



ZONE D'ACTIVITES BARIDA / PARADE

# ÉTUDE DE POTENTIEL ÉNERGETIQUE

MAÎTRISE D'OUVRAGE : SPLA - PAYS D'AIX TERRITOIRES

16 FEVRIER 2017

CHOISIR **EVEN Conseil**, C'EST CHOISIR...



# SOMMAIRE

<b>A. Contexte .....</b>	<b>5</b>
<b>I. Contexte politique .....</b>	<b>5</b>
a. Des enjeux internationaux à intégrer localement .....	5
b. un cadre réglementaire structurant.....	5
<b>II. contexte du site .....</b>	<b>6</b>
a. Le climat .....	6
b. desserte energetique actuelle du quartier .....	7
c. Etat du bati existant .....	8
d. Programmation et organisation spatiale du projet.....	10
e. Les besoins energetiques associés .....	14
<b>B. Potentiel de developpement des energies renouvelables.....</b>	<b>16</b>
<b>I. L'énergie solaire.....</b>	<b>16</b>
a. Le solaire thermique .....	16
b. Le solaire photovoltaïque.....	19
c. Potentiel solaire local .....	21
<b>II. L'énergie eolienne .....</b>	<b>22</b>
a. Le grand eolien .....	22
b. L'éolien urbain .....	24
c. Le potentiel éolien du secteur .....	25
<b>III. L'énergie Hydrolienne.....</b>	<b>26</b>
a. L'hydrolien.....	26
b. Potentiel hydroien local .....	27
<b>IV. La geothermie.....</b>	<b>28</b>
a. Potentiel Géothermique Local .....	31
<b>V. l'Aérothermie .....</b>	<b>32</b>
a. Potentiel Aérothermique Local .....	32
<b>VI. La biomasse .....</b>	<b>33</b>
a. Le bois énergie : chaufferie bois.....	33
b. Le bois énergie : cogénération .....	36
c. Le potentiel biomasse du secteur.....	37

<b>VII. Le biogaz.....</b>	<b>41</b>
a. La méthanisation sur les boues et les effluents .....	42
b. Le potentiel biogaz du secteur .....	44
<b>VIII. Les autres technologies existantes .....</b>	<b>45</b>
a. La récupération de chaleur sur les eaux grises .....	45
b. La récupération de chaleur sur les eaux usées .....	46
<b>C. Pre-dimensionnement / scenarii.....</b>	<b>49</b>
<b>I. Définition des scenarii .....</b>	<b>50</b>
<b>II. Hypothèses pour l'analyse comparative .....</b>	<b>51</b>
a. Analyse économique .....	51
b. Coûts d'investissements.....	51
c. Subventions mobilisables .....	51
d. Coûts d'exploitation .....	51
e. Analyse environnementale .....	52
<b>III. Analyse comparative des différents scénarios .....</b>	<b>52</b>
a. Analyse économique .....	52
b. Analyse environnementale .....	52
c. Comparaison des scenarii.....	53
<b>IV. Conclusion .....</b>	<b>53</b>

# A.CONTEXTE

## I.CONTEXTE POLITIQUE

La présente « Etude du potentiel de développement des énergies renouvelables » a été réalisée conformément à l'art. L128-4 du Code de l'urbanisme.

### a.DES ENJEUX INTERNATIONAUX A INTEGRER LOCALEMENT

A l'heure où les questions énergétiques et climatiques deviennent des enjeux majeurs à l'échelle planétaire, leur gestion représente un véritable défi. Le réchauffement climatique et la raréfaction des ressources naturelles, notamment fossiles, sont aujourd'hui, de réelles problématiques qui nécessitent la mise en place d'actions concrètes et durables. Au fur et à mesure de la prise de conscience de ces enjeux, les pouvoirs publics ont instauré des objectifs à atteindre afin de permettre l'atténuation de ces phénomènes. Ces ambitions, définies à différentes échelles d'intervention (mondiale, nationale, régionale, communale...), se sont vues déclinées en stratégies contextualisées à chaque territoire à travers notamment, l'adoption de lois cadres et l'élaboration de documents de planification. La Zone d'Aménagement Concertée BARIDA PARADE est à ce titre soumise à des exigences environnementales. Concernée notamment par le Grenelle de l'environnement à l'échelle nationale, elle doit également répondre aux ambitions régionales et locales qui ont fait de la politique énergétique une politique prioritaire.

### b.UN CADRE REGLEMENTAIRE STRUCTURANT

Depuis le sommet de Rio de 1992, les réglementations visant à diminuer les consommations énergétiques et à développer les énergies renouvelables se sont multipliées, incitant les différents acteurs (publics et privés) et les citoyens à entreprendre et développer des actions concrètes sur leur territoire. A l'échelle nationale, la loi de programme applicable sur le territoire français découle de la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement. Définitivement adoptée le 3 août 2009, elle « fixe les objectifs, définit le cadre d'action, organise la gouvernance à long terme et énonce les instruments de la politique mise en œuvre pour lutter contre le changement climatique ». En matière énergétique, elle confirme les engagements précédents, notamment concernant le facteur 4 à l'horizon 2012, la part de 23% des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie en 2020, la réduction de 20% des émissions de gaz à effet de serre dans les transports, la consommation maximale de 50 kWh/m<sup>2</sup>.an en 2013 (bâtiment à énergie positive en 2020) et la baisse d'au moins 38% des consommations énergétiques dans les bâtiments existants d'ici 2020. La loi Grenelle 2, adoptée le 12 juillet 2010 complète quant à elle, la loi Grenelle 1, en définissant les mesures à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs fixés précédemment. En parallèle, divers documents cadres réalisés aux différentes échelles d'intervention ont été élaborés et viennent encadrer tout nouveau projet d'aménagement.

## II. CONTEXTE DU SITE

### a. LE CLIMAT

Le positionnement géographique d'Aix en Provence lui permet de jouir d'un climat méditerranéen, chaud et sec l'été, ensoleillé et doux l'hiver sa proximité avec les chaînes de collines de la Trévaresse et du Lubéron situées au nord lui permet d'être relativement protégée du vent venant du Nord

#### ☑ LES TEMPERATURES

D'après les données relevées à la station de Marignane, la température moyenne maximale est d'environ 30°C en juillet et la température moyenne minimale est d'environ 3°C en janvier. Les minima se situent entre novembre et février, et les maxima sont enregistrés en juillet et août. Le maximum d'ensoleillement est constaté au mois de juillet.

#### ☑ L'ENSOLEILLEMENT

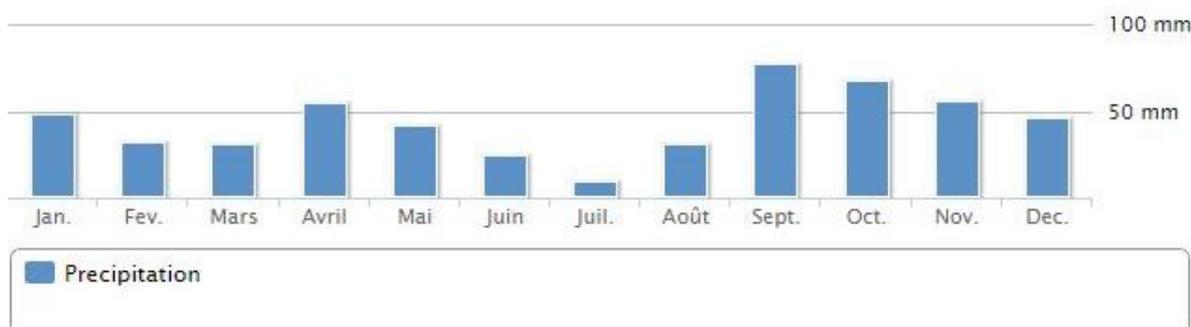
La commune bénéficie d'un taux d'ensoleillement élevé parmi les plus importants de France, En effet, Aix en Provence compte un équivalent de 119 jours d'ensoleillement en 2016 contre une moyenne nationale d'environ 83 jours.



Représentation graphique de l'évolution annuelle des températures et du taux d'ensoleillement sur Aix en Provence (Source : Météofrance)

#### ☑ LES PRECIPITATIONS

La pluviométrie (moyenne mensuelle) n'est pas répartie de manière homogène sur l'année on constate des épisodes pluvieux forts pendant les mois d'avril de septembre octobre et novembre. Les précipitations moyennes annuelles s'élèvent à près de 515 mm en 2016, inférieures à la moyenne nationale (895mm/an)

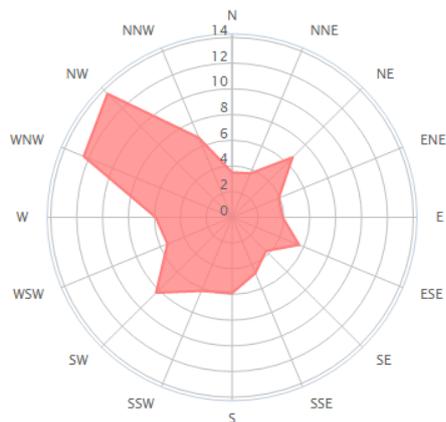


Représentation graphique de l'évolution annuelle des précipitations (Source : Météofrance)

#### ☑ LES VENTS

L'analyse de la rose des vents fait apparaître des vents dominants nord-ouest (Mistral) Ouest et sud-Est. On observe bien que les chaînes de montagnes au Nord, font office de masque pour les vents venant de cette direction. Les vents mesurés peuvent avoir un caractère violent, soufflant à plus de 58 km/h, 100 jours par an et parfois à plus de 100 km/h, 6 jours par an. Il s'agit essentiellement du Mistral, vent froid et sec venant du Nord-Ouest, et dans un second temps d'un vent d'Est amenant la pluie.

Distribution de la direction du vent en (%)  
Année



Rose des vents annuelle (Source : Windfinder)

## b. DESSERTE ENERGETIQUE ACTUELLE DU QUARTIER

La RD9 apparaît comme le support de la quasi-totalité des réseaux

### ☑ RESEAUX HUMIDES

Le branchement pourra se faire sur la RD9.

- **Eau potable** : Le réseau d'eau potable longe la RD9, avec une desserte plus fine des services techniques, et le chemin de la Blaque.
- **Eaux pluviales** : Pour le réseau pluvial, l'exutoire naturel présent au niveau du bassin versant est l'Arc. Il longe la RD9, et passe par la rue de l'Hippodrome au nord-est et le centre de collecte des déchets.
- **Eaux usées** : Le réseau d'eaux usées est situé sous la RD9, le chemin de la Blaque vers le sud et longe l'Arc au Nord pour desservir le centre de collecte des déchets.

### ☑ RESEAUX SECS

- **Réseaux haute tension et basse tension** : Le secteur apparaît correctement maillé. Dès lors, les raccordements téléphoniques et électriques pourront se faire (si présence d'un transformateur). Néanmoins, la partie sud du site apparaît bien moins maillée que le Nord.
- **Eclairage** : L'éclairage est présent sur l'ensemble des voiries publiques. Il n'est néanmoins pas possible aujourd'hui d'en déterminer l'emplacement exact, même si l'on peut estimer que le raccord pourra globalement se faire.
- **Gaz** : Le réseau de gaz dessert la partie ouest de la RD9, le centre de collecte et de transfert des déchets ainsi que le centre oxydium.

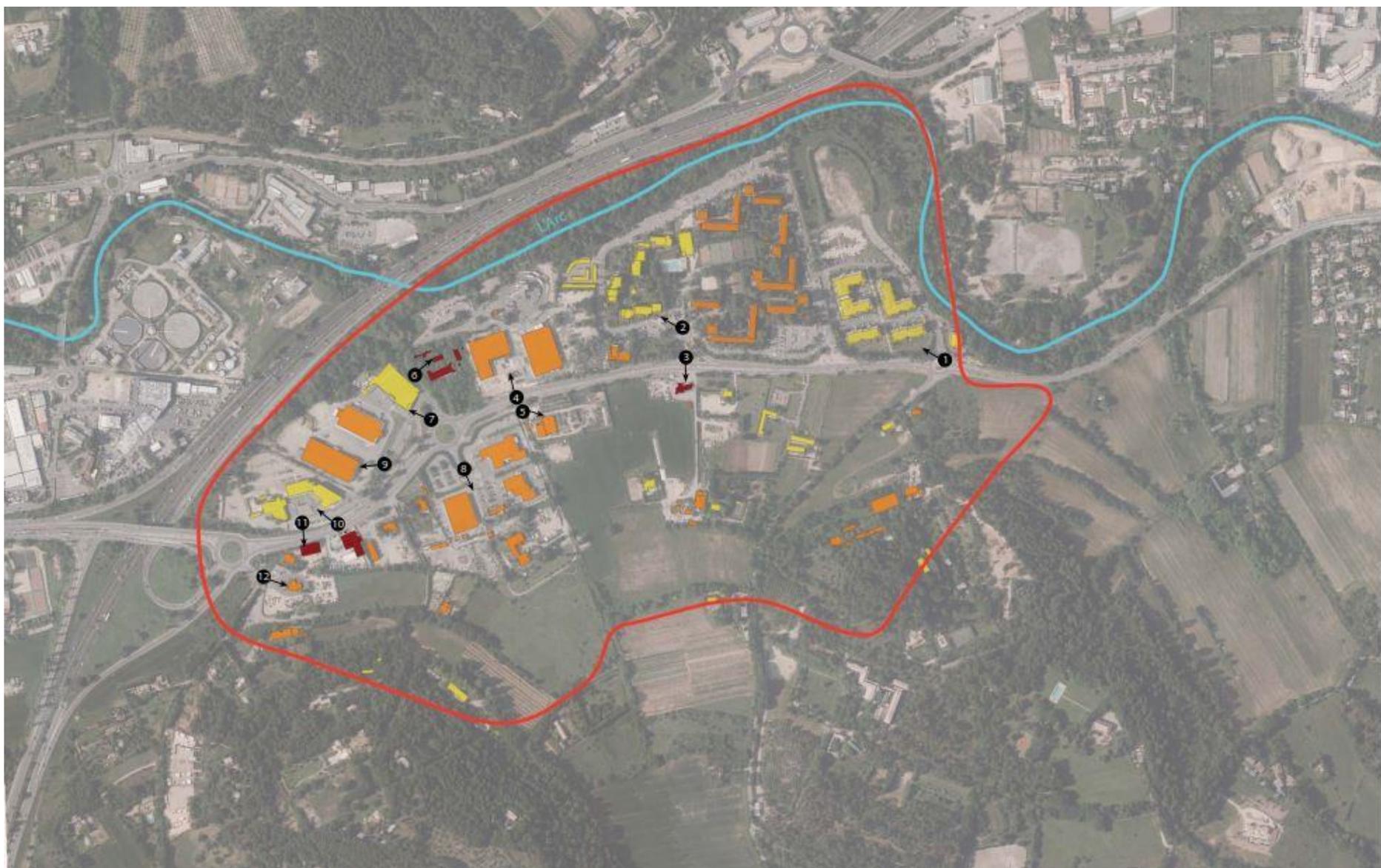
## C. ETAT DU BATI EXISTANT

Le secteur est composé d'activités diverses. Ces activités ont fait l'objet d'une étude pour évaluer leur état, ainsi que leur potentiel de mutabilité, ayant permis de faire émerger la typologie suivante:

- De nombreux bâtiments à destination d'activités et d'habitation présentent un état correct, et on peut ainsi recenser des constructions récentes (1, 7, et 10) ou bien entretenues (2). Une grande partie des bâtiments destinés au logement (1 et 2) se présentent sous la forme de résidences fermables ou fermés. Elles regroupent des bâtiments datant des années 1970/1980 (La Parade), ou des constructions beaucoup plus récentes (2009 pour le Parc de l'Hyppodrome). Ces domaines sont amenés à perdurer sur le site, leur bon état général et de leur situation à proximité du centre-ville. Ils apparaissent par ailleurs indispensables à la viabilité de la future zone d'activités en se posant en garants de la mixité

Par ailleurs, le quartier accueille une série d'équipements relativement récents. La cuisine centrale (7), créée en 2006, approvisionne 99 écoles et crèches de la Ville et produit quotidiennement 10 000 repas. Sa localisation est justifiée par la proximité des bretelles d'autoroute qui assurent une jonction rapide avec les différents quartiers aixois. Datant de 2008 et constituant un premier pas vers l'extension de la zone de la Pioline, le centre Oxydium concept (10) héberge quant à lui une série d'activités dont le développement est à encourager. Ce récent réinvestissement du secteur révèle bien la volonté municipale d'en amorcer le double rattachement à la ville et à la zone d'activité des Milles.

- Une grande majorité de bâtiments «vieillissants», que ce soit par leur époque de construction ou par une architecture valorisante pour le site. De nombreux entrepôts et hangars, à la destination et à l'aspect peu qualitatifs, sont ainsi recensés (9 et 12). Ils amenuisent le potentiel de vitrine offert par la RD9, en impliquant un manque de lisibilité de la destination de la zone. Ainsi, les entrepôts accueillant le dépôt archéologique (9), ainsi que les activités de boucherie et restauration dévalorisent cette entrée de zone, lorsque le concessionnaire automobile (12), pourtant situé en entrée ouest de secteur, présente des bâtiments de qualité moindre. Le bâtiment des services techniques municipaux(8) présente pour sa part comme le centre de collecte des déchets ménagers (4) et présente un état critique. Si sa situation en retrait de la RD9 n'en fait pas un obstacle majeur au processus de «vitrinisation», l'ampleur de l'emprise foncière occupée par cette activité amène à questionner les possibilités d'optimisation, notamment par le réinvestissement de terrains servant actuellement d'entrepôts à air libre. La déchetterie, située en bordure de la RD9, devra pour sa part être requalifiée dans l'idée d'améliorer sa visibilité depuis la voie. A l'inverse, si les constructions relatives aux «Pépinières de la Parade»(5) présentent un état médiocre, l'activité elle-même constitue un atout majeur pour le site, en offrant un interlude végétalisé dans le continuum urbanisé.
- Quelques bâtiments présentant un «mauvais état». En effet, le Château Lafarge (6) est terni par un manque d'entretien prégnant, alors que son intérêt patrimonial et architectural sous-tend sa nécessaire restauration. Les quelques constructions (3) abritant des commerces renforcent pour leur part la perception négative du site, lorsque les entrepôts (11) situés en entrée de zone devront laisser place à des bâtiments à la hauteur de la destination commerciale du site.



## d.PROGRAMMATION ET ORGANISATION SPATIALE DU PROJET

### ☑ COMPOSITION URBAINE

Avec un linéaire de près de 1 km sur la RD9, le site bénéficie d'une véritable façade sur un axe routier fréquenté, qui devra être reconfiguré en boulevard urbain, offrant un partage de la voirie au profit des transports collectifs et modes actifs. Les éventuelles implantations commerciales nécessiteront un aménagement paysager d'ensemble, particulièrement soigné. Elles pourront être accompagnées des activités et équipements à implanter en arrière de la RD9.

Deux parties sont définies :

- A l'ouest, à dominante d'activités et d'équipements collectifs, comme un parc-relais, la fourrière, le garage des véhicules de collecte des ordures ménagères de la Métropole Aix Marseille, qui devront composer un aménagement cohérent avec les ouvrages de rétention, et la prise en compte des aléas inondation.
- A l'est, à dominante d'habitat et d'activité, considérant que les activités tertiaires, commerces et services, sont à privilégier en façade du futur boulevard urbain (RD9 requalifiée) afin de contribuer à son animation et offrir aux pôles d'habitat proches un complément de services de proximité, les activités artisanales ou industrielles étant préférentiellement positionnées sur l'arrière car peu propices à présenter une qualité de façade attrayante du boulevard urbain

### ☑ PAYSAGE

Les éléments de la trame végétale, soulignant la topographie du secteur et conférant un aspect bocager au site, devront être maintenus, voire renforcés.

Les zones impactées par l'aléa inondation pourront faire l'objet d'aménagements fonctionnels et paysagers compatibles avec le maintien à l'air libre des écoulements : espaces verts, bassins de rétention, noues...

Ces aménagements paysagers autour de la gestion du risque inondation peuvent être la marque de la nouvelle identité conférée au site.

Par ailleurs, l'interface urbain/campagne qui s'appuie sur les éléments de trame végétale existants devra être renforcée.

### ☑ LE MAILLAGE VIAIRE

L'ensemble du site ne peut être desservi uniquement par la RD9, il est nécessaire de créer des voies de maillage interne permettant la desserte des activités et équipements implantés sur la zone, en limitant les accès sur la RD9.

Afin de minimiser l'impact et les nuisances liées à la circulation et au stationnement des véhicules, la mise en œuvre de parkings souterrains est préconisée.

Les accès principaux au site sont localisés sur la route des Milles. L'une des entrées se trouve au sud du rondpoint existant face à la cuisine centrale, l'autre à l'ouest sur le rond-point au droit de l'échangeur de l'A51 et le troisième à l'est au niveau du chemin de la Blaque. Il s'agit d'utiliser les équipements routiers existants, la RD9 reconfigurée devenant la « colonne vertébrale » de l'ensemble du secteur.

Une voie nouvelle de desserte située au sud de la RD9 fera l'objet d'un traitement qualitatif visant à son intégration paysagère et adaptation au sol.

Cette voie permettra la desserte des équipements, activités ou logements et se repiquera à l'est sur le chemin de la Blaque.

Etant donné le caractère paysager de ce dernier, étroit et bordé principalement de chênes anciens, il n'est pas envisageable de l'élargir. Sa fonctionnalité pourrait être adaptée par une voie nouvelle le longeant en contre-bas, soit à double sens, soit à sens unique avec l'autre sens de circulation pouvant être assuré par le chemin de la Blaque.

#### PROGRAMMATION/CONDITIONS D'URBANISATION

Dans la partie ouest, le secteur recevra de l'ordre de 35000 m<sup>2</sup> de surface de plancher destinés à des activités et des équipements, et dans la partie Est à vocation mixte activités/habitat, le secteur recevra de l'ordre de 40000 m<sup>2</sup> de surface de plancher destinés à du logement.

Les opérations à vocation d'habitat ne pourront être programmées qu'une fois les équipements publics ou d'intérêt collectif à implanter dans la zone réalisée. Les futurs résidents auront alors parfaitement connaissance de leur environnement.

Le détail du programme de construction alloti retenu est présenté ci-dessous.

	Surface de terrain m <sup>2</sup>	Vocation	Emprise au sol batie attendue m <sup>2</sup>	Epannelage	SdP estimée m <sup>2</sup>	Nbre de logements
LOT 1	10 600	Activité / commerce	2915	RdC et R+1 bur.	3710	-
LOT 2	19 600	Activité / commerce	5390	RdC et R+1 bur.	6860	-
LOT 3	5 700	Activité / artisanat	1567,5	RdC et R+1 bur.	1995	-
LOT 4	10 900	Activité / artisanat	2997,5	RdC et R+1 bur.	3815	-
LOT 5a	4 830	Activité / artisanat	1328,25	RdC et R+1 bur.	1690,5	-
	4 870	Jardinerie relocalisée	-	RdC	-	-
Lot 5b	8 000	Equipement public	1400	RdC ou R+1	1800	-
LOT 6	13 850	Logements	2240	indiv-500m <sup>2</sup> R+1	3360	28
LOT 7	19 850	Commerces RdC	4962,5	RdC	4465	-
		Logements		étages+2,25	10050	154
		Logements		R+1	3310	50
LOT 8	32 500	Commerces RdC	8125	RdC	7720	-
		Logements		étages+2,25	16000	246
LOT 9a	14 600	Commerces RdC	1425	RdC	1280	-
		Logements		étages+1,25	1600	24
		Logements		R+1	4540	70
LOT 9b	1 000	Eqt public - jeux promenade				-
LOT 10	8 100	Logements	1100	R+1	1980	30
	4 500	Logements	720	indiv-500m <sup>2</sup> R+1	1080	9
LOT 11	9 800	Logements	1500	indiv-1000m <sup>2</sup> R+1	2000	10
Services Techniques	34 595	Equipement public	-	-	inchangé	-
Fourrière	4 860	Equipement public	-	-	-	-
Siège social Crèche	2 330	Equipement public	-	-	inchangé	-
Jardinerie existante	4 870	Activité / commerce	1339,25	RdC et R+1 bur.	1704,5	-
<b>Total lots bâtis ou à bâtir</b>	<b>215 355</b>	<b>m<sup>2</sup></b>				

	Terrain en m <sup>2</sup>	SdP en m <sup>2</sup>	nbre Lgts
TOTAL ACTIVITES COMMERCES RD9	102 020	25 740	
TOTAL ACTIVITES ARTISANATS	21 430	7 501	
TOTAL LOGEMENTS	103 200	40 610	571
EQUIPEMENT PUBLIC	8 000	1 800	
Espaces verts et jeux d'enfants	1 000		

\* Calculs effectués sur les 11 lots répertoriés. Ne sont pas inclus les ST, la fourrière, le siège social des crèches et la jardinerie

\*\* Les surfaces des lots concernent des macro-lots incluant cheminements / stationnement / espaces verts/ emprise de l'équipement public

La ZAC sera découpée comme présentés ci-dessous :



## e.LES BESOINS ENERGETIQUES ASSOCIES

### ☑ LE NIVEAU DE PERFORMANCE ENERGETIQUE RETENU

Le niveau de performance minimal sera le niveau RT 2012. Ce niveau de performance impose un niveau de consommation en énergie primaire inférieur de 50% par rapport à la RT 2005 (pour les usages dits réglementés : Chauffage, production d'eau chaude sanitaire, Climatisation, Eclairage et ventilation).

Le calcul des besoins des nouvelles constructions se base sur des ratios de besoins utiles par m<sup>2</sup> pour des constructions respectant la RT 2012. Ces ratios, présentés dans le tableau ci-dessous, ont été estimés :

- Sur la base des données climatiques du secteur
- Selon la nature des bâtiments dans la zone d'Aix en Provence en bâti standard
- Pour les usages de chauffage et de production d'Eau Chaude Sanitaire (ECS). Il a été pris comme hypothèses que les logements ne seraient pas climatisés. Aussi, les besoins de froid pour les commerces n'ont pas été évalués car ceux-ci dépendront fortement du type d'activité qui s'installera

	<b>Chauffage</b> En kWh th / m <sup>2</sup> / an	<b>ECS</b> En kWh th / m <sup>2</sup> / an	<b>Froid</b> En kWh th / m <sup>2</sup> / an
Maisons individuelles (type T5)	13	17	0
Individuels groupés et collectifs	10	19	0
Commerces	9	7	35
Equipements Publics	18	4	0

Ratios de besoins utiles par usage et type de bâtiments (neufs)

*L'énergie primaire représente l'énergie n'ayant pas subi de transformation. On parle d'énergie finale pour les énergies en fin de chaîne de production. Le rapport énergie primaire / énergie finale est de 1 pour les combustibles (gaz, fioul, bois) et de 2,58 pour l'électricité produite en France. Cela signifie que pour produire 1 kWh d'électricité, il a fallu utiliser 2,58 kWh d'énergie primaire.*

ESTIMATION DES BESOINS ENERGETIQUES

Sur la base de ces hypothèses, les besoins énergétiques sont estimés à 1.8 GWh/an de chaleur et 1.1 GWh/an de froid sur l'ensemble de la ZAC (hors existant).

	<b>Chauffage</b> En kWh utile / an	<b>ECS</b> En kWh utile / an	<b>Froid</b> En kWh utile / an	<b>TOTAL</b> En kWh utile / an
<b>LOT 1</b>	33 390	25 970	129 850	<b>189 210</b>
<b>LOT 2</b>	61 740	48 020	240 100	<b>349 860</b>
<b>LOT 3</b>	17 955	13 965	69 825	<b>101 745</b>
<b>LOT 4</b>	34 335	26 705	133 525	<b>194 565</b>
<b>LOT 5a</b>	15 214	11 830	59 150	<b>86 194</b>
<b>LOT 5b</b>	32 400	7 200	0	<b>39 600</b>
<b>LOT 6</b>	43 680	57 120	0	<b>100 800</b>
<b>LOT 7</b>	173 785	285 095	156 275	<b>615 155</b>
<b>LOT 8</b>	229 480	358 040	270 200	<b>857 720</b>
<b>LOT 9a</b>	72 920	125 620	44 800	<b>243 340</b>
<b>LOT 9b</b>	-	-	-	-
<b>LOT 10</b>	33 840	55 980	0	<b>89 820</b>
<b>LOT 11</b>	26 000	34 000	0	<b>60 000</b>
<b>EXISTANT</b>	NC	NC		
<b>TOTAL</b>	<b>774 739</b>	<b>1 049 545</b>	<b>1 103 725</b>	<b>2 928 009</b>

# B.POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES

## I.L'ENERGIE SOLAIRE

Cette partie de l'étude s'attache à présenter un large éventail de technologies recensées en matière d'exploitation des énergies renouvelables. Ces systèmes, une fois décrits dans leur fonctionnement global, sont ensuite confrontés aux contraintes et aux potentiels existants sur le secteur. Dans un milieu tel que celui de la ZAC BARIDA-PARADE, on démontrera ainsi que les solutions alternatives de ressources énergétiques sont pour la plupart inadaptées au contexte local et on tentera ainsi de pointer les possibilités s'offrant à lui pour la suite du projet.

## I.L'ENERGIE SOLAIRE

L'énergie solaire peut être valorisée à travers l'implantation de divers dispositifs :

- Les panneaux solaires thermiques peuvent être utilisés pour la production d'eau chaude sanitaire, pour le chauffage des constructions ou encore pour la production de froid. Leur fonctionnement consiste à capter la chaleur d'une partie des rayonnements solaires qu'ils reçoivent (l'autre partie étant réfléchi) et à la transférer à un fluide caloporteur.
- Les panneaux photovoltaïques permettent de produire de l'électricité par conversion de lumière en électricité.

### a.LE SOLAIRE THERMIQUE

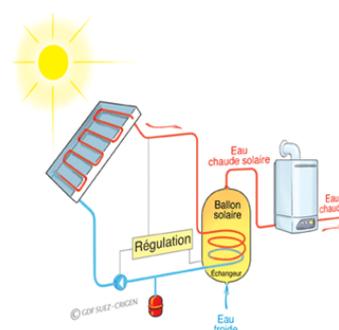
#### ☑ PRESENTATION DE LA TECHNOLOGIE :

Le principe de fonctionnement du solaire thermique consiste à utiliser l'énergie provenant du rayonnement solaire pour la convertir en énergie thermique. Il permet de récupérer l'énergie solaire grâce à un fluide caloporteur qui circule dans les capteurs. Par l'intermédiaire d'un échangeur thermique, l'énergie est transférée dans le ballon solaire pour préchauffer l'eau de la ville. Une énergie d'appoint apporte le complément d'énergie si l'ensoleillement n'est pas suffisant. Un thermostat associé à cet appoint permet de garantir le maintien de la température de sortie de l'eau à la consigne désirée.

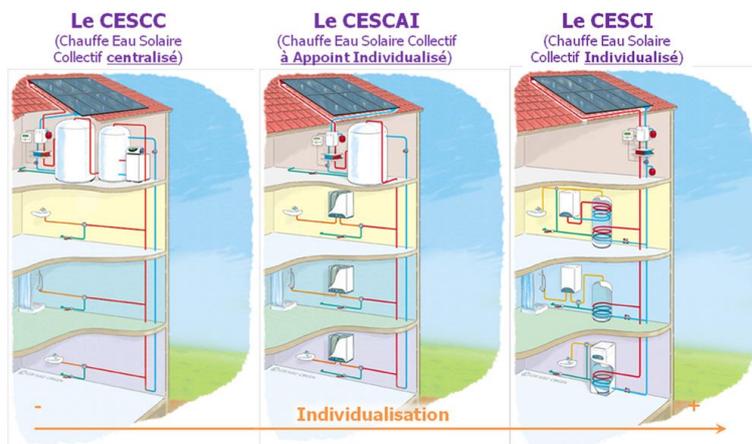
#### ☑ ECHELLE D'EXPLOITATION

Le solaire thermique est une énergie valorisable à l'échelle du bâtiment. Cette technologie est pertinente dès lors que les besoins d'ECS sont importants et stables. C'est notamment le cas pour les logements, ou pour certains équipements publics (crèches, hôpitaux, etc.). Diverses solutions techniques existent aujourd'hui que ce soit pour les maisons individuelles ou les logements collectifs :

- **Pour les maisons individuelles :** Des systèmes de production solaire optimisés sont disponibles. Ces systèmes présentent une efficacité comparable à un système de production solaire classique (jusqu'à 50% de couverture des besoins d'ECS), mais présentent moins de contraintes techniques et économiques : surface de panneaux solaire et taille du ballon de stockage réduite, et par conséquent coût d'investissement plus faible (3000 à 3500 euros posé fourni). Il est à noter que pour les maisons individuelles, la RT 2012 impose l'utilisation d'énergie renouvelable. Les systèmes de solaire thermique optimisés sont aujourd'hui un des systèmes les plus utilisés par les promoteurs pour répondre aux exigences réglementaires.



- **Pour les immeubles collectifs**, plusieurs types de solutions sont possibles. Ces solutions couvrent jusqu'à 50% des besoins d'ECS du bâtiment. Le coût de revient est d'environ 1 500 euros par logement. Ces technologies sont éligibles au fonds chaleur.



### ☑ ATOUTS ET CONTRAINTES DE LA TECHNOLOGIE

Atouts	Faiblesses
Valorisation de l'énergie solaire (ressource gratuite, renouvelable et inépuisable)	Système seulement adapté aux bâtiments ayant des besoins importants en ECS
Système fiable nécessitant peu de maintenance	Oblige la solarisation des toitures
Fonctionnement n'émettant pas de nuisance sonore ni de polluant	Nécessite un système d'appoint (électricité ou combustible)
Système nécessitant que peu d'énergie grise pour sa fabrication et peu d'électricité pour son exploitation	Contraintes réglementaires : panneaux devant figurer dans le permis de construire et dans les documents d'urbanisme locaux (autorisation)
Bon rapport production/investissement	

### ☑ COUT GLOBAL DE LA TECHNOLOGIE

Le coût d'investissement d'une installation solaire varie selon la technologie choisie. En considérant le coût des travaux et celui des études d'ingénierie pour la conception et l'installation d'un chauffe-eau solaire collectif, le coût global s'élève (pour des bâtiments neufs) à :

- 1 500€ HT/m<sup>2</sup> pour une installation d'une taille inférieure à 50m<sup>2</sup>
- 1 000€ HT/m<sup>2</sup> pour une installation d'une taille inférieure à 100m<sup>2</sup>
- 800€ HT/m<sup>2</sup> pour une installation d'une taille supérieure à 100 m<sup>2</sup>

Pendant la phase d'exploitation, les coûts d'entretien sont évalués à environ 300€/an pour une installation de taille supérieure à 100 m<sup>2</sup>. Ils sont plutôt forfaitaires et ne dépendent pas réellement de la puissance installée.

### ☑ SUBVENTIONS 2017

L'ADEME subventionne ce type d'installation par le biais du « fond de chaleur ». Celui-ci est calculé en fonction du nombre de tonnes équivalent pétrole (TEP) évitées. Une TEP est équivalente à 11 630kWh. Cette aide est soumise à certaines conditions. En effet, le Fonds Chaleur se focalise prioritairement sur les installations de chauffe-eau solaires collectifs (CESC) pour les secteurs suivants :

- Le logement collectif et, par extension, tout hébergement permanent ou de longue durée avec des besoins similaires en eau chaude sanitaire (secteur hospitalier et sanitaire, structures d'accueil, maisons de retraite...);
- Le tertiaire privé comprenant les hôtels et hôtels de plein air à usage non saisonnier, les piscines collectives, les restaurants, les cantines d'entreprises ainsi que les activités agricoles et industrielles consommatrices d'eau chaude.

Les aides Fonds Chaleur sont octroyées « aux projets optimisés » qui répondent à un certain nombre de critères, comme notamment la surface de capteurs minimum (25 m<sup>2</sup>), la productivité minimum par m<sup>2</sup>, ainsi que la mise en place systématique d'une procédure de monitoring de l'installation.

D'autres aides existent également : différentes réductions en provenance de l'Etat (crédit d'impôt, taux de TVA réduit), de la banque (éco-prêt à taux zéro), de l'ANAH, ou encore de la région, département ou commune (offres 2017) ...

### ☑ TABLEAU RECAPITULATIF

Technologie	Productivité annuelle (en kWh/m <sup>2</sup> )	Prix/m <sup>2</sup>	Retour sur investissement	Retour sur expérience	Durée de vie	Coût de l'énergie (en €/kWh)
Solaire thermique	450 à 550	800 à 1500€	10 à 15 ans	Très bon	20 ans	0.13

### ☑ GISEMENT LOCAL

L'irradiation solaire globale en tenant compte de la localisation géographique du site et en considérant une inclinaison de 30° est de l'ordre de 2 400 kWh / m<sup>2</sup>.an.

*Le solaire thermique est une solution connue et éprouvée. Elle permet de valoriser une énergie locale à l'échelle des différents bâtiments. Cette solution est adaptée pour la Zone d'Activités.*

## b.LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

### ☑ PRESENTATION DE LA TECHNOLOGIE

Le solaire photovoltaïque, contrairement au solaire thermique utilise le rayonnement solaire non pas pour produire de la chaleur mais de l'électricité. La production peut être soit utilisée pour couvrir directement les besoins en électricité des bâtiments sur lesquels sont positionnés les capteurs (système autonome) soit réinjectée dans le réseau (lorsque le système y est raccordé) ou encore stockée (système encore peu développé).

Dans le cadre de la réalisation d'un projet d'aménagement en milieu urbain, le choix de la seconde option semble plus pertinent étant donné que les systèmes autonomes sont plus rentables dans le cas d'habitations isolées (rentabilité supérieure lorsque l'électricité est revendue à EDF).

Différents systèmes et modules existent sur le marché pour la production d'électricité par photovoltaïque :

- Les modules solaires monocristallins : ils possèdent un meilleur rendement au m<sup>2</sup> (18-19%), et sont essentiellement utilisés lorsque les espaces sont restreints. Le coût, plus élevé que celui d'une autre installation de même puissance, limite le développement de cette technique.
- Les modules solaires polycristallins : actuellement, ils présentent le meilleur rapport qualité/prix et sont les plus utilisés. Ils ont un bon rendement (15-16%) et une bonne durée de vie (plus de 35 ans), et ils peuvent également être fabriqués à partir de déchets de l'électronique.
- Les modules solaires amorphes : ces modules ont un avenir prometteur car ils peuvent être souples et ont une meilleure production par faible lumière. Le silicium amorphe possède un rendement divisé par deux par rapport à celui du cristallin (8%), ce qui nécessite plus de surface pour la même puissance installée. Toutefois, le prix au m<sup>2</sup> installé est plus faible que pour des panneaux solaires composés de cellules.
- Les modules solaires en couche mince : ces modules ont un rendement moyen (12%) mais des coûts de production plus faibles que les panneaux cristallins.

### ☑ ATOUTS ET CONTRAINTES DE LA TECHNOLOGIE

Atouts	Faiblesses
Systeme fiable ne nécessitant que peu de maintenance	Analyse de cycle de vie des modules peu connue actuellement
Fonctionnement n'émettant aucunes nuisances sonores et aucun polluant	Emprise au sol ou en toiture importante (4 à 5 fois plus que pour le solaire thermique)
Possibilité de décentraliser la production	Systeme nécessitant une grande quantité d'énergie pour sa fabrication
Un panneau photovoltaïque produit 4 fois plus d'énergie au cours de son fonctionnement qu'il n'en a utilisée pour sa fabrication	
Systeme nécessitant peu de maintenance	
Bilan carbone quasi-nul de la phase d'exploitation (production d'électricité non émettrice de gaz à effet de serre)	

### ☑ COUT GLOBAL DE LA TECHNOLOGIE

Le coût d'investissement diminue en fonction de la puissance totale installée, mais également en fonction du cadre réglementaire. Celui-ci évoluant très vite, il est difficile de connaître avec certitude le coût d'une installation d'ici 1 à 2 ans. Actuellement, le coût d'un module photovoltaïque est d'environ 4€ par Watt installé (coût lié au matériel inclus).

Si le choix d'exploitation de l'énergie photovoltaïque se porte sur un raccordement au réseau, le prix est différent. Ce coût n'est pas forcément proportionnel à la puissance que l'on souhaite raccorder car il dépend de la faisabilité et de la facilité du raccordement. En effet, la proximité du poste source joue considérablement sur le coût global ; ainsi une petite installation nécessitant de grands travaux pour le raccordement aura un coût bien supérieur à celui d'une installation plus conséquente mais localisée à une distance plus proche (prix évalué par ERDF lors de l'établissement de la proposition technique et financière pouvant aller de 1 000€ à plusieurs dizaines de milliers d'euros).

Le coût d'exploitation est lié principalement à la maintenance des modules (nettoyage, intervention...). A titre d'exemple, la maintenance d'une installation d'environ 200 kWc (un module photovoltaïque se caractérise par sa puissance crête (exprimée en Watt crête) qui correspond à la puissance que le module peut délivrer dans des conditions optimales de fonctionnement (ensoleillement de 1 000 W/m<sup>2</sup> et température de 25°C). La puissance moyenne des modules est de 140 Wc/m<sup>2</sup>) nécessite un coût d'exploitation estimé à 6 000€/an.

Le coût global et les revenus générés d'une installation photovoltaïque dépendent également du coût de rachat de l'électricité par EDF. Un arrêté relatif au tarif d'achat de l'énergie photovoltaïque a été examiné le 1er juillet 2012 par la Commission de Régulation de l'Energie instituant le réajustement (à la baisse) du tarif chaque trimestre en fonction du volume de projets déposés durant le trimestre passé.

### ☑ SUBVENTIONS 2017

Pour les collectivités, l'installation peut être éligible à une subvention de la région de l'ordre de 40% du montant des études de faisabilité et de l'ADEME à hauteur de 25% en cofinancement s'il y a, aide du conseil régional ou de 50% en l'absence du conseil régional. En revanche le système de crédit d'impôts a été supprimé pour les panneaux solaire photovoltaïques depuis le 1er septembre 2014, et les prix de rachat de l'électricité produite par le photovoltaïque a une tendance à la diminution.

## C.POTENTIEL SOLAIRE LOCAL

La productivité des installations solaires (thermique ou photovoltaïque) est déterminée à partir du gisement solaire local issu des données météorologiques et de l'ensoleillement du territoire.

### ☑ DONNEES METEOROLOGIQUES

Le tableau ci-après résume les données d'ensoleillement et de températures pour la base météorologique de la ville d'Aix en Provence. Elles proviennent du programme européen PVGIS (pour les données d'irradiation : données moyennes sur Aix en Provence) et de la base de données de Météo France (températures moyennes calculées à partir des 20 dernières années).

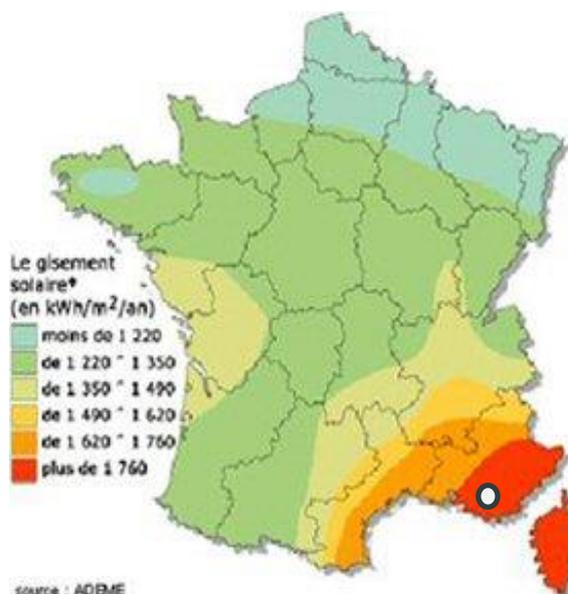
Mois de l'année	Irradiation à l'horizontal (en Wh/m <sup>2</sup> .j)	Irradiation à l'inclinaison optimale 37° (en Wh/m <sup>2</sup> .j)	Température minimum (en °C)	Température moyenne (en °C)	Température maximum (en °C)
Janvier	1820	3360	2,9	7.15	11.4
Février	2860	4600	3.6	8.05	12.5
Mars	4460	5910	6.2	11	15.8
Avril	5430	6060	9.1	13.85	18.6
Mai	6620	6510	13.1	18	22.9
Juin	7560	7000	16.6	21.85	27.1
Juillet	7680	7290	19.4	24.8	30.2
Août	6570	7010	19	24.35	29.7
Septembre	4970	6250	15.7	20.6	25.5
Octobre	3290	4840	12.4	16.65	20.9
Novembre	2040	3560	7.2	11.15	15.1
Décembre	1560	3030	4	7.95	11.9
<b>Année</b>	<b>4580</b>	<b>5460</b>	<b>10.8</b>	<b>12</b>	<b>20.1</b>

### Ensoleillement et irradiation reçue/1m<sup>2</sup> de panneaux

Au regard de ces données, on peut constater que l'ensoleillement du territoire est plutôt élevé et les températures varient de manière assez conséquente entre la période estivale et la période hivernale.

La commune d'Aix en Provence se caractérise par un nombre d'heures d'ensoleillement de 2856 h/an (en comparaison le nombre d'heures d'ensoleillement à Paris est de 1500h/an) et d'un gisement solaire supérieur à 1760 KWh/m<sup>2</sup>/an.

*Ce gisement est particulièrement intéressant pour le développement d'installations solaires dans le territoire. Toutefois, si une solution de panneaux solaires thermiques était envisagée pour le projet, il est à noter que ces dispositifs seraient d'avantage pertinent pour les bâtiments de logements collectifs que pour les équipements, dont les besoins en eau chaude sont moins réguliers et saisonniers*



## II.L'ENERGIE EOLIENNE

L'énergie éolienne utilisant le vent peut être utilisée de deux manières :

- Conservation de l'énergie mécanique : le vent est utilisé pour faire avancer un véhicule (Navire ou char à voile), pour pomper de l'eau (moulins de Majorque, éoliennes de pompage pour irriguer ou abreuver le bétail) ou pour faire tourner la meule d'un moulin.
- Production d'énergie électrique : l'éolienne est alors couplée à un générateur électrique pour fabriquer du courant continu ou alternatif. Le générateur est relié à un réseau électrique ou bien fonctionne au sein d'un système « autonome » avec un générateur d'appoint (par exemple un groupe électrogène) et/ou un parc de batteries ou un autre dispositif de stockage d'énergie. Suivant leur taille, les éoliennes ont une gamme de puissance assez étendue, allant de quelques kW pour les éoliennes urbaines à plusieurs MW pour les grandes éoliennes.

### a.LE GRAND EOLIEN

#### ☑ PRESENTATION DE LA TECHNOLOGIE

Le grand éolien désigne les aérogénérateurs dont la puissance est comprise entre 1 500 kW et 2 500 kW. Ils sont destinés à la production d'électricité pour le réseau. Les éoliennes industrielles sont aujourd'hui considérées comme l'un des meilleurs systèmes de production d'énergie renouvelable. Leur vitesse de rotation est faible : 30tours/minute pour une pale d'un diamètre de 20mètres.

Deux types de technologies peuvent être utilisés :

- Les grandes éoliennes à axe horizontal : Ce sont les plus répandues et elles se caractérisent par une dimension de plus en plus imposante (ne fonctionnent pas dans des conditions particulières de vitesse de vent)
- Les grandes éoliennes à axe vertical : Plus petites que les précédentes, elles ont l'avantage de pouvoir fonctionner dans des conditions climatiques plus défavorables



Eoliennes à axe vertical et horizontal

### ☑ ATOUTS ET CONTRAINTES DE LA TECHNOLOGIE

Atouts	Faiblesses
Capacité de production importante	Production variable selon le vent
	Potentiel dépendant de l'environnement (v supérieur à 4.5 m/s)
Installation nécessitant peu d'emprise au sol (peut-être mutualisée avec des champs agricoles)	Contrainte d'implantation forte (aucune éolienne à moins de 500 m des habitations)
Faible en énergie grise	Nécessite une étude de vent in-situ
Très bon rapport production/investissement, retour énergétique (fabrication/production) sur leur durée de vie de l'ordre de 80 = temps de retour énergétique de quelques semaines à quelques mois)	Contraintes environnementales, aéronautiques et paysagères élevées (Impact visuel, brouillage des radars, nuisances sonores à proximité directe et impact potentiel sur la faune et la flore...)

### ☑ COUT GLOBAL DE LA TECHNOLOGIE

Le coût d'investissement moyen d'une grande éolienne est d'environ 1,1 M€/MW installé répartis comme suit :

- Acquisition de l'éolienne : 68,6 % du coût global,
- Raccordement au réseau électrique : 12,7 % du coût global,
- Génie civil et assemblage de l'éolienne : 7,8 % du coût global,
- Ingénierie : 5,9 % du coût global,
- Autres coûts : 5 % du coût global.

Le coût annuel d'exploitation d'une grande éolienne équivaut à environ 1,5% du prix total de l'investissement soit environ 16 500 €/ MW installé/an.

Le coût global et les revenus générés d'une installation éolienne dépendent également, comme pour le photovoltaïque du coût de rachat de l'électricité. La France a choisi de soutenir le développement de l'éolien par la mise en place d'une obligation d'achat de l'électricité produite à partir de l'énergie du vent. Ce tarif est particulièrement favorable au grand éolien en revanche, il ne s'applique pas vraiment aux caractéristiques du petit éolien qui pourtant connaît des coûts d'installation et de production plus élevés. Le tarif de rachat de l'énergie éolienne fixé par l'arrêté du 10 juillet 2006 est d'environ 8,2 c€/kWh pour les dix premières années (suivant l'année de mise en service); et entre 2,8 et 8,2 pour les cinq années suivantes (il est fixé en fonction de la durée annuelle de fonctionnement de référence).

### ☑ SUBVENTIONS 2017

Concernant le rachat d'électricité, le contrat est conclu pour 15 ans avec le fournisseur d'électricité (après cette période l'électricité peut continuer à être revendue mais au tarif normal de l'électricité du réseau). Depuis 2006, le tarif de rachat est fixé à 8.2 c€/ kWh pendant les 10 premières années puis entre 2.6 et 8.2 c€/ kWh pendant les 5 années suivantes (déterminé selon le nombre d'heures de production/an).

<b>Durée annuelle de fonctionnement de référence</b> (quotient de l'énergie produite pendant une année par la puissance maximale installée)	<b>TARIF des 10 premières années</b> c€ / kWh	<b>TARIF des 5 années suivantes</b> c€ / kWh
2 400 heures et moins	8.2	8,2
Entre 2 400 et 2 800 heures	8.2	Interpolation linéaire
2 800 heures	8.2	6,8
Entre 2 800 et 3 600 heures	8.2	Interpolation linéaire
3 600 heures et plus	8.2	2,8

Tarif de rachat de l'électricité produite par l'énergie éolienne, arrêté du 10 juillet 2006

## b.L'ÉOLIEN URBAIN

### ☑ PRÉSENTATION DE LA TECHNOLOGIE

Le petit éolien, ou éolien domestique, désigne les éoliennes de petites et moyennes puissances (de 100 watts à environ 20 kilowatts) montées sur des mâts de 5 à 20 mètres, elles peuvent être raccordées au réseau ou bien autonomes en site isolé. Certaines éoliennes sont de très petite taille, avec pour objectif de pouvoir les installer sur les toitures terrasses des immeubles d'habitation dans les villes, ou sur les toitures des immeubles industriels et commerciaux, dans des gammes de puissances allant de quelques kW à quelques dizaines de kW.

Leur vitesse de rotation est faible et indépendante de la vitesse du vent. Leur puissance varie linéairement avec la vitesse du vent (entre 5 km/h jusqu'à plus de 200 km/h) sans nécessiter la « mise en drapeau » des éoliennes à pales. Elles peuvent être à axe horizontal ou vertical.



Eoliennes Urbaines

**ATOUTS ET CONTRAINTES DE LA TECHNOLOGIE**

Atouts	Faiblesses
Aucune variation de fonctionnement selon le vent	Production faible et intermittente
Intégration facile dans le paysage, nuisance sonore peu importante et aucun rejet de gaz à effet de serre	Technologie nouvelle avec peu de retours d'expériences engendrant un coût d'investissement important
Installation sur les espaces bien exposés et souvent non utilisés (proximité des voies de circulation, toit...)	Nécessite une étude de vent in-situ
Large plage de fonctionnement	
Faible en énergie grise	

**COÛT GLOBAL DE LA TECHNOLOGIE**

Le marché peu développé des éoliennes urbaines rend difficile l'estimation du coût global (installation et maintenance). Selon le site urbawind.org et les premiers retours d'expérience, le coût d'investissement serait pour une petite éolienne à axe horizontal de 7 000 à 10 000 €/kW et pour une petite éolienne à axe vertical de 10 000 à 25 000 €/kW (fabrication et matériaux). Le coût d'installation serait évalué entre 2 200 et 2 900 €/kW et le raccordement à environ 1 000 €/kW (prix dépendant du modèle de l'éolienne).

Pour la phase d'exploitation, le coût de la maintenance serait de l'ordre de 200 à 850 €/an auxquels s'ajoute le coût de changement de certains matériels tels que l'onduleur (environ 1 000 €).

**SUBVENTIONS 2017**

Ici encore, des subventions de l'ADEME existent à l'échelle nationale et ainsi qu'un crédit d'impôt aux particuliers et un prêt à taux 0.

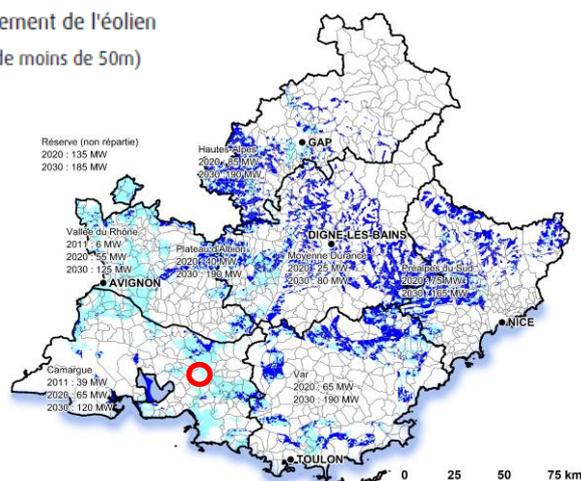
[http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Guide\\_Ademe\\_aides\\_financieres\\_2016.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Guide_Ademe_aides_financieres_2016.pdf)

## C. LE POTENTIEL EOLIEN DU SECTEUR

La productivité d'une éolienne qu'elle soit grande ou petite, verticale ou horizontales, dépend de la vitesse du vent. Pour commencer à fonctionner, sa vitesse ne doit pas être inférieure à 4m/s, une vitesse trop forte en revanche suspendra le fonctionnement de l'éolienne (vitesse maximum dépendant du type d'éoliennes), arrêtant la production d'électricité. Le projet ne figure pas dans une zone où le développement éolien est favorable.

Zones préférentielles de développement de l'éolien

- petit éolien uniquement (mâts de moins de 50m)
- petit et grand éolien



# III.L'ENERGIE HYDROLIENNE

## a.L'HYDROLIEN

### ☑ PRESENTATION DE LA TECHNOLOGIE

L'hydrolienne doit être placée dans l'axe des courants afin d'actionner les pales du ou des rotors (courant minimum 1,5 m/s). L'énergie mécanique, produite par la rotation des pales est transformée ensuite en énergie électrique à l'aide d'une turbine. Elle est alors dirigée vers un générateur pour être ensuite acheminée jusqu'au réseau d'électricité terrestre par l'intermédiaire d'un câble relié au rivage. Différents types d'hydroliennes existent sur le marché mais le principe de fonctionnement reste généralement le même.



Hydroliennes implantées dans un fleuve

### ☑ ATOUTS ET CONTRAINTES DE LA TECHNOLOGIE

Atouts	Faiblesses
Taille moins importante qu'une éolienne d'une même puissance et intégration paysagère optimale	Création de zones de turbulences susceptibles de gêner le développement de la flore
Courants marins relativement constants et prévisibles	Erosion des pales d'hélices très importante (nécessite un entretien fréquent)
Aucune émission de gaz à effet de serre et peu d'énergie grise nécessaire pour sa fabrication	Coût d'investissement et d'exploitation très important
Pales tournant beaucoup moins rapidement que celles des bateaux (peu de risques pour la faune)	Entretien plus difficile
Localisation sous l'eau, aucun impact visuel ou sonore	Perturbation de la sédimentation

### ☑ COUT GLOBAL DE LA TECHNOLOGIE

Le manque de maturité de la technologie mais surtout l'absence de retour d'expériences sur des parcs d'hydroliennes sur une longue durée rend délicat la prévision des coûts.

Le coût d'investissement pour une hydrolienne reste l'un des plus élevés avec un prix compris entre 2,5 et 3,5 M€/MW installés en supposant un développement massif de la filière (2 voire 3 fois plus important que pour une éolienne).

Le coût d'exploitation des hydroliennes est également beaucoup plus conséquent que celui des éoliennes, les difficultés d'accès demandent un personnel qualifié et l'érosion provoquée par l'eau de mer demande également un entretien plus fréquent. L'estimation du coût d'exploitation est d'environ 40% du coût global de l'hydrolienne au cours de son cycle de vie.

### ☑ SUBVENTIONS 2017

L'ADEME subventionne au moyen du Prêt à Taux Zéro et du Crédit d'Impôt, les installations produisant de l'électricité à partir de l'énergie hydraulique depuis le 1er septembre 2014.

Concernant le tarif de rachat de l'électricité produit par l'hydrolien, il a été défini à 15c€/KWh durant les 20 premières années.

### ☑ TABLEAU RECAPITULATIF

Technologie	Productivité annuelle (en GWh)	Prix/ MW	Retour sur investissement	Retour sur expérience	Durée de vie	Coût de l'énergie (en €/kWh)
Hydrolien	1.3	3.5 M€	10 à 15 ans	Mauvais	20 ans	0,05 à 0,10

## b.POTENTIEL HYDROIEN LOCAL

Le territoire d'Aix en Provence est traversé par le cours d'eau de l'Arc et de l'A51 au nord. Néanmoins le secteur ZAC BARIDA-PARADE est aussi traversé par l'Arc mais des études complémentaires sont nécessaires pour estimer la faisabilité en termes d'énergie hydrolienne

## IV. LA GEOTHERMIE

Différentes géothermies existent, relatives à différents usages :

- La géothermie superficielle avec capteurs horizontaux : elle est adaptée aux petites puissances, pour les particuliers, par exemple
- La géothermie avec sondes : les sondes permettent de récupérer la chaleur du sol (50 W/m foré) et nécessite une PAC et de l'espace.
- La géothermie superficielle sur aquifère : il existe un aquifère à une profondeur d'environ 100 m et on profite de la chaleur de la nappe pour chauffer les logements. Cette solution nécessite une PAC.
- La géothermie intermédiaire : il existe un aquifère entre 100 et 1000 m et on récupère la chaleur disponible par le biais d'une PAC.
- La géothermie profonde : il existe un aquifère profond (1 000 à 2 000 m) et on profite de la chaleur de la nappe. Système ne nécessitant pas de PAC mais rentable que pour les gros projets (environ 5 000 équivalent logements).
- La géothermie très profonde : elle est exploitée à 5km de profondeur environ et permet de produire de la vapeur et donc de produire de l'électricité grâce à des turbines. Cette technologie relativement récente, représente un gisement global important.

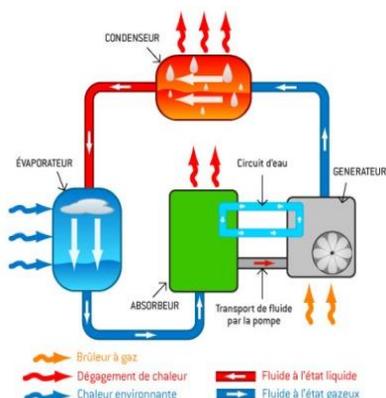
### ☑ PRESENTATION DES DIFFERENTES TECHNOLOGIES PAR TYPOLOGIE DE PROJET

Pour la valorisation de l'énergie géothermique, trois technologies sont recensées en France selon le projet.

- Pour une habitation individuelle : faisant appel seulement à la géothermie très basse énergie, la technologie utilisée à cette échelle concerne l'exploitation de l'énergie naturellement présente dans le sous-sol à une profondeur comprise entre 60 et 120 cm (température au niveau du sol entre 10 et 14°C) grâce au déploiement de tubes installés en boucle dans le jardin (superficie nécessaire de 1.5 à 2 fois la surface à chauffer). Cette ressource présentant une température inférieure à 30 °C, elle ne permet pas une utilisation directe de la chaleur par simple échange. Elle nécessite donc l'utilisation d'une PAC pour atteindre un niveau de température correct.

#### Fonctionnement d'une pompe à chaleur (PAC)

Le principe repose sur l'utilisation d'un fluide frigorigène. Ce fluide passe par plusieurs états thermodynamiques ce qui lui permet de capter la chaleur de la nappe (du sol = géothermie sur sol, de l'air = aérothermie) au niveau de l'évaporateur pour la restituer au fluide du circuit de chauffage (au niveau du condenseur).



#### Fonctionnement d'une Pompe à Chaleur

Dans le cas d'une pompe à chaleur électrique, le changement d'état du fluide frigorigène est assuré par un compresseur mécanique et un détendeur. Dans le cas d'une pompe à chaleur à absorption gaz, il n'y a pas de compresseur mécanique : le fluide frigorigène évolue grâce à une réaction dite « thermochimique » actionnée par un brûleur gaz naturel. Une partie de la chaleur de la réaction thermochimique est récupérée pour chauffer le circuit de chauffage. Ainsi, une PAC qu'elle soit à compression mécanique ou à absorption fonctionne sur un transfert d'énergie depuis une source froide (énergie du sous-sol) vers une source chaude (installation de chauffage) au moyen d'un circuit fermé dans lequel circule un fluide soumis à un cycle thermodynamique.



### Géothermie sur capteurs verticaux

Pour un immeuble collectif : à cette échelle d'intervention, c'est également la géothermie très basse énergie qui est sollicitée. La technologie utilisée pour ce type de réalisation peut concerner également l'énergie naturellement présente dans le sous-sol à quelques dizaines voire centaines de mètres (température du sol augmentant d'environ 4°C tous les 100 mètres) mais également dans les aquifères. Cette ressource, présentant également une température inférieure à 30 °C, elle nécessite donc l'utilisation d'une pompe à chaleur pour atteindre un niveau de température correct (PAC présentant également la possibilité de produire du froid dans le cas d'une PAC réversible).

- Pour plusieurs immeubles, voire un quartier : A cette échelle globale, deux typologies de géothermie peuvent être utilisées en France, la géothermie très basse énergie et la géothermie basse énergie. Cette

seconde technologie consiste à une extraction sur aquifère, bénéficiant d'une température comprise entre 30 et 90°C dans des gisements situés principalement entre 1500 et 2500 mètres de profondeur (cette technique ne peut pas être envisagée pour produire de l'électricité mais est parfaite pour le chauffage des habitations et certaines applications industrielles). Nécessitant des investissements lourds, la rentabilité d'une telle installation dépendra du nombre de m<sup>2</sup> raccordé, de la composition du sol pour la faisabilité des forages et de la composition du sol pour la faisabilité des forages et de la proximité du projet avec une autre centrale utilisant la même ressource.

### **ATOUTS ET CONTRAINTES DE LA TECHNOLOGIE GEOTHERMIE SUR AQUIFERES**

<b>Atouts</b>	<b>Faiblesses</b>
Production constante toute l'année	Nécessite l'installation d'une PAC (consommation d'énergie primaire, électricité ou gaz)
Energie complètement renouvelable	Investissement très important pour la deuxième et troisième technologie (forages des sondes verticales)
Installation faible en émission de gaz à effet de serre (seulement issue de la PAC)	Phase chantier pour les forages peut engendrer des nuisances sonores pour les riverains
	Nécessite une grande superficie pour les phases construction et exploitation
	Réglementation très contraignante concernant le prélèvement de l'eau dans le cas d'un tirage sur aquifère servant à l'eau potable (qualité de l'eau...)

### **COUT GLOBAL DE LA TECHNOLOGIE GEOTHERMIE SUR AQUIFERES**

Le coût d'un forage seul (hors équipements, réseaux, électricité) varie entre 800 et 2 000€ HT/ML. Pour les autres équipements, le coût varie beaucoup en fonction des pompes, des systèmes ou encore des capteurs utilisés, en considérant par exemple un débit compris entre 60 et 100 m<sup>3</sup>, le coût peut varier de 25 000 à 70 000 € HT. S'ajoute à cette estimation le coût de la PAC d'environ 300€ HT du kW et celui des études de faisabilité qui s'élève à un montant compris entre 12 000 et 20 000€.

Le coût de la maintenance pendant la phase d'exploitation semble varier entre 1 500 et 3 000€ HT auquel s'ajoute tous les 10 à 15 ans des examens endoscopiques des forages estimés à 2 500 € HT et un examen des pompes pour 8 000€. En ce qui concerne les pompes à chaleur, le coût de maintenance se situe entre 4 500€ HT/an pour une pompe de 100 à 200kW et 15 000€ HT/an pour une pompe de 800 à 1 000kW.

### ☑ SUBVENTIONS 2017

Les aides représentent 60% des dépenses éligibles pour des opérations sur champ de sondes (soit un niveau d'aide pour les opérations sur champ de sondes compris entre 3 500 et 8 500 €/ (tep sortie installation/an)) pour l'unité de production géothermale et 40% des dépenses éligibles pour des opérations sur eau de nappe (soit un niveau d'aide compris entre 1 000 et 2 500 €/ (tep sortie installation/an) pour l'unité de production géothermale.

La productivité et la pérennité de l'aquifère n'étant jamais sûre à 100%, les organismes en liaison avec la géothermie ont mis en place un outil financier de garantie. La garantie Aquapac® a été initiée en 1983 sous l'égide de l'ADEME (AFME à l'époque), d'EDF et du BRGM. Elle est destinée à favoriser le développement des opérations de pompes à chaleur sur nappe aquifère. Pour cela, elle offre une double garantie portant sur les ressources en eau de ces nappes aquifères :

- La garantie « recherche » couvre le risque d'échec consécutif à la découverte d'une ressource en eau souterraine insuffisante pour fournir le débit d'eau nécessaire. Le taux de cotisation pour cette garantie est désormais de 5% du montant des ouvrages garantis en recherche.
- La garantie « pérennité » couvre le risque de diminution ou de détérioration de la ressource, en cours d'exploitation. La durée de cette garantie est de 10 ans, et le taux de cotisation pour cette garantie est de 4% du montant des ouvrages garantis.

Le taux de TVA 2015 est réduit à 5.5 % pour une pompe à chaleur géothermique.

La fourniture et l'installation d'une pompe à chaleur bénéficient d'un taux de TVA réduit à 5.5 %, (depuis le 1er janvier 2014) si l'entreprise qui vend le matériel en assure aussi la pose. Les travaux doivent être réalisés dans des habitations achevées depuis plus de deux ans.

### ☑ AIDE DE L'ANAH (AGENCE NATIONALE POUR L'AMELIORATION DE L'HABITAT) POUR UNE POMPE A CHALEUR GEOTHERMIQUE

L'Agence nationale d'amélioration de l'habitat peut accorder une subvention pour l'installation d'une pompe à chaleur géothermique. L'ANAH peut vous faire bénéficier de primes en complément de la subvention :

- Une prime de 900€ pour l'installation (fourniture et main d'œuvre) d'une pompe à chaleur air/eau ;
- Une prime de 1 800€ pour l'installation d'une pompe à chaleur à capteurs enterrés.

### ☑ LE CREDIT D'IMPOTS

La pompe à chaleur géothermique fait partie des installations éligibles au crédit d'impôt pour la transition énergétique (CITE), qui permet de déduire de l'impôt sur le revenu 30% des dépenses réalisées pour les travaux d'amélioration de la performance énergétique.

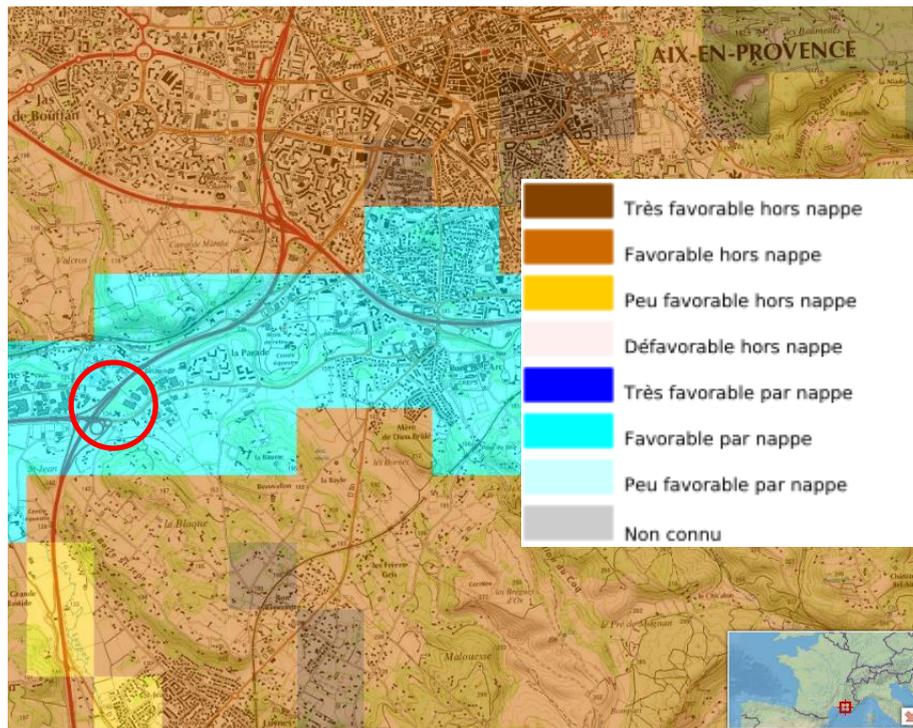
### ☑ L'ECO-PRET A TAUX 0 % POUR UNE POMPE A CHALEUR GEOTHERMIQUE

Pour obtenir l'éco-prêt à taux 0%, il faut réaliser plusieurs travaux visant à améliorer l'efficacité énergétique d'un logement individuel. La pose d'une pompe à chaleur se combine particulièrement bien avec d'autres types de travaux tels que la pose d'une chaudière à condensation etc...

### ☑ TABLEAU RECAPITULATIF

Technologie	Productivité annuelle (En kWh/ml)	Prix/ MW	Retour sur investissement	Retour sur expérience	Durée de vie	Coût de l'énergie (en €/kWh)
Géothermie sur aquifère	17,5	/	7 à 10 ans	Très bon	15 à 20 ans	0,052

## a.POTENTIEL GEOTHERMIQUE LOCAL



### Positionnement du point sélectionné

X (Lambert 93) : 848950 m

Y (Lambert 93) : 1838561 m

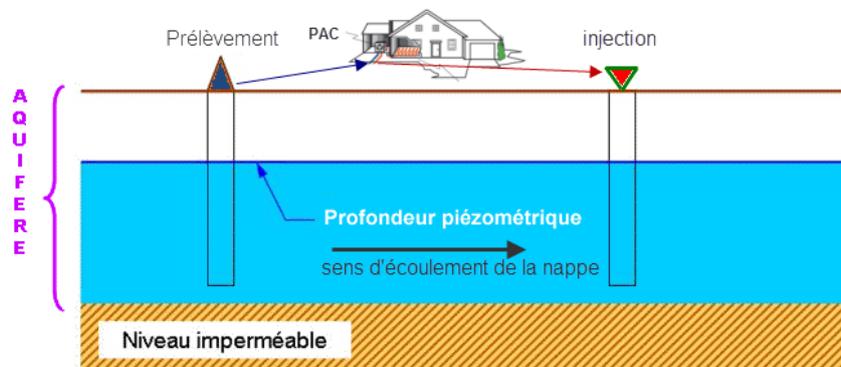
### Ressource géothermique en nappe

Ressource : Favorable

Libellé de la nappe	Débit moyen * (m <sup>3</sup> /h)	Profondeur moyenne (m)	Température moyenne (°C)	Ressource
Alluvions récentes de l'Arc	333	5	13	Favorable

(\*) Valeur moyenne du débit a priori extractible dans la maille à partir de la nappe de 500 m de côté.

### Coupe schématique



Source : BRGM

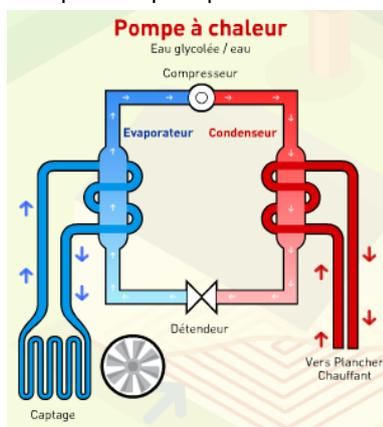
# V.L' AÉROTHERMIE

## ☑ PRÉSENTATION DE LA TECHNOLOGIE

Le principe de l'aérothermie est de capter les calories dans l'air extérieur. De la même manière que pour la géothermie très basse énergie, le puisage des calories de l'air nécessite l'utilisation d'un système de pompes à chaleur, qui peut être électrique ou à absorption gaz. La fluctuation de l'air extérieur influence la performance des systèmes de pompes à chaleur. En effet par temps froid, les besoins de chauffage sont maximums alors que la quantité d'énergie pouvant être extraite dans l'air est a contrario minimale, d'où une baisse de la performance.

## ☑ ÉCHELLE D'EXPLOITATION

Les PAC aérothermiques sont utilisables à l'échelle du bâtiment. Plusieurs systèmes de pompes à chaleur aérothermiques existent aujourd'hui. Dans le cas des PAC gaz à absorption, des modules de 40 kW sont disponibles. Cette technologie est donc plus adaptée pour des bâtiments collectifs



Source : GRDF

## a. POTENTIEL AÉROTHERMIQUE LOCAL

Les pompes à chaleur aérothermiques gaz et électriques sont des systèmes adaptés pour les typologies de bâtiments présents sur la ZAC BARIDA-PARADE. Étant donné le climat du PAYS D'AIX et l'importance des besoins en eau chaude sanitaire sur certains bâtiments de la ZA, l'utilisation de pompes à chaleur gaz à absorption peut être plus pertinente, car la performance énergétique de ce système sera moins impactée que dans le cas de pompes à chaleur électriques. Il est cependant à noter que les pompes à chaleur gaz à absorption sont adaptées à des bâtiments collectifs et tertiaires.

## VI. LA BIOMASSE

La biomasse, c'est la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture (substances animales et végétales), de la sylviculture et des industries connexes ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux.

Le chauffage par la biomasse est un procédé en pleine expansion, qui permet de subvenir aux besoins en chaleur tout en valorisant des déchets de l'agriculture ou de la sylviculture. Ce procédé permet aussi d'avoir un bilan carbone nul, le carbone rejeté lors de la combustion ayant été absorbé par le végétal durant sa croissance. D'autre part, la valorisation de la biomasse agricole et forestière représente un enjeu économique pour les filières. Pour l'agriculture, c'est une occasion de diversification de l'activité vers les débouchés en biomatériaux et biocarburants. Pour la filière bois, c'est une opportunité de développer la mobilisation du bois en forêt, pour une utilisation énergétique ou dans la filière bois-matériaux. C'est en même temps un enjeu sociétal que de mieux mobiliser les énergies renouvelables.

Aujourd'hui, la biomasse est principalement valorisée sous la forme de bois de feu de cheminée : cette utilisation peu efficace du fait de son rendement de seulement 40% et de la pollution atmosphérique dégagée sont responsables de l'opposition courante de l'utilisation du bois énergie. Néanmoins, elle peut être valorisée de manière plus efficace pour :

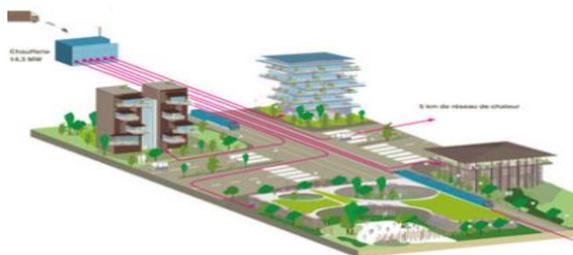
### a. LE BOIS ENERGIE : CHAUFFERIE BOIS

#### ☑ PRESENTATION DE LA TECHNOLOGIE

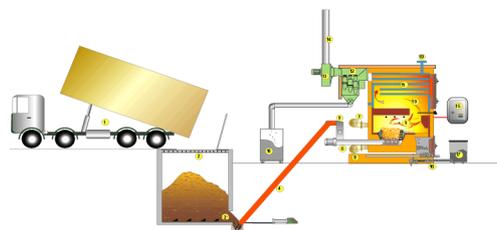
Il existe plusieurs échelles de mise en œuvre d'une chaufferie permettant de valoriser la biomasse issue de la filière bois énergie :

- Le bâtiment, une simple chaudière distribuant la chaleur dans les logements avec son unité de stockage propre. Cette solution offre une certaine indépendance mais implique la multiplicité des stockages et de la maintenance.
- Le quartier, cette solution oblige la mise en place d'un réseau de chaleur. D'un autre côté, la centralisation de la production permet une meilleure rentabilité de l'installation et facilite la question d'approvisionnement et de stockage.

La chaufferie biomasse fonctionne à partir de l'une des ressources identifiées précédemment. Une fois le bois énergie livré, il est convoyé par un système mécanique (transporteur à raclettes, vis sans fin...) vers la chambre de combustion. Le combustible y est brûlé afin de chauffer de l'eau pour injecter dans un réseau de chaleur. Les cendres sont extraites mécaniquement vers un cendrier.



Fonctionnement d'une centrale biomasse



Centrale biomasse à l'échelle d'un quartier

### ☑ ATOUTS ET CONTRAINTES DE LA TECHNOLOGIE

Atouts	Faiblesses
Approvisionnement grâce à la filière locale (installation devant être implantée à proximité de la ressource)	Au-delà de 50 km de distance pour aller chercher le combustible, la solution est peu viable (monopolisation de la ressource, transport...)
Coût du combustible très bas (peu d'augmentation planifiée)	Approvisionnement en milieu urbain engendrant des nuisances supplémentaires (augmentation du nombre de camions). Le transport fluvial est difficilement réalisable du fait des difficultés de déchargement du combustible)
Aspect social et économique local : création d'emplois ou diversification des sources des revenus pour les agriculteurs (autre type d'énergie que le bois énergie)	Impacts sur la morphologie urbaine nombreux : installation classée en tant qu'ICPE, grande surface de foncier nécessaire, hauteur de cheminée contrainte par l'arrêté du 27 juillet 1997 (coût supplémentaire...)
Bilan carbone nul	Investissement de la centrale important + nécessité d'intégrer un filtre (25% du coût en plus) pour les poussières + coût de la cheminée...
Part des énergies renouvelables très haute (plus de 85%)	Rentabilité du réseau et de la construction de la centrale qu'à partir d'une certaine densité énergétique

### ☑ COUT DE LA TECHNOLOGIE

Le coût d'investissement d'une chaufferie biomasse dépend essentiellement de la taille de la chaufferie, du réseau et des sous stations. Le ML de réseau coûte entre 600 et 800€ HT et chaque sous station à un coût d'investissement de 20 000€ HT. En moyenne, le coût de la chaufferie bois individuelle serait compris entre 800 et 600€ HT/kW biocombustibles,

Au coût d'investissement s'ajoute celui des combustibles : plaquettes industrielles entre 25 et 30€/MWh, granulés entre 25 et 36€/MWh et bois de rebut entre 7 et 13€/MWh. Bien que ces prix semblent beaucoup moins importants que ceux pour une chaufferie gaz (55€ HT/MWh), les coûts d'exploitation des chaufferies biomasses sont plus conséquents (personnel d'exploitation plus nombreux, maintenance plus régulière...). Néanmoins, ces coûts sont moins soumis à l'évolution des prix.

### ☑ SUBVENTIONS 2017

Le fond de chaleur (engagement majeur du Grenelle de l'environnement) géré par l'Ademe permet de financer la mise en œuvre de systèmes pour la production de chaleur à partir des énergies renouvelables (destiné à habitat collectif, collectivité et entreprises). Cependant pour être éligible à cette aide, l'installation doit respecter certains critères qui sont :

- Etre une installation collective, industrielle ou agricole
- Avoir une production énergétique minimum (100 tep/an biomasse sortie chaudière)
- Avoir un système de traitement des fumées performant
- Assurer une performance énergétique et environnementale du projet
- Etre approvisionné partiellement ou totalement en plaquettes forestière

- Etre raccordé à un réseau d'une densité énergétique minimale de 1.5 MWh/ml/an

Cette aide est plafonnée selon la production de chaleur, pour les réseaux et sous stations, elle ne peut dépasser les 60%. Pour une installation comprise entre 0 et 250tep, l'aide est plafonnée à 1750€/tep, entre 250 et 500tep, à 1250€/tep, entre 500 et 1000tep et pour une installation supérieure à 1 000tep à 300€/tep.

Les appareils de production de chaleur ou d'eau chaude sanitaire bois ou autre biomasse sont également éligibles au crédit d'impôt pour la transition énergétique et à la TVA à taux réduit mis en place depuis le 1er janvier 2014.

#### ☑ TABLEAU RECAPITULATIF

Technologie	Productivité annuelle (en kWh/T)	Prix/ MW	Retour sur investissement	Retour sur expérience	Durée de vie	Coût de l'énergie (en €/kWh)
Chaufferie biomasse	1.3	1M€	8 à 10 ans	Très bon	50 ans	0.026

## b.LE BOIS ENERGIE : COGENERATION

### ☑ PRESENTATION DE LA TECHNOLOGIE

Ce système permet à la fois de produire de la chaleur et de l'électricité. C'est une alternative intéressante à l'énergie solaire et éolienne. La chaleur issue de la combustion est utilisée pour le chauffage mais aussi, dans le cas de la cogénération, pour alimenter une turbine à vapeur qui va produire de l'électricité. Il existe des turbines à vapeur d'une puissance de quelques dizaines de kW à plusieurs centaines de MW, avec des vitesses de rotation allant de 5 000 à 15 000 tr/min et des rendements électriques de 12 à 20% pour les modèles à condensation. La quantité de combustible nécessaire pour les installations de puissance importante, pousse à diversifier les sources d'approvisionnement.

L'utilisation de petite turbine possédant une puissance minimale s'apparente à la technologie de la micro-cogénération biomasse. Si actuellement, cette technologie est encore peu mature et présente des coûts d'investissement importants, elle représente une réelle opportunité pour le développement des énergies renouvelables.

Il existe 3 familles de cogénérations, permettant de délivrer des puissances électriques plus ou moins importantes et de s'adapter à une grande variété de projets. On parle de micro cogénération lorsque la puissance nominale est inférieure à 36 kWe et de mini cogénération lorsque celle-ci est comprise entre 36 et 250 kWe.

Il est à noter que les systèmes de mini et micro cogénérations peuvent être installés à l'échelle de bâtiments. En revanche, les systèmes de cogénération à moteur Stirling (éco générateur) sont plutôt utilisés à l'échelle individuelle (adaptée pour des maisons individuelles).



Source : GRDF

Les coûts d'investissement sont de l'ordre de 1,8 millions d'euros par MW électrique installé. Le temps de retour sur investissement couramment observé est de 8 à 10 ans.

Les coûts annuels d'exploitation sont généralement de l'ordre de 1 à 3% des coûts d'investissement pour les installations à contrepression et de l'ordre de 4 à 5% pour les ensembles à condensation.

### ☑ SUBVENTIONS 2017

Les aides à l'investissement pour ce type d'installation sont allouées après une étude au cas par cas. Les aides de l'ADEME sont plafonnées à 30% sur le coût des travaux. En ce qui concerne la micro-cogénération, les aides sont du même ordre, 20% maximum du coût des travaux pour les aides de la région et 40% maximum du coût éligible pour le financement de l'ADEME (aides accordées ou non selon le degré d'innovations de l'opération, leur dimension de communication...).

Un tarif de rachat préférentiel pour l'électricité produite par un système de cogénération a été mis en place. Il est de l'ordre de 18c€/kWh dont 3c€ dépendent de la valorisation énergétique de l'installation. Le taux de valorisation de la chaleur produite est souvent déterminant pour la rentabilité d'un projet. Entre 30 et 35% de l'énergie primaire est valorisée en électricité, le reste est de l'énergie thermique.

### ☑ TABLEAU RECAPITULATIF

Technologie	Productivité annuelle (en kWh/T)	Prix/ MW	Retour sur investissement	Retour sur expérience	Durée de vie	Coût de l'énergie (en €/kWh)
Cogénération	4,5	2M€	8 à 10 ans	Très bon	50 ans	/

## C.LE POTENTIEL BIOMASSE DU SECTEUR

### ☑ LA BIOMASSE EN PACA

En région Provence-Alpes-Côte d'Azur, la biomasse, qu'elle soit d'origine forestière (valorisation du bois-énergie), agricole ou issue des déchets verts, représente actuellement plus du 1/3 (36% en 2012) de la production d'énergie renouvelable régionale utilisée, ce qui en fait en définitive l'une des composantes majeures du mix énergétique régional.

### ☑ LA FORET EN REGION PACA ET DANS LES BOUCHES-DU-RHONE

La forêt en région PACA, couvre plus de 1 517 000 hectares. Elle représente 9,4% de la surface forestière nationale. Avec un taux de boisement avoisinant les 48% (moyenne nationale : 29%), elle est la deuxième région française la plus boisée après la Corse. Elle est composée à :

- 51,4% de feuillus : chêne Liège, chêne vert, hêtres, Chêne pubescent et d'autres feuillus.
- 48,6% de résineux : sapin pectiné, pin noir d'Autriche, pin d'Alep, Mélèze d'Europe, Pin Sylvestre et autres conifères.

Cependant, si la plupart des départements composant la région présente les mêmes caractéristiques, les Bouches-du Rhône est le seul département qui dispose d'un taux de boisement considéré comme seulement moyen avec un taux avoisinant les 23%



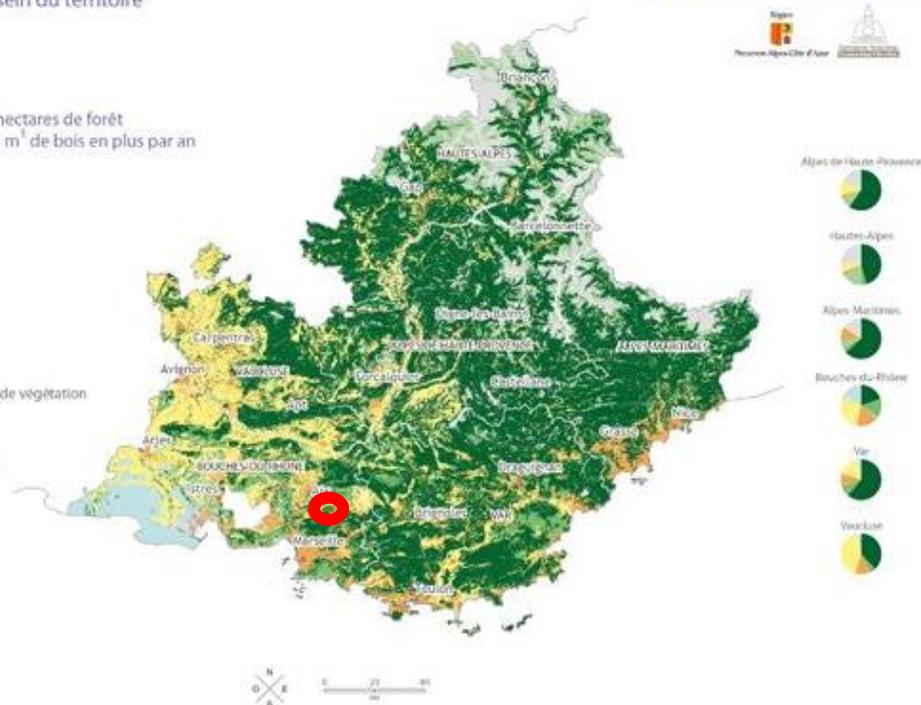
1.5 millions d'hectares de forêt  
3.3 millions de m<sup>3</sup> de bois en plus par an

## OCCUPATION DU SOL

Forêts et milieux semi-naturels

- Forêts
- Maquis, garrigues et landes
- Prêsoie et pâturage naturels
- Espaces ouverts sans ou avec peu de végétation
- Territoires artificialisés
- Territoires agricoles
- Zones humides et surfaces en eau

- Villes principales
- Limites départementales



Source : Observatoire Régionale de la forêt méditerranéenne

### ☑ LE POTENTIEL BOIS-ENERGIE EN REGION PACA ET DANS LES BOUCHES-DU-RHONE

Chaque année, la récolte en bois est estimée à 3,6 millions de mètres cubes, ce qui représente une récolte d'à peine 1/3 de la capacité renouvelable de production de bois. Ainsi, le gisement supplémentaire potentiel de bois-énergie a été estimé à environ 580000 tonnes annuelles.

Cette sous-exploitation des forêts de la région PACA s'explique principalement :

- Par les difficultés d'exploiter davantage de bois. En effet, environ 40% de la forêt régionale est difficilement accessible en raison notamment du relief accentué et des dessertes en routes et pistes forestières souvent insuffisantes.
- Par la multitude de propriétaires qui viennent se partager l'espace forestier régional. Privée pour un peu moins de 70% de sa surface, la forêt en Paca appartient en effet, à de très nombreux propriétaires. On compte actuellement, environ 225 000 propriétaires privés, avec un peu moins de 4000 qui possèdent plus de 25 ha (soit environ 27% des surfaces de forêts privées).

Dans le département des Bouches-du-Rhône, si la ressource est plus faible, elle est néanmoins plus facile d'accès. En effet, en région PACA, seulement 27% des forêts de la production sont considérées comme faciles d'accès alors que dans le département des Bouches-du-Rhône, c'est près de la moitié.

## ☑ DES OBJECTIFS AMBITIEUX A L'ECHELLE REGIONALE EN TERMES DE VALORISATION DE LA RESSOURCE

Le potentiel régionale bois-énergie étant particulièrement important, sa valorisation est aujourd'hui considérée comme l'un des enjeux régionaux majeurs qui permettra de guider le territoire vers la transition énergétique. En plus, des bénéfices environnementaux et énergétiques indéniables induits, la valorisation de cette filière représente également un potentiel de création d'emplois qualifiés et durables conséquents (plusieurs centaines de bûcherons, conducteurs d'engins, techniciens forestiers, scieurs, transporteurs).

C'est pour répondre à ces différents enjeux, que la région s'est engagée depuis plusieurs années dans une structuration interprofessionnelle forte de la filière, à même de garantir une bonne répartition de la valeur ajoutée, d'entériner des engagements précis et exigeants de qualité de la production, de favoriser des relations commerciales bénéficiant à toutes les parties, de développer des systèmes permettant la valorisation optimale des bois, d'assurer la mise en œuvre de circuits de transport minimisant les nuisances et de permettre une sensibilisation massive des propriétaires...

## ☑ LE POTENTIEL LOCAL : PAYS D'AIX (SOURCE PCET)

La commune d'Aix en Provence est l'une des 36 communes constitutives de la Communauté d'Agglomération du Pays d'Aix qui fait partie des territoires les plus boisés de France, avec plus de 55% de son territoire couvert par la forêt (soit 72484 hectares). Aujourd'hui, le gisement est d'environ 1,7 millions de tonnes de bois sur pied et l'accroissement annuel de la forêt est estimé à environ 80 000 tonnes/an. Si les réserves en bois du Pays d'Aix étaient jusqu'aujourd'hui sous exploitées, la raréfaction des ressources, la hausse des prix de l'énergie ou encore la croissance des besoins de bois dans la construction ou pour la pâte à papier, viennent créer de nouvelles perspectives.

C'est pour cette raison, que le Pays d'Aix s'est doté en 2013, d'une charte forestière ambitieuse qui plaide en faveur d'un développement de la sylviculture. *Forte de sa dimension économique et écologique, la charte a été élaborée en concertation avec les représentants des propriétaires privés et publics, des professionnels de la forêt, de l'artisanat et des chambres consulaires, des urbanistes et des élus des communes. Inscrite dans la Charte vers un développement durable du Pays d'Aix et en prolongement du soutien apporté aux actions de préservation de la biodiversité dans le cadre de Natura2000.*

Actuellement, ce sont seulement 30 à 35% du potentiel forestier du territoire qui est exploité. Les propriétaires disposent donc, d'une marge importante pour mener une exploitation raisonnée de leurs forêts.

Composée de milieux naturels très riches et diversifiés, comme les Garrigues et les forêts, le Pays d'Aix se caractérise par une végétation variée : argelas, romarin, genêt, chêne kermes pour les Garrigues et pin d'Alep, chêne vert et chêne pubescent pour les forêts.

Comme pour la région ou le département, le contexte forestier du territoire est marqué par un grand nombre de propriétaires privés et publics :

- 35,5% des forêts est détenu par des propriétaires publics, soit 17 697 ha (communes et départements majoritairement);
- 64,5% par des propriétaires privés, soit 32 2a. 17 080 propriétaires différents viennent se partager ces surfaces boisées dont l'essentiel dispose de parcelles particulièrement petites avec une superficie inférieure à 1ha.

C'est cette répartition qui explique en grande partie la sous-utilisation de la ressource forestière et l'absence le plus souvent d'une gestion de ces espaces.

*Aujourd'hui, le gisement de bois encore disponible en Pays d'Aix, sans compromettre la ressource, est évalué, à 40 000 tonnes de résineux par an, forêts publiques et privées confondues. La charte du Pays d'Aix valorise cette ressource en poursuivant notamment 2 objectifs clefs :*

- Protéger la forêt et sa biodiversité ;
- Développer la production de bois et la filière industrielle liée à son exploitation, à sa transformation et à sa commercialisation.

#### ☑ **QUEL POTENTIEL REEL POUR LE PROJET**

Au regard de la ressource disponible à moins de 150 km du secteur de projet (distance limite pour que l'utilisation de cette ressource soit viable économiquement et écologiquement) et même à moins de 50 km (40 000 tonnes disponibles) et de l'ensemble des initiatives mises en place par la région, le département et le Pays d'Aix, l'utilisation de cette ressource pour le projet ZAC BARIDA-PARADE semble être l'une des alternatives envisageables.

La ZAC BARIDA PARADE est un projet d'envergure qui bénéficie d'un rayonnement qui va bien au-delà de l'échelle locale. La mise en œuvre d'une solution valorisant cette ressource peut donc être plus qu'une simple réponse à la problématique énergétique du secteur, elle peut également contribuer à la politique volontariste mise en œuvre à l'échelle du Pays d'Aix qui vise à augmenter les productions de bois-énergie au travers de la mise en œuvre de la charte notamment. Les installations nécessaires pour la mise en place d'une stratégie énergétique valorisant le bois pour le projet de la ZAC BIRADA PARADE dépendra de la programmation choisie.

Sur la base de l'estimation des besoins énergétiques (collectifs et tertiaires uniquement), la puissance bois de la chaufferie est évaluée à 700 KW bois. Une chaudière gaz de 1,4 MW est installée pour assurer l'appoint et le secours. La longueur du réseau de chaleur est estimée à 2 km. La densité énergétique est donc faible sur ce projet (environ 0.957 MWh/ml de tranchée), et **au-dessous des critères d'éligibilité du fonds chaleur qui fixe une densité minimale à 1,5 MWh / ml**

## VII. LE BIOGAZ

Le biogaz produit par méthanisation, relève d'un procédé biologique permettant de valoriser la matière organique en produisant une énergie renouvelable et un engrais. En l'absence d'oxygène (digestion anaérobie), la matière organique est dégradée par des micro-organismes (bactéries se trouvant à l'état naturel dans les déjections animales). Une suite de réactions biologiques conduit à la formation de biogaz (contient 2/3 de méthane et 1/3 de gaz carbonique) et d'un digestat (répandu sur les cultures comme engrais). Pour augmenter les rendements, la matière est placée à l'intérieur d'une grosse cuve (le digesteur) fermée, chauffée, brassée sans entrée d'air et à l'abri de la lumière. Elle peut être sèche ou humide.

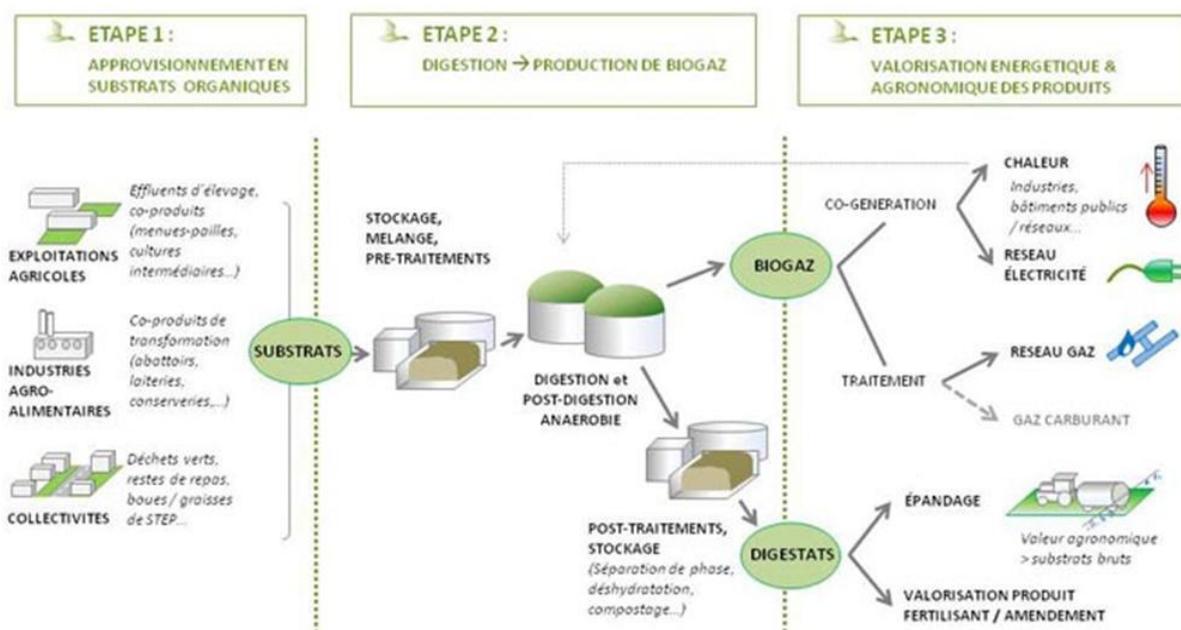
Les substrats organiques permettant la méthanisation peuvent se décomposer en trois grandes familles :

- Les effluents d'élevage : fumier, paille ; cultures...
- Les industries-agroalimentaires : co-produits de transformation provenant des abattoirs, des laiteries, des conserveries...
- Les collectivités : déchets verts, déchets ménagers, boues d'épuration...

La valorisation énergétique du biogaz peut se faire de différentes manières :

- La production de chaleur : solution viable uniquement si une forte demande de chaleur à proximité du site est capable d'absorber la chaleur produite toute l'année (ceci, afin de limiter les coûts d'investissement et d'exploitation : réseau de chaleur, déperdition...)
- La production d'électricité
- La production de chaleur et d'électricité par cogénération (comme pour la biomasse)
- Une nouvelle valorisation, autorisée depuis 2003 par une directive européenne, est en train de se développer. Il s'agit de la production de biogaz issue d'installation de méthanisation, pour injection dans le réseau public de transport ou de distribution de gaz naturel.

La valorisation du digestat produit est essentiellement utilisée dans le domaine de l'agriculture : matière extraite en sortie du digesteur après fermentation et extraction du biogaz, le digestat possède des propriétés intéressantes (plus fluide, plus assimilable par les cultures, moins odorant...) lui permettant d'être utilisé directement comme fertilisant pour les terres agricoles.



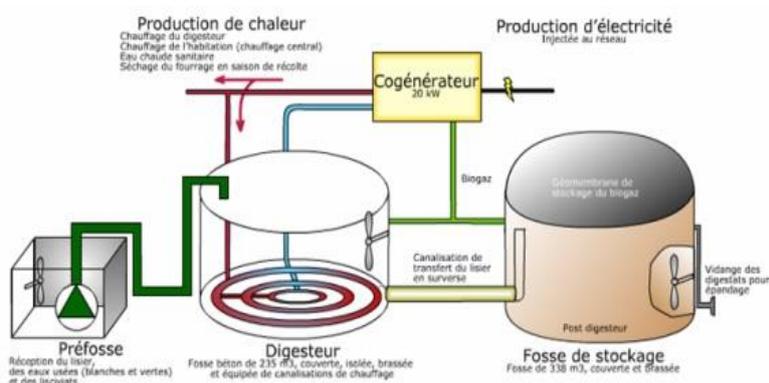
Principe de la méthanisation

## a.LA METHANISATION SUR LES BOUES ET LES EFFLUENTS

### ☑ PRESENTATION DE LA TECHNOLOGIE

Une installation de méthanisation est composée principalement d'un équipement de séparation des impuretés, d'un mélangeur/malaxeur pour que la matière organique soit introduite de façon homogène dans le digesteur, du digesteur, d'un système de brassage, d'un système d'extraction et de pressage du digestat et d'un système de traitement, de stockage et de valorisation du digestat.

Le digesteur est un réacteur hermétique, imperméable à la lumière et maintenu à température constante (35°C pour les bactéries mésophiles ou 55°C pour les bactéries thermophiles) à laquelle la digestion anaérobie se produit. La digestion mésophile dure environ 30 à 40 jours, tandis que la digestion thermophile est plus rapide, durant une quinzaine de jours. Si la digestion thermophile est plus rapide et présente un meilleur rendement de méthanisation par tonne de matière digérée, les installations nécessaires sont plus coûteuses et plus délicates. Les coûts d'investissement rapportés à la puissance électrique sont toutefois très proches.



Principe de fonctionnement de la méthanisation

### ☑ ECHELLE D'EXPLOITATION

Le biogaz produit peut-être valorisé à l'échelle du quartier dès lorsqu'il est transformé en biométhane (biogaz épuré) et injecté dans le réseau de gaz naturel. L'intérêt de l'injection est de pouvoir utiliser une énergie renouvelable en utilisant un réseau de distribution déjà présent sur le territoire.

Depuis novembre 2011, il est désormais possible d'injecter du biométhane dans le réseau de distribution GRDF. Pour valoriser cette énergie « verte » injectée dans le réseau, un système de garanties d'origine a été mis en place afin que chaque consommateur, individuel ou collectif, puisse acheter du gaz garanti 100% biométhane, donc 100% Energie Renouvelable.

Le biogaz produit peut-être valorisé à l'échelle de la ZAC et même à une échelle plus large (commune) dès lorsqu'il est transformé en biométhane (biogaz épuré) et injecté dans le réseau de gaz naturel. L'intérêt de l'injection est de pouvoir utiliser une énergie renouvelable en utilisant un réseau de distribution déjà présent sur le territoire.

### ☑ ATOUTS ET CONTRAINTES DE LA TECHNOLOGIE

Atouts	Faiblesses
Double valorisation organique et énergétique des sous-produits agricoles, effluents d'élevage et boues d'épuration	Exploitation nécessitant des compétences techniques particulières (difficile pour les agriculteurs)
Réduction des émissions de méthane, gaz à fort effet de serre	Des investissements lourds dépendant des soutiens publics
Traitement locale des déchets organiques du territoire.	
Opportunité de revenus pour les agriculteurs (rachat de l'électricité et production d'une énergie renouvelable utilisable pour satisfaire les besoins de l'exploitation)	
Réduction du volume de boues et bilan de combustion nul	

### ☑ COUT GLOBAL DE LA TECHNOLOGIE

La méthanisation représente un investissement conséquent pour les agriculteurs. Les coûts à l'investissement sont de l'ordre de 850 à 1 000€/kW pour une installation de 30kWe et d'environ 8 600kWe pour une installation de 100kWe. La rentabilité du projet dépend de la valorisation du biogaz (vente d'électricité, valorisation de la chaleur ou injection d'un biogaz épuré dans un réseau de distribution) et de la rémunération liée au traitement de déchets extérieurs. La pérennité et le montant de cette rémunération peuvent varier sous l'effet de la concurrence locale.

Les données économiques pour les unités de méthanisation fonctionnant avec les boues d'épuration sont peu nombreuses et disparates selon la capacité des unités (exprimée en équivalents-habitants et en €/Tonne de matière sèche) : Pour une capacité < à 10 000EH : 2 000 à 3000€/Tonne de MS et pour les capacités supérieures à 10 000EH : 500 à 3000€/Tonne de MS (ADEME).

### ☑ SUBVENTIONS 2017

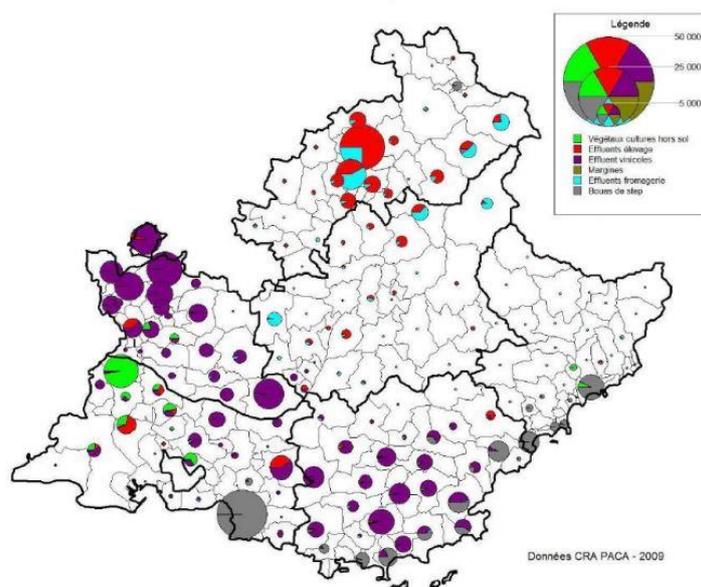
La création d'une unité de méthanisation pourrait bénéficier du Fond Chaleur de l'ADEME ou bien encore du Fond Déchet (taux de soutien des investissements de l'ordre de 30%). Les études de faisabilité sont également cofinancées par l'ADEME à hauteur de 50 à 70% du coût global.

Dans le cas d'une production d'électricité, l'installation bénéficie d'une obligation d'achat ainsi que d'un tarif de rachat. Depuis juillet 2011, le tarif de rachat a connu une hausse de près de 50%, de 7,5 à 9c€/kWh il est passé de 11,19 à 13,37c€/kWh (selon la puissance électrique installée + prime pour la méthanisation des effluents comprise entre 0 et 2,6c€/kWh, variable selon le taux d'effluents et la puissance électrique installée + prime sur l'efficacité énergétique totale (0 à 4c€/kWh selon les performances de la valorisation)).

En ce qui concerne le biogaz et depuis mai 2011, le tarif de rachat est compris entre 8,121 et 9,745c€/ kWh défini selon la puissance auquel s'ajoute une prime à l'efficacité énergétique comprise entre 0 à 4c€/kWh.

## b.LE POTENTIEL BIOGAZ DU SECTEUR

La région Provence Alpes Côte d'Azur produit (toutes origines confondues) moins d'énergie électrique que ce qu'elle en consomme. Les unités de production régionales, même si elles sont diversifiées (hydraulique, charbon, pétrole), ne suffisent pas à satisfaire la consommation. La diversification des sources et des ressources énergétiques est actuellement un enjeu national fort, la région PACA doit donc, s'inscrire dans cette dynamique de transition énergétique en développant d'autres sources de production d'énergie électrique. En 2008, la DRIRE a sollicité les chambres d'agriculture de la région PACA afin de réaliser une étude du potentiel « biomasse agricole » régional. Les données décrites ci-après proviennent de cette étude.



### Quantités de biomasse méthanisables produites sur la région

#### ☑ LE POTENTIEL LOCAL DE PRODUITS METHANISABLES

Dans la région Provence Alpes, La production de biomasse méthanisable est répartie autour de trois bassins :

- Le secteur d'élevage dans les Hautes Alpes et la vallée de l'Ubaye (effluents d'élevage et effluents de fromagerie),
- Le secteur viticole (diagonale Vaucluse, Bouches du Rhône, Var)
- Le littoral avec les boues de station d'épuration.

Dans le département des Bouches-du-Rhône, la quantité de biomasse méthanisable est l'une des plus importantes de la région. Réparties entre les végétaux, les effluents d'élevage à l'ouest et les boues d'épuration à l'est, la biomasse agricole représente une réelle opportunité pour la région et le département. En tenant compte, seulement du paramètre « biomasse méthanisable produite », la commune d'Aix en Provence, du fait de la présence dans son périmètre de station d'épuration, présente un potentiel non négligeable de production de biogaz par méthanisation sur les boues. Les communs alentours représentent également un potentiel pour la valorisation de cette ressource, notamment en raison de la possibilité, depuis 2011 de réinjecter le biogaz dans le réseau de gaz qui dessert actuellement le territoire communal, permettant ainsi de le rendre plus vertueux.

#### ☑ LA RECUPERATION DE CHALEUR SUR LES DECHETS

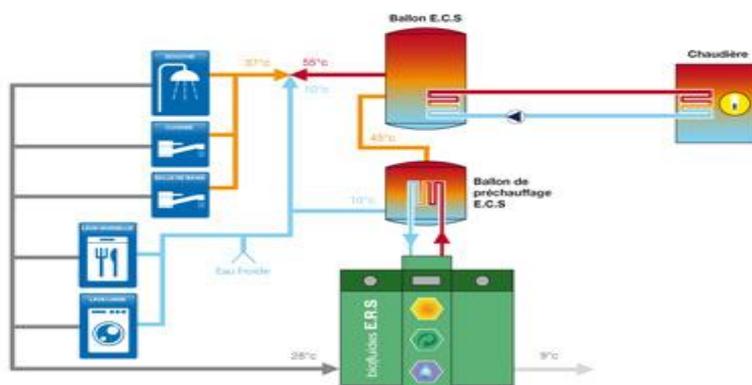
Dans le Pays d'Aix, 59,4% des déchets sont enfouis et 40,6% sont valorisés. Le principal lieu d'acheminement des déchets est le site de l'Arbois, sur la commune d'Aix-en-Provence. Sur ce site, une unité de valorisation des biogaz a été mise en service. Elle assure déjà la production de 21 GWh/an d'énergie électrique, évitant ainsi 1800 tonnes de CO<sub>2</sub>.

# VIII. LES AUTRES TECHNOLOGIES EXISTANTES

## a. LA RECUPERATION DE CHALEUR SUR LES EAUX GRISES

### ☑ PRESENTATION DE LA TECHNOLOGIE

La récupération de chaleur sur les eaux domestiques est une technologie simple. L'eau chaude usée de la douche coule à l'intérieur de la paroi de l'échangeur de chaleur, pendant que cette eau chaude coule vers le bas, l'eau froide est propulsée en sens inverse dans la paroi extérieure. Les calories des eaux grises sont alors transmises à l'eau froide. Cette eau préchauffée sera ensuite dirigée vers le chauffe-eau.



Fonctionnement de la technologie à eaux grises

### ☑ ATOUTS ET CONTRAINTES DE LA TECHNOLOGIE

Atouts	Faiblesses
Performances élevées capables d'apporter des économies conséquentes	Aucune subvention pour l'instant
Réduction importante des émissions de GES	
Facilité d'intégration et d'installation	
Faible consommation d'électricité	
Investissement modéré	
Réduction considérable des consommations énergétiques pour l'ECS (système permettant d'économiser chaque année entre 150 et 300m <sup>3</sup> de gaz ou autre énergie-base annuelle pour une famille de 4 pers. et d'éviter l'émission de 700kg de CO <sub>2</sub> /an/log	

### ☑ COUT GLOBAL DE LA TECHNOLOGIE

Le coût d'investissement global pour l'installation de ce type de technologie est compris entre 1 800€ et 2 000€ pour un système de type Recoh HT. Ce prix englobe les coûts de système, de matériel associé et de la main d'œuvre. L'entretien et la maintenance ne nécessite que de faibles coûts.

### ☑ SUBVENTIONS 2017

L'ADEME peut soutenir l'installation d'équipements de captage de la chaleur des eaux usées à travers le Fond Chaleur. Un exemple est celui de la pompe à chaleur sur eaux usées de la résidence Les Nouveaux Chartreux à Marseille (13), ou bien d'une résidence à Courcouronnes (91) dont le coût s'est élevé à 89 k€ et pour laquelle l'ADEME a contribué à hauteur de 39 k€.

## b.LA RECUPERATION DE CHALEUR SUR LES EAUX USEES

### ☑ PRESENTATION DE LA TECHNOLOGIE

Le principe de récupération de l'énergie thermique des eaux usées présente des similitudes avec celui de récupération des calories de la géothermie. En effet, l'utilisation de l'énergie issue des eaux usées consiste à récupérer les calories de l'eau circulant dans les réseaux d'assainissement.

- A l'échelle d'un quartier ou d'une ville, la récupération de chaleur sur les eaux usées consiste à récupérer l'énergie thermique des eaux usées circulant dans les conduites. Chacune des canalisations, alimentées par les différents bâtiments du quartier, est équipée d'un échangeur de chaleur qui récupère l'énergie, grâce au fluide caloporteur, pour ensuite l'acheminer vers des pompes à chaleur. Pour qu'une installation de ce type puisse être envisagée, le réseau doit répondre aux conditions suivantes :
  - Débit supérieur à 15t/s et température supérieure à 10°C.
  - Distance maximum entre l'échangeur et la chaufferie inférieure à 300 mètres.
  - Tronçons rectilignes sur au moins 100 mètres (grandes installations) et de diamètre minimum de 40 cm (réseau neuf).

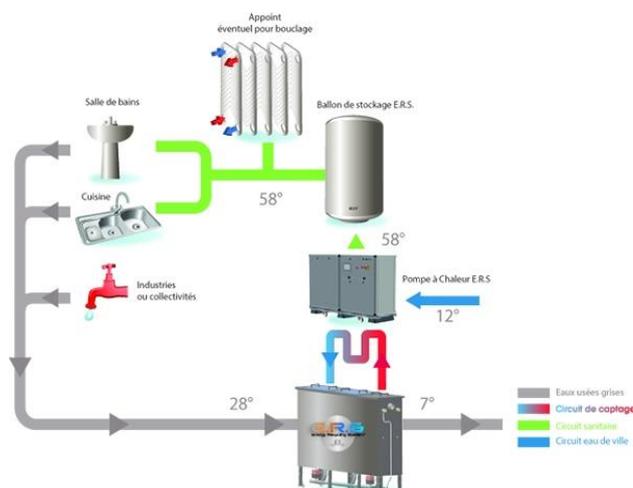
Puissance minimum de l'installation = 150 kW (environ 50 logements = densité minimum).



Principe de récupération de chaleur sur les eaux usées (degré

- A l'échelle d'un bâtiment, il existe également des dispositifs de filtration et récupération de chaleur directement sur les eaux usées en sortie de bâtiment. Toutefois, ce dispositif est plus particulièrement adapté à un ensemble de logements d'échelle suffisamment importante pour assurer une production de chaleur régulière.

Les calories présentes dans les eaux usées ménagères sont captées puis réinjectées instantanément dans le réseau local afin de produire 80 à 100% des besoins en eau chaude sanitaire (ECS). La cuve d'échange thermique récupère et transfère l'énergie vers la pompe à chaleur. À l'intérieur de cette cuve sont placés des échangeurs dans lesquels circule un fluide caloporteur. Les eaux grises entrent dans la cuve à une température moyenne comprise entre 28 et 32°C et en ressortent à 9°C. Les calories prélevées dans la cuve d'échange thermique sont transférées à la pompe à chaleur.



**Principe de récupération de chaleur sur les eaux usées à l'échelle d'un bâtiment (Source : Biofluides)**

#### ☑ ATOUTS ET CONTRAINTES DE LA TECHNOLOGIE

Atouts	Faiblesses
Production locale et système réversible	Nécessite un débit minimum de 15l/s
Ressource disponible et continue tout au long de l'année et investissement modéré	20 000 logements en amont sont nécessaires pour chauffer une cinquantaine de logements
Implantation facilitée dans le cadre d'opération neuve	
Adapté au milieu urbain dense	

#### ☑ COUT GLOBAL DE LA TECHNOLOGIE

Le coût d'investissement d'une installation comme celle-ci est très dépendant des caractéristiques du secteur étudié. Les coûts sont donc donnés à titre d'exemple pour la couverture des besoins en ECS des immeubles de logements donc les besoins énergétiques sont estimés à 5 000MWh (2 500MWh/an soit 50% des besoins). Les conduites de diamètre 1 500mm sont équipées sur 135ml d'échangeurs (réseau à 13°C pour un débit de 100l/s) :

- Coût d'investissement estimé à 1,2M€ (PAC et autres systèmes nécessaires inclus).
- Coût d'exploitation estimé à 334 000€ pour cette installation degrés bleus (combustible d'appoint nécessaire (gaz), électricité pour la PAC et les coûts de maintenance (chaufferie...) sont inclus).

### SUBVENTIONS 2017

L'ADEME subventionne ce type d'installation par le biais du « fond de chaleur ». Celui-ci est calculé en fonction du nombre de tonnes équivalent pétrole (TEP) évitées. Une TEP est équivalente à 11 630kWh. Cette aide est soumise à certaines conditions.

### POTENTIEL ENERGETIQUE DU SITE

Sur les canalisations d'eaux usées traversant la ZAC : dans le cas des systèmes de récupération des calories des eaux usées, la faisabilité technico-économique des projets est conditionnée par des exigences relatives aux canalisations (source de chaleur). Des études complémentaires sont nécessaires pour quantifier le potentiel de récupération de l'énergie des eaux usées sur la base des informations qui seront fournies par les études VRD. Le potentiel thermique des eaux usées est en tous les cas bien adapté aux besoins des bâtiments collectifs. Les projets d'investissement peuvent être accompagnés par les directions régionales de l'ADEME en termes de conseils, d'expertise ou de soutiens financiers.

# C.PRE-DIMENSIONNEMENT / SCENARII

Dans cette partie, un scénario d’approvisionnement par le réseau de chaleur urbain sera comparé à des scénarii d’approvisionnement en mix énergétique gaz et ressource renouvelable.

Les estimatifs de besoins énergétiques, coûts à l’investissement et à l’exploitation sont donnés à titre indicatif et seront sujet à des variations en fonction de l’évolution du projet et de l’affinage des données techniques, qui demeurent aujourd’hui sommaires et provisoires.

L’analyse des diverses solutions est basée sur deux critères : budgétaire et environnemental.

Les besoins énergétiques sont des besoins utiles, c’est-à-dire livrés à l’utilisateur, on ne prend donc pas en compte les pertes sur le réseau ou les pertes de combustion, qui ne sont pas les mêmes pour le gaz ou pour le réseau de chaleur et peuvent ainsi entraîner une variation du cout d’exploitation réel.

**Il est rappelé que les chiffres affichés dans le présent rapport, notamment en ce qui concerne le raccordement au réseau de chaleur, ne sont qu’indicatifs et seront à confirmer et affiner dans les étapes suivantes de la conception en partenariat avec les gestionnaires.**

Hypothèses prises pour l’analyse :

- Les besoins énergétiques sont des besoins utiles, c’est-à-dire livrés à l’utilisateur, on ne prend donc pas en compte les pertes sur le réseau ou les pertes de combustion, qui ne sont pas les mêmes pour le gaz ou pour le réseau de chaleur et peuvent ainsi entraîner une variation du cout d’exploitation réel ;
- Les coûts d’investissement sont donnés sans préoccupation de leur répartition entre les différents acteurs du projet d’aménagement (Ville, bailleurs, promoteurs, etc.), qui seront à déterminer par la suite ;

# I. DEFINITION DES SCENARII

Dans une première approche et afin de ne pas multiplier les scénarios, 3 scénarios sont réalisés :

- Scénario 1 : Création d'un réseau de chaleur bois avec appoint secours chaudière gaz des logements collectifs et commerce + froid élec si besoin. Chaudière individuelle gaz + panneau solaire pour les villas.
- Scénario 2 - Décentralisé Gaz naturel avec chaudière individuelle gaz + valorisation de l'énergie solaire pour l'ECS des logements individuels.
- Scénario 3 – Décentralisé Electricité : PAC géothermie centralisée et EC solaire pour les logements (en complément).

	Logements collectifs et intermédiaires	Maisons individuelles	Commerces et équipements publics
<b>SCENARIO 1</b> Réseau de chaleur Bois	Raccordés au réseau de chaleur	Chaudière gaz à condensation + solaire thermique ou PV	Raccordés au réseau de chaleur PAC électrique pour froid
<b>SCENARIO 2</b> Décentralisée – gaz et solaire	Chaudière gaz à condensation	Chaudière gaz à condensation + solaire thermique ou PV	Chaudière gaz à condensation PAC électrique pour froid
<b>SCENARIO 3</b> Décentralisée – Electricité et solaire	PAC électrique géothermie	Chaudière gaz à condensation + Solaire thermique ou PV	PAC gaz à absorption Ou PAC électrique géothermie

## II. HYPOTHESES POUR L'ANALYSE COMPARATIVE

### a. ANALYSE ECONOMIQUE

L'analyse économique est réalisée d'un point de vue global. Les scénarios sont comparés selon le coût global moyen à l'échelle de la ZA, exprimée en € TTC / MWh. Ce coût global prend en compte l'ensemble des coûts d'investissements et d'exploitation pour chacun des scénarios.

### b. COÛTS D'INVESTISSEMENTS

Pour le scénario 1 (RCU bois énergie) : les coûts d'investissement prennent en compte l'ensemble des équipements en chaufferie (chaudière bois, appoint gaz, équipements en chaufferie pour l'acheminement du bois, traitement des fumées, traitement des cendres), le génie civil pour la chaufferie et le VRD, le réseau de chaleur, et les sous-stations.

Pour les scénarios 2 et 3, les coûts d'investissements pris en compte sont :

- Solaire thermique ou PV pour les maisons individuelles : 3 000 € HT / logement
- PAC gaz à absorption : 17 000 euros / module de 40 kW
- Mini cogénération : 1 500 € / kW<sub>e</sub>
- PAC élec 6000 €HT

### c. SUBVENTIONS MOBILISABLES

Pour le RCU Bois, des subventions sont mobilisables grâce au fond chaleur. Le calcul des subventions se base sur la méthode du fonds chaleur de 2013, vu la densité du projet, le fond chaleur n'est pas mobilisable.

### d. COÛTS D'EXPLOITATION

Les coûts d'exploitation sont estimés en prenant en compte :

- Le coût de l'énergie (consommations et abonnement), les coûts de maintenance et les coûts de renouvellement des équipements. Les hypothèses de prix de l'énergie se basent sur les tarifs réglementés du gaz naturel et de l'électricité. Pour le bois énergie, le prix considéré est de 20 € / MWh.

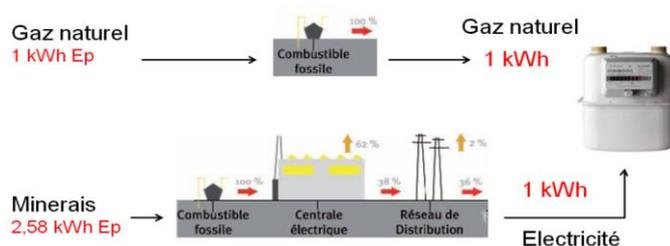
Les rendements suivants :

- Chaudière à condensation : 105%
- PAC gaz aérothermique : 1,4
- Chaudière Bois : 85%
- PAC élec cop de 4

Pour les systèmes de mini cogénération et les éco générateurs, il est considéré que l'électricité est soit vendue au tarif bleu hors taxe (contrat de type POI), soit auto consommée.

## e.ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

L'analyse environnementale compare les consommations d'énergie primaire des différents scénarios ainsi que les émissions de CO<sub>2</sub> générées.



## III.ANALYSE COMPARATIVE DES DIFFERENTS SCENARIOS

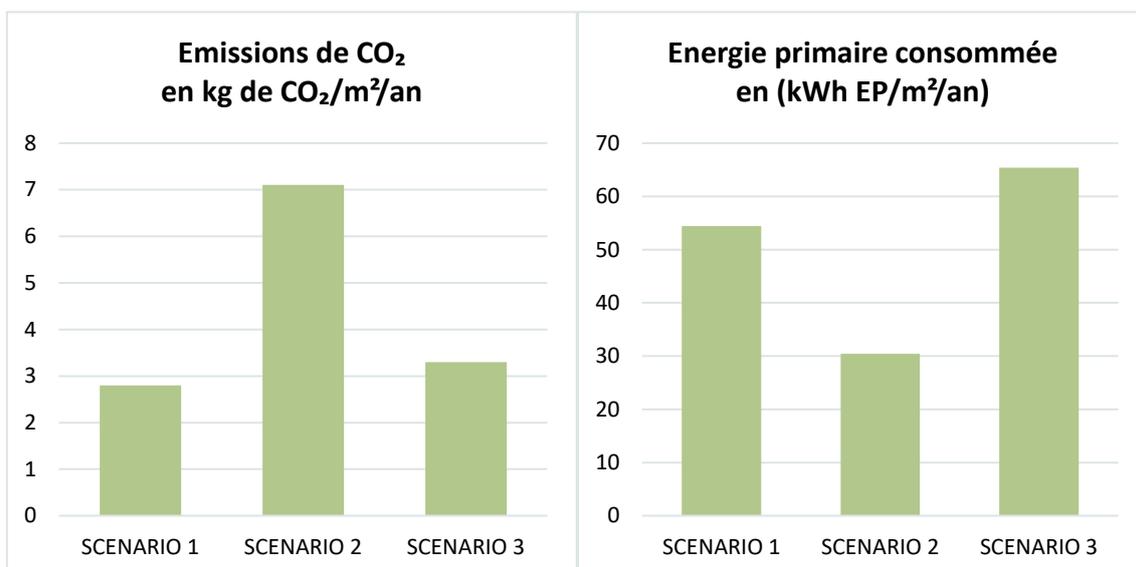
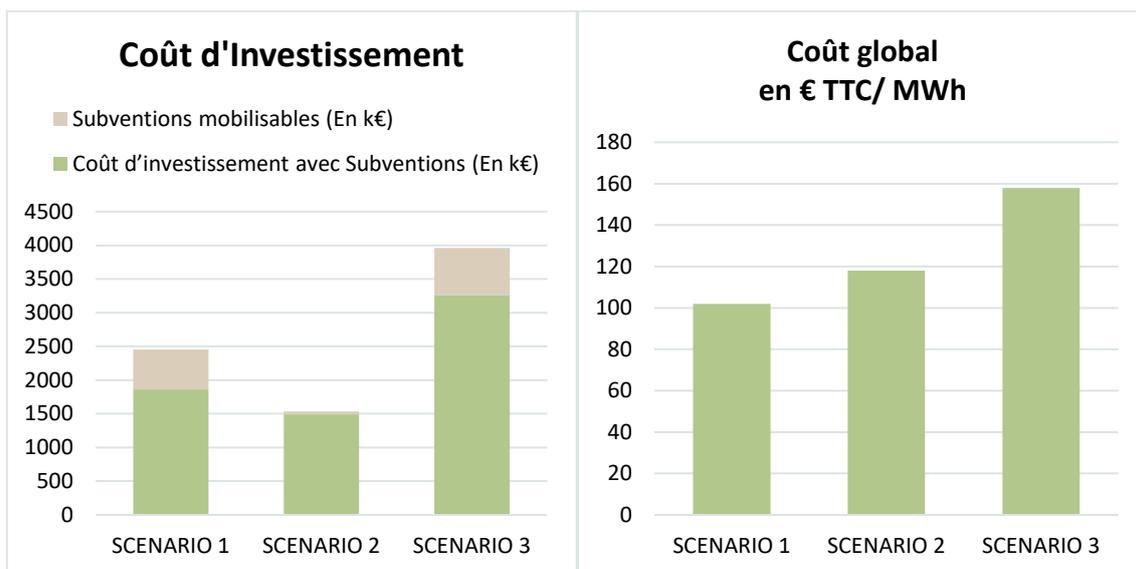
### a.ANALYSE ECONOMIQUE

	SCENARIO 1 Réseau de chaleur Bois	SCENARIO 2 Décentralisé – gaz et solaire	SCENARIO 3 Décentralisé - Electricité
Coût d'investissement TOTAL (En k€)	2455	1536	3961
Subventions mobilisables (En k€)	594	44	698
Coût de l'énergie (P2+P3+P4)	106	100	170
<b>Coût global en € TTC/ MWh</b>	<b>102</b>	<b>118</b>	<b>158</b>

### b.ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

	SCENARIO 1 Réseau de chaleur Bois	SCENARIO 2 Décentralisé – gaz et solaire	SCENARIO 3 Décentralisé - Electricité
Energie primaire consommée En m <sup>2</sup> /an (kWh EP/m <sup>2</sup> /an)	54,4	30,4	65,4
Emissions de CO <sub>2</sub> En kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /an	2,8	7,1	3,3
Emissions de poussières et particules En g/m <sup>2</sup> /an	8,1	0,6	2,1
Taux d'EnR Pour le chauffage et l'ECS	71%	9%	16%

## C.COMPARAISON DES SCENARI



## IV.CONCLUSION

L'analyse comparative montre les points suivants :

Le réseau de chaleur Bois est pertinent d'un point de vue environnemental mais implique une consommation d'énergie primaire plus importante, du fait des pertes envisageables sur le réseau.

La densité énergétique faible du projet impacte fortement l'intérêt économique d'une telle solution car hors seuil de mobilisation du fond chaleur.

Le coût global est plus important que dans le cas d'autres solutions décentralisées.

Les solutions décentralisées permettent de mieux concilier la performance énergétique et la limitation de la facture énergétique pour les futurs habitants.