



ZAC du quartier de la Gare

Etude de potentiel en énergies renouvelables

Octobre 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

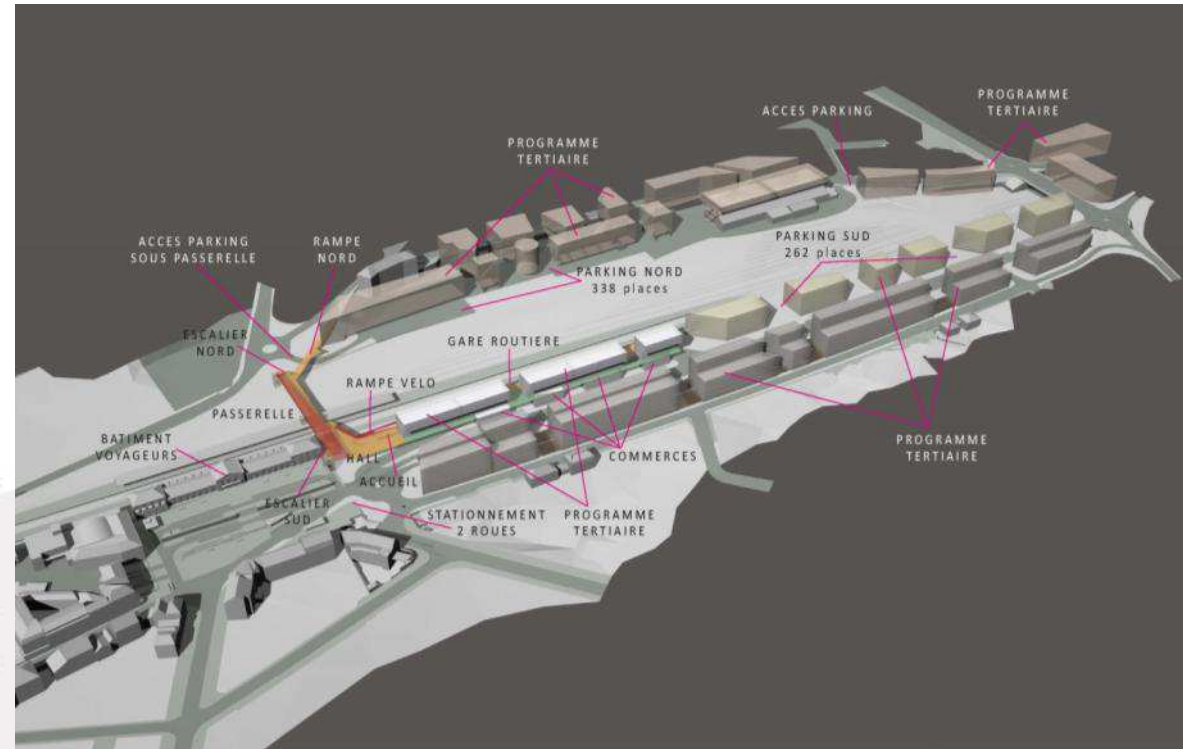
3- Définition des scénarii énergétiques

- 3-1 Prix des énergies
- 3-2 Synthèse
- 3-3 Pistes à étudier
- 3-4 Dimensionnement

4- Les scénarii

- 4-1 Critères d'analyse
- 4-2 Comparaison des scénarii
 - 4-2-1 Tertiaire
 - 4-2-2 Logement
- 4-3 Réseau de chaleur et phasage

5- Conclusion



Septembre 2012

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 d'aménagement.
- La présente étude a pour objectifs :
 - D'estimer les besoins énergétiques des bâtiments en fonction des plans prévisionnels de la ZAC, mais également en fonction des surfaces des bâtiments et de la répartition entre activités qui est susceptible d'évoluer 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 des travaux d'infrastructures sur l'avant projet ;
 - 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.

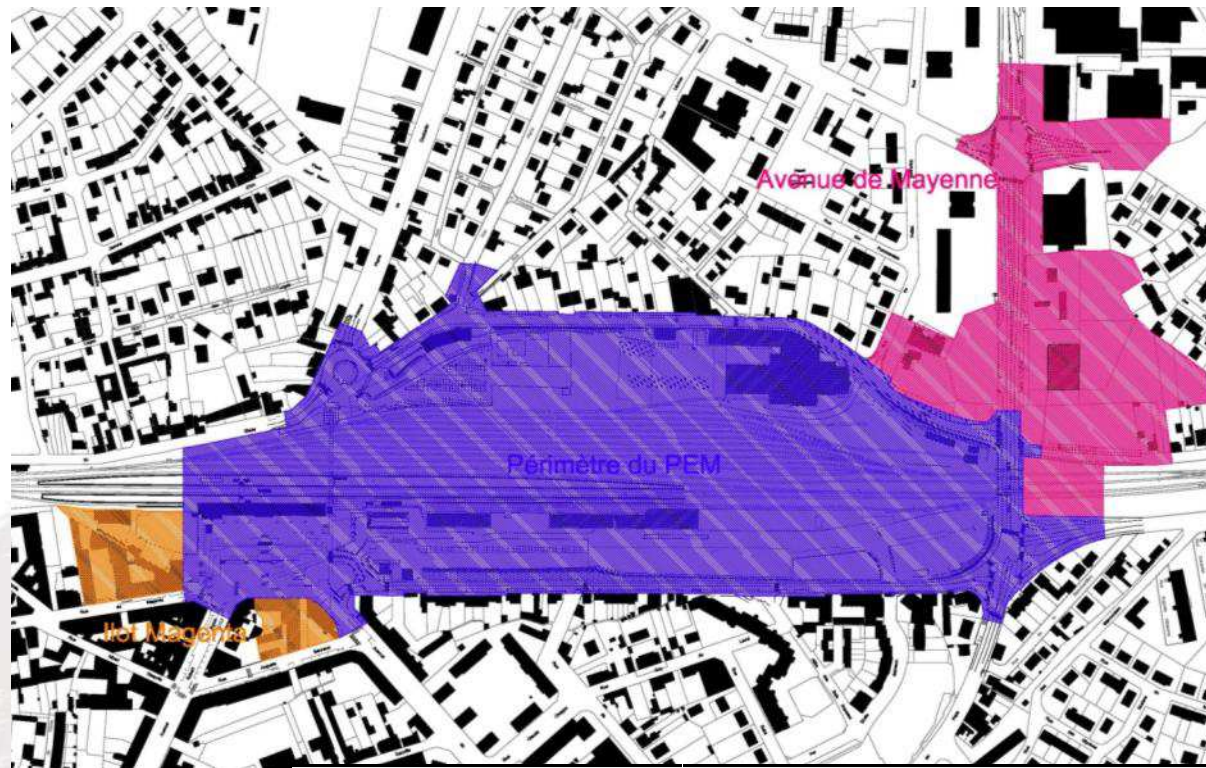


1. ESTIMATION DES BESOINS



1-1 DONNÉES DU PROJET

- Le projet de rénovation urbaine du secteur de la gare prévoit un certain nombre de démolitions, interventions sur les bâtiments existants et de constructions neuves.



Novembre 2012

Destination SPC				
Tertiaire	Commerces	Logements	Equipements	Hotel
55 553 m ²	4 781 m ²	85 407 m ²	1 275 m ²	1 105 m ²
38%	3%	58%	1%	1%
148 122				

Projet composé à 58% de logements ;

En première approche : **50% des bureaux et commerces ont des besoins de climatisation ;**

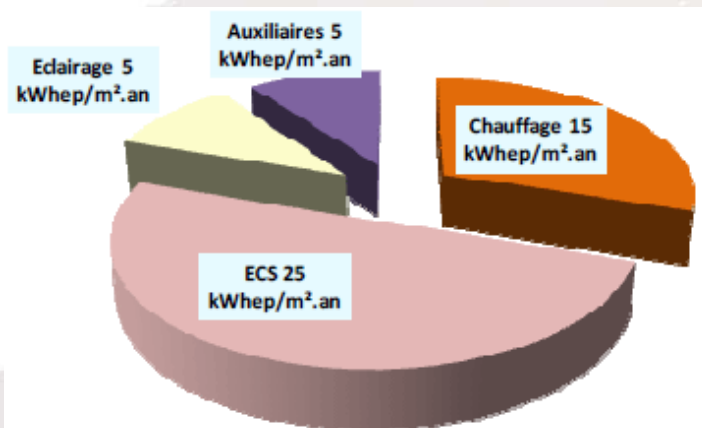
1-2 LA RÉGLEMENTATION THERMIQUE

- 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/m²/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, ...

Le 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/m² pour les bâtiments de logements.

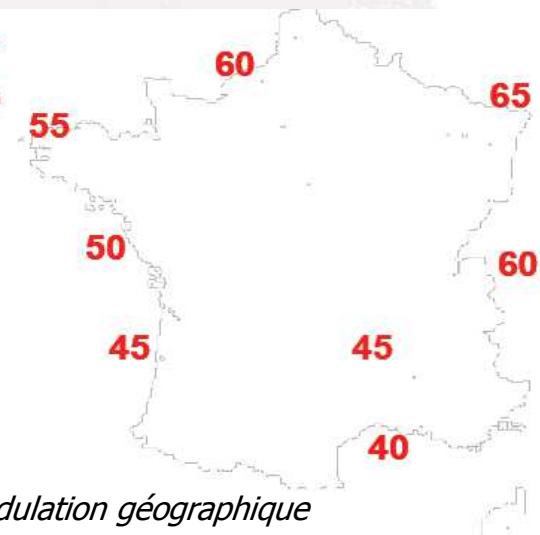
- Exemple pour du logement :



Répartition type par poste pour un bâtiment de logements

Cep_{max} en maison individuelle et en immeuble collectif après le 1^{er} janvier 2015

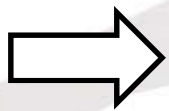
Hors modulation du M_{surf} et Altitude < 400m



Modulation géographique

1-2 LA RÉGLEMENTATION THERMIQUE

- De la climatisation pour les bâtiments tertiaires et de commerces ?
 - Comme la RT2005, la RT2012 distribuera des droits à climatiser en fonction du classement au bruit et de la zone géographique (objectif différents au centre ville de Marseille et au cœur du département du Morbihan, par exemple). Dans le cas présent, il n'y aura pas de droit à consommer. Il sera nécessaire de compenser les consommations de climatisation par la réduction des autres usages !
 - Nous voyons apparaître de nos jours des bâtiments sur isolés et inconfortables sans climatisation en période estivale. La RT 2012 met plus l'accent sur la conception bioclimatique. Cependant, il apparaît délicat de concevoir des bâtiments tertiaires et surtout de commerces sans climatisation notamment car:
 - La filière professionnelle du bâtiment n'est pas encore formée à la conception bioclimatique ; on constate donc généralement des écarts entre la réalité mesurée une fois les aménagements finalisés et la feuille de calcul initiale.
 - Les exploitants de bâtiments tertiaires commencent à prendre des compétences sur la gestion spécifique liée aux bâtiments basse consommation, très difficiles à réguler ; nous observons généralement des consommations réelles bien supérieures aux consommations prévisibles.
 - Notons cependant que sans objectifs de labels de performance, la RT2012 améliore l'utilisation de la climatisation pour les commerces et le tertiaire par rapport à la RT2005.



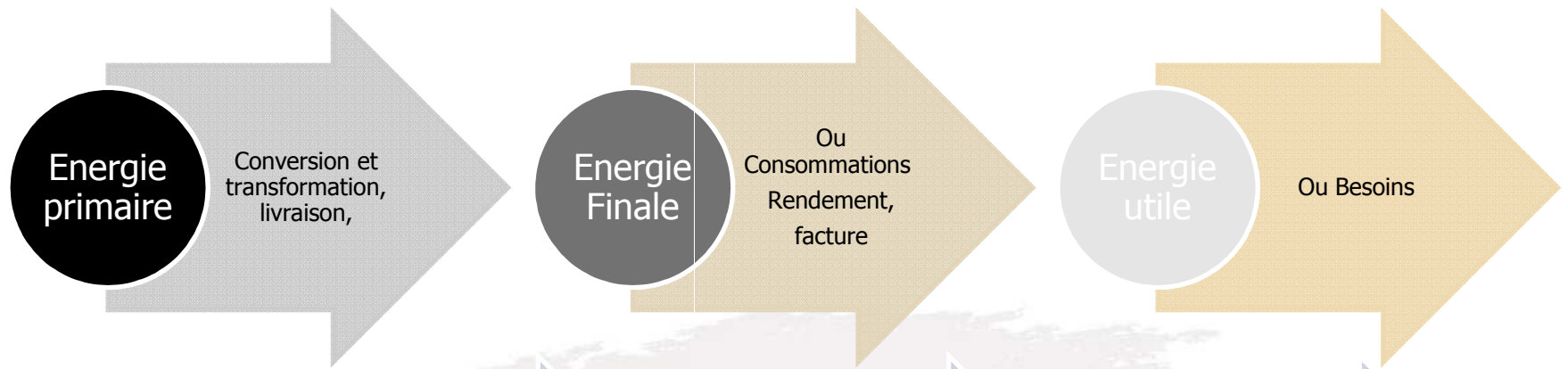
Nous intégrons donc des besoins de climatisation dans notre démarche.

1-2 LA RÉGLEMENTATION THERMIQUE (suite)

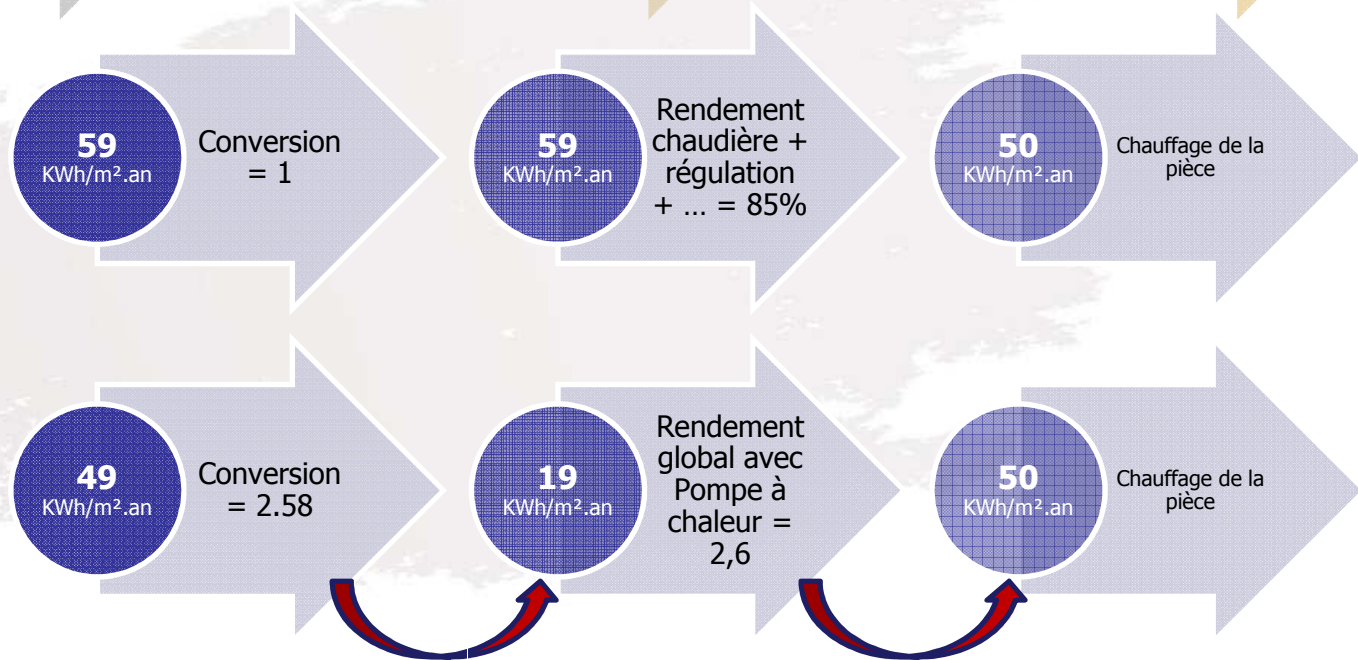
- Remarques importantes :
 - La RT fixe des objectifs en termes de consommations d'énergie, et non de besoins :
 - Les besoins en énergie sont la quantité de chaleur nécessaire à l'utilisateur final pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, Ils sont fonction de la qualité d'isolation du bâtiment, de 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



Division par 2.58

www.inddigo.com

Multiplication par 2,6



1-2 LA RÉGLEMENTATION THERMIQUE

RT 2020

- Certaines parcelles de la ZAC seront construites après 2020 et seront donc soumises aux règles de la future RT 2020.
- Nous disposons de peu d'informations aujourd'hui sur la future RT2020.
- Les différents communiqués sur le sujet laissent à penser que les bâtiments devront être « Bepos »; c'est-à-dire Bâtiment à Energie POSitive. Autrement dit, ils devront produire de l'énergie pour compenser leurs consommations.
- Pour notre étude, nous prenons le parti de considérer que les consommations de chauffage et de climatisation sont déjà réduites à leurs maximums par la RT2012 (celles-ci sont tellement basses que les objectifs ne sont jamais atteints, donc il est inutile de réduire d'avantage les consommations de chauffage). Par conséquent nous faisons l'hypothèse que les besoins de chauffage et de climatisation de la RT2020 seront identiques à ceux de la RT2012. La seule différence sera donc que les bâtiments RT2020 devront produire de l'énergie.

1-3 HYPOTHÈSES

- Les retours d'expérience montrent que les consommations de la RT ne correspondent pas à la réalité. Des études (notamment celle menée par ENERTECH) ont montré des écarts de plus de 30% sur le poste chauffage. Nous souhaitons dimensionner les systèmes d'approvisionnement énergétique sur la réalité afin que nos résultats aient une réelle pertinence. Ainsi pour l'étude de potentiel, nous fixons des besoins énergétiques en cohérence avec les objectifs de consommations de la RT et y ajoutons une majoration.
- Hypothèses INDDIGO pour les bâtiments de la ZAC :

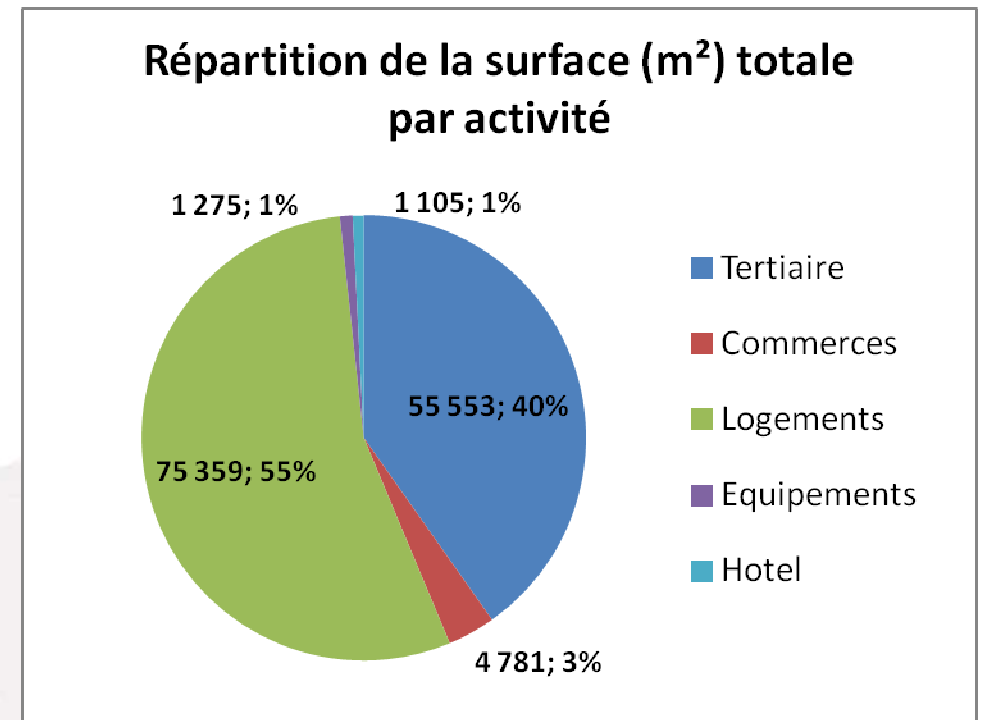
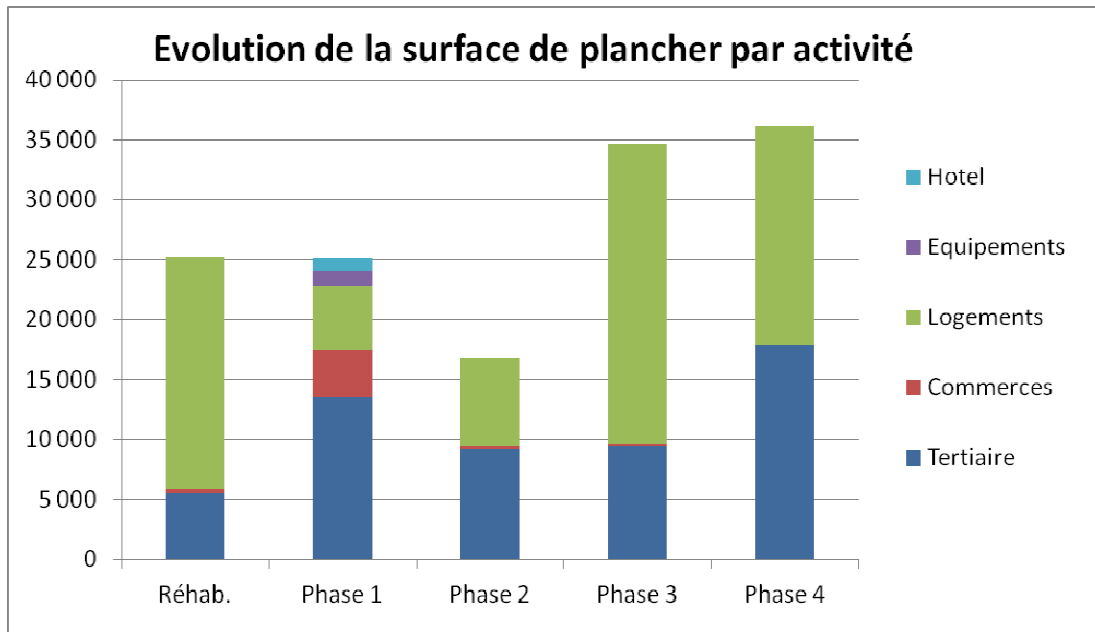
		Tertiaire avec clim	Tertiaire sans clim	Commerces	Logements	Hôtel
Besoins chaud	kWh/m ²	30	30	25	16	16
Besoins clim		14,4	0	30	0	0
Besoins ECS		0	0	0	25	25
Puissance chaud	W/m ²	36	36	30	25	25
Puissance clim		36	0	57	0	0
Puissance ECS		0	0	0	15	15

Notons que la ZAC aura des besoins de chaud et de froid de manière simultanée. Une solution centralisée comme le réseau de chaleur devra apporter une réponse technique à cette demande.

- 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

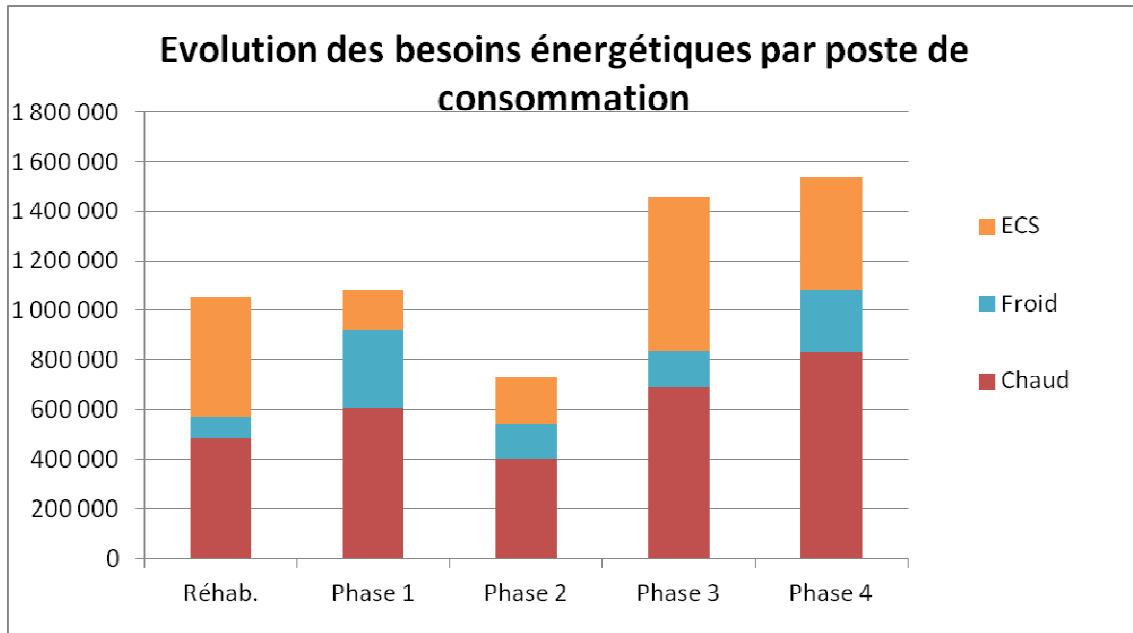
Les surfaces :



- 55% de la surface de la ZAC sera du logement pour une SP totale de 73 359 m². les logements représentent un enjeu important dans le choix de la solution d’approvisionnement énergétique.
 - Le tertiaire et le commerce regroupent l’autre moitié de la surface de plancher prévue.
- Par conséquent, les besoins frigorifiques seront fondamentaux dans le choix de la solution d’approvisionnement énergétique.**
- La mixité des usages sur la ZAC est une qualité pour l’élaboration d’un réseau de chaleur car il procure des appels de puissance constants tout au long de la journée; les besoins énergétiques des logements et du tertiaire se complètent sur 24heures.

1-4 SYNTHÈSE DES BESOINS (suite)

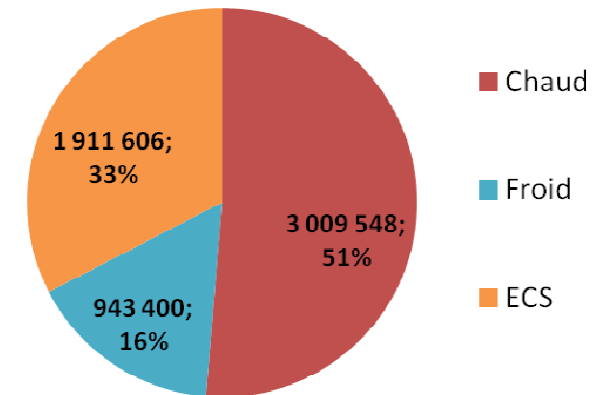
Les besoins énergétiques :



Aujourd'hui, la construction de la ZAC est prévue sur 4 phases de 5 années chacune.

Les bâtiments post phase 2 seront donc soumis à la RT 2020 ;
Les bâtiments devront produire de l'énergie au sens du label BePos (Bâtiment à énergie positive).

Répartition des besoins énergétiques par poste de consommation



Les besoins hivernaux représenteront 67,5 % (Chauffage + 50%ECS) des besoins climatiques de la ZAC pour une puissance de 5,2 MW.

Les besoins d'eau chaude sanitaire sont constants toute l'année et représentent 33% des besoins énergétiques totaux.

1-4 SYNTHÈSE DES BESOINS (suite)

Tableau de synthèse des besoins et des puissances

Synthèse	SPC (m ²)	Besoins kWh/an			Puissance kW			
		Chaud	Froid	ECS	Chaud	Froid	ECS	P max
Réhab.	25 192	483 739	90 029	482 700	692	219	290	982
Phase 1	25 180	607 386	312 533	161 031	766	711	97	919
Phase 2	16 893	401 490	141 831	185 063	525	349	111	636
Phase 3	34 706	689 503	142 096	626 250	973	352	376	1 348
Phase 4	36 104	827 430	256 910	456 563	1 099	642	274	1 373
TOTAL	138 073	3 009 548	943 400	1 911 606	4 055	2 272	1 147	5 259

- Dans le contexte énergétique et environnemental actuel, il est souhaitable de faire de la ZAC un quartier exemplaire. Pour cela, des objectifs ambitieux peuvent être fixés dans le cahier des charges de la ZAC. Attention cependant à ne pas fixer des objectifs inatteignables qui seraient des contraintes lors de la phase de commercialisation.
- Dans tous les cas, la RT2012 sera le minimum requis et impose des objectifs de consommations du niveau BBC RT2005. Nous partons donc une base RT2012 pour nos calculs.
- Un point important à noter dans le cahier des charges environnemental est la définition d'une isolation minimum pour atteindre les objectifs; Il faut privilégier un travail de maîtrise de l'énergie sur l'enveloppe des bâtiments plutôt que d'avoir recours à la production d'électricité photovoltaïque pour atteindre les objectifs.

1-4 SYNTHÈSE DES BESOINS (suite)

- Quelques labels environnementaux pouvant être souscrits sur la ZAC en plus de la RT2012 :
 - Bâtiment à énergie positive :
 - Construire un bâtiment à énergie positif signifie que le bilan des consommations devra être égal ou inférieur à 0 kWh.
 - Label NF HQE Aménagement et démarche HQE pour les bâtiments :
 - L'objectif est d'adopter une démarche environnementale au sein des opérations d'aménagement et de fixer une charte d'objectifs à respecter pour les futurs acquéreurs pendant et après les chantiers de construction.
 - Label Effinergie +
 - Equivaut à la RT2012 améliorée avec notamment une évaluation des consommations mobilières et autres usages de l'énergie (médias, électroménager...).

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 : inadapté en milieu urbain,
 - Marine, hydraulique : pas de potentiel sur la ZAC,
 - Réseau froid : inadéquation entre besoins ECS estivaux et froids,
 - Bio gaz : potentiel local nul, pas de disponibilité foncière sur la ZAC,
 - Incinération des déchets : solution inadaptée au contexte de l'opération
 - 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
Bio gaz, 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
Chaleur des bâtiments (y.c. datacenters)	Chaleur	Réseau de chaleur basse température et PAC	Quartier / Ville

2-2 LA GEOTHERMIE

• Les gisements géothermiques

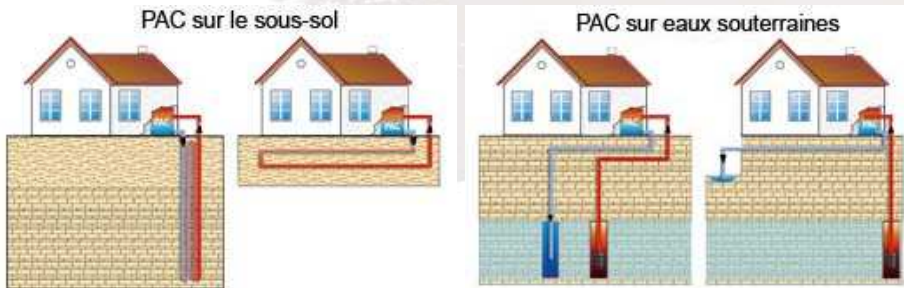
La classification la plus courante concernant les gisements géothermiques est celle du Code Minier et distingue quatre grands types de gisements selon les températures :

- **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°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)



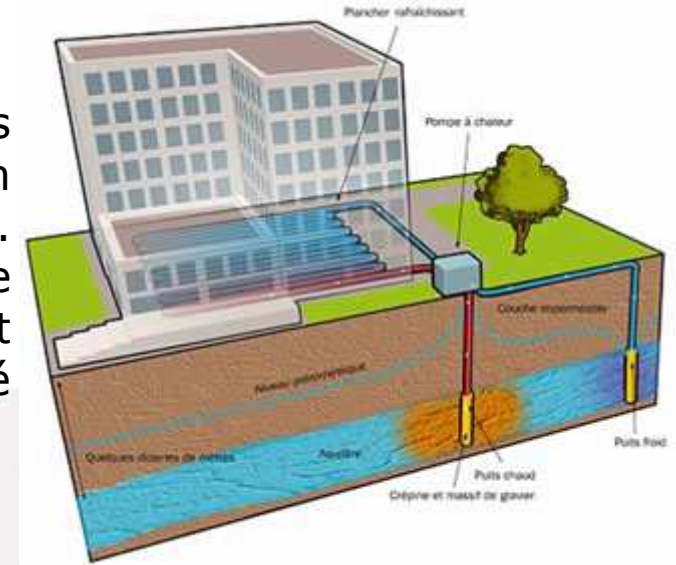
Géothermie « haute énergie »
Centrale de Bouillante (Guadeloupe)

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 sur nappe

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 (m ³ /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 de logements d'environ 2000 m². 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. En revanche, cette solution pourrait être installée à l'échelle d'un bâtiment tertiaire de manière à produire le chaud et le froid sur la même machine.

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 seulement !

2-2 LA GEOTHERMIE sur nappe

Les principales démarches successives pour la réalisation d'une opération de géothermie avec pompes à chaleur sur aquifère superficiel sont les suivantes :

- **Analyse du contexte général et définition des objectifs**
 - Caractéristiques hydrogéologiques du site (diagnostic fondé sur des inventaires régionaux, l'existence d'un SIG, des études sur des opérations voisines...).
 - Contexte urbanistique, choix socio-économique, politique et environnemental.
 - Évaluation des besoins en chaud et/ou en froid (estimation des puissances et des consommations).
- **Organisation de la conception de l'opération**
 - Choix d'un bureau d'études sous-sol.
 - Choix d'un bureau d'études surface.
- **Étude de faisabilité**
 - Aquifère ciblé, description des forages (doublet – puits unique).
 - Schéma et fonctionnement de la boucle thermique.
 - Caractéristiques de la solution technique retenue.
 - Définition du programme des travaux.
- **Démarches administratives**
 - Dossier de déclaration et/ou d'autorisation : déclaration code minier, loi sur l'eau, code environnement ICPE (puissance, débits, distance des autres ouvrages,...), **garantie Aquapac®** (couvre les risques géologiques liés à la possibilité d'exploitation)
- Forage Test pour identifier les couches géologiques et les débits soutirables.
- Réalisation des ouvrages
- Mise en service

2-2 LA GEOTHERMIE sur sondes

→ Sur sondes verticales (SGV):

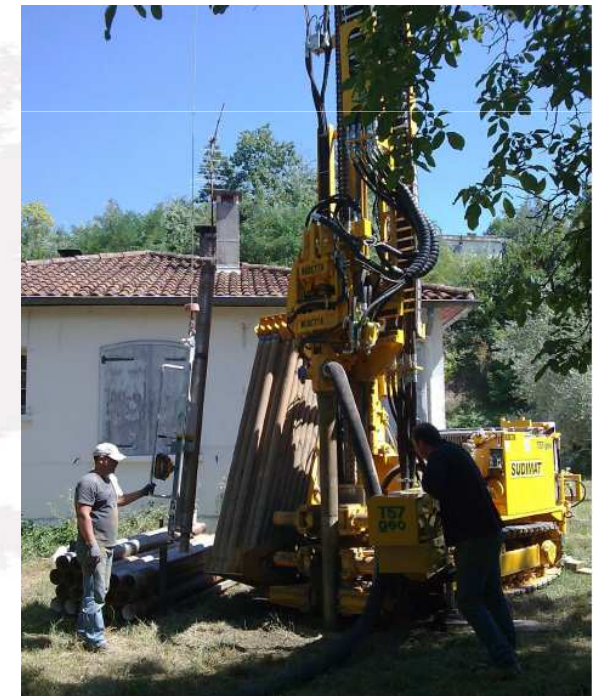
- La puissance soutirée au sol est d'environ 50 W/ml de sonde verticale. Pour obtenir une puissance de chauffage de 130 kW, il est nécessaire d'implanter 10 sondes verticales (COP de 4) de 200 mètres.
- Chaque forage doit être espacé de 10 mètres des autres. Ils doivent être placés en rang, ce qui signifie que le champ de sonde d'un bâtiment de 130 kW sera long de 100 mètres.
- Si la configuration du terrain est bonne, cette solution peut être envisagée à l'échelle du bâtiment tertiaire.
- La majeure partie des captages géothermiques sur LAVAL sont de type SGV. C'est la solution géothermique la plus viable économiquement sur LAVAL.

→ Sur sondes horizontales :

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



Sonde : 4tubes PEHD diamètre 32



Forage Rotary



2-2 LA GEOTHERMIE sur sondes

Les principales démarches successives pour la réalisation d'une opération de géothermie avec pompes à chaleur sur sondes verticales sont les suivantes :

- **Analyse du contexte général et définition des objectifs**
 - Caractéristiques hydrogéologiques du site (diagnostic fondé sur des inventaires régionaux, l'existence d'un SIG, des études sur des opérations voisines...).
 - Contexte urbanistique, choix socio-économique, politique et environnemental.
 - Évaluation des besoins en chaud et/ou en froid (estimation des puissances et des consommations).
- **Organisation de la conception de l'opération**
 - Choix d'un bureau d'études sous-sol.
 - Choix d'un bureau d'études surface.
- **Étude de faisabilité**
 - description des forages (nombre, profondeur, agencement).
 - Schéma et fonctionnement de la boucle thermique.
 - Caractéristiques de la solution technique retenue.
 - Définition du programme des travaux.
- **Démarches administratives**
 - Dossier de déclaration et/ou d'autorisation : déclaration code minier, code environnement ICPE (puissance, distance des autres ouvrages,...),
- **Test de réponse thermique afin de mesurer la conductivité du sol (réaliser sur le premier puits)**
- **Réalisation des ouvrages**
- **Mise en service**

2-3 L'ÉOLIEN

Etat des lieux technologiques :

Type d'axe	Avantages	Inconvénients	Illustration
Horizontal	- Choix	- Installation sur un bâtiment fortement déconseillée	
	- Installateurs compétents sur tout le territoire	- Encombrement au sol pour les mâts haubanés	
	- Technologie mature	- Bruit	
	- Prix	- Mauvais rendement dans les vents turbulents	
Vertical	- Moins bruyante	- Prix	
	- Installation possible sur un bâtiment	- Complexité technique	
	- Performante dans les vents turbulents	- Les modèles les plus prometteurs sortent à peine des labos	
	- Pas de système d'orientation		
	- Autoprotection contre les vents forts		



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

2-3 L'ÉOLIEN

Aspect réglementaire :

Les projets éolien sont soumis au droit commun de l'urbanisme. Les règles locales d'urbanisme (plan d'occupation des sols : POS, ou plan local d'urbanisme : PLU) peuvent prévoir l'interdiction explicite d'implanter des éoliennes. Si ce n'est pas le cas, l'installation d'éoliennes, comme toute autre installation d'intérêt général, est autorisée dans toutes les zones.

L'autorité compétente pour délivrer le PC dans un cas d'autoconsommation est le Maire, tandis que lorsqu'il y a vente d'électricité, c'est le Préfet.

Hauteur du mat	< 12m	H > 12m
Documents	Déclaration de travaux	Permis de construire

L'étude ou la notice d'impact est la pièce maîtresse du dossier d'enquête publique obligatoire pour des projets de plus de 50m. Celle-ci est demandée pour tout ouvrage qui peut porter atteinte à l'environnement.

Hauteur du mat	< 12m	12m < H < 50m	H > 50m
Documents	Déclaration de travaux	Permis de construire Notice d'impact ICPE : déclaration si P<20MW	Permis de construire Etude d'impact Enquête publique ICPE : Autorisation

2-3 L'ÉOLIEN

Le potentiel sur la ZAC

- Le secteur ne se trouve pas en Zone de Développement de l'Éolien (ZDE) permettant de bénéficier d'un tarif d'achat de l'électricité subventionné ;
- Il est préférable d'avoir un site dégagé avec des vents majoritairement unidirectionnels. Le potentiel est donc limité en milieu urbain ; Les études des vents locales sont réalisées à de grandes hauteurs et sont inexploitable en milieu urbain.

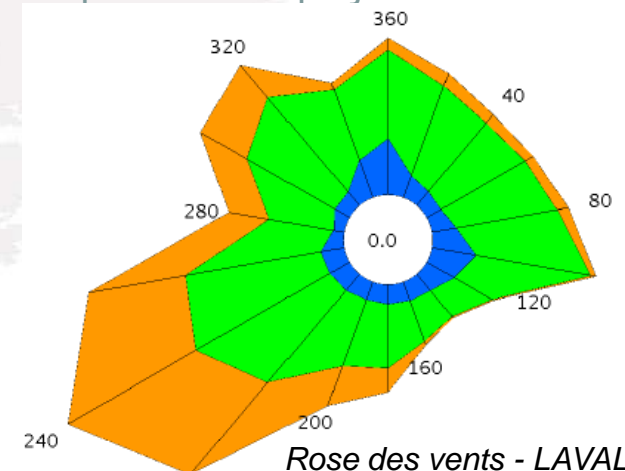
Les caractéristiques de l'éolien :

- 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. Il n'y a pas de rentabilité économique à attendre dans le cas de petites éoliennes.
- **Potentiel pour l'opération** : Le micro (<1kw) et le petit éolien (<30kw) sont les plus adaptés pour une opération d'aménagement, en intégration sur des bâtiments d'équipements publics par exemple.

On peut penser qu'une étude des vents seraient à mener in-situ, mais étant donné qu'il n'y a pas de rentabilité à attendre, cette étude n'est pas obligatoire ; Quel serait l'intérêt d'optimiser le temps de retour projet de 200 ans à 150 ans ?

Investissement initial et production annuelle selon la puissance éolienne installée

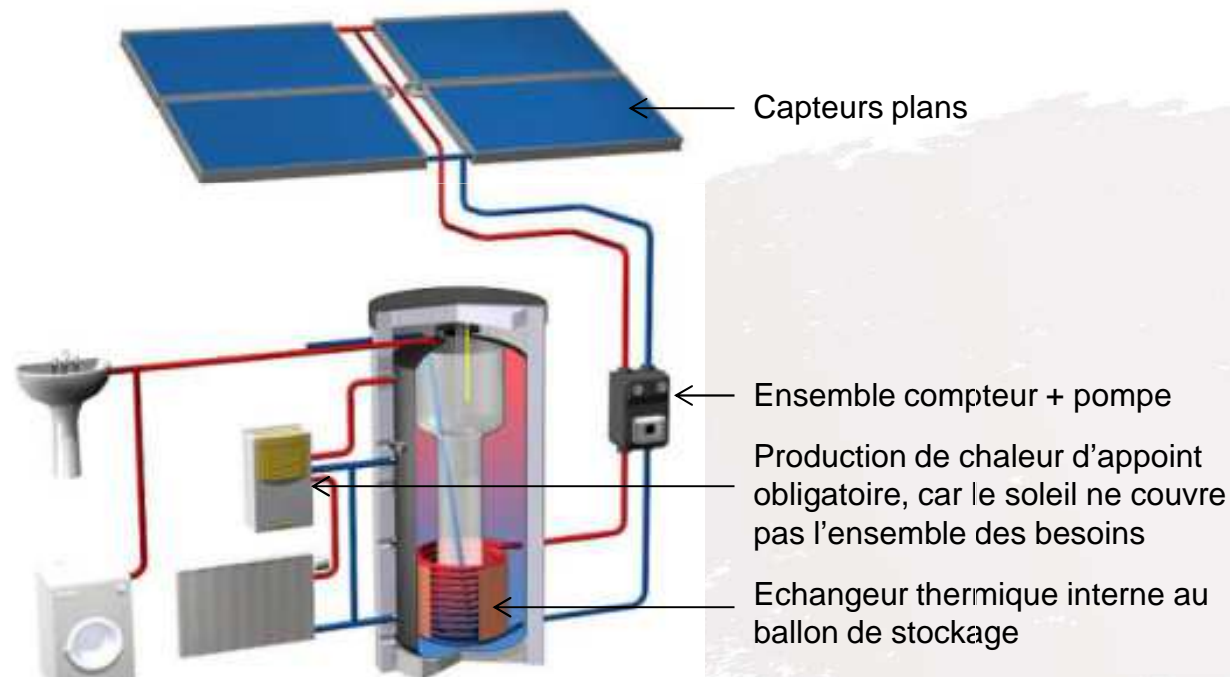
Puissance nominale	Diamètre de l'éolienne (des pales)	Prix de l'éolienne (installation comprise) (HT)	Production annuelle
100 à 500 W	0,5 - 2 m	3000 - 5000 €	200 - 1000 kWh
500 à 1 kW	2 - 3 m	5000 - 14 000 €	1000 - 2000 kWh
1 kW à 5 kW	3 - 6 m	14 000 - 35 000 €	2000 - 10 000 kWh
5kW à 10 kW	6 - 8 m	35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



2-4 LE SOLAIRE

Solaire thermique :

Différentes technologies existent et la plus courante est la technologie des capteurs plans. Les panneaux permettant de produire l'eau chaude, grâce à la circulation d'un fluide intermédiaire (eau glycolée) dans les capteurs solaires. La chaleur du rayonnement solaire est ensuite distribuée au réseau d'eau de chauffage par le biais d'un échangeur thermique.



Principe d'une installation solaire thermique individuelle

Le solaire thermique est utilisé dans la majeure partie des cas pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS). Nous ne retiendrons pas la possibilité de réaliser le chauffage par le solaire ; cela impliquerait une perte de rentabilité de l'installation du fait d'un surdimensionnement qui s'explique par l'inadéquation entre la période d'ensoleillement maximum (l'été) et la période de chauffage (l'hiver).

Potentiel pour l'opération : application pour la production d'eau chaude des logements collectifs, voire des équipements selon les besoins; Installation CESCC;

2-4 LE SOLAIRE

Solaire photovoltaïque :

Les panneaux photovoltaïques permettent de produire de l'électricité, grâce à une réaction photoélectrique

En site isolé, il est intéressant de consommer directement l'énergie produite. Cependant, en présence d'un réseau électrique, les panneaux sont utilisés essentiellement pour la vente d'électricité à EDF. La rentabilité des projets est accrue grâce au tarif d'achat subventionné ; 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;



Exemple de panneaux solaires photovoltaïques intégrés en ombrière dessus un parking

Potentiel pour l'opération : Toutes les surfaces de toiture et brise-soleil mais implique une réflexion en amont sur l'orientation et l'inclinaison des toitures et des façades (architecture bioclimatique). L'implantation optimale pour le solaire étant : inclinaison de 30-35°, orientée Sud;

Pour l'atteinte du label bâtiment à énergie positive (BePos), l'utilisation de panneaux PV est quasi indispensable aujourd'hui.

2-4 LE SOLAIRE (suite)

Focus sur le tarif d'achat de l'électricité photovoltaïque :

- Arrêté du 7 janvier 2013 : Les tarifs sont révisés chaque trimestre en fonction du nombre de projets déposés le trimestre précédent. Plus il y a de demande, et plus le tarif baisse.
- Par exemple, Le dernier tarif d'achat (T3 : juillet - septembre 2013) a connu une baisse de 3,5% sur le trimestre précédent pour des installations jusqu'à 9kWc.
- Notons que l'ancien tarif 9-36 kW en intégration totale (IAB) a été supprimé.

(vente électricité photovoltaïque en c€/kwh) : Tarif du 1 juillet 2013 au 30 septembre 2013					
Type de support	Equipements	Puissance kwc	sans bonification	bonification de 5 %	bonification de 10 %
batiments: Résidentiel, enseignement , santé, autres	intégration totale	0-9 kwc	29,69	31,17	32,66
	intégration simplifiée	0-36 kwc	15,21	15,97	16,73
	intégration simplifiée	36-100 kwc	14,45	15,17	15,9
tout autre type d'installation		0-12 MW	7,76	8,15	8,54

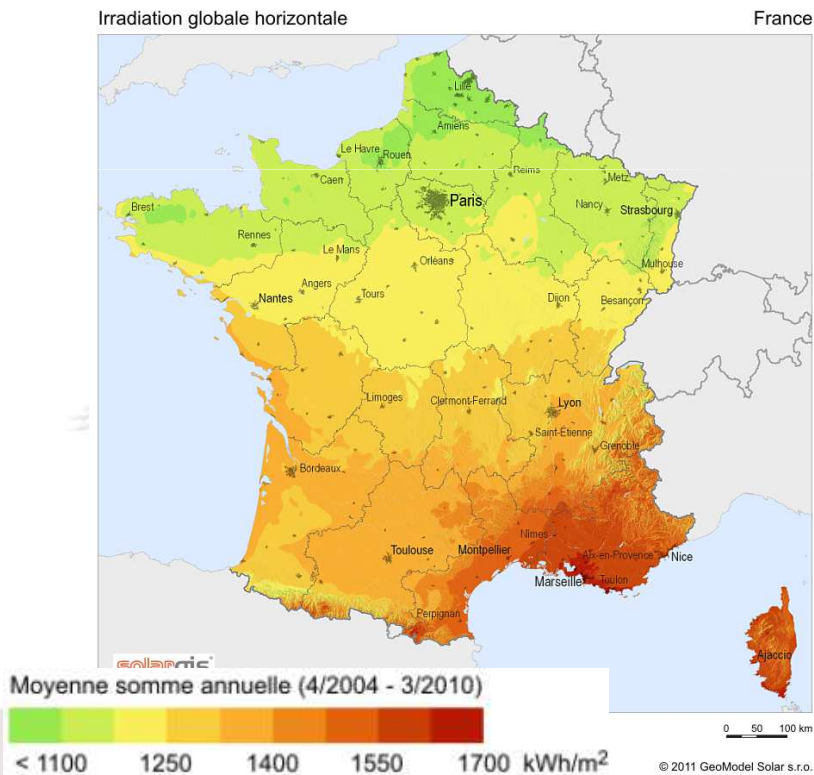
La bonification est liée à la provenance des panneaux :

- 5% si les cellules ou les panneaux sont "made in Europe",
- et 10% lorsque les deux conditions précédentes sont réunies.

2-4 LE SOLAIRE

Le potentiel solaire sur la ZAC

- La ressource solaire à l'échelle nationale présente des différences selon les régions. En pays de la Loire, le flux solaire incident est moyen. A Laval, le gisement solaire se situe autour de 1230 kWh/m².an
- Sans restriction ABF, nous conseillons vivement d'intégrer la mise en place de panneaux sur les bâtiments pour obtenir une production d'énergies renouvelables dans le cahier des charges environnemental de la ZAC.



Carte du potentiel solaire français
Source ADEME / SolarGis

INES Education - Logiciel CALSOL - Gisement solaire
estimation de l'énergie solaire disponible avec masque

Choix de la ville : Le Mans Prendre en compte un masque : non

Inclinaison du plan : 45° Orientation du plan : Sud Albédo du sol : 0.2

Cliquez ici pour valider votre choix et lancer les calculs

Irradiation sur un plan horizontal en kWh/m² par jour ☉ ou en kWh/m² cumulés ☉ [Sources](#)

Irradiation :	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
Globale (IGH)	33	46	97	143	162	171	184	152	105	72	38	25	1228
Directe (IBH)	12	16	47	78	78	83	98	76	49	33	15	8	593
Diffuse (IDH)	21	30	50	66	84	87	86	75	56	39	24	18	635

Irradiation sur un plan d'inclinaison 45° et d'orientation 0° avec le masque. [COMPARAISONS](#)

Irradiation :	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
Directe (IBP)	34	35	75	93	75	73	89	83	69	65	39	24	754
Diffuse (IDP)	18	25	43	56	72	75	73	64	48	33	20	15	542
Réfléchie (IRP)	1	1	3	4	5	5	5	4	3	2	1	1	36
Globale (IGP)	53	62	121	153	152	152	168	151	120	100	60	40	1332

Inclinaisons et orientation optimum sur l'année et pour le mois le plus défavorable (effectuer les calculs)

L'irradiation globale maximale sur l'année est de 1358 kWh pour une orientation optimum de 0° et une inclinaison optimum de 32° en tenant compte du masque sur l'horizon défini ci dessus.

L'irradiation globale dans le plan pour le mois le plus défavorable (décembre) est maximale avec 1.34 kWh/m² par jour pour une orientation optimum du plan de 0° et une inclinaison optimum du plan de 62°.

Calcul du gisement solaire - Calsol

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 qui ont l'avantage de ne pas mobiliser du foncier.



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

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, ...)

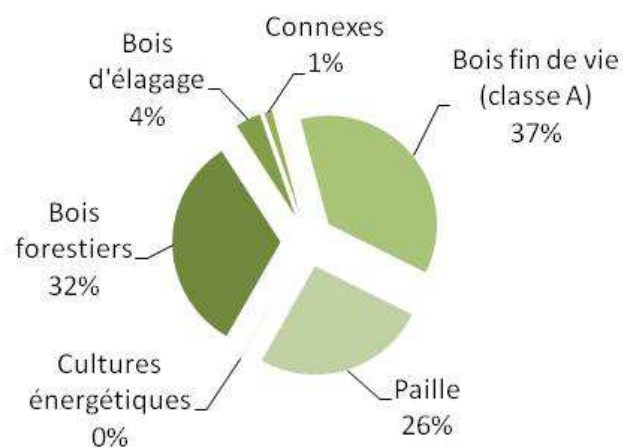


Granulés

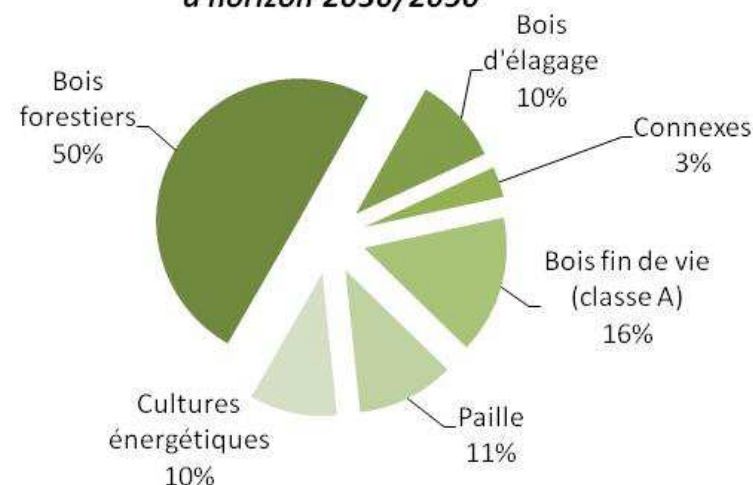


Plaquettes

Les ressources biomasse disponibles à horizon 2015/2020

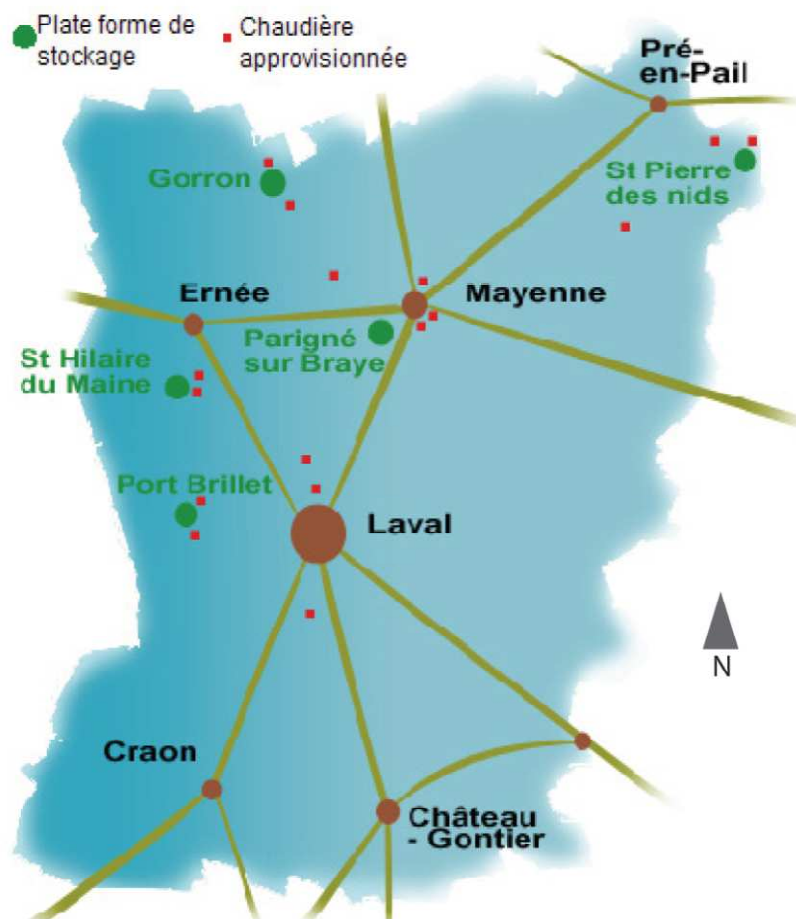


Les ressources biomasse disponibles à horizon 2030/2050



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

Tableau d'évolution de la production de la SCIC



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)

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 à granulés pour un petit équipement : chaufferie granulés, puissance 50 kW, consommation annuelle d'environ 20 tonnes/an;
 - Difficile d'imposer ce mode de chauffage en milieu urbain aux futurs acquéreurs. Un réseau de chaleur urbain aurait plus de sens car il permettrait notamment de mutualiser les coûts.
 - 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 assez importante;
 - Exemple d'un petit réseau de chaleur : chaufferie bois plaquette, puissance 800 kW, consommation annuelle de 700 à 900 tonnes de bois/an. Livraison par semi-remorque à fond mouvant 90m³ = 27 T.
 - Passage de la voie ferrée d'un réseau de chaleur en encorbellement le long de la passerelle.
- Quelques remarques concernant la création d'un réseau de chaleur bois:
 - **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 supérieure à **1,5 MWh** de consommation par mètre-linéaire de réseau ;
 - Nécessité d'intégrer **un phasage** de construction de la ZAC qui soit favorable au réseau de chaleur.

2-6 LES RÉSEAUX DE CHALEUR EXISTANTS

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^{er} 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 ³	1968
4 moteurs à gaz de cogénération « Jenbacher »	8 MWth	2000

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.

La gare est située aujourd'hui à environ 3,5 Km du réseau de chaleur.

2-7 RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR DES EAUX USÉES

TECHNOLOGIE DEGRÉS BLEUS - EXEMPLE

LE BATIMENT

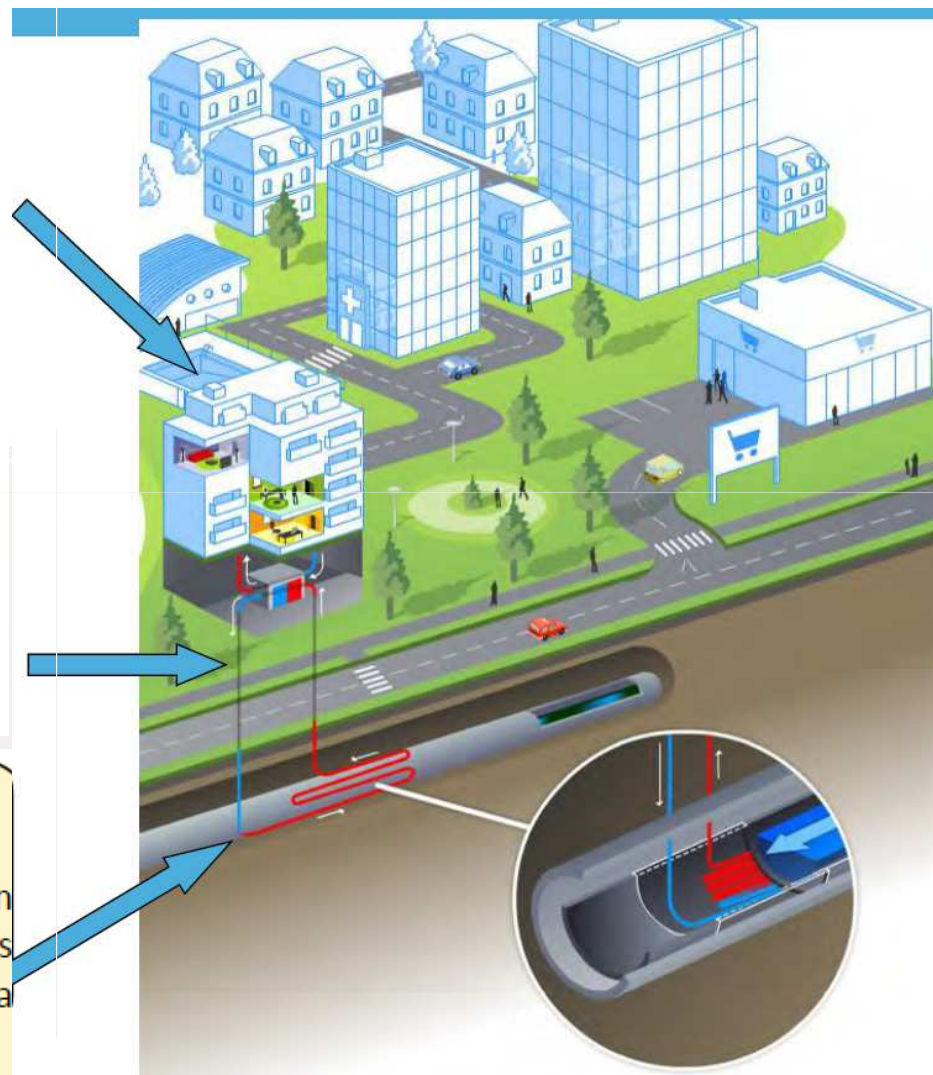
Le fluide sert à alimenter la pompe à chaleur installée dans la chaufferie et raccordée aux circuits de chauffage et/ou d'ECS du bâtiment. Pour une utilisation optimale, ces circuits doivent être basse température (< 65 C).

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.

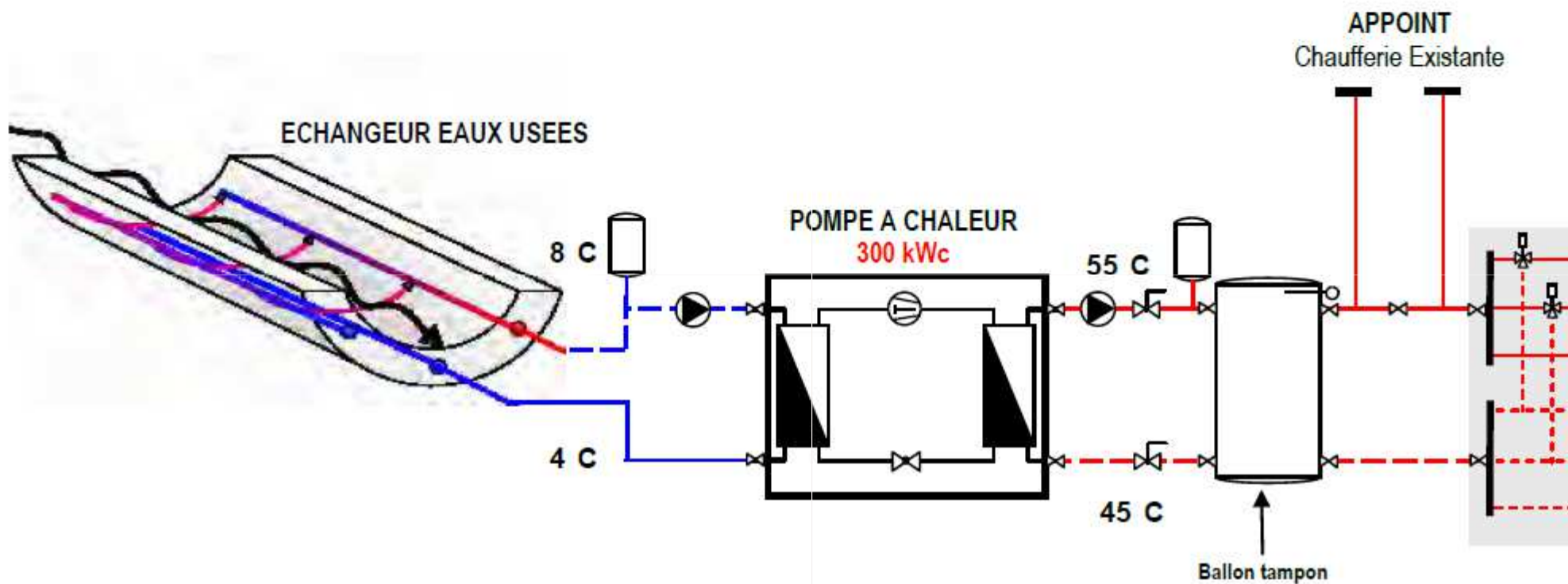
L'ÉCHANGEUR

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



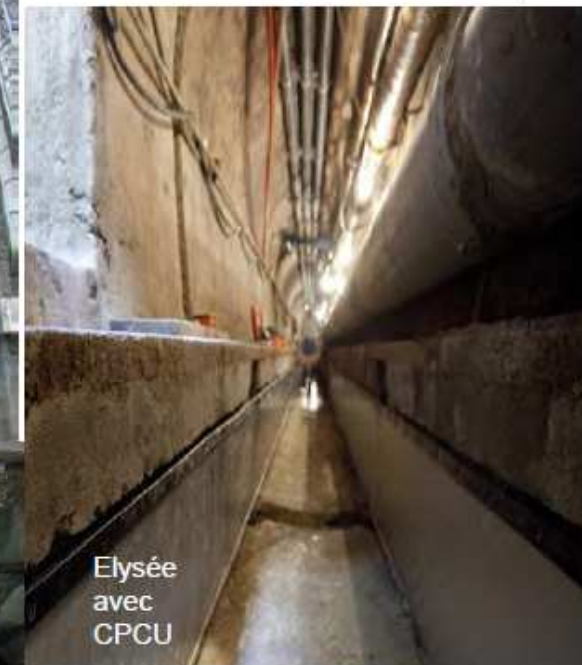
2-7 RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR DES EAUX USÉES

TECHNOLOGIE DEGRÉS BLEUS – EXEMPLE (suite)

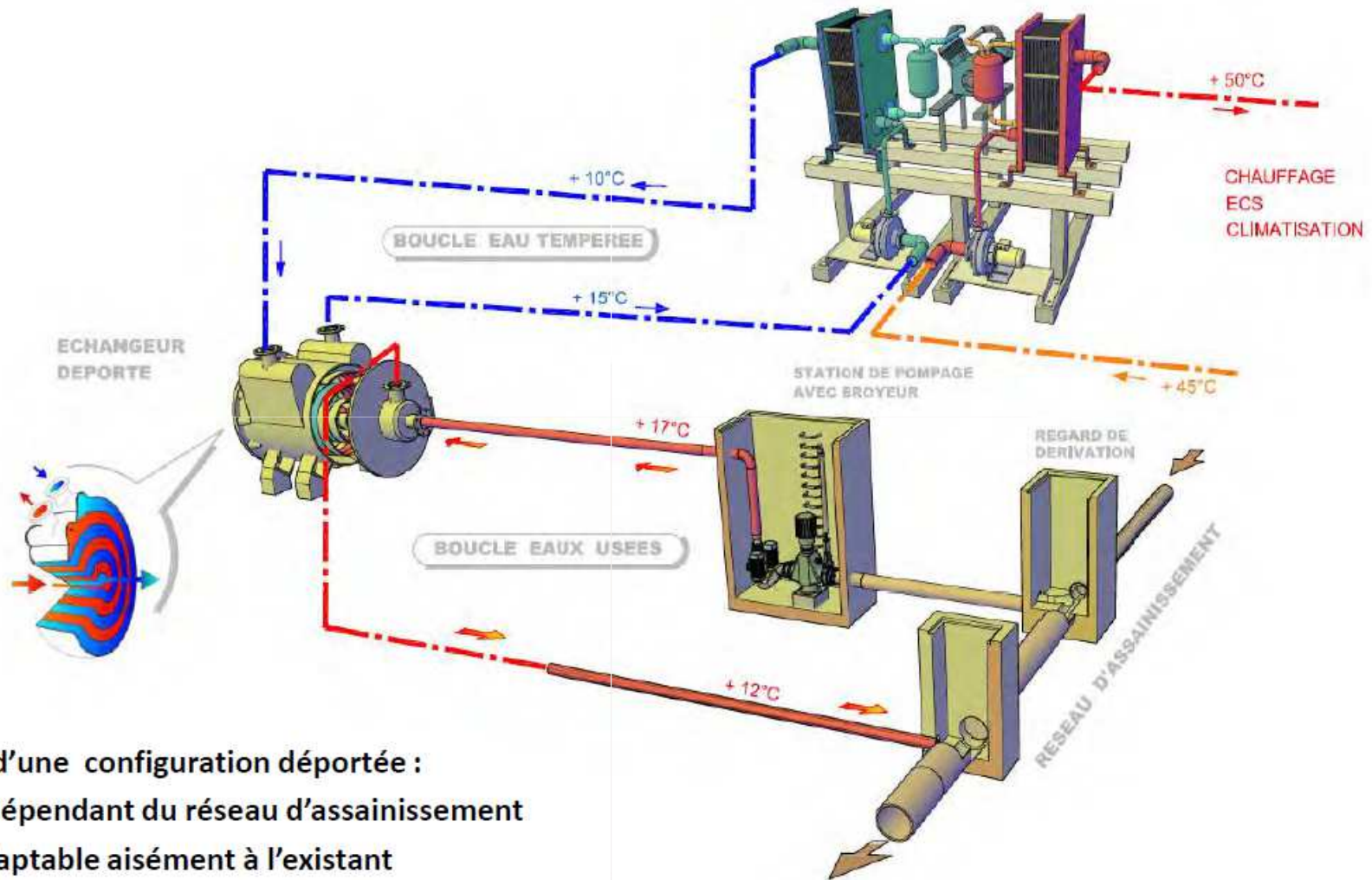


2-7 RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR DES EAUX USÉES

TECHNOLOGIE DEGRÉS BLEUS - EXEMPLE (suite)



2-7 RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR DES EAUX USÉES (suite) TECHNOLOGIE ENERGIDO – EXEMPLE TYPE



Les atouts d'une configuration déportée :

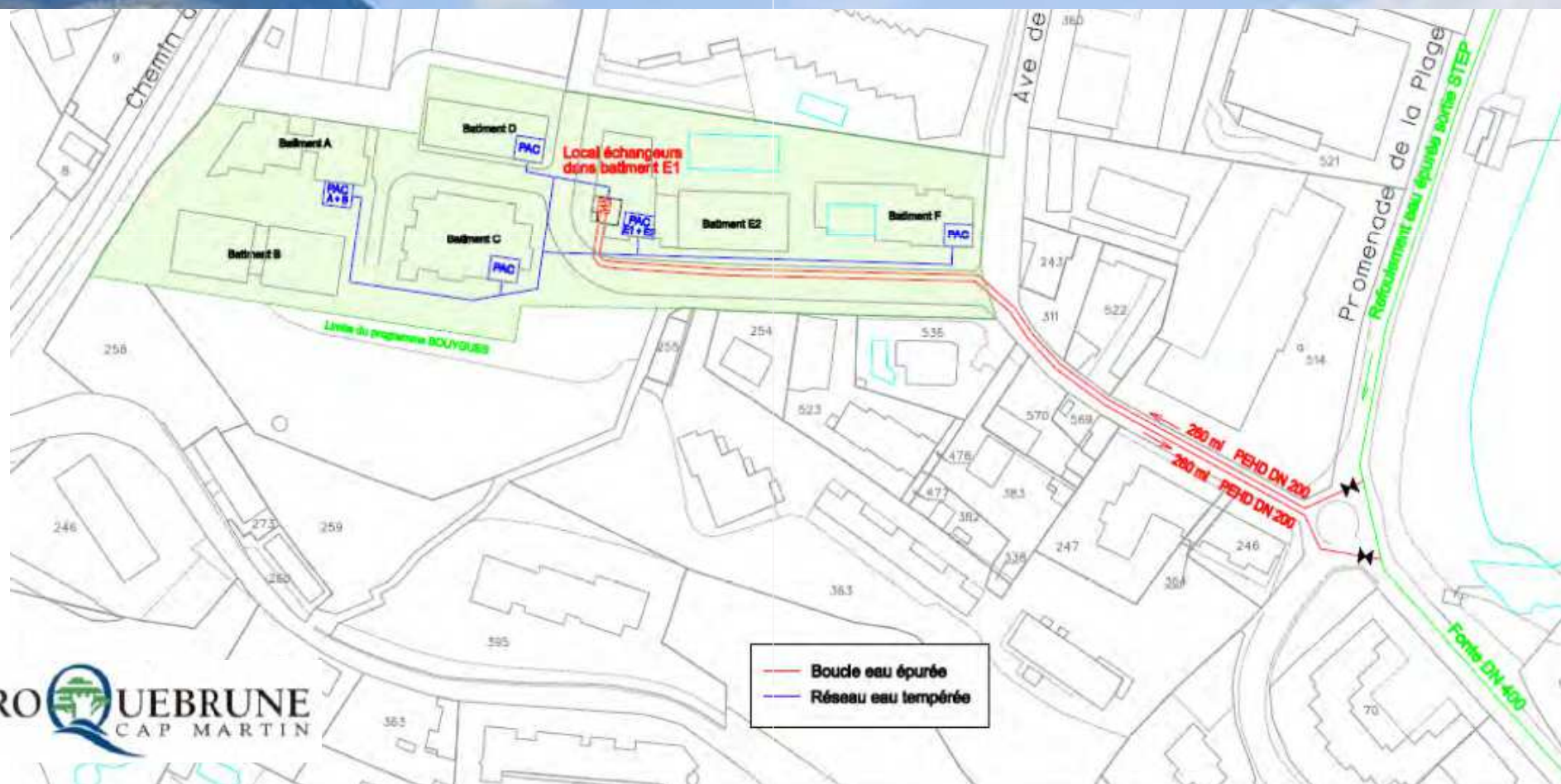
- Indépendant du réseau d'assainissement
- Adaptable aisément à l'existant
- Echangeur facilement accessible pour maintenance

2-7 RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR DES EAUX USÉES

TECHNOLOGIE ENERGIDO EXEMPLE (suite)

Un éco-quartier dans la ville

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



ROUEBRUNE
CAP MARTIN



10003274-1300892
12 Novembre 2013

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 et du secteur de 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.

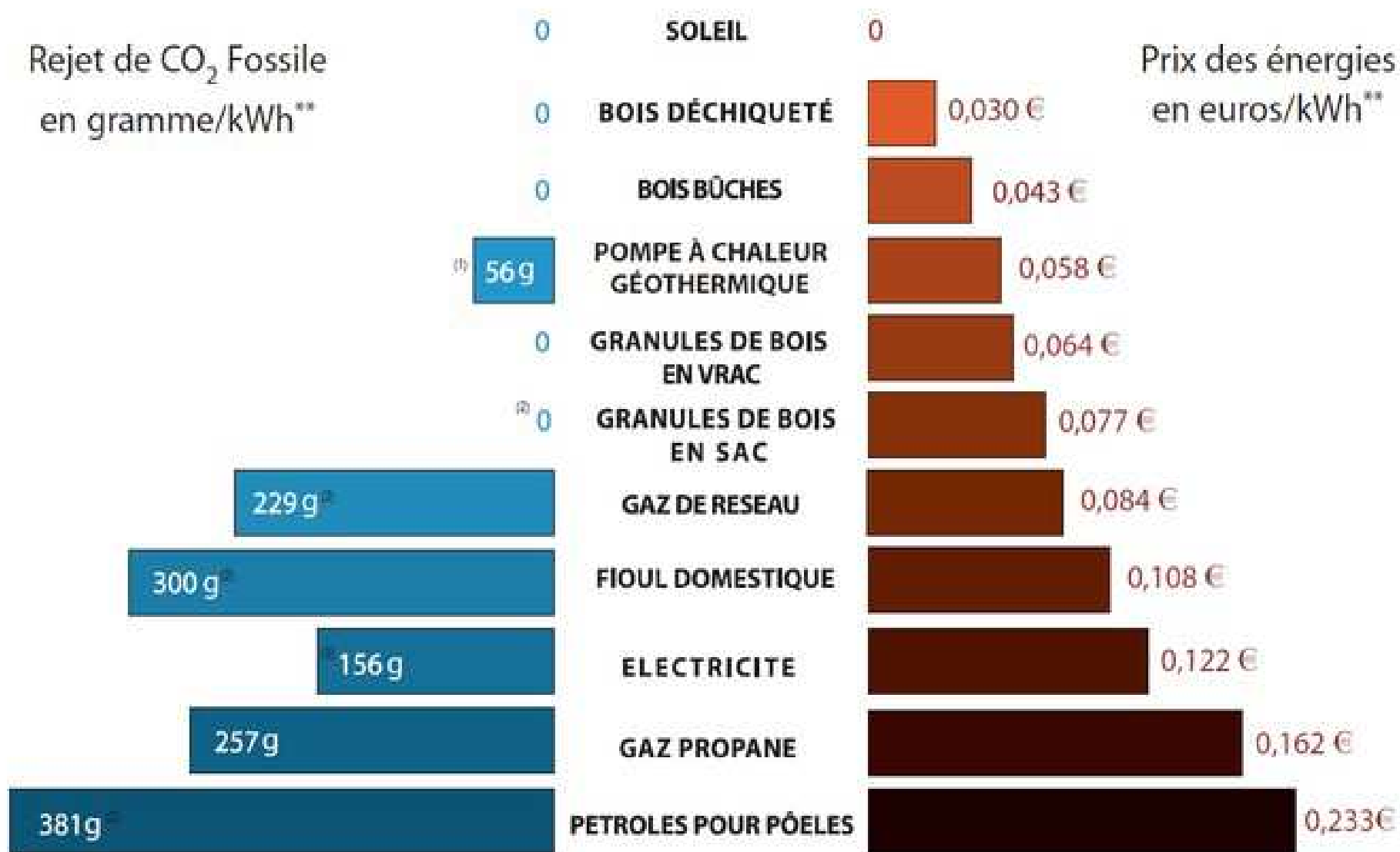
Le volume d'eaux usées généré par l'aménagement du quartier Gare ne suffira pas à alimenter en énergie un tel système. La présence d'une conduite de gros diamètre est nécessaire.



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 ;	Réseau de chaleur bois adapté à l'échelle de la ZAC ; Nécessité de trouver un terrain d'implantation, de définir un phasage de construction serré et de passer la voie ferrée en encoorbellement.
Eolien	Publicité / communication environnementale autour de la ZAC ; Energie gratuite ;	Pas de rentabilité économique ; Implantation en hauteur ;	Implantation d'une petite éolienne verticale de quelques kW est envisageable : Investissement autour de 30k€ ;
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 pour un forage sur nappe ; SGV nécessitent de la place ; Système de chauffage à basse température ;	Potentiel à l'échelle du bâtiment tertiaire ou commerce uniquement – système de SGV est préférable ; Système à imposer aux futurs acquéreurs ; Etude à faire en phase opérationnelle par les opérateurs ;
Raccordement à un réseau de chaleur /froid	Réseau de chaleur de la ZUP Saint Nicolas	Réseau existant 100% fioul ou gaz, mauvais bilan carbone ;	Opportunité d'interconnexion dans le cas du choix d'un réseau de chaleur, mais cette solution n'est pas une énergie renouvelable ;
Marine, hydraulique	Energie gratuite ; Faibles coûts d'entretien ; Technologie éprouvée ;	Potentiel sur la ZAC est nul ;	Système inadapté qui n'est pas retenu.
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 coûteux ; Système basse puissance en phase de commercialisation ;	Pas de projet industriel in situ ; Pas d'opportunité sur la ZAC
Boucle d'eau sur la chaleur fatale des eaux usées / industrie / Datacenter	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 préférable ;	Pas de chaleur fatale industrielle ou de datacenter à notre connaissance Un système de récupération de la chaleur sur eaux usées à l'échelle du logement est conseillée (type power-Pipe) pour préchauffer l'ECS
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 coûteuse et peu adaptée ; Nécessité d'avoir de grands espaces au sol et/ou des Conception des toitures à prévoir ;	Système adapté pour tous les logements ; Inadapté pour le tertiaire et le commerce.
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 ;	Application à l'échelle du bâtiment uniquement, donc à installer par les acquéreurs dans un bâtiment privé ou par une collectivité sur un bâtiment publique ;



3-3 PISTES À ÉTUDIER – TERTIAIRE/COMMERCE

- Les scénarios retenus seront étudiés de manière technique, économique et environnementale.
- Un réseau de froid (distribution centralisée d'eau glacée pour toute la ZAC) ne fonctionnerait pas car il ne permettrait pas de fournir l'eau chaude sanitaire estivale des logements en même temps qu'une production d'eau glacée (même réseau qui ferait soit le chaud, soit le froid).
- Il est nécessaire que les solutions d'approvisionnement énergétiques choisies tiennent compte de la mixité des activités présente sur la ZAC. Ainsi nous séparons notre analyse en deux parties : scénarii tertiaire/commerces et scénarii logement.
- Pour les bâtiments tertiaires/commerces, nous retenons les scénarii suivants :
 - Scénario de référence : Pompes à chaleur air/eau réversibles par bâtiment. Chaque bureau sera équipé d'un ventilo-convecteur 2 tubes avec régulateur/programmateur individuel ;
 - Scénario 1 : Pompes à chaleur eau/eau réversibles par bâtiment sur sondes géothermiques verticales (SGV). Chaque bureau sera équipé d'un ventilo-convecteur (VC) 2 tubes et régulation individuelle ;
 - Scénario 2 : Raccordement des bâtiments au réseau de chaleur de la ZUP saint Nicolas; froid par une PAC air/eau + VC 2 tubes.
 - Scénario 3 : Réseau de chaleur bois sur l'ensemble de la ZAC avec PAC air/eau dans chaque bâtiment pour la climatisation. Le réseau de chaleur fonctionne toute l'année de manière à fournir l'eau chaude sanitaire des logements.



3-3 PISTES À ÉTUDIER - LOGEMENT

- Nous avons considérés que les logements n'auront pas de besoins de climatisation. Par conséquent les systèmes énergétiques opportuns ne sont pas obligatoirement les mêmes que ceux des bâtiments tertiaires et de commerce.

- Les scénarii étudiés pour les logements sont les suivants :

Scénario de référence :

Chaudière collective gaz à condensation pour la production du chauffage et d'eau chaude sanitaire ;

Scénario 2' : Raccordement des bâtiments au réseau de chaleur de la ZUP saint Nicolas; froid par une PAC air/eau + VC 2 tubes.

Scénario 3' : Réseau de chaleur bois sur l'ensemble de la ZAC avec PAC air/eau dans chaque bâtiment pour la climatisation. Le réseau de chaleur fonctionne toute l'année de manière à fournir l'eau chaude sanitaire des logements.

Scénario 4 : Scénario de référence + panneaux solaires thermiques ;

3-4 DIMENSIONNEMENT - TERTIAIRE

- Définition de bâtiments de référence pour pouvoir comparer les solutions de différentes échelles entre elles.

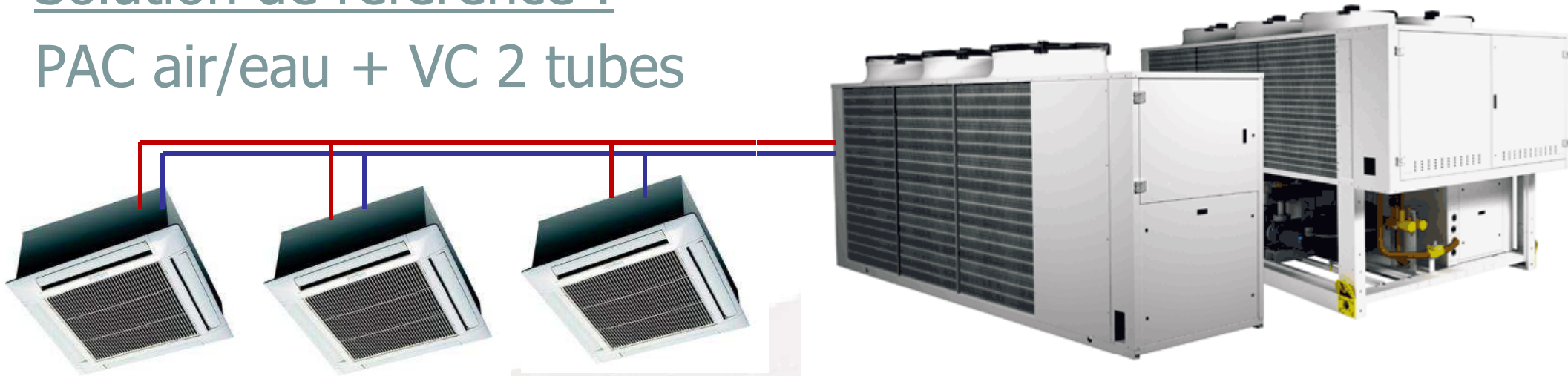
Données bâtiment tertiaire type			
	SHON / SDP	3 500	m ²
	Besoins de chauffage	105 000	kWh/an
	Besoins de climatisation	52 500	kWh/an
	Besoins d'eau chaude (ECS)	0	kWh/an
	Puissance de chauffage	123	kW
	Puissance frigorifique	123	kW
	Puissance d'ECS	0	kW
	Puissance max	123	kW

Données bâtiment de logements type			
	Nb. d'appart	30	
	SHON	4 896	m ²
	Besoins de chauffage	78 333	kWh/an
	Besoins de climatisation	0	kWh/an
	Besoins d'eau chaude (ECS)	122 395	kWh/an
	Puissance de chauffage	122	kW
	Puissance frigorifique	0	kW
	Puissance d'ECS	73	kW
	Puissance Totale	196	kW

3-4 DIMENSIONNEMENT - TERTIAIRE

Solution de référence :

PAC air/eau + VC 2 tubes



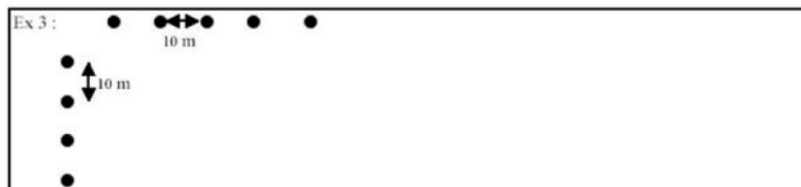
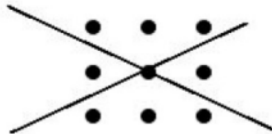
- Cette solution est une solution courante. Plusieurs PAC sont généralement associés en série.
- Toute la difficulté consiste pour le gestionnaire du bâtiment à définir le plus précisément possible la température extérieure de basculement entre le régime "été" et le régime "hiver". En effet, tous les locaux ne sont pas soumis aux mêmes conditions d'équilibre thermique.
- Il existe un risque de mauvaise régulation des équipements par les usagers, donc de surconsommation sur ce type d'équipement. Il est nécessaire d'organiser un suivi technique précis du bâtiment, notamment à l'aide d'une GTB.

3-4 DIMENSIONNEMENT - TERTIAIRE

Sc01 : Pompe à chaleur sur sondes géothermiques verticales (SGV):

- Le sol français permet de récupérer 50W/ml en moyenne ;
- Il est nécessaire de réaliser 10 forages pour assurer une puissance de 130 kW ; (taux de couverture de 100%)
- Implantation :
 - Au plus proche de la chaufferie (pertes de charges) ;
 - Espacement > 10m dans une ligne (8m toléré) ;
 - Espacement > 15m entre 2 lignes ;
 - Espacement > 20-25 m entre 2 lignes si plus de 2 lignes ;
 - A plus de 3m des fondations, fosse septique, évacuation ;
 - A plus de 5m des gros arbres ;
 - A 30 m des puits publics et 6m des non publics.

Exemple de positionnement à éviter :



Il est donc nécessaire que le bâtiment choisi dispose d'un terrain suffisamment grand.

3-4 DIMENSIONNEMENT - ZAC

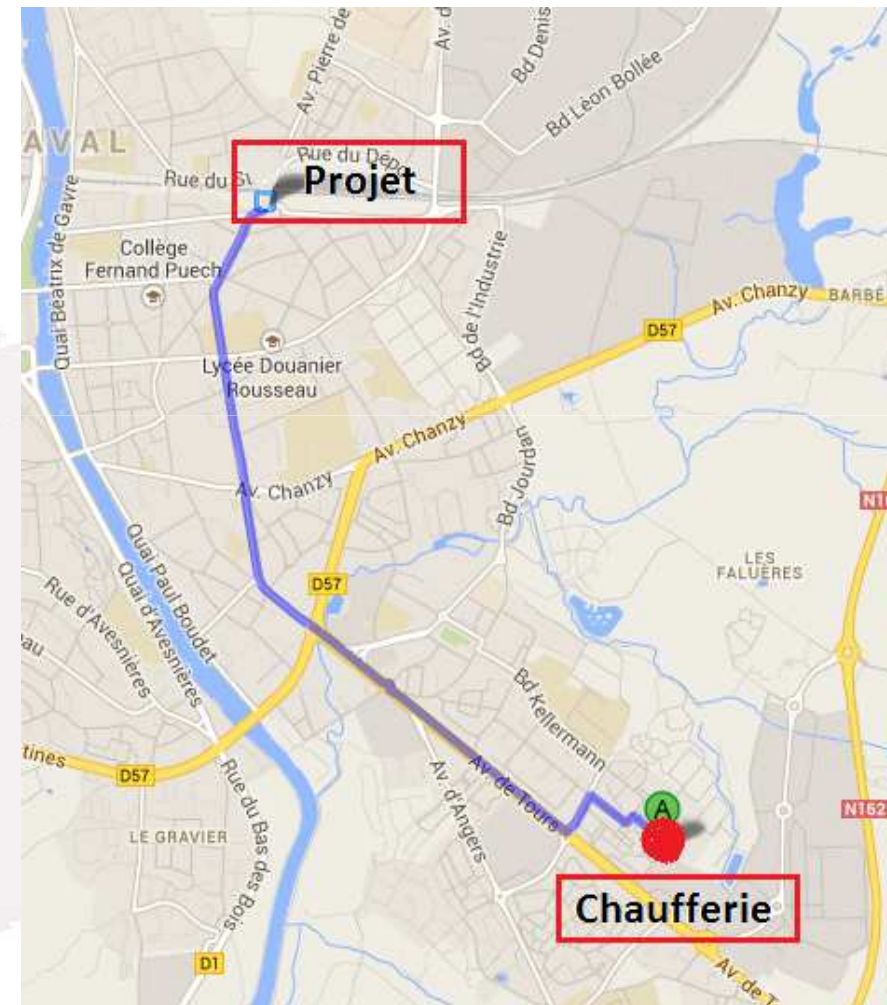
SC02 : Raccordement des bâtiments au réseau de chaleur de la ZUP saint Nicolas :

Ce réseau est aujourd'hui à environ 3,3 Km par itinéraire routier de la ZAC PEM.

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 le cas où une interconnexion du réseau ne pourrait être envisagée que quelques années après la construction de la ZAC, il serait nécessaire d'avoir recours à une solution réseau de chaleur propre à la ZAC en ayant à l'esprit un potentiel d'interconnexion des 2 réseaux.

Aujourd'hui, le renouvellement de la DSP est en cours. Il serait pertinent de passer à de l'énergie bois ce qui permettrait d'obtenir une production d'énergies renouvelables importante et des subventions quant à la création d'une extension du réseau de chaleur.



Longueur réseau d'interconnexion = 3.3 km

3-4 DIMENSIONNEMENT - ZAC

Sc 03 : Réseau de chaleur bois :

Le bâtiment chaufferie :

- Surface au sol « visible » (hors silo enterré) : 200 m² ;
- Puissance chaudière bois : **1,5 MW** (40% de P_{max}) ;
- Taux de couverture bois : 85% ;
- Combustible : plaquettes de bois.
- Fonctionnement annuel

Silo enterré / Semi-enterré / Hors-sol :

- De 100 m² (hauteur 4m) permettant une autonomie de près de 11 jours à puissance maximale,
- Remplissage par gravité par trappes carrossables ou trappes coulissantes.

Réseau de chaleur / VRD

- Longueur sur la ZAC est estimée à 1884 ml – densité thermique de 2,6 = densité acceptable ;
- Aménagement de la chaufferie de 3000 m² environ (aire avec rayon de braquage, etc...)



3-4 DIMENSIONNEMENT - ZAC

Aménagement requis :

- Construction d'un local technique + silo ;
- Voie d'accès pour approvisionnement par camion ;



Silo semi enterré



Chaufferie avec
cheminée double
conduit



Benne à cendres dissimulée
depuis la route

3-4 DIMENSIONNEMENT - LOGEMENT

- Scénario de référence :
 - Chauffage et production d'eau chaude par une chaufferie gaz collective à condensation de 200 kW (puissance du logement type sélectionné);
 - Un stockage ECS collectif est prévu en chaufferie et sera commun à tous les logements du bâtiment;
 - Installations hydrauliques et électriques standards ;
 - Comptage individuel de l'énergie obligatoire avec raccordement à une GTB (Gestion Technique du Bâtiment).



3-4 DIMENSIONNEMENT - LOGEMENT

- Chaufferie gaz collective + panneaux solaires thermiques pour la production d'eau chaude :

Installation

Capteurs

Stockage

Surface	90 m ²	Situation	Interieur (18 °C)
C8/11.SU JACQUES GIORDANO INDUSTRIES (45 x 2 m ²)		Temperature ECS	55 °C
Inclinaison	45 °/Horiz	Volume de stockage	4500 Litres
Orientation	0°/Sud	Cste de refroidissement	0,0799Wh/jour.l.°C
Coefficient B	0,759	Type d'installation	Circulation forcee, echangeur separe
Coefficient K	4,2W/m ² .°C		



3m² par logement
(foisonnement du soutirage considéré).

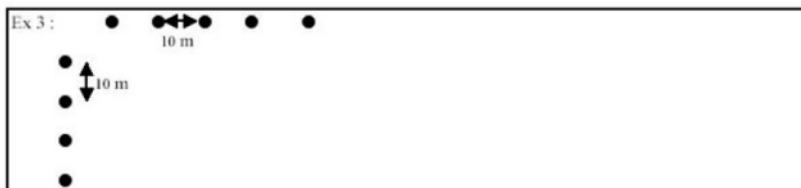
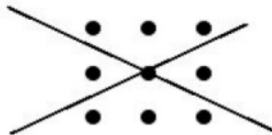
Taux couverture solaire	65,4 %	Apport solaire annuel	34306 kWh/an
Besoin annuel	52486 kWh/an	Productivite annuelle	381 kWh/m ² .an



3-4 DIMENSIONNEMENT - LOGEMENT

- Pompe à chaleur sur sondes géothermiques verticales (SGV):
 - Le sol français permet de récupérer 50W/ml en moyenne ;
 - Il est nécessaire de réaliser 15 forages pour assurer une puissance de 200 kW ; taux de couverture de 100%
 - Implantation :
 - Au plus proche de la chaufferie (pertes de charges) ;
 - Espacement > 10m dans une ligne (8m toléré) ;
 - Espacement > 15m entre 2 lignes ;
 - Espacement > 20-25 m entre 2 lignes si plus de 2 lignes ;
 - A plus de 3m des fondations, fosse septique, évacuation ;
 - A plus de 5m des gros arbres ;
 - A 30 m des puits publics et 6m des non publics.

Exemple de positionnement à éviter :



Il est donc nécessaire que le bâtiment choisi dispose d'un terrain suffisamment grand.



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 l'année 1.

Nous analyserons les solutions d'approvisionnement sur les bâtiments tertiaires dans un premier temps, puis nous étudierons celles des logements. Les conclusions varient en fonction du type d'activité.

4-1 CRITÈRES D'ANALYSE

- Aspect financier : Analyse en coût global

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_1' : facture d'électricité des auxiliaires de chauffage
- 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

Plusieurs critères pris en compte :

- Impact sur les ressources: Consommation d'énergie primaire non renouvelable
- Impact climat : émissions de CO_2 (gaz à effet de serre)

4-2-1 COMPARAISON DES SCENARII - TERTIAIRE

- Description technique des scénarios :
 - Afin de faire des économies, le réseau de chaleur devrait être à basse température. Cela impose que tous les émetteurs 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 REF	Scénario 01	Scénario 02	Scénario 03
Pour un bâtiment tertiaire/commerce	PAC air /eau réversibles	PAC eau/eau sur SGV	Réseau interconnecté au réseau saint Nicolas	Réseau de chaleur bois
Echelle	Bâtiment	Bâtiment	ZAC	ZAC
Chauffage / climatisation :				
Système de production	Pompes à chaleur air/eau réversibles	Pompes à chaleur air/eau réversibles	Chaufferie centrale + échangeur de chaleur dans chaque bâtiment Froid par PAC air/eau	Chaufferie centrale + échangeur de chaleur dans chaque bâtiment Froid par PAC air/eau
Système de distribution primaire	-	-	Réseau de chaleur urbain	Réseau de chaleur urbain
Système de distribution secondaire	Réseau de chauffage/froid classique dans le bâtiment			
Système d'émission	Ventilo-convecteurs basse température 2 tubes			
Eau chaude sanitaire :				
Système de production	Tertiaire / commerces : Cumulus électriques décentralisés aux points de puisage			
Système de distribution secondaire	-			

4-2-1 COMPARAISON DES SCENARII - TERTIAIRE

Point de vue de l'aménageur :

	Scénario REF	Scénario 01	Scénario 02	Scénario 03
	PAC air /eau réversibles	PAC eau/eau sur SGV	Réseau interconnecté au réseau saint Nicolas	Réseau de chaleur bois
Echelle	Bâtiment	Bâtiment	ZAC	ZAC
Aménagement nécessaire :				
Sur la ZAC	Dimensionnement de l'alimentation électrique	Dimensionnement de l'alimentation électrique	Réseau de chaleur avec interconnexion ZUP St Nicolas ; Dimensionnement de l'alimentation électrique ;	Réseau de chaleur bois sur la ZAC ; Dimensionnement de l'alimentation électrique ;
Sur le bâtiment / parcelle	Réserver un local technique chaufferie	Réserver un local technique chaufferie Forage pour les SGV	Réserver un local sous station dans chaque bâtiment Réserver un local technique chaufferie	Réserver un local sous station dans chaque bâtiment Réserver un local technique chaufferie
Financement	100% par l'entreprise	100% par l'entreprise	Chaufferie : déjà construite, Réseau : Concession ou par aménageur/collectivité	Chaufferie : DSP Réseau : Concession ou par aménageur/collectivité
Estimation €HT				
Aménagement ZAC	-	-	de 2,5 à 3 M€HT (réseau de chaleur) Pas de subventions sans ENR	de 1,5 à 2 M€HT avec subventions (chaufferie bois et réseau sur la ZAC)
Systèmes de production dans le bâtiment	Env. 60 k€ (système de production)	Env. 170 k€ avec subventions (forages, sondes et systèmes)	Env. 70 k€ (sous station réseau, groupe d'eau glacée)	Env. 70 k€ (sous station réseau, groupe d'eau glacée)
Systèmes de distribution dans le bâtiment	Env. 200 k€ (130 kW : réseau intérieur de distribution de chauffage et de climatisation)			

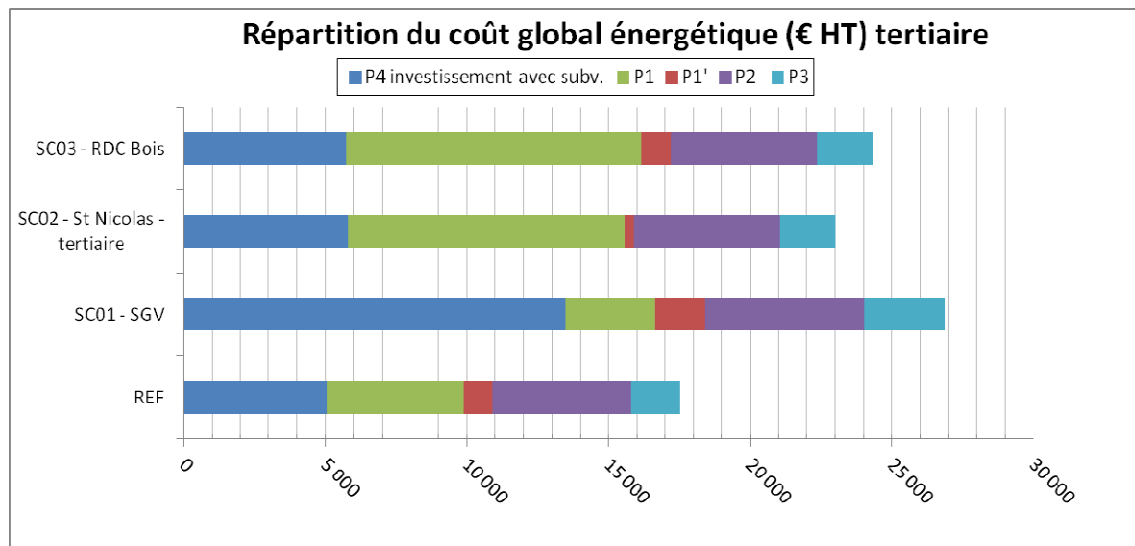
- En fonction de la solution retenue, les coûts d'aménagement ne seront pas les mêmes. Pour une solution avec un réseau de chaleur, il existe principalement 2 montages utilisés :
 - Soit l'investissement du réseau est fait par l'aménageur dans la limite géographique de son domaine d'intervention ; Dans ce cas, l'investissement est équilibré par une augmentation du prix du m² de foncier.
 - Soit l'investissement est réalisé dans le cadre d'une délégation de service : concession par un privé.
- En dehors de la question du réseau, il est préférable que la chaufferie soit réalisée par le délégataire. Toujours sous contrôle de la collectivité/aménageur, cela permet à l'exploitant de mettre en place un équipement qu'il connaît bien et qu'il saura exploiter de la meilleure façon.



4-2-1 COMPARAISON DES SCENARII - TERTIAIRE

Synthèse en coût global (avec subventions fds chaleur 2013)

Point de vue des entreprises :



➤ Le prix de revient de la chaleur sur le RDC bois – Sc03- est de 141€HT / MWhPCI, soit 39% au dessus de la solution de référence.

➤ Les besoins de climatisation imposent l'installation d'un système PAC à l'échelle du bâtiment dans tous les cas de figure. Les solutions de type réseau de chaleur sont donc pénalisées dès qu'il y a des besoins de clim. par rapport à une solution réversible standard puisque le réseau ne fourni pas de froid. Un réseau froid n'est pas envisageable car les logements ont besoins d'eau chaude l'été (il serait nécessaire de créer alors un second réseau dédié au froid!).

➤ Attention, les coût globaux mentionnés n'incluent pas l'ensemble des systèmes énergétiques des bâtiments. Il comptabilise uniquement les éléments présents en chaufferie et les éléments d'aménagement (forages, réseau de chaleur,...)

➤ La PAC SGV est la solution la plus chère. Notons que techniquement, cette solution ne peut pas être mise en place sur toute la ZAC; question de mitage, risque de réchauffement global de la terre.

Bâtiment tertiaire 3500 m ² €HT	Référence	SC01 - SGV	SC02 - St Nicolas	SC03 - RDC Bois
P4 investissement avec subv.	5 077	13 499	5 813	5 739
P1' (surcote)	1 017	1 779	305	1 017
P1	4 793	3 131	9 764	10 439
P2	4 900	5 600	5 145	5 145
P3	1 725	2 880	2 000	2 000
Total avec subv. HT	17 512	26 889	23 027	24 340
Prix de revient €HT/MWh	101	156	133	141
Coût au m ² €HT/m ² .an	5,00	7,68	6,58	6,95
Emission CO ₂ kg/m ² chauffé	1,45	0,93	8,15	0,89

4-2-1 COMPARAISON DES SCENARII - TERTIAIRE

- Synthèse en coût global – Influence de l'évolution du prix des énergies

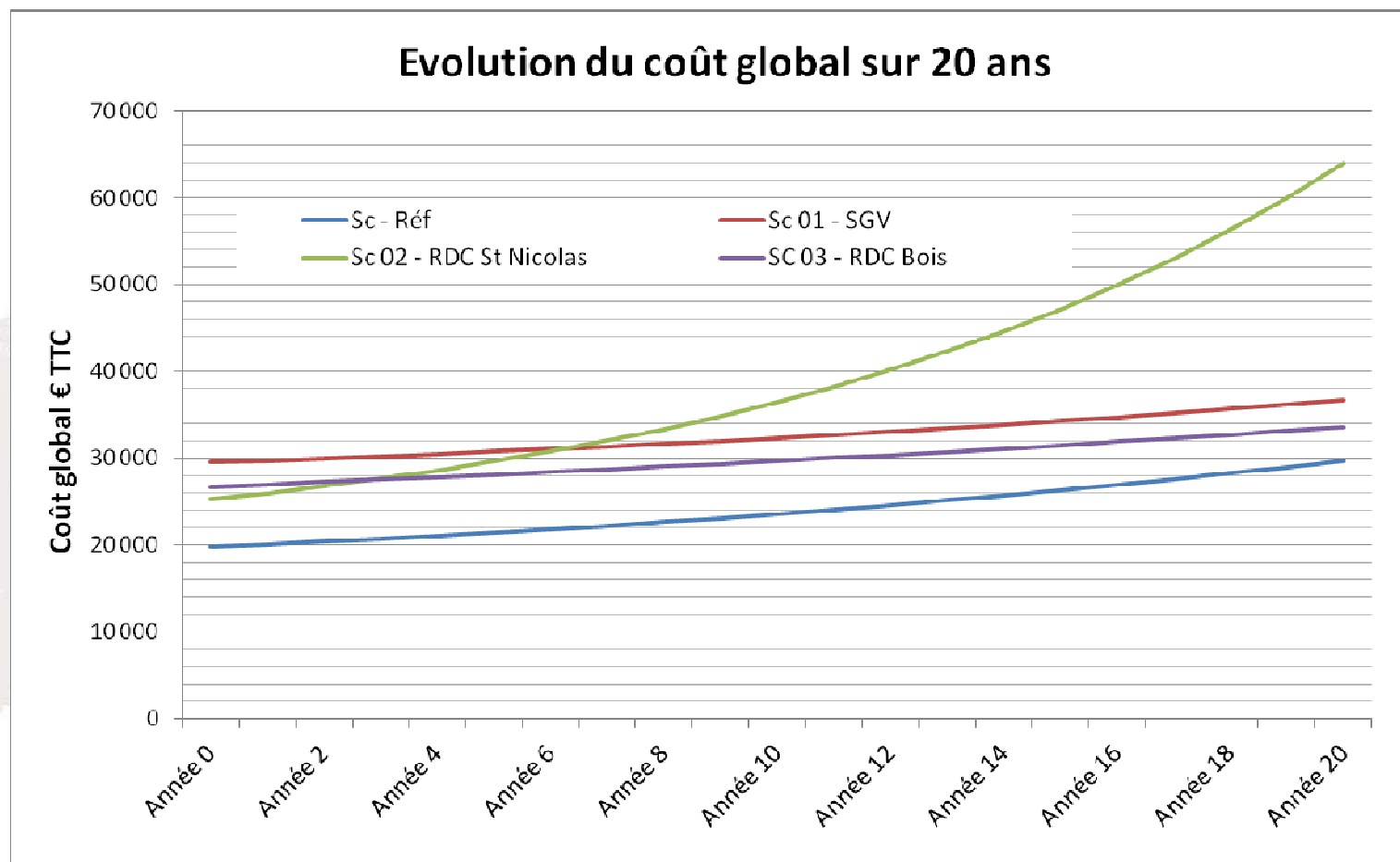
Le scénario de référence reste plus avantageux financièrement sur 20 ans étant donné nos hypothèses d'inflation de l'électricité.

Le scénario RDC bois arrive second.

Ce scénario requiert un pari sur l'inflation des énergies pour être réalisable.

INFLATION DES ENERGIES :	
Prix du gaz	7%
Prix de la chaleur St Nicolas	10%*
Prix de l'élec	5%
Prix de la chaleur bois	2%
Abonnement inflation / P2P3	2%

* Suivant document fournis par la ville sur le réseau





4-2-2 COMPARAISON DES SCENARII - LOGEMENT

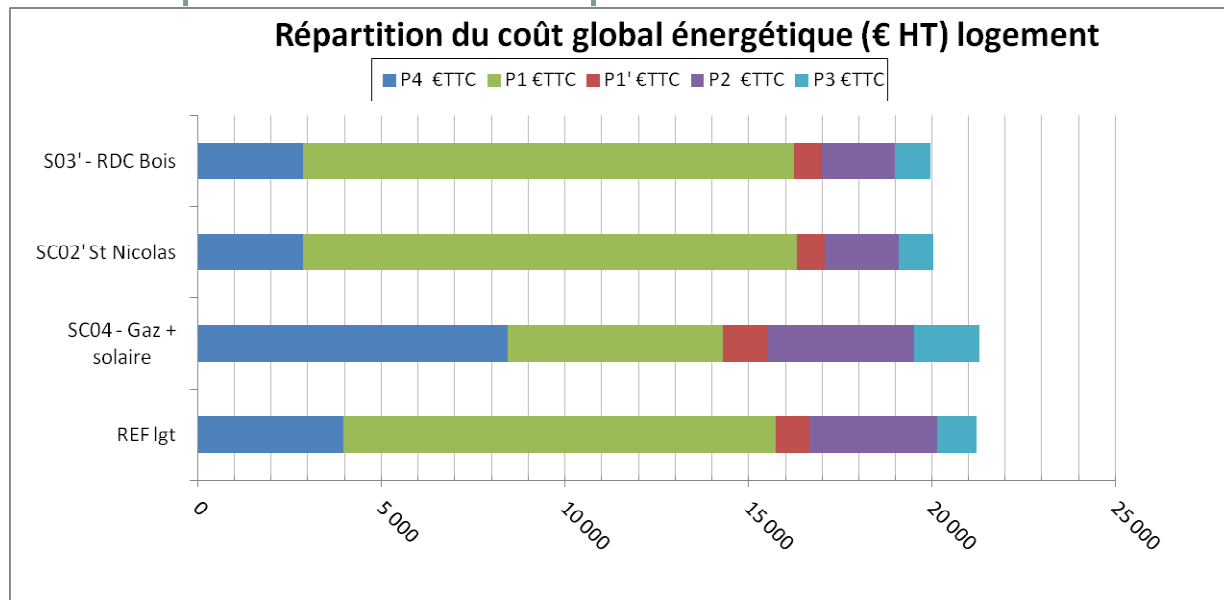
- Description technique des scénarios :

	Scénario réf	Scénario 01
	REF Gaz bâtiment	Gaz bât. + solaire
Echelle	bâtiment	bâtiment
Chauffage :		
Système de production	Chaudière gaz collective	Chaudière gaz collective
Système de distribution primaire	Installation dédiée	Installation dédiée
Système de distribution secondaire	Réseau de chauffage classique dans le bâtiment	Réseau de chauffage classique
Système d'émission	Radiateurs standards basse température ou plancher chauffant à privilégier / système de comptage par logement	
Eau chaude sanitaire :		
Système de production	Via chauffage avec ballon de stockage	Via chauffage et panneaux solaires avec ballon de stockage
Système de distribution secondaire	Système classique avec bouclage / système de comptage par logement	
Aménagement nécessaire :		
Sur la ZAC (électricité obligatoire et compter en base)	Réseau de gaz de ville	Réseau de gaz de ville
Sur le bâtiment	Réserver un local technique chaufferie	SC01 + Orientation / inclinaison des toitures
Financement	par GDF / par l'aménageur (dans le foncier)	Solaire : par l'acquéreur
Estimation €HT		
Aménagement ZAC	de 20 à 50 k€ (réseau de gaz de ville)	
Investissement pour les promoteurs	Env. 50 k€ (chaufferie gaz)	Env. 80 k€ (chaufferie gaz et panneaux solaires)



4-2-2 COMPARAISON DES SCENARII - LOGEMENT

- Synthèse en coût global (avec subventions)
- point de vue des promoteurs



➤ Nous avons conclu dans notre analyse des scénarii sur les bâtiments tertiaires qu'une solution de réseau de chaleur ne paraît pas pertinente. A contrario, sur des logements, la solution réseau de chaleur est pertinente puisque nous obtenons un coût global de 5% inférieur à la solution de référence.

➤ Avec la réduction des consommations toujours croissante, le P4 devient un enjeu important. Les solutions d'approvisionnement les plus vertueuses ont un coût qu'il est plus difficile d'amortir sur de faibles consommations énergétiques. C'est pourquoi les temps de retour sur investissement des solutions comme la géothermie deviennent difficile à mettre en place.

Logement type / €HT	REF Gaz bâtiment	Gaz + Solaire	SC02' - St Nicolas	SC03' - RDC Bois
P4 investissement avec subv.	3 973	8 429	2 870	2 870
P1	925	1 236	762	762
P1'	11 755	5 858	13 439	13 353
P2	3 500	4 000	2 000	2 000
P3	1 080	1 780	975	975
Total avec subv. HT	21 233	21 303	20 046	19 960
Prix de revient €HT / MWh	106	106	100	99
Coût au m² €HT/m².an	6,07	6,09	5,73	5,70
Emission CO2 kg/m²chauffé	13,72	6,84	13,72	0,76

4-2 COMPARAISON DES SCENARII

Energie	Coef. kgCO2/kWh
gaz	0,234
fioul	0,300
électricité	0,084
Bois	0,013
Chaleur St Nicolas	0,234

- Analyse environnementale :
 - Le scénario réseau de chaleur bois est la solution qui semble la plus intéressante sur le plan environnemental.
 - L'écart entre le scénario de référence et le scénario 01 est lié à la différence de rendement des installations.

TERTIAIRE	REF tertiaire	SC01 - SGV	SC02 - St Nicolas - tertiaire	SC03 - RDC Bois
Emission CO2 kg/m ² chauffé	1,45	0,93	8,15	0,89

LOGEMENT	REF Igt	SC04 - Gaz + solaire	SC02' St Nicolas	S03' - RDC Bois
Emission CO2 kg/m ² chauffé	13,72	6,84	13,72	0,76



4-2 COMPARAISON DES SCENARII

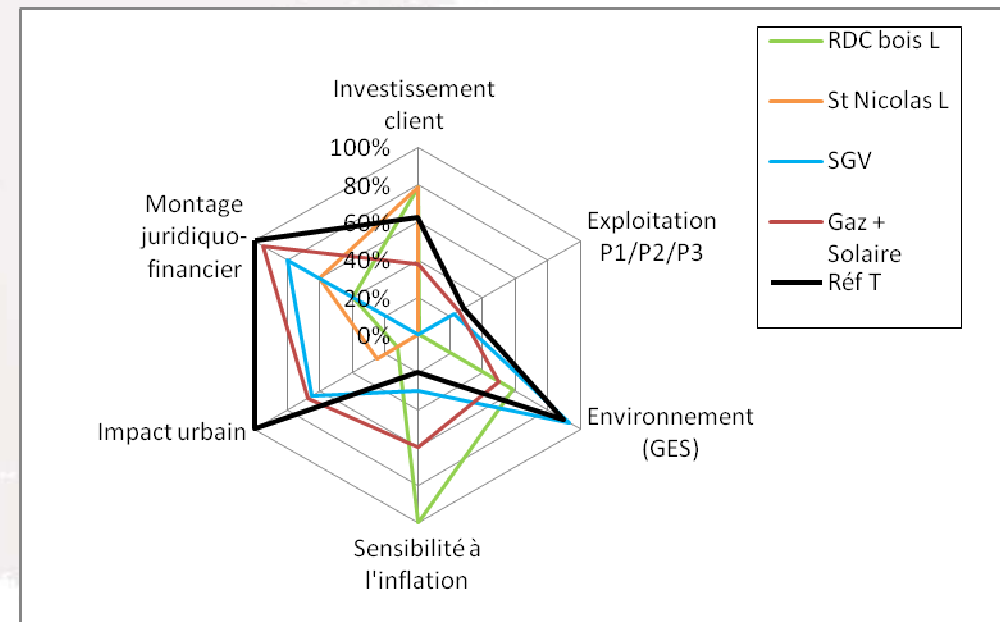
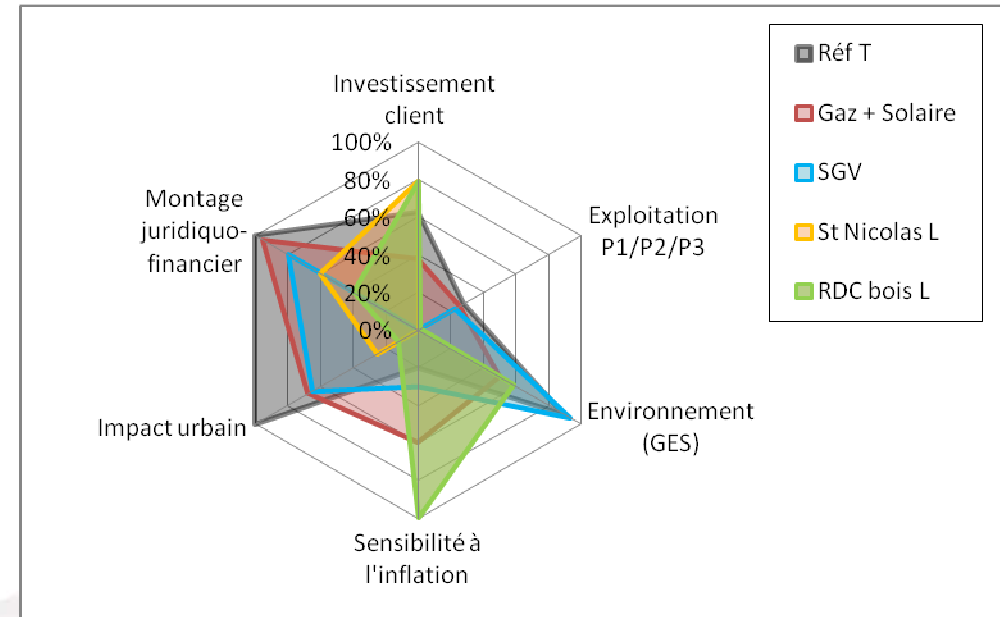
Les critères économiques sont importants, mais d'autres critères doivent faire partie des décisions de l'aménageur.

Nous intégrons dans notre réflexion les paramètres suivants :

- Sensibilité à l'inflation : Degré d'utilisation des énergies fossiles;
- Impact urbain : infrastructures à créer, immobilisation du foncier, présence d'une cheminée, aire de livraison de combustible;
- Montage juridique et financier : complexité des démarches administratives (enquête publique, dossiers de subventions,...), nécessité de recourir à une étude juridique et financière sur les modes de financement et de gestion.

Résultats :	Réf T	Réf L	Gaz + Solaire	SGV	St Nicolas Logt	RDC bois Logt
Note moyenne	67%	43%	56%	48%	27%	48%

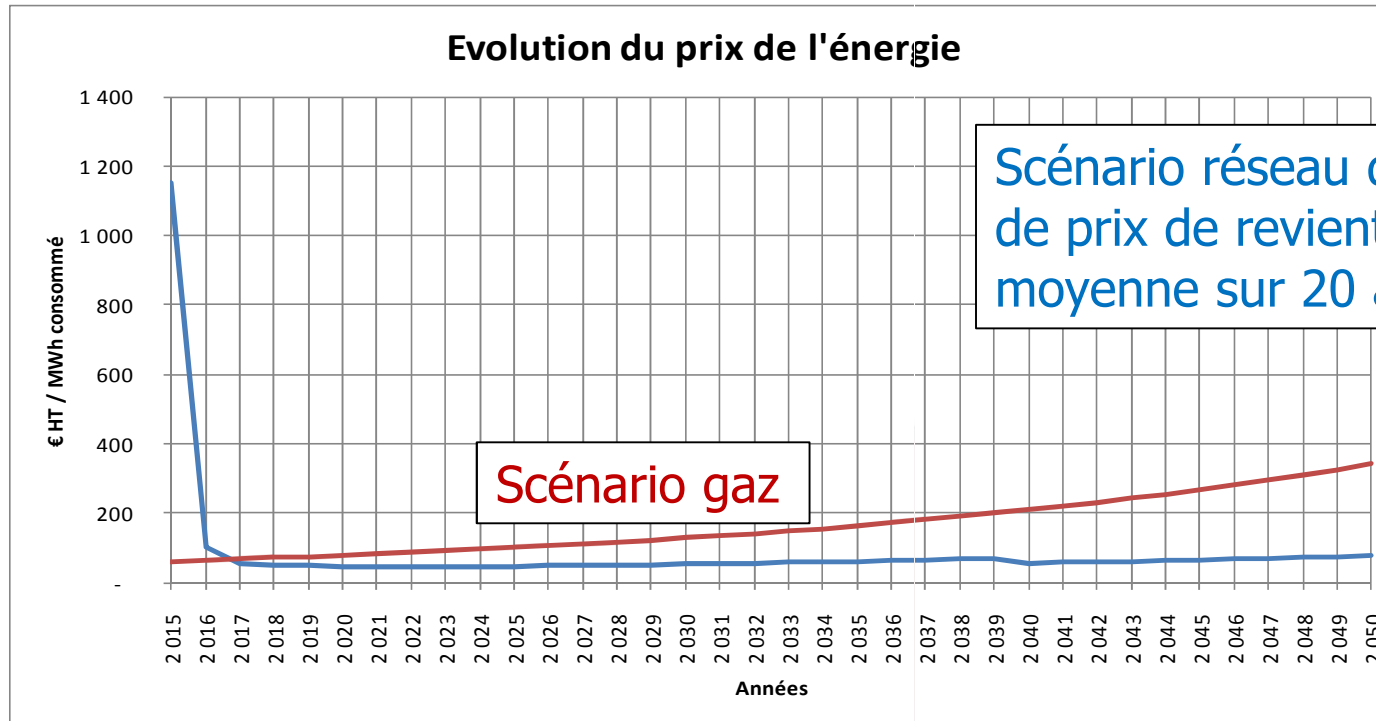
Plus la note est élevée, plus le scénario est pertinent.





4-3 RÉSEAU DE CHALEUR ET PHASAGE

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



- Une solution de réseau de chaleur nécessite d'importants investissements initiaux. Le prix de la chaleur de 1000 €HT/MWh est obtenu par un manque de consommateurs les premières années. Le gestionnaire du réseau devra porter l'endettement lié au phasage car il n'est pas envisageable de fixer un prix de la chaleur si élevé. Un délégataire extérieur ne financera pas un réseau de chaleur avec un phasage trop étendu.
- Il serait intéressant de raccorder des bâtiments voisins tels que des établissements scolaires, piscine et hôpitaux pour vendre de la chaleur dès les premières années et ainsi générer des recettes permettant d'équilibrer le bilan de construction de la chaufferie et du réseau de chaleur.
- Parallèlement à cela, les investissements devront être étalonnés dans la mesure du possible ; par exemple : chaufferie construite en deux parties,...

5- CONCLUSION

Solutions à l'échelle du bâtiment :

- La solution de référence est la plus séduisante aujourd'hui d'un point de vue économique pour des bâtiments tertiaires et de commerces puisqu'elle fournit à moindre coût le chaud et le froid. Cette solution revient donc à laisser le choix du système d'approvisionnement aux entreprises, sachant qu'elles choisiront certainement le système le moins coûteux et correspondant à leurs besoins : la PAC air/eau.
- En parallèle des bâtiments tertiaires, les logements devront choisir également une solution décentralisée ; sans le tertiaire/commerce, un réseau de chaleur dédié uniquement sur les logements ne serait pas assez dense pour être envisageable. Une chaufferie bois par bâtiment n'a ni sens technique, ni sens économique puisqu'il n'y a pas l'effet de mutualisation des systèmes. Le bois sur la ZAC pourrait alimenter un mini-réseau de chaleur entre bâtiments denses et assez proches ; il serait donc nécessaire de regrouper les logements entre eux par exemple...mais cela imposerait des contraintes sur le programme de la ZAC. Dans tous les cas, une chaufferie de faible puissance comme ce serait le cas sur la ZAC PEM ne pourrait se monter que par un mode de gestion directe (Régie ou marché public d'exploitation).
- Le bois écarté, et étant donné le contexte économique et de programmation sur la ZAC, les scénarii d'approvisionnement les plus intéressants en coût global sont, pour des logements :
 - Chaudière gaz individuelle mixte à condensation;
 - Chaudière gaz collective à condensation et chauffe eau solaire;
 - Des systèmes innovants plus complexes peuvent être imposés dans le cahier des charges de la ZAC sur certains lots comme la récupération des eaux usées pour le préchauffage de l'ECS.
- La mise en place de panneaux solaires élève légèrement le coût global de la solution de référence. Cependant, du fait des consommations maximum imposées par la RT2012 et bientôt RT2020, il est fort probable à l'avenir que cette solution soit nécessaire ou simplement retenue par les promoteurs sans même une indication dans le cahier des charges de la ZAC. Néanmoins, il reste pertinent d'imposer l'utilisation de l'énergie solaire dans le cahier des charges environnemental de la ZAC.
- Dans un système chauffage et de production d'eau chaude collective sur des logements, le bouclage d'eau chaude sanitaire représente des pertes importantes. Il nous paraît pertinent d'imposer un système de récupération de chaleur sur les eaux usées pour préchauffer l'eau chaude sanitaire; Système de type Power Pipe de Solenove Energie ou équivalent.
- Une solution de géothermie sur sondes verticales peut être envisagée sur des bâtiments ayant des besoins de climatisation. En revanche, l'imposer aux entreprises paraît être une contrainte budgétaire lourde. Quid de la facilité de commercialisation des parcelles de la ZAC ? Il y a donc nécessité de trouver une entreprise souhaitant investir dans les énergies vertes.

5- CONCLUSION

Solutions à l'échelle de la ZAC :

- La solution réseau de chaleur bois est la plus intéressante des solutions centralisées sur les plans économique et environnemental.
- Le réseau de chaleur à plus de 50% ENR a de nombreux avantages outre ceux intrinsèques à l'utilisation d'une ENR :
 - Une TVA à 5.5 % sur la chaleur vendue ;
 - Un droit à consommer supplémentaire (RT2012); ce qui signifie moins d'efforts sur l'isolation pour les promoteurs et donc moins d'investissements ;
 - Une obligation de raccordements des bâtiments pour un réseau de chaleur classé (procédure à entreprendre) = investissements sécurisés ;
- Malgré que la densité énergétique sur la ZAC PEM est acceptable, le scénario n'est pas profitable aux bâtiments tertiaires sur le plan économique : +68% de surcoût par rapport au scénario de référence du fait des besoins de climatisation. Un scénario de réseau de chaleur n'est pas envisageable économiquement sur la ZAC si les bâtiments tertiaires ont des besoins de climatisation ; Climatisation = pompe à chaleur = système complémentaire du réseau de chaleur. Pour limiter le coût des systèmes et la complexité de l'approvisionnement énergétique, il n'est pas envisageable d'associer deux systèmes de production comme cela a été volontairement le cas du Sc03 (Réseau de chaleur + PAC).
- La solution pourrait être alors de mentionner dans les clauses du cahier des charges de la ZAC que la conception des bâtiments devra permettre obligatoirement l'absence totale de besoins de climatisation. Mais cela ne nous semble pas pertinent ; la RT 2012 autorise davantage de droit à climatiser que la RT 2005 pour les bâtiments tertiaires et de commerce dans la mesure où les professionnels se sont aperçus que les bâtiments fortement isolés avaient de nombreux problèmes de surchauffe. Le respect d'une clause d'interdiction de climatiser serait délicat à mettre en œuvre. Tout dépend également de la faciliter de commercialisation des parcelles.
- Il est également important de noter que le réseau de chaleur doit avoir un business plan positif. Les contraintes principales que sont le phasage étalé dans le temps et la climatisation doivent être maîtrisés. Une des façons de maîtriser le paramètre phasage est de rechercher des bâtiments très consommateurs existants qui permettraient de structurer le réseau et ainsi d'obtenir un bon prix de revient de la chaleur. Seulement dans ce cas, alors un réseau de chaleur pourrait à notre sens être envisagé.
- En présence des éléments actuels, il apparaît compliqué, mais pas impossible de créer un réseau de chaleur sur la ZAC PEM. Si la ville souhaite partir sur ce terrain, il serait nécessaire de réaliser une étude de faisabilité en phase plus opérationnelle; il y a notamment nécessité d'étudier la présence de gros consommateurs aux alentours et d'étudier différents business plan en dynamique sur 20 ou 25 ans. Quid du taux de rentabilité interne projet? Inventaire des montages financiers possibles ? Etc...