



# Projet de ZAC sur l'ancien site du 42°RT

Etude de potentiel en énergies renouvelables

Juin 2013



# SOMMAIRE

## Contexte et objet de l'étude

### 1- Estimation des besoins

- 1-1 Données du projet
- 1-2 La règlement thermique
- 1-3 Hypothèses
- 1-4 Synthèse des besoins

### 2- Potentiel EnR

- 2-1 Méthodologie : première élimination
- 2-2 La géothermie
- 2-3 L'éolien
- 2-4 Le solaire
- 2-5 Le bois énergie
- 2-6 Les réseaux de chaleur existants
- 2-7 Récupération de la chaleur des eaux usées

### 3- Définition des scénarii énergétiques

- 3-1 Prix des énergies
- 3-2 Synthèse
- 3-3 Piste à étudier

### 4- Les scénarii

- 4-1 Critères d'analyse
- 4-2 Comparaison des scénarii
- 4-3 Réseau de chaleur
- 4-4 Réflexion sur un scénario d'aménagement
- 4-5 Réseau de chaleur jusqu'à la CRV ?

# CONTEXTE ET OBJET DE L'ÉTUDE

- Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une obligation réglementaire (Loi Grenelle I) :
  - **Article L. 128-4 CU** – « 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. »
  - **Article L. 300-1 CU définissant les projets concernés** – « Les actions ou opérations d'aménagement ont pour objet de mettre en œuvre un projet urbain, une politique locale de l'habitat, d'organiser le maintien, l'extension ou l'accueil des activités économiques, de favoriser le développement des loisirs et du tourisme, de réaliser des équipements collectifs ou des locaux de recherche ou d'enseignement supérieur, de lutter contre l'insalubrité, de permettre le renouvellement urbain, de sauvegarder ou de mettre en valeur le patrimoine bâti ou non bâti et les espaces naturels.  
L'aménagement, au sens du présent livre, désigne l'ensemble des actes des collectivités locales ou des établissements publics de coopération intercommunale qui visent, dans le cadre de leurs compétences, d'une part, à conduire ou à autoriser des actions ou des opérations définies dans l'alinéa précédent et, d'autre part, à assurer l'harmonisation de ces actions ou de ces opérations. »

# CONTEXTE ET OBJET DE L'ÉTUDE (suite)

- Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une obligation réglementaire (Loi Grenelle I) :
  - Concrètement, il s'agit d'étudier la pertinence de différents systèmes énergétiques de chauffage, de climatisation et de production d'eau chaude sanitaire pour l'approvisionnement en énergie des bâtiments de l'opération.
- La présente étude a pour objectifs :
  - D'estimer les besoins énergétiques des bâtiments en fonction des plans de ZAC, réalisés par le cabinet d'urbanisme ; Les surfaces des bâtiments et la répartition entre activités évoluent au cours de l'avancement du projet. L'étude devra donc être évolutive ;
  - D'analyser la pertinence et le potentiel de chaque ENR sur la zone d'aménagement ;
  - D'étudier les possibilités de dessertes énergétiques à différentes échelles (bâtiment, îlot, ZAC), ce qui permet de prévoir les impacts sur l'avant projet des travaux d'infrastructures ;
  - De comparer de manière technique, économique et environnementale les différentes solutions énergétiques envisageables afin d'amener des éléments de décisions pour la suite du projet ;
  - Dans le cas de réseaux de chaleur, d'informer le porteur de projet sur les différents montages juridiques envisageables.



# 1. ESTIMATION DES BESOINS



10003274-6864390  
27 juin 2013

[www.inddigo.com](http://www.inddigo.com)

# 1-1 DONNÉES DU PROJET

- Le projet de rénovation urbaine du secteur « 42°RT » prévoit un certain nombre de démolitions, interventions sur les bâtiments existants et de constructions neuves



Surface au sol de la ZAC = 50 Ha

Surface chauffée à terme = 24 Ha ;

En première approche : tous les bureaux et commerces ont des besoins de climatisation ;

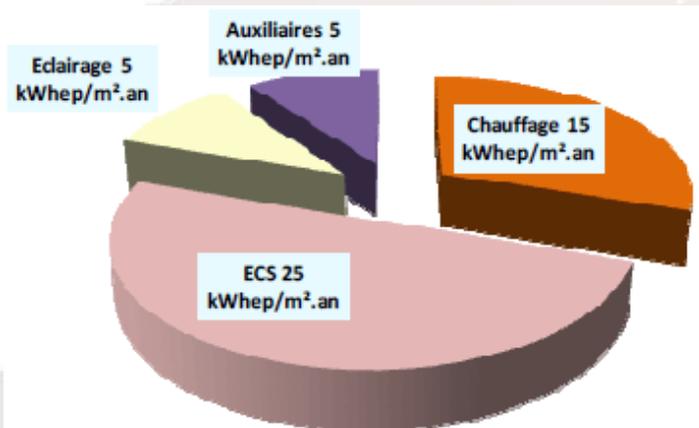
# 1-2 LA RÉGLEMENTATION THERMIQUE

- Conformément à l'article 4 de la loi Grenelle 1, la réglementation thermique (RT) 2012 a pour objectif de limiter la consommation d'énergie primaire des bâtiments neufs à un maximum de 50 kWh EP/m<sup>2</sup>/an (valeur moyenne)
  - Cette consommation englobe :
    - le chauffage et ses auxiliaires
    - la climatisation
    - l'éclairage
    - l'eau chaude sanitaire (ECS)
    - la ventilation
  - Elle ne prend pas en compte l'« électricité spécifique » : informatiques, électroménager, ...

Ce seuil est modulé selon la localisation géographique, les caractéristiques et l'usage des bâtiments

→ A Laval, il serait de l'ordre de 55 kWh EP/m<sup>2</sup> pour les bâtiments de logements

- Exemple pour du logement :



Répartition type par poste pour un bâtiment de logements

**Cep<sub>max</sub> en maison individuelle et en immeuble collectif après le 1<sup>er</sup> janvier 2015**

Hors modulation du Mcsurf et Altitude < 400m



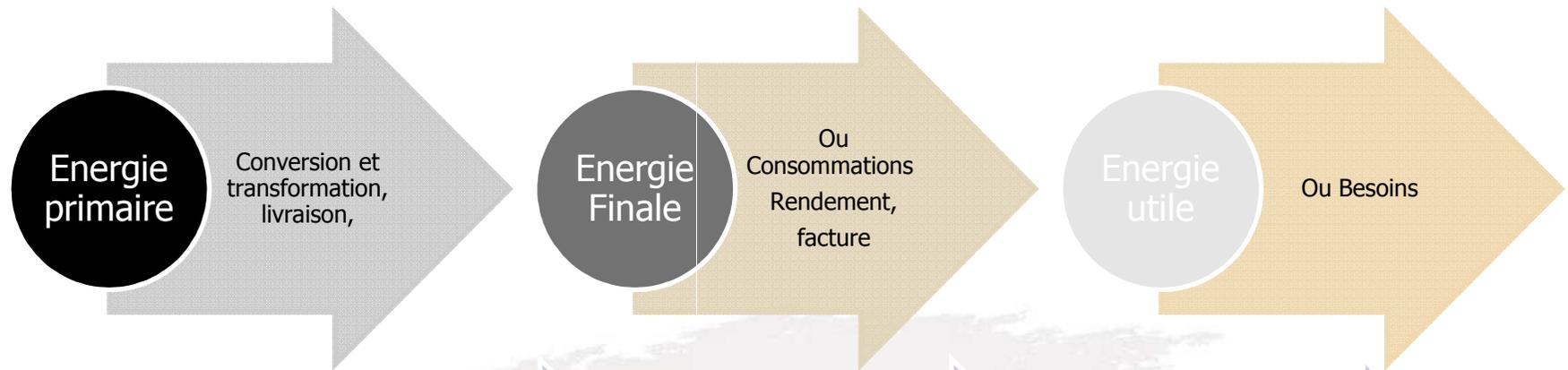
Modulation géographique

# 1-2 LA RÉGLEMENTATION THERMIQUE (suite)

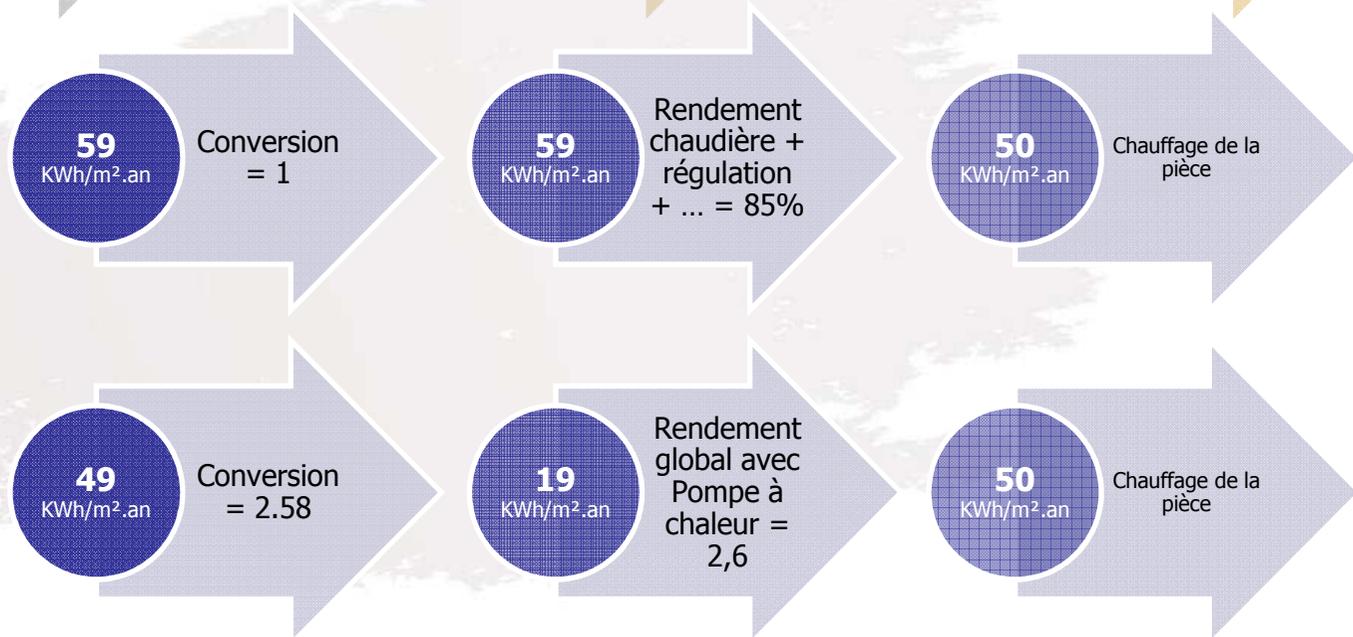
- Remarques importantes :
  - La RT fixe des objectifs en termes de consommations d'énergie, et non de besoins :
    - Les besoins en énergie sont la quantité de chaleur nécessaire à l'utilisateur final pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, .... Ils sont fonction de la qualité d'isolation du bâtiment, de la ventilation et de l'utilisation des bâtiments
    - Les consommations correspondant aux quantités de chaleur payées par l'utilisateur final ; elles sont fonctions des besoins mais également du rendement des équipements
  - La RT fixe des objectifs en kWh d'énergie primaire :
    - L'énergie primaire est utilisée par opposition à l'énergie finale
    - L'énergie finale est celle consommée et payée par l'utilisateur, alors que l'énergie primaire prend également en compte les pertes liées à la production, à la distribution et au stockage de l'énergie en amont
  - Le ratio de conversion énergie primaire / énergie finale varie selon le type d'énergie :
    - Le gaz et le fioul sont directement brûlés sur le lieu de consommation et l'énergie primaire est égale à l'énergie finale
    - Par contre, l'électricité est produite majoritairement dans des centrales thermiques et n'est pas une source « primaire » d'énergie. Les rendements de ces centrales et les pertes liées aux transports font que pour 1 kWh d'énergie finale consommée, 2,58 kWh d'énergie primaire sont nécessaires.

# 1-2 LA RÉGLEMENTATION THERMIQUE (suite)

- De quelle énergie parle-t-on ?



Coefficient de conversions en France	
Electricité	2,58
Autres	1



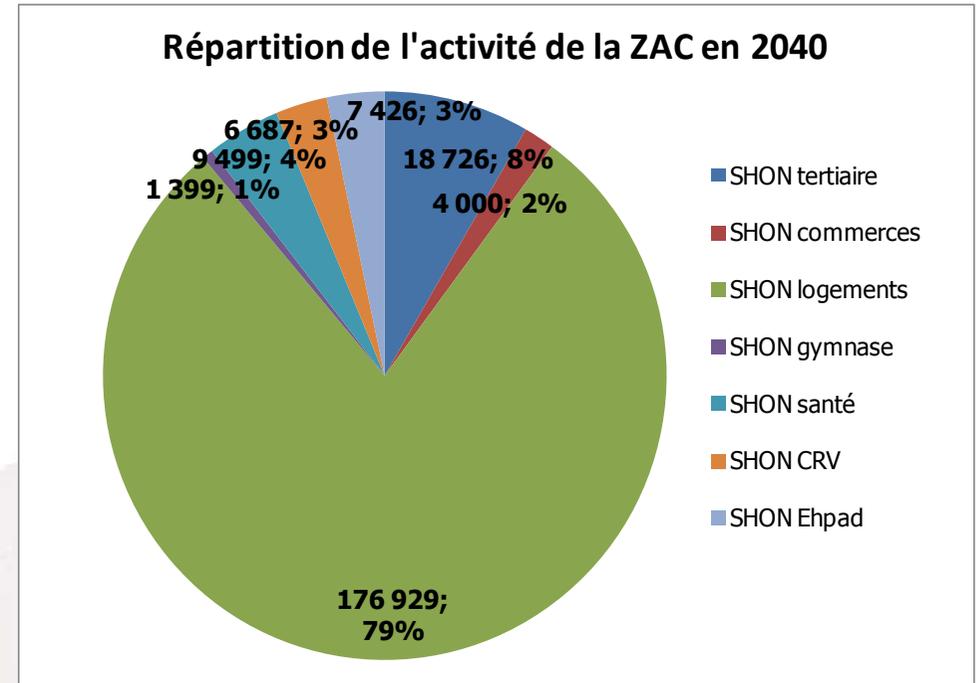
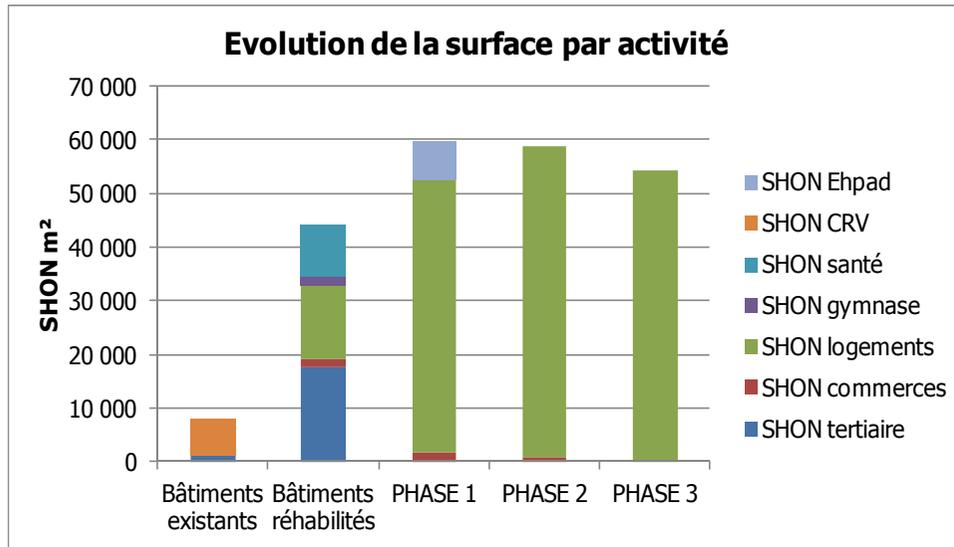
# 1-3 HYPOTHÈSES

- Pour cette étude, nous fixons des besoins en chaleur (chauffage et ECS), en cohérence avec les objectifs de consommations de la RT 2012;
- Hypothèses pour les bâtiments :

		Tertiaire	Commerces	Logements	Gymnase	Scolaire	Exposition	EHPAD
Besoins chaud	kWh/m <sup>2</sup>	30	25	16	13	20	25	20
Besoins clim		14,4	30	0	0	10	30	12
Besoins ECS		cumulus	cumulus		25	20	cumulus	5
Puissance chaud	W/m <sup>2</sup>	36	30	25	25	30	30	25
Puissance clim		36	57	0	0	15	57	30
Puissance ECS		0	0	15	15	0	8	20

- Remarques :
  - Il s'agit d'estimation pour définir un premier ordre de grandeur, ces données seront affinées pour chacun des projets dans la poursuite des études
  - Certains types de bâtiments comme le tertiaire ou le commerce ont de faibles besoins d'ECS. Il n'est pas judicieux pour ce type d'établissement d'avoir recours à un système d'eau chaude centralisé. Nous faisons donc l'hypothèse que ces consommations seront couvertes par des cumulus électriques décentralisés, plus performants et plus économiques

# 1-4 SYNTHÈSE DES BESOINS



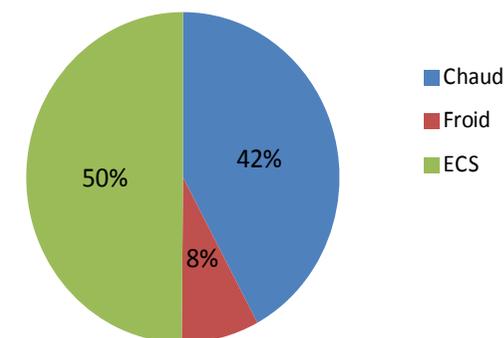
79% de la surface de la ZAC seront des bâtiments de logements, pour une SHON totale de 179 929 m<sup>2</sup>.

Par conséquent, l'impact des besoins des logements sera fondamental dans le choix de la solution d'approvisionnement énergétique

# 1-4 SYNTHÈSE DES BESOINS (suite)

Existant	SHON	Besoins kWh				Puissance KW			
		Chaud	Froid	ECS	Total kWh	Chaud	Froid	ECS	Total kW
Tertiaire	1 200	27 600	0	0	27 600	36	0	0	36
Logements	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRV	6 687	167 175	200 610	33 435	401 220	201	381	53	635
<b>Réhabilitation</b>									
Tertiaire	17 526	525 776	252 372	0	778 148	631	631	0	1 262
commerces	1 525	38 129	45 754	0	83 883	46	87	0	133
Logements	14 023	224 368	0	350 575	574 943	351	0	210	561
gymnase	1 399	18 187	0	27 980	46 167	35	0	21	56
santé	9 499	189 980	94 990	0	284 970	285	142	0	427
Ehpad	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Phase 1 - 2021</b>									
Tertiaire	0	0	0	0	0	0	0	0	0
commerces	1 706	42 643	51 172	0	93 815	51	97	0	148
Logements	50 621	809 937	0	1 265 527	2 075 464	1 266	0	759	2 025
Ehpad	7 426	148 528	89 117	259 924	497 569	186	223	149	557
<b>Phase 2 - 2030</b>									
Tertiaire	0	0	0	0	0	0	0	0	0
commerces	769	19 228	23 074	0	42 302	23	44	0	67
Logements	57 994	927 899	0	1 449 842	2 377 741	1 450	0	870	2 320
<b>Phase 3 - 2040</b>									
Tertiaire	0	0	0	0	0	0	0	0	0
commerces	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Logements	54 292	868 666	0	1 357 290	2 225 956	1 357	0	814	2 172
<b>TOTAL</b>	<b>224 667</b>	<b>4 008 115</b>	<b>757 089</b>	<b>4 744 573</b>	<b>9 509 777</b>	<b>5 916</b>	<b>1 605</b>	<b>2 877</b>	<b>10 398</b>

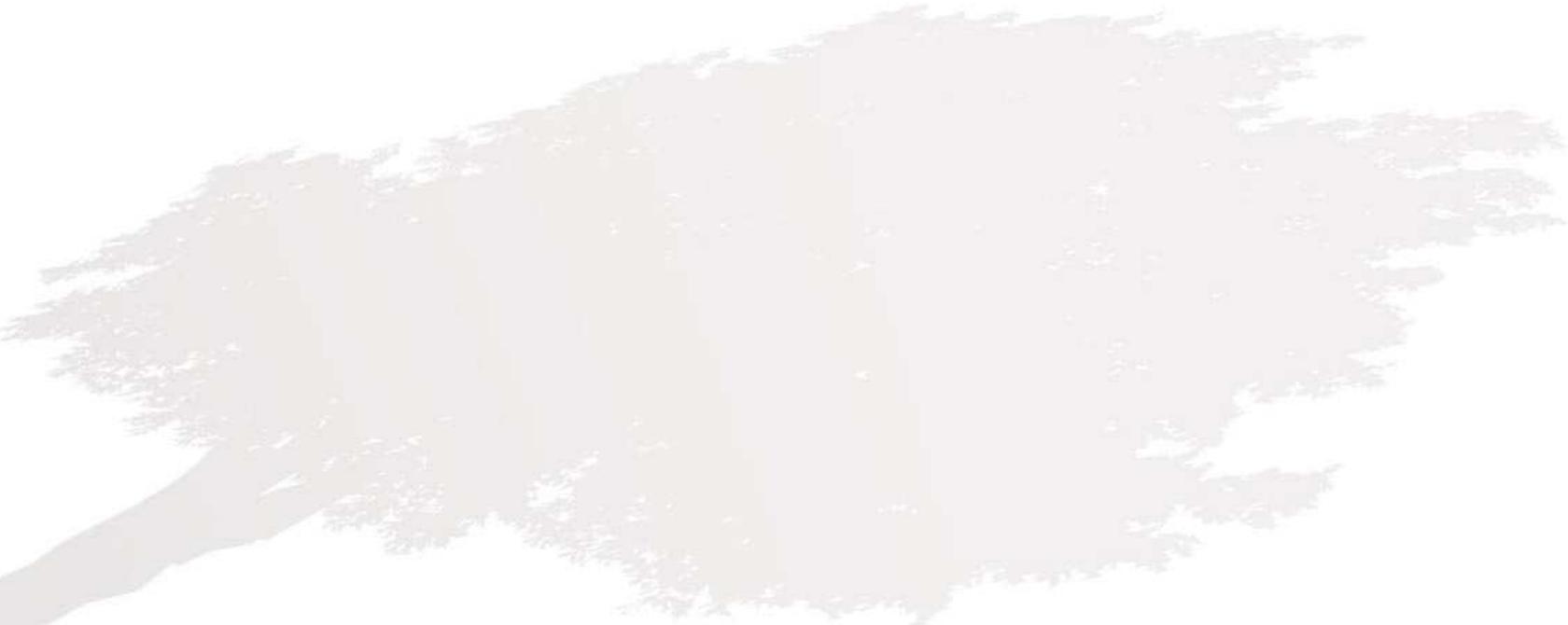
Répartition des besoins sur l'ensemble de la ZAC



Les besoins hivernaux représenteront 92% des besoins climatiques de la ZAC pour une puissance de 8,7MW. Les besoins d'eau chaude sanitaire sont constants toute l'année et représentent 50% des besoins.

Aujourd'hui, la construction de la ZAC est prévue sur 3 phases.

Les bâtiments post Phase1 seront soumis à la RT 2020 ; Ils devront produire de l'énergie.



## 2. POTENTION ENERGIES RENOUVELABLES





# 2-1 MÉTHODOLOGIE : PREMIERE ELIMINATION

- Les couleurs donnent une première indication de probabilité d'existence des ENR à l'échelle de l'aménagement (**vert : probable ; jaune : possible ; orange : peu probable**).
- Nous comparerons les solutions retenues à la solution de référence suivante : Chaudière gaz collective par bâtiment avec production d'eau chaude sanitaire centralisée
- Quelques systèmes peuvent déjà être éliminés :
  - Grand éolien : impossible en milieu urbain,
  - Marine, hydraulique : pas de potentiel sur la ZAC,
  - Hydrothermie : besoins de froid trop faibles,
  - Biogaz : pas de potentiel existant, pas de place sur la ZAC,
  - Incinération des déchets : pas de place sur la ZAC,
  - Chaleur fatale des industries : pas d'industrie sur la ZAC.

	Energie	Utilisation	Système et échelle pour la mise en place	
Éolien		Électricité	Petit éolien	Bâtiment / Quartier
			Grand éolien	> Ville
Solaire thermique		Chaleur	Panneaux solaires thermiques (indépendants)	Bâtiment
			Ensemble de panneaux solaires thermiques (rassemblés en un site ou diffus sur plusieurs bâtiments), avec réseau de chaleur	Quartier
			Ensemble de panneaux solaires thermiques (rassemblés en un site ou diffus sur plusieurs bâtiments), avec réseau de chaleur	Quartier / Ville
Solaire photovoltaïque		Électricité	Panneaux solaires photovoltaïques (indépendants)	Bâtiment
			Ferme solaire photovoltaïque	Quartier / Ville
Géothermie		Chaleur / Froid	Géothermie superficielle avec pompe à chaleur	Bâtiment
			Géothermie sur sondes (éventuellement avec réseau de chaleur basse température)	Bâtiment / Quartier
			Géothermie profonde (avec réseau de chaleur / froid)	Ville
Aérothermie		Chaleur / Froid	Pompe à chaleur	Bâtiment
Hydrothermie		Chaleur / Froid	Réseau de chaleur / froid et pompe à chaleur	Quartier / Ville
Marine		Électricité	Hydroliennes, usine marémotrice, usine houlomotrice...	> Ville
Hydraulique		Électricité	Petit hydraulique	Quartier / Ville
			Grand hydraulique	> Ville
Biomasse		Chaleur / Électricité	Chaudière biomasse individuelle ou d'immeuble (avec ou sans cogénération)	Bâtiment
			Chaudière biomasse collective (avec ou sans cogénération), avec réseau de chaleur	Quartier / Ville
Biogaz, gaz de décharge, gaz de récupération de l'industrie		Chaleur / Électricité	Injection dans le réseau de distribution de gaz	> Ville
			Combustion sur lieu de production	Bâtiment
			Chaudière gaz collective (avec ou sans cogénération), avec réseau de chaleur	Quartier / Ville
Chaleur fatale de l'incinération des déchets		Chaleur / Électricité	Turbine électrique et/ou chaleur distribuée par un réseau	Quartier / Ville
Chaleur fatale des industries		Chaleur / Électricité	Turbine électrique et/ou chaleur distribuée par un réseau	Quartier / Ville
Chaleur des eaux usées		Chaleur	Système de récupération (échangeur) et pompe à chaleur	Bâtiment
			Système de récupération (échangeur), réseau de chaleur basse température et PAC	Quartier
W Chaleur des bâtiments (y.c. datacenters)		Chaleur	Réseau de chaleur basse température et PAC	Quartier / Ville

## 2-2 LA GEOTHERMIE

### • Les gisements géothermiques

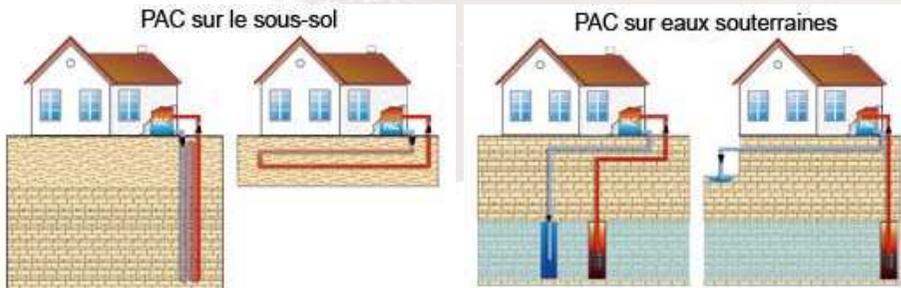
La classification la plus courante concernant les gisements géothermiques est celle du Code Minier et distingue quatre grands types de gisements selon les températures :

- **La géothermie « très basse énergie »** ( $T < 30^{\circ}\text{C}$ ) est exploitée pour le chauffage et le rafraîchissement des maisons ou des bâtiments collectifs et aussi pour la production de l'eau chaude sanitaire. La production de chaleur s'effectue à l'aide d'une pompe à chaleur qui prélève dans le sol l'énergie thermique.
- **La géothermie « basse énergie »** ( $30^{\circ}\text{C} < T < 90^{\circ}\text{C}$ ) correspond à une exploitation directe de la chaleur. Le rendement est trop faible pour pouvoir produire de l'électricité, mais elle permet de couvrir une large gamme d'usages : chauffage urbain, chauffage de serres, utilisation de chaleur dans les process industriels, thermalisme...
- **La géothermie « moyenne énergie »** ( $90^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$ ) s'applique pour la production de l'électricité avec un fluide intermédiaire.
- **La géothermie « haute énergie »** ( $T > 150^{\circ}\text{C}$ ) correspond à des gisements essentiellement rencontrés dans les zones d'anomalies thermiques. La température supérieure à  $150^{\circ}\text{C}$  permet de transformer directement la vapeur en électricité.

➡ Sur la ZAC, seule la géothermie très basse énergie est envisageable

PAC sur le sous-sol

PAC sur eaux souterraines



Géothermie « basse énergie » Schéma de principe PAC sur sous sol et sur eaux souterraines (Source BRGM)



Géothermie « basse énergie »  
La Courneuve (1993)



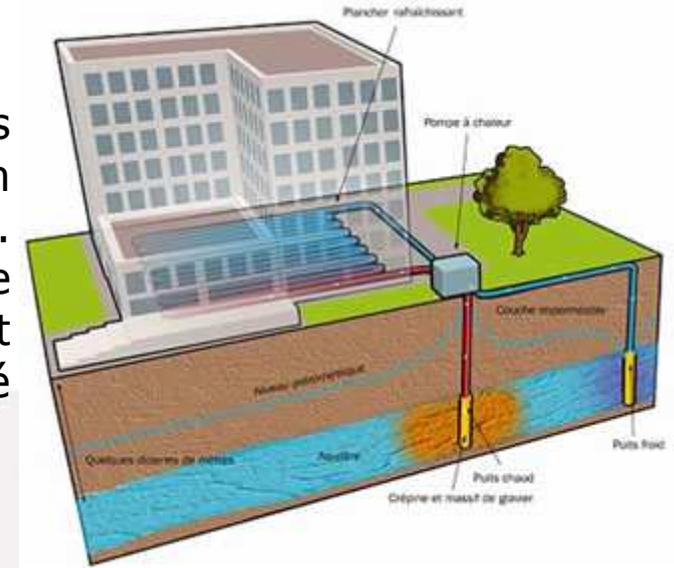
Géothermie « haute énergie »  
Centrale de Bouillante (Guadeloupe)

## 2-2 LA GEOTHERMIE (suite)

- 3 technologies de géothermie très basse énergie :

- Sur nappe :**

Les opérations avec pompes à chaleur sur aquifères superficiels permettent de valoriser le potentiel thermique de ressources en eaux souterraines pour le chauffage et/ou le rafraîchissement. L'eau souterraine est prélevée dans un aquifère situé à moins de 200 m de profondeur. L'énergie de cette eau souterraine est valorisée à l'aide d'une pompe à chaleur, puis l'eau est réinjecté dans le même aquifère.



- Sur sondes verticales :**

L'eau (ou eau glycolée) circule dans des sondes géothermiques pouvant atteindre jusqu'à 200 m de profondeur.

- Sur sondes horizontales :**

Le principe de fonctionnement est le même que la géothermie verticale excepté que les capteurs sont disposés de manière horizontale. La surface de capteurs couvre généralement 2,5 à 3 fois la surface chauffée.

## 2-2 LA GEOTHERMIE (suite)

### Contexte géothermique

- À partir de cartes d'inventaire des aquifères existants et de leurs caractéristiques, le BRGM a élaboré, un système d'informations géographiques (SIG) dans le cadre d'un partenariat avec l'ADEME, l'ARENE et EDF. Cet outil permet d'indiquer, pour un endroit donné, si le débit qu'il est possible de soutirer grâce à l'installation de pompes à chaleur, permet d'envisager le chauffage de locaux par PAC.
- Potentiel pour l'opération

→ Sur nappe :

Forage	Profondeur (m)	Débit (m3/h)
Est Gare de 2005	110	4
Arrosage 1998	87	1,5
Eau industriel	76	3
Laval Ouest – géothermie	60	13
Laval Nord - géothermie	65	14

Des forages à proximité de la ZAC laisse penser à un potentiel de débit de 14 m3/h maximum soutiré. Ce qui correspond à une puissance de chauffage de 100 kW, soit les besoins d'un bâtiment d'environ 2000 m<sup>2</sup> de logements.

Etant donné les faibles débits, cette solution ne pourra pas être envisagée sur l'ensemble de la ZAC dans le cas d'un réseau de chaleur. Cette solution pourrait être installée à l'échelle d'un bâtiment tertiaire.

*A noter que les informations de débit mentionnées dans le tableau ne doivent en aucun cas se substituer aux résultats d'un forage test ; il est possible que les débits soutirés soient différents pour deux forages de même profondeur distant de quelques mètres !*

## 2-2 LA GEOTHERMIE (suite)



### → Sur sondes verticales :

- La puissance soutirée au sol est d'environ 50 W/ml de sonde verticale. Pour obtenir une puissance de chauffage de 100 kW, il est nécessaire d'implanter 8 sondes verticales (COP de 4) de 200 mètres. Chaque forage doit être espacé de 10 mètres des autres. Ils doivent être placés en rang, ce qui signifie que le champ de sonde d'un bâtiment de 100 kW sera long de 70 mètres.
- Si les dimensions du terrain sont suffisamment grandes, cette solution peut être envisagée à l'échelle du bâtiment tertiaire.

### → Sur sondes horizontales :

- En milieu urbain, cette solution est la moins adaptée et la moins performante des systèmes de géothermie. La densité et l'emprise au sol des bâtiments de la ZAC excluent la faisabilité d'un tel système.

# 2-3 L'ÉOLIEN



Modèle Darrieus à axe horizontal

## 2.1 Le potentiel sur la commune

- Le secteur ne se trouve pas en Zone de Développement de l'Éolien (ZDE) permettant de bénéficier d'un tarif de rachat de l'électricité produite;
- Il est préférable d'avoir un site dégagé avec des vents majoritairement unidirectionnels. Le potentiel est donc limité en milieu urbain;

## 2.2 Les caractéristiques de l'éolien :

- En site isolé, il est intéressant de consommer directement l'énergie produite. En présence d'un réseau électrique, l'électricité produite est réinjectée avec deux options possibles : l'autoconsommation avec revente du surplus ou la revente totale;
- L'investissement est variable selon la gamme de puissance et la technologie mais reste élevé. Les éoliennes à axe horizontal sont les plus répandues et les plus matures. A noter que pour des hauteurs supérieures à 12 m, il est nécessaire de déposer un permis de construire;
- Potentiel pour l'opération : Le micro-éolien est plus adapté pour une opération d'aménagement, en intégration sur des bâtiments d'équipements publics

Investissement initial et production annuelle selon la puissance éolienne installée

Puissance nominale 100 à 500 W	Diamètre de l'éolienne	Prix de l'éolienne (installation comprise) (HT)	Production annuelle
100 à 500 kW	0,5 - 2 m	3000 - 5000 €	200 - 1000 kWh
500 à 1 kW	2 - 3 m	5000 - 14 000 €	1000 - 2000 kWh
1 kW à 5 kW	3 - 6 m	14 000 - 35 000 €	2000 - 10 000 kWh
5kW à 10 kW	6 - 8 m	35 000 - 45 000 €	10 000 - 20 000 kWh
10 kW à 20 kW	8 - 12 m	45 000 - 80 000 €	20 000 - 40 000 kWh

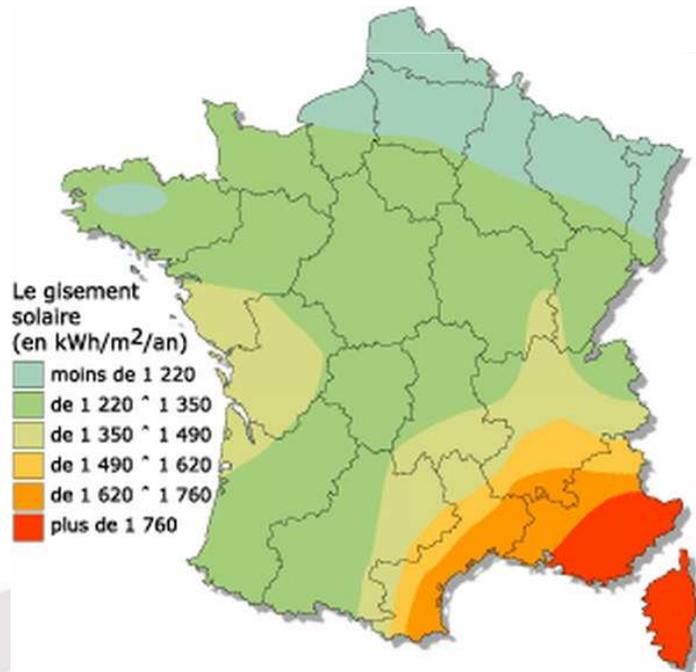


Deux types d'éoliennes à axe horizontal et vertical - Combourg (35)

# 2-4 LE SOLAIRE

## 3.1 Le potentiel sur la ZAC

- La ressource est disponible à l'échelle nationale et présente des différences selon les régions. En Mayenne, le flux solaire incident est compris entre 1 220 et 1 350 kWh/m<sup>2</sup>, soit un potentiel solaire faible
- L'énergie solaire a deux applications différentes :
  - Solaire photovoltaïque : panneaux permettant de produire de l'électricité, grâce à une réaction photoélectrique
  - Solaire thermique : panneaux permettant de produire l'eau chaude, grâce à la circulation d'un fluide intermédiaire dans les capteurs solaires



Carte du potentiel solaire français



Exemple de panneaux solaires photovoltaïques



Principe d'une installation solaire thermique

## 2-4 LE SOLAIRE (suite)

### 3.2 Les caractéristiques du solaire photovoltaïque

- L'objectif est la production d'électricité;
- En site isolé, il est intéressant de consommer directement l'énergie produite mais en présence d'un réseau électrique les panneaux sont utilisés essentiellement pour la revente d'électricité. La rentabilité des projets est accrue grâce au tarif de rachat (à noter cependant une baisse du tarif de rachat et une révision trimestrielle);
- L'association PV CYCLE a été créée en 2007 dans le but de mettre en application le recyclage des déchets de panneaux photovoltaïques en fin de vie;
- Potentiel pour l'opération : Toutes les surfaces de toiture mais implique une réflexion en amont sur l'orientation et l'inclinaison des toitures. L'implantation optimale : inclinaison de 35°, orientée Sud;

### 3.3 Les caractéristiques du solaire thermique

- L'objectif est la production d'eau chaude sanitaire;
- Les bâtiments ayant de fortes consommations d'eau chaude sont particulièrement adaptés pour ce type de technologie : piscine, hôpitaux, maisons de retraite, logements collectifs, ...
- Potentiel pour l'opération : application pour la production d'eau chaude des logements collectifs, voire des équipements selon les besoins;

## 2-4 LE SOLAIRE (suite)

### Les technologies adaptées aux espaces publics

- L'éolien et le photovoltaïque peuvent être utilisés (seul ou en combiné) sur les équipements d'espaces publics et notamment sur les mâts d'éclairage public
  - Ils posent cependant deux problématiques :
    - Dans le cas d'un fonctionnement en autonomie, il est nécessaire de stocker l'énergie d'où la présence de batteries, équipements fortement polluants. Cette technologie est donc à privilégier en l'absence de réseau électrique pour les sites isolés. La combinaison éolien et photovoltaïque permet d'optimiser l'autonomie.
    - Si le réseau électrique est présent, l'électricité produite peut être réinjectée sur le réseau mais se pose le problème de complexité du raccordement électrique à réaliser au niveau de l'ensemble des candélabres. L'équilibre technique/financier/intérêt environnemental n'est pas évident.
- En présence d'un réseau électrique, l'utilisation de l'éolien et du photovoltaïque est à privilégier sur des équipements plus conséquents : intégration à des parkings couverts ou abri-bus par exemple...



*Exemple de mâts d'éclairage public intégrant éoliennes et panneaux photovoltaïques*



*Exemple de panneaux photovoltaïques intégrés en ombrières de parking*



## 2-5 LE BOIS ÉNERGIE

### 4.1 Les ressources

- Plusieurs types de combustibles :
  - bois bûche ;
  - granulés ;
  - plaquettes forestières, bocagères ou issues de bois déchets.
- La ressource en Mayenne est estimée d'après une étude de la FDCUMA 53 (2012) :
  - à 57 750 tonnes de bois :
    - 28 500 tonnes de bois bocager
    - 14 250 tonnes de bois forestier
    - 15 000 tonnes de bois issu de l'industrie (Scierie, emballage, industrie papetière et de panneaux de bois, ...)

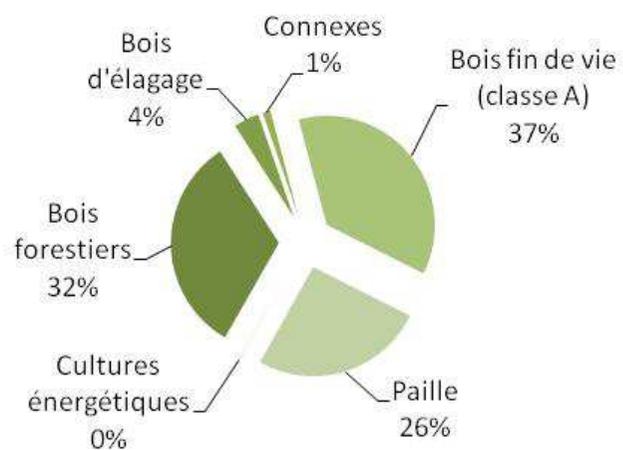


Granulés

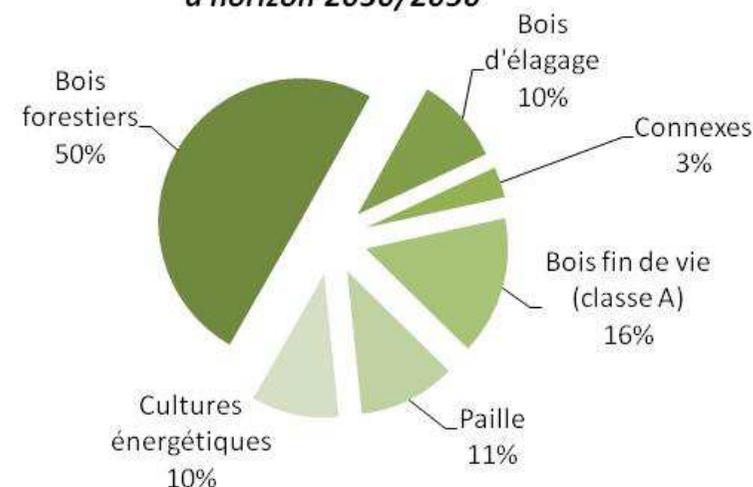


Plaquettes

#### Les ressources biomasse disponibles à horizon 2015/2020

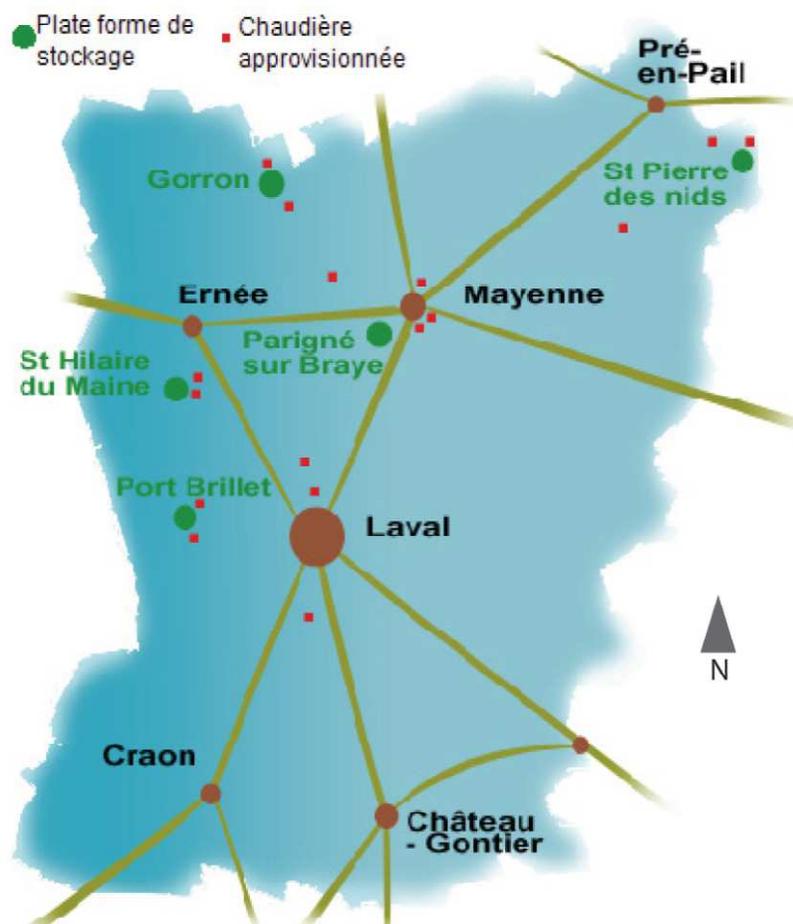


#### Les ressources biomasse disponibles à horizon 2030/2050

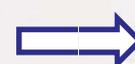


## 2-5 LE BOIS ÉNERGIE (suite)

- Dans ce contexte, « La SCIC (Société Coopérative d'Intérêts Collectifs) Haute-Mayenne Bois Energie » a été créée en 2008 et dispose de 5 plateformes d'approvisionnement communautaires réparties en Mayenne.



	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014
Nombre de projet approvisionné	6	9	11	12	14	15
Tonnage bois sec	436	1 196	1 486	3 626	3 726	3 826
Tonnage bois humide	571	1 566	1 988	4 852	4 986	5 120



La SCIC Haute-Mayenne Bois Energie, ainsi que la filière bois en Mayenne sont en plein développement;

C'est une énergie locale, pourvoyeuse d'emploi et à l'inflation maîtrisée.

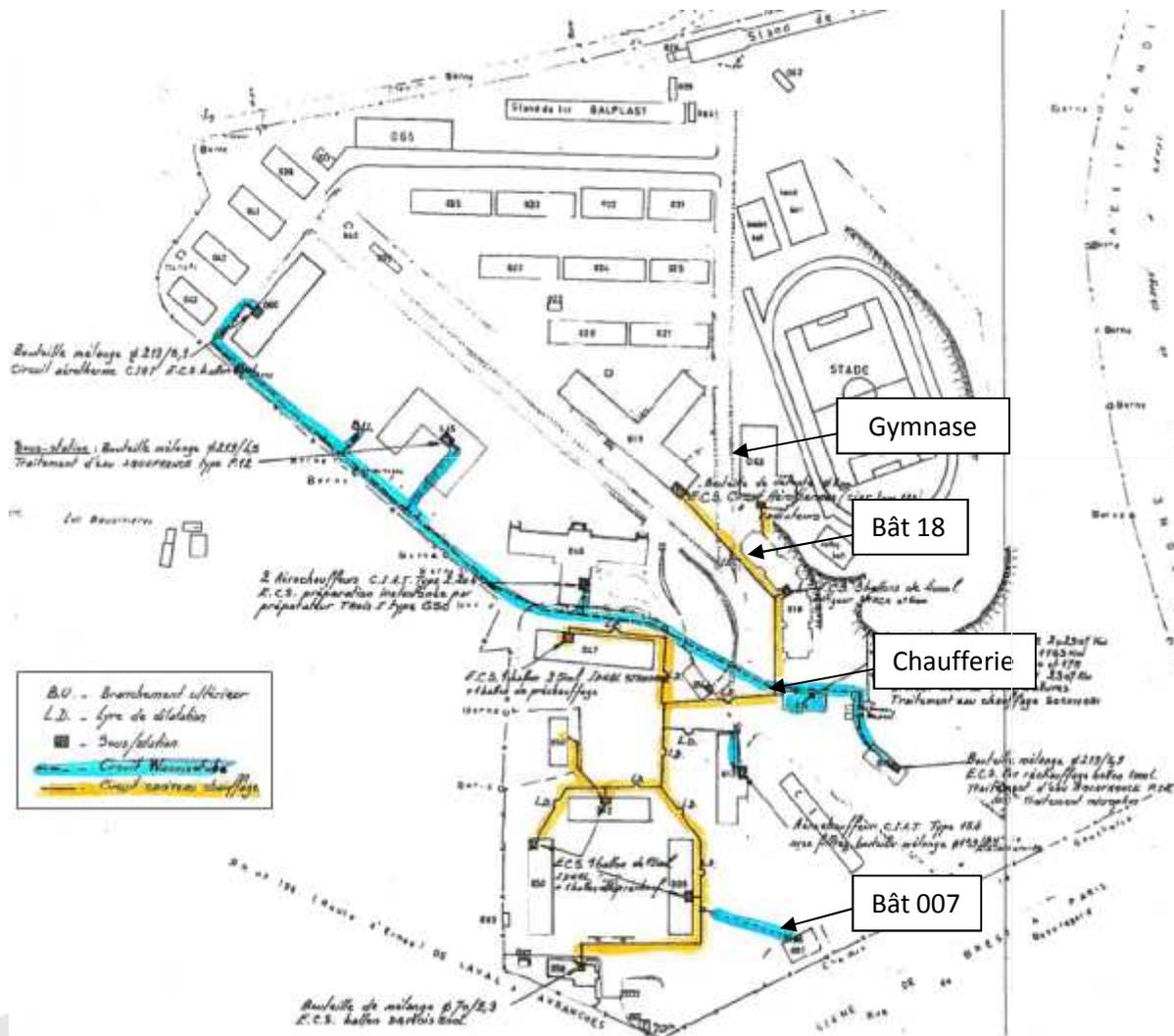
## 2-5 LE BOIS ÉNERGIE (suite)

### 4.2 Les caractéristiques d'un projet bois énergie

- Le bois énergie a deux applications :
  - Chaudière bois dédiée ou individuelle, à l'échelle d'un bâtiment ou d'un logement individuel :
    - Nécessité de ménager des voies de circulations adaptées aux modes de livraisons;
    - Exemple d'une chaudière granulés pour un petit équipement : chaufferie granulés, puissance 50 kW, consommation annuelle d'environ 20 tonnes/an.
  - Chaufferie bois centralisée avec réseau de chaleur pour un ensemble de bâtiments :
    - Nécessité d'une réserve foncière pour l'implantation d'une chaufferie, d'un espace de stockage et d'une aire de manœuvre;
    - Exemple d'un petit réseau de chaleur : chaufferie bois plaquette, puissance 800 kW, consommation annuelle de 700 à 900 tonnes de bois/ an.
- Quelques remarques concernant la création d'un réseau de chaleur :
  - **Des consommateurs importants** à faible intermittence doivent permettre de structurer le réseau (type hôpital, piscine, maison de retraite, grand ensemble de logements collectifs, ...);
  - Pour permettre une rentabilité technico-économique, **la densité énergétique** (rapport entre besoins en chaleur/longueur du réseau) doit être proche voire supérieure à 1,5 MWh par mètre-linéaire;
  - Nécessité d'intégrer un phasage de construction de la ZAC qui soit favorable au réseau de chaleur.

# 2-6 LES RÉSEAUX DE CHALEUR EXISTANTS

## 5.1 Le réseau de chaleur du 42°RT



Plan du réseau de chauffage - 1992

Le réseau existant présente un potentiel intéressant :

- La puissance de la chaufferie est suffisante pour couvrir les besoins de la ZAC;
- Le réseau a été refait en 1995-1996 et n'est pas dimensionné pour alimenter en chauffage/eau chaude sanitaire toute la ZAC.

En revanche, il sera nécessaire de :

- Faire des travaux de mises au normes et d'amélioration énergétique à faible temps de retour dans la chaufferie ;
- Passage du fioul au gaz ; remplacement d'un bruleur uniquement suffi
- Créer des réseaux de chaleur complémentaires.

## 2-6 LES RÉSEAUX DE CHALEUR EXISTANTS (suite)

### 5.2 Réseau de chaleur extérieur de la ZUP Saint Nicolas

- Il existe un réseau de chaleur urbain 100% gaz d'une longueur de 5 Km situé sur la ZUP Saint Nicolas au Sud de Laval;
- La fin de la délégation de service public est prévue le 1<sup>er</sup> septembre 2014;
- La chaufferie du réseau fonctionne majoritairement au gaz naturel avec un faible appoint au fioul lourd. La chaufferie est également équipée de moteurs gaz à cogénération dont le contrat de revente de l'électricité à EDF, d'une durée de 12 ans, a pris fin au 31 mars 2012. La consommation actuelle sur ce réseau est de 35 000 Mwh ;
- La chaufferie est équipée des éléments suivants :

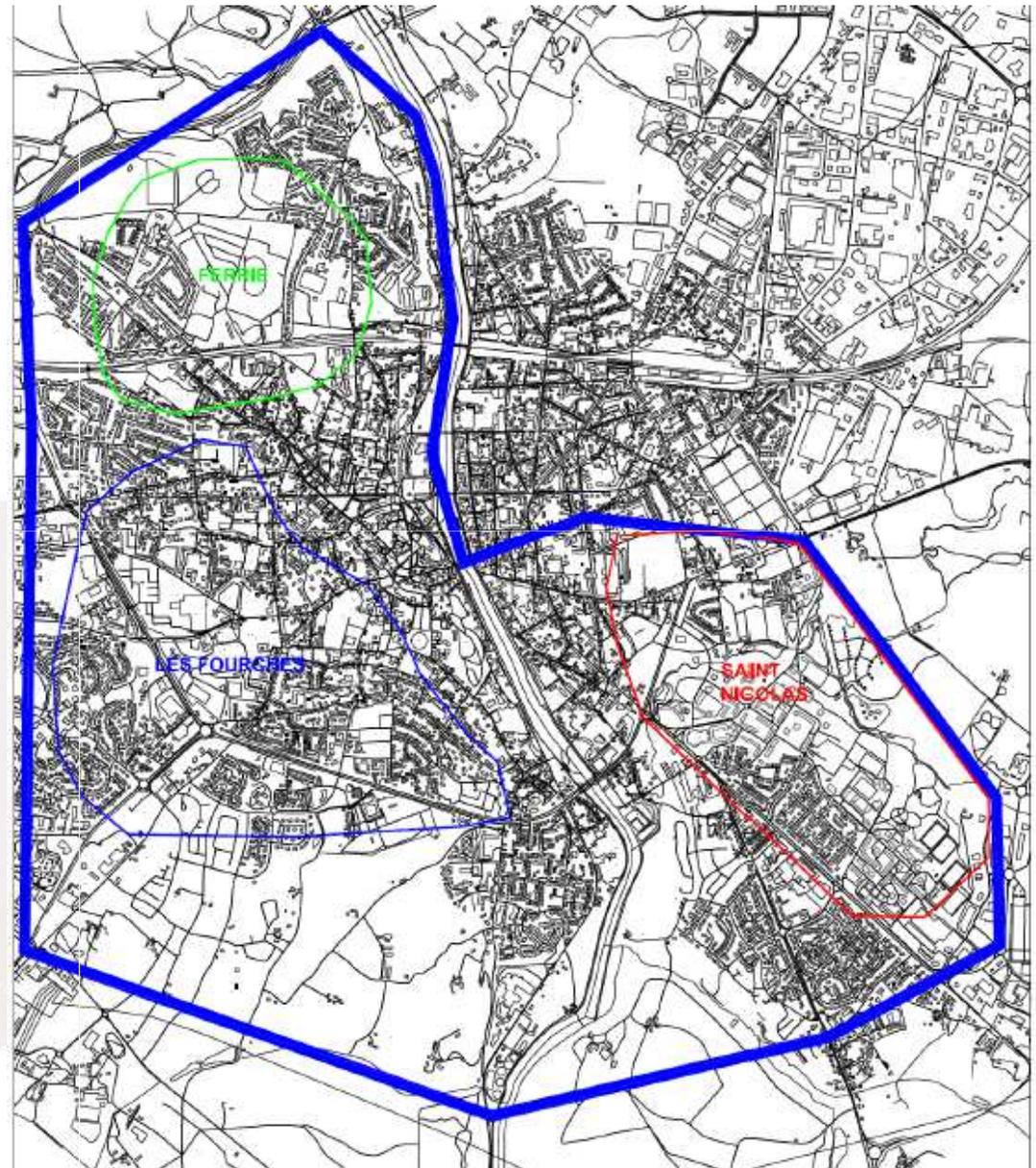
Type	Puissance ou volume	Année
Chaudière mixte gaz naturel – fioul lourd	10 MW	1997
Chaudière gaz naturel	3,5 MW	1999
Chaudière mixte gaz naturel – fioul lourd	6,9 MW	1969 (remplacement prévu en 2013 dans le plan de GER)
Cuves fioul aériennes	2 x 250 m <sup>3</sup>	1968
4 moteurs à gaz de cogénération « Jenbacher »	8 MWth	2000

## 2-6 LES RÉSEAUX DE CHALEUR EXISTANTS (suite)

Ce réseau est aujourd'hui à environ 7 Km par itinéraire routier de la ZAC du 42°RT.

Sans consommateur(s) important(s) sur la ZAC capable de supporter l'investissement d'une extension de réseau de chaleur les premières années, il est peu probable de trouver un financement du réseau aujourd'hui ou dans un avenir proche.

Le centre hospitalier pourrait jouer ce rôle. Dans tous les cas, une interconnexion du réseau du 42°RT et du réseau St Nicolas ne pourra pas être envisagée dans les 5 ans à venir. Il est nécessaire d'avoir recours à une solution d'approvisionnement énergétique propre à la ZAC en ayant à l'esprit un potentiel d'interconnexion des réseaux.



# 2-7 RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR DES EAUX USÉES

## TECHNOLOGIE DEGRÉS BLEUS

### LE BATIMENT

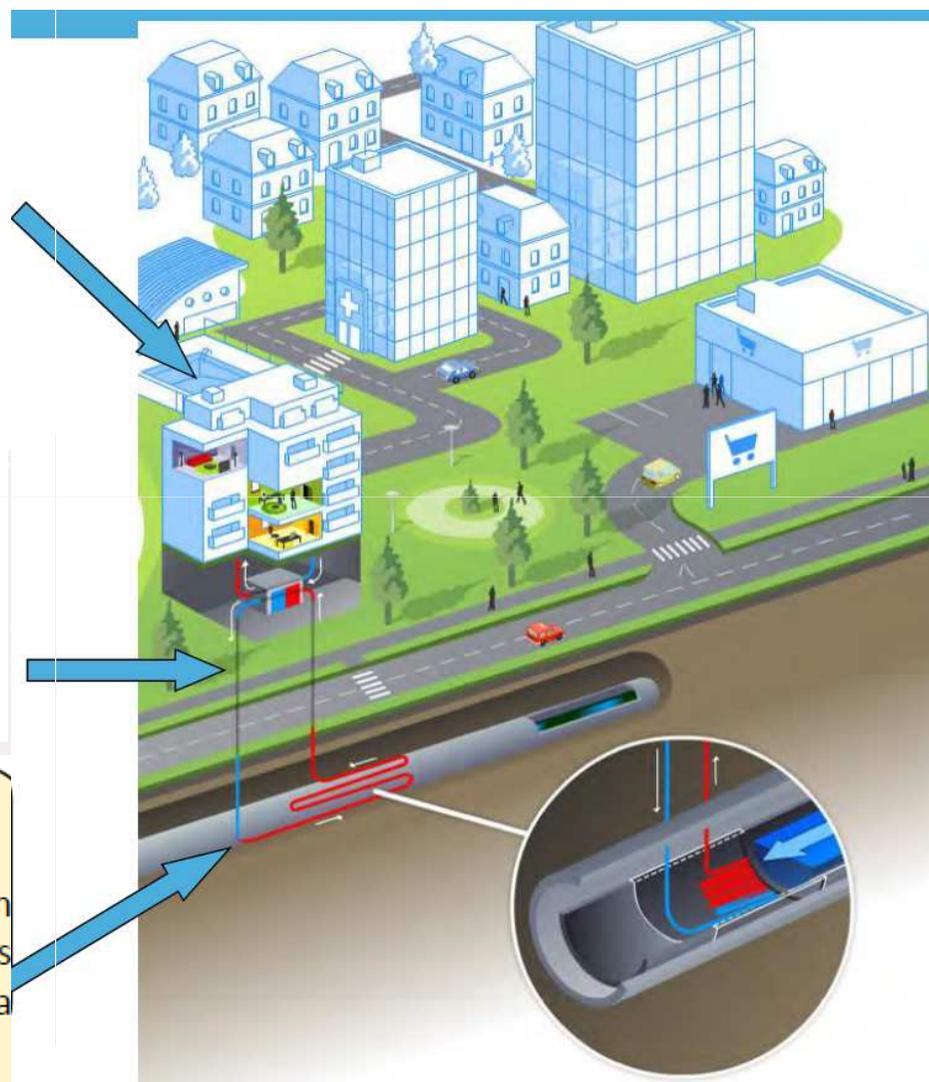
Le fluide sert à alimenter la pompe à chaleur installée dans la chaufferie et raccordée aux circuits de chauffage et/ou d'ECS du bâtiment. Pour une utilisation optimale, ces circuits doivent être basse température (< 65 C).

### LE FLUIDE CALOPORTEUR

Le fluide caloporteur circule en boucle fermée de l'intérieur des échangeurs à la chaufferie du bâtiment. Il est constitué d'eau glycolée. Sa température passe de 4 C à 8 C au contact de l'échangeur.

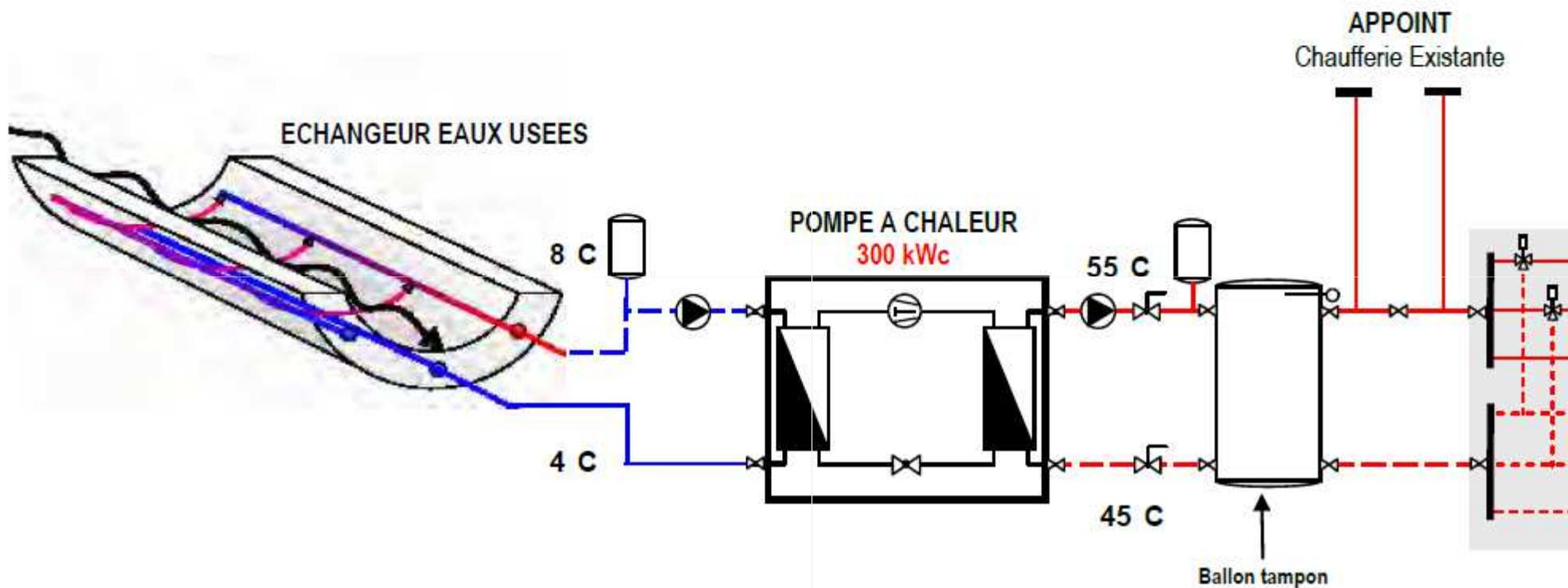
### L'ÉCHANGEUR

L'échangeur de chaleur est constitué de plaques en inox qui permettent de transférer les calories des eaux usées au fluide caloporteur qu'il contient. Sa durée de vie est de 30 ans



# 2-7 RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR DES EAUX USÉES

## TECHNOLOGIE DEGRÉS BLEUS (suite)



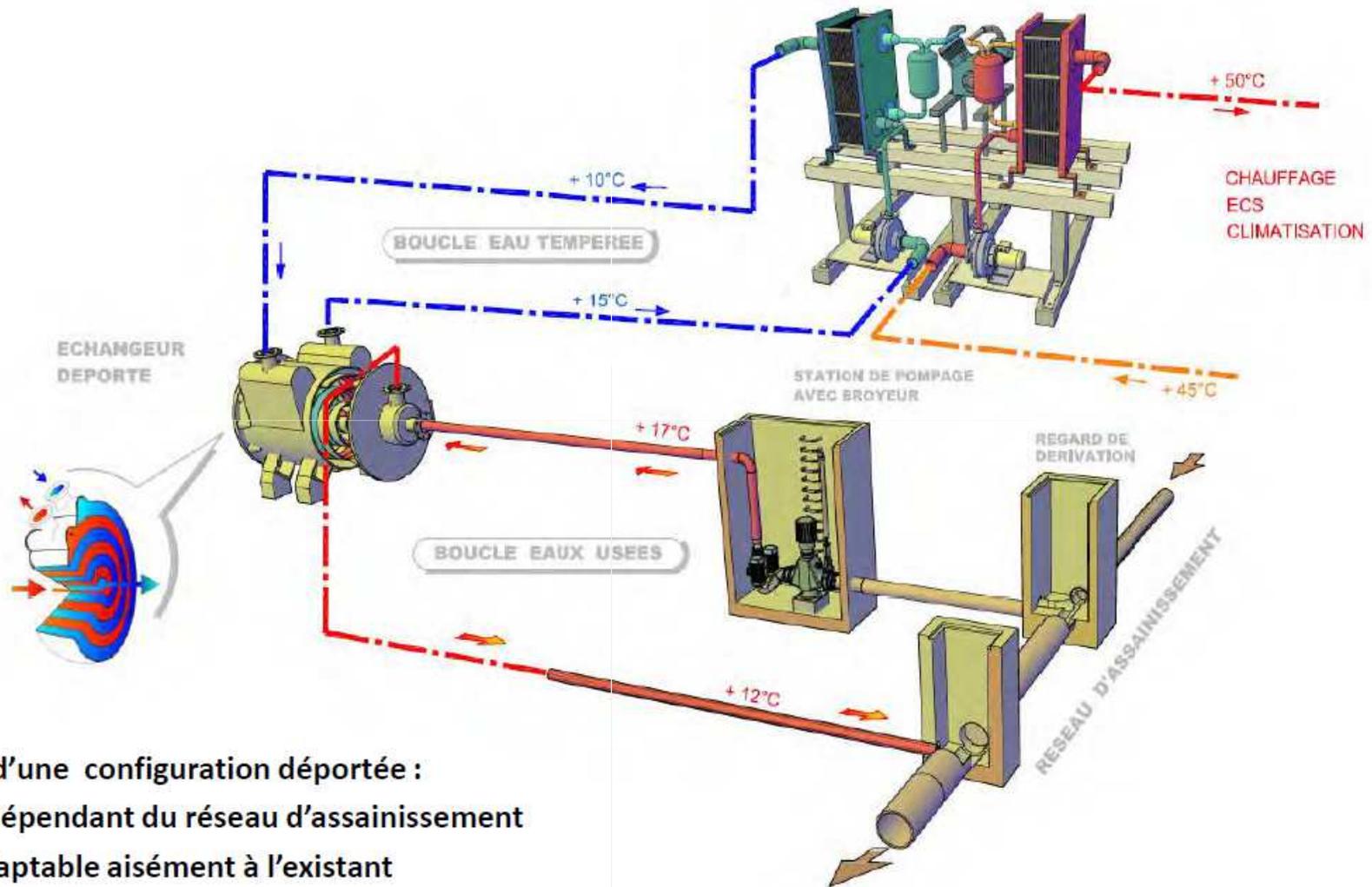
# 2-7 RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR DES EAUX USÉES

## TECHNOLOGIE DEGRÉS BLEUS (suite)



# 2-7 RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR DES EAUX USÉES (suite)

## TECHNOLOGIE ENERGIDO



Les atouts d'une configuration déportée :

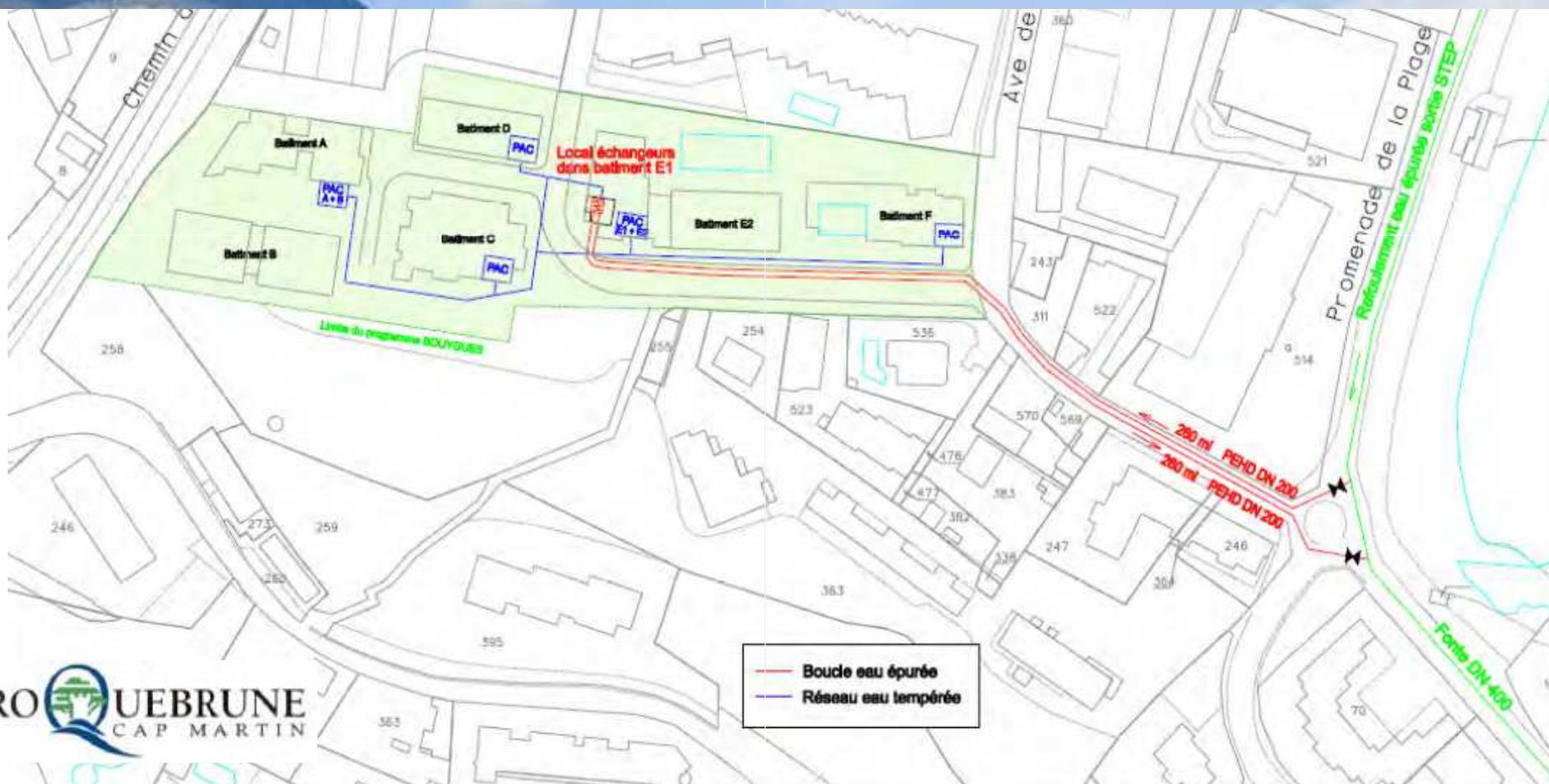
- Indépendant du réseau d'assainissement
- Adaptable aisément à l'existant
- Echangeur facilement accessible pour maintenance

# 2-7 RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR DES EAUX USÉES

## TECHNOLOGIE ENERGIDO (suite)

### Un éco-quartier dans la ville

Projet lauréat de l'appel à projet Eco-Quartier 2011 – catégorie Innovation



ROUEBRUNE  
CAP MARTIN

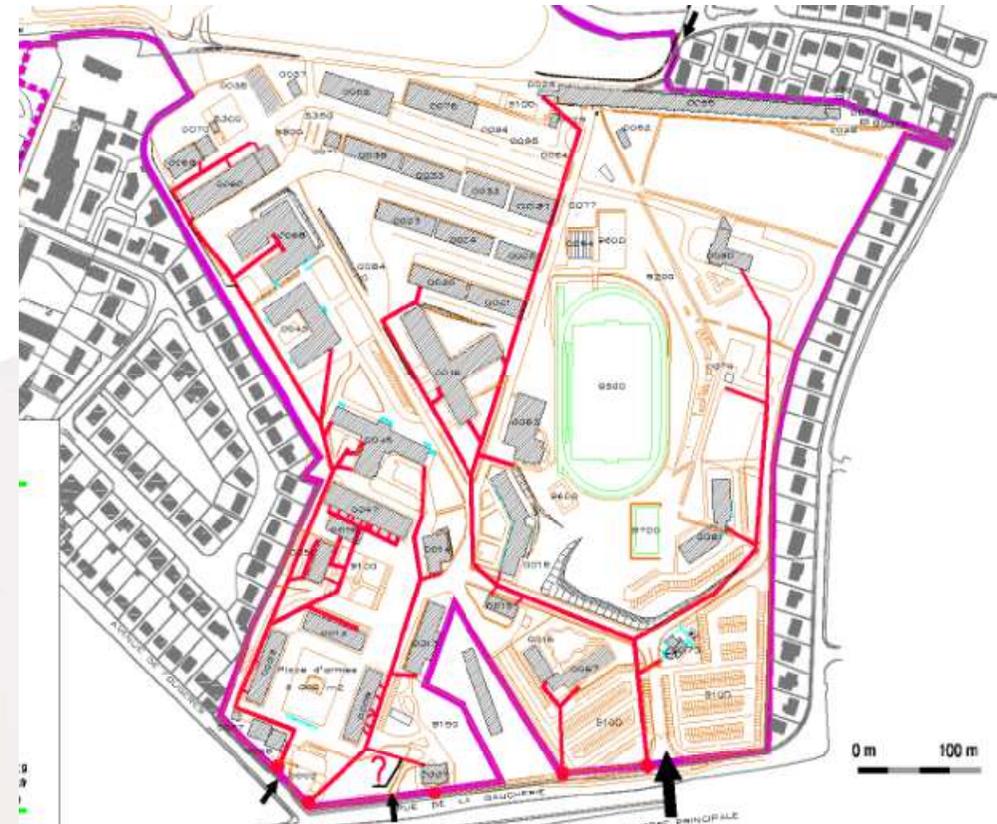


10003274-6864390  
27 juin 2013

[www.inddigo.com](http://www.inddigo.com)

## 2-7 RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR DES EAUX USÉES (SUITE)

- Pour que ce système soit viable, des conditions de rentabilité économique minimum doivent être respectées :
  - Puissance > 200 kW
  - Débit d'eaux usées > 10 l/s
  - Proximité de la canalisation d'eaux usées du projet
  - Nécessité d'avoir au moins 2 des 3 usages (chauffage, ECS, climatisation) pour avoir un appel de puissance continu toute l'année et permettre ainsi de réaliser un maximum d'économies



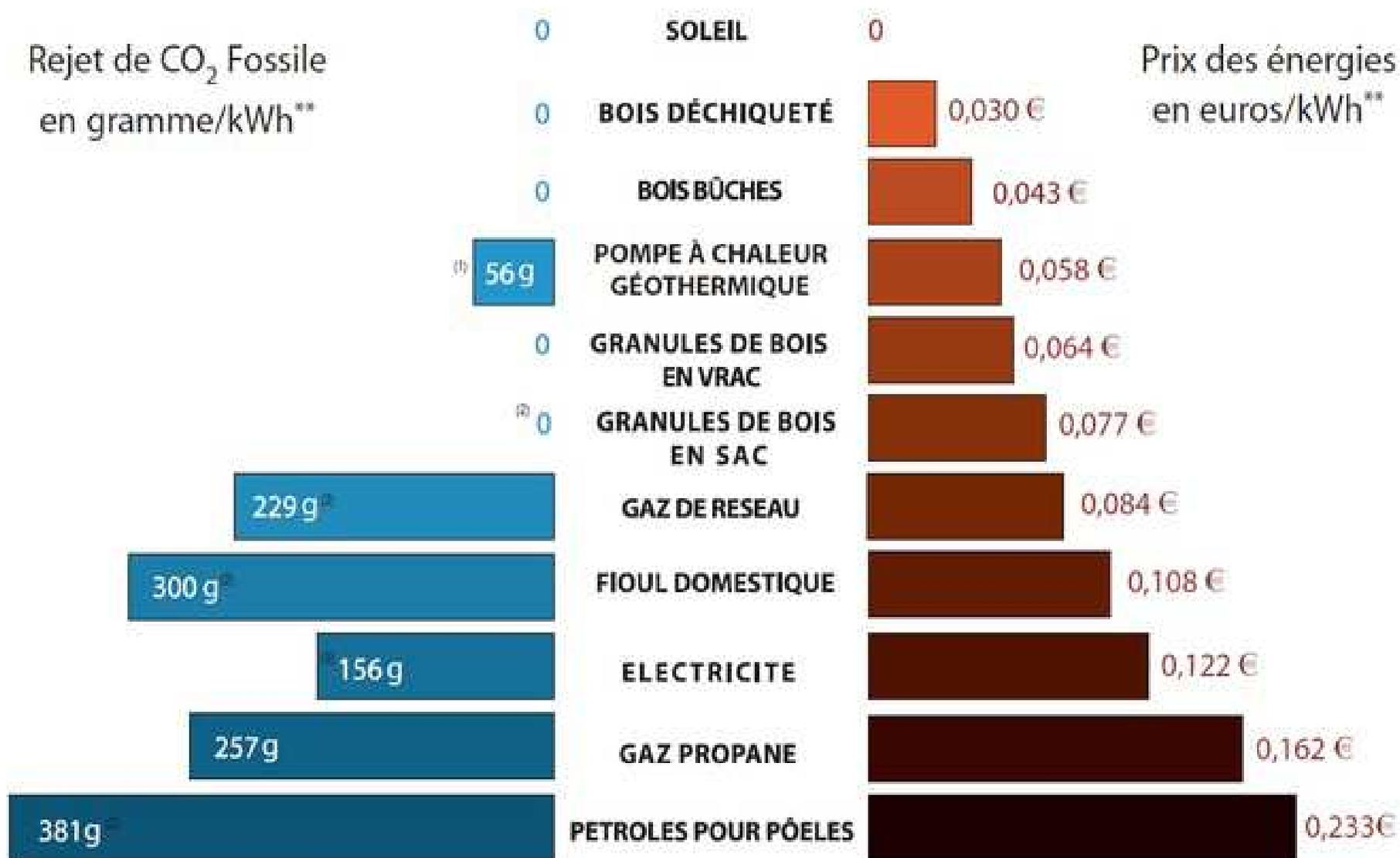
*Passage des réseaux d'eaux usées existants sur la partie Sud de la ZAC*



# 3. Définition des scénarii énergétiques



# 3-1 PRIX DES ENERGIES



\*\* kWh utiles - (1) Source : AJENA selon étude ADEME/EDF - (2) Source : ADEME - (3) Source : ADEME/EDF

# 3-2 SYNTHÈSE

Systèmes	Avantages du projet	Inconvénients du projet	Avis INDDIGO
Bois énergie	Filière bois d'approvisionnement locale déjà structurée ; Energie renouvelable ; Prix du bois décheté intéressant ; Bonification CO2 pour les réseaux de chaleur par la RT2012 ;	Disposer de place pour une implantation en ville ; Livraisons régulières par les camions ; Faible densité énergétique des bâtiments (RT2012 – RT2020) ; Investissement élevé ; Prix des granulés de bois pas adaptés en ville face au tarif du gaz ;	<b>Réseau de chaleur bois adapté à l'échelle de la ZAC ; Nécessité de trouver un terrain d'implantation ; Energie à étudier en phase 2 ;</b>
Eolien	Publicité / communication environnementale autour de la ZAC ; Energie gratuite ;	Pas de rentabilité économique ; Implantation en hauteur ;	<b>Implantation d'une petite éolienne verticale de quelques kW est envisageable ; Investissement autour de 30k€ ;</b>
Géothermie très basse énergie	Chauffage et climatisation sur le même système ; Adapté aux bâtiments tertiaires à climatiser ; Performance intéressante ; Nappe d'eau de potentiel intéressant ;	Nécessite la réalisation d'un forage test et d'analyse de l'eau ; Système de chauffage à basse température ;	<b>Potentiel à l'échelle du bâtiment uniquement ; Système complexe pouvant difficilement être imposé aux futurs acquéreurs ; Etude à faire en phase opérationnelle par les opérateurs ;</b>
Méthanisation / Biogaz	Gestion durable et de proximité des déchets d'un territoire ; Valorisation du digestat pour les agriculteurs ; Production d'une énergie renouvelable ;	ZAC en milieu urbain difficile à approvisionner ; Nécessite un emplacement de stockage ; Gêne olfactive ; Système couteux ;	<b>Pas de projet aujourd'hui sur la ZAC ; Pas de potentiel, donc non retenu pour la phase 2 ;</b>
Raccordement à un réseau de chaleur /froid	Réseaux existants donc investissement réduit ;	Réseau existant 100% fioul ou gaz, mauvais bilan carbone ;	<b>Potentiel déjà présent sur la ZAC Opportunité de réutilisation, voir d'extension à étudier ;</b>
Marine, hydraulique	Energie gratuite ; Faibles coûts d'entretien ; Technologie éprouvée ;	Potentiel sur la ZAC ;	<b>Système inadapté qui n'est pas retenu pour la phase 2 ;</b>
Cogénération biomasse	Filière bois d'approvisionnement locale déjà structurée ; Energie renouvelable ; Production d'électricité ;	Puissances importantes requises ; Impossibilité d'implantation en centre-ville sur la ZAC ; Système très couteux ; Système basse puissance en phase de commercialisation ;	<b>Pas de projet industriel in situ ; Pas d'opportunité sur la ZAC – solution non retenue pour la phase 2 ;</b>
Chaleur fatale des eaux usées	Chauffage et climatisation sur le même système ; Performance très intéressante ;	Nécessité d'avoir des débits d'eaux usées >10l/s et à température constante à proximité de la ZAC (<300 m) Système de chauffage à basse température ;	<b>Pas assez de débit dans les canalisations à proximité de la ZAC - Solution à étudier en 2040.</b>
Solaire thermique	Energie gratuite ; Indépendance énergétique par rapport aux énergies fossiles ; Adapté au besoin d'ECS des logements	Inadéquation des besoins de chauffage avec la période d'ensoleillement ; Climatisation solaire est couteuse et peu adaptée ; Nécessité d'avoir de grands espaces au sol et/ou des Conception des toitures à prévoir ; Investissement lourd ;	<b>Système adapté pour tous les bâtiments de logements ; A étudier en phase 2 ;</b>
Solaire photovoltaïque	Energie gratuite ; Indépendance énergétique par rapport aux énergies fossiles ; Tarif d'achat subventionné ; Production permettant d'atteindre la RT2020	Rendement faible (<20%) ; Surcoût important ;	<b>Application à l'échelle du bâtiment uniquement, donc à installer par les acquéreurs dans un bâtiment privé ou par une collectivité sur un bâtiment public ;</b>



## 3-3 PISTE À ÉTUDIER

- Les scénarios suivants ont été retenus et seront étudiés de manière technique, économique et environnementale dans la partie suivante :
  - Scénario de référence :  
Chaudières collective gaz à condensation pour la production du chauffage et d'eau chaude sanitaire;
  - Scénario 1 : scénario de référence + panneaux solaires thermiques;
  - Scénario 2 : Raccordement des bâtiments au réseau de chaleur gaz existant ;
  - Scénario 3 : Réseau de chaleur bois sur l'ensemble de la ZAC.

## 4. Les scénarii

A ce stade du projet, le phasage de construction de la ZAC n'est pas défini

Les scénarii de réseaux de chaleur sont étudiés « en statique » en considérant que l'ensemble de la ZAC est construite

# 4-1 CRITÈRES D'ANALYSE

- Aspect financier : Analyse en coût global (en phase 2)

Le coût global permet d'apprécier l'ensemble des coûts liés aux différents postes énergétiques (consommations, entretien, renouvellement, investissements)

Il se décompose en 4 postes de dépenses annuelles :

- $P_1$  : facture de combustible annuelle (gaz, bois, électricité, ...)
- $P_2$  : entretien et renouvellement du petit matériel
- $P_3$  : renouvellement du gros matériel
- $P_4$  : annuité d'emprunt sur 20 ans (investissement)

- Aspect environnemental : (en phase 2)

Plusieurs critères pris en compte :

- Impact sur les ressources: Consommation d'énergie primaire non renouvelable
- Impact climat : émissions de  $\text{CO}_2$  (gaz à effet de serre)
- Impact sur la qualité de l'air : émissions de  $\text{SO}_2$  (dioxyde de soufre), Nox (oxydes d'azote), poussières
- Déchets radioactifs générés

## 4-2 COMPARAISON DES SCENARII

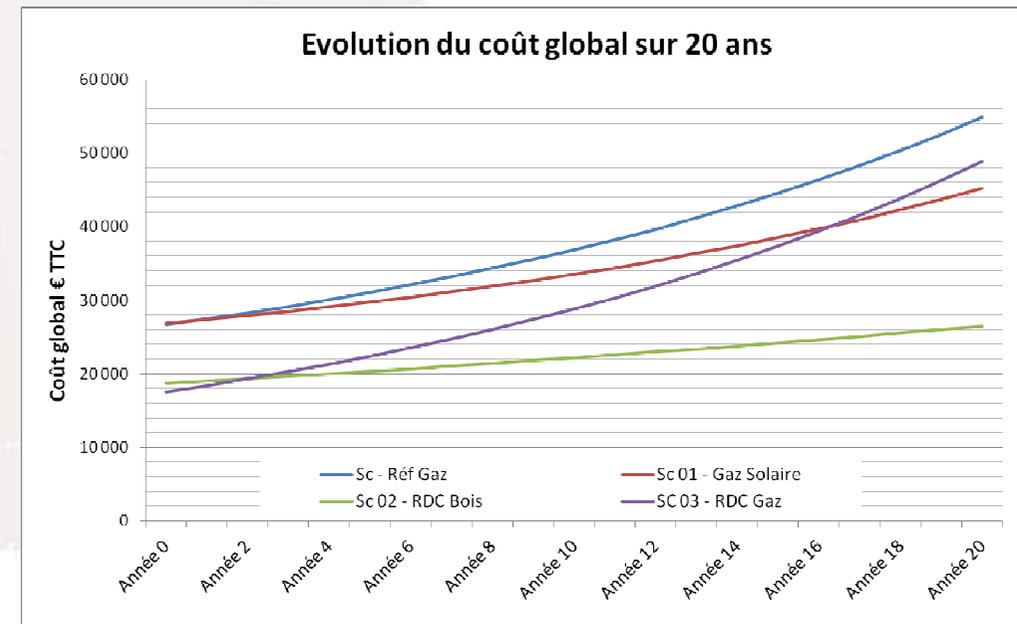
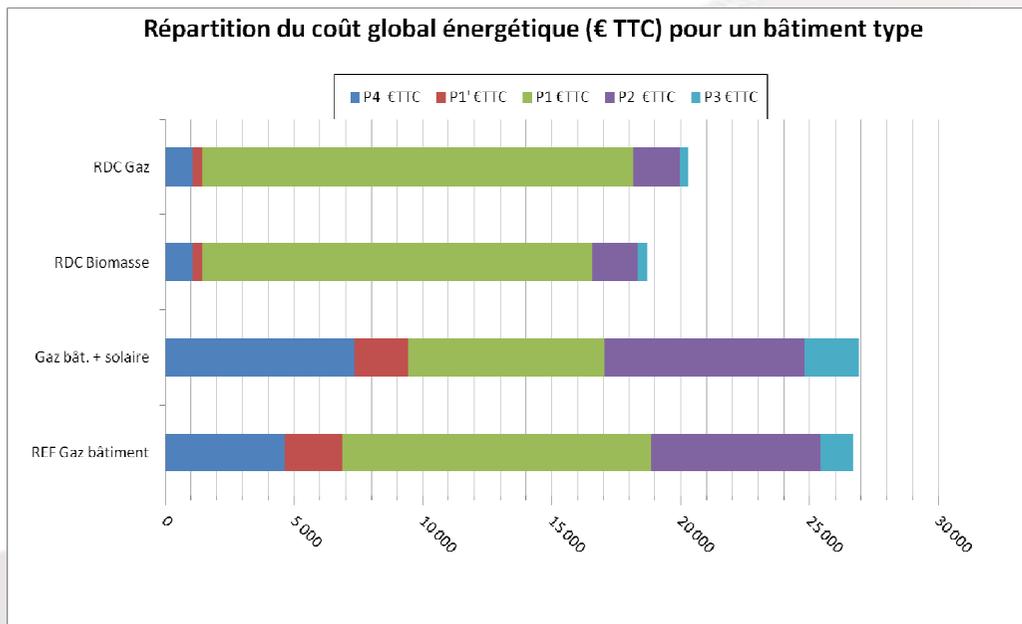
- Description technique des scénarios :
  - Afin de faire des économies, le réseau de chaleur devrait être à basse température. Cela impose que tous les émetteurs (radiateurs par exemple) des bâtiments existants et futurs soient dimensionnés pour;
  - Cette première comparaison permet d'évaluer les investissements liés au choix énergétique. Une partie des investissements est commune à l'ensemble des bâtiments et n'est donc pas chiffrée (radiateurs, ...)

	Scénario 01	Scénario 02	Scénario 03	Scénario 04
	REF Gaz bâtiment	Gaz bât. + solaire	Réseau Bois	Réseau existant
Echelle	bâtiment	bâtiment	ZAC	ZAC
<b>Chauffage :</b>				
Système de production	Chaudière gaz collective	Chaudière gaz collective	Chaufferie centrale + échangeur de chaleur dans chaque bâtiment	Chaufferie centrale + échangeur de chaleur dans chaque bâtiment
Système de distribution primaire			Réseau de chaleur urbain	Réseau de chaleur urbain
Système de distribution secondaire	Réseau de chauffage classique dans le bâtiment	Réseau de chauffage classique dans le bâtiment	Réseau de chauffage classique dans les bâtiments	Réseau de chauffage classique dans les bâtiments
Système d'émission	Radiateurs standards basse température			
<b>Eau chaude sanitaire :</b>				
Système de production	Via chauffage avec ballon de stockage	Via chauffage et panneaux solaires avec ballon de stockage	Via réseau de chaleur urbain avec ballon de stockage	Via réseau de chaleur urbain avec ballon de stockage
Système de distribution secondaire	Système classique avec bouclage			
<b>Aménagement nécessaire :</b>				
Sur la ZAC	Réseau de gaz de ville	Réseau de gaz de ville	Réseau de chaleur	Réseau de chaleur
Sur le bâtiment	Réserver un local technique chaufferie	SC01 + Orientation / inclinaison des toitures		
Financement préféré	par GDF / par l'aménageur (dans le foncier)	Solaire : par l'acquéreur	Chaufferie : DSP Réseau : DSP, aménageur	Chaufferie : DSP Réseau : DSP, aménageur
<b>Estimation €HT</b>				
Aménagement ZAC	de 200 à 500 k€	de 200 à 500 k€	de 2,5 à 3,5 M€	de 1 à 1,5 M€
Production dans le bâtiment	Env. 50 k€	Env. 80 k€	Env 15 k€	Env 15 k€

# 4-2 COMPARAISON DES SCENARII (suite)

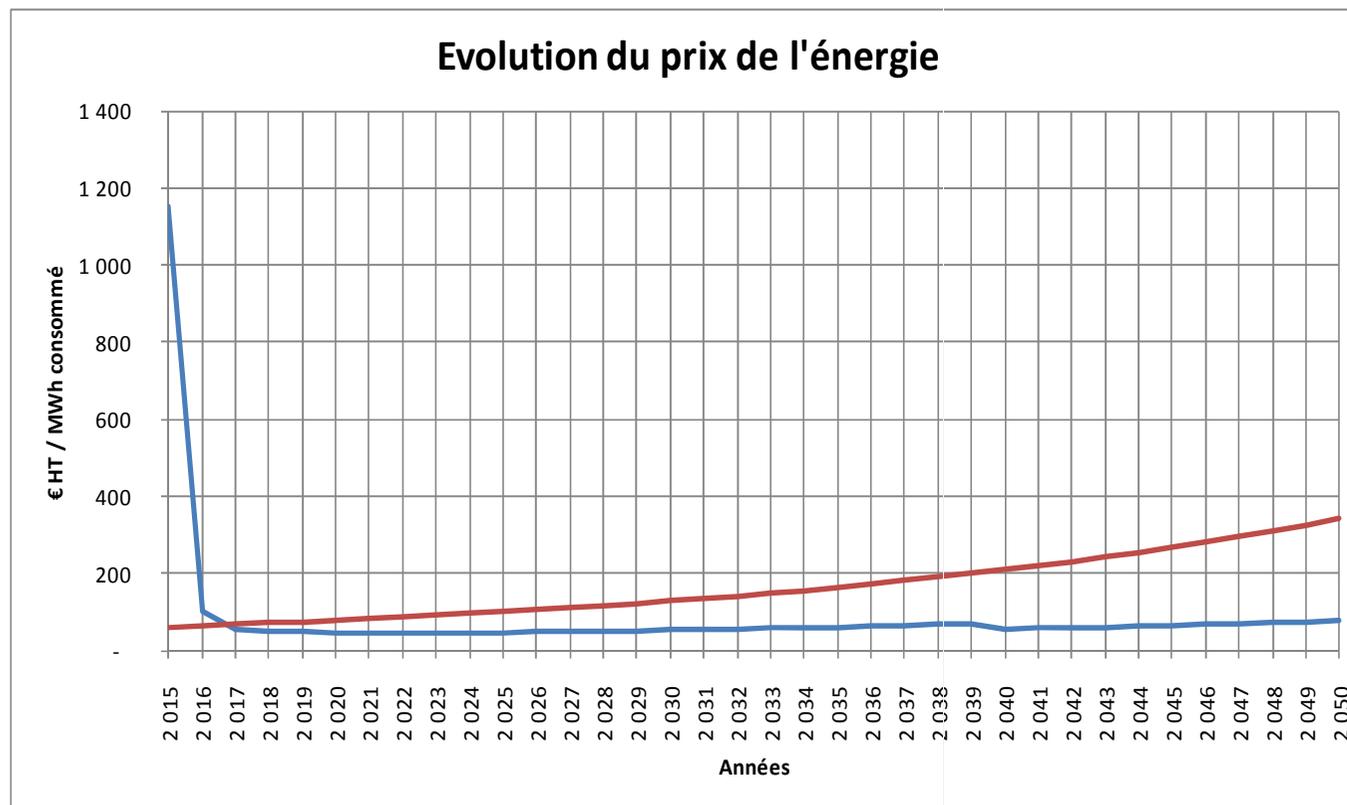
- Synthèse en coût global – première estimation

Logement type	REF Gaz bâtiment	Gaz bât. + solaire	RDC Biomasse	RDC Gaz
P4 €TTC	3 863	6 138	883	883
P1' €TTC	1 880	1 758	305	305
P1 €TTC	10 018	6 345	14 338	13 989
P2 €TTC	5 504	6 504	1 500	1 500
P3 €TTC	1 050	1 750	300	300
Total avec subventions €TTC	22 316	22 495	17 326	16 977



# 4-3 RÉSEAU DE CHALEUR

## INFLUENCE DU PHASAGE SUR LE PRIX DE VENTE DE LA CHALEUR SOLUTION A ÉVITER



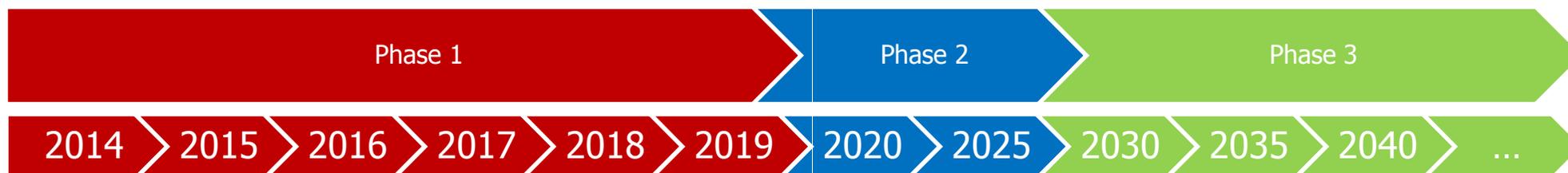
Prix du gaz	6%
Prix de l'élec	4%
Prix de la chaleur bois	2%
Abonnement inflation	1,5%

Simulation en statique

Simulation en dynamique  
+ 11 €/MWh de prix de revient de la chaleur

- Le prix de l'énergie pour que le gestionnaire soit à l'équilibre budgétaire est la première année de 1000 € HT/MWh.
- Les premières années, le gestionnaire du réseau devra donc porter l'endettement lié au phasage.

## 4-4 RÉFLEXION SUR UN SCÉNARIO D'AMÉNAGEMENT



### Chaufferie



### Réseau de chaleur inclus dans la DSP :



### Réseau payé par l'aménageur puis financé sur le foncier :



**Objectif** : Connaître le prix de revient de la chaleur puis le comparer à celui du gaz de ville pour évaluer la pertinence du business plan.

# 4-5 RÉSEAU DE CHALEUR JUSQU'À LA CRV ?

- La CRV :
  - Puissance chaud de 250 kW
  - Consommation de 200 MWH
- Les deux réseaux existants dans sa direction sont :
  - Réseau n°1 :
    - Bout de réseau : DN 80 = 400 kW maximum
    - Départ chaufferie : 95 m<sup>3</sup>/h = 2,2 MW et DN 150
  - Réseau n°3 :
    - Bout de réseau : DN 40 = 80kW maximum
    - Départ chaufferie : 50 m<sup>3</sup>/h = 1MW et DN 125
- Deux solutions :
  - Soit prolongation réseau 1 dont le potentiel ne pourra alors pas être utilisé sur la ZAC...
  - Soit création d'un réseau depuis la chaufferie, sachant que celle-ci a peut-être un usage temporaire à 10 ans