

# ZAC REPUBLIQUE IV A POITIERS ET MIGNE-AUXANCES

ETUDE D'IMPACT  
ANNEXES 6 ET 7



SEPTEMBRE 2013



*Compétence Géotechnique*

*Agence Centre-Ouest*

Sondages et essais – Etudes de sol  
Ingénierie - Instrumentation  
Laboratoire - Expertises

8, rue Pierre et Marie Curie  
ZA La Haute Limouère  
37230 FONDETTES

Tél. : 02.47.28.35.90  
Fax : 02.47.28.33.20

centre-ouest@competence-geotechnique.fr  
www.competence-geotechnique.fr

**Diffusion par mail et courrier simple :**

**2 exemplaires dont 1 reproductible à EGIS France, M. JARRET + mémoire d'honoraires**



# POITIERS - MIGNE-AUXANCES

(Vienne)

Abords de la ZI République

Aménagement de la ZI République IV

Sondages et essais de sol

## RAPPORT D'ETUDE GEOTECHNIQUE

<b>N° Affaire :</b>	<i>Agence</i>	<i>N° Ordre</i>	<b>Fondettes, le</b>
	<b>T</b>	<b>127</b>	<b>24 septembre 2012</b>
<b>A. GAGNER</b>	<b>Y. BERTHIER</b>	10 + 19 annexes	<b>Première diffusion</b>
<i>Etabli par</i>	<i>Vérifié par</i>	<i>Nombre de feuilles</i>	<i>Modifications - Observations</i>

*Maison Mère à COZES (17) et agences sur TONNEINS (47), MAIZIERES-LES-METZ (57),  
BESANÇON (25), PERPEZAC LE NOIR (19), VILLENEUVE D'ASCQ (59)*

## SOMMAIRE

<b>I - MISSION .....</b>	<b>2</b>
<b>II - PROJET .....</b>	<b>2</b>
<b>III – LE SITE.....</b>	<b>3</b>
<b>IV - INVESTIGATIONS .....</b>	<b>4</b>
4.1    METHODE DE TRAVAIL.....	4
4.2    RESULTATS ET INTERPRETATION.....	6
4.2.1    NATURE DU SOL.....	7
4.2.2    L'EAU DANS LE SOL.....	8
4.2.3    COEFFICIENT DE PERMEABILITE.....	8
<b>CONCLUSIONS.....</b>	<b>10</b>

## **I - MISSION**

La société Egis France, nous a demandé de réaliser 16 sondages de reconnaissance dont 10 avec essais d'infiltration, à l'emplacement envisagé pour l'aménagement d'une zone d'activités République IV sur les communes de Poitiers et Migné-Auxances (86).

Notre mission consistait en une campagne d'investigations géotechniques du type G0, de la norme NF P 94-500 de décembre 2006, disponible sur simple demande.

Elle a été réalisée suivant notre offre T12-03-108 du 8 mars 2012, acceptée le 13 juin 2012.

Les documents fournis pour remplir notre mission ont été les suivants :

- 1 plan d'ensemble de limite d'étude géotechnique au 1/5000<sup>ième</sup> avec localisation des 6 sondages carottés et des 10 essais d'infiltration.
- 3 plans de limite d'étude géotechnique zoomés au 1/2000<sup>ième</sup> avec localisation des 6 sondages carottés et des 10 essais d'infiltration.

L'étude concernait principalement les structures de chaussées ou chemins existants, ainsi que la capacité d'infiltration des sols en place.

## **II - PROJET**

Le projet consiste en l'aménagement d'une nouvelle zone d'activités sur les communes de Poitiers et Migné-Auxances (86).

Cette zone s'étendra sur une superficie d'environ 170 hectares.

Aucune autre information ne nous a été communiquée sur la nature et les caractéristiques exactes de ce projet. Il nous était donc difficile de faire des préconisations.



## **IV - INVESTIGATIONS**

### **4.1 METHODE DE TRAVAIL**

Nous avons procédé à l'exécution de **16 sondages de reconnaissance** descendus aux profondeurs suivantes par rapport à la surface topographique du terrain au moment du chantier :

<b>Sondage N°</b>	<b>Type</b>	<b>Prof. (m)</b>
SC1	Carottage de reconnaissance	0,8 (refus)
SC2		1,0
SC3		1,2
SC4		0,9 (refus)
SC5		1,0
SC6		1,2
EI1	Reconnaissance + essais d'infiltration	1,6
EI2		1,6
EI3		1,6
EI4		1,2 (refus)
EI5		1,5
EI6		1,5
EI7		1,5
EI8		1,5
EI9		1,5
EI10		1,5

Leur implantation est reportée sur le plan annexé. Cette implantation a été adaptée en fonction.

Les sondages SC ont été forés au carottier Ø 116 mm. Les sondages EI ont été forés à la tarière hélicoïdale continue Ø 150 mm, et stoppé au refus pour EI4.

Des échantillons remaniés représentatifs des différentes couches traversées ont été prélevés au fur et à mesure de l'avancement pour leur identification géologique.

Les carottes prélevées en SC ont été mises en caisse puis photographiées. Le dossier photographique est joint en annexes.

Z.A. de la Haute Limouillère – 8, rue Pierre et Marie Curie – 37230 FONDETTES

Tél. : 02 47 28 35 90 - Fax : 02 47 28 33 20 - NB

**RAPPORT T12-127 - EGIS FRANCE - POITIERS - MIGNE-AUXANCES (86)**

Aménagement d'une zone d'activités

Faute de référence topographique et compte-tenu de l'immensité du secteur investigué, les fêtes de sondages ont été nivelées par nos soins en prenant divers repères topographiques fixés aux altitudes fictives de + 100. Elles sont reportées sur le tableau ci-dessous ainsi que sur le plan annexé :

Repère Topographique (RT n°)	Objet et/ou situation du RT	Sondage carotté (SC n°) / Essais Infiltration (EI n°)
RT 0	Piquet vert géomètre	SC 1 / EI 10
RT 1	Plaque en fonte du réseau EP	SC 2 / EI 8 / EI 9
RT 2	Plaque en fonte du réseau EU	SC 4
RT 3	Plaque en fonte du réseau EP	SC 3 / EI 7
RT 4	Borne géomètre	EI 6
RT 5	Borne géomètre d'un garage	EI 5
RT 6	Borne géomètre de la Poste	SC 6 / EI 4
RT 7	Poteau EDF n° 8	SC 5 / EI 3
RT 8	Poteau EDF n° 17	EI 2
RT 9	Borne réseau gaz	EI 1

Les altitudes relatives sont inscrites en marge des feuilles de sondages annexées, et sont données avec une précision de +/- 0,1 mètre.

La coupe géologique de chacun des sondages, et les résultats des essais, sont joints sur les feuilles placées en annexe.





Z.A. de la Haute Limougière – 8, rue Pierre et Marie Curie – 37230 FONDETTES

Tél. : 02 47 28 35 90 - Fax : 02 47 28 33 20 - NB

**RAPPORT T12-127 - EGIS FRANCE - POITIERS - MIGNE-AUXANCS (86)**

Aménagement d'une zone d'activités

---

#### **4.2.1 NATURE DU SOL**

Les 16 sondages de reconnaissance ont permis de distinguer les formations ci-après, de haut en bas :

##### **■ Couche 1 :**

- une **formation de recouvrement**, parfois retrouvée sous chaussée bitumineuse souple ou sous remblais graveleux de chemins agricoles, composée par des **limons +/- argileux et sableux**, à cailloutis et graves calcaire, à traces de débris végétaux et de remblais de couleurs dominantes brune, marron, orangée, sur les épaisseurs suivantes :

<b>Sondage N°</b>	<b>Prof. (m)</b>
SC1	0,8
SC2	0,2
SC3	0,7
SC4	0,7
SC5	0,3
SC6	0,3
EI1	0,5
EI2	0,3
EI3	0,6
EI4	0,4
EI5	0,4
EI6	0,3
EI7	0,2
EI8	0,4
EI9	0,4
EI10	0,4

##### **■ Couche 2 :**

- le **substratum altéré** composé de **calcaire crayeux fin +/- sableux et argileux** en tête, très fracturé et altéré, de couleurs dominantes beige, blanchâtre, rosée, jaunâtre, au-delà.

#### **4.2.2 L'EAU DANS LE SOL**

Il n'a pas été observé d'arrivée d'eau dans les sondages au moment du chantier (du 12 au 14 septembre 2012). Signalons cependant que les sols superficiels sont souvent le siège de circulations anarchiques d'eaux d'infiltration qui ont tendance à gagner les points bas naturels ou artificiels, notamment dans les remblais.

#### **4.2.3 COEFFICIENT DE PERMEABILITE**

L'évaluation de la perméabilité des sols a été réalisée par 10 essais Porchet, réalisés au sein des sondages de reconnaissance EI1 à EI10.

Ces sondages ont été réalisés en Ø 150 mm à la tarière hélicoïdale continue.

Ces essais ont donné les perméabilités suivantes en m/s et en mm/h par la méthode Porchet :

Sondage (numéro)	Perméabilité k (m/s)	Perméabilité k (mm/h)
EI1	$2,3.10^{-6}$	8
EI2	$6,7.10^{-6}$	24
EI3	$2,8.10^{-6}$	10
EI4	$3,1.10^{-6}$	11
EI5	$1,0.10^{-5}$	37
EI6	$5,1.10^{-6}$	18
EI7	$3,4.10^{-5}$	120
EI8	$6,0.10^{-6}$	21
EI9	$4,5.10^{-6}$	16
EI10	$8,3.10^{-6}$	30

Les trous ont ensuite été saturés en eau durant plus de 2 h, puis nous avons mesuré la descente du niveau d'eau pendant 1 h.

Z.A. de la Haute Limougère – 8, rue Pierre et Marie Curie – 37230 FONDETTES

Tél. : 02 47 28 35 90 - Fax : 02 47 28 33 20 - NB

**RAPPORT T12-127 - EGIS FRANCE - POITIERS - MIGNE-AUXANCES (86)**

Aménagement d'une zone d'activités

---

Ces valeurs de perméabilités hétérogènes traduisent un degré de perméabilité globalement faible correspondant au type de sol présenté dans le tableau ci-dessous.

Nature du sol	Ordre de grandeur de k en m/s	Degré de perméabilité
Graviers moyens à gros	$10^{-1}$ à $10^{-3}$	Très élevé
Petits graviers, sable	$10^{-3}$ à $10^{-5}$	Assez élevé
<b>Sable très fin, sable limoneux, loess</b>	<b><math>10^{-5}</math> à <math>10^{-7}</math></b>	<b>Faible</b>
Limons compact, argile silteuse	$10^{-7}$ à $10^{-9}$	Très faible
Argile franche	$10^{-9}$ à $10^{-12}$	Pratiquement imperméable

## CONCLUSIONS

Les 16 sondages ont reconnu :

**Couche 1** : une **formation de recouvrement**, parfois retrouvée sous chaussée bitumineuse souple ou sous remblais graveleux de chemins agricoles, composée par des **limons +/- argileux et sableux**, à cailloutis et graves calcaire, à traces de débris végétaux, sur 0,2 à 0,8 m d'épaisseur.

**Couche 2** : le **substratum très altéré** composé de **calcaire crayeux fin +/- sableux et argileux**, très fracturé et altéré, au delà.

◆ ◆ ◆

Il n'a pas été observé d'arrivée d'eau en cours de perforation au droit de nos sondages du 12 au 14 septembre 2010.

◆ ◆ ◆

Les essais d'infiltrations effectués de 1,2 à 1,6 m de profondeur montrent que les valeurs de perméabilité calculées sont relativement hétérogènes, avec des valeurs allant de  $1,0.10^{-5}$  à  $2,3.10^{-6}$  m/s.

◆ ◆ ◆

Les éléments nouveaux mis en évidence au début et en cours des travaux de terrassements, et de l'ouverture des fouilles de fondations, qui n'auraient pu être détectés au moment de la présente étude géotechnique, doivent nous être immédiatement signalés.

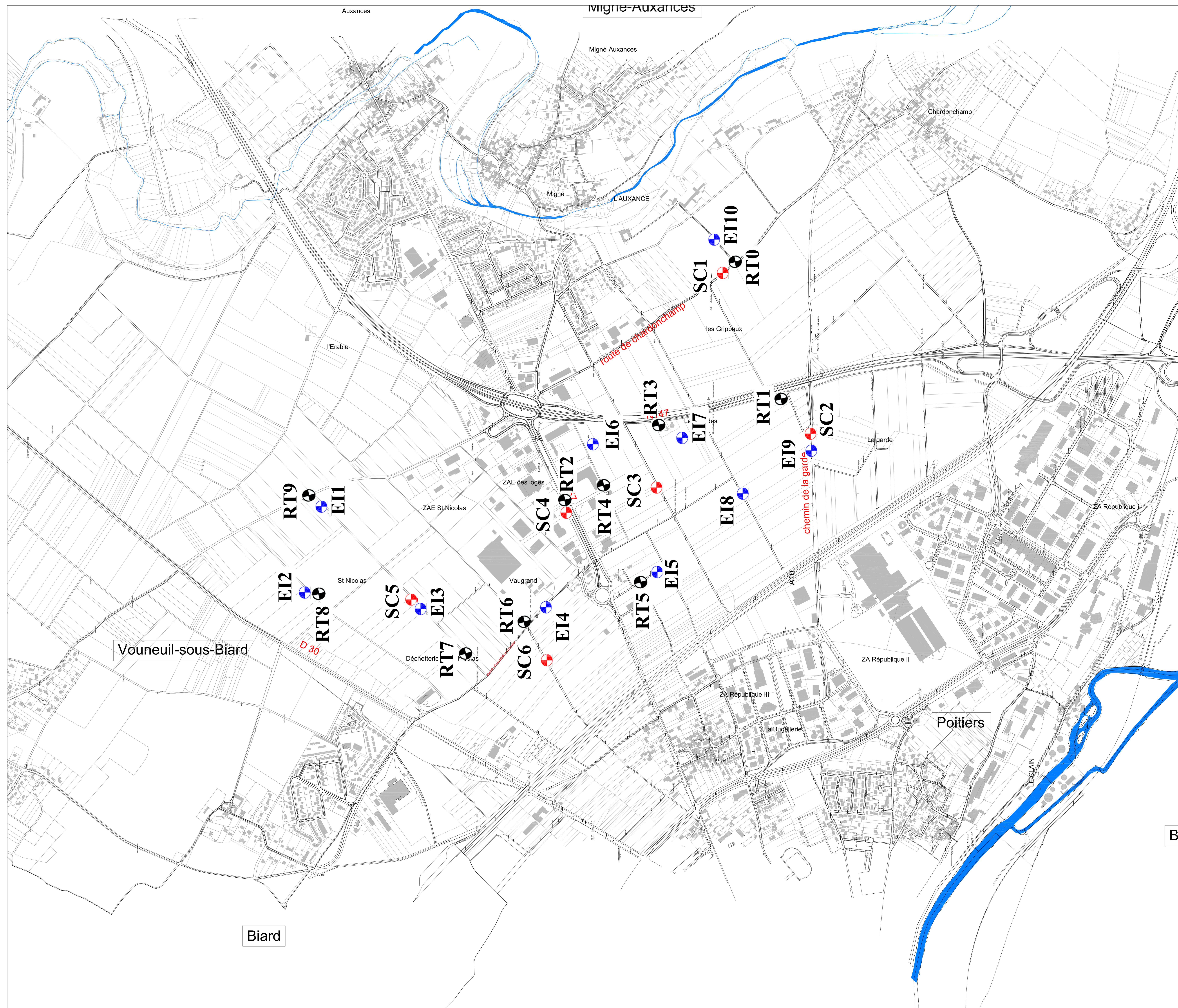
◆ ◆ ◆

L'Ingénieur chargé du dossier  
**A. GAGNER**

Contrôle Qualité  
**Y. BERTHIER**

# *ANNEXES*

- Sondages
- Essais infiltrations



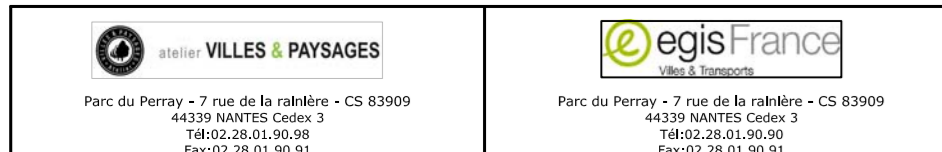
Grand Poitiers  
 Direction du Développement urbain -  
 Service Urbanisme  
 15 place du Marché Leclerc  
 86021 POITIERS cedex

**MARCHE PUBLIC  
 DE PRESTATION INTELLECTUELLE**

Etude d'aménagement opérationnel relative  
 à la création de la ZAC République IV

Plan de limite d'étude géotechnique

Référence egs France : 1.5000e



T12-127 MIGNE AUXANCES - POITIERS (86)

Aménagement d'une zone d'activité

Sondage SC1



Sondage SC2



Sondage SC3



T12-127 MIGNE AUXANCES - POITIERS (86)

Aménagement d'une zone d'activité

Sondage SC4



Sondage SC5



Sondage SC6

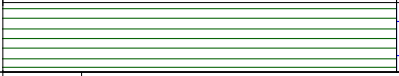

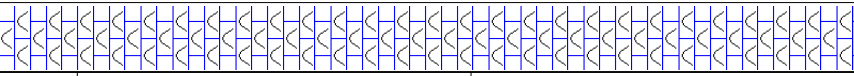






Profondeur (m)	Cote	Lithologie	Facies	Outils
1	104	0.30 m LIMONS argileux marron, brun-roux, à cailloutis calcaire et débris végétaux	RECOUVREMENT	C. Ø 116 mm
		0.50 m CALCAIRE très altéré en blocaille à matrice limono-argileuse brune	SUBSTRATUM TRES ALTERE	
		1.20 m CALCAIRE crayeux altéré et très fracturé, rosé en tête puis beige, blanchâtre		
2	103		Fin de Forage	



Profondeur (m)	Cote	Lithologie	Faciès	Perméabilité k en 10-6 m/s	Outils
1	97	 LIMON légèrement sableux brun à cailloutis et blocailles calcaire + débris végétaux 0.50 m	RECouvreMENT 0.50 m		TARIERE HELICOIDALE CONTINUE Ø 150 mm
2	96	 CALCAIRE crayeux +/- sableux, altéré et fracturé, beige, blanchâtre 1.60 m	SUBSTRATUM 1.60 m		Fin de Forage

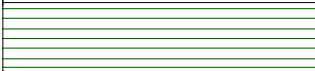
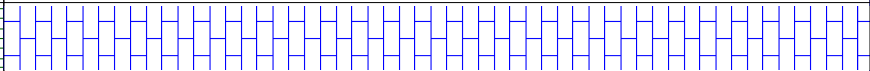
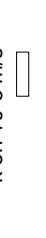
Obs:



Client: EGIS FRANCE

Machine: SD 48 Foreur: DAVERGNE + AUGER

Z: 98.90

Profondeur (m)	Cote	Lithologie	Facès	Perméabilité k en 10-6 m/s	Outils
1	98	  LIMON brun + blocailles et cailloutis calcaires et siliceux  Blocailles calcaire et silex beige-noirâtre à matrice limoneuse brune	RECOUVREMENT 0.40 m  SUBSTRATUM TRES ALTERE 1.50 m	 8.3	TARIERE HELICOIDALE CONTINUE Ø 150 mm
2	97				Fin de Forage




Obs:



Profondeur (m)	Cote	Lithologie	Facies	Outils
			RECOUVREMENT	CA.116 mm
		LIMONS argileux brun, marron, à cailloutis et rare graves calcaire, présence de débris végétaux 0.35 m		
		LIMONS argileux brun compact, à très nombreux cailloutis et graves calcaire altérées, présence débris ardoise et silex. 0.70 m		
		LIMONS argileux brun sombre à cailloutis hétérogène siliceux, calcaires, basaltes, ardoises 0.90 m		
99			REMBLAIS LIMONO-CALCAIRE	CA.116 mm
			Fin de Forage	0.90
1				
2	98			

Obs: Sans eau le 13/09/2012




Profondeur (m)	Cote	Lithologie	Facies	Outils
1	97	 LIMONS argileux brun, présence de débris végétaux 0.10 m	RECOUVREMENT	C. 116 mm
		 REMBLAIS blocailles calcaires 0.30 m		
2	96	 CALCAIRE très altéré et déstructuré à matrice d'altération limono-argileuse brune, beige, rares silex 1.00 m	SUBSTRATUM TRES ALTERE	1.00 m
		Fin de Forage		1.00



Profondeur (m)	Cote	Lithologie	Facies	Outils
1	104	0.20 m LIMONS argileux brun à blocailles calcaire et débris végétaux	RECOUVREMENT	CAROTTIER Ø 116 mm
		0.70 m LIMONS argileux à très nombreux cailloutis calcaire, traces d'ardoises		
		1.20 m CALCAIRE argileux et sableux altéré, jaunâtre, beige, type fallun		
2	103	Fin de Forage		



Profondeur (m)	Cote	Lithologie	Faciès	Perméabilité k en 10-6 m/s	Outils
1	100	  LIMON argileux légèrement sableux brun à cailloutis et blocailles calcaire + débris végétaux 0.30 m	RECOUVREMENT 0.30 m	 0 5 10	TARIERE HELICOIDALE CONTINUE Ø 150 mm
2	99	 CALCAIRE crayeux +/- sableux, altéré et fracturé, beige, jaunâtre, orangé 1.60 m	SUBSTRATUM TRES ALTERE 1.60 m	6.7	Fin de Forage

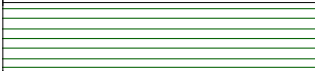
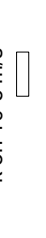
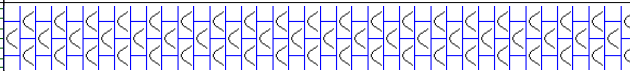
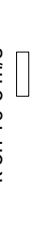
Obs:



Cliant: EGIS FRANCE

Machine: SD 48 Foreur: DAVERGNE + AUGER

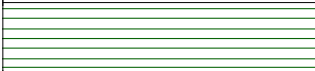

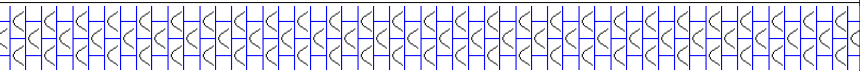

Z: 96.40

Profondeur (m)	Cote	Lithologie	Facès	Perméabilité k en 10-6 m/s	Outils
1	96	 LIMON argileux brun orangé à graves et cailloutis calcaires + débris végétaux 0.40 m	RECOUVREMENT		TARIERE HELICOIDALE Ø 150 mm
			SUBSTRATUM		
2	95	 CALCAIRE crayeux +/- sableux, altéré et fracturé, beige, jaune 1.20 m	1.20 m		Fin de Forage

Obs.: refus tarière à 1.20 m






Profondeur (m)	Cote	Lithologie	Facès	Perméabilité k en 10-5 m/s	Outils
1	98	 LIMON argileux et sableux brun à nombreux cailloutis et blocailles calcaire 0.40 m	RECOUVREMENT 0.40 m		TARIERE HELICOIDALE CONTINUE Ø 150 mm
2	97	 CALCAIRE crayeux +/- sableux et induré, altéré et fracturé, beige, blanc 1.50 m	SUBSTRATUM TRES ALTERE 1.50 m		1.50 Fin de Forage

Obs:



Profondeur (m)	Cote	Lithologie	Facès	Perméabilité k en 10-6 m/s	Outils
1	96	  LIMONS sableux brun à cailloutis et blocailles calcaire + débris végétaux et traces de remblais en tête  CALCAIRE crayeux +/- sableux, altéré et fracturé, beige	RECOUV. 0.30 m 0.30 m 1.50 m		TARIERE HELICOIDALE CONTINUE Ø 150 mm
2	94				Fin de Forage

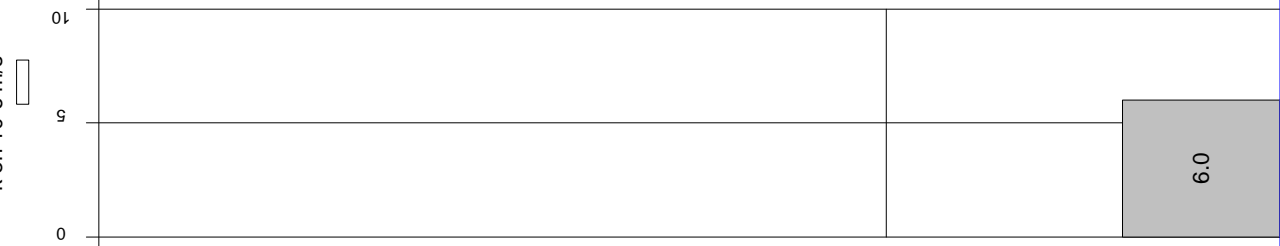
Obs:



Profondeur (m)	Cote	Lithologie	Facès	Perméabilité k en 10-5 m/s	Outils
101		LIMON argileux et légèrement sableux brun-orangé, à cailloutis et blocailles calcaire	REC		
1		CALCAIRE crayeux +/- sableux, altéré et fracturé, blanchâtre	SUBSTRATUM TRES ALTERE	3.4	TARIERE HELICOIDALE CONTINUE Ø 150 mm
2	100				Fin de Forage

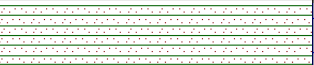

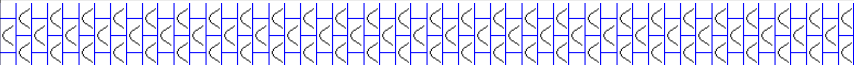

Obs:



Profondeur (m)	Cote	Lithologie	Facès	Perméabilité k en 10-6 m/s	Outils
1	98	 LIMON sableux et calcaireux, brun-orangé, à nombreuses blocailles calcaires 0.40 m	RECOUV. 0.40 m		TARIERE HELICOIDALE CONTINUE Ø 150 mm
2	97	 CALCAIRE crayeux +/- sableux, altéré et fracturé, jaunâtre 1.50 m	SUBSTRATUM 1.50 m	6.0	Fin de Forage

Obs:



Profondeur (m)	Cote	Lithologie	Facès	Perméabilité k en 10 <sup>-6</sup> m/s	Outils
1	103	 LIMON légèrement sableux brun à cailloutis et blocailles calcaire	RECOUV. 0.40 m		TARIERE HELICOIDALE CONTINUE Ø 63 mm
2	102	 CALCAIRE crayeux +/- sableux, altéré et fracturé, beige	SUBSTRATUM 1.50 m		Fin de Forage

Obs:

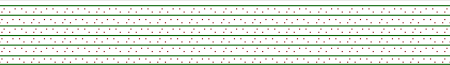




Profondeur (m)	Cote	Lithologie	Facies	Outils
101		<p>Enrobé bitumineux (0/10) + graves (10/50)</p> <p>LIMONS marron/brun calcaireux légèrement argileux à cailloutis calcaire crayeux beige/blanc</p> <p>CALCAIRE altéré et fracturé, +/- crayeux et gréseux à grain fin, beige, à veines argileuses d'altération marron</p>	<p>RECOUVREMENT</p> <p>0.50 m</p> <p>0.80 m</p> <p>SUBSTRATUM TRES ALTERE</p>	CAR. Ø 116 mm
1				
2	100			
				Fin de Forage



Profondeur (m)	Cote	Lithologie	Facies	Outils
1	104	 LIMONS sableux calcaireux bruns à nombreux cailloutis et graviers calcaire, présence de débris végétaux 0.20 m	RFC	CAROTTIER Ø 116 mm
		 CALCAIRE très altéré et fracturé jaunâtre, à nombreux cailloutis et graves calcaire pris dans une matrice limono-sableuse brune 0.80 m		
		CALCAIRE crayeux +/- induré jaunâtre type fallun 1.00 m	1.00 m	
2	103			Fin de Forage



Profondeur (m)	Cote	Lithologie	Faibles	Perméabilité k en 10-6 m/s	Outils
1	97	 <p>LIMON légèrement sableux brun à cailloutis et quelques blocailles calcaire à partir de 0.3 m + débris végétaux</p> <p>0.60 m</p>	RECOUVREMENT		TARIERE HELICOIDALE CONTINUE Ø 150 mm
2	96	 <p>CALCAIRE crayeux +/- sableux, altéré et fracturé, beige, jaunâtre</p> <p>1.60 m</p>	SUBSTRATUM TRES ALTERE	1.60 m	Fin de Forage

Obs:





**énergies**

Le futur maîtrisé



**GRAND POITIERS –  
Communauté d'agglomération  
Services Urbanisme – Direction du  
Développement Urbain**

15 place du maréchal Leclerc

BP 569

86 000 POITIERS Cedex

Services et conseils  
pour maîtriser  
les énergies  
de demain

**Assistance à maîtrise d'ouvrage pour la  
réalisation de l'étude de faisabilité sur  
le potentiel de développement en  
énergies renouvelables pour  
l'opération d'aménagement République  
IV à POITIERS**

**Rapport final**

**Livrable A – 06**

**30 août 2013**

Consommer *moins*

Consommer *mieux*

Consommer *propre*

[www.h3c-energies.fr](http://www.h3c-energies.fr)

Confidentiel. Droits de reproduction réservés.



**Etude de faisabilité du développement  
des énergies renouvelables sur la ZAC  
République IV**



Réf : 12071

**Date : 30/08/2013**

Auteur(s) : CAN, ARI, NRO

Validé par : MGU

**Page 2/94**

INDICE	DATE	REDACTEUR	VERIFICATEUR	COMMENTAIRES
A - 01	19/11/2012	CAN	MGU	Création du document
A - 02	04/12/2012	CAN - ARI	MGU	Modification du document – Intégration des remarques de la Maîtrise d’Ouvrage
A - 03	31/01/2013	CAN – ARI – NRO	MGU	Suite de l’étude – Estimation des besoins
A - 04	18/02/2013	MGU – NRO	MGU	Modification du document – Intégration des remarques de la Maîtrise d’Ouvrage
A - 05	19/08/2013	CAN – ARI – MGU – NRO	MGU	Version provisoire pour annexer à l’étude d’impact
A - 06	30/08/2013	CAN – ARI – MGU – NRO	MGU - ARI	Version finale



**Etude de faisabilité du développement  
des énergies renouvelables sur la ZAC  
République IV**



Réf : 12071

Date : 30/08/2013

Auteur(s) : CAN, ART, NRO

Validé par : MGU

Page 3/94

## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>Préambule</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Un contexte en pleine évolution</b>	<b>6</b>
2.1	L'urgence environnementale actuelle	6
2.2	Le contexte économique	7
2.3	Le contexte réglementaire	8
2.4	Le contexte juridique et financier	11
<b>3</b>	<b>Présentation du site</b>	<b>15</b>
3.1	Périmètre de l'étude	15
3.2	Présentation du projet d'aménagement	16
<b>4</b>	<b>Diagnostic du potentiel EnR</b>	<b>17</b>
4.1	Les énergies électriques	18
4.1.1	Energies traditionnelles	18
4.1.2	Energies renouvelables	20
4.2	Les énergies thermiques	31
4.2.1	Energies traditionnelles	31
4.2.2	Energies renouvelables	36
4.2.3	Réseau de chaleur	50
4.2.4	Synthèse générale	52
<b>5</b>	<b>Estimation des besoins énergétiques</b>	<b>53</b>
5.1	Hypothèses de base	53
5.1.1	Répartition surfacique	53
5.1.2	Hypothèses d'occupation	54
5.1.3	Facteurs de conversion Energie Finale / Primaire	54
5.2	Consommations de référence	55
5.2.1	Consommation de référence des zones de type tertiaire	55
5.2.2	Consommation de référence des zones industrielles et d'artisanat	56
5.2.3	Consommation de référence moyenne	56
5.3	Besoins d'éclairage	56
5.3.1	Besoins d'éclairage des zones de type tertiaire	57
5.3.2	Besoins d'éclairage des zones d'Ateliers/Artisanat	57
5.3.3	Besoins d'éclairage des zones industrielles	57
5.3.4	Synthèse des besoins d'éclairage	58
5.3.5	Besoins d'éclairage extérieur	58
5.4	Besoins de rafraichissement	58
5.5	Besoins de ventilation	59
5.6	Besoins en Eau Chaude Sanitaire	59
5.7	Besoins de chauffage et des auxiliaires	60
5.8	Besoins liés aux « process »	62
5.8.1	Besoins liés aux « process » des Ateliers/Artisanat	62
5.8.2	Besoins liés aux « process » des Industries	62
5.9	Synthèse des Besoins / Consommations	63
5.9.1	Synthèse des besoins	63



## Etude de faisabilité du développement des énergies renouvelables sur la ZAC République IV



Réf : 12071

Date : 30/08/2013

Auteur(s) : CAN, ARI, NRO

Validé par : MGU

Page 4/94

5.9.2	Synthèse des consommations en énergie primaire	64
5.9.3	Matrice de choix des scénarios	64
5.9.4	Conclusions sur le choix des scénarios à étudier	66

## 6 Etude des scénarios 67

6.1	Logique de coût global actualisé sur un cycle de vie	67
6.2	Présentation des scénarios	67
6.2.1	Scénario 0 - Chaudières à gaz classiques en solution décentralisée	68
6.2.2	Scénario 1 - Cogénération centralisée, solaire thermique et photovoltaïque	71
6.2.3	Scénario 2 – Géothermie centralisée, solaire thermique et photovoltaïque	75
6.2.4	Scénario 3 - Chaudières gaz à condensation en solution décentralisée, et solaire thermique	78
6.3	Hypothèses	80
6.4	Fiscalité énergétique	82
6.5	Subventions	85
6.6	Comparaison des scénarios en coût global	87

## 7 Conclusion 94



## Etude de faisabilité du développement des énergies renouvelables sur la ZAC République IV



Réf : 12071

Date : 30/08/2013

Auteur(s) : CAN, ART, NRO

Validé par : MGU

Page 5/94

# 1 Préambule

H3C-énergies a été mandatée par le CA Grand POITIERS pour la réalisation d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la ZAC République IV, située au nord ouest de la ville de Poitiers.

Ce projet consiste en la réalisation de l'étude de faisabilité relative à l'opération d'aménagement, dont les résultats seront annexés au dossier de réalisation de la ZAC République IV. L'aménagement concerne une zone de 160 hectares susceptible d'accueillir des bâtiments de type industriel (grandes entités industrielles, PME/PMI, artisanat...).

La mission est constituée de trois principales étapes :

- **L'estimation des besoins énergétiques** de la ZAC : prise en compte du contexte général de l'opération d'aménagement, état des lieux du projet (bilan des surfaces, etc.) et de l'offre énergétique actuelle (recensement des ressources etc.), définition des besoins énergétiques (zones d'occupation, éclairage public, besoins futurs et en marge du projet...)
- **Le diagnostic du potentiel en énergies renouvelables** sur la ZAC, et surtout l'analyse des possibilités de desserte énergétique : étude des contraintes et potentialités naturelles du site, étude des capacités des sources d'énergie recensées préalablement, analyse des possibilités de desserte (énergies traditionnelles, énergies renouvelables, identification des possibilités de raccordement ou de création de réseaux de chaleur...), présentation des modalités juridiques des modes de gestion pour les solutions collectives,...
- **L'étude comparative multi-énergie** : étude d'estimations de consommation énergétique, production d'EnR (énergies renouvelables), d'émission de GES, et études en coût global des différents scénarios de diversification de l'approvisionnement en énergie ; et la hiérarchisation des scénarios de desserte énergétique suivant des critères de mise en œuvre, de durée de vie, de temps de retour, de performance énergétique et de qualité environnementale, pour intégrer d'autres critères de choix et soumettre trois scénarios optimaux à la Maîtrise d'Ouvrage.

**Les scénarios qui seront étudiés lors de l'étape 3 seront choisis en concertation avec la Maîtrise d'Ouvrage à l'issue de l'étape 2, à partir d'une matrice de choix.**

La mission est donc décomposée en deux phases d'étude :

- **Phase 1 : L'étude d'opportunité**
- **Phase 2 : L'étude de faisabilité**

Cette étude devra permettre de vérifier les faisabilités techniques et économiques de l'usage des énergies renouvelables à l'échelle de la ZAC, de façons individuelles et collectives. Les différentes solutions d'approvisionnement en énergie peuvent impacter les entreprises attendues sur la ZAC : l'étude en coût global et l'argumentaire sur le choix énergétique qui en découle prend donc toute son importance.

Ainsi, au delà de son aspect réglementaire, cette étude est, pour la maîtrise d'ouvrage, l'opportunité de faire un choix énergétique raisonné.

## 2 Un contexte en pleine évolution

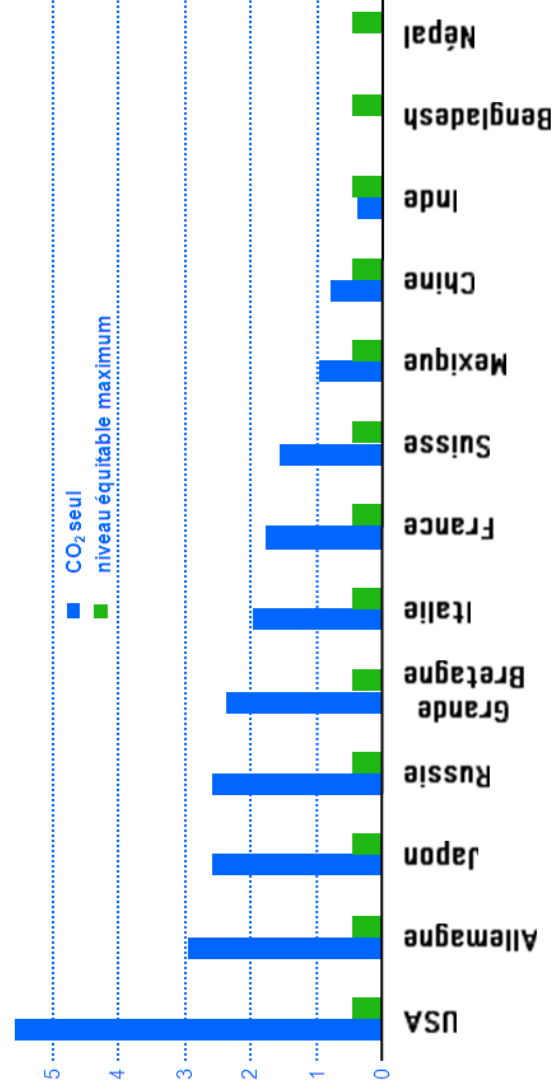
### 2.1 L'urgence environnementale actuelle

La planète s'est réchauffée d'environ 0,6°C au cours du XXème siècle et les estimations prévoient que ce réchauffement pourrait augmenter de 1 à plus de 5°C durant le XXIème siècle. Les eaux et la terre sont polluées, et certaines espèces de mammifères et d'oiseaux sont menacées de disparition.

Les gaz à effet de serre créés par l'activité humaine sont en grande partie responsables de ce phénomène désormais reconnu comme une menace planétaire. Il va être important dans les prochaines années de **changer notre mode de vie**, en priorité dans les pays développés ou en voie de développement, pour diminuer nos consommations d'énergie, et donc nos émissions de gaz à effet de serre (GES).

Le graphique suivant montre les émissions de CO<sub>2</sub> (un des principaux gaz à effet de serre) par habitant et par pays, comparé au niveau d'émission maximal équitable à émettre sur terre sans perturber le climat :

**Émissions de CO<sub>2</sub> (en tonnes de carbone / habitant)  
et droit maximal à émettre sans perturber le climat**



Source : ADEME

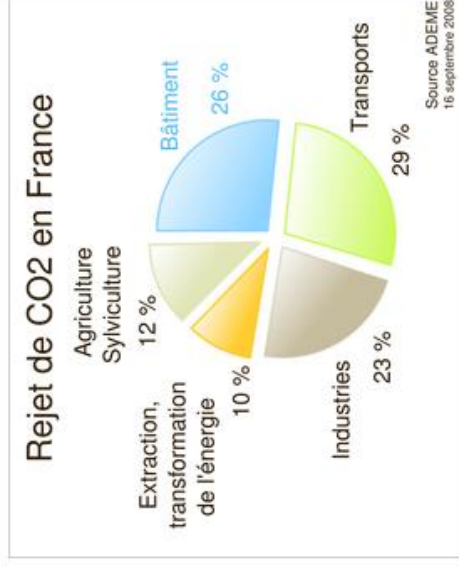
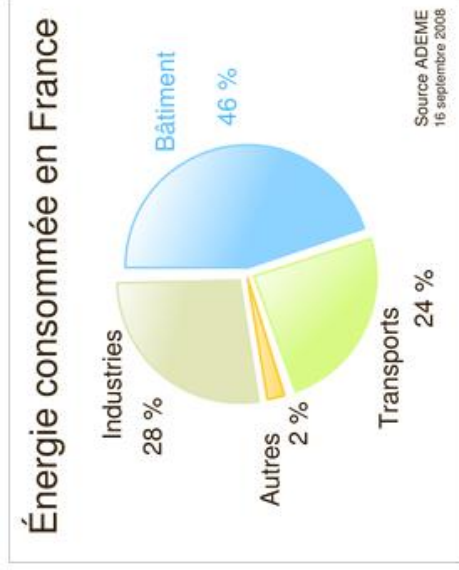
Face à cette urgence environnementale, des politiques sont mises en œuvre.

En France, le Grenelle de l'environnement fixe les objectifs à atteindre en définissant la méthode de développement à adopter pour répondre aux enjeux environnementaux.

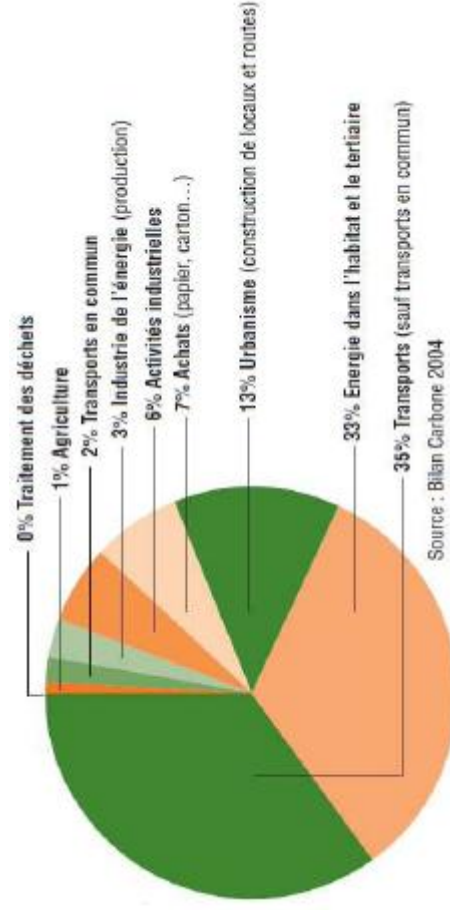
La France s'est engagée à réduire ses émissions de Gaz à Effet de Serre lors de la ratification du protocole de Kyoto. La loi de programmation énergétique (POPE) du 13 juillet 2005 avait fixé un objectif de réduction des émissions de GES de 3% par an en moyenne. Ainsi, en soutenant l'objectif de diviser par deux les émissions mondiales de GES d'ici 2050, la France doit diviser par 4 ses émissions.

Le secteur du bâtiment représente pratiquement 50% des consommations d'énergie finale et contribue à hauteur d'environ 25% des émissions de Gaz à Effet de Serre (dont CO<sub>2</sub>).

Répartition de la consommation d'énergie et les rejets de GES par secteur d'activité :



Le graphique suivant présente la répartition des émissions de gaz à effet de serre dans le Grand Poitiers pour l'année 2004 :



En 2004, l'émission des gaz à effet de serre a atteint 900 000 tonnes équivalent CO2, soit 7 tonnes équivalent CO2 par habitant et par an.

## 2.2 Le contexte économique

En complément à cette urgence environnementale s'ajoutent :

- Des tensions sur le marché pétrolier :  
Situation géopolitique instable, pic de production identifié, hausse continue de la demande ...  
Les ressources de la planète sont limitées.
- Des impacts sur le gaz naturel et l'électricité :  
Des contrats long terme et marchés boursiers indexés sur le pétrole.
- Des dimensionnements des infrastructures :  
Résorption des surcapacités de production d'électricité en Europe, saturation des capacités de stockage de gaz et de raffinage

Ce contexte entraîne un déséquilibre entre l'offre et la demande qui fait monter les prix du pétrole. Or les contrats long terme des producteurs de gaz sont indexés sur le pétrole et l'électricité qui est largement produite à partir de fioul et gaz naturel, en Europe.

En effet, si l'électricité produite en France provient largement du nucléaire, il n'en est pas de même pour l'ensemble des autres pays européens. L'ouverture des marchés français des énergies dans le contexte européen entraîne donc notre marché d'électricité (EPEX) dans un contexte haussier sur les contrats long terme même si actuellement les contrats « spots » sont plutôt à la baisse.

Ainsi, après les hausses sur le charbon, on constate que les prix de l'électricité, du gaz naturel et du fioul évoluent dans les mêmes proportions.

Il est établi que les réserves de pétrole arrivent à un seuil critique. Ceci doit tirer les prix du baril de pétrole, du gaz naturel, de l'électricité vers le haut de manière durable. Il est complexe et risqué de donner des chiffres mais cette évolution des prix pourrait avoir un profil de « tôle ondulée » avec des périodes « hautes » comme durant les été 2006 et 2008 et des périodes « basses » comme fin 2001 et fin 2004.

Les hypothèses que nous utiliserons pour la seconde partie de l'étude seront précisées dans ce rapport.

### 2.3 Le contexte réglementaire

Le domaine du bâtiment représente un gisement d'économies d'énergies important.

L'objectif du Grenelle de l'environnement est de réduire de 38% les consommations d'énergie du parc des bâtiments existants d'ici à 2020. Pour parvenir à cela, des sous objectifs sont apparus :

- Réduire les consommations d'énergies primaires de 20% ;
- Réduire les émissions de gaz à a effet de serre de 20% ;
- Atteindre une part d'énergies renouvelables à 20% d'ici 2020.

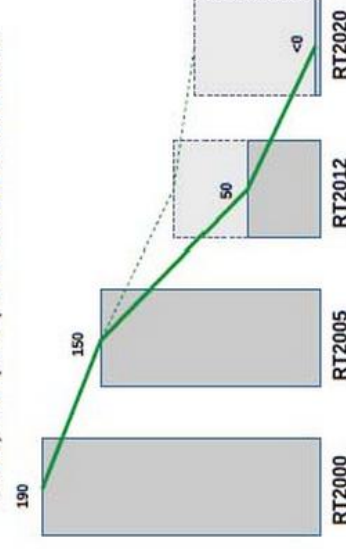
De plus, la loi du **Grenelle 2** a pour objectif la construction de bâtiments basse consommation. Les premières actions concrètes sont la mise en œuvre de Certificats d'Economie d'Energie (CEE) permettant d'obtenir un financement partiel du projet et de Diagnostics de Performance Energétique (DPE).

La réglementation thermique 2012 (RT2012) est créée pour répondre aux objectifs du grenelle en termes de consommation d'énergie et d'impact sur l'environnement dans le domaine de la construction. L'avancée entre RT2005 et RT2012 est considérable puisque c'est le label le plus performant énergétiquement de la RT2005, le label BBC (Bâtiment Basse Consommation), qui sert de référence dans cette nouvelle réglementation.

L'adoption du grenelle de l'environnement va entraîner une amélioration importante des consommations qui va permettre dès 2020 de prendre le chemin des bâtiments à énergie positive.



Évolution des exigences réglementaires de consommation énergétique des bâtiments neufs : une rupture opérée par le Grenelle Environnement



Évolution prévisible sans l'adoption du Grenelle Environnement  
Dynamique de réduction impulsée par le Grenelle Environnement  
Consommations en kWh<sub>e</sub>/(m<sup>2</sup>.an)



La réglementation thermique RT 2012 se veut être une solution à l'importante consommation des bâtiments en France (qui représente la 1<sup>ère</sup> source de consommation énergétique dans notre pays), celle-ci s'applique à certaines constructions neuves et vise une division par 2 des consommations moyennes des bâtiments neufs, soit autant que ce qui a été réalisé en 30 ans grâce aux réglementations successives.

La RT2012 est basée sur 3 critères généraux:

- **Efficacité énergétique de l'enveloppe**

Le coefficient  $B_{bio\_max}$  est créé pour limiter les besoins énergétiques d'un bâtiment, en prenant en compte les caractéristiques de son enveloppe, indépendamment des systèmes de chauffage ou autres à installer.

- **Consommation énergétique du bâtiment**

Le  $C_{ep\_max}$  est le coefficient qui traduit les exigences sur la consommation conventionnelle maximale en énergie primaire. Il porte sur les consommations de chauffage, de refroidissement, d'éclairage, de production d'eau chaude sanitaire et d'auxiliaires, sa valeur maximale annoncée par le grenelle de l'environnement est de 50 kWh/m<sup>2</sup>/an, valeur modulée en fonction de la localisation géographique ou le type d'usage de bâtiment.

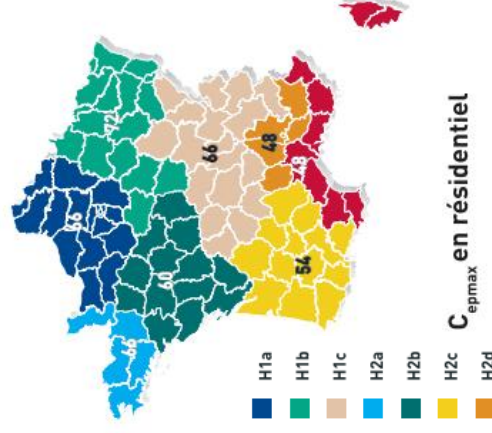
- **Confort d'été dans les bâtiments non-climatisés**

A l'instar de la RT 2005, la RT 2012 définit des catégories de bâtiments dans lesquels il est possible d'assurer un bon niveau de confort en été sans avoir à recourir à un système actif de refroidissement. Pour ces bâtiments, la réglementation impose que la température la plus chaude atteinte dans les locaux, au cours d'une séquence de 5 jours très chauds d'été n'exède pas un seuil.

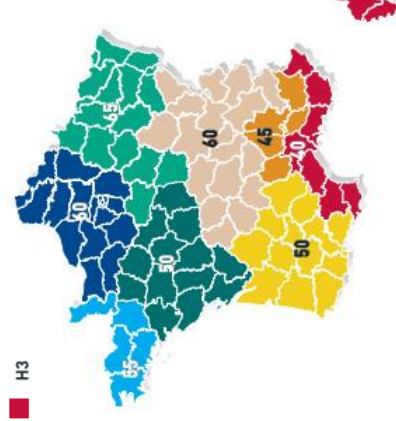
L'évolution de la réglementation thermique conduit à aller vers des solutions de chauffage renouvelables (géothermie, bois...) et alternatives (cogénération..).

La RT 2012 met en œuvre des ratios et coefficients afin d'évaluer la validité des bâtiments vis-à-vis de celle-ci :

**$C_{ep\_max}$  en bureaux**



**$C_{ep\_max}$  en résidentiel**



Hors modulation du  $M_{surf}$  et Altitude < 400 m

Grandeur	Commentaire	Valeur seuil
CEP	Consommation énergétique primaire des 5 postes : Chauffage, Eclairage, Eau Chaude Sanitaire, Rafraichissement, Auxiliaires	Valeur maximale dépendant de la zone climatique, du Bbio du projet, du type de bâtiment, de ses usages etc.
Bbio	Coefficient d'évaluation du potentiel bioclimatique d'un bâtiment	En fonction du projet
Tic	Température Intérieure Conventiennelle	En fonction du projet, de la zone climatique, des usages du bâtiment etc.
Etanchéité à l'air	Vérification de l'étanchéité de l'enveloppe aux infiltrations d'air	Valeur maximale au test N50 = 0.6 m3/h/m <sup>2</sup>

La mise en place de ces obligations est basée sur le phasage suivant :

Date d'application	Bâtiments concernés (au dépôt du Permis de Construire)
28 octobre 2011	Tous les bâtiments à usage de logements en zone ANRU Bureaux, bâtiments d'enseignement primaire et secondaire, établissements d'accueil de la petite enfance
1 <sup>er</sup> janvier 2013	Bâtiments universitaires d'enseignement et de recherche, hôtels, restaurants, commerces, gymnases et salles de sport y compris les vestiaires, établissements de santé, établissements d'hébergement pour personnes âgées et établissements d'hébergement pour personnes âgées dépendantes, aéroports, tribunaux et palais de justice et <b>bâtiments à usage industriel et artisanal</b>
1 <sup>er</sup> janvier 2013	Tous les bâtiments à usage d'habitation (maisons individuelles ou accolées, logements collectifs, cités universitaires, foyers de jeunes travailleurs)

Dans le cas de la ZAC République IV, la nature des bâtiments accueillis (entités industrielles et bâtiments accueillant principalement une activité de type tertiaire) entre donc dans le cadre de la réglementation thermique.

En outre, l'échelle temporelle de création de la ZAC étant assez longue (environ 20 ans), et les réglementations étant amenées à évoluer, il est judicieux d'anticiper une augmentation de la performance et une baisse des consommations, par rapport aux ratios de consommation actuels, pour tous les bâtiments neufs.

La démarche de **développement durable** consiste à se développer selon 3 critères majeurs :

- Economique
- Social
- Environnemental.

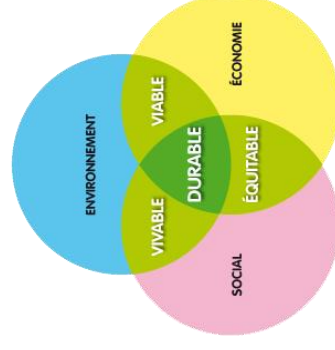
C'est cette démarche qu'il faut adopter pour répondre aux objectifs du Grenelle. La définition du développement durable donnée en 1987 par le rapport Brundtland est la suivante : « Développement qui répond aux besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. » Le développement durable dans le domaine du bâtiment doit, avec des politiques d'urbanisme allant vers la création de « villes durables » et « d'éco-quartiers », contribuer à l'amélioration de notre qualité de vie tout en l'adaptant aux enjeux environnementaux.

Concernant les zones d'aménagement concerté (ZAC), et dans le cadre d'une démarche de développement durable, la loi **Grenelle 1 du 3 août 2009** impose, dès les études préalables, une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables.

Cette obligation est retranscrite au sein de l'article L128-4 du Code de l'urbanisme :

« **Toute action ou opération d'aménagement telle que définie à l'article L. 300-1 et faisant l'objet d'une étude d'impact doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, en particulier sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération.** »

(Loi n°2009-967 du 3 août 2009).





## Etude de faisabilité du développement des énergies renouvelables sur la ZAC République IV



Réf : 12071

Date : 30/08/2013

Auteur(s) : CAN, ART, NRO

Validé par : MGU

Page 11/94

Le développement des réseaux de chaleur et de froid est en effet un des meilleurs moyens de développer à grande échelle l'utilisation d'énergies renouvelables, et prend tout son intérêt dans le cadre de grands projets d'aménagement. La présente étude proposera donc une réflexion sur la pertinence de la création d'un réseau de chaleur d'un point de vue énergétique et économique.

### 2.4 Le contexte juridique et financier

Dans le cadre des engagements du protocole de Kyoto, l'Union européenne a mis en place, depuis janvier 2005, un **système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre**. Des sites identifiés comme gros émetteurs de gaz à effet de serre se voient attribuer chaque année une autorisation de rejeter un nombre défini de quotas de CO2 sous peine de pénalité en cas de dépassement.

La mise en place se fait en deux périodes : une période dite « d'apprentissage », surtout destinée à rôder la méthode et les outils, de 2005 à 2007, l'autre correspondant à la mise en œuvre effective du protocole de Kyoto, de 2008 à 2012.

Le dispositif s'articule autour d'un échange marchand de ces quotas entre les sites qui font mieux que leur obligation (et qui disposent donc de quotas non utilisés) et ceux qui dépassent leur autorisation.

La capacité de régulation par l'administration est liée d'une part aux volumes de quotas affectés, d'autre part au montant de la pénalité à laquelle sont soumis les sites qui ne restituent pas les quotas qui leur étaient affectés ou qu'ils ont pu acquérir sur le marché d'échange. Cette pénalité est fixée à 40 €/tonne pour la première période puis est passée à 100 €/tonne pour la seconde, la pénalité n'étant pas libératoire.

Plus récemment, un premier projet de **taxe carbone** a été formulé lors du grenelle de l'environnement. Cette taxe concerne les particuliers et les entreprises. L'instauration de cette taxe handicaperait lourdement les installations de cogénération de moins de 20 MW.

De plus, une distorsion existe entre les petits consommateurs d'énergie soumis à la taxe et les gros consommateurs soumis aux quotas jusqu'ici gratuits à hauteur de 80%. CDC Climat, filiale de la Caisse des Dépôts créée en février 2010, veille sur la mise en œuvre de marchés d'échanges de quotas d'émissions dans le monde, sur les négociations internationales en matière de lutte contre le changement climatique.

Enfin, l'ouverture des marchés du gaz naturel et de l'électricité, imposée par l'Europe, permet de choisir des fournisseurs alternatifs aux acteurs historiques et institutionnels. Toutefois, cette ouverture à la concurrence n'entraîne pas obligatoirement de baisse des prix.

Le gaz naturel et l'électricité sont en fait « tirés » vers le haut par le pétrole alors que la disparition des tarifs régulés (encadrés et imposés par l'état) est annoncée à terme.

Dans l'objectif de tendre vers un marché de l'électricité pleinement concurrentiel la réforme du marché français via la loi NOME (Nouvelle Organisation du Marché de l'Electricité) prévoit :

- La vente par EDF de 30% de son électricité d'origine nucléaire à prix coûtant aux fournisseurs alternatifs ;
- La suppression des tarifs vert et jaune en 2016 ;
- Une modulation des tarifs bleus en période de pointe pour inciter les foyers à réduire leur demande durant ces périodes.

- o Vente d'énergie

Conformément à l'article 10 de la Loi n°2000-108 du 10 février 2000 relatif à la modernisation et au développement du service public de l'électricité, Electricité de France et les distributeurs non



## Etude de faisabilité du développement des énergies renouvelables sur la ZAC République IV



Réf : 12071

Date : 30/08/2013

Auteur(s) : CAN, ART, NRO

Validé par : MGU

Page 12/94

nationalisés sont tenus de conclure un contrat d'obligation d'achat de l'électricité produite sur le territoire national par :

- Les installations qui valorisent les déchets ménagers ;
- Les installations de production d'électricité qui utilisent les énergies renouvelables (hors installations à terre utilisant l'énergie mécanique du vent dans une zone non interconnectée au réseau métropolitain continental) ;
- Les installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent qui sont implantées dans le périmètre d'une zone de développement de l'éolien terrestre ;
- Les installations qui valorisent des énergies de récupération ;

La partie suivante présente les différents tarifs d'achat de l'électricité en vigueur au 21 novembre 2012 :

### Solaire photovoltaïque :

L'électricité photovoltaïque est vendue par un producteur à un tarif fixé par l'arrêté du 4 mars 2011 dans le cadre de l'obligation d'achat. Les tarifs sont réévalués trimestriellement en fonction du nombre de demande de raccordement et des objectifs fixés par la CRE (Commission de Régulation de l'Energie). Le tarif d'achat est défini lors de la demande de raccordement, pour une durée de 20 ans (durée du contrat, tarif révisé annuellement).

Les tarifs en vigueur pour la période du 1 octobre 2012 au 31 décembre 2012 sont les suivants :

Type	Intégration	Puissance	Tarif d'achat
Résidentiel	Intégration au bâti	[0 – 9 kWc]	34,15 c€/kWh
		[9 – 36 kWc]	29,88 c€/kWh
		[0 – 36 kWc]	17,04 c€/kWh
Enseignement ou santé	Intégration au bâti	[36 – 100 kWc]	16,19 c€/kWh
		[0 – 36 kWc]	22,79 c€/kWh
		[0 – 36 kWc]	17,04 c€/kWh
Autres bâtiment	Intégration au bâti	[36 – 100 kWc]	16,19 c€/kWh
		[0 – 9 kWc]	19,76 c€/kWh
		[0 – 36 kWc]	17,04 c€/kWh
Tout type d'installation	-	[36 – 100 kWc]	16,19 c€/kWh
		[0 – 100 kWc]	10,24 c€/kWh

### Eolien :

L'électricité issue de l'éolien est vendue par un producteur à un tarif fixé par l'arrêté du 17 novembre 2008 dans le cadre de l'obligation d'achat. Le tarif d'achat est défini lors de la demande de raccordement, pour une durée de 15 ans (durée du contrat, tarif révisé annuellement). Les tarifs d'achat en vigueur pour les installations implantées en métropole au 22 novembre 2012 sont les suivants :

Durée annuelle	Tarif	Tarif
<i>De fonctionnement de référence</i>	<i>Pour les dix premières années</i>	<i>Pour les dix premières suivantes</i>
D ≤ 2 400 heures	8,2 c€/kWh	8,2 c€/kWh



## Etude de faisabilité du développement des énergies renouvelables sur la ZAC République IV



Réf : 12071

Date : 30/08/2013

Auteur(s) : CAN, ART, NRO

Validé par : MGU

Page 13/94

2 400 heures < D < 2 800 heures	8,2 c€/kWh	Interpolation linéaire
2 800 heures	8,2 c€/kWh	6,8 c€/kWh
2 800 heures < D < 3 600 heures	8,2 c€/kWh	Interpolation linéaire
D ≥ 3 600 heures	8,2 c€/kWh	2,8 c€/kWh

### Cogénération et valorisation de biogaz :

L'électricité produite à partir d'une cogénération est vendue suivant les conditions mentionnées dans l'arrêté du 31 juillet 2001. Cependant, si l'installation valorise du biogaz, l'arrêté du 19 mai 2011 permet d'estimer le coût de l'énergie produite. La durée des contrats d'achat est de 12 ans pour une installation classique et de 15 ans pour une installation valorisant du biogaz.

Les tarifs d'achat sont extrêmement variables en fonction des caractéristiques des installations considérées. C'est pourquoi ils ne peuvent être présentés dans cette partie.

#### o Achats d'énergie

Depuis l'ouverture des marchés de l'énergie en France, toutes les entreprises et les professionnels peuvent choisir leur fournisseur d'électricité et de gaz sur la base d'un tarif régulé par l'état ou sur la base des prix du marché (tarif dérégulé). Les tarifs dérégulés étant extrêmement variables dans le temps et d'un opérateur à l'autre, cette partie ne traitera que des tarifs régulés.

### Electricité :

Les tarifs réglementés sont définis annuellement par la CRE (Commission de Régulation de l'Energie). Trois niveaux de tarif sont proposés aux usagers, le tarif bleu (P ≤ 36 kVA, le particulier), le tarif jaune (42 kVA ≤ P ≤ 240 kVA, installations raccordées en basse tension) et le tarif vert (sites raccordés en haute tension). Les bâtiments de la ZAC se situant principalement dans la tranche du tarif Jaune, seul celui-ci sera présenté. Le tarif jaune en vigueur au 23 juillet 2012, option base, est le suivant :

Prime fixe annuelle €/kVA	Version	Prix de l'énergie c€/kWh				CSPE c€/kWh
		Pointe	HPH	HCH	HPE	
43,44	UL	9,164	9,164	6,542	4,259	3,017
30,72	UM	10,628		6,434	4,296	3,061
Coefficients de puissance réduite	UL	1,00	0,77	0,77	0,77	0,77
	ou UL	1,00	1,00	0,39	0,39	0,39
	ou UL	1,00	1,00	1,00	0,28	0,28
	UM	1,00		1,00	1,00	1,00
<b>Calcul des dépassements</b>						13,47 €/heure

La loi du 7 décembre 2010 relative à une nouvelle organisation du marché de l'électricité (NOME) constitue la prochaine étape de l'ouverture des marchés de l'électricité. Ainsi, l'une des principales mesures adoptées est la disparition des tarifs réglementés Jaune et Vert au 1<sup>er</sup> janvier 2016.



## Etude de faisabilité du développement des énergies renouvelables sur la ZAC République IV



Réf : 12071

Date : 30/08/2013

Auteur(s) : CAN, ART, NRO

Validé par : MGU

Page 14/94

### Gaz naturel :

De la même façon que pour l'électricité, les tarifs réglementés du gaz naturel sont définis par la CRE. Plusieurs niveaux de tarif sont définis en fonction de la consommation du site étudié (seuls les principaux tarifs sont présentés), les tarifs pour les particuliers (B0, B1), le tarif pour les petites chaufferies (B2I), le tarif pour les chaufferies moyennes (B2S) et le tarif pour les grandes chaufferies (TEL).

Le tableau suivant présente les principaux tarifs en vigueur à Poitiers au 29 septembre 2012, hors TVA et hors CTA :

Tarif	B2S	B2M	TEL	TEL Nuit
Consommation annuelle	100 MWh à 5 GWh	Jusqu'à 5 GWh	5 GWh à 8 GWh	Au-delà de 2 GWh
Prix de l'abonnement	965,16 €/an		6 774,72 €/an	
Prix du gaz naturel : Eté	3,717 c€/kWh		3,658 c€/kWh	
Prix du gaz naturel : Hiver	5,180 c€/kWh		5,208 c€/kWh	4,784 c€/kWh
Réduction de 2 <sup>ème</sup> tranche		-		A partir de 2,4 GWh : 0,2 c€/kWh
Prix de référence de modulation	0 c€/kWh	0,566 c€/kWh	0 c€/kWh	0 c€/kWh
TICGN	0,119 c€/kWh			



Etude de faisabilité du développement  
des énergies renouvelables sur la ZAC  
République IV



Réf : 12071

Date : 30/08/2013

Auteur(s) : CAN, ARI, NRO

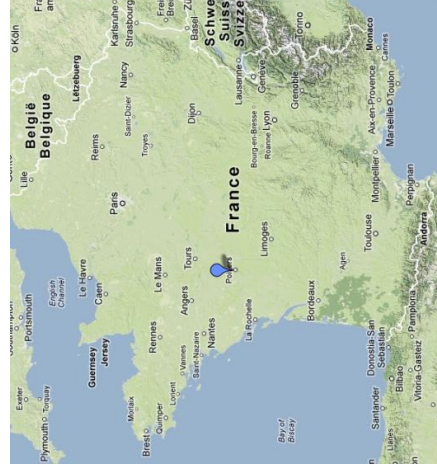
Validé par : MGU

Page 15/94

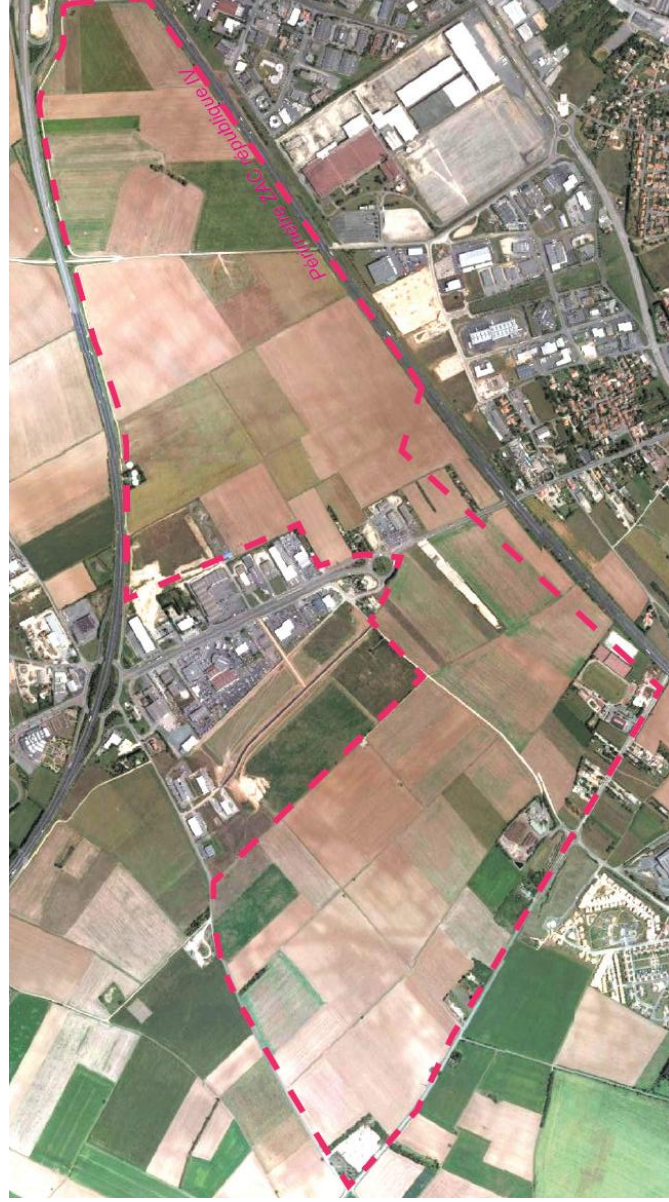
## 3 Présentation du site

### 3.1 Périmètre de l'étude

La ZAC République IV se situe au nord ouest de la ville de Poitiers (86) dans la région Poitou Charente.



Source : Google Maps



Source : CA Grand Poitiers

La surface totale de la zone de l'étude est d'environ 160 hectares.

Elle est actuellement composée en grande partie de parcelles agricoles cultivées mais aussi de quelques bâtiments existants et d'un complexe sportif.

### 3.2 Présentation du projet d'aménagement

L'aménagement précis de la ZAC n'est pas encore connu. En revanche, certaines zones ont été délimitées en fonction de leur utilisation potentielle. Les bâtiments existants, notamment les activités qui génèrent des nuisances pourront être déplacées, tout l'espace de la ZAC et ses alentours pourront entièrement être réorganisés pour obtenir une harmonisation globale de la zone, une facilité de transports et un cadre de vie amélioré pour les habitants.

Des prescriptions ont été données, pour fixer des objectifs sur la qualité urbaine, architecturale, paysagère et environnementale du site, pour que le projet s'inscrive dans une démarche de développement durable.



#### LEGENDE

	Emprise ZAC République IV		Grandes entités industrielles (surface supérieure à 25 000 m <sup>2</sup> )
	Voie structurante (Emprise totale 20 m/ emprise chaussée 6,5 m)		Grandes entités PME/PMI (surface moyenne de 10 000 m <sup>2</sup> )
	Voie secondaire (emprise totale 15 m/ emprise chaussée 6,5m)		Petites entités PME/PMI (surface moyenne de 5 000 m <sup>2</sup> )
	Voie secondaire complémentaire ou modifiée (emprise totale 15 m/ emprise chaussée 6,5m)		Petites entités artisanat (surface moyenne de 2 500 m <sup>2</sup> )
	Voie secondaire - liaison ZAE existante (emprise totale 15 m/ emprise chaussée 6,5m)		Programmes annexes
			Vallées sèches à aménager
			Ancienne vallée sèche passant par la ZAE Loges
			Zone à enjeux écologiques
			Plantes remarquables à conserver



## 4 Diagnostic du potentiel EnR

Le choix des sources d'énergie est d'une importance cruciale pour l'obtention d'un coût global raisonnable et d'un impact sur l'environnement réduit. Son importance est encore augmentée par le fait que les choix de production énergétique engagent les bâtiments et plus généralement les territoires sur le très long terme et que toute modification entraîne des surcoûts souvent rédhibitoires.

En cohérence avec l'arrêté du 18 décembre 2007 relatif aux études de faisabilité des approvisionnements en énergie pour les bâtiments neufs en France métropolitaine, l'étude visera à étudier les systèmes suivants, éventuellement combinés :

- ✓ Systèmes solaires thermiques (voir paragraphe 4.2.2.1),
- ✓ Systèmes solaires photovoltaïques (voir paragraphe 4.1.2.2),
- ✓ Systèmes de chauffage au bois ou à biomasse (voir paragraphe 4.2.2.2),
- ✓ Systèmes éoliens (voir paragraphe 4.1.2.1),
- ✓ Raccordement à un réseau de chauffage ou de froid collectif (voir paragraphe 4.3),
- ✓ Création de réseaux de chaleur spécifiques (voir paragraphe 4.3),
- ✓ Pompes à chaleur géothermiques (voir paragraphe 4.2.2.3),
- ✓ Autres types de pompes à chaleurs (voir paragraphe 4.2.2.3),
- ✓ Chaudières à condensation (voir paragraphe 4.2.2.4),
- ✓ Systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité (voir paragraphe 4.1.2.3).

Certaines solutions pourront être écartées en raison du contexte de l'opération.  
L'étude de faisabilité de création d'un réseau de chaleur sera étudiée en particulier.

Une synthèse de chaque solution sera représentée sous la forme d'un tableau récapitulatif par critères, indiquant des commentaires, et un avis\* suivant le type de solution retenue (collective ou individuelle).

Les critères considérés sont :

- ✓ Le potentiel du site,
- ✓ La performance de la solution,
- ✓ L'importance de l'investissement\*\*,
- ✓ Le coût de l'énergie,
- ✓ L'impact environnemental\*\*\*,
- ✓ Les contraintes d'exploitation-maintenance,
- ✓ Les contraintes spatiales.

Les avis sont représentés par les symboles suivants :



\* L'avis de H3C-énergies présente la pertinence de chaque solution en comparaison des autres procédés et technologies présentés dans ce rapport.

\*\* La partie investissement ne représente que les dépenses « secondaires » (investissement propre aux usagers des bâtiments). Les investissements « primaires » ne sont pas inclus (travaux permettant l'acheminement de l'énergie vers la ZAC, exemple : réseau électrique).

\*\*\* L'impact environnemental de chaque solution a été analysé comparativement sur la base des ratios d'émission de gaz à effet de serre des énergies définis par l'arrêté du 15 septembre 2006 relatif au diagnostic de performance énergétique. Ces données sont étudiées en ACV (Analyse de Cycle de Vie). Les émissions liées à la filière d'approvisionnement (filiale amont) sont donc prises en compte (production, transport, distribution, ...).

## 4.1 Les énergies électriques

L'accès à l'électricité est depuis longtemps devenu indispensable quelque soit le type de bâtiment ou son utilisation. Il existe plusieurs modes de production qui permettent de l'obtenir.

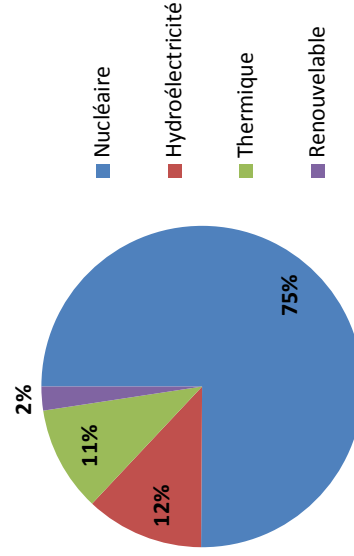
### 4.1.1 Energies traditionnelles

#### 4.1.1.1 Réseau d'électricité

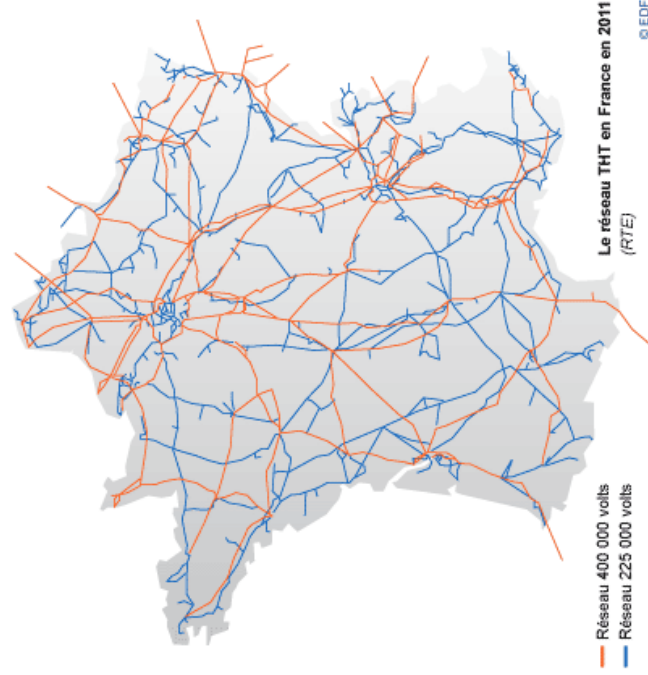
##### Principe

L'électricité est aujourd'hui l'énergie la plus disponible en France. Un réseau couvre en effet quasiment la totalité du territoire. Cette électricité est produite en grande partie grâce au nucléaire. Le peu d'investissement nécessaire à la production et à la création du réseau fait de l'électricité l'énergie la moins onéreuse. Cependant, l'énergie nucléaire présente des inconvénients majeurs, notamment son impact négatif sur l'environnement, avec ses déchets intraitables.

#### La production d'électricité en France



##### Potentiel du site



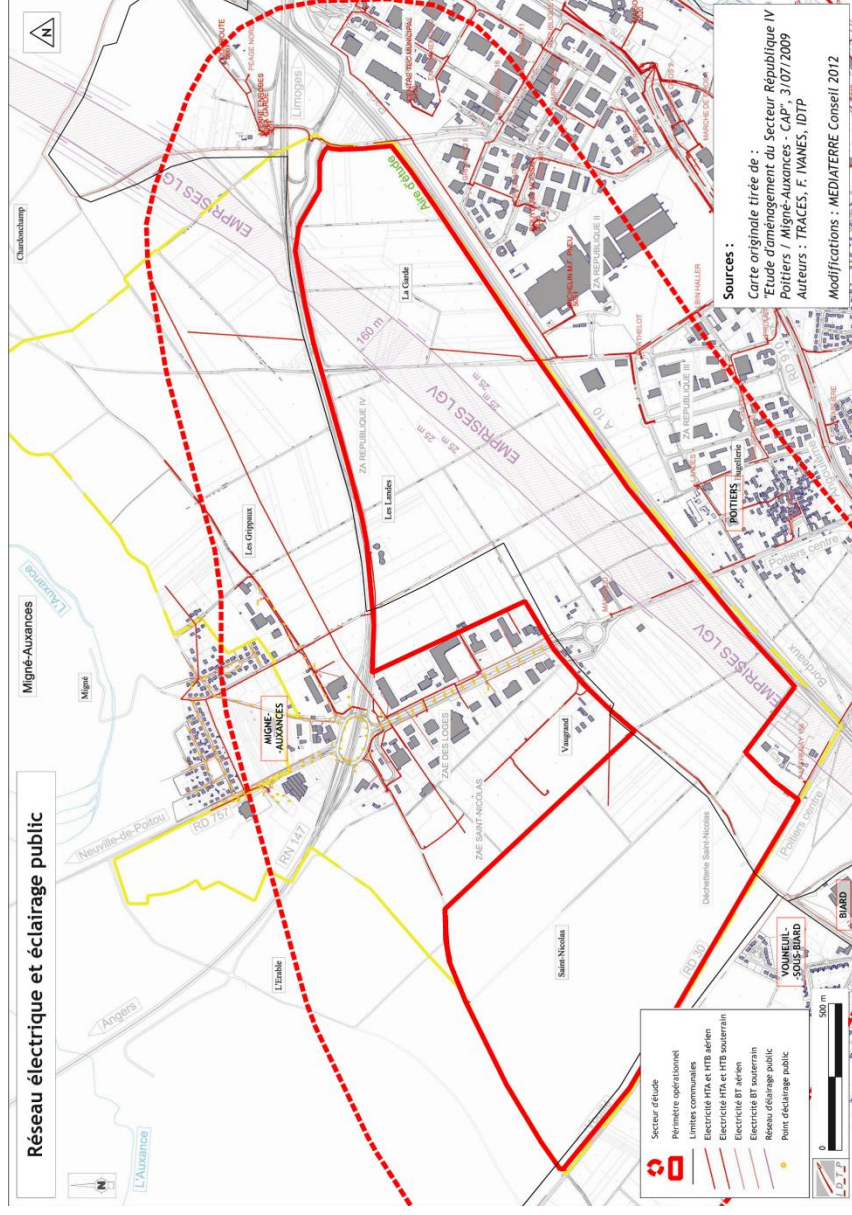
La région Poitou Charente est desservie en électricité par un réseau haute tension, comme quasiment la totalité du territoire français comme on peut le voir sur la carte ci-contre.

Depuis l'ouverture des marchés de l'électricité, l'entreprise nationale EDF est entrée en concurrence avec d'autres opérateurs.

Deux opérateurs sont présents à proximité de la ZAC :

- EDF, qui dessert en électricité la ville de Poitiers
- SOREGIES, une entreprise du groupe Energies Vienne, qui dessert en électricité la commune de Migné-Auxances

La cartographie suivante présente le réseau de distribution d'électricité autour de la ZAC :



### Faisabilité

Le raccordement au réseau d'électricité est une solution simple à mettre en œuvre, peu onéreuse et qui demande normalement très peu de frais d'exploitation et de maintenance pour alimenter la ZAC République IV en électricité.

Sauf en cas de détérioration des réseaux (intempéries par exemple), la solution est fiable et à durée de vie illimitée. Le PLU du Grand Poitiers préconise l'enterrement des réseaux, ce qui permet de limiter les causes de détérioration du réseau.

La solution centralisée se distingue de la solution décentralisée uniquement par la tarification de l'électricité, plus avantageuse dans le cadre de regroupements de bâtiments, et donc de besoins plus importants.

**Synthèse**

Critère	Commentaire	Avis H3C*	
		Centralisé	Décentralisé
Potentiel sur site	Raccordement au réseau possible	😊	😊
Performance	1 kWh d'énergie finale = 2,58 kWh d'énergie primaire	😊	😊
Investissement**	Faible investissement	😊	😊
Coût de l'énergie	Faible coût d'électricité	😊	😞
Impact environnemental***	0,084 TCO <sub>2</sub> /MWh	😊	😊
Exploitation/maintenance	Faibles coûts voire inexistants	😊	😊
Contrainte d'espace	Espace nécessaire peu important	😊	😊



Exclu



Défavorable



Moyen



Favorable

**4.1.2 Energies renouvelables**

Le but de développer des systèmes de production d'électricité à énergies renouvelables est de réduire la dépendance au nucléaire dont est victime la France, en favorisant des énergies locales, saines, qui ne génèrent ni rejets de CO<sub>2</sub>, ni déchets intraitables.

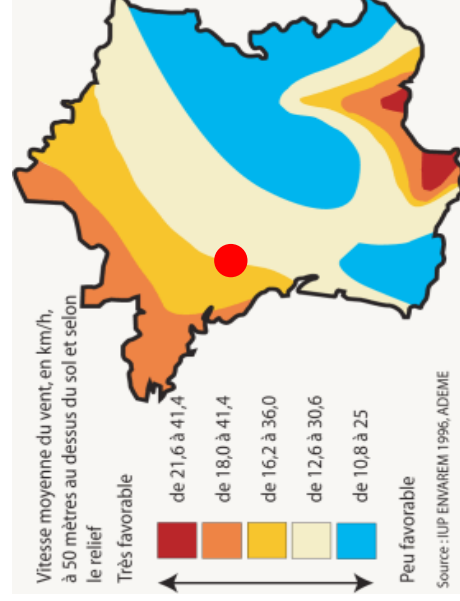
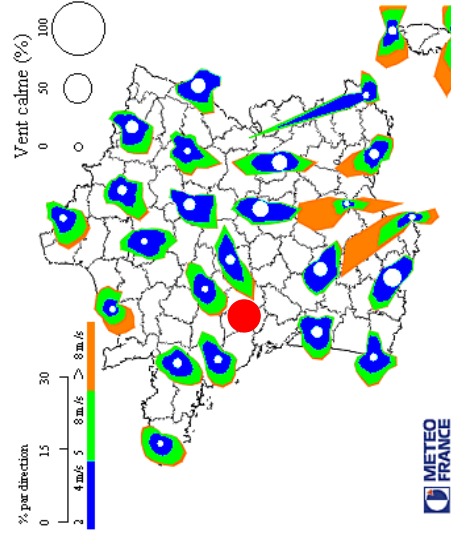
#### 4.1.2.1 Eolien

##### Principe

Le principe de l'énergie éolienne est de transformer une énergie mécanique créée par le vent en énergie électrique. La quantité d'énergie produite dépend de la vitesse du vent.

##### Potentiel du site

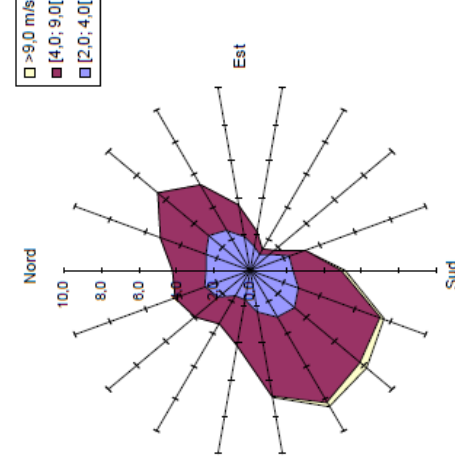
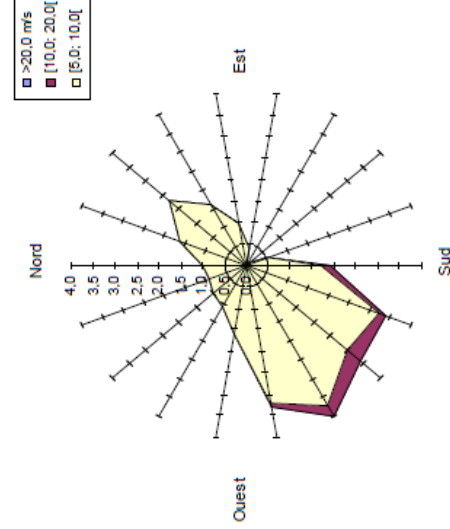
Les cartes suivantes donnent un aperçu du potentiel éolien en France, et à Poitiers ( ● ) :



Source : Météo France

Source : ADEME

Les roses des vents ci-dessous présentent les vents forts et faibles, sur une année, au niveau de la station météo de Poitiers Biard.

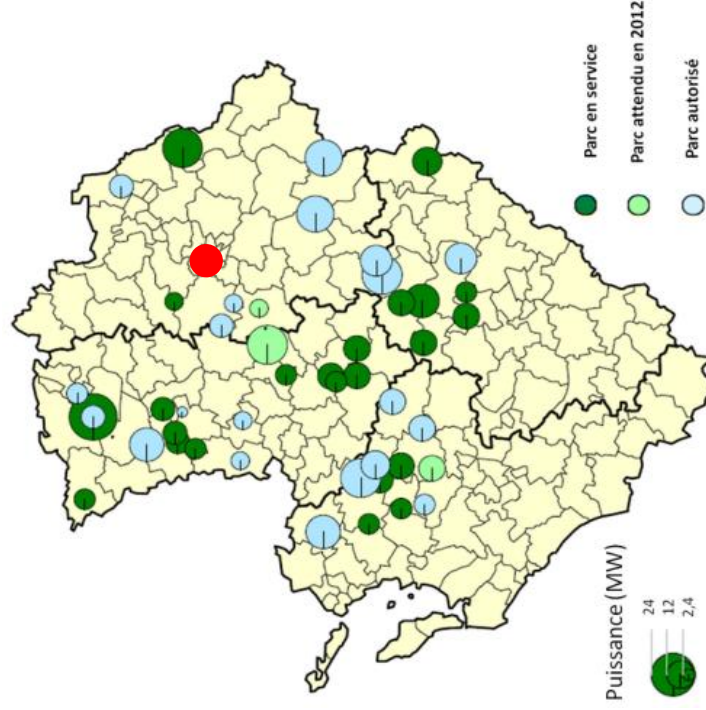


Source : Météo France

La majorité des vents forts ont une vitesse comprise entre 10 et 20 m/s (28,1%) tandis que les vents faibles dominants ont une vitesse de 4 à 9 m/s (44,3%).

Même si la région est peu propice à utiliser cette énergie, elle possède tout de même un parc éolien important. La région Poitou Charente compte 25 parcs éoliens soit 145 éoliennes, une puissance installée de 285.5 MW pour une production de 424 GWh.

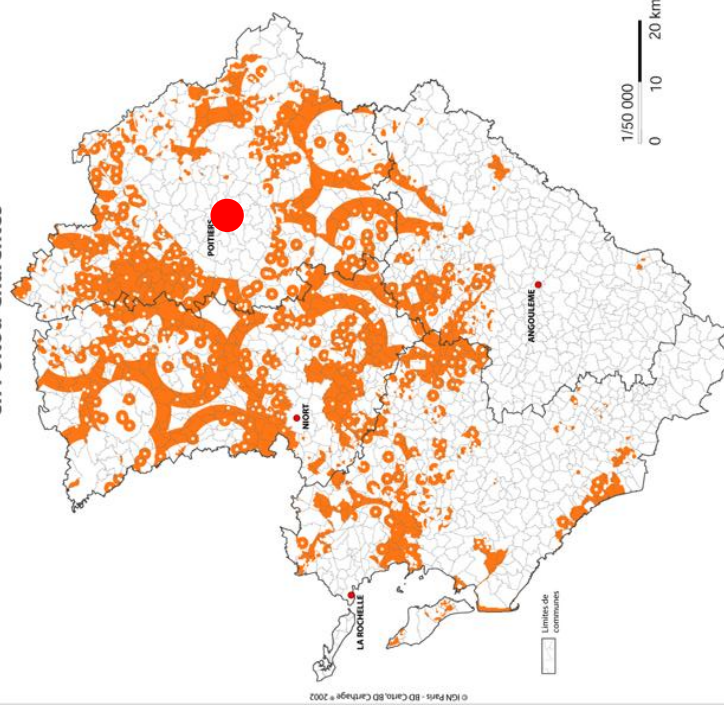
Ce parc éolien régional est réparti de la manière suivante :



On remarque que dans le département de Vienne, et notamment aux alentours de Poitiers (●), il y a peu d'éoliennes en service, mais aussi très peu de parcs éoliens autorisés.

### SCHEMA REGIONAL EOLIEN POITOU-CHARENTES

Les zones potentiellement adaptées  
au développement de l'éolien  
en Poitou-Charentes



La carte ci-contre montre les zones potentiellement adaptées au développement de l'éolien en Poitou Charente.

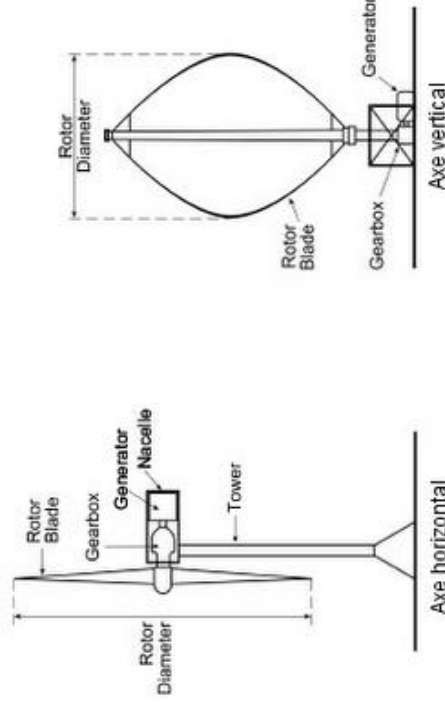
Cette carte confirme l'idée que la ville de Poitiers et ces alentours ne possède pas un potentiel éolien important.

**NB : Le schéma régional éolien est actuellement en cours d'approbation.**

### Faisabilité technique

La production d'électricité à l'aide d'éoliennes de façon centralisée impose une contrainte d'espace importante, mais permettrait de couvrir une part importante des besoins.

La production d'électricité de façon décentralisée est possible via des éoliennes individuelles, de type petites éoliennes urbaines. Ces dernières sont plutôt à axe vertical.



Source : H3C-énergies

La production d'électricité assurée par le système dépend de la force du vent. La production ne sera donc pas constante, et on ne peut pas prédire à quel moment elle aura lieu. Il faudra donc coupler ce système au réseau d'électricité pour assurer la disponibilité d'électricité à n'importe quel moment.

### Synthèse

Critère	Commentaire	Avis H3C*
Potentiel sur site	Potentiel éolien plutôt faible aux alentours de Poitiers	Centralisé : 😞 Décentralisé : 😞
Performance	Rendement de production moyen	😊
Investissement**	Important	😞
Cout de l'énergie	Force du vent : énergie gratuite	😊
Impact environnemental***	Energie renouvelable, faible impact	😊
Exploitation/maintenance	Maintenance importante/maintenance plus faible, mais à prévoir	😞
Contrainte d'espace	Contrainte d'espace importante/ Place en toiture	😞



Exclu



Défavorable



Moyen



Favorable

#### 4.1.1.2.2 Solaire photovoltaïque

##### *Principe*

Le photovoltaïque est une technique qui consiste à transformer le rayonnement solaire sous forme de lumière en électricité. Ce type de système nécessite une surface d'implantation importante pour créer une assez grande quantité d'électricité.

On recense trois différentes technologies de panneaux solaires photovoltaïques :



- ✓ **Les cellules amorphes** sont produites à partir d'un "gaz de silicium", qui est projeté sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide. Ce type de cellule est bon marché et la technologie est utilisable sur de nombreux supports. Le problème est que son rendement est 2 à 3 fois plus faible que les cellules monocristallines.



- ✓ **Les cellules polycristallines** sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Elles ont un rendement de 11 à 15%, et leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines.

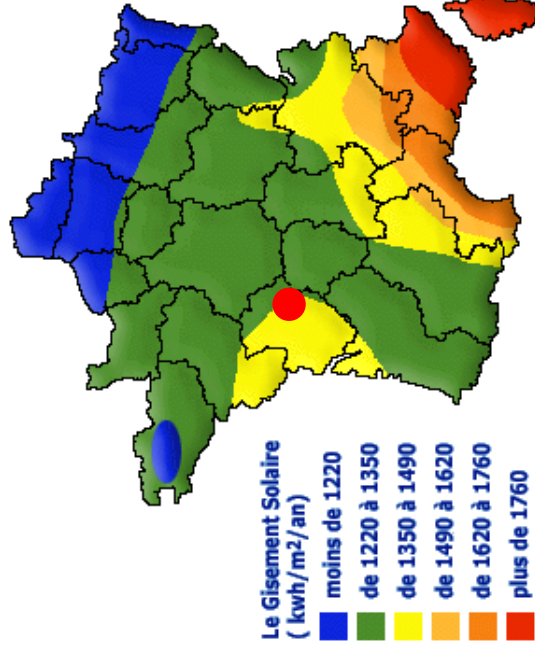


- ✓ **Les cellules monocristallines** sont issues d'un seul bloc de silicium fondu, elles sont donc très "pures". Elles offrent le meilleur rendement (entre 13 et 17%), mais sont aussi plus chères à la production, donc à la vente.



### Potentiel du site

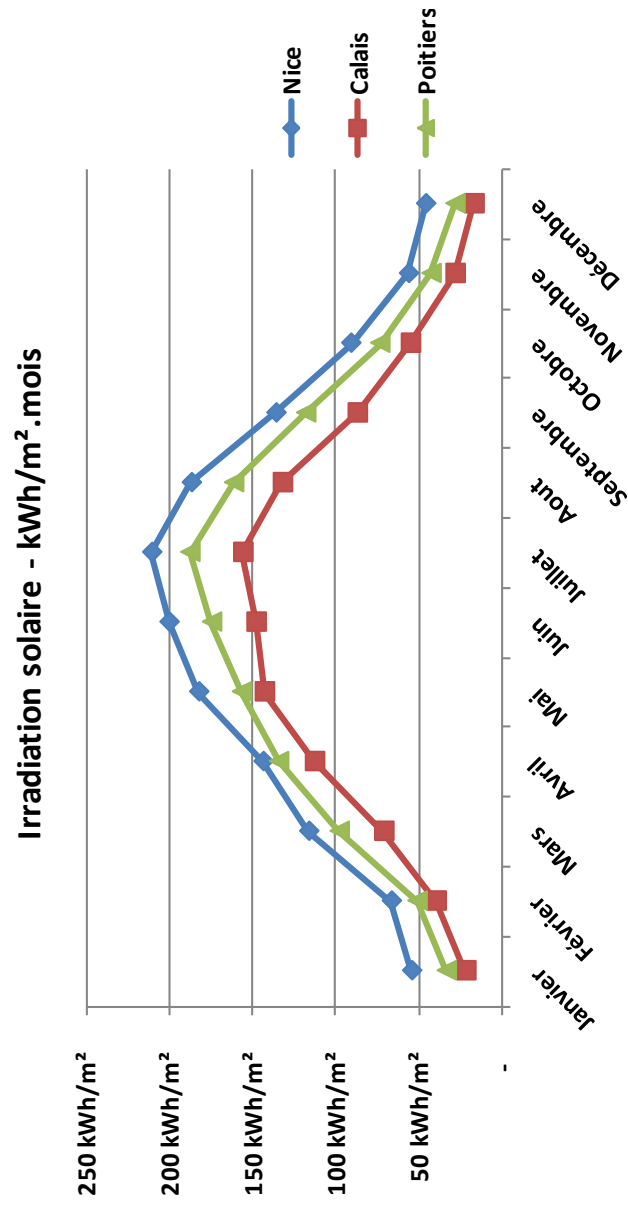
La carte suivante montre le gisement solaire en France, et la situation de Poitiers ( ● ) :



Source : hespul.org

La ville de Poitiers se situe dans une zone où la production solaire peut être qualifiée de moyenne en France, ce qui n'empêche pas un système solaire d'être efficace et rentable, la France étant un pays géographiquement favorable au développement de la filière solaire.

L'**irradiation solaire** caractérise l'exposition du site étudié au rayonnement solaire. Elle est généralement exprimée en kWh et ramenée à un mètre carré sur le plan horizontal. Le graphique ci-dessous permet de comparer le gisement solaire disponible sur le site avec d'autres situations géographiques extrêmes (Calais et Nice) :





## Etude de faisabilité du développement des énergies renouvelables sur la ZAC République IV



Réf : 12071

Date : 30/08/2013

Auteur(s) : CAN, ART, NRO

Validé par : MGU

Page 26/94

### Remarque :

L'irradiation solaire permet d'estimer le potentiel solaire d'un site. Plus cette valeur est élevée, plus la ressource est valorisable. Au contraire, plus elle est faible, moins elle est intéressante. Elle permet également d'estimer les apports solaires annuels.

Ci-dessous un tableau donnant les valeurs de l'irradiation solaires à Poitiers :

IRRADIATION SOLAIRE MOYENNE		
MOIS	Nb jours	Poitiers
Janvier	31	1 083 Wh/m <sup>2</sup> .j
Février	28	1 828 Wh/m <sup>2</sup> .j
Mars	31	3 166 Wh/m <sup>2</sup> .j
Avril	30	4 490 Wh/m <sup>2</sup> .j
Mai	31	5 067 Wh/m <sup>2</sup> .j
Juin	30	5 837 Wh/m <sup>2</sup> .j
Juillet	31	6 071 Wh/m <sup>2</sup> .j
Aout	31	5 220 Wh/m <sup>2</sup> .j
Septembre	30	3 945 Wh/m <sup>2</sup> .j
Octobre	31	2 377 Wh/m <sup>2</sup> .j
Novembre	30	1 426 Wh/m <sup>2</sup> .j
Décembre	31	914 Wh/m <sup>2</sup> .j
<b>TOTAL</b>	<b>365</b>	<b>3 460 Wh/m<sup>2</sup>.j</b>
		<b>1 263 kWh/m<sup>2</sup></b>

Source : Photovoltaic Geographical Information System

Avec 1 263 kWh/m<sup>2</sup>.an, l'irradiation solaire de Poitiers n'est pas la plus importante de France. En comparaison, les régions du nord de la France reçoivent environ 1 000 kWh/m<sup>2</sup>.an, tandis que des villes du sud comme Nice reçoivent 1 500 kWh/m<sup>2</sup>.an

Toutefois, la situation géographique générale de la France est favorable à l'exploitation de la filière solaire passive ou active.

L'étude suivante, réalisée à titre d'exemple sur le site [tecsol.fr](http://www.tecsol.fr) montre la production d'électricité annuelle pour une surface de 15 m<sup>2</sup> de panneaux :

<i>Generateur photovoltaïque rattaché au réseau</i>	
Station Meteo	Poitiers
Latitude du lieu	46 34
Modules PV	Photowatt PW2050 (Verre/TPT)
	Puissance 195 Wc
Orientation	0 degrés/Sud
Inclinaison	45 degrés/horizontale
Surface utile	14,67 m <sup>2</sup>
Puissance crête	1,95 kWc

Mois	Energie solaire recue plan horizontal Wh/m <sup>2</sup> .j	Energie solaire recue plan des capteurs Wh/m <sup>2</sup> .j	Electricite produite par le systeme kWh/mois
Janvier	1 105	1 729	78
Fevrier	1 928	2 790	114
Mars	3 308	4 231	192
Avril	4 498	4 755	209
Mai	5 373	5 069	230
Juin	6 250	5 612	246
Juillet	6 312	5 807	263
Aout	5 094	5 142	233
Septembre	3 831	4 566	200
Octobre	2 560	3 721	169
Novembre	1 263	1 883	83
Decembre	890	1 401	64
<i>Total energie (kWh/an)</i>			<i>2 081</i>
<i>Total CO2 evite (kg/an) ( )</i>			<i>749</i>
<i>Productivite (kWh/kWc.an)</i>			<i>1 067</i>

( ) 360g/kWh coefficient europeen

Source : [www.tecsol.fr](http://www.tecsol.fr)

Pour une surface de 15 m<sup>2</sup>, la production estimée est de 2000 kWh/an, soit une productivité solaire de 1067 kWh/kWc.an, que l'on peut qualifier de moyenne. L'ensoleillement de Poitiers n'exclut donc pas la filière photovoltaïque.

### **Faisabilité technique**

La création d'électricité photovoltaïque est envisageable et techniquement possible sur la ZAC République IV. La solution centralisée paraît plus adaptée, car il ne convient peut être pas aux particuliers d'installer un système de production d'électricité. La solution devient pertinente pour alimenter par exemple les industries si leurs besoins en électricité sont connus et constants, ou pour revendre cette énergie à EDF à un tarif intéressant.

## Synthèse

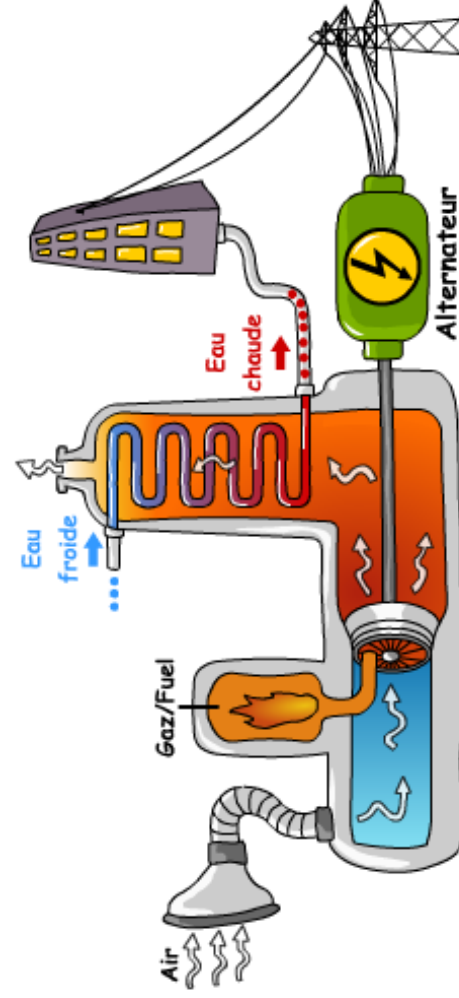
Critère	Commentaire	Avis H3C*	
		Centralisé	Décentralisé
Potentiel sur site	Gisement solaire suffisant	😊	😊
Performance	Rendement de production faible (<20%)	😞	😞
Investissement**	Fort investissement	😞	😞
Coût de l'énergie	Energie vendue à bon coût	😊	😊
Impact environnemental***	Energie renouvelable, faible impact	😊	😊
Exploitation/maintenance	Exploitation quasi nulle	😊	😊
Contrainte d'espace	Importante surface utile / Place en toiture à prévoir	😞	😊

 Exclu
  Défavorable
  Moyen
  Favorable

### 4.1.1.2.3 Cogénération

#### Principe

Le principe de la cogénération est de créer de l'électricité à partir d'une combustion de gaz, de fioul ou de bois, à l'aide d'une turbine reliée à un alternateur, et de valoriser la chaleur rejetée et non-utilisée en s'en servant d'énergie de chauffage.



Le rendement d'une machine thermique ne produisant que de l'électricité est de l'ordre de 30 à 40%, alors que dans une installation thermique ne produisant que de la chaleur à partir d'un combustible, il est de l'ordre de 90%.

Un système de cogénération présente deux rendements :

- ✓ Le rendement électrique, qui représente l'énergie électrique créée par rapport à l'énergie consommée (toujours de l'ordre de 30 à 40%)
- ✓ Le rendement thermique, qui représente la quantité de chaleur produite par rapport à l'énergie consommée, qui ne sont cette fois que de 50%

L'addition de ces 2 rendements donne le rendement de cogénération, qui est donc de l'ordre de 85%.

Comparaison entre le rendement d'une cogénération et une installation classique (production de chaleur et achat d'électricité) :



### Système classique

#### Potentiel du site

La cogénération peut être réalisée à partir de différentes énergies : gaz, fioul, bois. Le gaz est la solution généralement préférée et classiquement mise en œuvre, en raison de son coût d'investissement, plus faible que le bois, et de son impact environnemental, plus faible que le fioul.

Le réseau de gaz est situé à proximité de la ZAC. Une production de chaleur et d'électricité en cogénération est donc une solution envisageable au niveau des ressources disponibles sur le site.

*Pour plus d'informations sur le potentiel en gaz de la ZAC, se référer au paragraphe 4.2.1.3.*

#### Faisabilité technique

La cogénération peut être utilisée à grande échelle pour alimenter des réseaux urbains, mais aussi en solution individuelle. On parle alors de micro-cogénération (puissance électrique inférieure à 50 kW<sub>e</sub>) ou de petites cogénération (< 1MW<sub>e</sub>).

Les tarifs de rachat de l'électricité de la cogénération étant fonction de la variabilité de la production (pénalités en cas de « pics » ou « chutes » trop importants de production d'électricité), le système doit fonctionner à régime constant pour assurer une rentabilité intéressante.

Pour valoriser au mieux la chaleur récupérée, le système de production de chaleur par cogénération nécessite donc des besoins de chaleur constants, donc dépendant de l'activité accueillie, dès lors qu'on est en solution individuelle. Aujourd'hui, aux abords immédiats de la zone, aucun consommateur ne répond à des besoins constants.















Si les besoins mutualisés de la zone permettent d'obtenir des besoins globaux constants, la solution collective pourrait être envisagée.

Un système de cogénération doit être couplé à un appoint pour la production de chaleur lors des pics d'appels de puissance, ce qui augmente l'investissement.



### Système cogénération

## Synthèse

Critère	Commentaire	Avis H3C*	
		Centralisé	Décentralisé
Potentiel sur site	Réseau de gaz à proximité		
Performance	Rendement moyen		
Investissement**	Moyen		
Coût de l'énergie	Assez élevé		
Impact environnemental***	0,234 TCO <sub>2</sub> /MWh		
Exploitation/maintenance	Moyen		
Contrainte d'espace	Faible		



Exclu



Défavorable



Moyen



Favorable

## 4.2 Les énergies thermiques

Les énergies dites thermiques sont utilisées pour couvrir les besoins en chauffage, mais aussi en Eau Chaude Sanitaire (ECS).

### 4.2.1 Energies traditionnelles

#### 4.2.1.1 Electricité

##### *Principe*

L'électricité peut être également utilisée pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire.

Plusieurs solutions sont possibles :

- Une résistance électrique chauffe de l'eau qui est ensuite distribuée soit comme eau chaude sanitaire, soit dans des émetteurs de chauffage.
- Des convecteurs électriques chauffent directement l'air des locaux.

Un des inconvénients majeurs de l'énergie électrique est sa consommation en énergie primaire. En effet, on considère en France, pour prendre en compte les pertes d'énergies dans le réseau électrique, qu'il faut 2,58 kWh d'énergie primaire pour créer 1 kWh d'énergie finale.

Le facteur de conversion de l'énergie finale, effectivement facturée au consommateur, en énergie primaire, réellement consommée en prenant en compte la filière amont de production, est donc très pénalisant. En effet, la réglementation thermique raisonne en énergie primaire, pour comparer les consommations d'un bâtiment avec un autre en prenant en compte la nature de l'énergie utilisée et en pondérant l'énergie finale en fonction de l'impact environnemental de la ressource utilisée.

##### *Potentiel sur site*

Le réseau électrique (EDF et SOREGIES) est disponible sur le site. Cette solution est donc possible à mettre en œuvre d'un point de vue de disponibilité de l'énergie.

*Pour plus d'informations sur le potentiel en électricité de la ZAC, se référer au paragraphe 4.1.1.1.*

##### *Faisabilité technique*














Une installation de chauffage électrique a plusieurs avantages comme son faible coût d'investissement, une maintenance quasiment inexistante, une énergie peu onéreuse et qui ne demande aucune contrainte d'espace. Cependant, cette solution est tout de même remise en question en raison de ses consommations importantes.

Ces caractéristiques font de l'énergie électrique une énergie intéressante à utiliser en appoint d'une autre énergie, ou pour la production d'ECS<sup>1</sup> lorsque les besoins sont faibles, comme c'est souvent le cas dans les bâtiments de type tertiaire.

---

<sup>1</sup> Eau Chaude Sanitaire

## Synthèse

Critère	Commentaire	Avis H3C*	
		Centralisé	Décentralisé
Potentiel sur site	Raccordement au réseau possible		
Performance	1 kWh d'énergie finale = 2,58 kWh d'énergie primaire		
Investissement**	Faible investissement		
Coût de l'énergie	Faible coût d'électricité		
Impact environnemental***	0,084 TCO <sub>2</sub> /MWh		
Exploitation/maintenance	Faibles coûts voire inexistants		
Contrainte d'espace	Espace nécessaire peu important		



Exclu



Désfavorable



Moyen



Favorable



#### 4.2.1.2 Fioul

##### Principe

Le fioul est un combustible utilisé pour produire de la chaleur à l'aide d'une chaudière. Ces chaudières traditionnelles sont de moins en moins utilisées, en raison de leurs mauvaises performances, mais aussi en raison de l'impact sur l'environnement très négatif que génère ce combustible (0,3 Tco2/MWh). De plus, le prix du fioul est important et le contexte énergétique actuel fait que ce prix ne cesse d'augmenter.

##### Potentiel sur site

La livraison de fioul est possible de partout en France.

##### Faisabilité technique

La solution de chauffage et de production d'ECS<sup>2</sup> au fioul est techniquement réalisable. Il faudra cependant prévoir des livraisons et l'installation d'une cuve pouvant subvenir aux besoins pendant une période définie. Cette solution ne nécessite pas d'appoint pour fonctionner correctement, mais il peut tout de même être important d'en installer un en cas de dysfonctionnement de la chaudière (appoint électrique par exemple).

##### Synthèse

Critère	Commentaire	Avis H3C*	
		Centralisé	Décentralisé
Potentiel sur site	Energie disponible	☹️	☹️
Performance	Faible Rendement	☹️	☹️
Investissement**	Moyen	☹️	☹️
Cout de l'énergie	Elevé	☹️	☹️
Impact environnemental***	0,300 TCO <sub>2</sub> /MWh	☹️	☹️
Exploitation/maintenance	Contrainte de livraison	☹️	☹️
Contrainte d'espace	Installation d'une cuve par bâtiment	☹️	☺️



Exclu



Défavorable



Moyen



Favorable

<sup>2</sup> Eau Chaude Sanitaire

#### 4.2.1.3 Gaz naturel

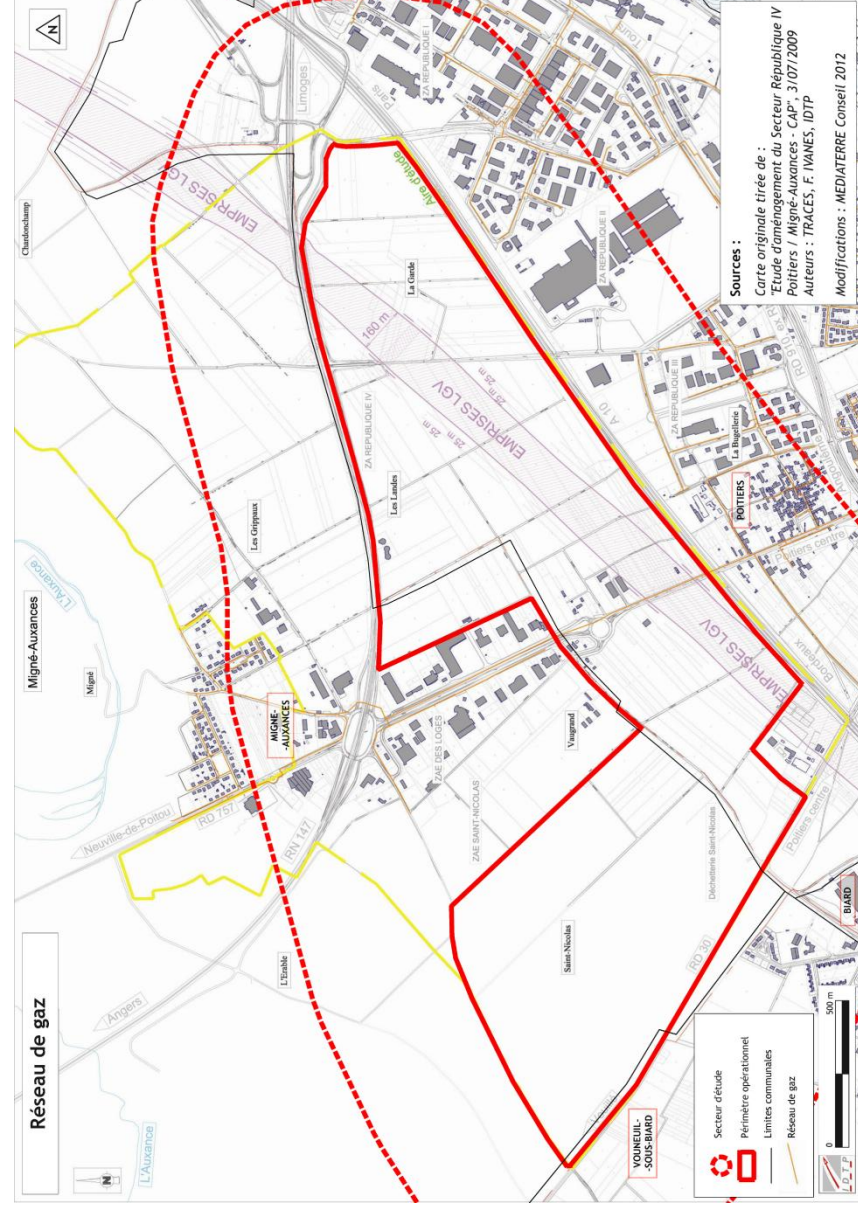
##### *Principe*

Comme pour le fioul, le gaz naturel est utilisé pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire, et comme pour le fioul, les chaudières traditionnelles fonctionnant au gaz sont de moins en moins utilisées en raison de leurs performances moyennes, de l'impact négatif sur l'environnement (0,234 Tco2/MWh), et du prix de l'énergie qui ne cesse d'augmenter.

##### *Potentiel sur site*

L'avantage du gaz naturel par rapport au fioul est qu'il ne nécessite pas de livraisons ni même de cuve, un réseau de gaz étant disponible sur quasiment toute la France. Des travaux sur ce réseau peuvent être réalisés par l'opérateur si cela est nécessaire.















La cartographie suivante présente le réseau enterré de gaz naturel, disponible aux abords immédiats du site :



##### *Faisabilité technique*

L'utilisation de chaudières traditionnelles au gaz est techniquement réalisable pour assurer les besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire de la ZAC, mais il faut au préalable vérifier si le raccordement au réseau de gaz urbain est réalisé ou s'il faudra le prendre en compte dans les travaux.

### Synthèse

Critère	Commentaire	Avis H3C*	
		Centralisé	Décentralisé
Potentiel sur site	Réseau disponible		
Performance	Faible Rendement		
Investissement**	Moyen		
Cout de l'énergie	Assez élevé		
Impact environnemental***	0,234 TCO <sub>2</sub> /MWh		
Exploitation/maintenance	Faibles besoins de maintenance		
Contrainte d'espace	Peu d'espace nécessaire		















 Exclu  Défavorable  Moyen  Favorable

#### 4.2.1.4 Charbon

Malgré l'image archaïque que peut présenter cette source d'énergie, depuis les dernières évolutions du prix du fioul et du gaz, elle connaît un regain d'intérêt. Dans beaucoup de pays tel que l'Angleterre et l'Australie elle reste une source d'énergie massivement utilisée car elle possède des réserves bien supérieures à celles des autres matières fossiles.

Cette solution est quasiment obsolète en France, à cause de son très fort impact environnemental.

### Synthèse

Critère	Commentaire	Avis H3C*	
		Centralisé	Décentralisé
Potentiel sur site	Difficultés d'approvisionnement		
Performance	Faible Rendement		
Investissement**	Moyen		
Cout de l'énergie	Elevé		
Impact environnemental***	0,384 TCO <sub>2</sub> /MWh		
Exploitation/maintenance	Contrainte de livraison		
Contrainte d'espace	Installation d'une cuve par bâtiment		

 Exclu  Défavorable  Moyen  Favorable

## 4.2.2 Energies renouvelables

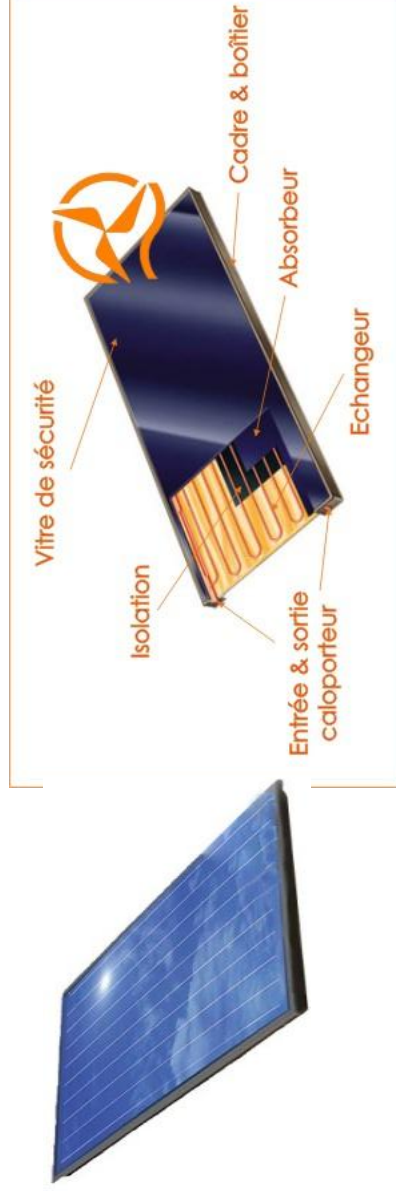
### 4.2.2.1 Solaire thermique

#### Principe

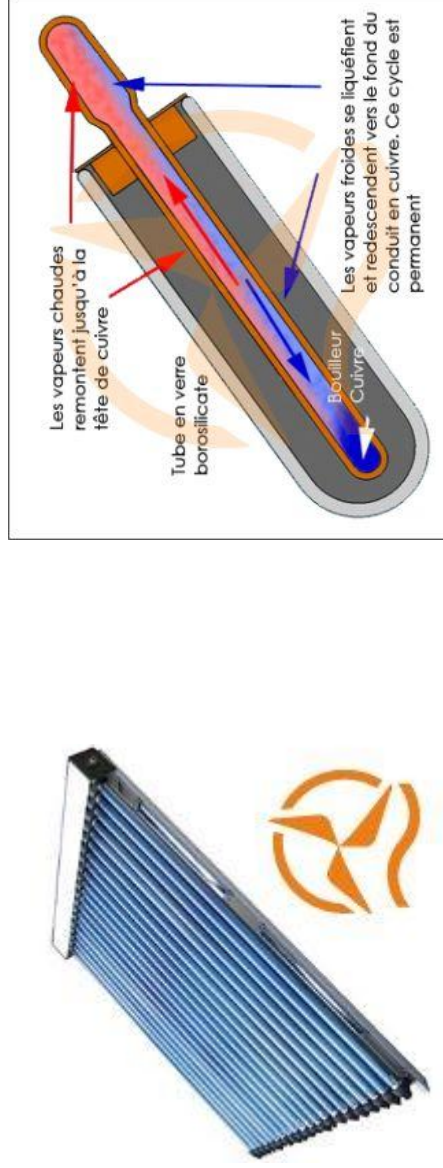
L'énergie solaire est une énergie renouvelable de plus en plus utilisée dans le cadre des économies d'énergies et des faibles rejets de CO<sub>2</sub>. L'énergie solaire thermique doit aussi son succès à sa facilité de mise en œuvre tant en rénovation que dans la construction de bâtiments neufs.

Les technologies de capteurs solaires thermiques sont les suivantes :

- ✓ **Les capteurs plans** : il s'agit d'un caisson fixe isolé porteur en avant d'une surface vitrée. L'intérieur du caisson comprend l'absorbeur de chaleur. Cet absorbeur, de surface presque égale à la surface vitrée, est constitué d'une âme métallique pourvue d'un revêtement sombre qui maximise l'absorption du rayonnement solaire. La restitution de l'énergie captée se fait par passage d'un liquide caloporteur au contact de la surface métallique.



- ✓ **Les capteurs sous vide** : la restitution de l'énergie captée se fait au niveau d'un collecteur de chaleur placé au sommet du capteur dans lequel les tubes sous vides sont enfilés. La transmission d'énergie thermique au liquide caloporteur peut se faire par deux méthodes. La première fait passer directement le liquide caloporteur au contact de l'absorbeur, l'autre technique utilise un caloduc. Le caloduc est une simple tige de cuivre creuse qui contient une liquide à changement de phase. Au contact de la chaleur, ce liquide se vaporise et échange sa chaleur au liquide caloporteur. Cet échange de chaleur le condense et ainsi de suite.



### Potentiel du site

Le potentiel solaire à Poitiers est plutôt favorable au développement de la filière solaire.

Pour davantage de détails sur le potentiel solaire à Poitiers, se référer au paragraphe 4.1.2.2.

A titre d'exemple, l'étude suivante a permis de déterminer la quantité de panneaux nécessaire pour couvrir 60% des besoins en eau chaude sanitaire dans des bureaux. Les besoins en eau chaude sanitaire dans les bureaux sont estimés à 5 litres d'eau à 60°C par jour et par employé (source : ADEME). Les besoins d'une société qui compterait 50 employés seraient alors d'environ 250 l/jours.

L'étude a donné les résultats suivants :

#### Données météo

Mois	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
T extérieure	3,8	4,7	8	10,4	13,7	17,2	19	18,8	16,4	11,8	7,5	4,6
T eau froide	7,6	8	9,7	10,9	12,5	14,3	15,2	15,1	13,9	11,6	9,4	8

T eau froide : Méthode ESM2

#### Installation

Captteurs		Stockage	
Surface	7,52m <sup>2</sup>	Situation	Intérieur (18 C)
Solar Plan 200 H et 200 V Atlantic Industrie (4 x 1,88 m <sup>2</sup> )			
Inclinaison	45 /Horiz	Température ECS	60 C
Orientation	0 / Sud	Volume de stockage	300 Litres
Coefficient B	0,76	Cste de refroidissement	0,2263 Wh/jour.l C
Coefficient K	4,37W/m <sup>2</sup> . C	Type d'installation	Circulation forcée, échangeur séparé

	Inradiation captteurs (Wh/m <sup>2</sup> .jour)	Besoins (kWh/mois)	Apports (kWh/mois)	Apports (kWh/jour)	Taux (%)	Volume (litres)
Janvier	1729	472	138	4,4	29,2	250
Fevrier	2790	423	187	6,7	44,2	250
Mars	4231	453	293	9,5	64,8	250
Avril	4755	428	322	10,7	75,2	250
Mai	5069	428	348	11,2	81,4	250
Jun	5612	398	346	11,5	86,9	250
Juillet	5807	404	357	11,5	88,5	250
Aout	5142	405	340	11,0	84,1	250
Septembre	4566	402	303	10,1	75,4	250
Octobre	3721	436	259	8,3	59,3	250
Novembre	1883	441	147	4,9	33,4	250
Decembre	1401	469	117	3,8	25,0	250

Taux couverture solaire	61,2	%	Apport solaire annuel	3159	kWh/an
Besoin annuel	5159	kWh/an	Productivité annuelle	420	kWh/m <sup>2</sup> .an

On remarque qu'avec une surface de panneaux de seulement 7,52 m<sup>2</sup>, et avec un volume de stockage de 300 litres, le taux de couverture des besoins pour 50 employés de bureaux est supérieur à 60%, soit 3159kWh/an.

Une installation solaire thermique doit être dimensionnée de manière à ce que le taux mensuel ne dépasse pas 90%. En effet, au-delà de ce seuil, le ballon de stockage risque d'être saturé, et le fluide caloporteur situé dans les panneaux, atteignant une température trop élevée, risque d'être dégazé, impliquant une opération de maintenance sur l'installation et un risque de dégradation. Le taux de couverture solaire se situe en général autour de 60%, et nécessite donc la présence d'un appoint.

L'implantation des panneaux solaires est importante pour valoriser au mieux l'énergie solaire : orientation (Sud), absence d'ombres portées sur les panneaux, inclinaison des panneaux à définir en fonction des besoins (entre 30 et 60°).

### **Faisabilité technique**

L'énergie solaire thermique peut être utilisée pour répondre aux besoins de chauffage et/ou aux besoins de production d'eau chaude sanitaire. Les différentes expériences ont montré, en France, que le solaire thermique est plus utilisé car plus efficace pour la production d'eau chaude sanitaire.

C'est en effet une solution intéressante car elle permet, en couplant le système à un appoint électrique, de couper le système de production de chaleur (chaudière par exemple) en période estivale. Cela évite de le faire fonctionner à faible puissance en été.

Le solaire thermique est difficilement utilisable de façon centralisée, car il nécessiterait une surface d'implantation des panneaux et un volume de stockage importants, sans avoir la garantie à 100% de pouvoir combler les besoins. De plus, il est préférable de limiter le linéaire des réseaux d'eau chaude sanitaire, afin de faciliter la mise en place de mesure de prévention et de traitement contre le développement des légionelles. Cette solution peut également être utilisée à des fins de chauffage, dans le cadre d'une chaufferie centralisée (dans les pays scandinaves par exemple). Il est donc préférable d'utiliser cette énergie de façon décentralisée, où chaque bâtiment possède la surface de panneau dont il a besoin.

### **Synthèse**

Critère	Commentaire	Avis H3C*	
		Centralisé	Décentralisé
Potentiel sur site	Potentiel intéressant	😊	😊
Performance	Rendement moyen	😊	😊
Investissement**	Important	😞	😞
Cout de l'énergie	Gratuite (hors consommation électrique des auxiliaires)	😊	😊
Impact environnemental***	Energie renouvelable, faible impact	😊	😊
Exploitation/maintenance	Assez faibles besoins de maintenance	😊	😊
Contrainte d'espace	Emprise au sol importante/Place en toitures	😞	😊



Exclu



Défavorable



Moyen



Favorable

#### 4.2.2.2 Bois énergie

##### Principe

En France, le bois de chauffage est une énergie renouvelable considérée comme « propre », c'est-à-dire sans rejet de CO2. En effet, la quantité de CO2 absorbée pendant la vie d'un arbre compense celle émise lors de sa combustion. L'énergie bois s'inscrit parfaitement dans la démarche environnementale. Le bois utilisé peut être du bois de forêt dévalorisé, qu'il est donc important d'enlever pour leur entretien, ou du bois de déchets issus de l'activité humaine (palettes, caisseries...).

Il existe plusieurs technologies de chaudières, adaptées aux différents types de combustible :

- ✓ bois bûche,
- ✓ bois granulé,
- ✓ bois déchiqueté.

La chaudière à **bois bûches** ne sera pas étudiée car il n'existe pas de système d'alimentation automatique, la présence d'homme est indispensable à chaque utilisation de la chaudière, ce qui est une contrainte majeure tant d'un point de vue pratique que d'un point de vue de régulation de l'installation.



Le **bois déchiqueté** (ou plaquettes) est issu du bois non-utilisable par l'homme, broyé avant d'être vendu. Ce bois peut provenir de différents endroits :

- Chutes de scieries ;
- Chutes de menuiseries ;
- Têtes d'arbres laissées sur coupe en forêt après exploitation ;
- Arbres entiers provenant de premières éclaircies sans autre débouché ;
- Branches provenant de tailles d'arbres en ville ou en bordure de route.



Le **bois granulés** provient principalement des déchets issus des scieries (sciure, copeaux...) qui subissent un processus industriel visant à les compacter. Sa teneur en humidité très faible (inférieure à 10%) fait de ce combustible bois le meilleur d'un point de vue rendement mais il est également le plus onéreux.



**1MAP : 1 mètre cube apparent plaquettes (250kg)**

##### Potentiel du site

Malgré un taux de boisement inférieur à la moyenne nationale, la surface forestière est en constante augmentation, atteignant aujourd'hui plus de 370 000 ha dans la région de Poitou Charente. Cela est dû à un très bon renouvellement des forêts, avec plus d'1,5 millions d'arbres plantés en 10 ans. Un plan « Bois énergie » a d'ailleurs été mis en place dans la région entre 2000 et 2006, qui a participé au développement de la filière en permettant l'installation de 395 chaudières (101 MW installés).

Voici une liste de quelques fournisseurs de combustible de la région Poitou Charente :

Fournisseur	Combustible	Code postal	Téléphone
1 CYBERBOIS	granulés/décheté	86600	06 64 61 33 42
2 PACAH COMBUSTIBLE	granulés/décheté	86500	05 16 66 03 11
3 LES BOIS DU POITOU	granulés/décheté	79390	05 49 63 04 83
4 COFOROUEST	décheté	86201	02 32 28 71 70
5 CAFSA	décheté	86240	05 40 12 02 50
6 ECOSYS	décheté	86440	05 49 88 68 94
7 CILC ENERGIE	granulés	86130	05 49 62 35 85
8 JIKA	granulés	86530	05 49 90 14 14
9 ANJOU BOIS ENERGIE	granulés	49700	06 84 06 14 17



Carte (Source : Google earth)

### Faisabilité technique

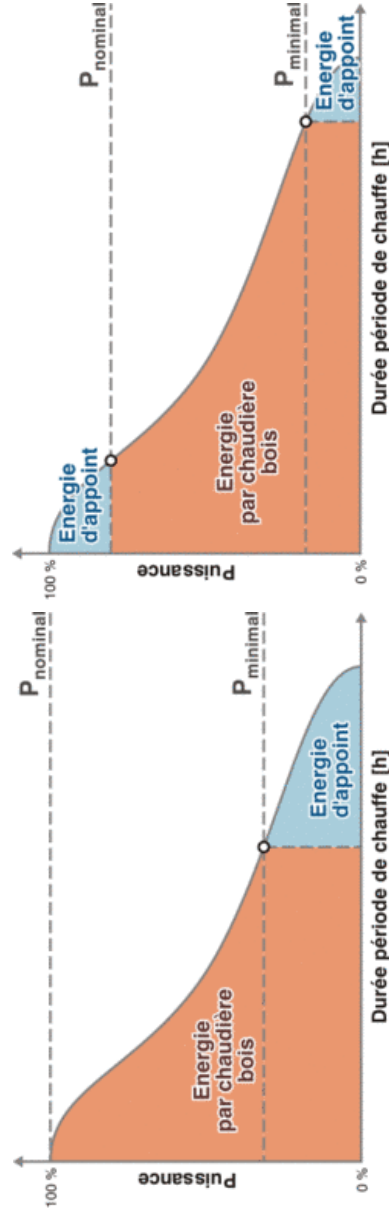
Les chaudières bois fonctionnent très bien avec un réseau haute température. L'énergie bois peut donc être utilisée pour tous les usages nécessitant de la chaleur (chauffage, ECS<sup>3</sup> notamment).

Pour favoriser l'utilisation d'une chaudière bois, il ne faut pas oublier que ces chaudières ne peuvent réguler leur puissance qu'entre 1/3 et 100%. Il faudra donc la coupler à un système d'appoint.

<sup>3</sup> Eau Chaude Sanitaire



On peut constater à l'aide des diagrammes ci-dessous qu'il est judicieux de ne pas dimensionner la chaudière bois à 100% de la puissance nécessaire, mais un peu moins (entre 60 et 80%). De cette façon la chaudière bois est utilisée plus longtemps.











Source : [www.Energieplus-lesite.be](http://www.Energieplus-lesite.be)

L'énergie bois est aussi bien utilisable de manière centralisée, avec la création d'un réseau de chaleur, que de manière individuelle, où chaque bâtiment est alimenté par sa propre chaudière et son propre silo de stockage.

Cette deuxième solution paraît moins adaptée au projet car le choix du type de production de chaleur individuelle ne dépend que du propriétaire, mais aussi car ces types de systèmes demandent généralement un investissement important.

L'impact environnemental du bois-énergie est en partie compensé par le phénomène de photosynthèse lors de la croissance de l'arbre.

### Synthèse

Critère	Commentaire	Avis H3C*
Potential sur site	Département peu boisé mais présentant plusieurs fournisseurs	Centralisé  Décentralisé 
Performance	Rendement de production moyen (75-85%)	
Investissement**	Fort investissement (génie civil, ...)	
Coût de l'énergie	Bois énergie attractif	
Impact environnemental***	0,013 TCO <sub>2</sub> /MWh	
Exploitation/maintenance	Exploitation importante des équipements (chaudières, traitement des fumées, ...)	
Contrainte d'espace	Espace nécessaire pour le silo et une zone de manœuvre	



Exclu



Défavorable



Moyen



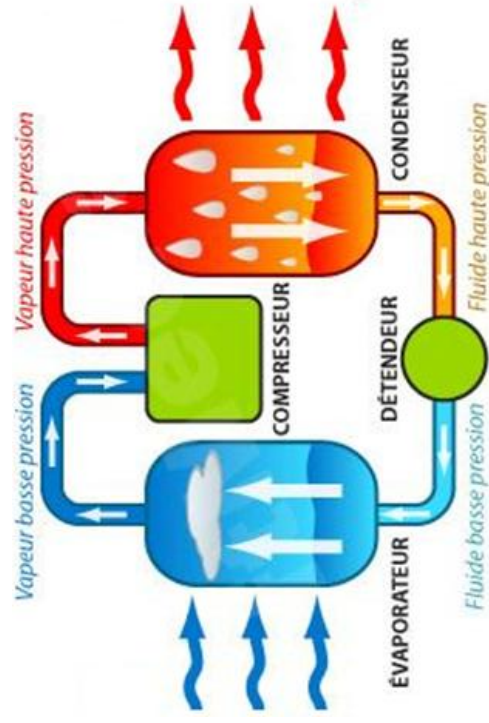
Favorable

#### 4.2.2.3 Pompes à Chaleur ou PAC

##### Principe

L'énergie puisée dans l'air ou dans le sol peut être valorisée au moyen de pompes à chaleur. Les Pompes À Chaleur (PAC) sont des systèmes de production de chaleur (ou de froid) qui utilisent l'énergie électrique pour faire suivre à une fluide spécial appelé fluide frigorigène un cycle thermodynamique.

Ce cycle se décrit de la manière suivante :

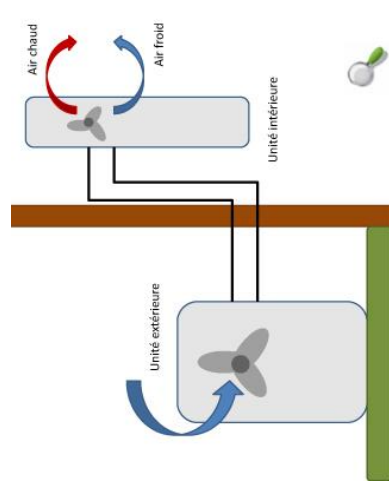


Les pompes à chaleur sont de plus en plus utilisées en raison de leur COP (coefficient de performance) élevé, bien plus élevé que les autres systèmes de production de chaleur.

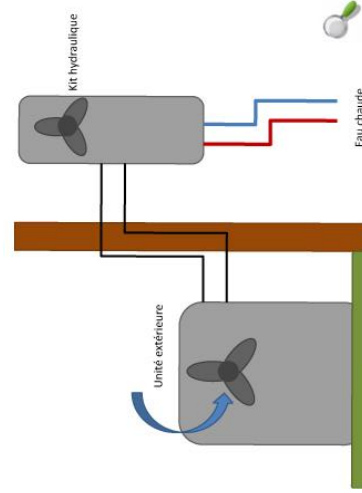
Les PAC on en effet un COP minimum de 3. (Pour 1kW électrique consommé, 3kW de chaleur produits)

Les échangeurs thermiques (condenseur et évaporateur) peuvent être de différentes natures. Le fluide frigorigène peut en effet échanger ses calories avec n'importe quel type de fluide, et c'est ce paramètre qui différencie les types de PAC.

##### 4.2.2.3.1 Aérothermie



**PAC AIR/AIR** : L'évaporateur puise (ou rejette) la chaleur comprise dans l'air extérieur et le condenseur la restitue sur l'air ambiant sous forme d'air chaud (ou froid).



**PAC AIR/EAU** : L'évaporateur puise la chaleur comprise dans l'air mais le condenseur la restitue cette fois sur un régime d'eau de préférence à basse température pour améliorer les performances.

Il existe des pompes à chaleur pouvant produire soit du chaud, soit du froid, en inversant simplement le condenseur avec l'évaporateur selon la saison, ce système est dit **réversible**.

### Potentiel du site









La ZAC république IV est desservie en électricité. Des pompes à chaleur peuvent donc être installées. La performance de cet équipement est directement liée à la température extérieure du site étudié, et les conditions climatiques de Poitiers ne sont pas particulièrement favorables à l'aérothermie.

### Faisabilité technique

Les pompes à chaleur sont généralement utilisées pour un régime d'eau relativement faible. Il faudra donc penser à un autre système pour la production d'eau chaude sanitaire si cette solution est retenue pour le chauffage. En France, il est possible que les températures extérieures soient pendant plusieurs jours inférieurs à 0. Il sera alors possible que les pompes à chaleur n'arrivent plus à couvrir 100% des besoins de chauffage. C'est pourquoi il est impératif d'ajouter un appoint pour ces périodes.

Les pompes à chaleur AIR/AIR et AIR/EAU sont des solutions performantes à petite puissance, mais ne sont pas utilisables de façon centralisées.

### Synthèse

Critère	Commentaire	Avis H3C*
Potentiel sur site	La température à Poitiers un peu faible, mais n'exclut pas cette solution	Centralisé  Décentralisé 
Performance	Coefficient de performance assez bon (COP < 2,5)	
Investissement**	Moyen	
Cout de l'énergie	Electricité, donc élevé	
Impact environnemental***	Electricité (0,084 TCO <sub>2</sub> /MWh)	
Exploitation/maintenance	Faibles besoins de maintenance	
Contrainte d'espace	Nécessite peu d'espace	



Exclu



Défavorable



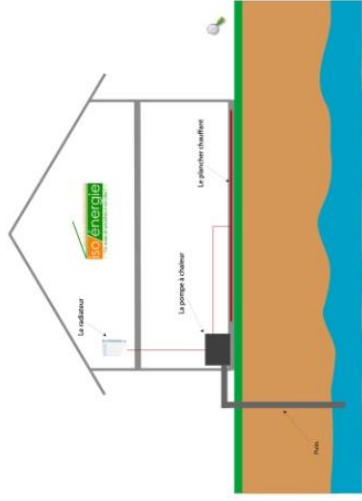
Moyen



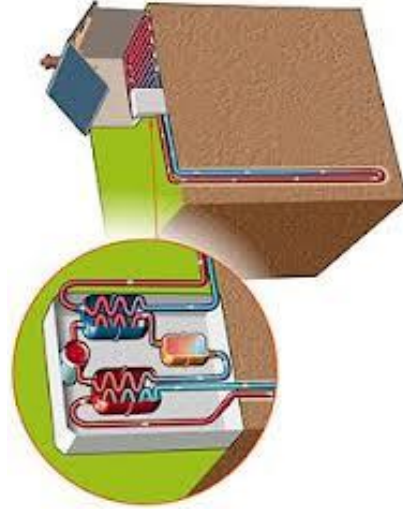
Favorable

#### 4.2.2.3.2 Géothermie

Le principe de la géothermie est d'extraire la chaleur contenue dans le sol pour l'utiliser comme énergie de chauffage ou également pour produire de l'électricité. Ce principe fait de la géothermie une énergie très fiable et continue, ne dépendant quasiment pas des conditions extérieures pour fonctionner correctement.



**PAC EAU/EAU** : La chaleur est puisée cette fois dans de l'eau, soit dans de l'eau de nappe via un forage géothermique (*voir partie « géothermie »*), soit sur l'eau d'un réseau d'eau glacée si existant. Cette chaleur est ensuite transmise à un réseau d'eau basse température.



**PAC SOL/EAU** : La chaleur est puisée dans la terre par l'intermédiaire de capteurs (*voir partie « géothermie »*)

Source : [www.isoenergie.fr](http://www.isoenergie.fr)

Deux typologies de géothermie existent :

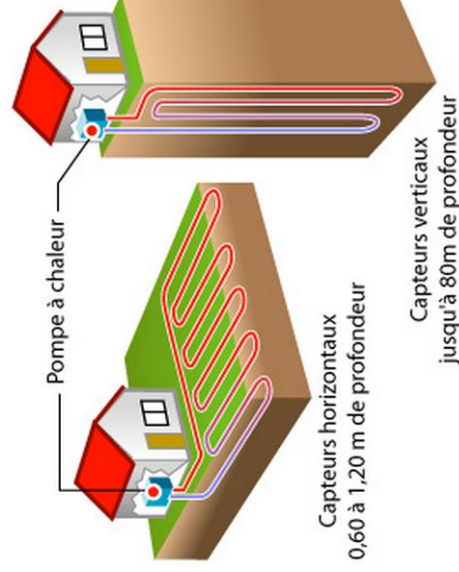
✓ **La géothermie très basse énergie :**

Cette ressource se trouve à une profondeur allant de moins d'un mètre jusqu'à 120 mètres de profondeur, et à une température constante toute l'année comprise entre 10°C et 30°C.

L'énergie présente dans le sol est alors mise en valeur par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur puis utilisée pour le chauffage des locaux.

La pompe à chaleur utilisée peut être de différents types : eau/eau, sol/eau ou sol/sol.

Ce type de système convient parfaitement à une installation individuelle mais elle génère un investissement important et ne permet pas l'utilisation d'un réseau de chaleur car la puissance disponible n'est pas assez importante.

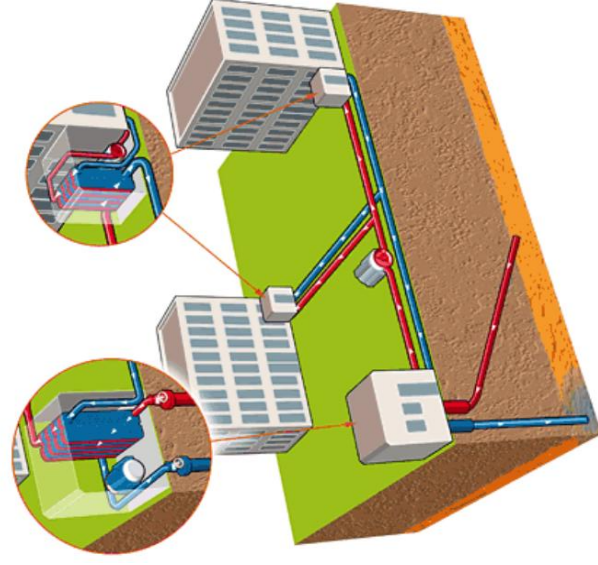


✓ **La géothermie basse énergie (sans pompe à chaleur) :**

L'énergie est alors puisée dans l'eau des bassins sédimentaires (utilisée comme fluide primaire), c'est-à-dire à une profondeur d'environ 1500m pour obtenir une température comprise entre 30°C et 90°C.

Il y a 2 façons d'utiliser l'énergie comprise dans cette eau :

- Utiliser une pompe qui remonterait cette eau de nappe jusqu'à la surface avant de la faire passer dans un simple échangeur de chaleur où elle transmettra sa chaleur au fluide secondaire (eau glycolée par exemple). L'eau de nappe doit ensuite être réinjectée dans le sous sol à l'aide d'un 2e forage (pour l'équilibre des aquifères)
- Attendre que l'eau remonte toute seule à cause de la pression présente dans le sol (équipement d'une pompe de dégazage). Cette solution diminue grandement l'investissement mais également le débit d'eau de nappe, et donc la puissance du système.

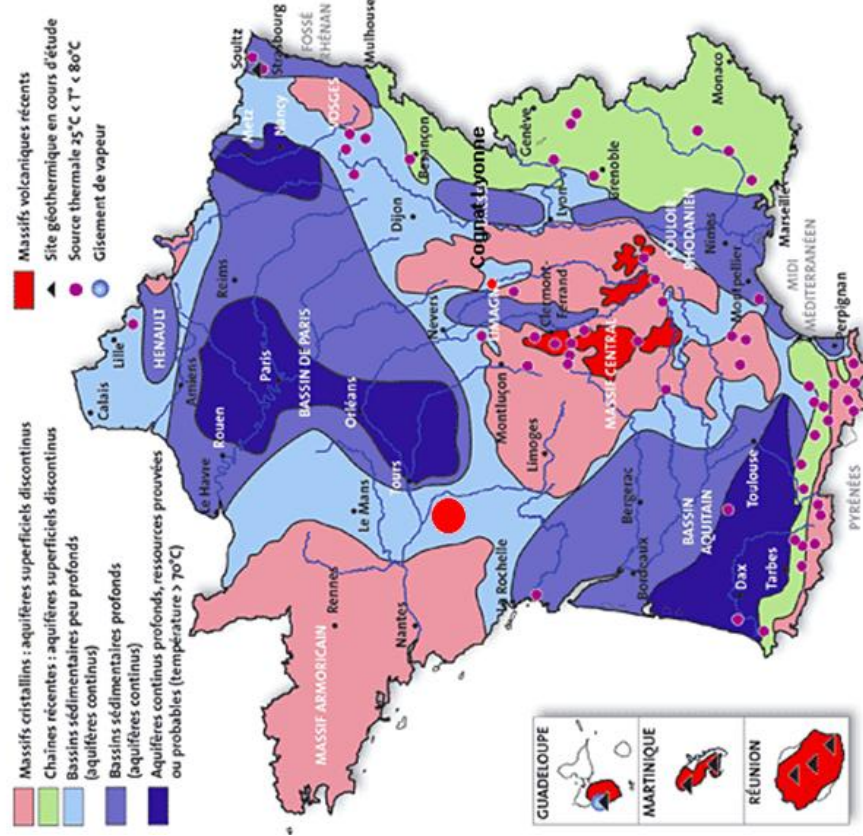


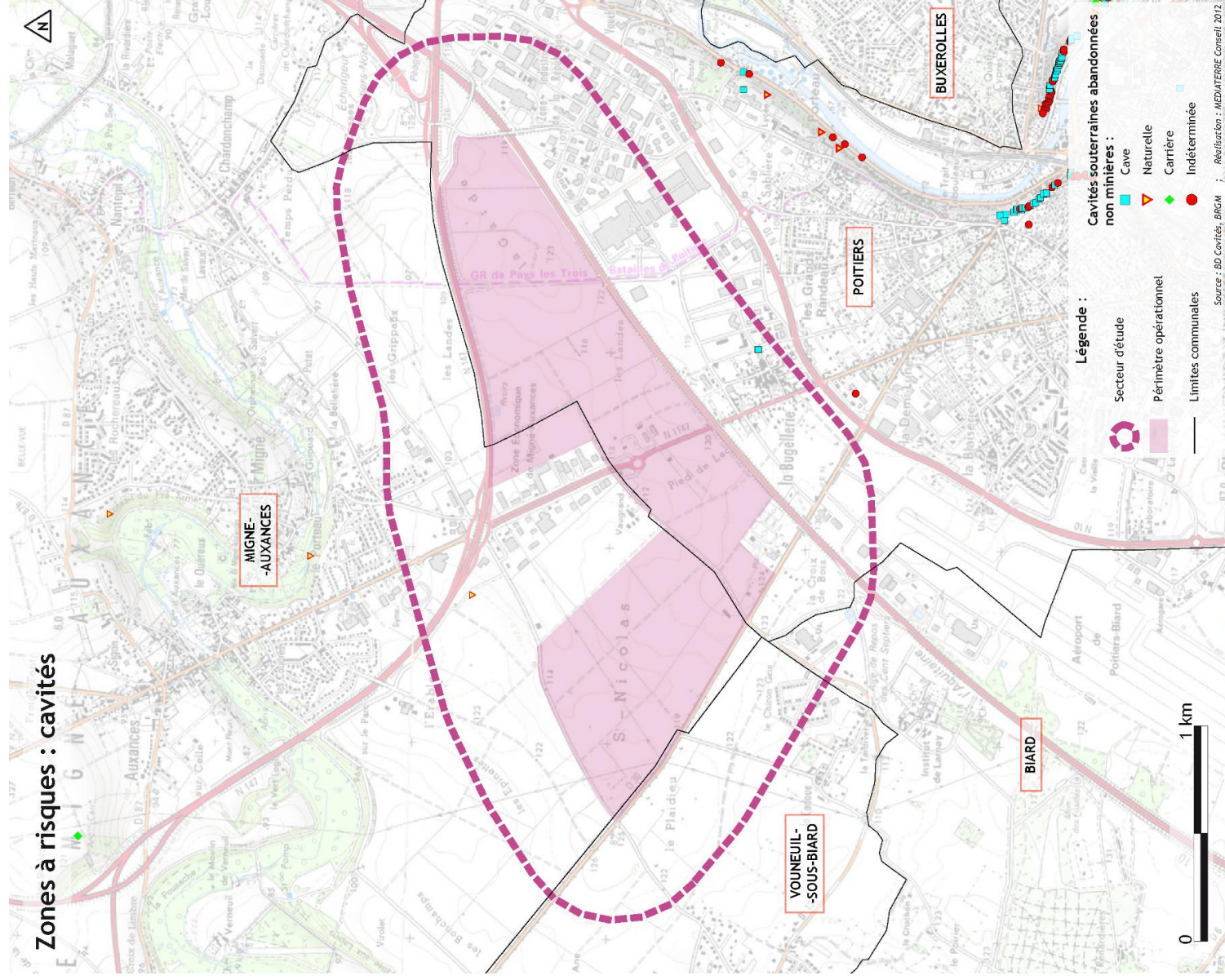
**Potentiel du site**

La France possède dans son ensemble un potentiel géothermique important, avec en plus certaines zones comme la région parisienne où les ressources sont quasiment inépuisables. Même si la géothermie est utilisable partout en France, il en existe plusieurs types qui se caractérisent en fonction de la profondeur du puisage et de la température.

La zone de Poitiers (●) se situe sur une zone de bassins sédimentaires peu profonds.

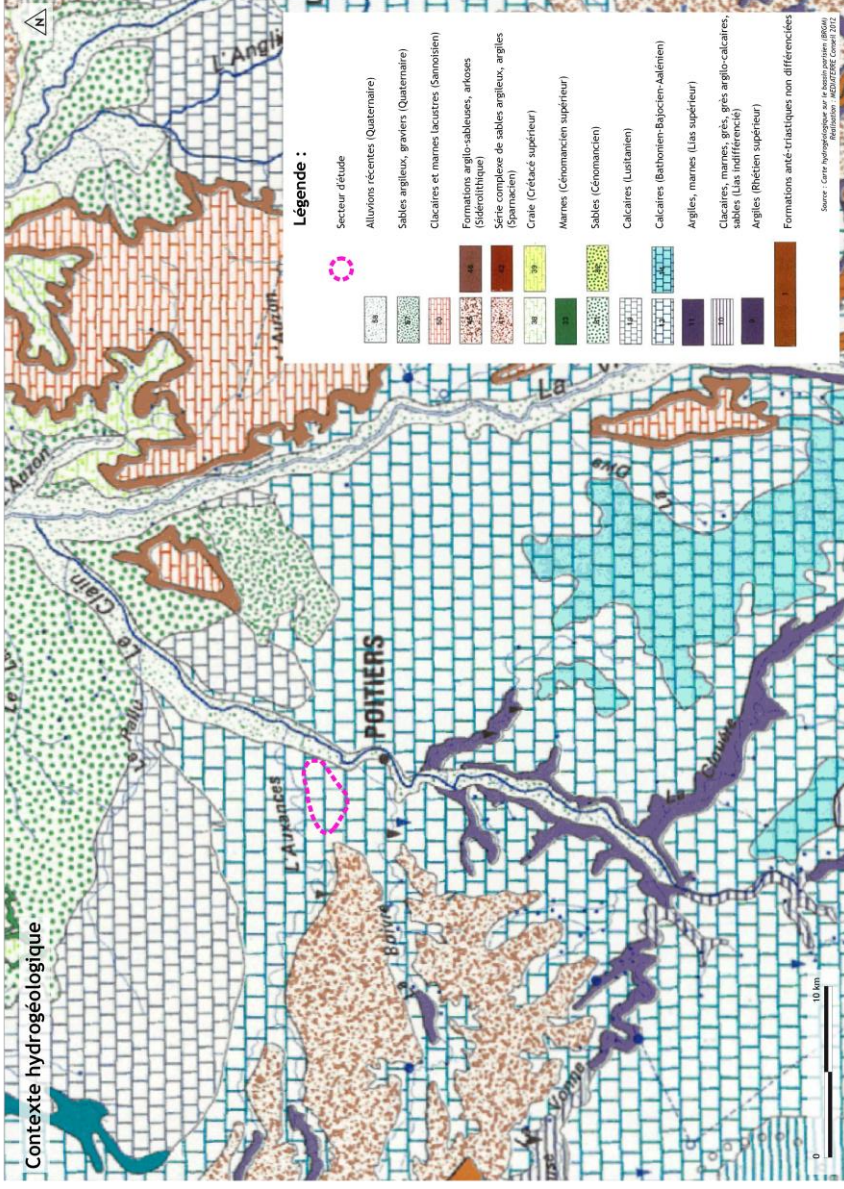
La géothermie très basse énergie est donc adaptée au site. La solution de la géothermie basse énergie convient à la création d'un réseau de chauffage urbain, mais elle nécessite un investissement important due à la profondeur des forages.





A l'échelle du site, deux cavités souterraines ont été recensées. La première est située à environ 200 mètres du site sur la commune de Poitiers. Il s'agit d'une cave anthropique située rue du Champ des Fougères.

La seconde est une cavité naturelle. Il s'agit de la Grotte de la Picoterie n°2, qui se trouve à environ 500 mètres du périmètre opérationnel sur la commune de Migné-Auxances.



Source : Etude d'impact de la ZAC République IV

Deux aquifères ont été identifiés sur le périmètre de l'agglomération. Ceux-ci, séparés par les marnes imperméables du Toarcien, sont situés sur deux niveaux distincts :

- La nappe profonde : Cette première nappe est située à une profondeur de 120 mètres entre les lias inférieur et moyen. Cette source est globalement peu exploitée à cause de sa profondeur et de ses faibles débits ;
- La nappe superficielle : Cette nappe se situe à une profondeur de 25 à 30 mètres autour de Poitiers et alimentent de nombreuses sources (exemple : Source de Fleury – débit d'exploitation 800 m<sup>3</sup>/h).

Le site présente donc le potentiel pour réaliser de la géothermie.

#### **Faisabilité technique**

Les deux solutions de géothermie sont intéressantes. Malgré des investissements importants, elles permettraient de couvrir une bonne partie des besoins en chaleur (chauffage essentiellement) de toute une zone grâce à la valorisation de la chaleur contenue dans le sol. Elle implique de réaliser une étude de sol pour vérifier la température de l'eau de nappe à l'endroit du forage.

Pour se servir de cette énergie de la façon la plus efficace possible, des émetteurs à basse température devront être utilisés. Il deviendra peut être nécessaire d'ajouter à l'installation un chauffage d'appoint dans le cas de besoins importants d'eau chaude sanitaire.

## Synthèse

Critère	Commentaire	Avis H3C*	
		Centralisé	Décentralisé
Potentiel sur site	Potentiel existant, reste à confirmer	😊	😊
Performance	Coefficient de performance élevé (2,5 < COP < 3,5)	😊	😊
Investissement**	Important	😞	😞
Coût de l'énergie	Chaleur à faible coût, consommations d'électricité	😊	😊
Impact environnemental***	Electricité (0,084 TCO <sub>2</sub> /MWh)	😊	😊
Exploitation/maintenance	Faibles besoins de maintenance	😊	😊
Contrainte d'espace	Contraintes d'espace importante/Espace pour forages individuels	😞	😞



Exclu



Défavorable



Moyen



Favorable

### 4.2.2.4 Chaudières à condensation

#### Principe

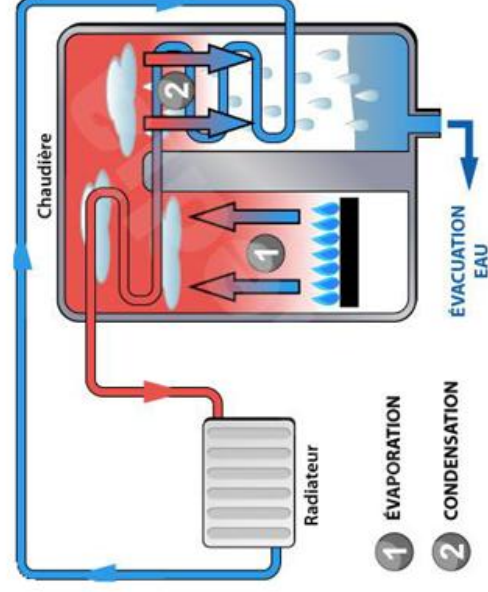
Les nouvelles technologies de chaudières à combustion utilisent le principe de la condensation pour améliorer le rendement de production, le rendant supérieur à 100%, ce qui fait que cette solution est intéressante d'un point de vue environnemental, bien qu'utilisant des énergies fossiles (gaz, fioul ou bois).

A ce titre, ce système fait partie des systèmes à étudier selon l'arrêté du 18 décembre 2007 relatif aux études de faisabilité des approvisionnements en énergie pour les bâtiments neufs en France métropolitaine.

Le principe consiste à récupérer l'énergie contenue dans les fumées de combustion pour préchauffer l'eau de retour de chauffage.

#### Potentiel du site

Cette solution est utilisable avec différentes énergies (bois, fioul ou gaz naturel), mais le gaz naturel paraît être la plus adaptée au niveau de l'investissement et des contraintes techniques à mettre en œuvre pour assurer la pérennité du système.





Le réseau de gaz arrivant aux abords immédiats de la zone République IV, la solution peut être envisagée.

*Pour plus d'informations sur le potentiel en gaz de la ZAC, se référer au paragraphe 4.1.2.3.*

### **Faisabilité technique**

L'utilisation de chaudières gaz à condensation est une solution fiable sur le plan du fonctionnement et qui utilise peu de place.

L'inconvénient est que pour que la condensation soit le plus efficace possible, il faudra utiliser un réseau d'eau basse température (température de départ  $\leq 60^{\circ}\text{C}$ ). Cependant, certaines chaudières permettent aujourd'hui de séparer un retour basse-température et un retour haute température, ce qui ne pose pas de problèmes pour la production d'eau chaude sanitaire par exemple.

Les chaudières à condensation sont utilisables aussi bien de manière décentralisée que centralisée avec réseau de chaleur. Cette dernière implique une généralisation des émetteurs de la zone à distribuer, mais les performances sont meilleures.

### **Synthèse**

Critère	Commentaire	Avis H3C*	
		Centralisé	Décentralisé
Potential sur site	Réseau de gaz à proximité	😊	😊
Performance	Rendement supérieur à 100%	😊	😊
Investissement**	Faible	😊	😊
Cout de l'énergie	Important	😊	😊
Impact environnemental***	0,234 TCO <sub>2</sub> /MWh	😞	😞
Exploitation/maintenance	Faibles besoins de maintenance	😊	😊
Contrainte d'espace	Faible	😊	😊



Exclu



Défavorable



Moyen



Favorable

### 4.2.3 Réseau de chaleur

La possibilité de raccordement ou de création à un réseau de chaleur et/ou de froid fait partie des solutions à étudier selon l'arrêté du 18 décembre 2007 relatif aux études de faisabilité des approvisionnements en énergie pour les bâtiments neufs en France métropolitaine.

Aucun réseau de chaleur n'est actuellement recensé à proximité de la ZAC. Aucun raccordement à un réseau de chaleur existant n'est envisagé.

L'intérêt de créer un réseau de chaleur sera déterminé en fonction des besoins en chaleur ou en froid de la ZAC, et en fonction du tracé du réseau de chaleur et de sa densité.

Cette solution fait l'objet d'une partie distincte, car elle est reliée à tous les autres systèmes à partir du moment où la solution collective serait retenue plutôt que la solution individuelle.

Les réseaux de chaleur peuvent être une réponse aux besoins de performance croissants des installations. La réglementation thermique 2012 a émis une liste de l'ensemble des réseaux de chaleur existants en France, avec leur niveau d'émission de CO<sub>2</sub> ainsi que la possible majoration du CEPmax<sup>4</sup> en fonction de leur impact écologique.

Pour bénéficier d'une augmentation du CEPmax, différents planchers sont admis :

Niveau d'émission de CO <sub>2</sub> admis [gCO <sub>2</sub> /kWh]*	Gain sur le CEPmax
150 < < 100	+ 10%
100 < < 50	+ 20 %
<50	+ 30%

Source : <http://www.cete-ouest.developpement-durable.gouv.fr>

Parmi les solutions collectives proposées, certaines nécessitent la création d'un réseau de chaleur afin de pouvoir distribuer l'énergie produite en chaufferie centralisée aux postes des différents bâtiments.

Le principal intérêt d'un réseau de chaleur est de réaliser des économies financières et de réduire les émissions de GES en utilisant des énergies renouvelables à grande échelle.

Bien qu'il faille ajouter aux consommations de chaque bâtiment les pertes thermiques du réseau, et que le rendement de production de la chaufferie centralisée soit répercuté sur le coût de la chaleur, la mutualisation des coûts, l'accès généralisée à une énergie plus propre et moins chère, et la mutualisation des investissements et opérations d'entretien-maintenance-renouvellement lourds, font de cette solution une solution intéressante en coût global et du point de vue de l'environnement.

Différents tracés de réseaux de chaleur peuvent être envisagés suivant les différentes implantations de chaufferie envisagées, et le périmètre des bâtiments raccordés.

Dans le cadre de la ZAC République IV, une des contraintes majeures d'un réseau de chaleur est la LGV (Ligne à Grande Vitesse). Le réseau de chaleur ne pourra s'étendre que d'un côté de la LGV. La création de plusieurs réseaux de chaleur sera peut-être à envisager.

Trois points sont importants pour juger de la faisabilité d'un réseau de chaleur.

---

<sup>4</sup> Consommation énergétique primaire maximale admissible dans un projet respectant la RT 2012

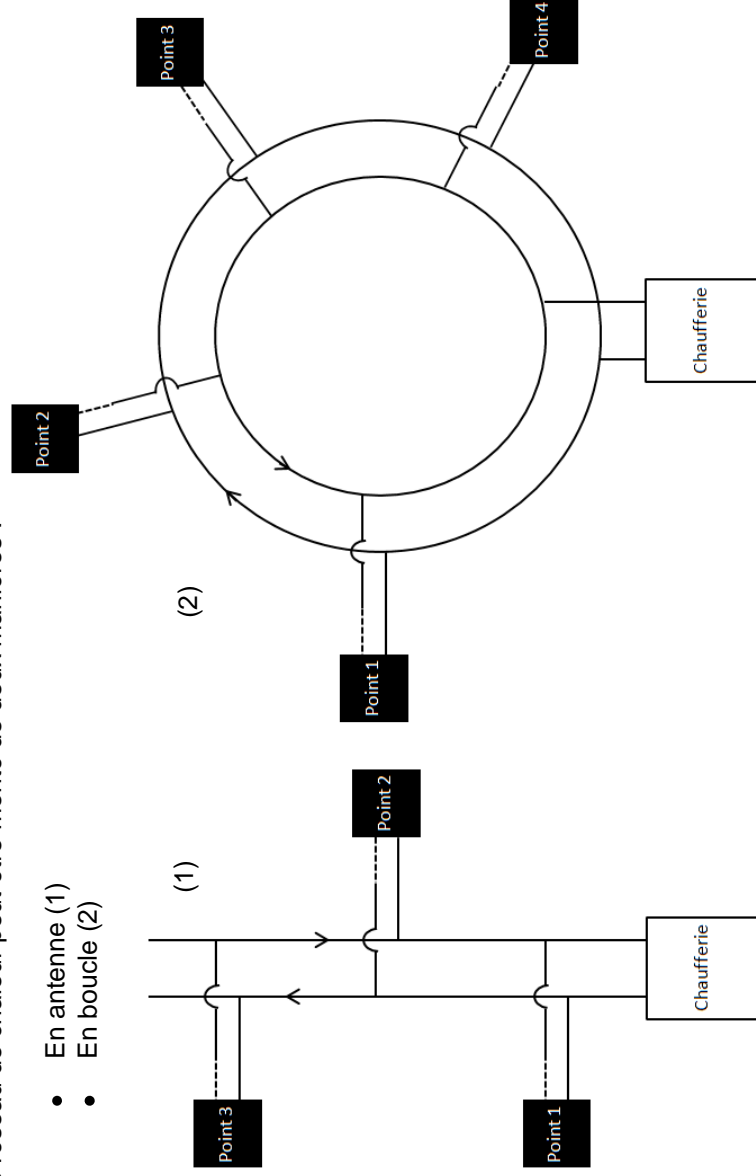
✓ **Le tracé du réseau de chaleur**

Dans un premier temps il est nécessaire de pouvoir définir le futur tracé du réseau de chaleur, de la chaufferie jusqu'aux sous-stations, qui permettront la distribution interne aux bâtiments. Afin d'éviter de trop lourds investissements et des complications d'interventions futures, les passages s'effectuent en priorité en pleine terre et éviteront les chaussées. La répartition des types de passages du réseau de chaleur fait varier le coût des travaux : l'impact urbanistique d'un passage sous chaussées est plus important qu'un passage en terre. L'optimisation des longueurs des différents tronçons du réseau permet de pouvoir augmenter les performances de celui-ci en fonction des pertes de charges et de la densité énergétique du réseau.

✓ **Le type de technologie du réseau de chaleur**

Le réseau de chaleur peut être monté de deux manières :

- En antenne (1)
- En boucle (2)



Un réseau en boucle sera plus évolutif qu'un montage en antenne, car il permettra le raccord de points de livraison de la chaleur sans modification du réseau, mais son coût est supérieur, et il est plus difficile à mettre en œuvre. Le choix de la typologie du réseau dépendra de l'étude des besoins.

✓ **La densité thermique du réseau de chaleur**

Alors que l'on juge de la performance d'un système de génération par son rendement, les réseaux de chaleurs sont quant à eux évalués en fonction de leurs densités thermiques : la quantité moyenne annuelle d'énergie transportée sur un mètre de réseau. Ce ratio permet aussi d'évaluer les possibilités de subventions, et ainsi d'envisager la rentabilité d'exploitation.

Les valeurs cibles de densité du réseau sont les suivantes :

- 1,5 MWhEF/ml – Valeur plancher pour les subventions de l'ADEME.
- 3 MWhEF/ml – Valeur plancher pour s'assurer de la rentabilité d'un réseau (valeur indicative, variable suivant l'importance du réseau).

#### 4.2.4 Synthèse générale

Le tableau suivant résume les avantages et inconvénients de chaque type d'énergie présenté, au regard des différents critères (potentiel, performance, coût, environnement, contraintes d'usage), afin d'établir un comparatif :

Critères	Eolien		Photovoltaïque		Cogénération		Solaire thermique		Bois énergie		Aérothermie		Géothermie		Condensation	
	C*	D**	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D
Potentiel du site	☹	☹	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺
Performance	☺	☺	☹	☹	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺
Investissement	☹	☹	☹	☹	☺	☺	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹
Coût de l'énergie	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺
Impact environnemental	☺	☺	☺	☺	☹	☹	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☹	☹
Exploitation/maintenance	☹	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☹	☹	☺	☺	☺	☺	☺	☺
Contrainte d'espace	☹	☺	☹	☺	☺	☺	☹	☹	☺	☺	☺	☺	☹	☹	☺	☺

\*C : Centralisé

\*\*D : Décentralisé

Ce comparatif sera étoffé suite à l'étude des besoins, en fonction de l'adéquation du projet, de manière à former une vraie matrice de choix permettant de guider le Maître d'Ouvrage dans la sélection de deux ou trois scénarios à étudier en coût global.

## 5 Estimation des besoins énergétiques

L'étude des besoins est fondée sur plusieurs hypothèses étant donné qu'il s'agit d'une simulation du comportement d'un ensemble de bâtiment en projet. L'objectif est d'atteindre les objectifs de la RT2012.

Ainsi il est nécessaire de définir des niveaux de consommation pour les différents postes suivants :

- Eclairage,
- Rafraichissement,
- Ventilation,
- Eau chaude sanitaire (ECS),
- Chauffage,
- Auxiliaire de chauffage.

Les besoins en éclairage, ECS, ventilation et auxiliaires de chauffage peuvent être estimés en fonction du type d'usage de chaque zone, de la surface concernée et du nombre d'occupants.

### 5.1 Hypothèses de base

#### 5.1.1 Répartition surfacique

Afin de réaliser une estimation des besoins, il est nécessaire de définir les usages des différents bâtiments. Les différentes typologies du projet ont donc été réparties selon des usages spécifiques (Tertiaire, Ateliers/Artisanat et Industrie).

Les hypothèses de répartition par usage retenues sont les suivantes :

Typologie	Usages		
	Tertiaire	Ateliers/Artisanat	Industrie
Grandes entités industrielles	2 %	13 %	85 %
Moyennes entités PME/PMI	10 %	40 %	50 %
Petites entités PME/PMI	50 %	50 %	0 %
Cité artisanale	10 %	90 %	0 %

En reprenant les hypothèses du tableau précédent, la répartition surfacique (au regard de la surface SHONRT\*) est présentée dans le tableau page suivante.

\* *Définition de la SHONRT : La RT2005 prenait en compte comme surface de référence la SHON (Surface Hors Oeuvre Nette). Afin de se rapprocher de la surface chauffée, la RT2012 introduit une nouvelle surface de référence qui est la SHONRT. La SHONRT est définie dans l'annexe III de l'arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments.*

Typologie	Usages			
	Tertiaire	Ateliers/Artisanat	Industrie	SOMME
Grandes entités industrielles	5 800 m <sup>2</sup>	37 900 m <sup>2</sup>	247 700 m <sup>2</sup>	291 400 m <sup>2</sup>
Moyennes entités PME/PMI	7 700 m <sup>2</sup>	30 700 m <sup>2</sup>	38 300 m <sup>2</sup>	76 700 m <sup>2</sup>
Petites entités PME/PMI	13 900 m <sup>2</sup>	13 900 m <sup>2</sup>	0 m <sup>2</sup>	27 800 m <sup>2</sup>
Cité artisanale	13 000 m <sup>2</sup>	116 900 m <sup>2</sup>	0 m <sup>2</sup>	129 900 m <sup>2</sup>
<b>SOMME</b>	<b>40 400 m<sup>2</sup></b>	<b>199 400 m<sup>2</sup></b>	<b>286 000 m<sup>2</sup></b>	<b>525 800 m<sup>2</sup></b>

Selon PTR02 – REP IV - Tableau de surfaces - SHON constructible - 17/01/2013

### 5.1.2 Hypothèses d'occupation

Les hypothèses d'occupation retenues (données internes à H3C-énergies basées sur des retours d'expérience) par type d'usage sont les suivantes :

- Bureaux : 1 occupant pour 15 m<sup>2</sup>
- Ateliers/Artisanat : 1 occupant pour 25 m<sup>2</sup>
- Industrie : 1 occupant pour 30 m<sup>2</sup>

### 5.1.3 Facteurs de conversion Energie Finale / Primaire

Les facteurs de conversion de l'Energie Finale (exprimée en PCI, Pouvoir Calorifique Inférieur) en Energie Primaire sont les suivants :

	Facteur de conversion
Electricité	2,58
Autres énergies	1

La consommation d'énergie primaire est la somme de l'énergie finale et de toutes les énergies qu'il a fallu pour extraire, stocker et distribuer l'énergie finale. Pour obtenir la consommation en Energie Primaire, il faut donc multiplier la consommation en Energie Finale par le facteur de conversion ci-dessus.

## 5.2 Consommations de référence

La RT 2012 définit une consommation maximale d'énergie primaire ( $Cep_{max}$ ) qui est une exigence de résultat et de respect en termes de consommation d'énergie. C'est une exigence de résultat limitant ainsi les consommations d'énergie primaire des 5 usages : chauffage, éventuelle climatisation, éclairage, eau chaude sanitaire, et les besoins électriques des auxiliaires permanents : pompes et ventilateurs.

La valeur du  $Cep_{max}$  est modulée selon plusieurs critères :

- Type de bâtiment et sa catégorie CE1/CE2\* ,
- Localisation géographique,
- Altitude,
- Surface moyenne du bâtiment,
- Type d'énergies utilisées

\* Définition CE1/CE2 : pour certains bâtiments, notamment ceux situés en zone de bruit des aéroports ou des voies rapides, il peut s'avérer nécessaire d'installer des systèmes actifs de refroidissement pour assurer un bon confort thermique d'été alors que les fenêtres sont fermées. Ces bâtiments, s'ils sont munis d'un tel système de refroidissement, ont alors le droit de figurer en catégorie « CE2 ». Tous les autres bâtiments sont dits de catégorie « CE1 ».

Le type de bâtiment est fonction de la nature des activités qu'il accueille. Trois types de bâtiments sont répertoriés sur la zone :

- Les bâtiments ou partie de bâtiments à usage de type tertiaire (bureaux, commerces...),
- Les zones d'ateliers ou d'artisanat,
- Les zones industrielles.

### 5.2.1 Consommation de référence des zones de type tertiaire

Le calcul de la consommation de référence en énergie primaire est défini par l'arrêté du 26 octobre 2010 et se réalise selon la formule suivante :

$$Cep_{max} = 50 \times Mc_{type} \times (Mc_{géo} + Mc_{alt} + Mc_{surf} + Mc_{GES})$$

Avec :

$Mc_{type}$  : coefficient de modulation selon le type de bâtiment ou de partie de bâtiment et sa catégorie CE1/CE2 ;

$Mc_{géo}$  : coefficient de modulation selon la localisation géographique ;

$Mc_{alt}$  : coefficient de modulation selon l'altitude ;

$Mc_{surf}$  : pour les maisons individuelles ou accolées et les bâtiments collectifs d'habitation, coefficient de modulation selon la surface moyenne des logements du bâtiment ou de la partie de bâtiment ;

$Mc_{GES}$  : coefficient de modulation selon les émissions de gaz à effet de serre des énergies utilisées.

<b>Mctype</b>	1,40
<b>Mcgéo</b>	1
<b>Mcalt</b>	0
<b>Mcsurf</b>	0
<b>Mcges</b>	0
<b>Cepmax bureaux</b>	<b>70 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>SHON<sub>RT-an</sub></b>

### 5.2.2 Consommation de référence des zones industrielles et d'artisanat

Le calcul de la consommation de référence en énergie primaire est défini par l'arrêté du 28 décembre 2012 et se réalise selon la formule suivante :

$$Cep_{max} = 50 \times MC_{type} \times (MC_{géo} + MC_{alt} + MC_{surf} + MC_{GES})$$

Avec :

$MC_{type}$  : coefficient de modulation selon le type de bâtiment ou de partie de bâtiment et sa catégorie CE1/CE2 ;

$MC_{géo}$  : coefficient de modulation selon la localisation géographique ;

$MC_{alt}$  : coefficient de modulation selon l'altitude ;

$MC_{surf}$  : pour les maisons individuelles ou accolées et les bâtiments collectifs d'habitation, coefficient de modulation selon la surface moyenne des logements du bâtiment ou de la partie de bâtiment ;

$MC_{GES}$  : coefficient de modulation selon les émissions de gaz à effet de serre des énergies utilisées.

$MC_{type}$	2,80
$MC_{géo}$	1
$MC_{alt}$	0
$MC_{surf}$	0
$MC_{ges}$	0
$Cep_{max}$ industrie et artisanat	140 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> SHON <sub>RT-an</sub>

### 5.2.3 Consommation de référence moyenne

Le  $Cep_{max}$  retenu pour la suite de l'étude est le  $Cep_{max}$  moyen rapporté à la surface de chaque zone, soit :

$$Cep_{max} = 134,63 \text{ kWh}_{ep}/m^2\text{SHONRT.an}$$

## 5.3 Besoins d'éclairage

Dans les bâtiments BBC (Bâtiment Basse Consommation) ou RT2012, la maîtrise des consommations d'éclairage est un élément capital. En effet l'éclairage peut constituer une part importante des consommations d'énergie primaire et représenter une source d'apports de chaleur interne qui nécessitera du rafraichissement en été.

La RT 2012 n'impose pas de limite de puissance électrique installée (watts par mètre carré) ; seules comptent les consommations d'énergie annuelles globales des 5 usages. Il est toutefois nécessaire de fixer des objectifs de consommations d'éclairage cohérents pour respecter la consommation de référence globale.

Ainsi plusieurs mesures décrites ci-dessous sont à mettre en œuvre pour assurer l'efficacité énergétique du bâtiment et le confort des occupants.



### 5.3.1 Besoins d'éclairage des zones de type tertiaire

Pour limiter les consommations d'éclairage, il est recommandé de mettre en œuvre les actions suivantes :

- Système d'éclairage performant (par exemple tube T5 à ballast électronique A1) ;
- Asservissement à des cellules de gestion (présence, niveau d'éclairage) ;
- Zonage des circuits d'éclairage ;
- Recours à l'éclairage naturel (au moins 1/6 de la SHONRT selon la RT2012) ;

L'hypothèse de puissance d'éclairage retenue dans les zones de type tertiaire pour une installation économe en énergie est de 6,5 W/m<sup>2</sup>. En partant de cette hypothèse, la puissance totale liée à l'éclairage sera de 262 kW, soit des besoins énergétiques annuels de 409 MWh/an.

### 5.3.2 Besoins d'éclairage des zones d'Ateliers/Artisanat

Pour limiter les consommations d'éclairage, il est recommandé de mettre en œuvre les actions suivantes :

- Système d'éclairage performant (par exemple lampes sodium à décharge pour les zones à hauteur sous plafond importante, sinon tube T5 à ballast électronique A1) ;
- Asservissement à des cellules de gestion (présence, niveau d'éclairage) ;
- Zonage des circuits d'éclairage ;
- Recours à l'éclairage naturel (au moins 1/6 de la SHONRT selon la RT2012) ;

En fonction de l'usage des ateliers et de leur hauteur sous plafond, les exigences d'éclairage peuvent varier de manière importante. Par exemple un atelier d'orfèvrerie demandera un niveau d'éclairage plus important qu'un atelier de menuiserie. Le ratio de puissance d'éclairage suivant est donc issu d'une moyenne intégrant ces différents paramètres.

L'hypothèse de puissance d'éclairage retenue dans les zones d'ateliers et artisanat pour une installation économe en énergie est de 8 W/m<sup>2</sup>. En partant de cette hypothèse, la puissance totale liée à l'éclairage sera de 1 594 kW, soit des besoins énergétiques annuels de 3 316 MWh/an.

### 5.3.3 Besoins d'éclairage des zones industrielles

Pour limiter les consommations d'éclairage, il est recommandé de mettre en œuvre les actions suivantes :

- Système d'éclairage performant (par exemple lampes sodium à décharge pour les zones à hauteur sous plafond importante, sinon tube T5 à ballast électronique A1) ;
- Asservissement à des cellules de gestion (présence, niveau d'éclairage) ;
- Zonage des circuits d'éclairage ;
- Recours à l'éclairage naturel (au moins 1/6 de la SHONRT selon la RT2012) ;
- Prise en compte de la hauteur sous plafond lors de la répartition de l'éclairage ;

Pour les mêmes raisons que les ateliers, les exigences d'éclairage peuvent varier de manière importante d'un usage à un autre (Par exemple entre un entrepôt de stockage et une zone de production). Le ratio de puissance d'éclairage suivant est donc issu d'une moyenne intégrant ces différents paramètres.

L'hypothèse de puissance d'éclairage retenue dans les zones industrielles pour une installation économe en énergie est de 7,5 W/m<sup>2</sup>. En partant de cette hypothèse, la puissance totale liée à l'éclairage sera de 2 145 kW, soit des besoins énergétiques annuels de 4 462 MWh/an.

### 5.3.4 Synthèse des besoins d'éclairage

La puissance totale d'éclairage est de 4 MW (issue de la somme des puissances d'éclairage installées en  $W/m^2$ , pour l'ensemble de la zone), ce qui représente une consommation annuelle de 8 187 MWh/an, soit :

**Cep éclairage : 40 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>SHON<sub>RT</sub>.an**

### 5.3.5 Besoins d'éclairage extérieur

L'étude des besoins d'éclairage extérieur est traitée indépendamment car ceux-ci ne rentrent pas en compte dans le calcul RT 2012 (calcul effectué par bâtiment, et non à l'échelle de la ZAC).

Un outil de calcul interne (selon la norme EN 13-201) a permis d'estimer les besoins d'éclairage avec les données d'entrée suivantes :

- Catégorie de la voie : voies urbaines,
- Type de voie : voie urbaine secondaire,
- Niveau d'éclairement ambiant nécessaire : environ 15 lux,
- Longueur totale de voie : 7500 mètres.

Les calculs de besoins d'éclairage ont été estimés en prenant les hypothèses suivantes :

- Lampes de type LED, conformément au cahier des charges des aménagements de Poitiers,
- 60 W par ampoule.

La puissance totale nécessaire est de 22,5 kW et les besoins en éclairage extérieurs sont de 94 500 kWh/an.

## 5.4 Besoins de rafraichissement

L'objectif des bâtiments RT2012 est de limiter au maximum l'usage de la climatisation et du rafraichissement. Ceci est d'autant plus difficile sur des bâtiments fortement isolés et ayant de forts apports internes. Les deux grands axes de travail sont la conception architecturale bioclimatique et le choix de systèmes performants :

- Protections solaires des vitrages (casquettes, stores extérieurs à lames orientables ...)
- Travail sur l'inertie du bâtiment (isolation par l'extérieur, végétalisation des toitures ...)
- Limitation des apports internes ;
- Gestion du renouvellement d'air (free-cooling ...)

Dans l'hypothèse où le confort d'été sera optimisé pour limiter l'utilisation de la climatisation à :

- quelques locaux serveurs (525 kW sur l'ensemble de la ZAC, fonctionnement continu) ;
- 10 % de la surface totale des ateliers et industries (145 kW, fonctionnement continu, dans l'hypothèse d'un rafraichissement lié à des contraintes de process, en excluant l'utilisation de la climatisation pour des besoins liés au confort) ;

Les besoins électriques annuels seront donc de 5 880 MWh/an pour le rafraichissement. Dans l'hypothèse d'un rendement de climatisation de 300%, la consommation en énergie primaire est la suivante :

**Cep rafraichissement : 10 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>SHON<sub>RT</sub>.an**



## Etude de faisabilité du développement des énergies renouvelables sur la ZAC République IV



Réf : 12071

Date : 30/08/2013

Auteur(s) : CAN, ART, NRO

Validé par : MGU

Page 59/94

### 5.5 Besoins de ventilation

Les systèmes de ventilation doivent permettre d'assurer les débits de renouvellement d'air réglementaires tout en assurant le confort thermique des occupants. La solution technique de référence intègre la mise en place de :

- Récupérateurs de chaleur haut rendement (récupérateur à roue, rendement de 85%) ;
- Ventilateurs à variation de vitesse ;
- Asservissement du débit d'air (présence, CO<sub>2</sub>, température) ;

Les débits de ventilation retenus pour le calcul des besoins sont les suivants :

	Tertiaire	Ateliers/Artisanat	Industrie
Débit hygiéniques	25 m <sup>3</sup> /heure	45 m <sup>3</sup> /heure	60 m <sup>3</sup> /heure

Extrait de l'Article R4222-6 du Code du Travail

Les besoins électriques annuels seront donc de 2 395 MWh/an pour le rafraîchissement, soit :

**Cep rafraîchissement : 12 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>SHON<sub>RT</sub>.an**

### 5.6 Besoins en Eau Chaude Sanitaire

Les ratios de consommations pour le calcul des besoins en ECS (Eau Chaude Sanitaire) ont été assimilés à des besoins en ECS pour des bâtiments tertiaires, soit 3 litres par jour et par personne (*données internes à H3C-énergies basées sur des retours d'expérience*).

- Estimation du volume d'ECS :

Usage	Ratio de consommation	Nombre	Consommation journalière
Bureaux	3 l/jour/occupant	2700	8 100 l/jour
Ateliers/Artisanat	3 l/jour/occupant	7800	23 400 l/jour
Industrie	3 l/jour/occupant	9500	28 500 l/jour
			<b>60 000 l/jour</b>
			<b>14 100 m<sup>3</sup>/an</b>

- Estimation du besoin énergétique d'ECS :

Température ECS	60°C
Température EF	10°C
Différence de température	50°C
Volume d'ECS annuel	14 100 m <sup>3</sup>
Energie ECS annuelle	819 915 kWh/an

Etant donné que le profil de puisage principal de l'ECS est de type tertiaire (lavage de main principalement), l'évaluation des consommations en énergie primaire à été réalisée selon l'hypothèse de la mise en place de cumulus électriques décentralisés à proximité des points de puisages. Dans ce cas, le rendement d'ECS est de 70%, soit une consommation en énergie primaire de :

$$\text{Cep ECS} : 6 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^3\text{SHON}_{\text{RT-an}}$$

## 5.7 Besoins de chauffage et des auxiliaires

La démarche de calcul des besoins de chauffage est différente de celle du calcul des besoins des autres postes. Les besoins de chauffage étant principalement liés à la performance du bâti, il n'est pas possible de les estimer de cette façon. En utilisant la consommation de référence maximale donnée par la RT2012 (Cepmax) il est possible d'en déduire la consommation maximale liée au chauffage et aux auxiliaires de chauffage (pompes, servo-moteurs...).

La consommation est le produit des besoins en énergie et du rendement des équipements.

Les consommations de chauffage vont donc dépendre en grande partie du type de scénario retenu (rendements de production, de régulation, de distribution et d'émission), ainsi que de la qualité thermique de l'enveloppe du bâtiment (besoins de l'enveloppe).

Afin d'atteindre les objectifs de consommation fixés par la RT 2012 (Cepmax = 135 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.an), les consommations de chauffage seront déduites de la façon suivante :

$$C_{\text{CH}} = \text{Cep}_{\text{max}} - C_{\text{HCH}}$$

Avec :

- C<sub>CH</sub> : Consommation de chauffage,
- Cep<sub>max</sub> : Objectif de consommation fixé par la RT 2012 (135 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.an),
- C<sub>HCH</sub> : Consommation hors chauffage.

Les **consommations hors chauffage** (éclairage, ventilation, rafraîchissement, auxiliaires, ECS) seront basées sur l'étude des besoins précédente.

Les **consommations de chauffage** seront donc propres à chaque scénario, en fonction des rendements et du type de solution retenue. Plus les consommations de chauffage obtenues sont basses et plus le bâtiment devra disposer d'une enveloppe performante.

### Cep chauffage : fonction du moyen de production choisi

Notons cependant que la production d'ECS peut être combinée dans certains cas avec la production de chaleur destinée au chauffage.

Seront ensuite calculées les puissances déperditives des bâtiments afin de déterminer les puissances à fournir pour maintenir les températures de consigne imposés. Ces puissances devront compenser les pertes de chaleur des bâtiments. Les hypothèses retenues pour le calcul des consommations de chauffage sont les suivantes :

Données climatiques	Zone climatique	H2B
	Altitude	source : Réglementation thermique 115 m source : Géo Portail
Données du site	Température extérieure de base	source : Réglementation thermique - 7 °C
	Saison de chauffe	De mi-octobre à mi-mai Donné à titre indicatif, par expérience
	Température moyenne de confort	19°C
	Température de réduit	16 °C
	Intermittence*	83 %
DJU base 18 sur la saison de chauffe	2 270 source : Météo France	

\* Dépend du nombre d'heures de confort, de réduit et de leurs DJU associés

*Définition de DJU : pour un lieu donné, le Degré Jour est une valeur représentative de l'écart entre la température d'une journée donnée et un seuil de température préétabli, généralement sur une base de 18°C (d'où l'appellation DJU-base 18). Les degrés-jours sont calculés à partir de relevés de températures extérieures établis sous forme de bases de données annuelles ou trentenaires. Pour chaque jour, le nombre de DJU est calculé en faisant la différence entre une température de référence 18°C et la moyenne des températures minimales et maximales de ce jour. Les DJU sont ensuite additionnés sur une période de chauffage.*

Les puissances de chauffage, seront obtenues à partir des consommations de chauffage, calculées grâce à la formule suivante :

$$\text{Puissance [kW]} = \frac{C \times \Delta T}{24 \times \text{DJU} \times i}$$

DJU : Degré Jour Unifié [°]

i : Intermittence de chauffe (83 dans cette étude) [%]

C : Consommations en chauffage [kWh]

$\Delta T$  : Ecart entre la température de consigne et la température extérieure de base [26 °C dans l'étude]



## Etude de faisabilité du développement des énergies renouvelables sur la ZAC République IV



Réf : 12071

Date : 30/08/2013

Auteur(s) : CAN, ART, NRO

Validé par : MGU

Page 62/94

### 5.8 Besoins liés aux « process »

Les besoins des « process » ont été estimés par retour d'expérience et correspondent à la moyenne de consommation constatée sur plusieurs industries. Attention, suivant le type d'industrie implantée, les consommations des « process » peuvent s'écarter de façon significative des valeurs ci-dessous.

Nota Bene : *il existe peu de retours d'expérience sur la question, il n'y a pas de chiffres clés de l'ADEME pour le secteur de l'industrie, et les valeurs de consommation peuvent être très variables suivant l'activité accueillies. Les estimations faites par H3C-énergies, discutables, permettent avant tout de fixer les hypothèses de consommation de la future ZAC pour comparer différents scénarios d'approvisionnement en énergie sur une même base de consommations.*

#### 5.8.1 Besoins liés aux « process » des Ateliers/Artisanat

Par retour d'expérience, les besoins électriques annuels des « process » des Ateliers ont été estimés à 75 600 kWh/an. Dans l'hypothèse d'un rendement des « process » de 80%, la consommation en énergie primaire est la suivante :

**Cep « Process » ateliers/artisanat : 184 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>SHON<sub>RT-an</sub>**

#### 5.8.2 Besoins liés aux « process » des Industries

Par retour d'expérience, les besoins énergétiques sont estimés à 651 800 MWh/an. Dans l'hypothèse d'un rendement des « process » de 80%, la consommation en énergie primaire est la suivante :

**Cep « Process » industries : 3 000 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>SHON<sub>RT-an</sub>**

## 5.9 Synthèse des Besoins / Consommations

### 5.9.1 Synthèse des besoins

Le tableau suivant présente la synthèse des besoins énergétiques de la ZAC :

	Besoins en MWh/an	
	Electricité	Autres énergies
Eclairage	8 190	
Eclairage extérieur	95	
Rafraichissement	5 900	
Ventilation	2 400	
ECS		800
« Process »	727 400	
Chauffage		Suivant scénario
Auxiliaire		Suivant scénario
<b>TOTAL HORS CHAUFFAGE, AUXILIAIRES ET ECLAIRAGE EXTERIEUR</b>		<b>744 700</b>

Les besoins liés aux activités de process sont prépondérants. Bien que ce chiffre puisse varier suivant les activités accueillies sur la future ZAC, ce chiffre paraît raisonnable au regard de ce type d'opération d'aménagement.

Le tableau ci-dessous représente les besoins par activités et par usage :

	Besoins en MWh/an		
	Tertiaire	Atelier	Industrie
Eclairage	410	3 320	4 460
Eclairage extérieur		95	
Rafraichissement	160	1 540	4 200
Ventilation	280	540	1 580
ECS	100	190	520
« Process »	-	75 600	651 800
Chauffage		Suivant scénario	
Auxiliaire		Suivant scénario	
<b>TOTAL HORS CHAUFFAGE, AUXILIAIRES ET ECLAIRAGE EXTERIEUR</b>	<b>950</b>	<b>81 190</b>	<b>662 560</b>

Les besoins, essentiellement liés à l'activité de process, sont donc prépondérants pour les zones d'industrie.

### 5.9.2 Synthèse des consommations en énergie primaire

Les consommations en énergie primaire ont été obtenues par l'application de rendements sur les besoins et selon les coefficients de conversion énergie finale/énergie primaire définis dans les hypothèses de base. Selon le type d'énergie utilisée, il est possible de calculer les consommations en énergie primaire pour chaque poste :

Consommations annuelles totales en Energie Primaire Cep (kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> SHON <sub>RT-an</sub> )	
Eclairage	50 kWhEP
Rafraichissement	36 kWhEP
Ventilation	15 kWhEP
ECS	7 kWhEP
<b>Cep max chauffage + auxiliaires</b>	<b>27 kWhEP</b>
<b>Cep max RT2012</b>	<b>135 kWhEP</b>
<b>Process</b>	<b>3 184 kWhEP</b>
<b>TOTAL</b>	<b>3 319 kWhEP</b>

Pour rappel, les consommations de chauffage et des auxiliaires sont calculés par la différence des objectifs de consommation fixés par la RT 2012 (Cep = 135 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.an) et des autres consommations.

### 5.9.3 Matrice de choix des scénarios

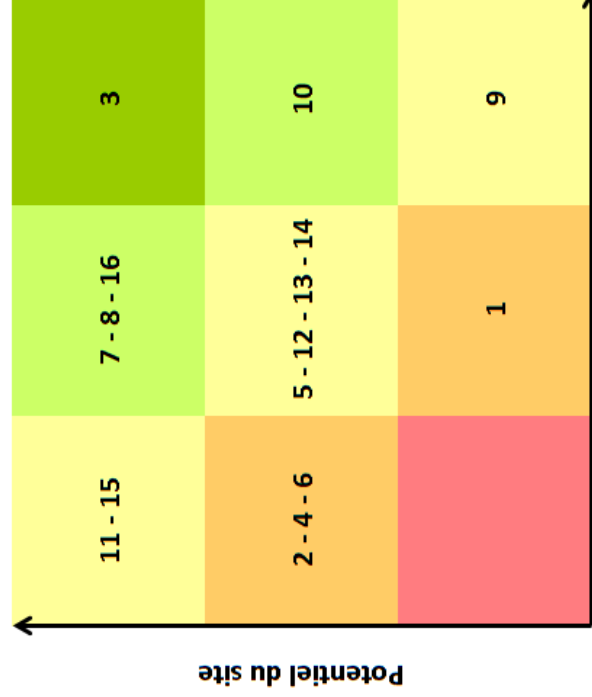
Le graphique ci-après, communément appelé « boîte à neuf cases », permet de positionner les différentes solutions d'approvisionnement en énergies renouvelables, en fonction de leur adéquation avec le projet et de leur potentiel d'implantation sur site. Il constitue ainsi une aide à la sélection des scénarios à étudier en coût global pour la suite de l'étude.

Pour chaque solution d'approvisionnement en énergies renouvelables, deux cas sont considérés, suivant si la production d'énergie est centralisée ou décentralisée.

Une solution de production est dite « centralisée » dans le cas d'une production de chaleur ou d'électricité globale au site ou a minima commune à plusieurs bâtiments, et elle est dite « décentralisée » dans le cas d'une production de chaleur ou d'électricité propre à chaque bâtiment. On parle aussi de solutions « collectives » ou « individuelles ».

Le graphique se lit de la façon suivante : plus une solution se situe « dans le vert », et plus elle est intéressante, car présentant à la fois un bon potentiel sur site et une bonne cohérence avec le projet. Plus elle est « dans le rouge », et moins elle sera intéressante à étudier.





**Adéquation avec le projet**

Production centralisée		Production décentralisée	
1	Eolien	9	Eolien
2	Photovoltaïque	10	Photovoltaïque
3	Cogénération	11	Cogénération
4	Solaire thermique	12	Solaire thermique
5	Bois énergie	13	Bois énergie
6	Aérothermie	14	Aérothermie
7	Géothermie	15	Géothermie
8	Condensation	16	Condensation

L'évaluation du potentiel sur site est issue de la synthèse générale du diagnostic de potentiel ENR du présent rapport. L'évaluation de l'adéquation avec le projet est guidée par les besoins énergétiques calculés précédemment.

La lecture du graphique met en évidence que les solutions les plus favorables au contexte énergétique de la ZAC sont donc avant tout la solution « Cogénération centralisée », car le potentiel de gaz est présent sur site, et que la production d'électricité est intéressante pour couvrir une partie des besoins énergétiques de la ZAC, mais aussi les solutions « Géothermie centralisée » (la géothermie étant rarement intéressante financièrement en solution décentralisée), « Condensation », « Photovoltaïque décentralisé » (une installation de panneaux solaires photovoltaïque centralisée demande beaucoup d'espace, alors que l'espace individuel des toitures peut être exploité). Les solutions de production d'énergie éolienne peuvent être écartées en raison de leur faible potentiel énergétique. Les besoins en eau chaude sanitaire sont faibles, ce qui limite le recours au solaire thermique. Les solutions bois énergie, aérothermie ou géothermie peuvent être étudiées.

Les scénarios à étudier peuvent être mixtes ; ils peuvent combiner plusieurs modes de production d'énergie (par exemple : chaufferie centralisée au bois et solaire thermique décentralisé).



## Etude de faisabilité du développement des énergies renouvelables sur la ZAC République IV



Réf : 12071

Date : 30/08/2013

Auteur(s) : CAN, ART, NRO

Validé par : MGU

Page 66/94

### 5.9.4 Conclusions sur le choix des scénarios à étudier

#### Les besoins importants en électricité des zones industrielles

L'étude a permis de révéler des besoins importants en électricité dans les zones industrielles notamment en raison de la présence de « process ». Il est à rappeler toutefois que les consommations liées au « process » sont difficiles à estimer car elles dépendent de la nature de l'industrie implantée, donnée qui n'est à ce jour pas connue.

Afin de réduire le recours massif à l'électricité du réseau pour alimenter les industries, il est judicieux de produire une partie de l'électricité localement. Ainsi, la mise en place d'une cogénération centralisée et/ou de panneaux solaires photovoltaïques en solution décentralisée serait une solution pertinente. Il est à noter toutefois que le potentiel du site pour la mise en place de panneaux solaires photovoltaïques est moyen.

D'autre part, les besoins de chaleur des industries risquent d'être réduits car les apports internes liés aux « process » vont compenser une partie du chauffage en hiver. A l'inverse, en été, l'usage à la climatisation pour rafraîchir les locaux pourrait être assez important. Il est donc nécessaire de porter une attention particulière à la conception bioclimatique des locaux industriels.

#### Production centralisée ou décentralisée ?

En cas de production centralisée, la chaufferie principale devrait se situer idéalement à proximité du Rond-point de l'Avenue de la Loge sur la D757. Après une première évaluation de la densité de réseau dans ce cas, la zone située à l'Ouest de l'Avenue de la Loge a une densité énergétique de **3,2 MWhEF/ml**, contre **2,6 MWhEF/ml** pour la zone à l'est.

La zone située au sud a été exclue car elle dispose d'une densité moyenne et que les coûts d'investissement pour la relier à un futur réseau de chaleur seront potentiellement très importants car cette zone se situe de l'autre côté de la Ligne Grande Vitesse.

La densité énergétique correspond à la quantité annuelle d'énergie que peut transporter un mètre de réseau. Ce ratio permet aussi d'évaluer les possibilités de subventions. Les valeurs cible sont les suivantes :

- **1,5 MWhEF/ml** – Valeur plancher pour les subventions de l'ADEME.
- **3 MWhEF/ml** – Valeur plancher pour s'assurer de la rentabilité d'un réseau (valeur indicative, variable suivant l'importance du réseau)

A ce stade de l'étude, le périmètre de la ZAC est donc propice à la mise en place d'un réseau de chaleur (Zone sud exclue), mais une étude plus poussée est nécessaire pour s'en assurer.

Les scénarios les plus pertinents dans le cas d'une production centralisée sont la mise en place d'une chaufferie bois ou chaufferie gaz à condensation associée à une cogénération, ou une PAC géothermique.

#### Cas du solaire thermique

Etant donné les faibles besoins en ECS (Eau Chaud Sanitaire), la mise en place de panneaux solaires thermiques ne semble pas justifiée. Toutefois, lorsque les besoins seront mieux connus, il pourra être judicieux d'avoir recours à ce type de production décentralisée d'ECS. Par exemple dans l'hypothèse de création de cuisine, vestiaires, « process » utilisant de l'ECS...

## 6 Etude des scénarios

### 6.1 Logique de coût global actualisé sur un cycle de vie

Une démarche de projet en coût global doit permettre de s'élever au-dessus des considérations à court terme souvent dictées par des budgets d'investissement limités ou par des solutions techniques classiques. En intégrant la logique du coût global, le Maître d'Ouvrage accorde la priorité à des solutions durables favorisant l'efficacité énergétique et l'environnement.

Le coût global intègre naturellement les coûts « immédiats » d'investissements initiaux, mais allant au-delà des études de projets classiques, il intègre aussi les coûts « différés » d'exploitation sur le long terme ou sur le cycle de vie de l'installation. Ces coûts d'exploitation intègrent les coûts liés aux achats et ventes d'énergie, à l'entretien et à la maintenance, mais aussi à la fiscalité.

Cette réflexion implique impérativement des calculs précis des consommations futures, une estimation de l'évolution des prix des énergies à moyen terme et une évaluation des coûts d'entretien, maintenance et renouvellement. Outre les aspects financiers et fiscaux, un taux d'actualisation est fixé afin de comparer les coûts globaux actualisés de chaque scénario.

L'étude de desserte énergétique fait apparaître pour les différents scénarios envisageables :

- Les coûts des postes P1, P2, P3, P4 et P6,
- La consommation en énergie primaire et finale,
- Les émissions de gaz à effet de serre calculées sur la base des consommations d'énergie.

L'étude prend en compte les postes suivants relatifs à la fourniture d'énergie, la vente d'énergie, les prestations de service et les aspects fiscaux :

- P1 : Achats d'énergie (gaz, électricité des auxiliaires) et vente d'électricité de la cogénération,
- P2 : Prestations de conduite, entretien courant,
- P3 : Prestations de maintenance et gros entretien renouvellement avec garantie de résultats et garantie totale,
- P4 : Remboursement de l'emprunt en annuité constante,
- P6 : Aspects fiscaux.

### 6.2 Présentation des scénarios

La présente étude établit un comparatif économique en termes de coût global sur 25 ans des solutions suivantes envisagées.

En concertation avec La Communauté d'Agglomération du Grand Poitiers, les scénarios étudiés sont les suivants :

- Scénario 1 : **cogénération en solution centralisée (réseau de chaleur) + solaire thermique + solaire photovoltaïque** (pour l'industrie).
- Scénario 2 : **géothermie en solution centralisée + solaire thermique + solaire photovoltaïque** (pour l'industrie).
- Scénario 3 : **chaudières gaz à condensation en solution décentralisée + solaire thermique**.

Ces trois scénarios d'approvisionnement en énergies renouvelables seront étudiés en coût global, et comparés à une solution de référence n'intégrant aucune énergie renouvelable.

Il s'agit du scénario 0 : **chaudières à gaz classiques en solution décentralisée**.

*NB : le solaire thermique pour couvrir une partie des besoins en eau chaude sanitaire est couplé à un appoint électrique.*

### 6.2.1 Scénario 0 - Chaudières à gaz classiques en solution décentralisée

#### ➤ Présentation du scénario

Ce premier scénario est un scénario de base n'incluant aucune énergie renouvelable. Il est réalisé principalement pour voir l'influence de l'utilisation d'énergies renouvelables sur le coût global du bâtiment. La production de chaleur est assurée par des chaudières gaz classiques décentralisées dans chaque bâtiment.

Celles-ci seront alimentées par un réseau de gaz desservant l'ensemble de la zone. Le gaz sera alors distribué sur le périmètre du site via un réseau enterré et alimentera chaque bâtiment. Des compteurs individuels de gaz devront être installés dans chaque parcelle (109 points de livraisons) pour permettre le suivi des consommations et de la facturation.

L'eau chaude sanitaire est, quant à elle, produite électriquement à l'aide de chauffe-eaux installés dans chaque chaudière.

#### ➤ Descriptif technique

Chaque chaudière sera composée d'une chaudière qui couvrira la totalité des besoins de chauffage de sa parcelle. Tout le matériel nécessaire au bon fonctionnement de l'installation devra être présent : soupapes de sécurités, filtres, vase d'expansion...

La distribution dans les réseaux secondaires (émetteurs) sera effectuée à l'aide d'une pompe à débit variable pour ajuster le débit d'eau en fonction des besoins. Le débit d'eau sera régulé par l'évolution de la température extérieure.

Les tuyauteries devront être calorifugées de façon à limiter au maximum les pertes de chaleur sur le réseau.

L'eau chaude sanitaire sera produite avec des chauffe-eaux électriques installés en chaudière sauf si celle-ci est trop éloignée des points de puisage. Dans ce cas, des mesures devront être prises pour approcher au maximum le chauffe-eau de façon à limiter les pertes de chaleur sur le réseau.

#### ➤ Dimensionnement

##### - Production de chaleur en chaudière

Pour dimensionner les chaudières, les parcelles avec des besoins similaires en terme de puissance utile ont été regroupées (tous les 50kW) de façon à n'avoir que 14 typologies différentes de chaudière. La puissance utile des parcelles varie donc de 50kW à 1450kW. Le tableau suivant montre le nombre de parcelles en fonction de leur puissance :

Puissance kW	50	100	150	200	250	300	350	400	500	550	750	950	1100	1450
Nombre	30	7	20	7	8	5	13	7	7	1	1	1	1	1

Selon les classes de puissances, ce sont les chaudières, les pompes, mais aussi les tuyauteries qui varient. Les débits des pompes de chaque chaudière ont été calculés avec la formule :

$$Q_m = P / (C_p \cdot \Delta t^\circ)$$

Avec : P : Puissance de la production [kW]

Q<sub>m</sub> : Débit massique : Débit d'eau [kg/s]

C<sub>peau</sub> : Chaleur massique de l'eau (= 4.185 [kJ/kg.K])

Δt° : différence de température départ / retour du réseau (20°C)

Les débits ont permis de déterminer le diamètre des canalisations primaires en se fixant une vitesse de déplacement du fluide à 1 m/s à partir de la formule suivante :

$$D_{int} = \sqrt{(Q_m \times 4) / (\rho \cdot \pi \cdot v)}$$

Avec : Dint : Diamètre intérieur de la tuyauterie

$\rho$  : Masse volumique de l'eau (=1000 kg/m<sup>3</sup>)

v : Vitesse du fluide (=1 m/s)

#### - Eau chaude sanitaire

Pour l'eau chaude sanitaire comme pour les puissances de chauffage, des classes de besoins d'eau chaude ont été identifiées. Elles sont les suivantes :

Besoin l/jour	125	250	350	430	570	630	790	930	1250	2080	2150	2270
Nombre	33	17	16	11	4	16	7	1	1	1	1	1

Les volumes des ballons de stockage correspondent aux consommations journalières des bâtiments.

#### ➤ Synthèse énergétique

Des rendements ont été estimés afin de déterminer les consommations énergétiques de chaque solution et de les comparer entre elles. Les rendements (sur PCI) de la solution de base S0 sont les suivants :

S0 $\eta$ PCI	
$\eta_{production}$	95%
$\eta_{regulation}$	98%
$\eta_{distribution}$	95%
$\eta_{émission}$	95%
$\eta_{CHAUFFAGE}$	<b>84%</b>
$\eta_{ECS}$	70%

$$\eta_{CHAUFFAGE} = \eta_{production} \times \eta_{regulation} \times \eta_{distribution} \times \eta_{émission}$$

Ainsi, on obtient les consommations annuelles suivantes :

	Besoins totaux chauffage MWh PCI /an	Consommations Gaz MWh PCI /an
S0	31 323,07	37 279,27

Les besoins d'électricité majoritairement fixes entre chaque scénario. Seul le poste eau chaude sanitaire fait varier ces besoins en fonction du moyen de production retenu. Le poste Eau chaude Sanitaire sera donc le seul poste prit en compte dans l'étude en coût global.

Le rendement appliqué aux besoins pour connaître les consommations ne correspond qu'au rendement de production de l'eau chaude sanitaire. Il intègre les pertes de chaleur dues à la longueur du réseau ou aux pertes thermiques du ballon de stockage.

Ce rendement ne diffère pas selon les scénarios.

	Besoins ECS MWh PCI	Consommation ECS MWh PCI
S0	827,91	1 182,73

➤ **Coûts d'investissement et frais d'exploitation**

L'investissement Hors Taxes est calculé en regroupant les parcelles de la même manière que pour le dimensionnement, en fonction de leur puissance, puis de leur besoin en eau chaude sanitaire.

A l'investissement des chaufferies il faut ajouter l'investissement généré par la création du réseau de gaz. Les investissements calculés par classe de puissance sont résumés dans le tableau ci-dessous. L'investissement total pour le scénario S0 s'élève à 4 769 560€.

L'investissement calculé comprend les postes suivants :

- Chaufferies Gaz classiques des 109 parcelles de la ZAC.
- Raccordement gaz des 109 parcelles
- 

Puissance	Coût Chaufferie	Nombre	Total Chaufferie
<b>50,00</b>	30334,68	30	910 040,40
<b>100,00</b>	32931,68	7	230 521,76
<b>150,00</b>	35878,98	20	717 579,60
<b>200,00</b>	37871,48	7	265 100,36
<b>250,00</b>	40739,38	8	325 915,04
<b>300,00</b>	42879,88	5	214 399,40
<b>350,00</b>	44199,08	13	574 588,04
<b>400,00</b>	46142,08	7	322 994,56
<b>500,00</b>	49229,78	7	344 608,46
<b>550,00</b>	53839,98	1	53 839,98
<b>750,00</b>	58747,18	1	58 747,18
<b>950,00</b>	67579,98	1	67 579,98
<b>1100,00</b>	70755,98	1	70 755,98
<b>1450,00</b>	85430,68	1	85 430,68
<b>Création réseau gaz</b>			527 458
		<b>Total Chaufferie</b>	<b>4 769 559,42 €</b>

Le tableau suivant récapitule le coût d'investissement, ainsi que le P2 et le P3, qui correspondent aux coûts annuels d'entretien des installations techniques :

	Investissement	P2	P3
S0	4 769 559,42 €	242 440,00 €	121 220,00 €

## 6.2.2 Scénario 1 - Cogénération centralisée, solaire thermique et photovoltaïque

### ➤ Présentation du scénario

Ce scénario est proposé en raison des importants besoins électriques de la ZAC. Il peut en effet paraître judicieux de produire une quantité importante d'électricité sur le site étant donné les consommations importantes tout au long de l'année (process, ECS, ...). La cogénération permet de créer de la chaleur et de l'électricité lors de la combustion du gaz naturel. Cette électricité sera entièrement revendue à EDF.

L'eau chaude sanitaire sera produite à l'aide de capteurs solaires thermiques et couvriront 50% des besoins annuels. L'électricité sera utilisée en appoint lorsque le solaire sera insuffisant.

Toujours dans l'optique de créer de l'électricité sur place, des panneaux solaires photovoltaïques seront installés sur toutes les grandes entités industrielles. Comme pour la cogénération, l'intégralité de la production sera vendue à EDF.

### ➤ Descriptif technique

La production de chaleur centralisée nécessite la création d'un réseau de chaleur sur la ZAC. Il sera de type en antennes et s'étendra comme le présente le schéma ci-dessous (en jaune) :



Le réseau de chaleur desservira l'intégralité de la zone se trouvant au nord de la ligne grande vitesse. Pour les parcelles se trouvant sur la partie sud-est du site, de l'autre côté de la ligne grande vitesse, le chauffage sera assuré par des chaudières gaz à condensation. Les faibles besoins de ce secteur ne justifient pas l'extension du réseau de chaleur.

La longueur totale du réseau de chaleur a été estimée à 8,7km. La densité énergétique moyenne du réseau est d'environ 3 MWh/ml (ratio quantifiant l'énergie distribuée par un réseau).

La cogénération gaz couvrira à 50% des besoins annuels de chauffage de la zone desservie par le réseau de chaleur. Le reste sera assuré par un appoint gaz à condensation.

L'eau chaude sanitaire sera produite électriquement, avec un appoint solaire thermique décentralisé. Le taux de couverture du solaire visé étant de 50%.

Le solaire photovoltaïque sera installé sur toutes les toitures des grosses entités industrielles, puis raccordé au réseau EDF ou l'électricité créée sera vendue. La puissance installée sur chaque parcelle sera limitée à 100 kWc afin de bénéficier d'un tarif d'achat attractif.

#### ➤ **Dimensionnement**

##### - **Production de chaleur par cogénération centralisée**

Le dimensionnement de la cogénération est basé sur les besoins de chauffage du site. Une cogénération ne se dimensionne pas comme une chaudière classique dans la mesure où la cogénération ne fonctionne seulement sur une période donnée. En effet, les contrats de cogénération sont limités à 151 jours continus de fonctionnement par an sur 12 ans.

Pour dimensionner la cogénération, il faut identifier la période optimale de production, soit 151 jours consécutifs, qui permet un fonctionnement continu aux taux de charge maximum de l'équipement.

Ainsi, la cogénération développera une puissance de 4MW thermique.

La technologie utilisée pour cette puissance sera un moteur à explosion interne. La puissance électrique est directement liée à la technologie. Elle sera de 2.5MW<sub>e</sub>.

Cette puissance garantit une couverture de 50% des besoins en chaleur du site. Une installation d'appoint et de secours sera alors nécessaire. Elle sera dimensionnée pour couvrir à 100% des besoins du site en cas de dysfonctionnement de la cogénération. La puissance sera répartie sur 4 chaudières gaz identiques développant chacune 5MW et fonctionnant sur le même régime de température que la cogénération.

##### - **Solaire thermique décentralisé**

Les installations solaires thermiques ont été dimensionnées en fonction des besoins en eau chaude sanitaire de chaque parcelle. La méthode a été de déterminer le nombre d'occupants, puis une consommation d'eau chaude sanitaire par jour et par occupant (voir étude des besoins énergétiques).

Les besoins des 109 parcelles ont été regroupés afin qu'il ne reste que 12 typologies de besoins, allant de 125 litres/jour à 2270 litres/jour. Le tableau suivant résume les surfaces de panneaux dimensionnées pour chaque typologie :

Besoin l/jour	125	250	350	430	570	630	790	930	1250	2080	2150	2270
Nombre	33	17	16	11	4	16	7	1	1	1	1	1
Surface m <sup>2</sup>	2,57	4,63	7,50	7,64	9,27	10,00	13,56	15,00	22,60	27,84	32,69	37,11

Les études ont été réalisées sur le site tecsol.fr. Pour chaque typologie, TEC SOL détermine un taux de couverture solaire en fonction des caractéristiques de l'installation.

Le dimensionnement a été réalisé afin d'obtenir un taux de couverture minimum de 50% des besoins annuels de chaque parcelle. Le volume du stockage correspond aux besoins journaliers de chaque site.





## Etude de faisabilité du développement des énergies renouvelables sur la ZAC République IV



Réf : 12071

Date : 30/08/2013

Auteur(s) : CAN, ART, NRO

Validé par : MGU

Page 73/94

La surface de panneaux, ainsi que leur productivité ont été calculées avec des capteurs de type plan orientés plein sud et inclinés à 30° par rapport au sol. Les résultats obtenus donnent un taux de couverture globale sur la ZAC de 54%, soit une production annuelle de 447 100 kWh.

### - **Solaire photovoltaïque**

La surface des panneaux photovoltaïques a également été déterminée à l'aide du site tecsol.fr. La méthode a été de se limiter à une puissance crête de 100 kWc sur chaque parcelle accueillant des grandes entités industrielles afin d'obtenir un tarif d'achat de l'électricité produite très attractif. Ce tarif est de 15,97 €/MWh. Les calculs ont été effectués avec des capteurs de type amorphe respectant les critères d'intégration simplifiée au bâti.

La surface de panneaux par entité industrielle est estimée de 1 667m<sup>2</sup>, pour une production de 97 894 kWh/an. Le nombre d'entités concernées s'élève à 36. Il y aura donc, à l'échelle de la ZAC, une surface totale proche de 60 000m<sup>2</sup> et une production de 3 524 184 kWh/an.

### ➤ **Synthèse énergétique**

<b>S1 <math>\eta</math> PCI</b>	
$\eta_{\text{product}} \text{ appoint}$	95%
$\eta_{\text{regul}}$	98%
$\eta_{\text{distrib}}$	95%
$\eta_{\text{emission}}$	95%
<b><math>\eta_{\text{CHAUFFAGE appoint}}</math></b>	<b>84%</b>
$\eta_{\text{ECS}}$	70%
<b><math>\eta_{\text{elect,cogénération}}</math></b>	<b>30%</b>
<b><math>\eta_{\text{Th,cogénération}}</math></b>	<b>51%</b>

Le rendement thermique d'une cogénération est faible (51%). Cela risque d'entraîner une surconsommation de gaz par rapport aux autres scénarios. En revanche, la production d'électricité pourra éventuellement combler ce surcoût.

Besoins totaux chauffage	Besoins couverts par la Cogénération	Besoins Gaz	Consommation Gaz
MWh PCI	MWh PCI	MWh PCI	MWh PCI
31 323	14 015	17 308	48079
Besoins électriques globaux	Apports solaires thermiques	Besoins ECS avec Solaire	Consommation électrique ECS
MWh PCI	MWh PCI	MWh PCI	MWh PCI
291 413	447	380	544
Production électrique Cogénération		Production Photovoltaïque	
MWh PCI	MWh PCI	MWh PCI	
8 664	8 664	3 524	



## Etude de faisabilité du développement des énergies renouvelables sur la ZAC République IV



Réf : 12071

Date : 30/08/2013

Auteur(s) : CAN, ART, NRO

Validé par : MGU

Page 74/94

### ➤ Coûts d'investissement et frais d'exploitation

L'investissement calculé comprend les postes suivants :

- Chaufferie centrale composée de la cogénération et des chaudières d'appoint au gaz.
- Création du réseau de chaleur
- Raccordement du réseau de gaz de la chaufferie centrale et des chaufferies de la zone sud de la ligne à grande vitesse
- Sous-stations : 99 au total, avec échangeurs à plaques et tous les éléments du réseau primaire nécessaire au bon fonctionnement de l'installation.
- Chaufferies Gaz à condensation des 12 parcelles de la zone au sud de la ligne grande vitesse
- Installations solaires thermiques
- Installations solaires photovoltaïques

Le tableau suivant résume l'investissement global du scénario, ainsi que les coûts annuels d'exploitation P2 et P3.

	Investissement	P 2	P 3
S1	22 227 877 €	337 360 €	168 680€

### 6.2.3 Scénario 2 – Géothermie centralisée, solaire thermique et photovoltaïque

#### ➤ Présentation du scénario

Le scénario 2 consiste à utiliser une énergie présente naturellement sur site, la géothermie. L'étude d'approvisionnement a permis d'identifier un fort potentiel sur le site. Ce scénario préconise l'utilisation de pompes à chaleur sur eau de nappe phréatique. La chaleur produite sera distribuée via un réseau de chaleur identique dans le scénario précédent (uniquement au nord de la ligne à grande vitesse). Toutefois, la géothermie ne permettra pas de couvrir la totalité des besoins. L'appoint sera assuré par des chaudières gaz à condensation lorsque la puissance des pompes à chaleur ne sera pas suffisante les jours les plus froids.

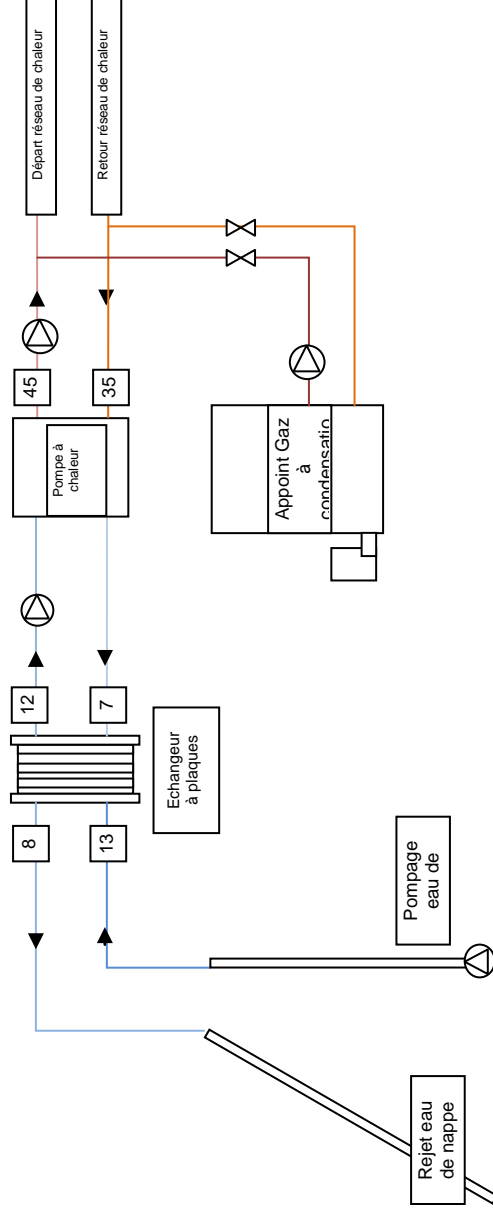
Le réseau de chaleur est identique au scénario précédent. La production de chaleur au sud de la ligne grande vitesse sera également assurée par des chaudières gaz à condensation installées sur chaque parcelle.

L'eau chaude sanitaire sera produite à l'aide de capteurs solaires thermiques et couvriront 50% des besoins annuels. L'électricité sera utilisée en appoint lorsque le solaire sera insuffisant.

Compte tenu des importants besoins électriques des industriels, il peut être judicieux d'installer des panneaux photovoltaïques pour les couvrir partiellement. L'électricité créée sera revendue à EDF mais peut tout de même engendrer d'importantes économies sur le long terme.

#### ➤ Descriptif technique

La géothermie préconisée consiste en la valorisation de la chaleur contenue dans l'eau de la nappe phréatique via une pompe à chaleur, comme le présente le schéma ci-dessous :



L'échangeur à plaques sert de séparation entre l'eau de nappe et l'eau qui circulera dans la pompe à chaleur. L'appoint gaz est utilisé seulement dans le cas où la puissance calorifique de la pompe à chaleur est insuffisante, c'est-à-dire en hiver, lorsque les besoins de chauffage seront au maximum. Un tel système doit impérativement être associé à des émetteurs basses températures pour optimiser la performance de l'installation.

La distribution de cette chaleur dans la ZAC sera assurée via un réseau de chaleur basse température (régime 45 – 35°C). Chaque parcelle devra donc être équipée d'une sous station avec échangeur à plaques. Le réseau de chaleur sera équipé, au primaire, d'une pompe à débit variable pour ajuster le débit d'eau aux besoins du site est limiter au maximum sa consommation électrique.



## Etude de faisabilité du développement des énergies renouvelables sur la ZAC République IV



Réf : 12071

Date : 30/08/2013

Auteur(s) : CAN, ART, NRO

Validé par : MGU

Page 76/94

La chaufferie centrale sera implantée sur le périmètre de l'emplacement public, dans une zone située au centre de la ZAC, de la même façon que pour le scénario 1. Les parcelles se trouvant au sud de la ligne grande vitesse, soit 12 parcelles de grandes entités industrielles, ne seront pas alimentées par le réseau de chaleur mais par des chaudières gaz à condensation décentralisées.

En ce qui concerne l'eau chaude sanitaire, elle sera produite de manière décentralisée. Chaque bâtiment aura sa propre installation solaire sur la toiture ainsi qu'un ballon de stockage implanté dans un local technique au plus près des points de puisage.

Les panneaux photovoltaïques seront implantés sur la toiture de chaque entité industrielle, puis reliés au réseau EDF ou l'électricité créée sera vendue.

### ➤ Dimensionnement

#### ▪ Production de chaleur par PAC géothermique sur eau de nappe

Le dimensionnement de la pompe à chaleur géothermique dépend du débit d'eau de nappe exploitable. Ce débit est fixé lors d'analyses poussées du sol et ne peut pas être déterminé sans forage car pouvant varier fortement d'une zone à une autre. Le débit avec lequel la Pompe à chaleur a été dimensionné est de 800 m<sup>3</sup>/h (équivalent à la Source de Fleury). Pour la suite du dimensionnement, il faut se fixer une différence de température entre l'entrée et la sortie de l'évaporateur, généralement 6°C afin d'éviter des rejets trop chauds dans la nappe. A partir de là on calcul la puissance d'échange de l'évaporateur grâce à la formule :

$$P_{\text{évap}} = \text{Débit massique} \times C_{p_{\text{eau}}} \times \Delta t^{\circ}$$

Avec : Pévap : Puissance de l'évaporateur, ou puissance frigorifique [kW]

Débit massique : Débit d'eau [kg/s]

C<sub>peau</sub> : Chaleur massique de l'eau (= 4.185 [kJ/kg.K])

Δt° : différence de température entrée/sortie de l'évaporateur

On sait ensuite que les pompes à chaleur de type eau/eau on de bonnes performances. Le COP froid retenu est de 3.5 quand le COP chaud est de 4 (COP : Coefficient de Performance). Cela signifie que pour 1kWh d'électricité qu'elle consomme, la pompe à chaleur produit 4kWh de chaleur. Avec un débit de 800 [m<sup>3</sup>/h] et une différence de température à l'évaporateur de 6°C, on obtient une puissance calorifique maximale de 6400 kW, soit un quart de la puissance installée sur la totalité de la ZAC.

Avec un taux de 25% de la puissance maximale utile, on peut couvrir 55% des besoins annuels de chauffage. Les besoins couverts par la pompe à chaleur sont de l'ordre de 17 230 MWh. L'appoint gaz à condensation est dimensionné pour couvrir la totalité de la puissance de la ZAC en cas d'arrêt de la pompe à chaleur.

#### ▪ Solaire thermique

Les installations de solaires thermiques sont identiques au scénario 1.

#### ▪ Solaire photovoltaïque

Les installations de solaires photovoltaïque sont identiques au scénario 1.

➤ Synthèse énergétique

S2 $\eta$ PCI	
$\eta_{\text{product appoint}}$	105%
$\eta_{\text{regul}}$	98%
$\eta_{\text{distrib}}$	95%
$\eta_{\text{emission}}$	95%
$\eta_{\text{CHAUFFAGE appoint}}$	<b>93%</b>
$\eta_{\text{ECS}}$	70%
<b>COP chaud PAC</b>	4

	Besoins totaux chauffage MWh PCI	Besoins couverts par la PAC MWh PCI	Besoins Gaz MWh PCI	Consommations Gaz MWh PCI
S2	31 323,07	17 227,69	14 095,38	16775,67

	Besoins ECS MWh PCI	Apports solaires thermiques MWh PCI	Besoins ECS avec apports MWh PCI	Consommations ECS MWh PCI	Production Photovoltaïque MWh PCI	Consommation électrique PAC MWh PCI
S2	827,91	447,10	380,81	544,02	3524,18	3523,8

La consommation électrique de la pompe à chaleur est déterminée avec son coefficient de performance de 4 kWh<sub>chaleur produite</sub> / kWh<sub>électrique consommé</sub>.

➤ Coûts d'investissement et frais d'exploitation

L'investissement calculé comprend les postes suivants :

- Chaufferie centrale composée des forages géothermiques (profondeur estimée à environ 45m), des pompes à chaleur montées en cascade et des chaudières d'appoint gaz à condensation.
- Création du réseau de chaleur
- Raccordement du réseau de gaz de la chaufferie centrale et des chaufferies de la zone au sud de la ligne à grande vitesse
- Sous-stations : 99 au total, avec échangeur à plaques et tous les éléments du réseau primaire nécessaire au bon fonctionnement de l'installation.
- Chaufferies Gaz à condensation des 12 parcelles de la zone sud de la ligne grande vitesse
- Installations solaires thermiques
- Installations solaires photovoltaïques

Le tableau suivant résume l'investissement généré par ce scénario, ainsi que les coûts annuels d'exploitation P2 et P3.

	Investissement	P2	P3
S2	24 254 653,86 €	334 993,33 €	167 496,67 €

### 6.2.4 Scénario 3 - Chaudières gaz à condensation en solution décentralisée, et solaire thermique

#### ➤ Présentation du scénario

Ce scénario se rapproche du scénario de base, mais des énergies renouvelables y sont intégrées. Les chaudières à condensation sont en effet considérées comme telles grâce à leur rendement sur PCI supérieur à 100%. La production de chaleur est effectuée de façon décentralisée pour ce scénario, avec une chaudière qui couvre la totalité des besoins de chauffage de chaque parcelle.

Le solaire thermique sera également utilisé de façon décentralisée comme dans le scénario précédent. Il servira à couvrir plus de la moitié des besoins d'eau chaude sanitaire, le reste étant assuré par des chauffe-eaux électriques.

#### ➤ Descriptif technique

Comme pour le scénario de base, chaque chaufferie devra être équipée de tout le matériel nécessaire à son bon fonctionnement, telle que les soupapes de sécurités, les filtres ou le vase d'expansion...

Les chaudières gaz à condensation seront équipées de brûleurs modulants. Les pompes devront également être à débit variable de façon à limiter les consommations électriques des auxiliaires.

Afin de profiter pleinement de la condensation, il faut impérativement que les émetteurs de chauffage soient dimensionnés pour fonctionner en régime basse température, soit 45/35°C par exemple, sans quoi la condensation n'est pas possible.

Comme pour les scénarios 1 et 2, l'eau chaude sanitaire sera produite de façon décentralisée à l'aide de panneaux solaires thermiques pour environ la moitié des besoins, puis à l'aide de chauffe-eaux électriques pour le reste.

#### ➤ Dimensionnement

##### - Production de chaleur

Le dimensionnement des chaudières à condensation décentralisées a été effectué de la même manière que pour la solution de base S0, en regroupant les parcelles similaires. Les classes de puissances sont les mêmes. La méthode de calcul du débit et le dimensionnement des tuyauteries est également la même que pour le scénario S0.

En ce qui concerne l'ECS, la production est identique aux scénarios 1 et 2.

##### - Solaire thermique

Le dimensionnement du solaire thermique est identique aux scénarios 1 et 2

➤ **Synthèse énergétique**

Le rendement de production sur PCI des chaudières à condensation est pris égal à 105%. Le rendement global pour le chauffage passe à 93% au lieu de 84% avec une chaudière classique.

<b>S2 <math>\eta</math> PCI</b>	
$\eta_{\text{production}}$	105%
$\eta_{\text{regulation}}$	98%
$\eta_{\text{distribution}}$	95%
$\eta_{\text{emission}}$	95%
$\eta_{\text{CHAUFFAGE}}$	<b>93%</b>
$\eta_{\text{ECS}}$	70%

	Besoins totaux chauffage MWh PCI	Consommations Gaz MWh PCI
S3	31 323,07	33728,86

	Besoins ECS MWh PCI	Apports solaires thermiques MWh PCI	Besoin ECS avec apports solaires MWh PCI	Consommations ECS MWh PCI
S3	827,91	447,10	380,81	544,0183574

➤ **Coûts d'investissement et frais d'exploitation**

L'investissement calculé comprend les postes suivants :

- Chaufferies Gaz à condensation des 109 parcelles de la ZAC.
- Raccordement gaz des 109 parcelles
- Installations solaires thermiques

Le chiffrage a été réalisé sur la même base que le scénario S0, en ajoutant le solaire thermique et en remplaçant les chaudières classiques par des chaudières gaz à condensation. Le tableau suivant résume l'investissement global du scénario, ainsi que les coûts annuels d'exploitation P2 et P3.

	Investissement	P2	P3
S3	6 235 918,42 €	270 595,00 €	135 297,50 €

## 6.3 Hypothèses

Les tableaux suivants présentent les hypothèses retenues pour l'étude en coût global.

Hypothèses générales	
Détermination des besoins de chaleur	Niveau RT 2012
Début de la simulation	2014
Durée de la simulation	30 ans

### Poste P1 :

Electricité pour tous les scénarios	
Prix de la fourniture de l'électricité en € HT (CSPE incluse)	62.2 € ht / MWh
TVA sur l'énergie	19,6%
Tarif de référence	Tarif régulé Vert option base au 1 <sup>er</sup> Juillet 2013
Evolution moyenne annuel du prix de l'énergie sur 30 ans	+ 4.0%

Gaz Naturel	
PCI du gaz naturel	0,90 kWh/kWh PCS
Prix de référence du gaz naturel € HT pour les scénarios 1 et 2	48.62 €/MWh PCS
Prix de référence du gaz naturel € HT pour les scénarios 0 et 3	49.07 €/MWh PCS
TVA sur l'énergie	19,6%
TVA sur l'abonnement	5,5%
Evolution moyenne annuel du prix de l'énergie sur 30 ans	+ 5,3%

### Postes P2, P3 et P4 :

Evolution annuelle moyenne des postes :	P2	P3	P4
Fixe	-	15%	-
Indice ICHT rev-TS <sup>5</sup>	+ 3,30%	70%	15%
Indice FSD1 <sup>6</sup>	+ 2,35%	15%	-
Indice BT40 <sup>7</sup>	+ 3,14%	-	45%
Indice BT47 <sup>8</sup>	+ 3,60%	-	35%

<sup>5</sup> Indice du coût horaire du travail révisé, tous services

<sup>6</sup> Frais et services divers

<sup>7</sup> Indice des travaux applicable aux systèmes de chauffage central (hors chauffage électrique)

<sup>8</sup> Indice des travaux applicable aux systèmes de chauffage électrique





## Etude de faisabilité du développement des énergies renouvelables sur la ZAC République IV



Réf : 12071

Date : 30/08/2013

Auteur(s) : CAN, ARI, NRO

Validé par : MGU

Page 81/94

### TVA sur les postes P2 et P3

19,6%

Pour cette étude, l'ensemble des investissements sont considérés réalisés par un emprunt présentant les caractéristiques suivantes :

Taux d'actualisation annuel :	+ 3%
Emprunt :	Tous les investissements
Taux d'intérêt :	3,5%
Durée de l'emprunt :	20 ans
Date de début de l'emprunt :	2015

### Poste P5 :

Type d'énergie	Ratio Energie primaire / Energie finale*
Electricité	2,58
Gaz Naturel	1
Bois énergie	1

\*Les ratios de conversion EP/EF sont définis par la règle de calcul TH-BCE 2012

Usage	Emissions d'équivalent CO <sub>2</sub> (gCO <sub>2</sub> /kWh)
Electricité	180
Gaz propane	231
Bois granulé	10



## Etude de faisabilité du développement des énergies renouvelables sur la ZAC République IV



Réf : 12071

Date : 30/08/2013

Auteur(s) : CAN, ART, NRO

Validé par : MGU

Page 82/94

### 6.4 Fiscalité énergétique

L'ensemble des énergies préconisées dans cette étude sont soumises aux fiscalités suivantes.

#### Contribution Economique Territoriale (CET)

La loi de finances pour 2010 supprime la Taxe Professionnelle à compter du 1er janvier 2010 et instaure un nouvel impôt au profit des collectivités territoriales : la Contribution Economique Territoriale (CET).

Celle-ci est composée de deux taxes, la Cotisation Foncière des Entreprises (CFE) et la Cotisation sur la Valeur Ajoutée des Entreprises (CVAE), auxquelles s'ajoutent les taxes votées et perçues par les chambres consulaires et une Imposition Forfaitaire sur les Entreprises de Réseaux (IFER).

Par contre, l'IFER ne concerne pas l'étude dans la mesure où cette taxe concerne les composantes relatives aux éoliennes et centrales photovoltaïques et hydrauliques visées aux articles 1519 D et 1519 F du Code Général des Impôts (CGI).

#### Taxes Locales sur l'Electricité (TLE)

La Taxe Locale sur l'Electricité est un impôt indirect, facultatif, perçu au profit des communes, des communautés de communes, des communautés d'agglomération et des départements. Les redevables de cette taxe sont les consommateurs d'électricité.

L'assiette de la taxe est égale, dans tous les cas, à un pourcentage du prix hors taxes de l'électricité facturée par le distributeur :

- 80 % du montant total hors taxes de la facture d'électricité lorsque la fourniture est faite par le distributeur sous une puissance souscrite inférieure ou égale à 36 kilovolts-ampères (kVA) ;
- 30 % du montant lorsque la fourniture d'électricité est faite sous une puissance souscrite supérieure à 36 kVA et inférieure ou égale à 250 kVA.

Lorsque l'électricité est fournie sous une puissance supérieure à 250 kVA, l'exonération est la règle.

Par ailleurs, les consommations d'électricité pour l'éclairage des véhicules et de la voirie nationale, départementale et communale et de ses dépendances sont exonérées de cette taxe.

Le taux maximum autorisé est fixé :

- pour les communes et les communautés d'agglomération à 8 % ;
- pour les départements à 4 %.

La taxe est recouvrée par le gestionnaire du réseau de distribution pour les factures d'acheminement d'électricité acquittées par un consommateur final et par le fournisseur pour les factures portant sur la seule fourniture d'électricité ou portant à la fois sur l'acheminement et la fourniture d'électricité.

La CTA n'est pas soumise aux taxes locales et départementales.

#### Contribution Tarifaire de l'Acheminement (CTA)

Dans le cadre de l'ouverture des marchés de l'énergie, la loi impose depuis le 1er janvier 2005 à l'ensemble des clients qui souscrivent un contrat de fourniture d'électricité de s'acquitter de la CTA, et ce quel que soit le type de contrat et le fournisseur.

EDF, comme les autres fournisseurs d'énergie, collecte cette contribution pour le compte de la caisse nationale de retraite des industries électriques et gazières (CNIEG).



## Etude de faisabilité du développement des énergies renouvelables sur la ZAC République IV



Réf : 12071

Date : 30/08/2013

Auteur(s) : CAN, ART, NRO

Validé par : MGU

Page 83/94

### Pour l'électricité

La CTA est basée sur le Tarif d'Utilisation des Réseaux Publics d'Electricité (TURPE). Le TURPE3 est le tarif qu'appliquent les Gestionnaires des Réseaux de Distribution aux clients finals pour leur facturer l'acheminement de l'électricité.

Il est composé tout d'abord d'une part fixe, constituée par la somme :

- de la composante annuelle de gestion (identique pour tous les tarifs d'acheminement et toutes les puissances),
- de la composante annuelle de comptage
- et de la prime fixe (prix définis par tarif d'acheminement et par puissance souscrite).

Son taux, fixé par l'arrêté du 29 décembre 2005, est de 21,00 % de la part fixe si le site est alimenté à une tension inférieure à 40 000V et de 8,20 % si le site est alimenté à une tension supérieure à 40 000 V.

Il est également composé d'une part variable en fonction du nombre de kWh consommés (les prix du kWh diffèrent suivant les tarifs d'acheminement et les puissances souscrites).

La Contribution Tarifaire sur les prestations d'Acheminement (CTA) n'est pas une nouvelle taxe. Jusqu'au 15 août 2009, la CTA était incluse dans l'abonnement. Depuis cette date, EDF et les autres fournisseurs ont simplement l'obligation de la faire apparaître en clair sur les factures.

Ces montants sont déterminés à l'aide de l'arrêté du 24 juin 2009 relatif à l'ATRD3 et du décret n°2005-123 du 14 février 2005 relatif à la CTA.

### **Taxe sur la Valeur Ajoutée (TVA)**

La Taxe sur la Valeur Ajoutée (TVA) est facturée au client final ou au fournisseur d'électricité. Quelque que soit l'énergie, l'assiette de la TVA repose sur l'ensemble de la facture.

Pour l'électricité, la CTA est assujettie à la TVA au taux de :

- 5,5 % pour le tarif « Bleu », le tarif « Jaune » dont la puissance réduite de fourniture est inférieure ou égale à 36 kVA et le tarif « Vert » dont la puissance réduite est < 30kW.
- 19,6 % pour le Tarif « Jaune » dont la puissance réduite de fourniture est supérieure à 36 kVA et le tarif « Vert » dont la puissance réduite est supérieure à 30 kW.

Les TVA applicable sur chaque énergie sont mentionnées précédemment.

### **Contribution au Service public de l'Electricité (CSPE) (Source CRE)**

La CSPE est la contribution au service public de l'électricité. Elle permet aux distributeurs d'électricité (EDF et les entreprises locales de distribution) d'être compensés pour les éventuels surcoûts liés à la mission de service public qui leur est attribuée.

Instituée par la loi n° 2003-8 du 3 janvier 2003, la contribution au service public de l'électricité (CSPE) vise à compenser aux opérateurs qui les supportent :

1. les surcoûts résultant des politiques de soutien à la cogénération et aux énergies renouvelables (articles 8,10 et 50 de la loi du 10 février 2000) et les surcoûts résultant des contrats « appel modulable » (art 48) ;



## Etude de faisabilité du développement des énergies renouvelables sur la ZAC République IV



Réf : 12071

Date : 30/08/2013

Auteur(s) : CAN, ART, NRO

Validé par : MGU

Page 84/94

2. les surcoûts de production dans les zones non interconnectées au réseau électrique métropolitain continental ;
3. les pertes de recettes et les coûts que les fournisseurs supportent en raison de la mise en œuvre de la tarification spéciale « produit de première nécessité » (décret 2004-325 du 8 avril 2004) et de leur participation au dispositif institué en faveur des personnes en situation de précarité (arrêté du 24 novembre 2005) ;
4. une partie des charges TaRTAM, une fois que la compensation des charges de service public de l'électricité a été effectuée.

Elle vise également à financer le budget du médiateur de l'énergie.



## Etude de faisabilité du développement des énergies renouvelables sur la ZAC République IV



Réf : 12071

Date : 30/08/2013

Auteur(s) : CAN, ART, NRO

Validé par : MGU

Page 85/94

### 6.5 Subventions

Pour cette étude, les subventions n'ont pas été prises en compte dans la mesure où les montants mobilisés sont est très variables d'un projet à au autre, et peuvent fausser les études. Cependant, les subventions suivantes peuvent être appliquées au projet :

#### Fonds chaleur (Source ADEME)

Le Fonds Chaleur renouvelable est l'une des mesures majeures issue du Grenelle de l'Environnement en faveur du développement des énergies renouvelables.

Doté d'un milliard d'euros pour la période 2009-2011, le Fonds Chaleur permet de financer les projets utilisant la chaleur renouvelable dans les secteurs de l'habitat collectif, du tertiaire et de l'industrie, ceux-ci devant contribuer à hauteur d'environ 25% (5,5 Mtep) à l'objectif 2020 de développement des énergies renouvelables.

L'objectif du Fonds Chaleur est de permettre aux installations produisant de la chaleur à partir d'énergies renouvelables d'être économiquement compétitives par rapport aux installations utilisant une énergie conventionnelle.

Les projets soutenus par le Fonds Chaleur se focalisent sur 4 énergies prioritaires :

- le solaire thermique,
- la biomasse,
- la géothermie profonde ou intermédiaire,
- les énergies de récupérations.

De plus, les réalisations de réseaux de chaleur (créations et extensions) alimentées pour au moins 50 % par des énergies renouvelables ou de la chaleur de récupération, seront éligibles au Fonds chaleur.

La méthode de calcul repose sur le système d'aides aux Energies Renouvelables de l'ADEME. L'objectif est que le montant d'aide attribué au projet permette une décote de l'ordre de 5% du prix de la chaleur renouvelable par rapport à la chaleur produite par une énergie conventionnelle.

Le calcul de l'aide du Fonds Chaleur est déterminé par une analyse économique du projet qui validera :

- une décote du prix de la chaleur renouvelable compatible avec le type de projet,
- l'équilibre économique du projet,
- le respect des règles de l'encadrement communautaire.

Les aides du Fonds Chaleur ne seront cumulables, ni avec les Certificats d'Economie d'Energie lorsque ceux-ci portent sur le même objet que l'aide du Fonds Chaleur, ni avec les projets domestiques, ni avec le crédit d'impôt. Par contre, les entreprises ou réseaux de chaleur soumis au Plan National de l'Allocation des Quotas (PNAQ) sont éligibles aux aides du Fonds Chaleur.

Le niveau d'aide proposé peut être atteint par le Fonds Chaleur seul ou en combinaison avec d'autres crédits (Région, FEDER...). Le bénéficiaire de l'aide doit transmettre à l'ADEME ses données réelles de production de chaleur annuellement pendant 10 ans.

#### Certificats d'Economie d'Energie (Source DGEMP)

Le dispositif des Certificats d'Economies d'Energie est une mesure en faveur de l'efficacité énergétique. Il repose sur une obligation de réalisation d'économies d'énergie imposée par les Pouvoirs publics aux vendeurs d'énergie (électricité, gaz, chaleur, froid et fioul domestique).

Un objectif triennal est défini, cet objectif étant réparti entre les opérateurs en fonction de leurs volumes de ventes. Cet objectif est assorti d'une pénalité financière de 2 c€/kWh pour les vendeurs d'énergie ne remplissant pas leurs obligations dans le délai imparti.



## Etude de faisabilité du développement des énergies renouvelables sur la ZAC République IV



Réf : 12071

Date : 30/08/2013

Auteur(s) : CAN, ART, NRO

Validé par : MGU

Page 86/94

Les certificats d'économies d'énergie sont attribués, sous certaines conditions, aux acteurs réalisant des actions d'économies d'énergie. Les vendeurs d'énergie peuvent s'acquitter de leurs obligations par la détention de certificats d'un montant équivalent, certificats obtenus à la suite des actions entreprises en propre par les opérateurs ou par l'achat à d'autres acteurs ayant mené des actions. Le dispositif des certificats d'économies d'énergie fait l'objet d'une révision dans le cadre du projet de loi portant engagement national pour l'environnement.

Les certificats délivrés sont exclusivement matérialisés par leur inscription sur un compte individuel ouvert dans le registre national des certificats d'économies d'énergie, dont la tenue peut être déléguée à une personne morale. Le registre doit également enregistrer l'ensemble des transactions de certificats et fournir une information publique régulière sur le prix moyen d'échange des certificats.

La première période du dispositif des certificats d'économies d'énergie s'est achevée le 30 juin 2009.

Un sixième projet d'arrêté définissant les opérations standardisées d'économies d'énergie a été présenté, pour avis, au Conseil Supérieur de l'Energie (CSE) en début d'année 2010. Ce projet d'arrêté de 61 fiches d'opérations standardisées comprend 45 fiches révisées et 16 nouvelles fiches notamment dans le secteur « Transport ».

### Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)

Afin de réduire l'écart entre les niveaux de développement des régions européennes et de rattraper le retard des régions les moins favorisées, des actions peuvent bénéficier d'un financement du Fonds européen de développement régional (FEDER).

L'objectif du FEDER est de contribuer au renforcement de la cohésion économique et sociale en réduisant les disparités régionales. Cette contribution a lieu par le biais d'un soutien au développement et à l'ajustement structurel des économies régionales, y compris la reconversion des régions industrielles en déclin.

Le FEDER concentre son intervention sur un nombre de priorités thématiques, qui reflètent la nature des objectifs «Convergence», «Compétitivité régionale et emploi» et «Coopération territoriale européenne». Il s'agit en particulier de financements relatifs à :

- des investissements qui contribuent à créer des emplois durables ;
- des investissements dans les infrastructures ;
- des mesures de soutien au développement régional et local, ce qui comprend l'assistance et les services aux entreprises, en particulier les petites et moyennes entreprises (PME) ;
- l'assistance technique.

## 6.6 Comparaison des scénarios en coût global

Une analyse économique et environnementale (impact CO2) est effectuée sur 30 ans, afin de comparer la rentabilité des 4 solutions précédemment décrites. Cette étude a pour objectif de fournir une aide au choix quant au scénario d'approvisionnement en énergie de la ZAC.

Des projections sont faites en euros constants dès lors qu'elles n'incluent pas l'inflation dans leurs estimations qui ne portent donc que sur des évolutions en volumes, et en euros courants lorsqu'elles incluent des évolutions en volumes et en prix qui prennent en compte d'une prévision d'inflation.

La méthode de l'actualisation est un mécanisme de comparaison des sommes versées ou reçues à des époques différentes. Elle permet donc de calculer au présent, selon un taux dit d'actualisation, une valeur à percevoir ou décaisser au futur, c'est à dire le « coût global actualisé ». Cette notion est totalement différente de l'actualisation des prix, appelée aussi indexation des prix, qui correspond aux flux financiers qui seront échangés, c'est à dire le « coût global en € courant ». Le taux d'actualisation détermine, pour un organisme public ou privé, la répartition des dépenses entre les générations en « écrasant » les dépenses lointaines et en « valorisant » les recettes proches.

Rappel :

Le calcul en coût global comparera les scénarios suivant les postes ci-dessous :

Rappel des intitulés des postes	
P1	Achats d'énergie
P2	Prestations de conduite, entretien courant
P3	Prestations de maintenance et gros entretien renouvellement
P4	Remboursement de l'emprunt
P6	Fiscalité liée à la vente d'énergie

Les scénarios comparés sont les suivants :

Rappel des intitulés des scénarios	
S0	Chaudières à gaz classiques en solution décentralisée
S1	Cogénération centralisée, solaire thermique et photovoltaïque
S2	Géothermie centralisée, solaire thermique et photovoltaïque
S3	Chaudières gaz à condensation en solution décentralisée, et solaire thermique

➤ Récapitulatif de l'analyse en coût global

	S0 base	S1 Cogénération	S2 Géothermie	S3 Ch gaz condensation
P1	272 559 521 €	216 707 972 €	119 884 807 €	242 841 860 €
P2	13 136 069 €	18 279 097 €	18 279 097 €	14 661 585 €
P3	7 121 560 €	9 253 141 €	9 253 141 €	7 421 905 €
P4	11 024 558 €	55 409 339 €	51 246 823 €	17 068 812 €
P6	0 €	23 371 343 €	33 235 348 €	0 €
	<b>Coût global en € courant TTC</b>	303 841 708 €	231 899 216 €	281 994 162 €
	<b>Coût global actualisé en € TTC</b>	169 406 237 €	136 153 768 €	157 920 760 €
<b>Résultats environnementaux</b>	Ratio moyen kWh EP /(m² SHON.an)	71	66	62
	Ratio moyen kg CO2 /(m² SHON.an)	13	8	12
<b>Résultats économiques</b>				

➤ Ecart sur la solution de base

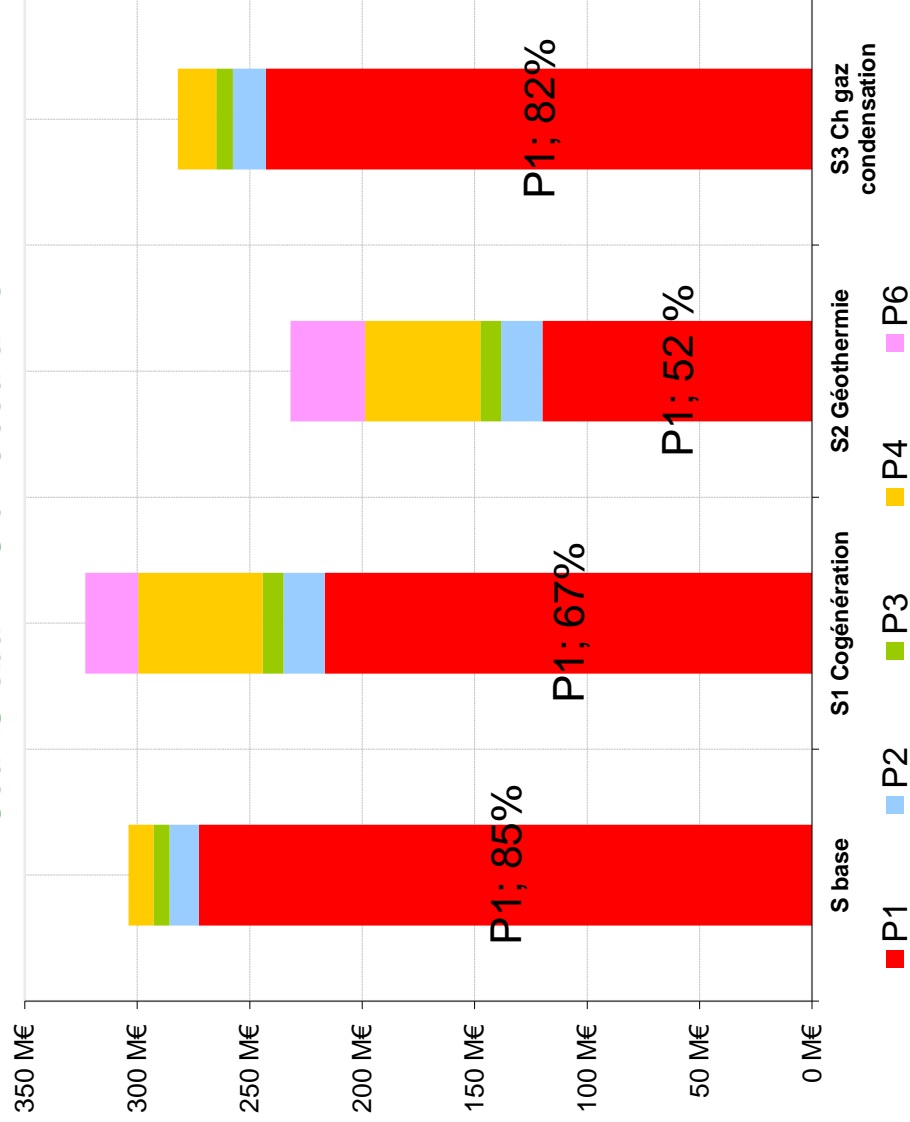
	S0 base	S1 Cogénération	S2 Géothermie	S3 Ch gaz condensation
P1	-	-20%	-56%	-11%
P2	-	39%	39%	12%
P3	-	30%	30%	4%
P4	-	403%	365%	55%
<b>Coût global en € courant TTC</b>	-	6%	-24%	-7%
<b>Coût global actualisé en € TTC</b>	-	10%	-20%	-7%
<b>Résultats environnementaux</b>	Ratio moyen kWh EP /(m² SHON.an)	50%	-8%	-13%
	Ratio moyen kg CO2 /(m² SHON.an)	46%	-37%	-10%



➤ Analyse en coût global sur 30 ans (€ courants TTC)

**H3C-énergies**

**Coût Global TTC en € courants**



L'analyse en coût global sur 30 ans laisse apparaître un avantage à la solution S2 « Géothermie centralisée + solaire thermique + solaire PV ». En effet, la part liée à la consommation d'énergie (52%) est plus faible que pour les autres scénarios. Il est moins impacté par l'augmentation des prix des énergies, ce qui le place en tête des solutions, et dispose d'une meilleure performance limitant ses consommations.

Le scénario S3 « chaudières gaz à condensation + solaire thermique » arrive en seconde position. Il est inférieur au scénario 1 car disposant d'une meilleure performance. Le poste achat d'énergie reste majoritaire avec 82% du total.

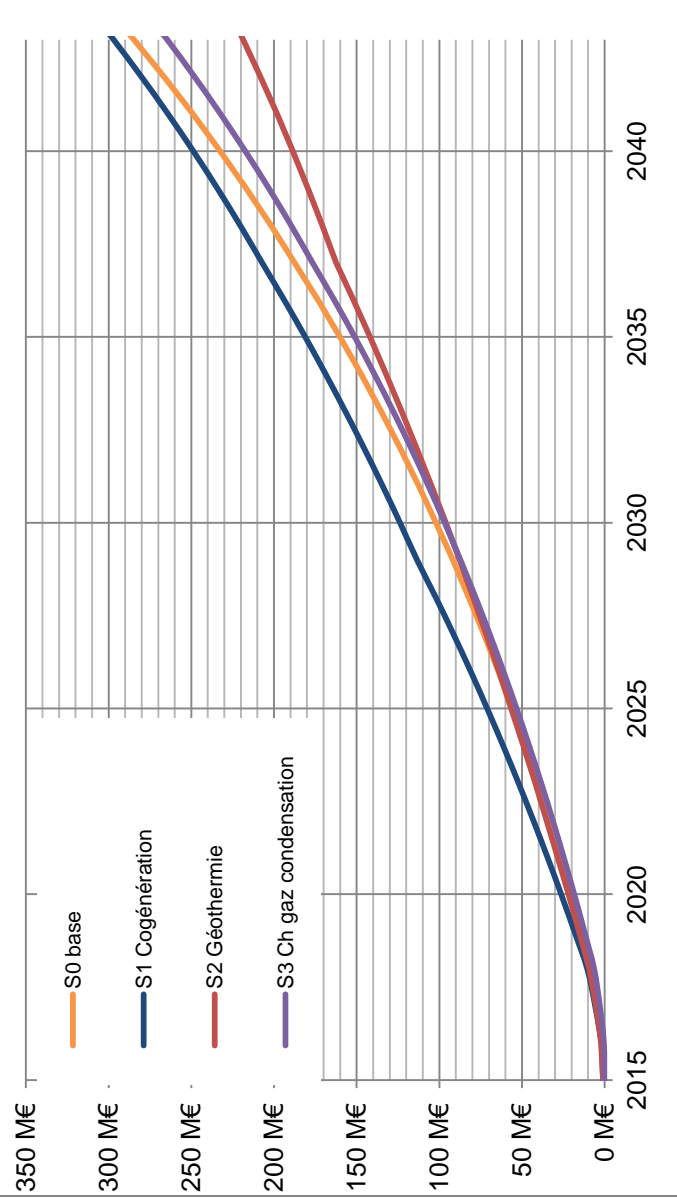
Le scénario de base S0 «chaudières gaz classiques décentralisées » arrive en 3<sup>ème</sup> position. Ce scénario n'intègre pas d'énergie renouvelable. Il est présent dans l'analyse à titre comparatif et permet de renforcer l'intérêt des chaudières à condensation du scénario S3.

Enfin, malgré une production simultanée d'énergie électrique et thermique, le scénario S1 « cogénération + solaire thermique + solaire PV » est le moins intéressant de tous. Bien que la part consacrée au poste P1 reste favorable à cette solution, l'investissement et l'entretien représentent des coûts importants auxquels s'ajoute une fiscalité peu favorable sur la revente d'énergie.

➤ Dépenses cumulées sur 30 ans (€ courant TTC)

### H3C-énergies

#### Coût Global TTC en k€ courant (dépenses cumulées)

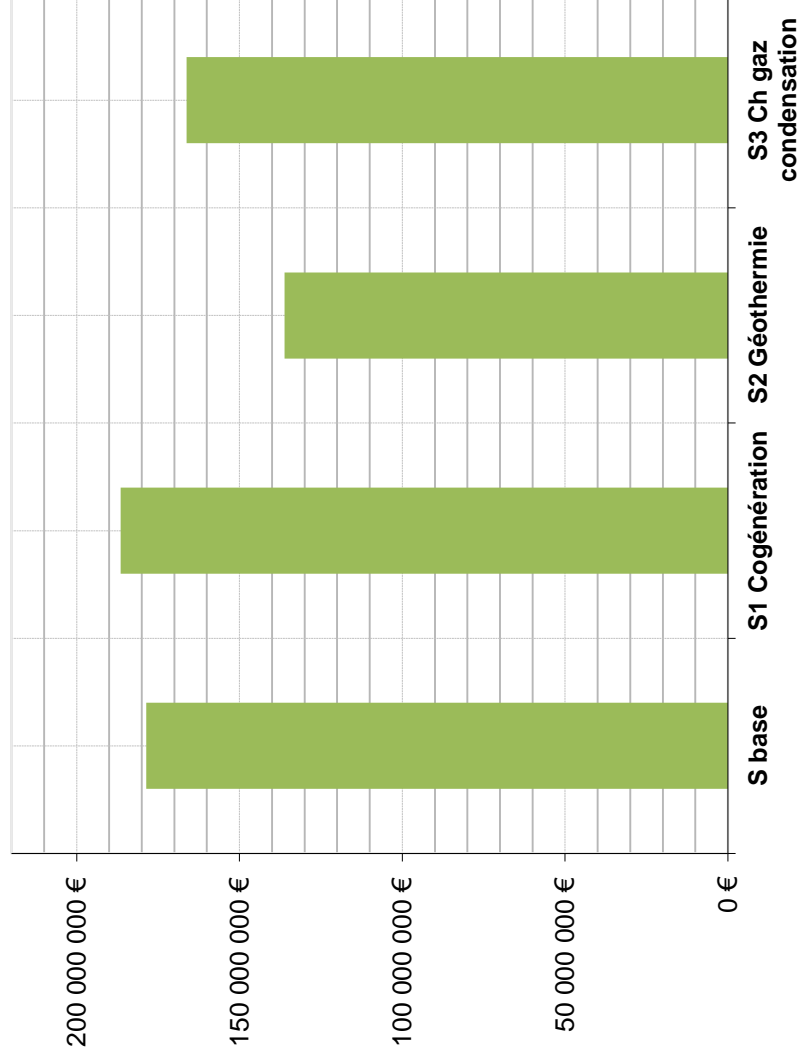


Les résultats d'analyse du coût global sur les dépenses cumulées en euros courants penchent pour la solution S2 de géothermie. On peut cependant noter que les solutions « chaudière gaz classiques (S1) », « chaudières gaz à condensation (S3) » et « géothermie sont équivalentes les 15 premières années de simulation. Suite à ça, la solution de géothermie se distingue des deux scénarios au gaz. L'inflation sur les prix du gaz est plus forte que sur les prix de l'électricité, par conséquent, les écarts ont tendance à se creuser progressivement à plus long terme.

- Analyse en coût global sur 30 ans (M€ actualisés TTC)

### H3C-énergies

### Coût Global TTC en M€ actualisés

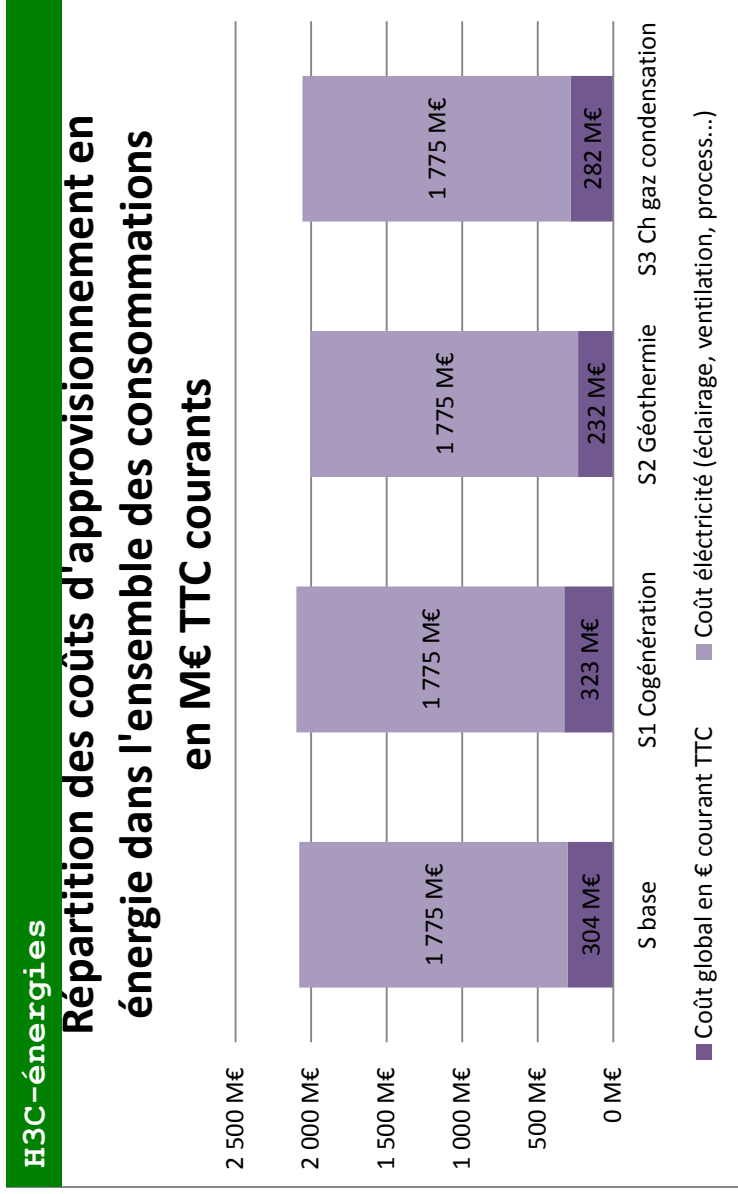


L'analyse en coût global en € actualisés tient compte non seulement de l'inflation des prix du marché (tout comme l'analyse en coût global en € courants) mais intègre également la dévaluation de la monnaie. L'ordre de préférence des solutions et les résultats restent inchangés, seuls les coûts diminuent.

➤ **Représentation dans l'ensemble des consommations**

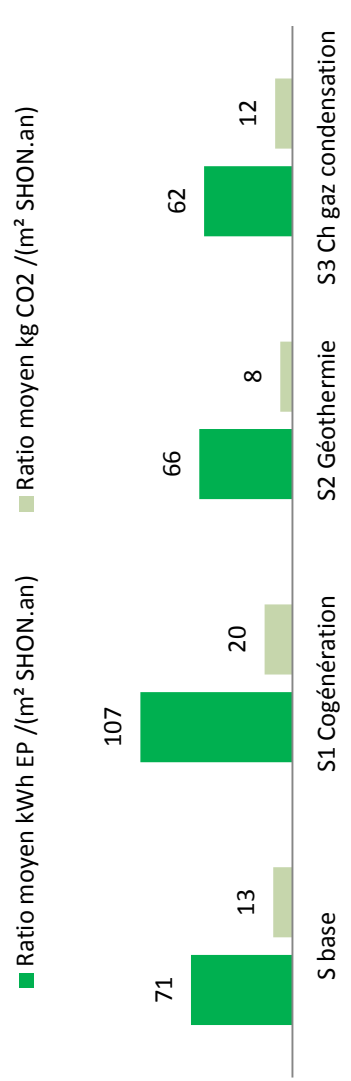
A titre indicatif, les besoins pris en compte dans cette analyse n'incluent pas les consommations d'électricité liées aux process, à l'éclairage, à la ventilation... Les graphiques précédents font apparaître uniquement la part des consommations étant amenée à varier selon les scénarios (chauffage et ECS), les besoins d'électricité liés aux process industriels restant indépendant du type d'alimentation en énergie. En revanche, la part d'électricité produite au moyen d'énergies renouvelables, énergie vendue au réseau, apparaît sur les graphes puisqu'elle est indépendante de l'électricité consommée.

Le graphique suivant permet d'avoir un aperçu du poids des consommations de chauffage et d'ECS sur l'ensemble des consommations du site (process, ...).



➤ Analyse environnementale

## Analyse environnementale



L'analyse environnementale laisse apparaître un fort intérêt pour la solution 2 « géothermie centralisée » et la solution « chaudières gaz à condensation décentralisée ». En effet et en France, l'électricité émet très peu de CO2 pour sa production.

Les meilleurs rendements des chaudières à condensation réduisent l'impact environnemental de 11% par rapport à la solution de base.

La solution cogénération nécessite une consommation plus importante de gaz car le rendement thermique est plus faible que sur les autres solutions. Par conséquent, l'émission en gaz à effet de serre est la plus importante.

## 7 Conclusion

Cette étude de faisabilité de développement des énergies renouvelables sur la ZAC République IV de Poitiers compare quatre scénarios :

- S0 : **chaudières à gaz classiques en solution décentralisée**;
- S1 : **cogénération en solution centralisée** (réseau de chaleur) + **solaire thermique + solaire photovoltaïque** (pour l'industrie)
- S2 : **géothermie en solution centralisée** (réseau de chaleur) + **solaire thermique + solaire photovoltaïque** (pour l'industrie).
- S3 : **chaudières gaz à condensation en solution décentralisée + solaire thermique**.

Economiquement parlant, les scénarios S2 et S3 se dégagent positivement de l'étude en coût global. En effet, ils représentent respectivement des dépenses sur 30 ans de **231 M€ TTC** courants et de **281 M€ TTC** courants contre **303 M€ TTC** et **323 M€ TTC** pour les scénarios S0 et S1.

Globalement, c'est le poste « achats d'énergies » (poste P1) qui permet aux scénarios 2 et 3 d'être les solutions les plus rentables. Bien que disposant de l'investissement (poste P4) le moins élevé, le scénario 0 est économiquement le moins viable à cause de l'importance de son poste « achats d'énergies » (poste P1).

En terme de CO<sub>2</sub>, le scénario S2 se détache des autres avec un ratio de 8 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an grâce notamment à l'utilisation d'un système performant et d'une énergie peu émettrice.

Cependant, la consommation d'énergie primaire du scénario recourant à l'électricité est élevée de part le facteur de conversion de 2,58 (EF → EP). Les scénarios au gaz donnent sur ce point de meilleurs résultats (hors cogénération qui est pénalisée par sa mauvaise performance).

Le scénario 2 paraît donc être le meilleur tant d'un point de vue économique qu'environnemental. Cependant, ce scénario ne peut être mis en place qu'après la réalisation d'une étude géotechnique du sol pour valider le potentiel réel du site. La puissance installée devra être ajustée en fonction des résultats obtenus.