



MAÎTRISE D'OUVRAGE  
Communauté d'Agglomération de PARIS -  
VALLEE DE LA MARNE  
5 cours de l'Arche Guédon, Torcy  
77202 Marne-la-Vallée Cedex 1

T +33 172 846 254



MANDATAIRE MOE  
CHABANNE ET PARTENAÏRES  
6, cité de l'ameublement  
75 011 Paris

T + 33 149 530 070

# CENTRE AQUATIQUE INTERCOMMUNAL LES BASSINS DESCARTES A CHAMPS SUR MARNE

## PCA.05 - Etude d'approvisionnement en énergie



Kéo Ingénierie  
1 montée de la Butte  
69001 LYON

–  
T + 33 437 262 760  
F + 33 437 262 761  
[www.keo-ingenierie.fr](http://www.keo-ingenierie.fr)

–  
C.FARIZON

–  
N° AFFAIRE / 15 098  
DATE / 14/06/17

Indice  
V1

Modification  
Document initial

Email  
[cfarizon@keo-ingenierie.fr](mailto:cfarizon@keo-ingenierie.fr)

Tél  
+ 33 437 262 770

# SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Hypothèses de l'étude .....</b>	<b>3</b>
2.1	Estimations des consommations.....	3
2.2	Couts des énergies.....	3
2.3	Impacts environnementaux .....	4
<b>3.</b>	<b>Choix des variantes et système pressenti.....</b>	<b>4</b>
<b>4.</b>	<b>Variantes non envisageables .....</b>	<b>4</b>
4.1	Systèmes solaires photovoltaïque.....	4
4.2	Energie éolienne.....	4
4.3	Géothermie sur champ de sonde .....	5
4.4	Autres PAC.....	5
4.5	Cogénération .....	6
<b>5.</b>	<b>Solution pressentie : réseau de chaleur alimenté par Géothermie sur aquifère .....</b>	<b>7</b>
5.1	Principe général de la géothermie sur aquifère .....	7
5.2	Projet .....	7
<b>6.</b>	<b>VARIANTE 1 : PAC moquette solaire + Gaz condensation .....</b>	<b>7</b>
6.1	Pompes à chaleur sur moquette solaire.....	7
6.2	Chaudières à condensation.....	8
<b>7.</b>	<b>VARIANTE 2 : Chaufferie Bois .....</b>	<b>9</b>
7.1	Principe général.....	9
7.2	Projet .....	9
7.3	Eléments de comparaison.....	10
<b>8.</b>	<b>Comparaison des solutions .....</b>	<b>10</b>

## 1. INTRODUCTION

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2014, l'obligation d'étudier les diverses solutions d'approvisionnement en énergie des bâtiments neufs avant le dépôt de la demande de permis de construire s'applique dès 50 m<sup>2</sup>.

Pour les bâtiments de plus de 1000 m<sup>2</sup>, l'ensemble de ces 9 variantes est à examiner (seules ou combinées):

- le raccordement à un réseau de chauffage ou de refroidissement collectif à plusieurs bâtiments ou urbain ;
- les chaudières à condensation ;
- les systèmes solaires thermiques ;
- les systèmes solaires photovoltaïques ;
- les systèmes éoliens ;
- les pompes à chaleur géothermiques ;
- les autres types de pompes à chaleur ;
- les systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité ;
- les systèmes de chauffage biomasse.

## 2. HYPOTHESES DE L'ETUDE

### 2.1 ESTIMATIONS DES CONSOMMATIONS

Les consommations sur lesquelles se basent l'étude sont issues à ce stade des résultats de la simulation thermique dynamique :

#### 2.1.1 BILAN DES CONSOMMATIONS DE CHALEUR

Les **consommations prévisionnelles** s'élèvent à **7 300 MWh par an**.

Le principal poste de consommation dans le centre aquatique est le maintien en température des bassins. La répartition est en effet la suivante :



### 2.2 COUTS DES ENERGIES

Gaz	60 € HT /MWh PCI
Bois	30€ HT /MWh
Electricité	80 € HT /MWh

## 2.3 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

	CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> e/MWh EF)	SO <sub>2</sub> (kg SO <sub>2</sub> e/MWh EF)	Déchets nucléaires faibles et moyens (g/MWh électrique final)	Déchets nucléaires forts et très forts (g/MWh électrique final)
Bois	13			
Gaz	234	0	0	0
Electricité chauffage	84	0,89	50	10

## 3. CHOIX DES VARIANTES ET SYSTEME PRESSENTI

Le tableau ci-dessous récapitule les différents systèmes et les choix réalisés :

	Système pressenti	Variante envisageables	Variante non envisageables
Réseau de chaleur	X		
Chaudière à condensation		X	
Système solaire thermique		X	
Système solaire photovoltaïque			X
Système éolien			X
Pompes à chaleur géothermiques sur sonde			X
Pompe à chaleur géothermique sur nappe	X		
Autres types de PAC		X	
Cogénération			X
Systèmes de chauffage biomasse		X	

## 4. VARIANTES NON ENVISAGEABLES

### 4.1 SYSTEMES SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUE

Les consommations d'énergie principales d'un centre aquatique sont des consommations de chaleur. Le solaire photovoltaïque ne participe pas à la couverture des besoins de chaleur.

De plus, la région parisienne ne profite pas d'un ensoleillement très important à l'échelle de la France.



Ensoleillement en France métropolitaine (KWh/m<sup>2</sup>.j). Source : Tecsol  
Irradiation solaire annuelle (kWh/m<sup>2</sup>.j) : 3,3

il n'est donc pas envisagé dans cette étude d'approvisionnement.

### 4.2 ENERGIE EOLIENNE

La rose des vents pour Paris-Orly, station météo la plus proche de Champs sur Marne, est la suivante :



## 4.5 COGENERATION

Le principe de la cogénération est la production combinée de chaleur et d'électricité.

Plusieurs sources d'énergies peuvent être utilisées pour faire fonctionner la cogénération :

- Huile de colza : intéressant environnementalement mais les filières ne sont pas toujours en place et l'entretien est très important
- Diesel : pas intéressant environnementalement
- Gaz : des mini cogénérations peuvent être dimensionnées sur le talon de fonctionnement de certaines installations (électriques ou thermiques) de façon à fonctionner tout au long de l'année.

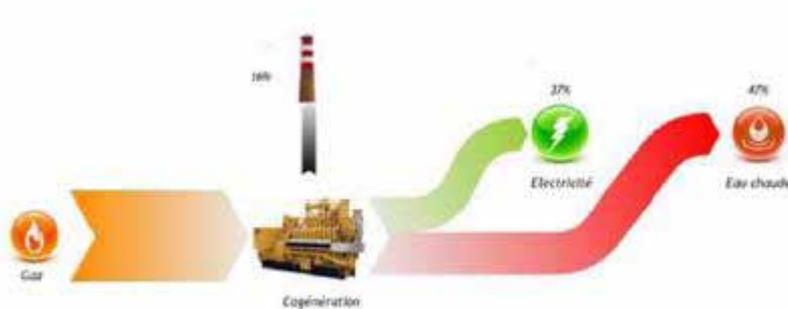


Schéma de principe de la cogénération



Modèle de micro-cogénération

Le talon de consommation thermique est bas dans le cas du projet, car plusieurs récupérations de chaleur sont déjà présentes et couvrent les besoins lorsqu'ils sont les plus bas. Cette solution ne nous paraît pas adaptée (trop d'arrêt et démarrage du module).

**Cette solution ne fait pas partie des solutions envisageables.**

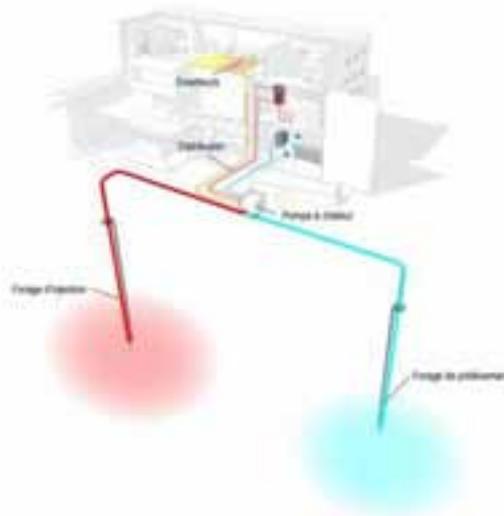
## 5. SOLUTION PRESSENTIE : RESEAU DE CHALEUR ALIMENTE PAR GEOTHERMIE SUR AQUIFERE

### 5.1 PRINCIPE GENERAL DE LA GEOTHERMIE SUR AQUIFERE

Le principe de la géothermie sur aquifère consiste à exploiter l'énergie calorifique disponible de manière permanente au sein d'une nappe d'eau souterraine.

L'eau souterraine est prélevée par l'intermédiaire d'un ou plusieurs forages de pompage. Elle est ensuite acheminée vers la pompe à chaleur (PAC), qui prélèvera les calories disponibles durant le passage de l'eau au travers d'un échangeur à plaques. L'eau est ensuite réinjectée dans le même aquifère par l'intermédiaire d'un ou plusieurs forages de réinjection.

La ressource géothermique (nappe) étant rechargée continuellement par les mouvements d'eaux souterrains, il n'y a pas à craindre d'appauvrissement de la ressource.



### 5.2 PROJET

La collectivité territoriale a le projet de réaliser un réseau de chaleur à l'échelle du quartier, alimenté par une géothermie sur aquifère.

Le projet sera achevé en même temps ou avant le centre aquatique. Les éléments financiers (couts de raccordement, cout d'abonnement et cout de la chaleur) seront définis en juillet 2017.

Nous n'avons donc pas assez d'éléments pour intégrer la comparaison énergétique et économique à ce stade du projet.

Cependant, le raccordement au réseau de chaleur est prévu et les dispositions sont prises pour que le projet soit alimenté en chaleur par ce réseau urbain.

## 6. VARIANTE 1 : PAC MOQUETTE SOLAIRE + GAZ CONDENSATION

Préchauffage de l'eau des bassins par pompe à chaleur sur moquette solaire  
Complément de chauffage et ECS : 2 Chaudières gaz condensation

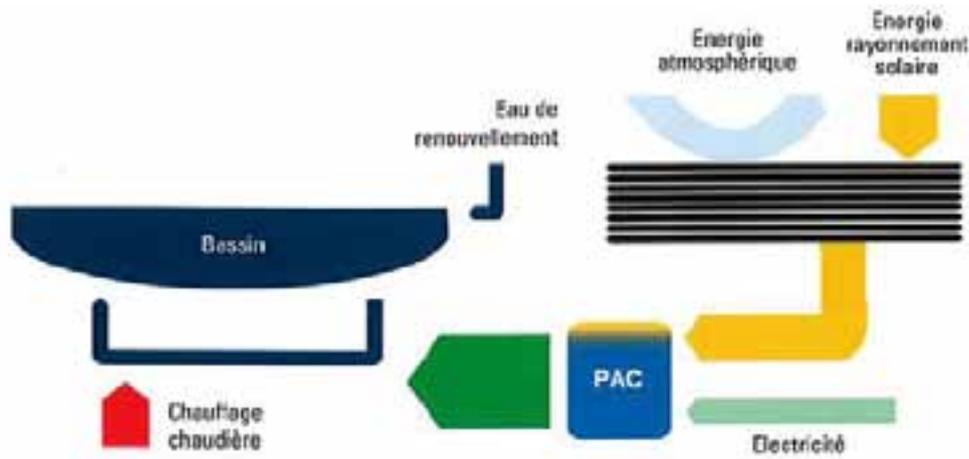
### 6.1 POMPES A CHALEUR SUR MOQUETTE SOLAIRE

Pour limiter les consommations de la chaufferie gaz, il est envisagé une installation solaire thermique de type capteur souple, couplée à 4 pompes à chaleur. La surface de capteur en toiture est de 450m<sup>2</sup>.

L'énergie produite par le système est composée à 80% environ d'apports solaires, les 20% restants correspondent aux consommations électriques des pompes à chaleur.

L'énergie est utilisée pour chauffer l'eau des bassins, car la température d'eau des bassins (28°C) correspond bien au régime de fonctionnement de la moquette solaire, contrairement à l'ECS (60°C).

Schéma de principe du fonctionnement



- Capteur solaire

Le capteur solaire est composé de nappes en EPDM dont les tubes ont un diamètre intérieur de 14,5 mm. Les 450 m<sup>2</sup> de capteur solaire sont posés en toiture du centre aquatique.

- Pompes à chaleur

Un ensemble de 6 pompes à chaleur à détendeur électronique de puissance calorifique nominale de 18 kW, permettra de récupérer l'énergie du capteur solaire. Les PAC travailleront avec une température d'entrée évaporateur pouvant varier de -10 à 40°C.

L'ensemble des matériels associés aux PAC (pompes à chaleur, armoire de commande et accessoires) sera prévu dans un espace dédié. Les pompes à chaleur travailleront en dérivation du circuit de filtration, en amont de l'échangeur principal et du traitement d'eau.

L'énergie produite sera renvoyée vers les bassins pour leurs maintiens en température.

- Régulation

L'ensemble est muni des sondes de température, des compteurs d'énergie et d'électricité permettant de parfaitement réguler le fonctionnement des priorités, l'optimisation des économies et le télé-contrôle de l'installation. Ce dispositif permet de contrôler l'économie et de la connaître continuellement.

- Photos références



Capteurs souple - moquette solaire



Pompes à chaleur

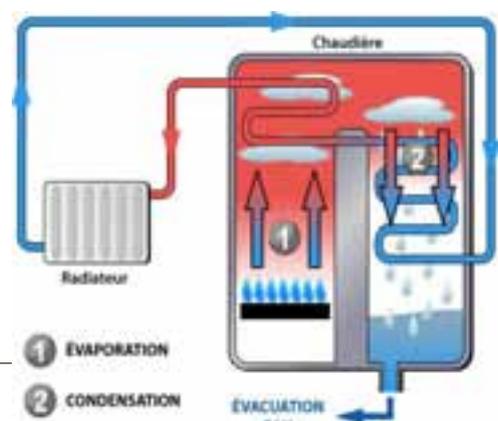
- Incidence énergétique et environnementale

L'apport calorifique du système est donc d'environ 900 000 kWh environ dont 80% d'énergie solaire.

## 6.2 CHAUDIERES A CONDENSATION

Le principe des chaudières à condensation est de récupérer la chaleur latente de la vapeur d'eau des fumées de combustion : la vapeur d'eau présente dans les gaz de combustion est récupérée et non évacuée par les conduits de fumée. La température des fumées ne dépasse pas 50°C, contre 200°C à la sortie d'une chaudière classique.

L'énergie de la vapeur d'eau est alors utilisée pour chauffer l'eau de retour – plus froide – des radiateurs revenant à la chaudière.



Ce travail de réchauffement est ainsi évité à la chaudière, ce qui représente un gain d'énergie. Une fois sa chaleur transmise, la vapeur d'eau est refroidie, elle se condense, puis est ensuite évacuée via le circuit des eaux usées.

Le principal avantage est le rendement de la chaudière sur PCI qui est supérieur à 100%.

## 7. VARIANTE 2 : CHAUFFERIE BOIS

### 7.1 PRINCIPE GENERAL

Dans cette variante, le système étudié consistera en une production de chauffage et d'ECS par énergie renouvelable. Le bois et la biomasse constituent la première source d'énergies renouvelables produites en France. Le bois énergie est une filière à énergie renouvelable et le bois une ressource d'avenir en alternative aux énergies fossiles.

Les installations de chaudière bois énergie peuvent être utilisées pour chauffer les bâtiments collectifs et les habitations, en appoint à des énergies fossiles (fioul, gaz...).



Les ressources en biomasse sont issues de plusieurs origines : Le bois, les sous-produits du bois, les sous-produits de l'industrie, les produits issus de l'agriculture traditionnelle, les déchets organiques. Le granulé de bois est fabriqué à partir d'une matière première naturelle intarissable. Si les ressources forestières sont gérées correctement, elles ne courent aucun risque d'épuisement. La fabrication, le transport, le stockage et l'utilisation du granulé de bois ne sont pas dangereux pour le fabricant, pour l'utilisateur ou pour l'environnement. La chaleur est produite à partir de la combustion du bois (ou de la biomasse) en chaudière ou en incinérateur. Les chaudières sont équipées d'une trémie intégrée qui alimente le foyer en combustible grâce à une vis sans fin et des ventilateurs amènent l'air de combustion.

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 (kWh/tonne)	Emissions de CO <sub>2</sub> (g/kWh utile)	Coût unitaire (€/kWh)
Granulés bois	4 600 à 5 000	42	0.060
Plaquette forestières	3 000 à 4 000	33	0.035

Il est recommandé d'utiliser du bois issu de forêts gérées durablement (certification FSC ou PEFC).

### 7.2 PROJET

Dans le cadre du projet, la variante consiste à mettre en œuvre une chaufferie bois alimentée par des plaquettes forestières. Cette solution permet de bénéficier d'un coût de l'énergie faible.

Une chaudière d'une puissance d'environ 800 kW permettrait, couplée à un appoint (chaudière gaz) d'assurer une grande partie des besoins de chaleur (>70%). L'appoint compenserait le manque de fourniture lors des périodes de forte demande et le secours en cas de mise en défaut de la chaudière bois.

La mise en œuvre d'une chaufferie bois implique l'intégration des coûts de :

- Génie civil – VRD (gros œuvre chaufferie, silo et réseaux divers)
- Equipement chaufferie bois (trappe silo, échelle racleurs, chaudière, extracteur, cheminée)

Ces postes génèrent un surinvestissement de l'ordre de 600 à 800 000 € et une nécessité d'agrandir la chaufferie et d'implanter les silos de stockage du combustible.

### 7.3 ELEMENTS DE COMPARAISON

#### Avantages et/ou motivations pour l'acquisition d'un équipement de chauffage au bois :

Coûts énergétiques inférieures à la solution de référence

Le bois est une énergie renouvelable.

Possibilité d'utilisation biomasse locale

Maintien d'emplois locaux non délocalisables

#### Inconvénients :

Nécessite beaucoup de place, volume de stockage conséquent notamment pour la mise en place d'un silo de stockage.

Emissions de NOx importantes (gaz responsables des pluies acides)

L'approvisionnement en combustible par camions n'est pas toujours facile

Les frais et la fréquence pour l'entretien sont importants comme l'évacuation des déchets

#### Aides financières :

Aides de la région ou du département autour de 30 à 40 % du montant hors taxe de la facture globale (équipement et installation).

## 8. COMPARAISON DES SOLUTIONS

	SOLUTION DE BASE	VARIANTE 1	VARIANTE 2
Détails des solutions	Réseau de chaleur alimenté par géothermie sur nappe	Héliopac Chaudières Gaz condensation	Chaudière bois plaquettes Chaudière gaz haut rendement
<b>Coûts énergétiques (P1) € HT</b>			
Consommation gaz		438 000	98 400
Consommation bois		-	196 800
Consommation électricité (héliopac)		16 000	
Consommation réseau de chaleur	<i>en projet</i>		
<b>TOTAL P1</b>		<b>454 000</b>	<b>295 200</b>
<b>Entretien Maintenance (P2) € HT</b>			
Entretien	<i>en projet</i>	-	<b>6 000</b>
<b>Surinvestissement € HT</b>			
Surinvestissement € HT	<i>en projet</i>	-	800 000
Subventions	<i>en projet</i>	-	-
<b>Investissement net € HT</b>		-	<b>800 000</b>
<b>Coût global sur 30ans (investissement initial + (P1+P2) sur 30ans )</b>		<b>13 620 000</b>	<b>9 836 000</b>
<b>Impact environnemental</b>			
<b>Emissions tonnes CO2 sur 30 ans</b>	<i>en projet</i>	51 750	14 071
Emissions tonnes SO2 sur 30 ans	<i>en projet</i>	5,3	-
Production déchets nucléaires faible et moyen (kg)	<i>en projet</i>	3,0	-
Production déchets nucléaires fort et très fort	<i>en projet</i>	0,60	-

La solution chaudière bois serait intéressante en termes de cout global, cependant elle nécessite un fort investissement et a un impact sur le projet architectural important (circulation des camions de livraison du combustible, etc).

La variante 1 est également intéressante en termes de cout global.

Le maitre d'ouvrage souhaite valoriser le projet de réseau de chaleur alimenté par géothermie sur nappe, c'est pourquoi cette solution est retenue.