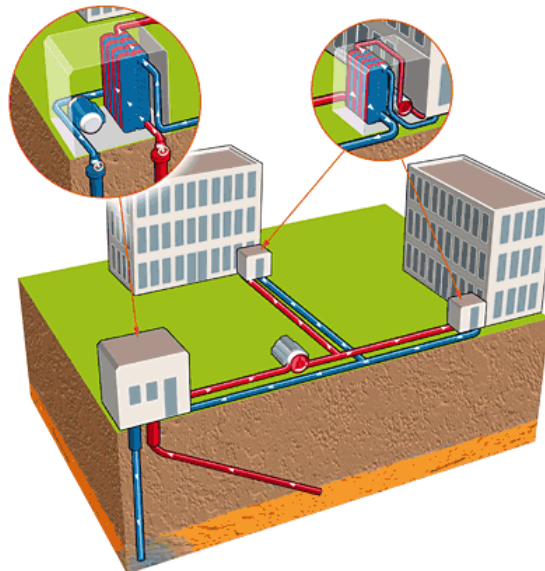
## 7. GEOTHERMIE

### 7.1. Description

La géothermie désigne les processus qui visent à l'exploitation de la chaleur interne de la Terre pour produire de l'électricité et/ou de la chaleur. A la différence des énergies fossiles ces réserves ne sont pas situées dans quelques sites précis, l'énergie de la Terre est présente partout, elle est néanmoins plus ou moins facile à extraire. C'est une énergie renouvelable si elle est exploitée de manière à laisser le sol se régénérer thermiquement.

La géothermie basse énergie repose sur l'utilisation directe de la chaleur de l'eau contenue dans les aquifères profonds. Elle consiste en l'extraction d'eau à moins de 90°C à une profondeur allant de 1000 à 2500 m de profondeur. Dans notre cas aucune étude de sol à de telle profondeur n'a déjà été réalisée. Cette étude coûte entre 30 000 et 75 000 € pour un seul forage sans garantie de résultat.

Dans notre projet nous nous intéresserons uniquement à la très basse énergie.



Source : [géothermie-perspectives.fr](http://geothermie-perspectives.fr)

### 7.2. Géothermie sur nappe

Elle permet de récupérer l'énergie de l'eau d'une nappe phréatique à l'aide d'une PAC (Pompe A Chaleur). Cette énergie est ensuite transférée grâce à un échangeur. Très performant ce système peut satisfaire aux besoins de chauffage de l'ensemble du bâtiment.

L'exploitation des eaux fait appel à trois démarches administratives :

- Déclaration de sondage au titre de l'article 112-1 et 112-3 du Code Minier (transmettre à la DRIRE les informations sur les caractéristiques du sous-sol) ;
- Obtention du permis d'exploitation imposé par le code minier pour des forages au-delà de 100 mètres ;
- Déclaration de réinjection pour des débits supérieurs à 8 m<sup>3</sup>/h.

Les exploitations géothermiques dispensées du permis d'exploitation, sont celles considérées de minime importance :

- Température inférieure ou égale à 150°C ;
- Débit calorifique inférieur à 232kWh/h ;
- Une profondeur de forage inférieure à 100 mètres.

Les sondes sur eau de nappe nécessitent un double forage :

- 1 pour le captage
- 1 pour le rejet de l'eau des nappes.

### **7.3. Géothermie à capteurs verticaux**

Le forage sur sonde géothermique est la solution idéale de captage pour la géothermie assistée par pompe à chaleur.

Elle permet de s'affranchir des contraintes liées aux capteurs horizontaux ou aux captages verticaux sur nappe phréatique.

Les installations de géothermie sur sonde verticale ont un rendement et une longévité supérieurs aux capteurs horizontaux.

Le principe de récupération de chaleur est le suivant : on récupère les calories en faisant circuler un fluide caloporteur dans des tubes enterrés pour les amener à la pompe à chaleur. Dans le cas d'un captage vertical, cette chaleur provient, pour une part de la chaleur du sous-sol, et d'autre part de la chaleur solaire stockée dans la couche superficielle.

Les capteurs verticaux sont constitués d'un ou de deux tubes en U, descendant à une profondeur inférieure à 100m et parcourus par un mélange eau + mono propylène glycol (saumure – 15°C).

Le capteur est placé dans un forage vertical (réalisé par un foreur professionnel). La puissance extraite est de 20 à 50 W/ml de forage ce qui correspond à un prélèvement énergétique supérieur à 100kWh/ml par an.

La longueur totale des sondes géothermiques dépend de 2 facteurs :

La puissance de la PAC installée (calculée en fonction des déperditions et des apports)

Et de la capacité énergétique du terrain (dépend des conditions géologiques du terrain)

#### **Avantages et inconvénients**

Avantage :

- Energie renouvelable et inépuisable,
- Rendement de l'installation élevé,
- Faible coût de maintenance,
- Production de chaud et/ou de froid

Inconvénients :

- Mise en œuvre lourde sur notre projet du a la faible surface du terrain disponible.  
Implantations des capteurs sous le bâtiment.
- Mise en œuvre difficile due au bâtiment existant
- Investissement élevé

## 8. AEROTHERMIE

### 8.1. Système VRV (*volume de réfrigérant variable*)

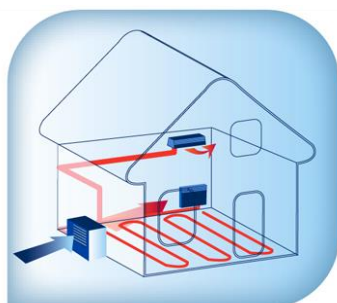
Les pompes à chaleur sont considérées comme utilisant de l'énergie renouvelable. Ces équipements spécifiques puisent une partie de l'énergie de l'atmosphère.

Le rendement de ces équipements (COP : coefficient de performance, ratio entre l'énergie produite et l'énergie utilisée) atteint pour le moment des niveaux généralement à 3 (en moyenne annuelle). Un rapide calcul au regard du bilan d'énergie primaire, montre que sa consommation est similaire à une chaudière traditionnelle à énergie fossile.

Leur fonctionnement nécessite l'usage d'un fluide frigorigène dont l'impact sur l'effet de serre est important (équivalent de 1300 à 1900 kg CO<sub>2</sub> par kg de fluide frigorigène) : en effet, toutes les pompes à chaleur ont un taux de fuite de 3% à 10% par an.

Le coefficient de performance diminue au fur et à mesure que la température extérieure chute. En dessous de -10°C, la pompe à chaleur s'arrête et un appoint électrique doit satisfaire en totalité les besoins en chauffage.

Le principal avantage de ce système est sa simplicité d'installation. Néanmoins il nécessite l'implantation d'un groupe extérieur muni d'un ventilateur pouvant générer des nuisances acoustiques, en particulier dans le cas de constructions dense.



*Pompe à chaleur*

### **Avantages et inconvénients**

Avantages :

- COP de la pompe à chaleur intéressant
- Émissions de gaz à effet de serres réduites.
- Investissement faible.

Inconvénients :

- Bruit et vibrations de fonctionnement élevées
- Impact visuel en terrasse technique

## **9. EOLIEN**

### **9.1. Description**

Le secteur de l'éolien urbain (intégration d'éoliennes aux bâtiments ou dans les rues) est en plein développement. A la manière du photovoltaïque, l'intégration au bâtiment de systèmes de production d'énergie renouvelable permet de décentraliser la production d'énergie en la rapprochant des consommateurs.

#### **Grand éolien**

Ce type d'éolienne est difficile à mettre en place, son implantation doit se situer dans une ZDE (Zone de Développement Eolien) permettant la revente au réseau.

En outre, le Grenelle de l'environnement demande un minimum de cinq mâts pour toute nouvelle installation ainsi qu'un éloignement de 500 mètres entre les éoliennes et les premières habitations.



Les projets éoliens sont soumis à plusieurs autorisations : autorisation d'urbanisme, autorisation de produire de l'électricité. Ils ont l'obligation de réaliser une évaluation environnementale préalable.

Les projets terrestres dont la hauteur du mât est supérieure à 50 mètres font l'objet d'une étude d'impact (Article R. 122-8 du code de l'environnement) et d'une enquête publique (article R. 123-1 du code de l'environnement). Les projets dont la hauteur du mât est inférieure ou égale à 50 mètres font l'objet, non pas d'une étude d'impact (article R. 122-5 du code de l'environnement), mais d'une notice d'impact (Article R. 122-9 du code de l'environnement, 13°).

### **Petit et moyen éolien**

Le petit et moyen éolien est particulièrement bien adapté (de par sa taille et sa puissance) pour l'équipement des particuliers, des entreprises et des bâtiments publics.

Les éoliennes de puissance comprise entre 1 kW et 36 kW sont considérées de petite puissance et entre 36kW et 350kW de moyenne puissance.

Concernant le petit et moyen éolien, si le mât ne dépasse pas 12 mètres de haut, les démarches administratives sont peu contraignantes. De plus le petit et moyen éolien bénéficie d'aides de la part de l'Etat, des Collectivités Territoriales, notamment la Région, ou d'organismes publics tel l'ADEME.



Source : Eolienne de type Darrieus (WindWall)



Source : Eolienne de type Savonius (WindSide)



Source : Eolienne de type Darrieus (Turby)



Source : Eolienne de type Venturi

Au sol, la densité élevée des bâtiments ne favorise pas l'implantation d'une éolienne, néanmoins en toiture terrasse cette solution est envisageable à condition de réaliser une étude précise (direction du vent, turbulence...) pour chaque site.

### **9.2. Conclusion**

Au vu de la situation du site qui est dans une zone urbaine très dense, la solution de l'éolien n'est pas une solution envisageable.

## 10. BIOMASSE

### 10.1. Description

Par biomasse, nous entendons l'ensemble de la filière « bois énergie ».

#### Les combustibles

En biomasse il existe différents combustibles :

- Les bois déchiquetés ou broyés issus soit de la taille, appelés aussi rémanents, soit des rebuts ou des déchets industriels ;
- Les écorces provenant de la première transformation des industriels ;
- Les sciures et copeaux, issues de la coupe de la matière première dans les scieries ;
- Les granulés provenant de la récupération de sciures et copeaux, comprimés en bâtonnets.

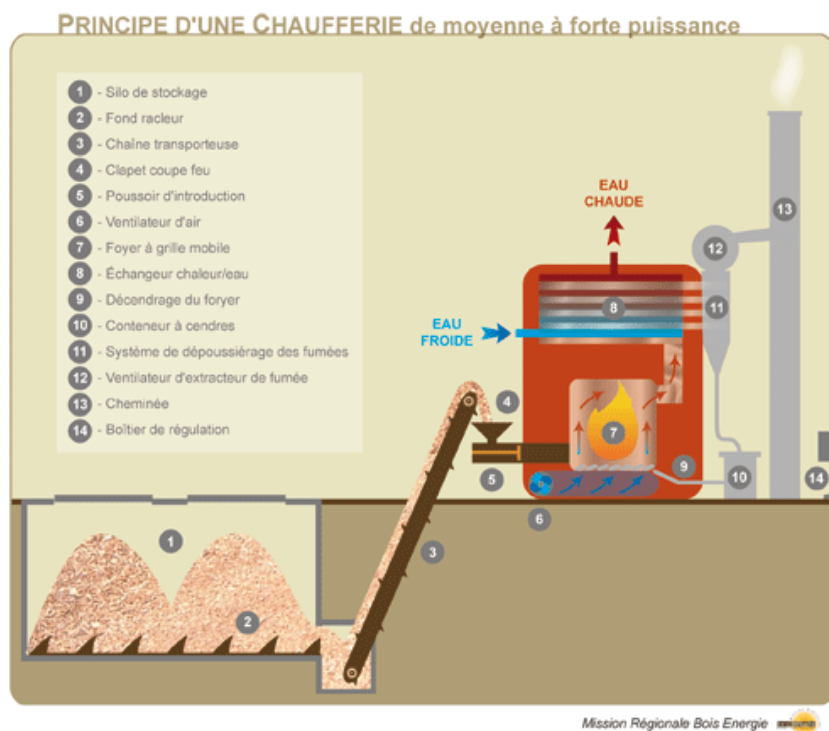
Selon le type de ressource, les quantités à brûler pour obtenir un kilowattheure de chaleur varient en fonction de son pouvoir calorifique, de l'humidité du produit mais aussi de sa porosité.

Type de combustible	Pouvoir calorifique sur PCI (kWh/T)	Pourcentage d'eau	
Granulés, briquettes	4 700	9%	
Plaquettes d'industrie	2 900	Env. 30%	
Plaquettes forestières	2 800	Env. 30%	
Bûches	Tendre <sup>4</sup>	3 000	Env. 30%
	Dur <sup>5</sup>	4 200	15 à 20%

### 10.2. Dimensionnement

Comme pour le chauffage collectif au fioul ou au gaz, il est possible d'installer une ou plusieurs chaudières bois en cascade pour subvenir aux besoins en chauffage du bâtiment.

Il est dans ce cas nécessaire de prévoir une chaufferie avec un silo de stockage dimensionné en fonction des besoins et un accès pour le camion de livraison. En termes de maintenance, le contrat doit prévoir le passage régulier d'un agent pour le décendrage et l'entretien annuel de la chaufferie.



Source : observatoire régional de la forêt méditerranéenne

La mise en œuvre de trois chaudières pour les bâtiments RJA et A et deux chaudières bois granulés d'une puissance d'environ 101 kW chacune.

### **Avantages et inconvénients**

Avantages :

- Possibilité d'utiliser la biomasse locale
- Indépendant des conditions météorologiques
- Cout des granulés faibles
- Bilan de gaz à effet de serres réduites

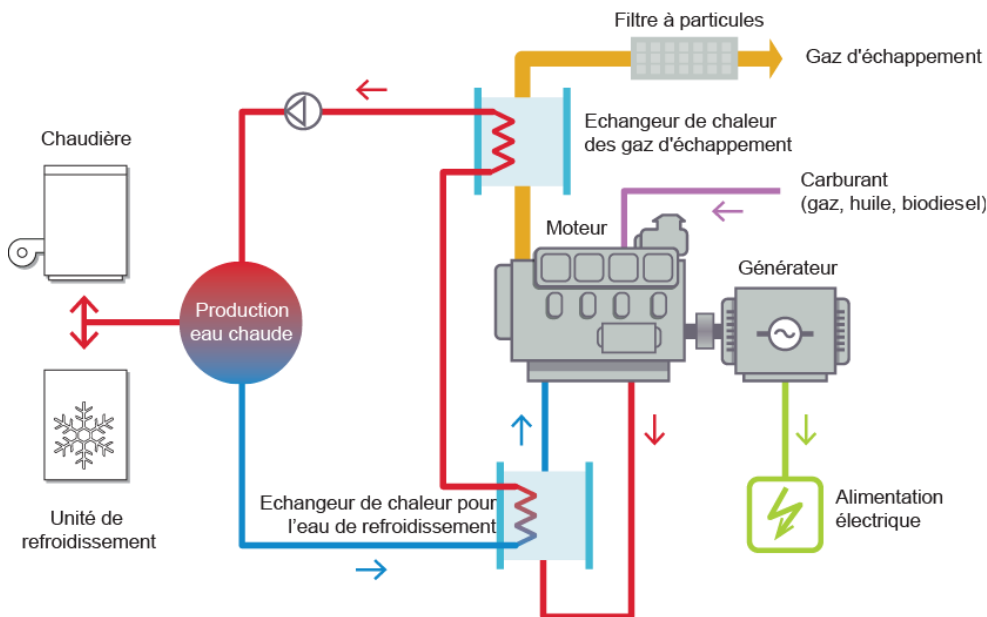
Inconvénient

- Pas de surface disponible pour stockage
- Nécessite du personnel pour la gestion de l'approvisionnement des chaudières.
- Emissions de NOX très importantes (gaz responsable des pluies acides)
- Energie grise associée au transport du combustible
- Coût d'investissement élevé

## **11. COGENERATION**

La cogénération permet la production simultanée de chaleur et d'électricité. La chaleur est utilisée pour chauffer le bâtiment ou pour la préparation d'eau chaude sanitaire, et l'électricité produite peut être consommée sur place ou revendue au réseau de distribution.

Par rapport à une production séparée, distincte, quand l'électricité est produite dans une centrale et la chaleur dans une chaudière, la cogénération permet d'économiser jusqu'à 20 % de combustible.



## 12. RESEAU DE CHALEUR

### 12.1. Description

Un réseau de chaleur est un système de distribution de chaleur produite de façon centralisée, permettant de desservir plusieurs usagers. Il comprend une ou plusieurs unités de production de chaleur, un réseau de distribution primaire dans lequel la chaleur est transportée par un fluide caloporteur, et un ensemble de sous-stations d'échange, à partir desquelles les bâtiments sont desservis par un réseau de distribution secondaire.

Tout réseau de chaleur comporte les principaux éléments suivants :

- **L'unité de production de chaleur** qui peut être, par exemple, une usine d'incinération des ordures ménagères (UIOM), une chaufferie alimentée par un combustible (fioul, gaz, bois...), une centrale de géothermie profonde, etc. Généralement un réseau comporte une unité principale qui fonctionne en continu et une unité d'appoint utilisée en renfort pendant les heures de pointe, ou en remplacement lorsque cela est nécessaire.
- **Le réseau de distribution primaire** composé de canalisations dans lesquelles la chaleur est transportée par un fluide caloporteur (vapeur ou eau chaude). Un circuit aller (rouge) transporte le fluide chaud issu de l'unité de production. Un circuit retour (bleu) ramène le fluide, qui s'est délesté de ses calories au niveau de la sous-station d'échange. Le fluide est alors à nouveau chauffé par la chaufferie centrale, puis renvoyé dans le circuit. La conception du réseau vise à assurer une densité thermique (nombre de bâtiments raccordés par kilomètre de conduite posée) aussi élevée que possible, afin de permettre la viabilité économique du réseau (coût d'investissement fortement liée au linéaire de conduite ; recettes liées au nombre d'usagers).
- **Les sous-stations d'échange**, situées en pied d'immeuble, permettent le transfert de chaleur par le biais d'un échangeur entre le réseau de distribution primaire et le réseau de

Construction de 4 bâtiments de 157 logements collectifs et de 29 maisons individuelles, Promenade du canal, Site « Barco-métal », à Périgueux

distribution secondaire qui dessert un immeuble ou un petit groupe d'immeubles. Le réseau secondaire ne fait pas partie du réseau de chaleur au sens juridique, car il n'est pas géré par le responsable du réseau de chaleur mais par le responsable de l'immeuble.

**Aucun réseau de chaleur urbain à proximité.**

### 13. RESULTATS

Certains systèmes sont retenus pour le projet considéré, d'autres sont écartés pour des raisons de faisabilité non assurée par rapport au site.

Solution	Conservée ?	Observations
Solaire photovoltaïque	Oui	
Solaire thermique	Oui	
Biomasse	Oui	
Système Eolien	Non	En site urbain très dense, la solution de l'éolien n'est pas une solution envisageable.
Réseau de chaleur	Non	Aucun réseau de chaleur n'est à proximité du projet
Pompe à chaleur géothermique	Oui	
CET Double service	Oui	
Pompe à chaleur double service	Oui	
Chaudière gaz individuelle	Oui	
Chaudière gaz collective	Oui	

## **14. CONCLUSION**

L'analyse comparative entre les différents systèmes envisagés prend en compte les paramètres suivants :

- L'estimation des solutions
- Le surcout des solutions comparées à la solution pressentie
- L'efficacité globale des systèmes
- Les coûts de maintenance annuelle
- Retour sur investissement

### Bâtiment A

<b>A</b>	Unité	PAC Collective +effet joule	Chaudière gaz individuelle	Effet joule + panneaux photovoltaïques + ballons thermodynamiques	Chaudière bois	PAC double service	Chaudière gaz à condensation collective	PAC Eau/Eau Géothermie	Cogénération	Chaudière gaz collective +Solaire thermique	CET thermodynamique double service Zecet (Solution pressentie)
<b>Consommation d'énergie primaire</b>											
Gaz	MWh <sub>ep</sub> /an	-	158.27	-	-	-	-	-	186.43	120.30	-
Electricité	MWh <sub>ep</sub> /an	28.27	5.29	272.27	0.33	170.10	194.82	139.46	1.35	7.21	10.92
Bois	MWh <sub>ep</sub> /an	-	-	-	207.83	-	-	-	-	-	-
<b>Production d'EnR</b>											
Electricité	MWh <sub>ep</sub> /an	3.32	-	36.83	-	-	-	-	2.79	-	-
Thermique	MWh <sub>ep</sub> /an	-	-	-	-	-	-	-	-	63.98	-
<b>Emission de gaz à effet de serre</b>											
Emission de CO2	kgCO2 /m <sup>2</sup> .an	0.5	1.56	0.7	0.2	0.5	0.5	0.2	1.70	1.11	-

Les chiffres du tableau ci-dessus sont extraits du logiciel Perrenoud.

<b>A</b>	Unité	PAC Collective	Chaudière gaz ind.	Effet joule + panneaux photovoltaïques + ballons thermo	Chaudière bois	PAC double service	Chaudière gaz à condensation collective	PAC Eau/Eau Géothermie	Cogénération	Solaire thermique	CET thermodynamique double service Zecet (Solution pressentie)
<b>Consommation d'énergie finale</b>											
Gaz	MWh <sub>net</sub> /an	-	158.27	-	-	-	-	-	186.43	120.31	
Electricité	MWh <sub>net</sub> /an	5.46	2.05	105.53	0.13	65.97	75.51	54.05	0.52	2.79	5.35
Bois	MWh <sub>net</sub> /an	-	-	-	931.42	-	-	-	-	-	
<b>Production d'énergie</b>											
Electricité	MWh <sub>net</sub> /an	-	-	30.62	-	-	-	-	1.08	-	
Thermique	MWh <sub>net</sub> /an	-	-	-	-	-	-	-	-	63.98	
<b>Gain</b>											
EnR	€HT/an	-	-	1144.55 €	-	-	-	-	75.49 €	3199.24 €	
<b>Coût de l'énergie</b>											
Gaz	€HT/an	-	7913.65 €	-	-	-	-	-	9321.82 €	6015.52 €	
Electricité	€HT/an	52.42 €	121.59 €	9509.93 €	11.73€	5941.11 €	6792.83 €	4866.47 €	40.54 €	251.44 €	5394.425 €
Bois	€HT/an	-	-	-	22243.98 €	-	-	-	-	-	
<b>Coût d'entretien</b>											
Entretien / Maintenance	€HT/an	1303.09 €	3023.17 €	646.33 €	1459.46 €	5733.59 €	5608.49 €	5954.04 €	3752.89 €	1563.71 €	4050 €

Les chiffres du tableau ci-dessus sont extraits du logiciel Perrenoud.

<b>A</b>	Unité	PAC Collective+effet joule	Chaudière gaz individuelle	Effet joule + panneaux photovoltaïques + ballons thermodynamiques	Chaudière bois	PAC double service	Chaudière gaz à condensation collective	PAC Eau/Eau Géothermie	Cogénération	Solaire thermique	CET thermodynamique double service Zecet (Solution pressentie)
Investissement	€HT	56 219.09 €	108 000.00 €	73986.69 €	55826.25 €	148500.00 €	154702.63 €	176177.46 €	135000.00 €	75191.88. €	54000.00€
Surcoût d'investissement par rapport à la solution pressentie	€HT	2219.09	54 000 €	19986.69 €	1826.25 €	94500 €	100 702.64 €	122 177.46 €	81000 €	21 191.88 €	-
Coût d'exploitation	€HT/an	12908.01 €	8035.16 €	8365.38 €	10403.70 €	5941.11 €	6792.83 €	4866.47 €	9275.72 €	3067.73 €	4050
Ecart d'exploitation par rapport à la solution pressentie	€HT/an	8855.01	3985.16 €	4315.38 €	6353.70 €	1891.11 €	2742.83 €	816.47 €	5225.72 €	- 982.27 €	-
Temps de retour sur investissement par rapport à la solution pressentie	an	0.25	13.55	4.63	0.28	49.97	36.71	55	15.50	21.57	-
Coût global sur 25 ans	€HT	378919.34 €	308879.00 €	283 121.19 €	315 918.75 €	297027.75 €	324523.38 €	297 839.21 €	366 893.00 €	151885.13 €	155250

### **Bâtiment B**

<b>B</b>	Unité	PAC Collective +effet joule	Chaudière gaz individuelle	Effet joule + panneaux photovoltaïques + ballons thermodynamiques	Chaudière bois	PAC double service	Chaudière gaz à condensation collective	PAC Eau/Eau Géothermie	Cogénération	Chaudière gaz collective +Solaire thermique	CET thermodynamique double service Zecet (Solution pressentie)
Consommation d'énergie primaire											
Gaz	MWh <sub>ep</sub> /an	-	257.92	-	-	-	-	-	303.82	196.05	-
Electricité	MWh <sub>ep</sub> /an	46.07	8.62	443.70	0.54	277.38	317.49	227.26	2.20	2.62	17.80
Bois	MWh <sub>ep</sub> /an	-	-	-	338.70	-	-	-	-	-	-
Production d'EnR											
Electricité	MWh <sub>ep</sub> /an	5.41	-	60.02	-	-	-	-	4.55	-	-
Thermique	MWh <sub>ep</sub> /an	-	-	-	-	-	-	-	-	104.27	-
Emission de gaz à effet de serre											
Emission de CO2	kgCO2 /m <sup>2</sup> .an	0.72	2.54	1.09	0.36	0.72	0.72	0.36	2.90	1.80	-

Les chiffres du tableau ci-dessus sont extraits du logiciel Perrenoud.

<b>B</b>	Unité	PAC Collective	Chaudière gaz ind.	Effet joule + panneaux photovoltaïques + ballons thermo	Chaudière bois	PAC double service	Chaudière gaz à condensation collective	PAC Eau/Eau Géothermie	Cogénération	Solaire thermique	CET thermodynamique double service Zecet (Solution pressentie)
<b>Consommation d'énergie finale</b>											
Gaz	MWh <sub>net</sub> /an	-	257.92	-	-	-	-	-	303.81	196.06	
Electricité	MWh <sub>net</sub> /an	8.89	3.34	171.97	0.21	107.50	123.05	88.08	0.84	4.55	8.71
Bois	MWh <sub>net</sub> /an	-	-	-	1517.87	-	-	-	-	-	
<b>Production d'énergie</b>											
Electricité	MWh <sub>net</sub> /an	-	-	49.89	-	-	-	-	1.76	-	
Thermique	MWh <sub>net</sub> /an	-	-	-	-	-	-	-	-	104.26	
<b>Gain</b>											
EnR	€HT/an	-	-	1865.19 €	-	-	-	-	123.02 €	5213.58 €	
<b>Coût de l'énergie</b>											
Gaz	€HT/an	-	12896.32 €	-	-	-	-	-	15191.11 €	9803.07 €	
Electricité	€HT/an	85.42 €	198.14 €	15497.66 €	19.15 €	9681.80 €	11069.79 €	7930.54 €	66.06 €	409.75 €	8790.91 €
Bois	€HT/an	-	-	-	22243.98 €	-	-	-	-	-	
<b>Coût d'entretien</b>											
Entretien / Maintenance	€HT/an	2123.55 €	4926.64 €	1053.27 €	2378.38 €	9343.63 €	9139.76 €	9702.88 €	6115.82 €	2548.26 €	6600 €

Les chiffres du tableau ci-dessus sont extraits du logiciel Perrenoud.

<b>B</b>	Unité	PAC Collective+effet joule	Chaudière gaz individuelle	Effet joule + panneaux photovoltaïques + ballons thermodynamiques	Chaudière bois	PAC double service	Chaudière gaz à condensation collective	PAC Eau/Eau Géothermie	Cogénération	Solaire thermique	CET thermodynamique double service Zecet (Solution pressentie)
Investissement	€HT	91616.29 €	176000 €	120570.90 €	90976.11 €	242000 €	252107.98 €	287104.01 €	220 000 €	122534.92 €	88000 €
Surcoût d'investissement par rapport à la solution pressentie	€HT	3616.29	88000 €	32570.90 €	2976.11 €	154000 €	164107.98 €	199104.01 €	132000 €	34 534.92 €	-
Coût d'exploitation	€HT/an	21035.27 €	13094.33 €	13632.47 €	16954.18 €	9681.88 €	11069.79 €	7930.54 €	15115.98 €	4999.26 €	6600
Ecart d'exploitation par rapport à la solution pressentie	€HT/an	17435.27	6494.33 €	7032.47 €	10354.18 €	3081.88 €	4469.79 €	1330.54 €	8515.98 €	- 1600.74 €	-
Temps de retour sur investissement par rapport à la solution pressentie	an	0.20	14.45	5.64	0.38	48.81	35.61	52	16.50	22.57	-
Coût global sur 25 ans	€HT	617498.04 €	503358.25 €	461382.65 €	514830.61 €	484047 €	528852.73 €	485367.51 €	597899.50 €	247 516.42 €	253000

### **Bâtiment C**

<b>C</b>	Unité	PAC Collective +effet joule	Chaudière gaz individuelle	Effet joule + panneaux photovoltaïques + ballons thermodynamiques	Chaudière bois	PAC double service	Chaudière gaz à condensation collective	PAC Eau/Eau Géothermie	Cogénération	Chaudière gaz collective +Solaire thermique	CET thermodynamique double service Zecet (Solution pressentie)
Consommation d'énergie primaire											
Gaz	MWh <sub>ep</sub> /an	-	316.53	-	-	-	-	-	372.87	240.61	-
Electricité	MWh <sub>ep</sub> /an	56.54	10.57	544.54	0.66	340.42	389.65	279.33	2.70	3.21	21.85
Bois	MWh <sub>ep</sub> /an	-	-	-	415.67	-	-	-	-	-	-
Production d'EnR											
Electricité	MWh <sub>ep</sub> /an	6.63	-	73.66	-	-	-	-	5.58	-	-
Thermique	MWh <sub>ep</sub> /an	-	-	-	-	-	-	-	-	127.96	-
Emission de gaz à effet de serre											
Emission de CO2	kgCO2 /m <sup>2</sup> .an	0.88	3.11	1.34	0.44	0.88	0.88	0.44	3.56	2.21	-

Les chiffres du tableau ci-dessus sont extraits du logiciel Perrenoud.

<b>C</b>	Unité	PAC Collective	Chaudière gaz ind.	Effet joule + panneaux photovoltaïques + ballons thermo	Chaudière bois	PAC double service	Chaudière gaz à condensation collective	PAC Eau/Eau Géothermie	Cogénération	Solaire thermique	CET thermodynamique double service Zecet (Solution pressentie)
<b>Consommation d'énergie finale</b>											
Gaz	MWh <sub>net</sub> /an	-	316.53	-	-	-	-	-	372.86	240.61	
Electricité	MWh <sub>net</sub> /an	10.91	4.09	211.05	0.25	131.93	151.02	108.09	1.03	5.58	10.70
Bois	MWh <sub>net</sub> /an	-	-	-	1517.87	-	-	-	-	-	
<b>Production d'énergie</b>											
Electricité	MWh <sub>net</sub> /an	-	-	61.22	-	-	-	-	2.16	-	
Thermique	MWh <sub>net</sub> /an	-	-	-	-	-	-	-	-	127.95	
<b>Gain</b>											
EnR	€HT/an	-	-	2289.10 €	-	-	-	-	150.97 €	6398.48 €	
<b>Coût de l'énergie</b>											
Gaz	€HT/an	-	15827.30 €	-	-	-	-	-	18643.63 €	12031.04 €	
Electricité	€HT/an	104.83 €	243.17 €	19019.85 €	23.50 €	11882.20 €	13585.65 €	9732.94 €	81.07 €	502.87 €	10788.85 €
Bois	€HT/an	-	-	-	27299.43 €	-	-	-	-	-	
<b>Coût d'entretien</b>											
Entretien / Maintenance	€HT/an	2606.18 €	6046.33 €	1292.65 €	2918.92 €	11467.18 €	11216.98 €	11908.08 €	7505.77 €	3127.41 €	8100 €

Les chiffres du tableau ci-dessus sont extraits du logiciel Perrenoud.

C	Unité	PAC Collective+effet joule	Chaudière gaz individuelle	Effet joule + panneaux photovoltaïques + ballons thermodynamiques	Chaudière bois	PAC double service	Chaudière gaz à condensation collective	PAC Eau/Eau Géothermie	Cogénération	Solaire thermique	CET thermodynamique double service Zecet (Solution pressentie)
Investissement	€HT	112438.17 €	216000 €	147972.27 €	111652.49 €	297000€	309405.25 €	352354.92 €	270000 €	150383.76 €	108000 €
Surcoût d'investissement par rapport à la solution pressentie	€HT	4438.17	108000 €	39972.27 €	3652.49 €	189000 €	201405.25 €	244354.92 €	162000 €	42383.76 €	-
Coût d'exploitation	€HT/an	25816.01	16070.31 €	16730.76 €	20807.40 €	11882.30 €	13585.65 €	9732.93 €	18551.43 €	6135.45 €	8100
Ecart d'exploitation par rapport à la solution pressentie	€HT/an	17716.01	7970.31 €	8630.76 €	12707.40 €	3782.30 €	5485.65 €	1632.93 €	10451.43€	- 1964.55 €	-
Temps de retour sur investissement par rapport à la solution pressentie	an	0.25	13.55	4.63	0.28	49.97	36.71	55	15.50	21.57	-
Coût global sur 25 ans	€HT	757838.42 €	617 757.75 €	566 241.27 €	631837.49 €	594057.50€	649046.50 €	595678.17 €	733785.75 €	303770.01 €	310500

### **Bâtiment D**

<b>D</b>	Unité	PAC Collective +effet joule	Chaudière gaz individuelle	Effet joule + panneaux photovoltaïques + ballons thermodynamiques	Chaudière bois	PAC double service	Chaudière gaz à condensation collective	PAC Eau/Eau Géothermie	Cogénération	Chaudière gaz collective +Solaire thermique	CET thermodynamique double service Zecet (Solution pressentie)
<b>Consommation d'énergie primaire</b>											
Gaz	MWh <sub>ep</sub> /an	-	366.88	-	-	-	-	-	432.19	278.88	-
Electricité	MWh <sub>ep</sub> /an	65.54	12.25	631.17	0.77	394.57	451.64	323.77	3.13	3.72	25.32
Bois	MWh <sub>ep</sub> /an	-	-	-	415.67	-	-	-	-	-	-
<b>Production d'EnR</b>											
Electricité	MWh <sub>ep</sub> /an	7.68	-	85.38	-	-	-	-	6.4	-	-
Thermique	MWh <sub>ep</sub> /an	-	-	-	-	-	-	-	-	148.32	-
<b>Emission de gaz à effet de serre</b>											
Emission de CO2	kgCO2 /m <sup>2</sup> .an	1.02	3.60	1.55	0.51	0.88	1.08	0.51	4.13	2.56	-

D	Unité	PAC Collective	Chaudière gaz ind.	Effet joule + panneaux photovoltaïques + ballons thermo	Chaudière bois	PAC double service	Chaudière gaz à condensation collective	PAC Eau/Eau Géothermie	Cogénération	Solaire thermique	CET thermodynamique double service Zecet (Solution pressentie)
Consommation d'énergie finale											
Gaz	MWh <sub>et</sub> /an	-	366.88	-	-	-	-	-	432.18	278.88	
Electricité	MWh <sub>et</sub> /an	12.64	4.74	244.62	0.29	152.91	175.04	125.28	1.19	6.47	12.40
Bois	MWh <sub>et</sub> /an	-	-	-	1759.35	-	-	-	-	-	
Production d'énergie											
Electricité	MWh <sub>et</sub> /an	-	-	70.95	-	-	-	-	2.50	-	
Thermique	MWh <sub>et</sub> /an	-	-	-	-	-	-	-	-	148.30	
Gain											
EnR	€HT/an	-	-	2653.28 €	-	-	-	-	174.98 €	7416.42 €	
Coût de l'énergie											
Gaz	€HT/an	-	18435.28 €	-	-	-	-	-	21609.66 €	13945.07 €	
Electricité	€HT/an	121.50 €	281.86 €	22045.73 €	27.24 €	13772.55 €	15747.003 €	11281.36 €	93.97 €	582.88 €	12505.26 €
Bois	€HT/an	-	-	-	27299.43 €	-	-	-	-	-	
Coût d'entretien											
Entretien / Maintenance	€HT/an	3020.79 €	7008.26€	1498.29 €	3383.29 €	13291.50 €	13001.5 €	13802.55 €	8699.87 €	3624.95 €	9388.63 €

<b>B</b>	Unité	PAC Collective+effet joule	Chaudière gaz individuelle	Effet joule + panneaux photovoltaïques + ballons thermodynamiques	Chaudière bois	PAC double service	Chaudière gaz à condensation collective	PAC Eau/Eau Géothermie	Cogénération	Solaire thermique	CET thermodynamique double service Zecet (Solution pressentie)
Investissement	€HT	106191.61 €	204000 €	139752.63 €	105449.59 €	280500€	292216.07 €	332779.65 €	255000 €	142029.12 €	102000 €
Surcoût d'investissement par rapport à la solution pressentie	€HT	4191.61 €	102000 €	37752.63 €	3449.58 €	178500 €	190216.07 €	230779.65 €	153000 €	40 029.11 €	-
Coût d'exploitation	€HT/an	24381.79 €	15 177.52 €	15801.28 €	19651.44 €	11222.18 €	12830.89 €	9192.22 €	17520.79 €	5794.60 €	7650 €
Ecart d'exploitation par rapport à la solution pressentie	€HT/an	20 209.06	7527.52 €	8151.27 €	12001.44 €	3572.18 €	5180.90 €	1542.22 €	9870.80 €	- 1346.08 €	-
Temps de retour sur investissement par rapport à la solution pressentie	an	0.20	14.45	5.64	0.38	48.81	35.61	52	16.50	22.57	-
Coût global sur 25 ans	€HT	715736.36 €	583 438 €	534784.63 €	596 735.59 €	561 054.50€	612988.32 €	562 585.15 €	693 019.75 €	286 894.12 €	293250

Les solutions de chauffage en géothermie, cogénération ainsi que la PAC double service et le système VRV représentent un investissement trop important. Ces solutions ne sont donc pas envisageables.

La solution de chauffage en chaudière gaz individuelle à un coût sur 25 ans qui se rapproche de la solution pressentie mais elle représente également un investissement trop important.

La solution de chauffage par effet joule associé à des ballons thermodynamiques et des panneaux photovoltaïques posent des problèmes d'esthétiques. En effet, il faut prévoir les bouches de soufflage des ballons thermodynamique en façades. De plus, les toitures terrasses seront occupés par les panneaux photovoltaïques ce qui peut engendrer une demande de permis modificatif.

En conclusion, cette solution n'est pas intéressante au niveau esthétique et économique car elle a un coût d'investissement deux fois supérieure à la solution pressentie.

Le solaire thermique associée à des chaudières gaz collectives est intéressante sur le long terme mais représente également un investissement deux fois supérieurs à la solution pressentie.

Pour finir la solution de référence avec une production de chauffage et d'ECS par chauffe-eau thermodynamique double service de type Zecet reste la solution représentant le moins de contrainte et le moins d'investissement. De plus c'est une solution sans unité extérieure donc elle est également intéressante au niveau esthétique.