

AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE UNIQUE
CREATION D'UN PARC D'ACTIVITES SUR LE SITE
DE L'ANCIENNE RAFFINERIE DE PETIT-COURONNE (76)

Pièce Jointe n°4



ANNEXE 1

**ETUDE DE FAISABILITE SUR LE POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT EN ENERGIES
RENOUVELABLES DU SITE ZA DE PETROPLUS DE PETIT-COURONNE**

**ÉTUDE DE FAISABILITÉ SUR LE
POTENTIEL DE DÉVELOPPEMENT EN ÉNERGIES RENOUVELABLES
DU SITE ZA DE PETROPLUS DE PETIT-COURONNE**



*Version initiale du 15/02/2019
Version modifiée du 02/04/2019*

I.F.H.V.P.

271, rue de Péchabout – 47000 Agen
06.03.15.74.71 – secretariat@ifhvp.fr
SIRET : 482 733 466 00015 - Code APE/NAF : 94 99 Z



Préambule

Le présent document est la synthèse de l'étude menée par l'IFHVP et ses partenaires quant à l'approvisionnement énergétique potentiel du site de Petit Couronne, en énergies renouvelables ou en énergies dites de récupération.

La société VALGO a souhaité confier à l'IFHVP cette mission afin d'obtenir une vision complète et transversales des capacités actuelles d'intégration d'énergies d'origine renouvelable afin de sécuriser l'approvisionnement énergétique du site de Petit Couronne, couvrant une superficie de 52 ha.

Le présent rapport présente ainsi les solutions techniques, économiques et environnementales fiables pour la production d'énergies sur site et ce afin de couvrir l'entièreté des besoins des futurs investisseurs et occupants du site. N'ont été considérés que les besoins énergétiques relatifs à l'occupation des bâtiments sur site et leurs activités. Les énergies servant à la mobilité in situ n'ont pas été pris en compte.

D'autre part, après visite du site et échanges, il apparait qu'aucune source de matériaux ou de procédés contenus sur le site ne pourront être réutilisés à des fins énergétiques. Il apparait alors comme évident que les sources d'énergies primaires proviendront de l'extérieur du site, sur une zone à définir en fonction de leurs natures et emplois.

Enfin, cette étude a été menée sur base des informations et documents transmis par VALGO, en date de rédaction du présent rapport. Toute information transmise a posteriori ou dont l'origine ou la véracité n'auront pu être établis, et qui pourrait modifier les conclusions ou préconisations établies dans ce rapport, ne pourra être considérée comme une erreur de conseil de la part de l'IFHVP et de ses partenaires.

Les conclusions et préconisations du présent rapport sont établies en connaissance des techniques et technologies disponibles en date de rédaction du présent rapport. Tout développement de technologies a posteriori ne saurait être considéré comme un manque de conseil de la part de l'IFHVP et de ses partenaires.



Sommaire

Identification du contexte géographique et climatique.....	4
Contexte géographique	4
Localisation urbaine.....	4
Localisation géographique.....	6
Contexte climatique.....	7
Ensoleillement	9
Rose des vents.....	11
Rappel du contexte d’application énergétique.....	13
Orientation de la zone d’activité.....	13
Rappel des contraintes techniques	14
Sensibilisation à l’optimisation des consommations énergétiques.....	17
Bilan moyen des besoins et consommations	18
Identification des politiques locales.....	19
La Métropole Rouen Normandie	19
Distribution publique de l’énergie.....	21
Maîtrise des Déchets.....	24
Le Syndicat Mixte d’Elimination des Déchets de l’Arrondissement de Rouen (SMEDAR).....	24
Présentation.....	24
Equipements	25
L’Observatoire des déchets.....	26
Le Plan Régional de Prévention et de Gestion des Déchets (PRPGD) de Haute Normandie	26
Recensement des installations existantes de gestion des déchets	26
Identification des sources énergétiques	28
Energies « naturelles » renouvelables.....	28
La biomasse	28
L’éolien.....	34
Le Solaire.....	36
Hydrothermie.....	47
Géothermie	48
Aérothermie	50
Hydraulique (proximité de la Seine, station de transfert d’énergie par pompage).....	51
Energies de récupération.....	54
Cloacothermie.....	54
Valorisation de déchets.....	57
Autres déchets visés.....	60
Synergie locale.....	63
Identification des sources de déchets valorisables dans le rayon défini	63
Autres valorisations en synergie	65
Conclusion générale.....	69

Identification du contexte géographique et climatique

Contexte géographique

4

Localisation urbaine

Le site cible de la présente étude se situe en périphérie de Petit Couronne, ainsi que de Grand Couronne, en Seine Maritime (76).



Localisation du site

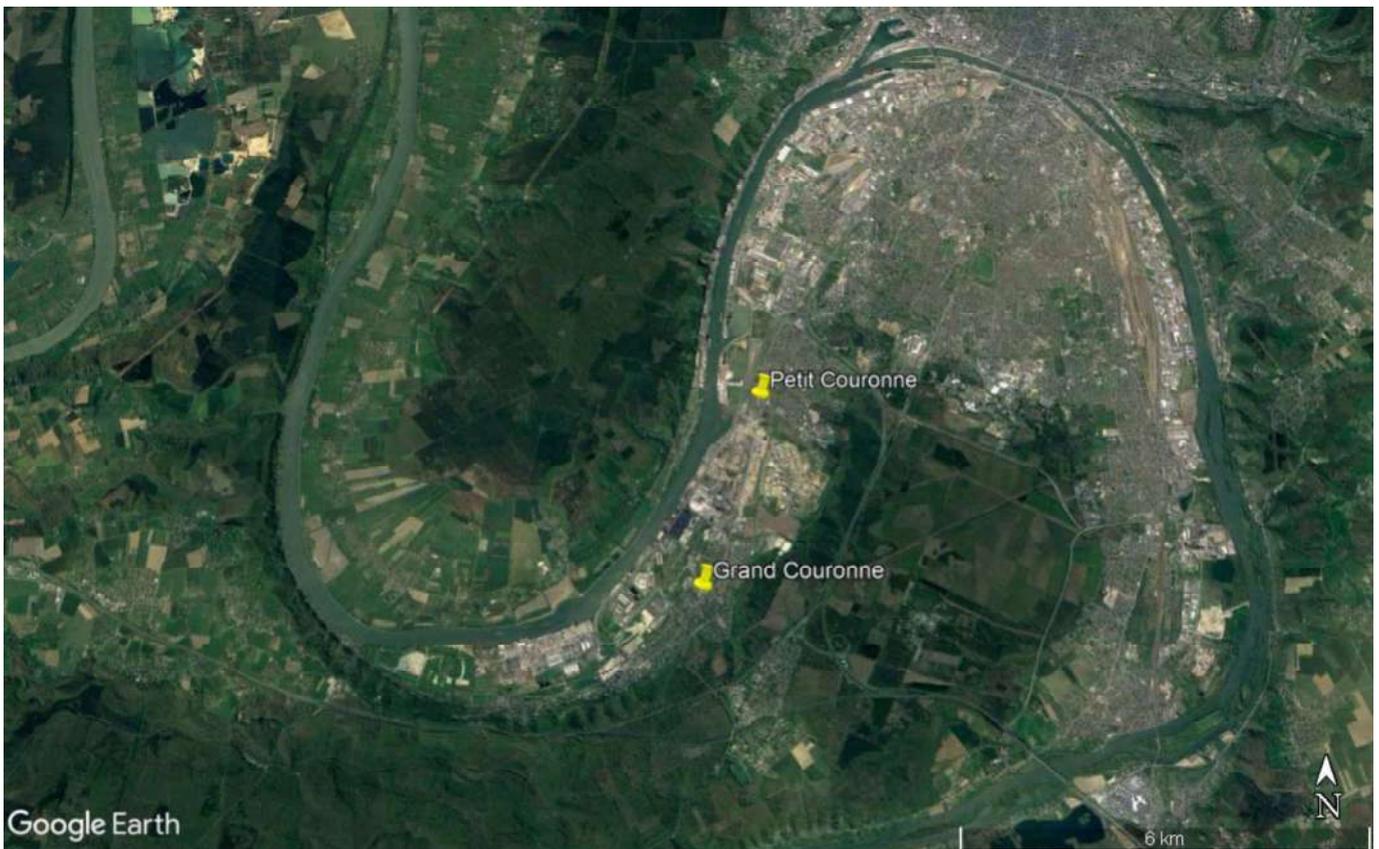
La commune de Petit Couronne présente une population de 8684 habitants (2016), avec une densité de 678 hab./m². La commune couvre une superficie de 1280 ha.

La commune de grand Couronne présente quant à elle, une population de 9676 habitants, avec une densité de 572 hab./m², sur une superficie de 1693 ha. La population de l'aire urbaine, plus large, est de 532 500 habitants. Une aire urbaine est, selon la définition de l'Insee, un ensemble continu et sans enclave formé par un pôle urbain (unité urbaine offrant plus de 10 000 emplois) et par sa couronne périurbaine, c'est-à-dire les communes dont 40 % de la population active résidente ayant un emploi travaille dans le pôle urbain ou dans une commune fortement attirée par celui-ci ; ces communes sont dites monopolarisées.

Localisation géographique

Le site est géolocalisé à environ 200 mètres à l'Ouest des bords de Seine, sur sa rive gauche. Ainsi, le paysage est fortement caractérisé par la vallée de la Seine et son méandre. Il est dominé par deux collines boisées, à l'Est et à l'Ouest.

6



Localisation géographique du site

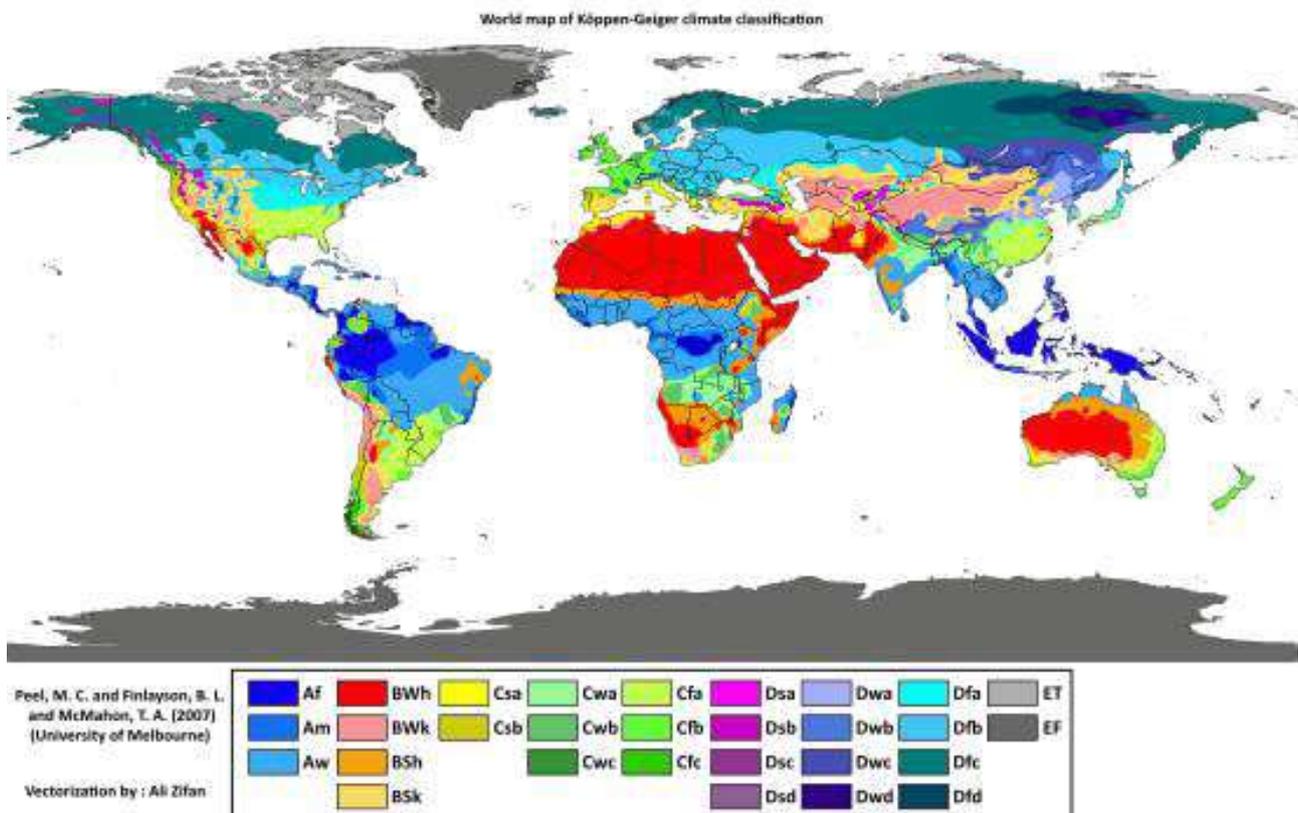
Le contexte géographique du site peut ainsi présenter des avantages en matière d'énergies renouvelables, nonobstant les contraintes législatives s'y afférant.

Les ressources locales qui pourront ou pourraient être utilisables à des fins énergétiques devront ainsi participer au développement du territoire, par une valorisation directe ou indirecte.

Contexte climatique

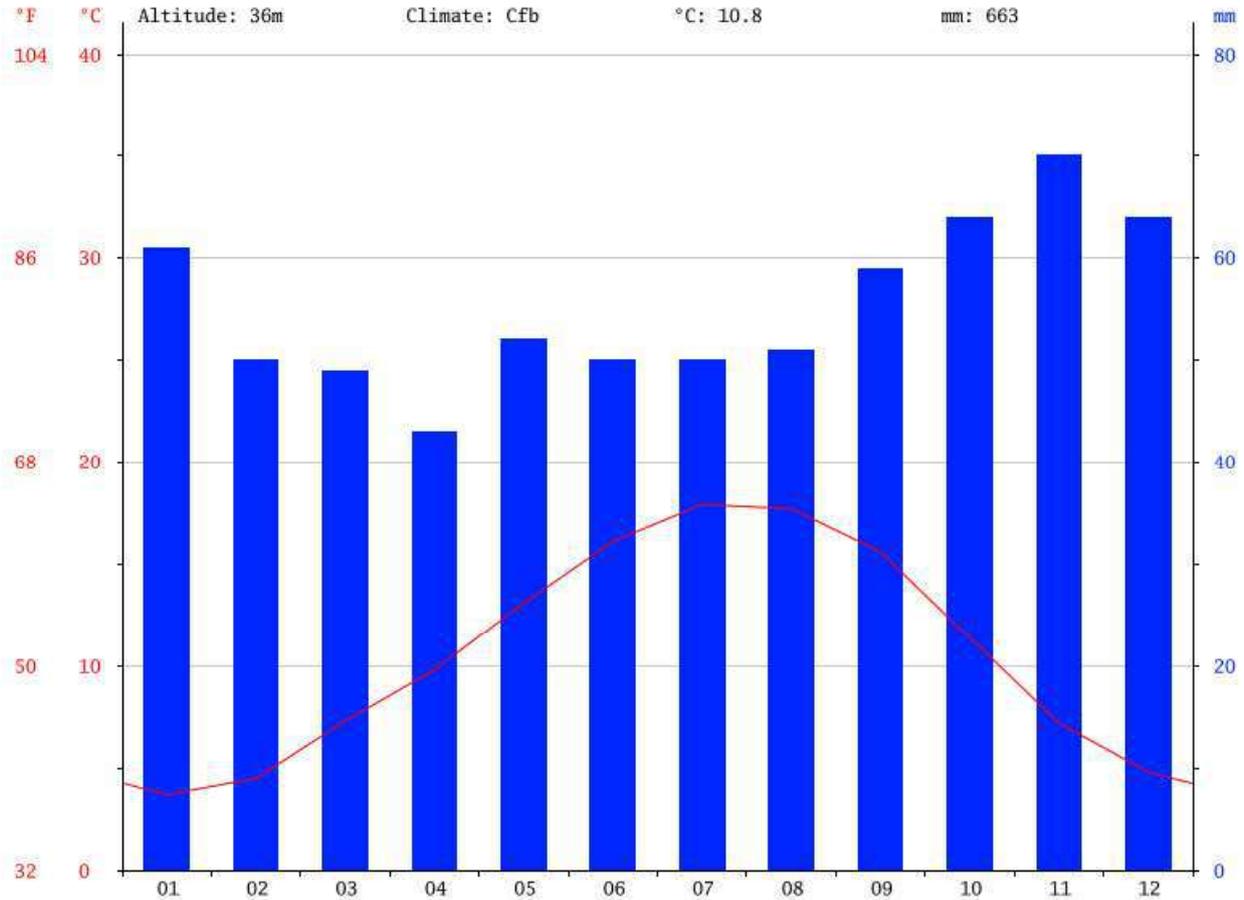
Etant donné la localisation du site sujet de l'étude, la commune de Petit Couronne a été prise comme référence climatique. Les données qui en découlent peuvent cependant être valables pour une zone plus large, couvrant ainsi la zone urbaine.

La ville de Petit-Couronne, située à une altitude variant de 2 à 108 m (moyenne : 55 m), bénéficie d'un climat tempéré chaud. Les précipitations en Petit-Couronne sont significatives, avec des précipitations même pendant le mois le plus sec. Selon la classification de Köppen-Geiger (classification des climats fondée sur les précipitations et les températures), le climat est de type Cfb.



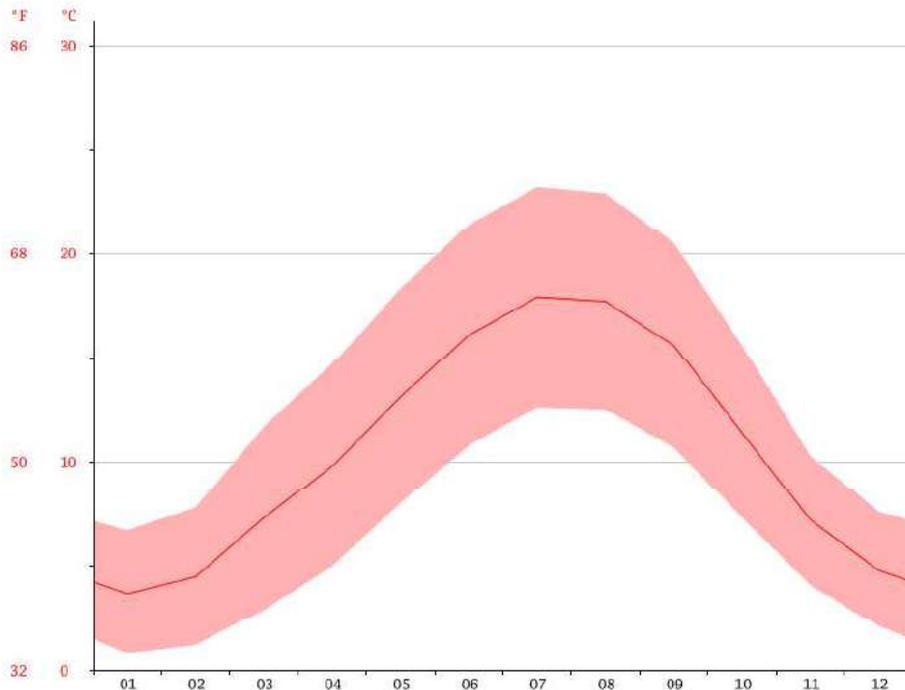
Carte mondiale de classification climatique de Köppen-Geiger

Au niveau thermique, Petit-Couronne affiche 10.8 °C de température en moyenne sur toute l'année. Chaque année, les précipitations sont en moyenne de 663 mm.



Graphique climatique de Petit-Couronne (source : Climate Data)

Le mois le plus chaud de l'année est celui de Juillet avec une température moyenne de 17.9 °C (température minimale de 12.6°C, température maximale de 23.2°C). Au mois de Janvier, la température moyenne est de 3.7 °C, avec un maxima de 6.7°C et un minima de 0.8°C. Janvier est de ce fait le mois le plus froid de l'année.



Courbe de température de Petit Couronne (source : Climate Data)

Ces informations climatiques seront importantes dans les sources d'énergies primaires envisagées, de par leur disponibilité ainsi que leurs applications identifiées.

Bien que les températures ne présentent pas de minima importants, sous réserve de stabilité du modèle actuel, la consommation énergétique des bâtiments futurs du site sera impactée suivant les applications visées, i.e. les activités desdits bâtiments. Il est alors important de bien définir le contexte dans lequel les locaux seront occupés et utilisés.

Ensoleillement

Selon les données disponibles, l'angle d'inclinaison optimale pour profiter de façon optimale du rayonnement solaire, est de 36°. Ainsi, l'irradiation, ou l'exposition aux rayonnements solaires, en moyenne est de 3,77 kWh/m²/j, soit 114,99 kWh/m²/mois ou encore 1 376,05 kWh/m²/an.

Avec une température moyenne journalière de 11°C sur 24 heures, la zone géographique compte 2472 degrés-jours de chauffage

Mois	Irradiation	Inclinaison	Température moyenne	Degrés-jours de chauffage
Janvier	1,47 kWh/m ²	65°	4.6°C	389
Février	2,35 kWh/m ²	58°	4.9°C	344
Mars	3,91 kWh/m ²	47°	7.1°C	288
Avril	5,24 kWh/m ²	34°	9.9°C	206
Mai	5,29 kWh/m ²	20°	13.1°C	105
Juin	5,57 kWh/m ²	12°	16.2°C	37
Juillet	5,59 kWh/m ²	16°	17.9°C	3
Août	5,03 kWh/m ²	28°	17.9°C	17
Septembre	4,65 kWh/m ²	44°	15.4°C	95
Octobre	2,91 kWh/m ²	54°	12.4°C	217
Novembre	1,75 kWh/m ²	63°	8.1°C	356
Décembre	1,38 kWh/m ²	68°	5.0°C	415
Annuelle	3,77 kWh/m²	36°	11°C	2472

Données mensuelles d'ensoleillement à Petit Couronne

Mois	Ensoleillement	Degré jour unifié (DJU)	Potentiel d'évaporation (ETP)
Janvier	58.6 h	442.1 °C	11.3 mm
Février	74.5 h	390 °C	18.8 mm
Mars	117.4 h	342.1 °C	46.7 mm
Avril	158 h	263.1 °C	74.1 mm
Mai	182.8 h	167.1 °C	100.4 mm
Juin	202.2 h	87.1 °C	116.3 mm
Juillet	199.2 h	40.8 °C	123 mm
Août	191.8 h	39.5 °C	108 mm
Septembre	156.1 h	98.4 °C	65.1 mm
Octobre	107.8 h	205.4 °C	33.4 mm
Novembre	60 h	330.6 °C	12.6 mm
Décembre	49.2 h	429.1 °C	8.7 mm
Annuelle	129.8 h	236.3 °C	59.9 mm

Ensoleillement relevé sur Petit Couronne

Rose des vents

Mois	Rafale maximale	Pression minimale	Pression maximale
Janvier	115.2 km/h	970.3 hPa	1045.4 hPa
Février	183.3 km/h	956.4 hPa	1042.9 hPa
Mars	111.6 km/h	977.4 hPa	1082.8 hPa
Avril	100.8 km/h	982.2 hPa	1087.2 hPa
Mai	183.3 km/h	983.5 hPa	1037.5 hPa
Juin	93.6 km/h	992.6 hPa	1036.5 hPa
Juillet	118.5 km/h	991.7 hPa	1031.4 hPa
Août	104.4 km/h	990.9 hPa	1031.9 hPa
Septembre	85.2 km/h	980.2 hPa	1035.6 hPa
Octobre	129.6 km/h	972.5 hPa	1082.4 hPa
Novembre	136.8 km/h	969.3 hPa	1041.8 hPa
Décembre	140.8 km/h	966.2 hPa	1045.9 hPa
Annuelle	183.3 km/h	956.4 hPa	1087.2 hPa

Vitesse des vents et pressions relevés sur Petit Couronne

Suivant la rose des vents mesurés entre 1985 et 2014 à la station de Rouen-Boos (source : www.meteoblue.com), les vents dominants sont de secteurs Ouest et Sud-ouest.

- Sud-ouest (secteur S à SO) : ils représentent environ 25,8 % du total de l'ensemble des fréquences des directions.

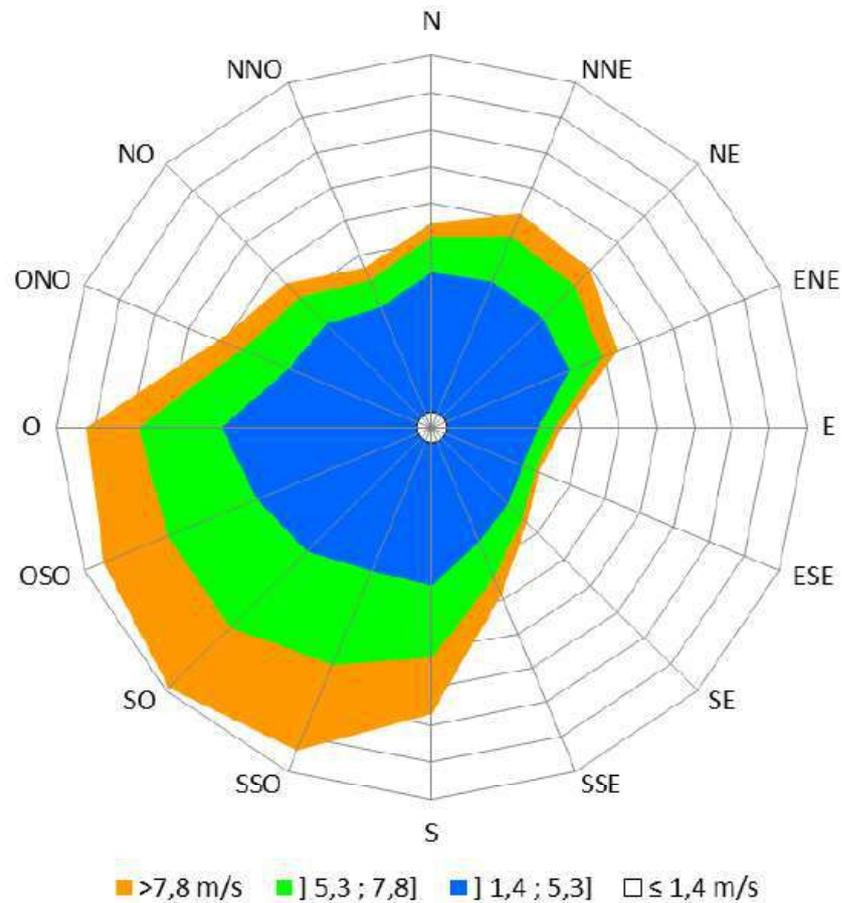
Vitesse des vents	Proportion par rapport au total des fréquences des directions
1.4 – 5.3 m/s	11.9%
5.3-7.8 m/s	7.6%
>7.8 m/s	6.3%

- Ouest (secteur OSO à ONO) : ils représentent environ 23,8 % du total de l'ensemble des fréquences des directions.

Vitesse des vents	Proportion par rapport au total des fréquences des directions
1.4 – 5.3 m/s	13.0%
5.3-7.8 m/s	6.5%
>7.8 m/s	4.4%

6.5% des vents sont inférieurs à 1.4 m/s et la part des vents supérieure à 7.8 m/s est de 14.2%

ROSE DES VENTS DE LA VILLE DE ROUEN



Secteur] 1,4 ; 5,3]] 5,3 ; 7,8]	>7,8 m/s	TOTAL
N	3,8%	0,9%	0,4%	5,1%
NNE	3,8%	1,3%	0,7%	5,8%
NE	3,8%	1,2%	0,6%	5,6%
ENE	3,6%	0,9%	0,5%	4,9%
E	2,4%	0,4%	0,2%	3,1%
ESE	2,2%	0,4%	0,1%	2,7%
SE	2,5%	0,5%	0,2%	3,2%
SSE	2,9%	1,0%	0,5%	4,4%
S	3,8%	2,0%	1,5%	7,3%
SSO	3,8%	2,8%	2,5%	9,0%
SO	4,3%	2,9%	2,3%	9,5%
OSO	4,6%	2,6%	1,9%	9,1%
O	5,2%	2,2%	1,4%	8,8%
ONO	3,7%	1,4%	0,7%	5,7%
NO	3,6%	1,0%	0,5%	5,1%
NNO	3,1%	0,8%	0,4%	4,2%
TOTAL	57,0%	22,3%	14,2%	93,5%
	≤ 1,4 m/s			6,5%

Tableau de répartition des orientations des vents

I.F.H.V.P.

Rappel du contexte d'application énergétique
Orientation de la zone d'activité

A l'heure de la rédaction du présent rapport, les futurs bâtiments de la zone d'activité seront majoritairement orientés vers la logistique, en précisant qu'il s'agira très fortement de stockage de matériel, hors stockage froid.

Outre ce stockage, il est à prendre en considération la présence humaine, qu'il s'agisse de zones de bureaux ou de manutentions au sein des bâtiments. Il convient alors de pré dimensionner les besoins énergétique en fonction des éléments prédéfinis par les futurs investisseurs et/ou occupants des locaux.

Suivant les documents fournis en date du 01/02/19, il apparait que plusieurs projets d'implantation ont été présentés. Une synthèse des implantations envisagées et besoins a été faites, afin d'identifier des sources potentielles de contraintes réglementaires et/ou d'avantages en matière d'énergies primaires ou secondaires.

Société	Activité sur site	S. occupée (m ²)	Lots retenus	Répartition	Besoins énergétiques		Avantages
					Elect. (kW)	Gaz (kWh/mois)	
GCA	Stockage, transport routier, lavage PL	160 645	3 & 4	Bat : 8000 m ² Voie : 104 000 m ²	70 000	219 000	Installation PV, récupération chaleurs fatales
Linkcity	Stockage et activité logistique	153 880	4 & 5	Lot 4 : - Bat : 37 223 m ² - Voie : 17 501 m ² Lot 5 : - Bat : 31 051 m ² - Voie : 24 744 m ²	5 250	230 000	
Gazeley	Stockage et activité logistique	162 200	3, 4, 5 & 6	Lot 3 & 4 : - Bat : 65 670 m ² - Voie : 51 825 m ² Lot 5 : - Bat : 31 760 m ² - Voie : 22 580 m ² Lot 6 : - Bat : 31 760 m ² - Voie : 22 580 m ²	1 800	-	labels BREEAM "Very good" et Biodiversity, Installation PV, éclairage LED, Chauffage 11.9°C,

Société	Activité sur site	S. occupé (m ²)	Lots retenus	Répartition	Besoins énergétiques		Avantages
					Elect. (kW)	Gaz (kWh/mois)	
ARGAN	Stockage	81 710	3 & 4	Bat : 48 800 m ² Voie : 54 800 m ²	1 450	750 000	Installation PV, bornes recharge véh. Elect.
SO TALEM	Transport	35 827	4 & 6	Bat : 1 250 m ² Voie : 24 200 m ²	38.5	-	Aire de lavage
Wlife	Messagerie + transport	193 409	1, 2, 6 & 7	Bat : max 74 000 m ² Voie : ?	?	?	?

Les chiffres ci-dessous ont été fournis par les postulants, sans justification des conditions d'utilisation des énergies mentionnées. Une vérification des besoins réels est fortement préconisée, afin de limiter les consommations.

Le dossier déposé par Wlife étant confidentiel, aucune information quant aux besoins énergétiques n'a été renseigné.

Rappel des contraintes techniques

D'une façon générale, les bâtiments s'orientant vers une exploitation en logistique et stockage, peu de moyens énergétiques sont donc en théorie nécessaire, excepté l'éclairage des locaux et le chauffage des parties bureaux.

Cependant, devant les écarts en demande énergétique formulée par les investisseurs potentiels, nous baserons notre recherche sur l'étude réalisée en 2014 par ENEA Consulting et le CETIAT, pour le compte de l'ADEME. Cette étude, présentée sous forme de note, résume les consommations moyennes énergétiques d'un entrepôt de logistique ou atelier de stockage type.

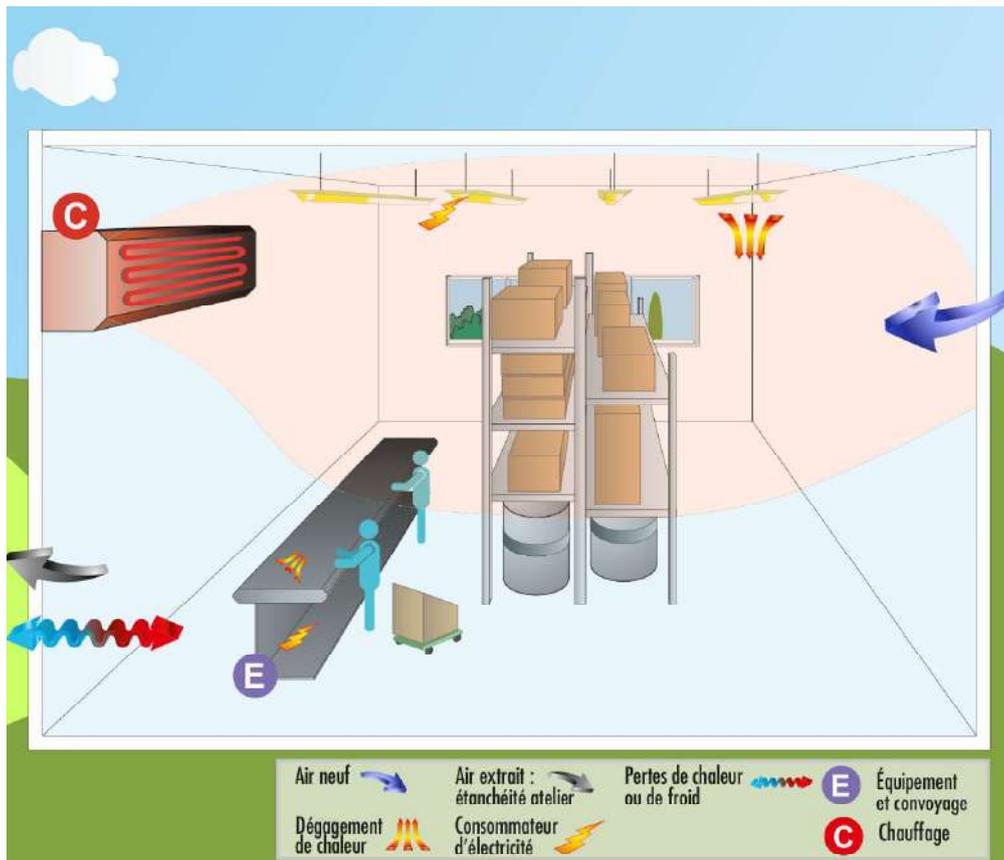


Schéma de principe d'un atelier de stockage type (source : ENEA Consulting, Cetiati)

Les caractéristiques de cet atelier-type sont le stockage (entrepôt), avec un conditionnement chaud relativement restreint, chauffage hors-gel pour les besoins des produits stockés et, dans une moindre mesure, pour le confort des employés. Généralement, seules certaines zones dans lesquelles sont présents des employés sont chauffées.

Il n'y a que des usages liés aux utilités dans l'atelier. En fonction des entrepôts, de leur taille, et de l'importance des procédés, les parts gaz et électricité dans la consommation énergétique peuvent être équivalentes, ou la consommation d'électricité peut être prédominante.

Ces ateliers sont généralement très grands (surface supérieure à 10 000 m²), avec une grande hauteur sous plafond (supérieure à 10 m).

Chaque secteur utilise un local de stockage plus ou moins important, avec ou sans personnel permanent ainsi que de moyens de manutention/transport plus ou moins automatisés. La logistique est particulièrement concernée par cette description.

Sur les aspects énergétiques, au sein d'un atelier de stockage, la consommation énergétique correspond majoritairement aux usages liés aux utilités : éclairage et chauffage. D'une manière générale, la part « utilité » au sein de l'atelier de stockage peut varier de 50% à 95%, en fonction des activités mises en œuvre.

L'éclairage est bien souvent le poste prédominant (50% ou plus de la consommation globale en énergie primaire), suivi du poste chauffage. La part de chauffage peut également varier en fonction du type d'activité et de la température minimale requise. D'après une étude du groupe de travail « Plan Bâtiment Grenelle », 95% des entrepôts (hors stockage froid) ne sont pas chauffés, mais simplement maintenus à une température minimale (hors-gel).

16

Les paramètres suivants ont été pris en compte pour la représentation de l'atelier-type :

- Périmètre de l'atelier :
 - o Atelier de stockage (entrepôt),
 - o Procédés présents dans l'atelier : convoyage, transport par chariot, manutention, conditionnement.
- Caractéristiques de l'atelier :
 - o Rythme : 2*8, 5 jours sur 7
 - o Eclairage moyen de 5 W/m². Atelier non éclairé la nuit, éclairage de 50% le week-end.
 - o Superficie : 12 000 m², hauteur 12 m
 - o Température : chauffage hors-gel visé dans toutes les zones de l'atelier, y compris les zones les plus froides : température à hauteur d'homme de 6°C, température moyenne de l'entrepôt de 9,3°C.
 - o Renouvellement d'air assuré par ventilation naturelle (38 400 m³/h, soit 20% du volume par heure).
 - o Bâtiment moyennement isolé (isolant de 80 mm d'épaisseur au niveau des murs et toit)

Dans ces hypothèses, les consommations énergétiques sont les suivantes :

- Electricité : de 25 à 40 kWh/an/m²
- Gaz : 35 à 55 kWh/an/m²

Dans lesquels on retrouve :

- Eclairage : 20 à 30 kWh/an/m²
- Chauffage : 35 à 55 kWh/an/m²
- Equipements : 5 à 10 kWh/an/m²

Sensibilisation à l'optimisation des consommations énergétiques

En optimisant les performances énergétiques des équipements, on peut arriver aux ratios suivants :

- Consommations énergétiques :
 - Electricité : 12 à 18 kWh/an/m²
 - Gaz : 20 à 32 kWh/an/m²
- Répartition :
 - Eclairage : 7 à 11 kWh/an/m²
 - Chauffage : 20 à 32 kWh/an/m²
 - Equipements : 5 à 7 kWh/an/m²

La caractéristique de cet atelier-type est le stockage. Il s'agit donc d'ateliers de grands volumes, peu ou partiellement chauffés, dans lesquels la prise en compte du confort des employés est par conséquent assez difficile.

Dans le cas plus large du concept de PIC Valgo, plusieurs pistes d'optimisation peuvent être identifiées, en fonction de la hiérarchisation des besoins et/ou des objectifs de l'investisseur :

- Equilibre confort/équipement

Ces actions visent en priorité l'amélioration des conditions de travail des employés au sein des ateliers de stockage. Les recommandations de l'Institut National de Recherche et de Sécurité, vont dans le même sens (rythme de pauses adapté, accès à des locaux de détente chauffés, avec mise à disposition de boissons chaudes, utilisation de vêtements adaptés).

- Réduction de la charge thermique due à l'éclairage

Le principal poste de consommation énergétique concerne les utilités et plus particulièrement l'éclairage. Ainsi, les deux pistes d'amélioration offrant les meilleures perspectives en termes de performance énergétique sont l'optimisation de l'éclairage par l'ajustement de l'éclairage en fonction du besoin, et sensibilisation du personnel, l'utilisation d'un éclairage performant permettant une consommation réduite avec une luminosité équivalente comme les tubes fluorescents, lampes fluocompactes, LED, lampe sodium basse pression, la maîtrise des flux de l'environnement de travail.

Par ailleurs, en plus des actions visant le mode de chauffage, une meilleure isolation du bâtiment et une optimisation des ouvertures de l'entrepôt peuvent également permettre d'améliorer la performance globale de l'atelier. Ainsi, une meilleure gestion des systèmes d'ouverture (ouverture et fermeture automatiques) peut permettre de réduire la consommation énergétique liée au chauffage, tout en améliorant la sensation de confort des employés.



Si l'on considère par exemple la proposition de Gazeley, leurs bâtiments devraient être sous le label BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), level « Very Good », correspondant à un niveau de performance environnementale supérieur ou égale à 55% d'obtention de points ou crédits sur l'ensemble des chapitres couvrants le bâtiment. Gazeley devrait donc atteindre un score de 62 crédits. Le chapitre « Energie » représente 21 crédits, sur un total de 112 crédits, soit 19% du score possible.

Bilan moyen des besoins et consommations

Bien que les postulants à l'investissement sur site aient mentionné leurs besoins énergétiques (en électricité et gaz), il a été décidé de ne pas en tenir compte, au regard des valeurs transmises, qui semblent totalement hors de proportion vis-à-vis des activités envisagées.

Cependant, afin de maximiser les besoins énergétiques sur site et ainsi d'identifier les moyens de production et la ressource en énergies primaires suffisante, un ratio énergétique de consommation moyenne a été fixé à 50 kWh/an/m², par source énergétique, soit un total de **100 kWh/an/m² si l'on groupe les besoins en électricité et en gaz.**

Au regard des superficies disponibles à l'investissement, représentant au total 20 ha, les besoins énergétiques devraient alors de 20 000 MWh/an, soit environ un besoin en puissance installé de 2,5 MW pour un temps de fonctionnement de 8 000 heures par an.

A l'heure actuelle, le site de Petit Couronne est alimenté par un poste électrique dont la capacité d'approvisionnement est saturée, présentant ainsi une puissance limitée à 10 MW.

Cependant, certains investisseurs ont d'ores et déjà proposé d'intégrer dans leurs bâtiments de solutions de production énergétique afin de subvenir à leurs besoins. Bien que ceux-ci puissent paraître surdimensionnés quant au chiffrage avancé, il permet néanmoins d'appréhender de façon plus large les capacités techniques dont disposeront demain les investisseurs.

Dans ce cadre, le cas de la proposition de Gazeley revêt un aspect plus qu'intéressant de par la technologie qu'ils développent.

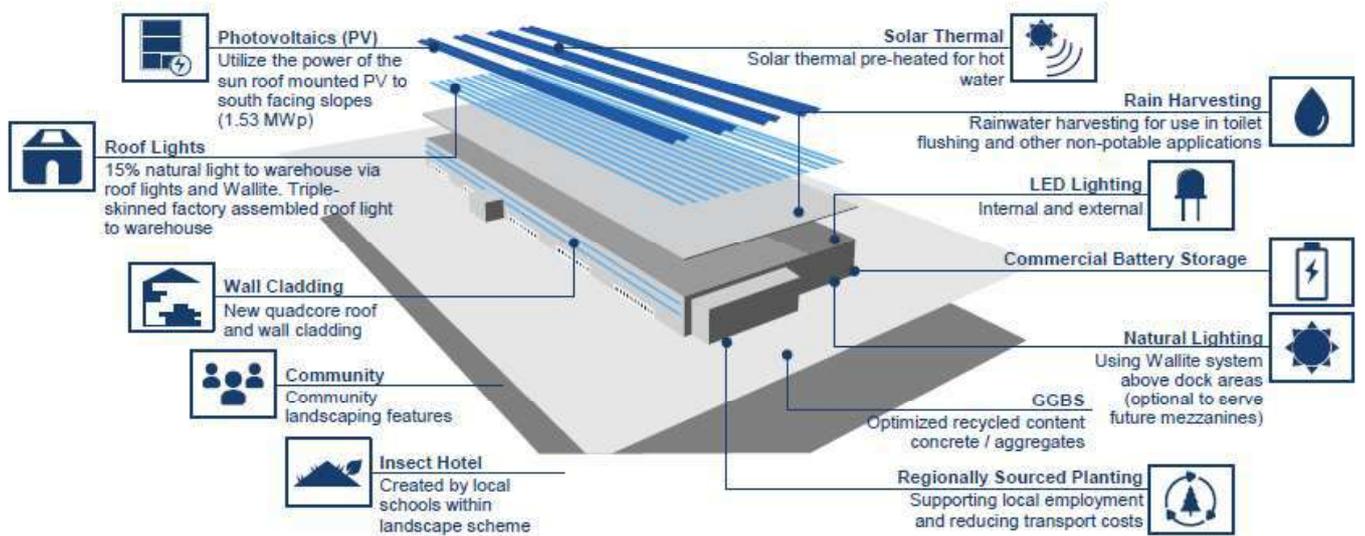


Schéma de bâtiment avec gestion énergétique Gazeley (source : Gazeley)

Identification des politiques locales

La Métropole Rouen Normandie

La Métropole Rouen Normandie, c'est l'assurance d'une gestion plus efficace et plus économique des compétences, des moyens techniques et des ressources humaines indispensables au fonctionnement d'une commune. Notamment lors de la réalisation de certaines missions : aménagement de l'espace, protection de l'environnement, expertises dans les domaines juridiques des finances, des marchés publics, etc. Gestion des déplacements, collecte des déchets, gestion de l'eau et de l'assainissement...les compétences de la Métropole s'inscrivent dans un large champ d'actions. Avec un objectif majeur : le développement durable du territoire.

Concernant les compétences des services publics et d'intérêt général, un réseau de transports en commun renforcé, une eau de qualité à un prix raisonnable, une mise aux normes régulière des équipements en matière d'assainissement, une politique des déchets ménagers efficace et respectueuse de l'environnement; La distribution publique de l'énergie (en tant qu'autorité organisatrice de la distribution publique d'électricité et de gaz ainsi que de création, aménagement, entretien et gestion des réseaux de chaleur ou de froid urbains; la gestion et l'extension des crématoriums.



Le 1er janvier 2016, à l'occasion de son premier anniversaire, le Président de la Métropole, Frédéric SANCHEZ, a présenté le Projet métropolitain « *une décennie de Projets 2015-2025* ». En page 25 de ce document, concernant le volet « Réduire l'Empreinte Ecologique », la Métropole précise sa politique concernant la réduction et la valorisation des déchets :

« En 2015, la Métropole a atteint son objectif de réduire de 7% les déchets produits en 5 ans. Les efforts seront poursuivis en encourageant l'évolution des comportements individuels et notamment le tri, grâce à des collectes spécifiques pour chaque type de déchets qui permettent ensuite leur valorisation, grâce aussi à la modernisation de la collecte et des investissements dans des équipements de valorisation (recycleries, déchetteries...) »

20

Dès 2012, la Communauté d'agglomération Rouen - Seine-Austreberthe, aujourd'hui Métropole, a fait le choix de s'associer à la Communauté d'Agglomération Seine-Eure à travers la création d'un Pôle Métropolitain, rassemblant 560 000 habitants et 107 communes urbaines et rurales dans une structure dédiée qui renforce les actions communes dont les deux EPCI conviennent.

Limitrophe de la Métropole, dans le département voisin de l'Eure, la CASE propose un cadre de vie d'une grande richesse (la forêt de Bord, la Seine, l'Eure) et des potentialités économiques de premier plan à une heure de Paris. Son histoire industrielle et sa proximité immédiate aux grands axes routiers lui permettent de porter aujourd'hui près de 30 000 emplois dont de nombreux emplois industriels de pointe et tertiaires (pharmacie, cosmétique, logistique...).

Dans le cadre de cette étude, ce sont bien les compétences de la Métropole qui nous intéressent.

Le rapport d'activités 2017 de la Métropole, permet d'évaluer plus précisément les orientations globales prises par la Métropole en termes de Maîtrise des déchets et des Énergies.

Concernant l'attractivité du territoire, il y est fait mention du développement de la filière Hydrogène, par l'installation de station et de partenariat : « Afin d'offrir aux professionnels une autonomie supérieure des véhicules électriques, une station de distribution d'hydrogène gazeux haute pression pour véhicules légers a été installée. La station est utilisée par la Métropole, la Région, Viafrance, La Poste, Veolia, Engie. La maintenance est également assurée. ».

Concernant le développement durable du territoire, il est fait mention du schéma directeur des énergies : « Depuis le 1er janvier 2015, la Métropole Rouen Normandie a étendu ses compétences dans le domaine de l'énergie : distribution d'électricité et de gaz, création, aménagement, entretien et gestion des réseaux publics de chaleur ou de froid urbains et contribution à la transition énergétique. Ces compétences complètent la compétence antérieure de « soutien aux actions de maîtrise de la demande d'énergie » pour laquelle des actions ont déjà été engagées : Espace Info Énergie, Conseil en Énergie Partagé, Plan Climat Air Énergie Territorial... ».

Concernant l'assurance d'un service public de qualité, le thème de la gestion des déchets est abordé : La Métropole, par la nature même de son activité concernant la maîtrise des déchets, réalise ses objectifs, en recherchant les conditions d'un développement durable. La réduction et le tri des déchets mais également les actions d'optimisation des collectes visent à réduire l'empreinte carbone et répondent aux enjeux de sécurisation des métiers, économie d'énergie, lutte contre le changement climatique et la pollution atmosphérique... Sur ce dernier point, une étude comparative innovante des émissions, selon la motorisation des bennes à ordures ménagères, est programmée en 2018.

I.F.H.V.P.

Enfin, concernant la distribution publique de l'énergie, la Métropole fixe le cadre pour la Chaleur, l'électricité et le gaz. Pour répondre aux enjeux de développement durable du territoire, la Métropole Rouen Normandie :

- Élabore une politique globale en matière de choix énergétique impliquant aussi de valoriser les ressources du territoire
- Assure une qualité de service public adapté aux besoins des usagers et aux réalités territoriales de la Métropole
- Coordonne la programmation et la réalisation des travaux en lien avec les gestionnaires et les concessionnaires
- Suit et contrôle les services publics de distribution d'énergie

Distribution publique de l'énergie

Distribution publique de chaleur

Depuis le 1er janvier 2015, la Métropole Rouen Normandie gère les services publics locaux de distribution de chaleur. Elle a aujourd'hui en charge huit réseaux de chaleur publics, dont 6 sont gérés sous la forme de délégations de service public (3 délégataires : CORIANCE, DALKIA et ENGIE COFELY) et 2 sont gérés par la Régie publique de l'énergie calorifique, créée le 1er janvier 2018. En 2017, ces réseaux ont délivré 320 000 MWh de chaleur aux abonnés, soit l'équivalent de 32 000 équivalents logements. 61% de cette chaleur provient d'une énergie renouvelable ou de récupération (ENR&R).

Énergie principale	Réseau	Date de création	Mode de gestion	Délégataire (société dédiée) ou exploitant	Taux ENR&R***	MWh livrés 2017	Site internet dédié
Biomasse	Mont Saint Aignan	1959	DSP	CORIANCE (Mt-St-Aignan Énergie Verte)	66%	68 399	http://www.montsaintaignan-energie-verte.fr/
	Canteleu	1975	DSP	DALKIA (Canteleu Énergie)	73%	46 742	
	Rouen Grammont	2008	DSP	DALKIA (Rouen Grammont Énergie)	87%	15 889	http://www.rouengrammontenergie.fr/
	Maromme	2012	DSP	COFELY (Maromme Bio Énergie Services)	92%	33 248	http://maromme.reseau-chaleur.com/

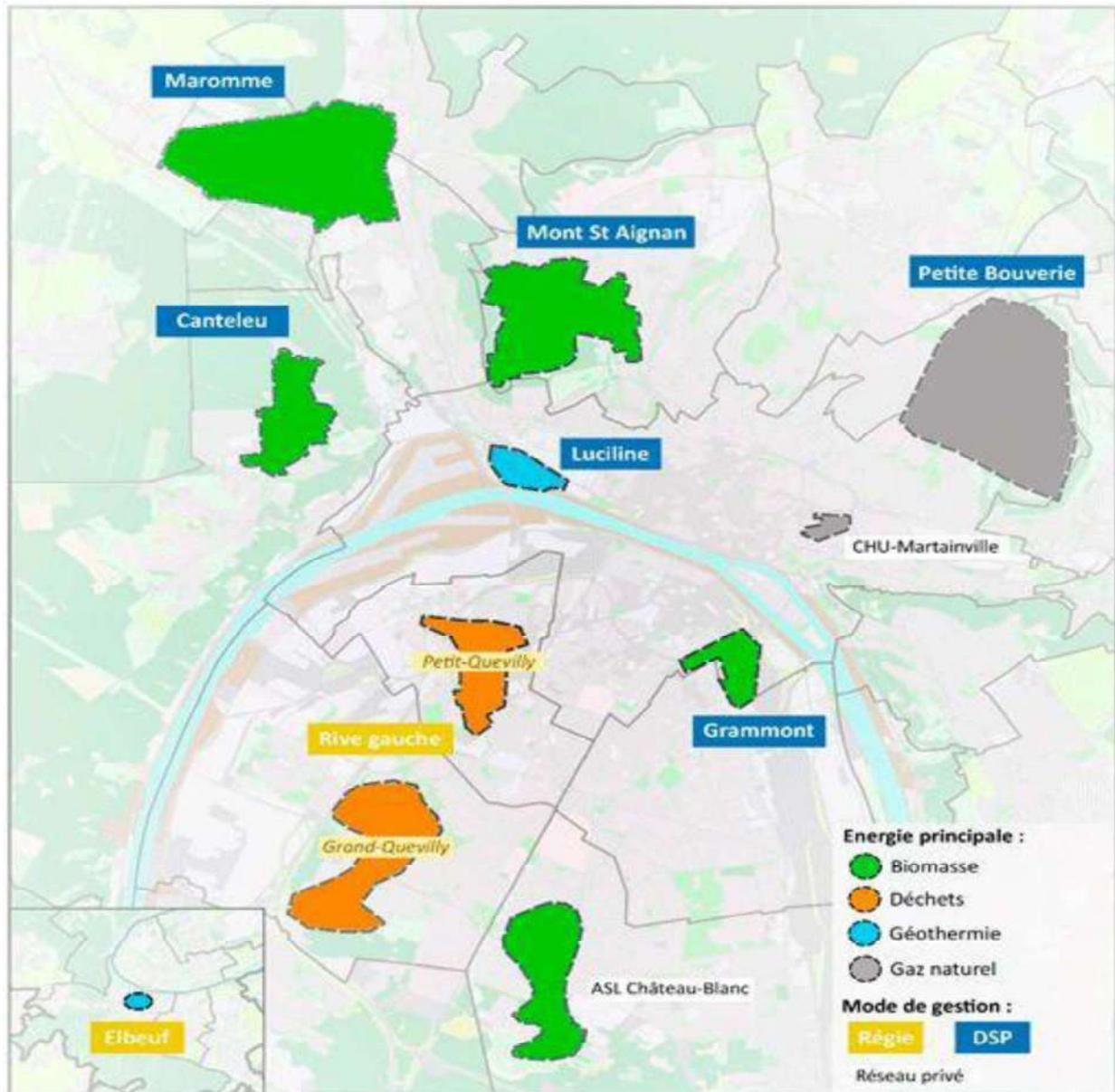
UIOM*	Rive gauche		Régie	COFELY	86%	84 431	
	. Branche "Petit Quevilly"	1975			68%	37 619	
	. Branche "Grand Quevilly"	2013			100%	46 812	
Géothermie	Rouen Luciline	2013	DSP	COFELY (Rouen Luciline Énergies Nouvelle)	81%	1323	
	Elbeuf - quartier Franklin	1992	Régie	CRAM	100%	534	
Gaz**	Petite Bouverie	1961	DSP	DALKIA (Réseau Petite Bouverie)	-	72 303	http://reseau-petitebouverie.fr/
Total réseaux Métropole					61%	322 869	

*Chaleur de récupération issue de l'incinération des ordures ménagères (Unité de valorisation énergétique VESTA)

** Biomasse à partir de 2020

*** Énergie renouvelable et de récupération

Il existe également sur le territoire deux réseaux privés, qui ne sont pas gérés par la Métropole : le réseau Martainville, alimenté par le CHU (gaz naturel) et le réseau du Château Blanc à Saint-Etienne du Rouvray, géré par l'ASL du Château-Blanc (biomasse).



Cartographie des réseaux de chaleur du territoire

Maîtrise des Déchets

L'évolution rapide des technologies et des normes en matière de valorisation et de recyclage des déchets incite les collectivités et établissements publics à gérer ces questions à une échelle pertinente.

24

La Métropole permet la mise en commun des moyens humains et techniques pour améliorer l'efficacité de la collecte tout en encourageant le tri sélectif et les comportements écocitoyens. Elle préconise des actions concrètes :

- En application de ces statuts, a été mis en place un "pôle de la maîtrise des déchets et d'éducation à l'environnement". Ce pôle, composé de 200 agents, a pour mission d'assurer la collecte des déchets mais aussi la distribution des sacs et des bacs, l'entretien du matériel et des installations, et la gestion du personnel.
 - Une collecte et un traitement des déchets efficaces : élaboration d'un schéma global, circuits de collecte adaptés aux besoins des usagers, mise aux normes des équipements obsolètes...
 - L'amélioration du tri sélectif : développement du tri sélectif des déchets par les habitants par une information ciblée et des conseils personnalisés,
 - Une action sur les comportements des citoyens-consommateurs : en éduquant et associant les habitants dès le plus jeune âge.
- Elle a confié à CITEO la gestion des emballages et des papiers :
 - Née du rapprochement d'Eco-Emballages et Ecofolio, Citeo est une société créée par les entreprises pour développer des solutions efficaces pour le tri et le recyclage et réduire l'impact environnemental des emballages et des papiers.

Le Syndicat Mixte d'Élimination des Déchets de l'Arrondissement de Rouen (SMEDAR)

Présentation

Créé en mars 1999, le SMEDAR regroupait, au 1^{er} janvier 2017, 160 communes, réparties entre les 5 collectivités adhérentes.

Le syndicat valorise les déchets des 610 000 habitants de l'arrondissement de Rouen et de la ville de Dieppe. 160 communes lui ont transféré cette compétence, exercée ainsi dans un cadre mutualisé.

Le Smédar a pour objet d'assurer les opérations qui participent au traitement et à la valorisation des déchets ainsi que les opérations de transport, de tri ou de stockage qui s'y rattachent.

Il exerce ses compétences dans le but d'assurer la valorisation énergétique, la valorisation matière ou le recyclage, et la valorisation agronomique, dans le respect de la réglementation en matière d'environnement. Le syndicat a compétence pour construire ou aménager et exploiter les équipements indispensables au fonctionnement du dispositif et pour réaliser toute étude relative à son objet.

Equipements

Les équipements du Smédar sont les maillons incontournables du dispositif multi-filières mis en place par le Syndicat. La concentration de la majorité d'entre eux sur l'écopôle Vesta à Grand-Quevilly facilite l'exploitation et génère des gains de productivité. Chaque déchet - ordures ménagères, déchets industriels et commerciaux banals, déchets d'activités de soins, déchets recyclables, déchets verts- trouve une filière et des équipements adaptés permettant sa valorisation :

25

- L'unité de valorisation énergétique (VESTA) : Mise en service en 2000 ; Capacité : 325 000 tonnes ; Déchets réceptionnés : ordures ménagères, déchets industriels et commerciaux banals, déchets d'activités de soins.
- Le réseau de chaleur "Vésuve" : Mise en service en 2013 ; Distribution de la chaleur pour chauffer 10 000 logements et de nombreux bâtiments publics.
- Le centre de tri : Construction du bâtiment en 2006 - Nouvelle chaîne de tri en 2016 ; Capacité : 35 000 tonnes ; Déchets réceptionnés : emballages ménagers recyclables et papiers.
- L'unité de traitement des encombrants : Mise en service en 2005 ; Capacité : 30 000 tonnes.
- L'unité de traitement des mâchefers : Mise en service en 2002 ; Capacité : 70 000 tonnes.
- L'unité Logistique-Maintenance : Mise en service en 2008.
- Deux plateformes de compostage des déchets verts, situées à Saint-Jean du Cardonnay et Cléon ; Capacités : 40 000 tonnes et 15 000 tonnes.
- Une plateforme de transfert des déchets verts à Boos.
- Cinq quais de transfert, regroupant les collectes des secteurs éloignés, sont aménagés sur le périmètre. Le transport entre ces quais et les sites de traitement est assuré en partie par le Smédar.

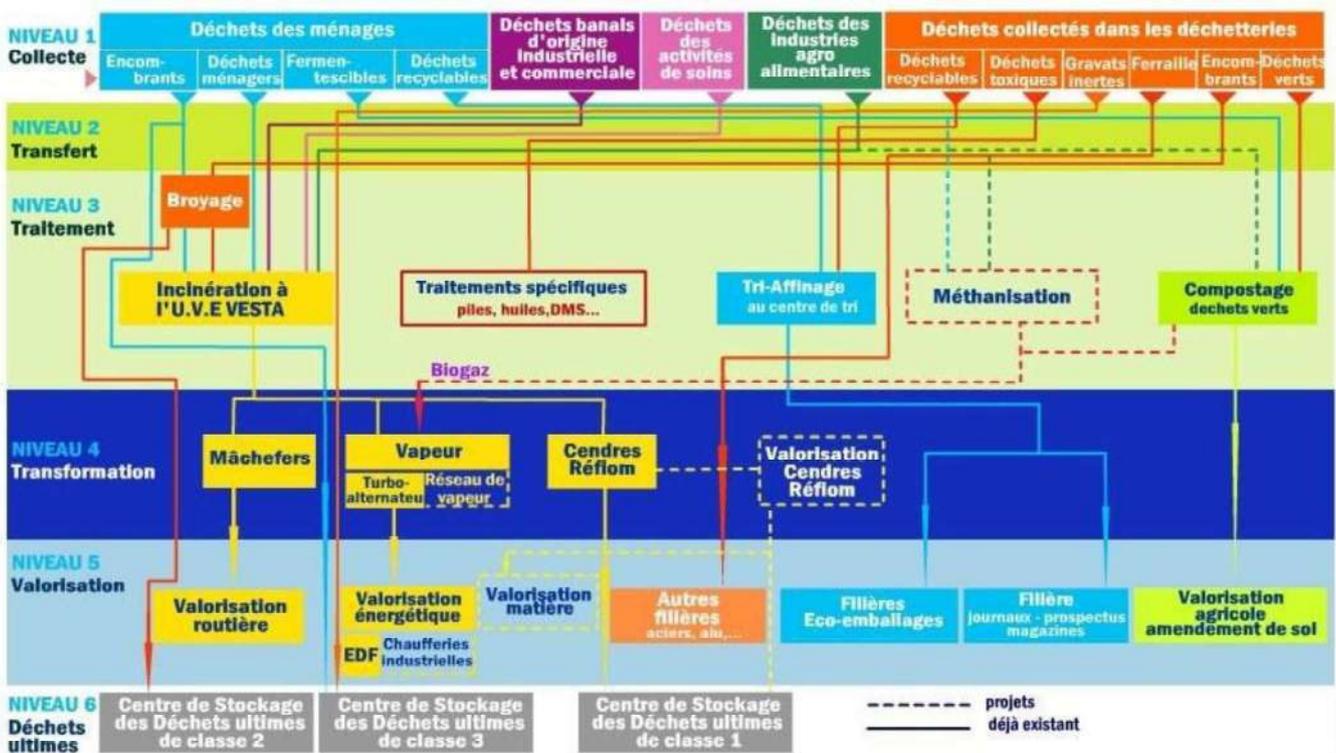


Schéma global de valorisation des déchets (source : SMEDAR)

L'Observatoire des déchets

Afin de répondre aux exigences de la loi qui fonde le droit à l'information de toute personne en matière de gestion des déchets, Le Smédar s'est doté d'un observatoire, instrument principal de la transparence de son fonctionnement. Cette structure a pour objectif d'apporter à tous les acteurs du traitement des déchets des informations qui leur sont nécessaires pour assurer leurs missions. Elle constitue un outil d'aide à la décision au service des élus pour la mise en œuvre d'une politique globale et durable de gestion des déchets.

26

Le Plan Régional de Prévention et de Gestion des Déchets (PRPGD) de Haute Normandie

L'examen de ce plan a pour objectif d'identifier les installations existantes de déchets ne relevant pas du champ de compétences du SMEDAR. Ensuite, pour chacune d'entre-elles, une prise de contact fera l'objet d'une évaluation de leur gisement de refus de tri potentiellement utilisable pour produire des CSR.

Recensement des installations existantes de gestion des déchets

- Les déchèteries, un réseau de collecte de proximité
- Les unités de gestion des déchets non dangereux (Quais et Centres de Transfert)
- Plateformes de compostage
- Points de regroupement des déchets du BTP
- Installations de méthanisation en Normandie
- **Centres de tri des DMA**
- Papetiers et cartonneries en Normandie
- **Unités de tri mécano-biologique des DMA**
- Unités de valorisation énergétique
- Les incinérateurs de boues de STEP industrielles
- Installations de stockage
- Unité de préparation et de valorisation des mâchefers en Normandie
- Installations de traitement des déchets dangereux en Normandie

Parmi ces différents types d'installations, seulement deux (en gras) sont susceptibles de produire des refus de tri utilisables pour la production de CSR.

DPT	TMB	Exploitant	Tonnages entrants 2015 (t/an)	Capacité annuelle
50	Cavigny	Syndicat mixte du Point Fort	40 771	60 000 t/an d'OMr 12 000 t/an de déchets verts
76	Brametot	SMITVAD	28 442	36 000 t/an

Tableau 34 : Unités de Tri Mécano-Biologique en Normandie en 2015 (Source Biomasse Normandie)

DPT	Centre de tri	Exploitants	Tonnages 2015	Capacité nominale
14	ROCQUANCOURT	GDE - GUY DAUPHIN ENVIRONNEMENT	22 746 t	31 000 t
27	ETREPAGNY	SYGOM	7 500 t	10 000 t
27	PONT-AUDEMER	SDOMODE	8 277 t	9 000 t
50	DONVILLE-LES-BAINS	SPHERE	18 216 t	25 000 t
50	TOURLAVILLE	CA du Cotentin	6 154 t	15 000 t
76	LE HAVRE	IPODEC	33 565 t	42 000 t
76	VAL-DE-SAANE	IKOS - VI ENVIRONNEMENT	3 758 t	20 000 t
76	LE GRAND-QUEVILLY	SMEDAR	25 067	25 000 t
27	GUICHAINVILLE	SETOM	14 055	20 000 t
50	CAVIGNY	POINT FORT ENVIRONNEMENT	7 104	8 000 t
14	MAISONCELLES-PELVEY	EATS	5 032	3 940 t
14	LISIEUX	BAC Environnement	952	4 140 t

Tableau 32 : Centres de tri en Normandie en 2015 (Source Biomasse Normandie)

Installations les plus proches de PIC VALGO :

- (76) Brametot à 60 km Refus de Tri = 10 000 T
- (76) Val de saâne à 45 km Refus de Tri = nr
- (27) Pont Audemer 46 km Refus de Tri = nr
- (27) Etrepagny à 56 km Refus de Tri = nr
- (27) Guichainville à 55 km Refus de Tri = nr

Identification des sources énergétiques

Energies « naturelles » renouvelables

Pour rappel, les énergies dites naturelles ou renouvelables sont l'ensemble des énergies provenant de sources que la nature renouvelle en permanence, par opposition à une énergie non renouvelable dont les stocks s'épuisent. Les énergies renouvelables proviennent de deux grandes sources naturelles que sont le soleil (à l'origine du cycle de l'eau, des marées, du vent et de la croissance des végétaux) et la Terre (qui dégage de la chaleur). Surnommées « énergies propres » ou « énergies vertes », leur exploitation engendre très peu de déchets et d'émissions polluantes.

28

La biomasse

Seconde source d'énergie renouvelable utilisée dans le monde, la biomasse constitue un panel important de gisements qui couvre de par leur diversité un ensemble de procédés thermiques ou biochimiques très larges.

Le but ici n'est pas de faire un inventaire exhaustif des possibilités actuelles et futures voire hypothétiques de l'utilisation de ces ressources mais d'orienter le commanditaire vers des solutions techniques et économiquement pérennes afin d'assurer un approvisionnement énergétique stable.

Aussi, dans le contexte géographique défini, il nous apparaît comme pertinent d'étudier le recours à la biomasse sous majoritairement deux formes :

- La biomasse dite directe, i.e. la ressource bois et produits connexes
- La biomasse dite indirecte dont la valeur énergétique est obtenue par des procédés mécaniques dont l'extraction.

La biomasse bois

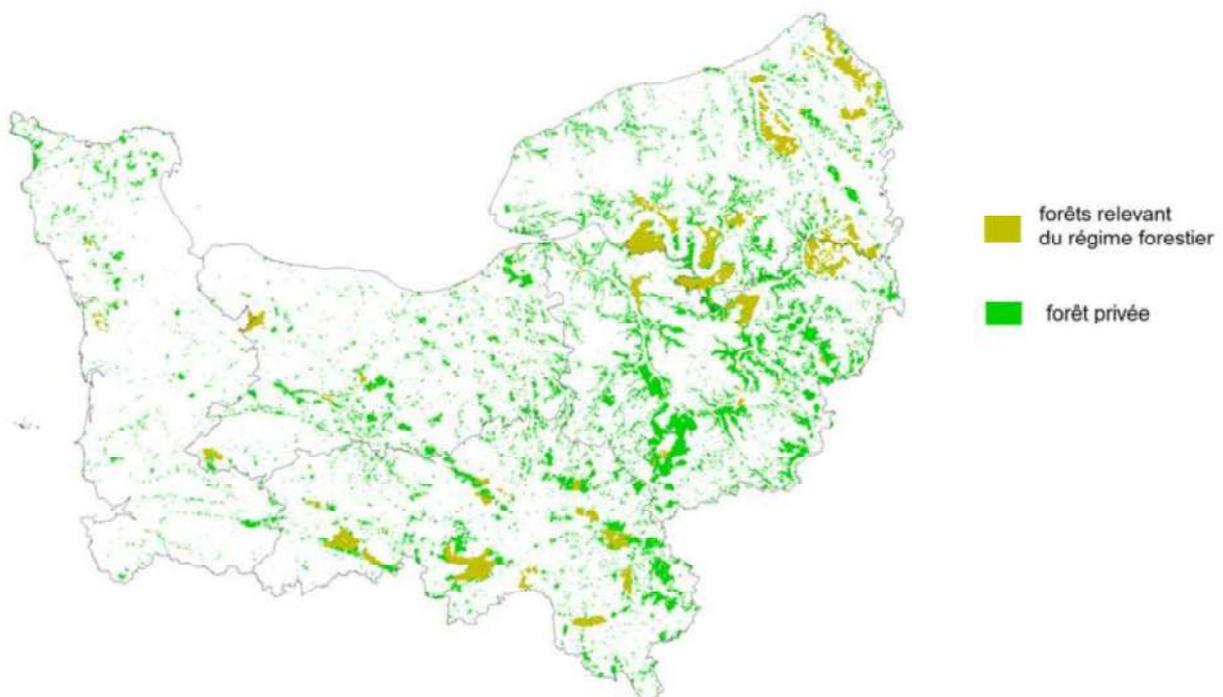
Pour rappel, la biomasse rassemble la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales issues de la terre et de la mer, de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers.

29

Le recours à la biomasse bois peut présenter de nombreux avantages comme notamment le soutien à la filière locale de valorisation et d'entretien des espaces boisés, à l'instar des aménagements sur site. Cependant, il convient de définir ce gisement dans le respect des filières préexistantes.

A ce titre, la région Normandie présente un potentiel important en matière de valorisation de la ressource bois, qu'il s'agisse du bois issu de la ressource forestière, paysanne et urbaine, comme des produits connexes de l'industrie du bois ou encore du bois en fin de vie. Ce dernier gisement peut alors être apparenté à la gestion et la valorisation d'un déchet local.

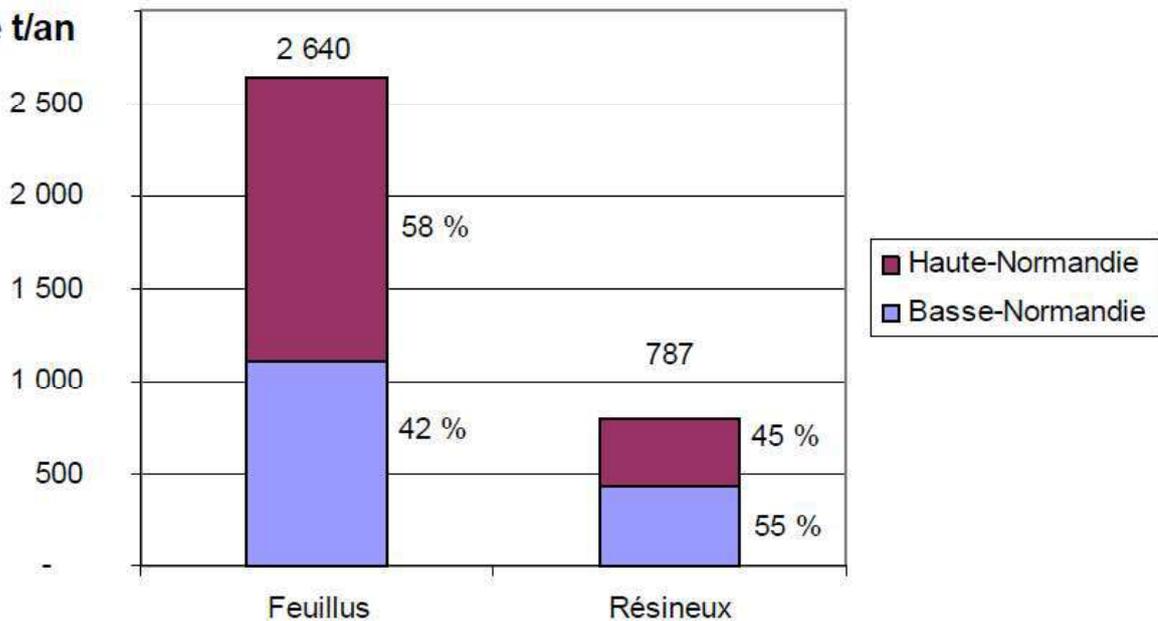
La forêt normande s'étend sur près de 394 000 ha, dont 97% sont consacrés à la production de bois.



Carte des forêts normandes (source : CRPF 2008)

Cette superficie représente un stock de bois sur pied d'environ 85 millions de tonnes et une production biologique d'environ 3.4 millions de tonnes par an, soit un ratio de 8.7 t/ha.

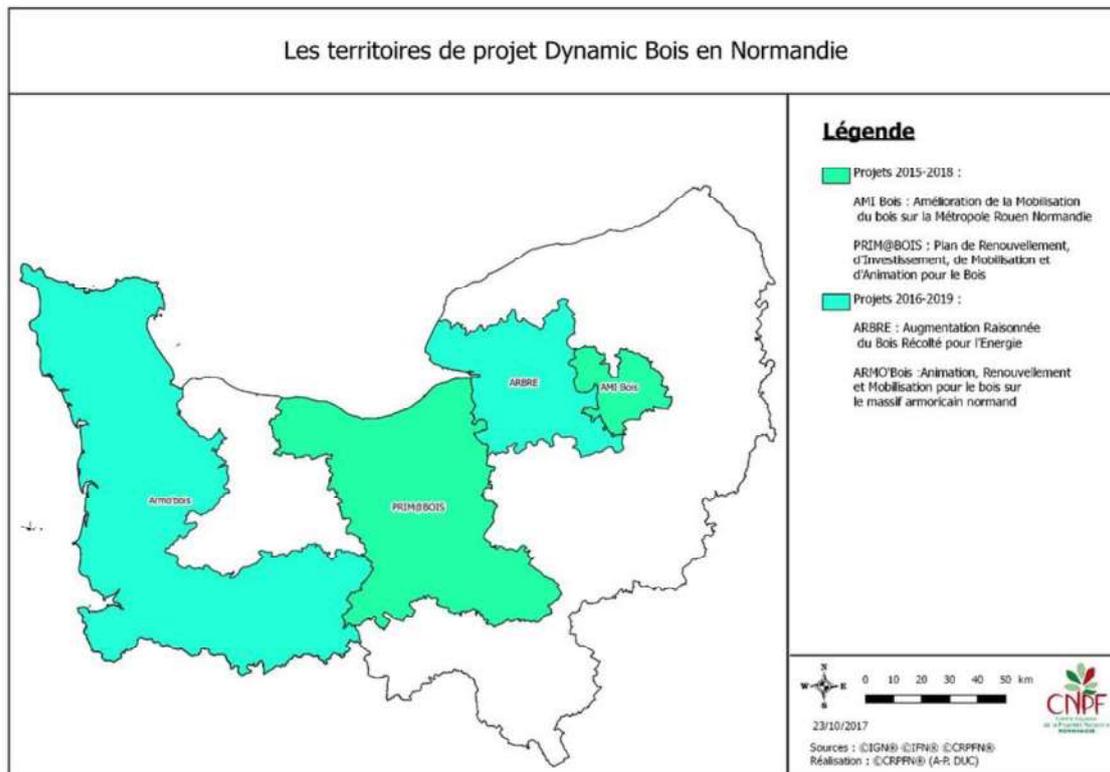
milliers
de t/an



Production des forêts normandes (source : IFN 2008)

Localement, depuis 2004 les massifs forestiers de la Métropole Rouen Normandie sont intégrés dans une démarche locale d'aménagement et de développement nommée charte forestière de territoire. Ce document, constitué d'un vaste programme d'actions en faveur de la forêt, prévoit notamment la mise en œuvre d'un plan de développement de massifs (PDM) en forêt privée (environ 40 % des forêts de la Métropole). Celui-ci a officiellement débuté en janvier 2012 par la contractualisation d'un accord entre la Métropole et le CRPF, maître d'ouvrage de cette action. Il vise notamment à augmenter la mobilisation des bois des forêts privées afin de participer à la création et l'approvisionnement de filières locales bois énergie. Parallèlement, la Métropole a lancé avec Biomasse Normandie une enquête sur les chaudières bois existantes et en projet sur son territoire pour alimenter les réflexions en matière de filière courte.

L'ADEME a lancé en 2015 et 2016, deux Appels à manifestation d'intérêt (AMI) dit DYNAMIC Bois visant à faire émerger du terrain des projets collaboratifs, afin de permettre une mobilisation de bois additionnelle et de sécuriser l'approvisionnement des chaufferies biomasse. En Normandie, deux projets ont été sélectionnés en 2015 (PRIMABOIS et AMIBOIS) et deux autres en 2016 (ARBRE et ARMO'BOIS). La carte suivante présente les territoires des différents projets :



Ainsi, devant la mobilisation de la ressource en bois localement, il peut paraître intéressant d'intégrer ce gisement dans une approche environnementale du site. Néanmoins, au regard des besoins du site, demandant très majoritairement un approvisionnement en électricité, ainsi que des conditions techniques d'implantation d'une unité de valorisation énergétique, permettant de produire de l'électricité ainsi que de la chaleur le cas échéant à partir du bois, un tel projet peut s'avérer complexe et risqué, demandant un développement pouvant être long et coûteux.

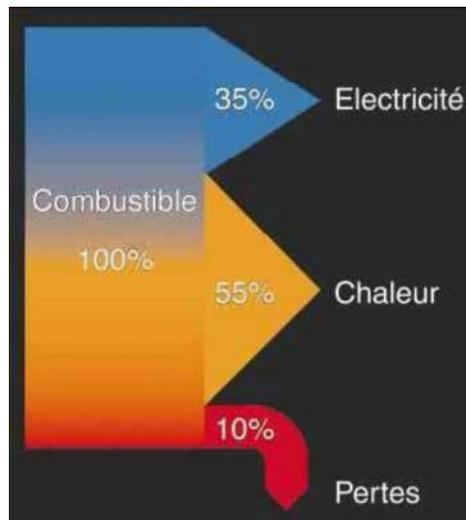
La mise en place d'un approvisionnement par biomasse bois demanderait donc une étude plus approfondie pour déterminer les impacts technico-économiques tant pour l'investisseur que pour la filière locale, déjà fortement sollicitée.

La biomasse indirecte oléagineuse

La seconde ressource issue de la biomasse pouvant être utilisable sur site a été identifiée comme le recours à la production de biocombustibles, permettant d'alimenter soit une chaudière avec brûleur polycombustible ou spécifique huile couplée à une turbine pour la production d'électricité, soit une unité de cogénération couplée à un groupe à absorption.

32

La cogénération, i.e. la production simultanée de chaleur et d'électricité à partir d'une ou plusieurs énergies primaires, présente de nombreux avantages, sur les plans techniques, économiques et environnementaux. Techniquement, la cogénération repose sur un moteur à combustion interne par compression, technologie Diesel. La charge mécanique produit de l'électricité par l'entraînement d'un alternateur, la chaleur provient de la récupération sur le dit moteur, ainsi que sur les gaz d'échappement. Cette combinaison occasionne ainsi un rendement global de l'ordre de 90%, contre environ 56% pour une centrale classique.



Bilans d'une unité de cogénération

La cogénération présente donc un gain énergétique, qui se traduit par un gain environnemental et économique de par la réduction de la consommation globale.

En énergie primaire, de nombreuses sources peuvent alimenter une unité de cogénération, sous phase gazeuse comme liquide ou les deux (alimentation dite dual fuel). Cependant, la liste des sources utilisables étant trop longue à établir, dans le temps d'étude imparti, que le choix de l'approvisionnement s'est porté vers des solutions déjà expérimentée et donc les résultats sont largement connus.

Ce choix n'interdit en rien le recours à d'autres sources énergétiques dont la disponibilité pourrait être définie ultérieurement.

Ainsi, il est mis en avant le recours à un biocombustible de première génération, disponible en quantité et qualité suffisante pour l'approvisionnement du site. Il s'agit plus nommément d'Huile Végétale Pure, en l'occurrence de colza, produite localement.

Afin de présenter un avantage environnemental concret, l'huile végétale doit provenir d'une filière courte, locale et en dehors des modes de production industriels. La production d'HVP en filière courte doit s'effectuer par pressage à froid et sans modification chimique, en obtenant une qualité « carburant » par filtration mécanique. Il est donc nécessaire d'identifier et de pérenniser un approvisionnement en qualité et quantité suffisante au regard de l'unité dimensionnée, avec un producteur local, et garantir la qualité du produit.

	Essence	Gazole	EMH V	EMHV Tournes	HV P	HVP Tournes
Énergie restituée / Énergie fossile mobilisée	0,873	0,917	2,99	3,16	5,45	6,33

	Essence	Gazole	EMHV Colza	EMHV Tournesol	HVP Colza	HVP Tournesol
Indicateur effet de serre (g éq. CO₂/kg)	3650	3394	888	745	660	498

Etude PriceHouseWaterCoopers / Ademe / Direm 2002

Ces calculs ont été repris par l'IFHVP, sur base du modèle de filière courte que nous développons. Il en ressort qu'un kilogramme d'huile équivaut à 493 g équivalent CO₂, depuis le sol jusqu'aux gaz d'échappement.

Concernant le gisement et sa disponibilité, plusieurs points d'approvisionnement en local ont été identifiés. Au regard du dimensionnement actuel, ces unités de productions seront à même de fournir les quantités nécessaires. Les démarches administratives et qualitatives peuvent être rapidement menées afin de contractualiser avec les structures.

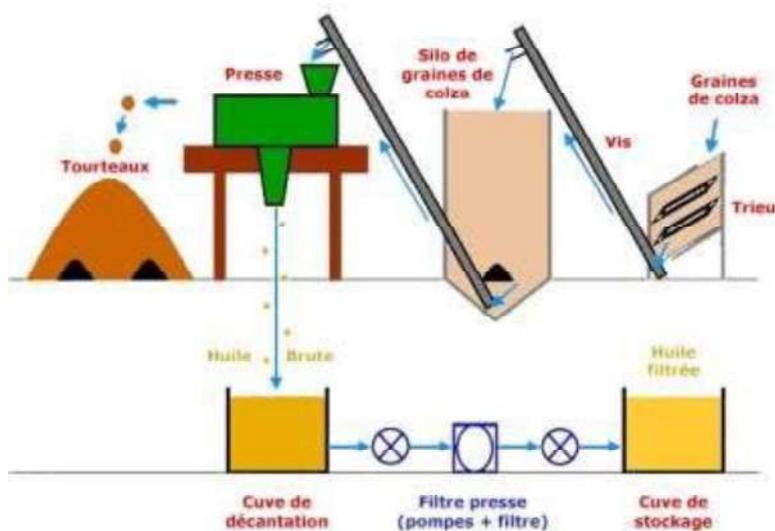


Schéma de principe d'une installation de production d'huile locale

I.F.H.V.P.

En effet, au niveau législatif, les démarches administratives concernant la déclaration du producteur et l'identification de son ou ses clients et des applications d'HVP doivent être clairement établis, permettant ainsi le versement de la Taxe Intérieure de Consommation des Produits Energétiques (TICPE), de la contribution à la gestion des stocks énergétiques stratégiques (CPSSP) et de la TVA conformément aux textes douaniers en vigueur.

Un encadrement complet de la filière d'approvisionnement, c'est-à-dire le choix du producteur et la contractualisation du marché d'approvisionnement, le suivi technique et analytique de l'unité de cogénération et du produit énergétique permettra d'assurer une exploitation sereine et pérenne des moyens de production d'énergies.

A titre informatif, le groupe Bouygues Immobilier a livré plusieurs bâtiments dont la génération d'énergie est effectuée par un ou plusieurs unités de cogénération fonctionnant en 100% HVP, sous le label BEPOS des Green Office® : Meudon, Trigone (Issy-les-Moulineaux), Cœur de Quartier Nanterre, Hikari et Link (Lyon). Plusieurs autres programmes immobiliers sont en cours de développement sur cette même base. L'IFHVP accompagne Bouygues Immobilier, ainsi que LUMA Arles dans ces démarches, de création de filières courtes.

L'éolien

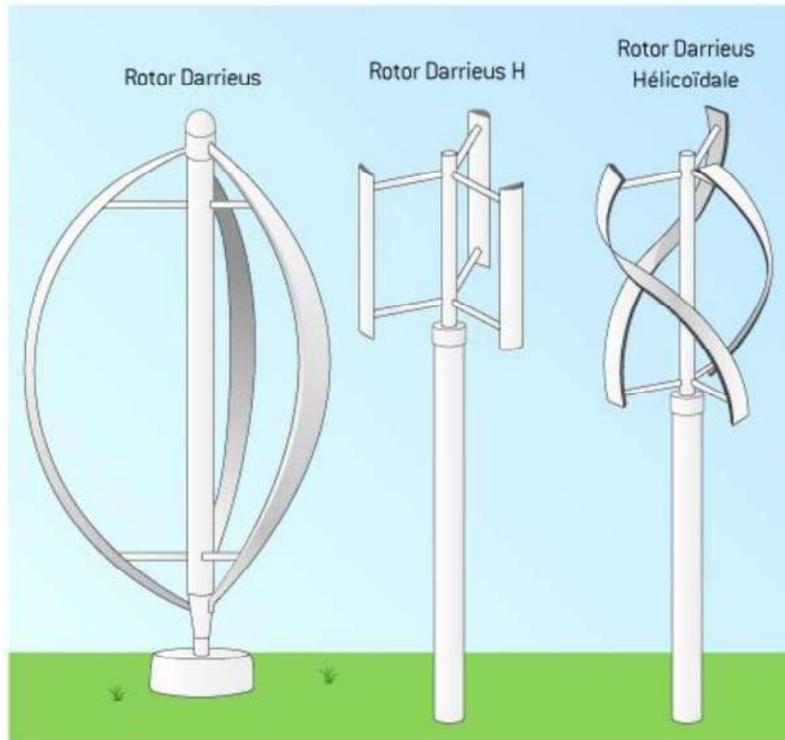
Au regard de la rose des vents identifiée à Rouen, l'éolien présente de nombreux intérêts pour un approvisionnement électrique du site.

Cependant, de par la configuration dudit site, ainsi que l'implantation des bâtiments, il est plus que fortement préconisé de ne s'intéresser qu'aux éoliennes dites verticales. Les pales de l'éolienne verticale tournent autour d'une tige positionnée verticalement, comme son nom l'indique. Elle peut capter des vents plus faibles ce qui lui permet d'être plus fréquemment exploitée. Elle demande moins d'espace qu'une éolienne horizontale. Elle s'adapte donc mieux aux bâtiments. Elle peut fonctionner quel que soit le sens du vent. Par contre, elle produit moins d'électricité que l'éolienne horizontale.

Les éoliennes verticales peuvent être éligibles à plusieurs aides écologiques. Plusieurs types d'éoliennes verticales sont disponibles. Ils ne répondent pas aux mêmes objectifs.

- **Type Darrieus** : il utilise un rotor évidé (hélicoïdal, H ou cylindrique) à la place des pales. Il fonctionne avec des vents jusqu'à 220 km/h. Le démarrage est rendu difficile par le poids du rotor sur le stator.
- **Type Savonius** : au moins deux demi-cylindres, installés de manière légèrement désaxée l'un par rapport à l'autre, tournent autour d'un axe vertical. Le vent s'engouffre dans l'un des demi-cylindres et le pousse. Ensuite, grâce au désaxement des parois, le vent continue sa course dans l'autre demi-cylindre, qu'il pousse à son tour.
- **À voilure tournante** : quatre pales verticales sont reliées à des bras horizontaux. L'ensemble pivote sous l'effet du vent et, à la manière d'une voile de bateau, s'adapte à l'orientation du vent.

Eolienne Darrieus



Eolienne Savonius



Réglementairement, une éolienne de moins de 12 mètres (hauteur du mât entre le sol et la nacelle) peut être implantée sans autorisation ni permis de construire. Par contre, les règles d'urbanisme en vigueur localement doivent être respectées : distances par rapport aux bâtiments voisins, hauteur, aspect esthétique etc. Une éolienne de plus de 12 mètres de haut est soumise à l'obtention d'un permis de construire.

Aussi, des éoliennes verticales, couplées à des systèmes de stockage d'énergie peuvent être implantées sur site, soit sur les toitures des bâtiments, sous réserve d'emplacements disponibles et de structures portantes suffisantes, soit en périphérie des bâtiments et voiries. Dans le second cas, leurs hauteurs risquent de dépasser les 12 mètres.

Le Solaire

L'énergie solaire est la fraction de l'énergie électromagnétique provenant du soleil. Traditionnellement, les techniques employées permettent de convertir l'énergie solaire soit en chaleur (vapeur ou eau chaude), soit en électricité. Ainsi plusieurs formes d'énergie solaire peuvent être identifiées :

36

- Thermique
- Photo voltaïque
- Hybride
- Thermodynamique
- Stockage de l'énergie

Préambule

Les énergies renouvelables (EnR) sont des sources d'énergie dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain. Elles proviennent de phénomènes naturels cycliques ou constants induits par les astres : le Soleil essentiellement pour la chaleur et la lumière qu'il génère.

Le Soleil est la principale source des différentes formes d'énergies renouvelables : son rayonnement est le vecteur de transport de l'énergie utilisable (*directement ou indirectement*) lors de la photosynthèse (biomasses), ou lors du cycle de l'eau (qui permet l'hydroélectricité) et l'énergie des vagues (énergie *houlomotrice*), la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans (énergie thermique des mers) ou encore la diffusion ionique provoquée par l'arrivée d'eau douce dans l'eau de mer (énergie osmotique). Cette énergie solaire alliée à la rotation de la Terre est à l'origine des vents (énergie éolienne) et des courants marins (énergie hydrolienne).

Lors des chapitres précédant nous avons traité des solutions Biomasses et Eolien ; le chapitre Solaire de par sa nature même, source primaire, sera mis en exergue, dans le synoptique de la solution Gazeley ci-dessus, les méthodes solaires, thermique et photovoltaïque, étaient mises en évidence. Mais nous présenterons des résumés schématiques des technologies possibles, sans les développer à ce stade de notre mission.

Parmi les solutions retenues dans notre proposition le Solaire occupe la place principale, mais du fait de son « inconstance », phénomène jour/nuit, phénomène des saisons, il est indispensable de l'associer à une autre source, i.e. l'éolien, et de prévoir des stockages d'énergie soit de courte durée, soit de longue durée.



Equations production/ kWh besoins

L'irradiation solaire moyenne à Rouen est de 1 376,05 kWh/m²/an.

Quelques rappels :

37

- La puissance notée W_c : Le silicium polycristallin le plus utilisé sur le marché donne un rendement de 11,5%, soit un panneau de 15 m² génère : $15 \times 0,115 = 1,72 \text{ kW}_c$.
- Il nous faudra choisir sur les 20 000 m², la répartition entre solaire thermique et solaire photovoltaïque (CPV), permettant ainsi de connaître et d'optimiser le rapport production/besoins en électricité de l'ensemble.
- En Normandie, 1 kW_c donne 1000 kWh par an.
- Un mixage d'équipements CPV et éoliennes, voire autres sources d'EnR disponibles sur le site, devrait conduire à un excédent de production kWh/an et donc une revente possible à Enedis

Solaire thermique

Les panneaux solaires thermiques permettent de produire de l'eau chaude, grâce à la conversion du rayonnement global (direct et diffus) du soleil.

La technologie solaire thermique à basse température

- **La technologie solaire « active »** : traditionnellement, ce terme désigne les applications à basse et moyenne température. Des capteurs solaires thermiques sont installés sur les toits des bâtiments. Un capteur solaire thermique est un dispositif conçu pour recueillir l'énergie provenant du Soleil et la transmettre à un fluide caloporteur. La chaleur est ensuite utilisée afin de produire de l'eau chaude sanitaire ou bien encore chauffer des locaux.
- **La technologie solaire « passive »** : toujours dans le domaine de la basse température, on peut également citer les installations solaires passives. Par opposition aux applications précédentes, celles-ci ne requièrent pas de composants dits actifs (les capteurs solaires). Ces applications reposent sur des concepts de génie civil et climatique impliquant une architecture adaptée et l'emploi de matériaux spéciaux. L'utilisation passive de l'énergie du Soleil permet de chauffer, d'éclairer ou de climatiser des locaux.

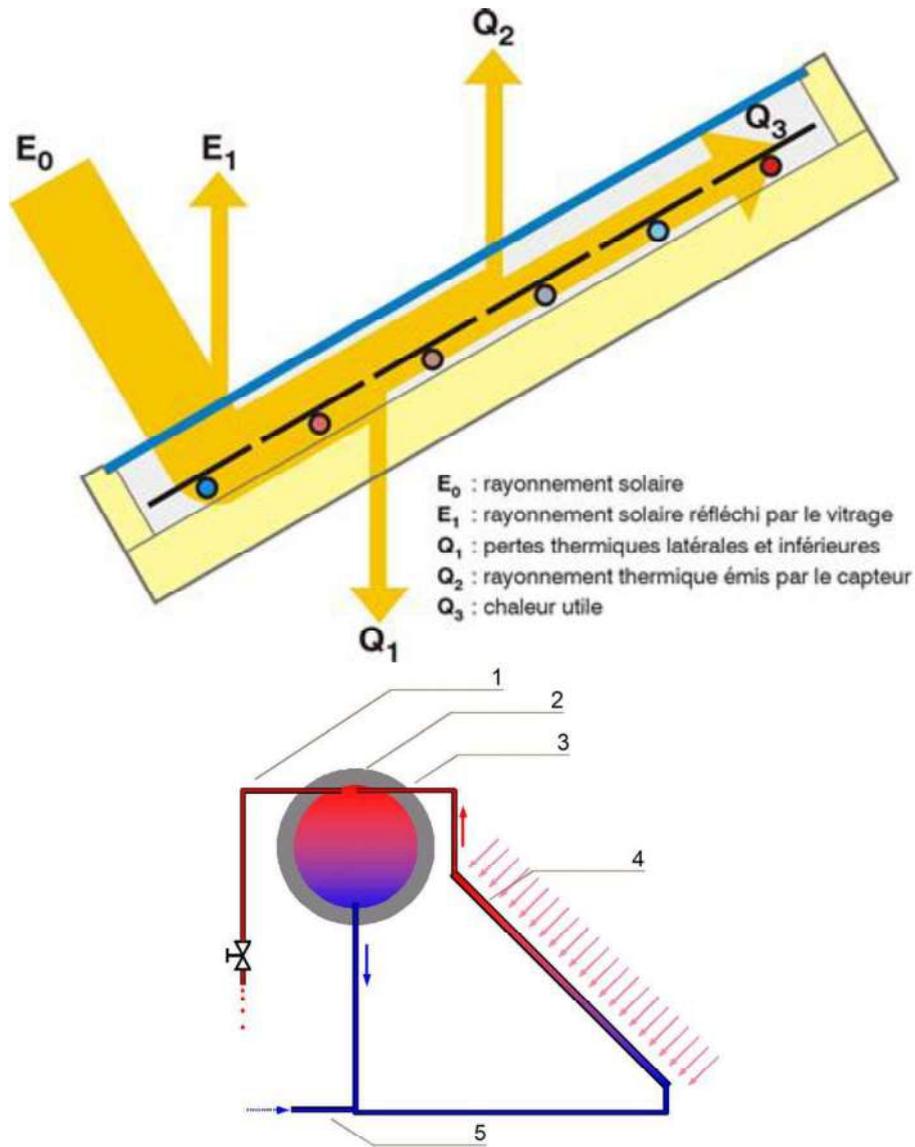


Schéma de principe d'un panneau solaire, et d'un thermosiphon

Principe de fonctionnement d'un thermosiphon : l'eau est réchauffée par la chaleur du soleil (4). Elle monte pour arriver au sommet (3) du réservoir d'eau où l'eau chaude est en haut (2) et l'eau froide en bas (convection). L'eau chaude peut être utilisée (1), tandis qu'au fond du réservoir, l'eau froide part pour un cycle (5). Aucun apport électrique n'est nécessaire, le mouvement de l'eau s'effectue sous l'action de la chaleur.

Mois	Irradiation	Inclinaison	Température moyenne	Degrés-jours de chauffage
Janvier	1,47 kWh/m ²	65°	4.6°C	389
Février	2,35 kWh/m ²	58°	4.9°C	344
Mars	3,91 kWh/m ²	47°	7.1°C	288
Avril	5,24 kWh/m ²	34°	9.9°C	206
Mai	5,29 kWh/m ²	20°	13.1°C	105
Juin	5,57 kWh/m ²	12°	16.2°C	37
Juillet	5,59 kWh/m ²	16°	17.9°C	3
Août	5,03 kWh/m ²	28°	17.9°C	17
Septembre	4,65 kWh/m ²	44°	15.4°C	95
Octobre	2,91 kWh/m ²	54°	12.4°C	217
Novembre	1,75 kWh/m ²	63°	8.1°C	356
Décembre	1,38 kWh/m ²	68°	5.0°C	415
Annuelle	3,77 kWh/m²	36°	11°C	2472

Données mensuelles d'ensoleillement à Petit Couronne

Du fait de l'alternance de l'éclairement du soleil par le phénomène jour/nuit, il est nécessaire de stocker une partie de l'énergie produite par réchauffement de l'eau le jour, celle-ci circulant dans les systèmes de chauffage, de sorte à pouvoir la redistribuer également la nuit, en la reprenant des stockages, dans ces mêmes systèmes.

Ces stockages sont soit à courte durée, soit à longue durée par différentes technologies :

- Ballons d'eau chaude ou de fluides caloporteurs modèles classiques « courte durée »,
- Matériaux spéciaux, méthode plus élaborée « moyenne durée »,
- Fluide moléculaire pour stocker et restituer l'énergie solaire à la demande.

Concernant le fluide moléculaire, un prototype du système énergétique a été récemment mis en place, sur le toit d'un bâtiment universitaire, a mis le nouveau fluide à l'épreuve et selon les chercheurs, les résultats ont retenu l'attention de nombreux investisseurs. Le dispositif d'énergie renouvelable sans émissions se compose d'un réflecteur concave avec un tuyau au centre, qui suit le soleil comme une sorte de parabole satellite.

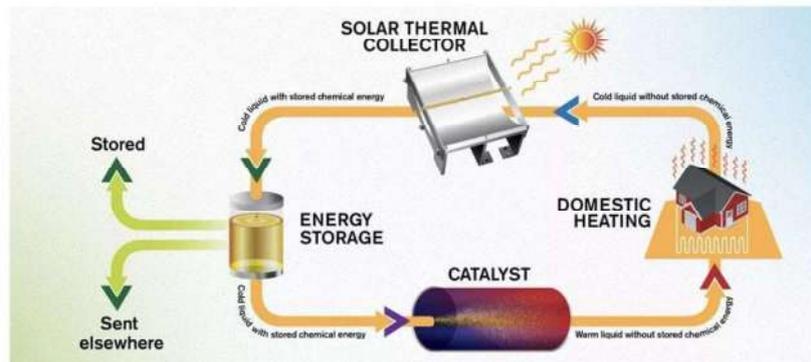


Schéma de principe du fluide moléculaire

Le système fonctionne de manière circulaire, captant, stockant et relâchant l'énergie solaire sans aucune émission et sans endommager la molécule, pour une durée de vie pouvant atteindre plus de 10 ans.

Cette molécule est composée de carbone, d'hydrogène et d'azote. Lorsqu'elle est frappée par la lumière du soleil, les liaisons entre ses atomes sont réarrangées et elle se transforme en une nouvelle version énergétique (un isomère).

Stockage de chaleur dans les matériaux à changement de phase

Le stockage de l'énergie sous forme thermique peut s'effectuer par matériau à changement de phase.

On nomme Matériau à Changement de Phase (MCP), tout matériau capable de changer d'état physique dans une plage de température restreinte. Cette plage est grossièrement localisée entre 10 et 80 degrés Celsius. Dans cet intervalle de température, le changement de phase prépondérant reste la fusion/solidification. Ces températures sont accessibles naturellement et sont omniprésentes dans notre vie quotidienne (température d'ambiance d'une maison, température d'un corps humain, de l'eau chaude sanitaire...)

Il est important de noter que les quantités d'énergie mises en jeu dans le processus de changement de phase sont énormément plus importantes que celles qui interviennent lors de transferts sensibles (étant donné qu'on travaille sur des intervalles restreints de températures). C'est grâce à ces transferts latents qu'il est actuellement envisageable de diminuer énormément le volume d'un élément de stockage d'énergie (compacité), ou encore d'augmenter fortement la quantité d'énergie contenue dans un même volume de stockage (densité énergétique).

On notera, d'autre part, qu'un MCP peut cumuler deux types de transferts thermiques :

- Le transfert par Chaleur Sensible (CS) : dans ce cas, le matériau en question peut céder ou stoker de l'énergie en voyant fluctuer sa propre température, sans pour tout autant changer d'état. La grandeur utilisée pour quantifier la CS échangée par un matériau est la Chaleur Massique, notée C_p et exprimée en $J / (kg \cdot K)$,
- Le transfert par Chaleur Latente (CL) : le matériau peut stocker ou céder de l'énergie par simple changement d'état, tout en conservant une température constante, celle du changement d'état. La grandeur utilisée pour quantifier la CL échangée par un matériau est la Chaleur Latente de Changement de Phase notée L_f (f pour fusion) pour un changement de phase Liquide/Solide, et L_v (v pour vaporisation) pour un changement de phase Liquide/Vapeur. Celle-ci est exprimée en J/kg .

A titre d'exemple, on peut citer le PCP suivant :

Nom	Acétate trihydrate de sodium
T_{fusion}	55-58 °C
L_f	242, 85.10 ³ J/kg
C_{psolide}	3, 31.10 ³ J/ (kg. K) à 30 °C
C_{pliquide}	3, 06.10 ³ J/ (kg. K) à 70 °C
ρ_{liquide}	1279 kg/m ³ à 30 °C
ρ_{solide}	1392 kg/m ³ à 70 °C

De nombreux matériaux à changement de phase sont exploitables en stockage d'énergie et sont fonction des conditions mêmes de stockage.

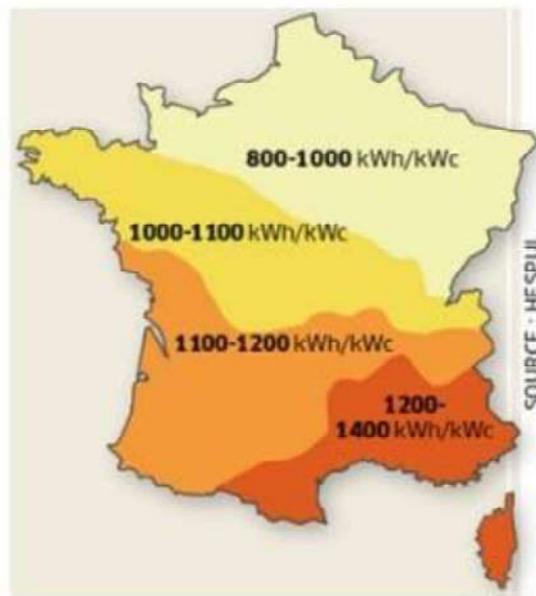
Le bâtiment à énergie positive HIKARI, à Lyon confluence, bâtiment construit par Bouygues Immobilier, possède un stockage d'énergie par matériaux à changement de phase afin de stocker une partie des calories produites par la cogénération en Huile Végétale Pure.

Solaire photovoltaïque

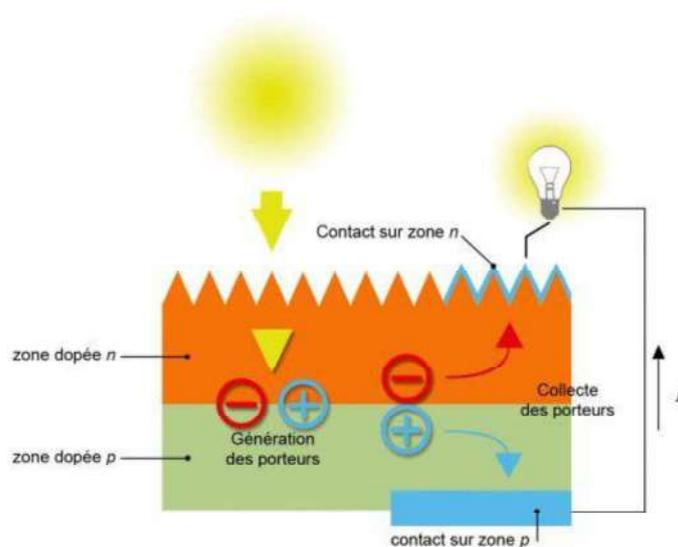
L'apport en solaire photovoltaïque devrait représenter la part la plus importante du système général. En effet, la configuration du site ainsi que les futurs bâtiments, présentent de nombreux avantages à l'implantation de cette source d'énergies renouvelables.

42

Cependant, l'ensoleillement de la zone considéré ne présente pas un maximum au regard des autres régions de France.



Capacité de production énergétique par zone
(Rappel : 1 kWc produit 1 000 kWh/an).



Constitution d'une cellule photovoltaïque (source : CEA)

Etat des lieux des technologies traditionnelles : le solaire photovoltaïque non concentré

Les technologies à base de silicium constituent plus de 90% du marché photovoltaïque mondial.

- **Les cellules monocristallines**

C'est la filière historique du photovoltaïque. Les cellules monocristallines sont les photopiles de la première génération. Elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en une seule pièce. Elles ont un bon rendement mais la méthode de production est laborieuse et coûteuse. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites « solaires ».

- **Les cellules polycristallines**

Les cellules polycristallines sont élaborées à partir d'un bloc de silicium composé de cristaux multiples. Elles ont un rendement plus faible que les cellules monocristallines mais leur coût de production est moindre.

Des avancées technologiques permettent aujourd'hui de produire des cellules polycristallines à couches minces afin d'économiser le silicium. Ces cellules ont une épaisseur de l'ordre de quelques micromètres d'épaisseur.

Au cours des dix dernières années, le rendement moyen d'un panneau photovoltaïque à base de silicium est passé de 12% à 17% selon l'institut allemand Fraunhofer. Récemment, le CEA a démontré pouvoir atteindre un rendement de 24% en système à hétérojonction de silicium.

Le solaire photovoltaïque concentré ou panneau photovoltaïque à concentration

Les miroirs concentrent les rayons du soleil sur une petite cellule solaire photovoltaïque à haut rendement. Grâce à cette technologie de concentration, les matériaux semi-conducteurs peuvent être remplacés par des systèmes optiques moins coûteux. A puissance égale, ceci permet d'utiliser 1 000 fois moins de matériel photovoltaïque que dans les panneaux photovoltaïques à insolation directe. Cette technologie devrait pénétrer le marché dans un avenir proche.

Le rendement théorique maximum de la conversion photon-électron est de l'ordre de 85% (le rendement de Carnot est 95 %). Le rendement expérimental maximal obtenu avec cette technologie est pour le moment de 46%.

Nous n'en ferons pas un développement plus grand en l'état de notre mission.

Les constituants organiques (polymères)

L'utilisation de matériaux polymères vise à remplacer les matériaux minéraux par des semi-conducteurs organiques, autrement dit des plastiques, pour la fabrication de cellules photovoltaïques. Ceux-ci sont bon marché, ont des bonnes propriétés d'absorption et sont faciles à déposer. Leur coût de revient très faible se double de caractéristiques particulièrement attrayantes : plus légères et moins fragiles, leur nature flexible permet d'obtenir des matériaux souples en polymères organiques ou en silicone et même des encres photovoltaïques.

D'une durée de vie courte, elles n'offrent pour l'instant que des rendements dépassant légèrement 10% en laboratoire mais pourraient servir de base au développement d'une filière industrielle.

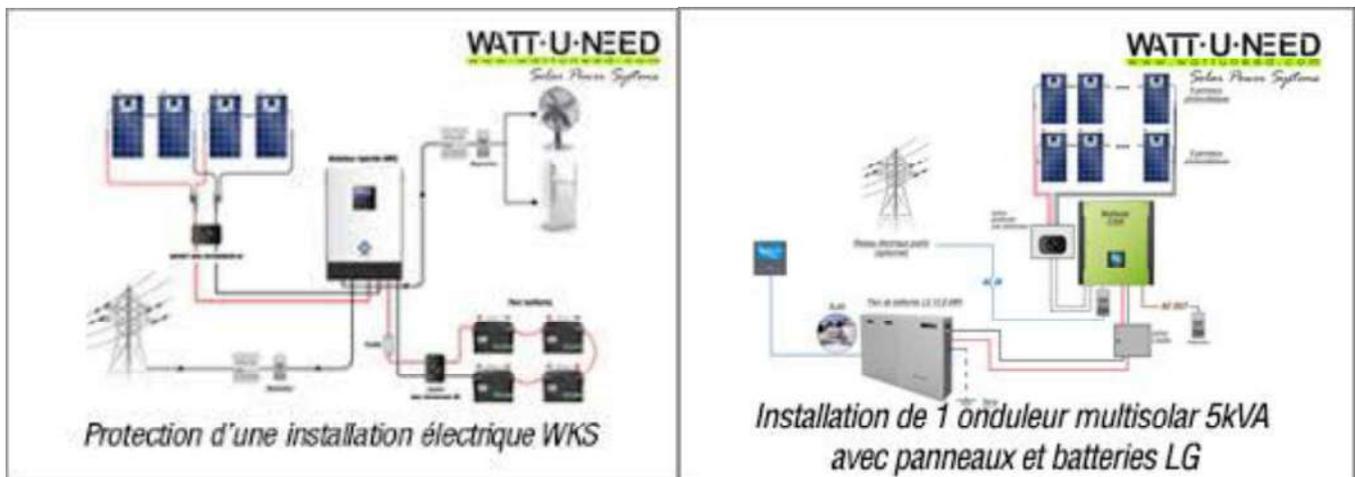


Schéma de principe d'une CPV

D'une façon générale, une installation photovoltaïque comprend les éléments suivants :

- Un générateur photovoltaïque,
- Un convertisseur statique continu/continu (DC/DC),
- Un convertisseur statique continu/alternatif (DC/AC),
- Un système de régulation et de stockage,
- Une source auxiliaire d'appoints.

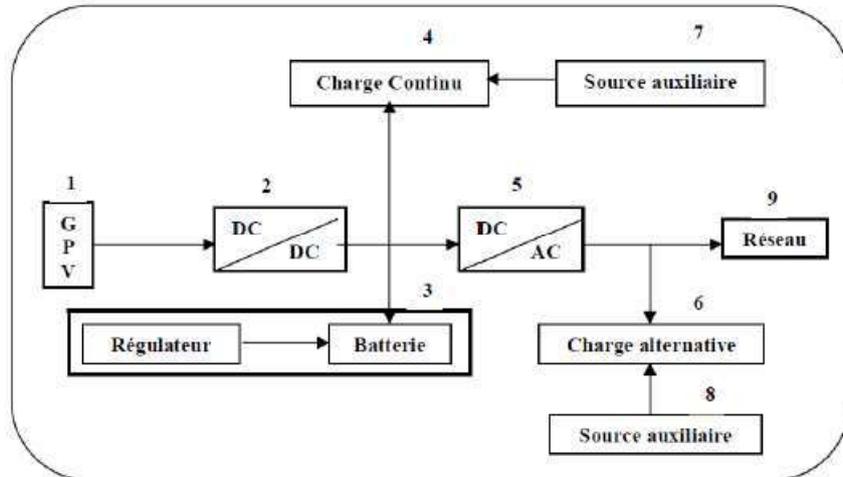


Schéma synoptique d'une installation photovoltaïque

Solaire thermodynamique

La technologie solaire thermique à haute, voire, très haute température ou solaire thermodynamique, nous traiterons celle-ci très brièvement car l'échelle du lieu de mission ne permet pas son application en vraie grandeur.

Le micro solaire thermodynamique a été testé en laboratoire, a fait l'objet de plusieurs thèses et de modèles de laboratoires. Il s'agit de mini GTA produisant donc de l'électricité et de la chaleur par cogénération. Le prototype réalisé est constitué d'un concentrateur cylindro-parabolique de taille réduite (46.5 m²) associé à un moteur à vapeur fonctionnant suivant un cycle de Hirn (Rankine avec surchauffe). Cette approche pourrait être envisagée en faisant une étude spécifique parallèle en jumelant avec la solution UPM livraison de vapeur pour alimenter un GTA.



Vue externe du prototype

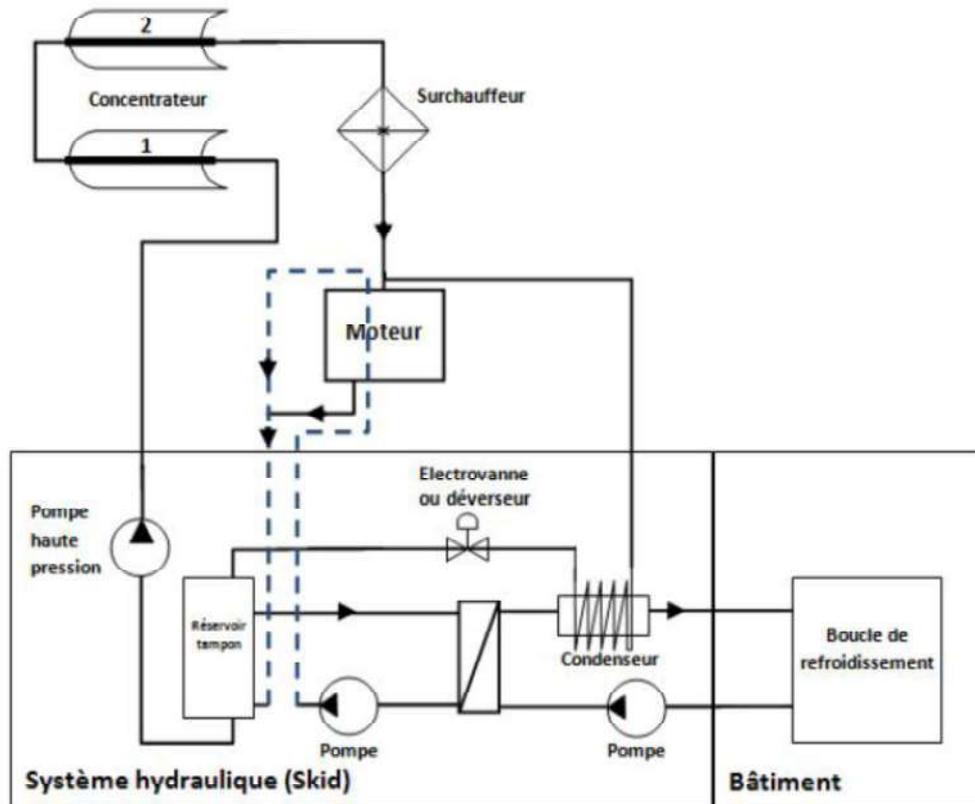


Schéma simplifié présentant les différents éléments

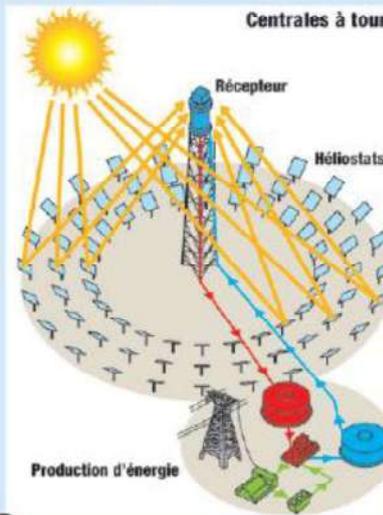
Le principe des miroirs réfléchissants concentrateurs, base du solaire thermodynamique ont été développés à grande échelle, et présente des atouts en production énergétique.

LES TROIS PRINCIPAUX SYSTÈMES THERMODYNAMIQUES À CONCENTRATION

Système fixe

Concentration ponctuelle

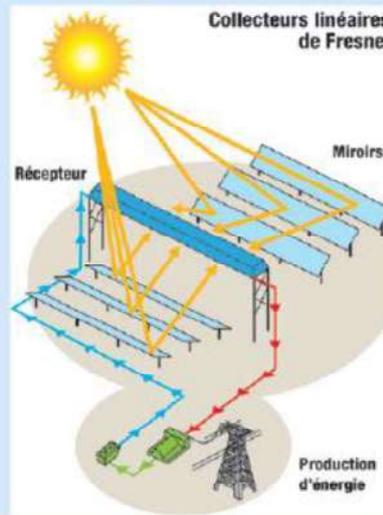
Centrales à tour



Production d'énergie

Concentration linéaire

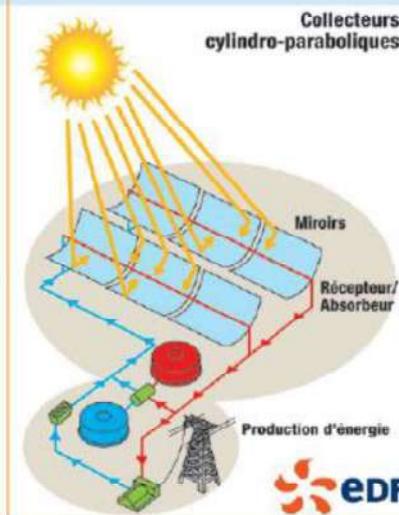
Collecteurs linéaires de Fresnel



Production d'énergie

Système mobile

Collecteurs cylindro-paraboliques



Production d'énergie



Ces centrales solaires à miroirs cylindro parabolique sont maintenant des systèmes d'alimentation électrique à grande échelle les plus efficaces en termes de coûts. Malheureusement, devant la superficie au sol nécessaire, ainsi que l'ensoleillement demandé, cette technologie ne pourra être retenue pour le site de Petit Couronne

Hydrothermie

L'hydrothermie, ou quathermie, désigne l'énergie thermique potentielle des nappes souterraines et le principe de son prélèvement de la chaleur est similaire à celui de la géothermie. Ce système est généralement utilisé pour le chauffage et la climatisation dans le secteur tertiaire sur des installations de forte puissance.

Pour un fonctionnement optimal du système d'hydrothermie, certaines conditions doivent être réunies :

- Il est impératif que la nappe se situe en dessous ou à proximité de la zone d'application,
- La température de l'eau de la nappe phréatique doit être de 12°C au minimum,
- La profondeur de la nappe ne doit pas excéder les 100 m
- Être certain d'obtenir un débit suffisant tout au long de l'année.

Il existe deux modes de captages de l'énergie hydrothermique :

- Hydrothermie à un seul forage : un seul forage est nécessaire pour le prélèvement de l'eau de la nappe. Une fois les calories nécessaires prélevées, cette eau est rejetée en surface (dans une rivière, réseau d'eaux pluviales...).
- Hydrothermie à deux forages : bien que plus coûteux, ce système de réinjecter l'eau dans la nappe phréatique après le prélèvement des calories.

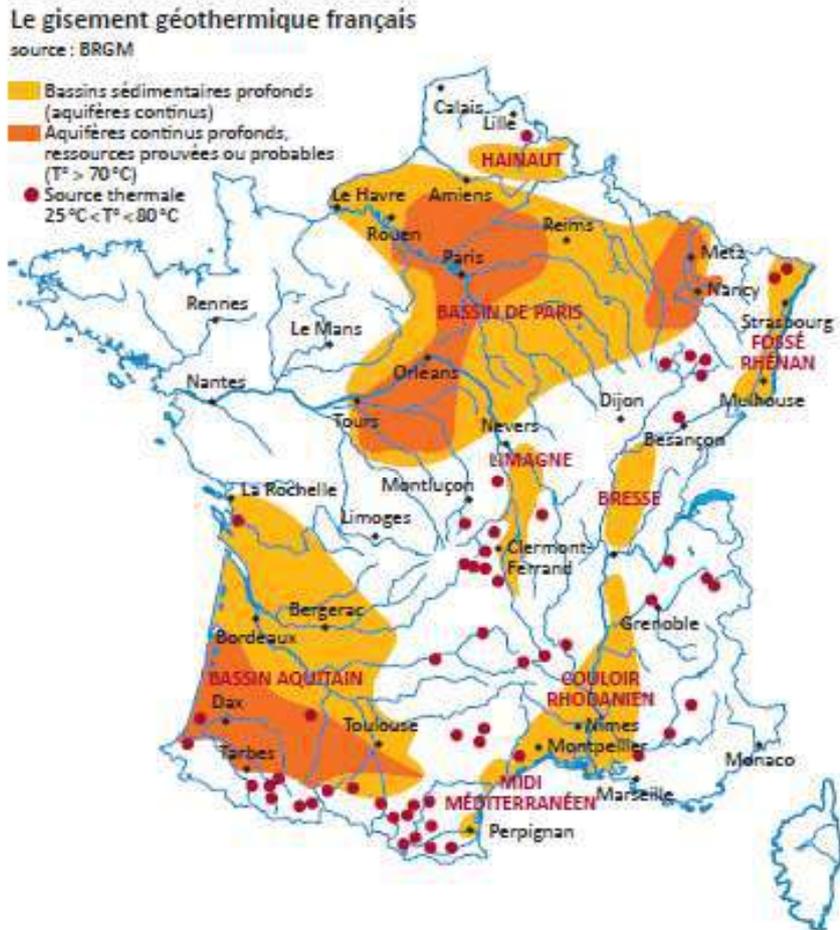
Bien que le site de Petit Couronne soit à proximité immédiate (200 m) de la Seine, le sous-sol du site risque de ne pas présenter de capacité structurelle suffisante pour un forage de ce type. De plus, la température moyenne de la Seine est bien en dessous du minimum requis (6.9°C), avec une forte variation des débits.

En effet, bien qu'à environ 80 km de son embouchure, la Seine au niveau de Petit Couronne est encore impactée par le phénomène de marée, accentuée par les précipitations qui s'abattent sur la Normandie et affectent le bassin versant.

Cette solution énergétique ne sera donc pas explorée.

Géothermie

La géothermie peut présenter un apport énergétique intéressant car renouvelable et stable dans le temps, mais pouvant demander des mises en œuvre lourdes.



La géothermie recouvre l'ensemble des techniques permettant de récupérer la chaleur naturellement présente dans le sous-sol terrestre. Elle puise la chaleur de la Terre pour fournir du chauffage et de l'électricité à des immeubles, des villes entières ou des industries.

Trois types de géothermie peuvent être distinguées : très basse température, basse température et haute température.

- La géothermie à très basse température se place à 100 mètres maximums de profondeur. Elle est généralement utilisée pour la production de chaleur en maisons individuelles.
- La géothermie basse température utilise la chaleur du sous-sol terrestre pour alimenter des réseaux de chaleur, pour grands ensembles immobiliers & zones industrielles
- La géothermie profonde consiste à créer des réserves artificielles d'eau en profondeur. Une fois à la surface, l'eau chaude est transformée en vapeur et peut alimenter des sites industriels.

Applications pour le site du parc d'activités

Remarque :

- Des premières analyses faites en interne de notre équipe, il ressort que les besoins en électricité sont primordiaux, il nous faudrait donc envisager une géothermie de 3^{ème} type, dite profonde, or il ressort que d'après la carte du gisement géothermique de la France, il nous faudrait descendre à des milliers de mètres, mise en œuvre hors de propos.
- Les 2 premiers types sont possibles. Nous pouvons citer, pour référence, à Rouen, un éco quartier sur la rive droite de la Seine, Luciline, présentant un équipement géothermie avec pompe à chaleur (PAC).

49

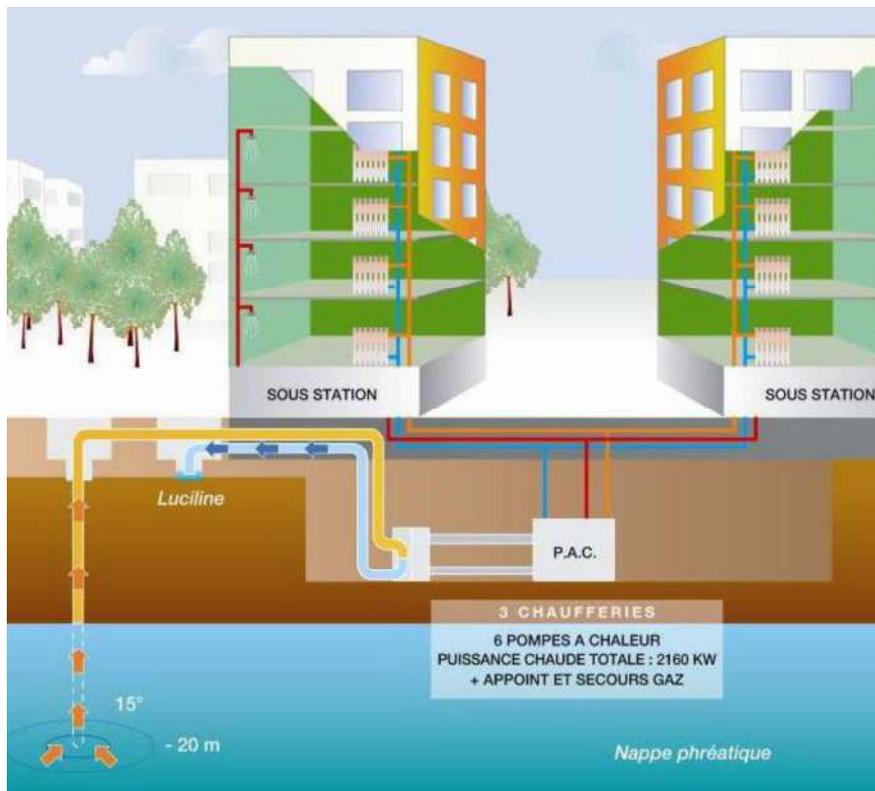


Schéma de l'implantation de la géothermie de Luciline



Eco-quartier Luciline – Rives de Seine

Gestion intégrée des eaux et sécurisation des apports énergétiques sur la ZAC *Luciline – Rives de Seine*

50



Nous pourrions donc envisager un groupe de ce genre pour certains des occupants futurs (La poste i.e.), laissant plus de champ aux solutions EnR électrique par groupe cogénération pour les autres occupants, permettant des installations techniques en toiture.

Aérothermie

L'aérothermie est un système de chauffage qui capte les calories de l'air extérieur et les utilise afin de réchauffer l'air ou l'eau à l'intérieur d'un bâtiment. Le dispositif est installé à l'extérieur et ne nécessite aucun capteur.

L'aérothermie est un système économique et écologique qui présente plusieurs avantages :

- Adaptation facile aux maisons avec ou sans terrain
- Faible encombrement
- Bon rendement et bonnes performances : le COP évolue de 3,7 jusqu'à 2,3
- Éligible au crédit d'impôt de 22%.
- Fonctionnement réversible permettent de chauffer et de rafraîchir la maison.

Il existe deux types de pompes pour l'aérothermie :

- Les pompes air/air : il s'agit de climatiseurs réversibles qui prélèvent la chaleur à l'extérieur et la redistribuent à l'intérieur. La puissance de cette pompe s'adapte aux besoins réels ce qui permet des économies d'énergie d'environ 70%.
- Les pompes air/eau : la chaleur puisée dans l'air est utilisée pour chauffer l'eau du circuit de chauffage et transmises à des radiateurs, plancher chauffant ...

Principe de la thermoélectricité



Les besoins identifiés du site de Pétroplus portent très majoritairement sur l'électricité et non sur le chauffage. Aussi, il devient important de regarder à pouvoir transformer les calories pouvant être puisées dans le milieu naturel, en électricité afin de fournir énergétiquement les futurs bâtiments.

Cette technologie de transformation, découverte au cours du XIX^e siècle se nomme la thermoélectricité et vise, via des matériaux spécifiques à produire, comme son nom l'indique, de l'électricité directement depuis des calories.

Les matériaux dits thermoélectriques utilisent les différences de température pour conduire des électrons à partir d'une extrémité à l'autre. Les électrons déplacés créent une tension qui peut à son tour être utilisée pour alimenter d'autres équipements comme une batterie. Mais, les technologies actuelles ne peuvent transformer que 5 à 7% de l'énergie thermique en électricité. Donc, pour augmenter les rendements de production, il faut trouver des matériaux qui conduisent l'électricité, mais pas la chaleur. Récemment, certains scientifiques de la Northwestern University ont créé un nouveau matériau de tellure de plomb, capable de convertir la chaleur résiduelle en électricité.

Ainsi donc, les productions énergétiques définies ci-avant pourraient être converties, du moins partiellement en électricité.

L'avantage de ce concept pourrait permettre d'extraire naturellement les calories du milieu ambiant, de pouvoir stocker ces calories via notamment des matériaux à changement de phase, et d'alimenter en électricité suivant les besoins.

L'inconvénient majeur, outre le coût économique de l'installation, est le recours à des matériaux pouvant être plus rare que le Platine, ainsi que des composés pouvant présenter de forts risques de pollution.

Bien que cette approche puisse paraître hautement innovante, cette piste ne sera pas plus développée au regard des conditions technico-économiques du site visé.

Hydraulique (proximité de la Seine, station de transfert d'énergie par pompage)

L'énergie hydraulique prend de nombreuses formes. Cette énergie peut être captée et transformée en électricité par des moyens simples et efficaces. La problématique du stockage de cette électricité ou énergie produite se pose alors.

CAES/STEP

En 2015, une étude de préféabilité a été diligentée afin d'identifier les contraintes de la mise en place d'un système de production hydroélectrique basé sur le réemploi de cavernes sous le site de Petit Couronne. Le système identifié est appelé STEP pour Système de Transfert de l'Energie par Pompage permettant un stockage de masse. Couplé à un système de stockage de l'air par compression (CAES), un STEP pourrait constituer un stockage énergétique innovant et de forte capacité. Nous reprendrons ici les conclusions de cette étude, n'ayant pas d'autres éléments probants à y amener :

L'étude du développement d'une STEP enterrée qui a été conduite, a montré :

- Que les contraintes d'accès liées au diamètre du puits principal des cavernes sont déterminantes pour la mise en place du matériel (turbine et alternateur)
- Que le CAES impose des conditions d'exploitation pour la STEP qui commandent alors le type et la taille de la turbine qu'il est possible de mettre en œuvre
- Que la quantité d'eau turbinable est faible compte tenu du volume de la caverne mais aussi en comparaison avec la quantité d'énergie contenue dans l'air comprimé, fluide compressible
- Que l'investissement du projet (CAPEX) est impacté par la nécessité de créer un puits secondaire en gros diamètre de même que par la complexité du matériel spécifique à développer
- Que l'OPEX est obéré par les coûts de relevage de l'eau à travers un circuit hydraulique linéaire qui comprend 3 coudes (celui-ci pourrait éventuellement être remplacé par un coude à 135° et une tubulure montant linéairement vers les bacs aériens) et qui provoque donc des pertes de charge importantes
- Qu'en l'état actuel les tarifs du marché spot de l'électricité ne couvrent pas les charges d'exploitation de la STEP, et par conséquent, ils ne permettent pas d'amortir l'investissement

Cette voie ne sera donc pas exploitée d'avantage, et ce malgré le caractère innovant et prometteur de ce type de technologie et de couplage.

Hydrolienne

Le principe des hydroliennes consiste à placer des hélices ou des turbines dans l'axe des courants d'eau sous-marins afin de capter leur énergie. La force des courants actionne des pales reliées à des rotors dont l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique acheminée ensuite par des câbles sous-marins.

Le développement de l'hydrolienne repose sur des avantages caractéristiques :

- L'eau est 800 fois plus dense que l'air ce qui permet de réduire la taille des turbines
- Les courants marins sont moins puissants que les vents mais réguliers et prévisibles
- Un impact environnemental limité
- Pas de nuisance sonore et visuelle

Cependant, le développement d'une nouvelle technologie n'est pas sans problème : choix des matériaux, des fixations au sol et des moyens d'installations. La nécessité de raccordement au réseau impose la construction d'installations coûteuses. La maintenance des turbines peut constituer une difficulté pour les sociétés exploitantes (notamment en mer).

Comme dans le cas des éoliennes, la faible capacité à stocker l'énergie électrique limite les possibilités de contrôle de la production.

En France, trois acteurs principaux travaillent aujourd'hui sur l'exploitation de cette énergie nouvelle : EDF, le Laboratoire des écoulements géophysiques et industriels (LEGI) de Grenoble et la société Hydrohelix Energies, soutenue par l'Institut français du pétrole (IFP) et l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe). Hydrohelix Energies et le LEGI exploitent un brevet de turbine baptisée « hydrolienne ».

Hydrohelix Energies a envisagé trois sites pour d'éventuels parcs hydroliens : deux au large de la pointe de la Bretagne - l'un d'une capacité de 1.000 mégawatts (MW) sur la Chaussée de Sein et l'autre de 2.000 MW dans le Fromveur - et un troisième sur le Raz Blanchard au large du Cotentin. Sur ce dernier site, 1.500 turbines de 16 mètres de diamètre pourraient générer, compte tenu de courants exceptionnellement forts, une puissance en pointe de 3.000 MW. La production annuelle de ces trois parcs pourrait atteindre les 25.000 gigawattheures (GWh), soit 5 % de la production électrique française. D'après Hervé Majastre, co-fondateur d'Hydrohélix, compte tenu du coût d'installation de 1 à 1,3 euros le watt, et des différentes aides au développement des énergies renouvelables, le retour sur investissement est atteint en 7 ans.

Concernant le site de PIC Valgo, il peut être envisager de placer des hydroliennes dans le lit d'un fleuve ou d'une rivière. Différents modèles physiques peuvent être étudiés pour une mise en place locale. Cependant, compte tenu du trafic du Grand Port Maritime de Rouen d'une part, et de l'effet de marée d'autre part (salinité et reflux), le fonctionnement d'hydrolienne semble présenter une forte complexité, sans compter la problématique du stockage de l'électricité produite.

Aussi, en l'état d'avancement de l'étude, ce principe ne sera pas retenu.



Hydrolienne fluviale (source : Hydroquest)



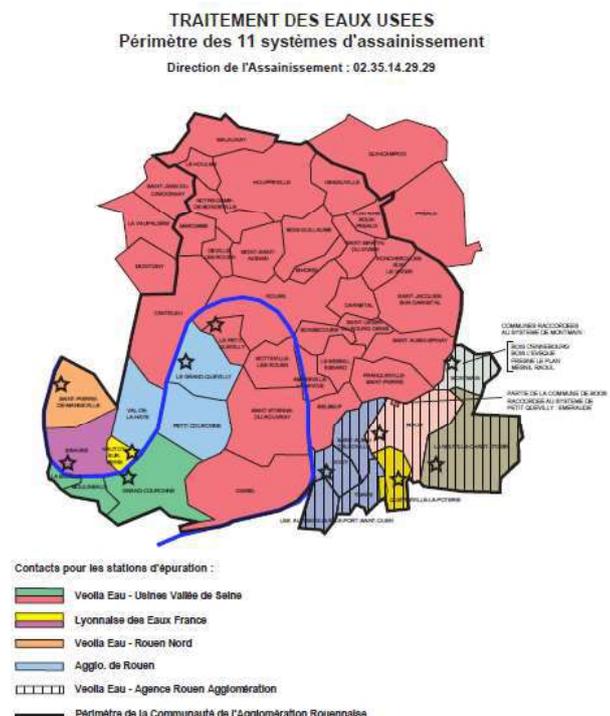
Micro hydrolienne fluviale (source : Idénergie)

Energies de récupération

Cloacothermie

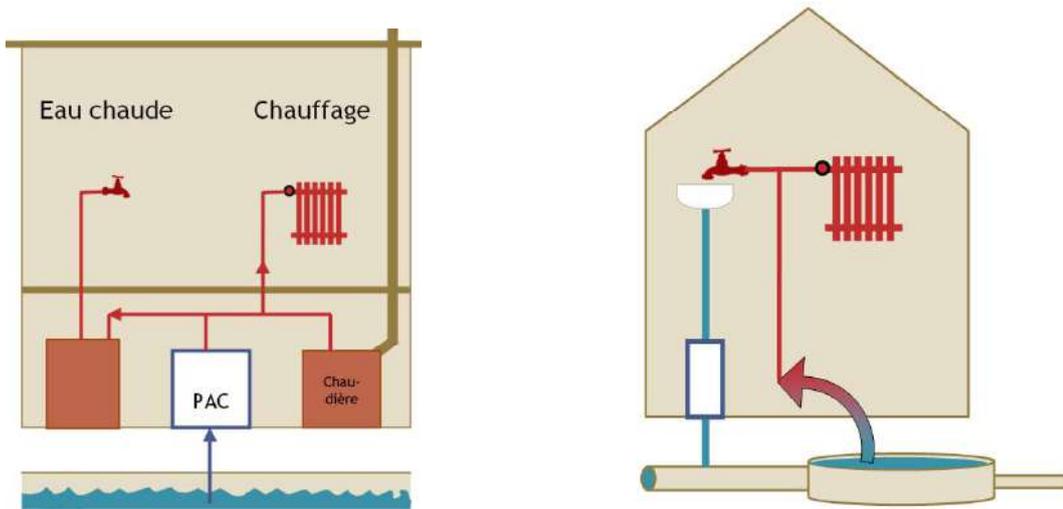
L'ensemble parc d'activités plus PIC VALGO à l'est, représentera à terme près de 2 000 personnes, les eaux usées seront collectées par un même réseau qui figure déjà dans les dossiers de consultation.

Ce réseau rejoint un poste de relèvement dirigeant le flux vers la STEU voisine de Grand Couronne, gérée par Véolia.



Dans le poste de relèvement, il pourrait être mis en place un échangeur thermique avec éventuellement une PAC, cet ensemble représentant une source supplémentaire d'EnR.

Une éventuelle étude élargie au réseau reliant Petit et Grand Couronne donnerait une source énergie cloacothermique beaucoup plus importante.



Schémas de principe

Dans les collecteurs	Dans les STEP	Dans les stations de relèvement	Au pied des bâtiments
<p>Potentiel de puissance entre 10 kW et 1 MW</p> <p>S'installe dans le réseau public</p> <p>Nécessite d'avoir de longues conduites droites et un gros diamètre</p> <p>Doit vérifier les effets sur le fonctionnement du process de la STEP (abaissement de la T°)</p> <p>Proximité des preneurs de chaleur</p>	<p>Potentiel de puissance jusqu'à 20 MW</p> <p>Pas de problème de refroidissement</p> <p>Risque d'être éloigné des preneurs de chaleur</p>	<p>Potentiel de puissance jusqu'à 2 MW</p> <p>Solution indépendante de la taille du collecteur</p> <p>Système encore nouveau avec peu de retour d'expérience</p>	<p>Potentiel de puissance entre 50 kW et 300 kW</p> <p>Solution simple pour l'eau chaude sanitaire, mais qui ne convient pas pour un chauffage à distance</p> <p>Solution individuelle, pour les bâtiments de taille significative (hôtel, hôpital, piscine, industrie)</p>

La cloacothermie déjà largement répandue depuis plus de 20 ans chez nos voisins européens, (notamment en Suisse, Allemagne, Autriche et Norvège) comporte différentes variantes technologiques selon l'endroit où est récupérée l'énergie thermique des eaux usées :

Dans les collecteurs du réseau d'assainissement (ouvrages assurant la collecte et le transport des eaux usées : canalisations, conduites, ...) :

56

Cette solution utilise la chaleur des effluents quel qu'en soit le type (eaux vannes et eaux grises), sans prétraitement nécessaire. Elle met en œuvre des échangeurs spécifiques (brevets) qui sont :

- Soit directement intégrés dans des canalisations neuves lors de leur fabrication
- Soit rapportés et posés en partie basse des canalisations d'eaux usées existantes ou construites spécifiquement.

Elle nécessite des collecteurs de taille adaptée, non coudés sur une longueur suffisante et disposant d'un débit d'eaux usées minimum. En fonctionnement, cette solution comporte des contraintes d'exploitation liées à l'encrassement des échangeurs par ensablement et formation de bio film dans le collecteur et à une limitation de baisse de la température des eaux usées à 5 K maximum après passage dans l'échangeur pour ne pas perturber le process d'épuration en aval.

Ce système a l'avantage de pouvoir se situer proche des preneurs de chaleur. Couplé à une chaudière et une pompe à chaleur, un tel dispositif permet éventuellement d'alimenter un chauffage à distance.

Dans les stations d'épuration (STEP) :

Cette solution utilise la chaleur des effluents une fois traités (eaux épurées) et peut être mise en place dans l'enceinte de la STEP, en amont du rejet des eaux épurées vers le milieu naturel. Elle peut théoriquement autoriser une liaison directe vers la pompe à chaleur et éviter ainsi la présence d'échangeur intermédiaire. La récupération de chaleur sur les eaux épurées en sortie de STEP peut être réalisée grâce à différents types d'installations et d'échangeurs : échangeurs à plaques, échangeurs multitubulaires (faisceau de tubes), échangeurs coaxiaux.

Dans les stations (ou postes) de relevage :

La solution de récupération de chaleur des eaux usées au niveau des stations de pompage (ou postes de relevage) peut être aussi intéressante car ces stations sont situées en ville et donc proches des preneurs de chaleur. Le système utilise une fosse de relevage existante. Une partie des eaux usées est pompée de la fosse de la station de pompage avant STEP vers des échangeurs.

Cette solution semble la plus pertinente pour le site de PIC Valgo.

Au pied de bâtiments ayant une forte consommation d'eau (dans ce dernier cas, on parlera plutôt de récupération d'énergie thermique sur les eaux grises) :

Cette solution nécessite obligatoirement une évacuation séparée des eaux grises (dont la chaleur est utilisée) et des eaux vannes. Elle peut permettre l'utilisation de matériel non spécifique aux eaux usées (échangeurs standards, PAC, ...) et nécessite généralement des systèmes sophistiqués de filtrations et d'auto nettoyage des échangeurs sur eaux usées.

57

Cette solution capte la chaleur des eaux usées directement à la sortie de l'immeuble, grâce à un échangeur de chaleur installé dans une fosse dédiée à cette utilisation.

Les eaux usées arrivent dans une cuve centrale. Le filtre retient les plus grosses particules dans la cuve et une pompe déverse quotidiennement les résidus accumulés dans la cuve vers le collecteur. Le niveau d'eau dans la fosse est maintenu suffisamment haut pour qu'il y ait déversement du trop-plein dans le tube intermédiaire puis vers le collecteur.

Cette solution se différencie des autres précédemment citées car son domaine d'application privilégié est la production d'eau chaude sanitaire de l'immeuble. L'application au chauffage (et/ou à la climatisation) d'une installation de récupération de chaleur en sortie de bâtiments peut également être envisagée avec l'intégration au dispositif d'une pompe à chaleur.

Des solutions packagées de plus en plus nombreuses à être disponibles sur le marché français.

Valorisation de déchets

La valorisation énergétique des déchets, consiste à récupérer et à valoriser l'énergie produite lors du traitement des déchets sous forme de chaleur, d'électricité ou de carburant. On peut distinguer deux grandes sortes de valorisation énergétique :

- La valorisation par traitement thermique (incinération, co-incinération, pyrolyse, gazéification),
- La valorisation du biogaz issu notamment des installations de stockage de déchets non dangereux et de la méthanisation des déchets organiques.

Les autres formes de valorisation énergétique des déchets

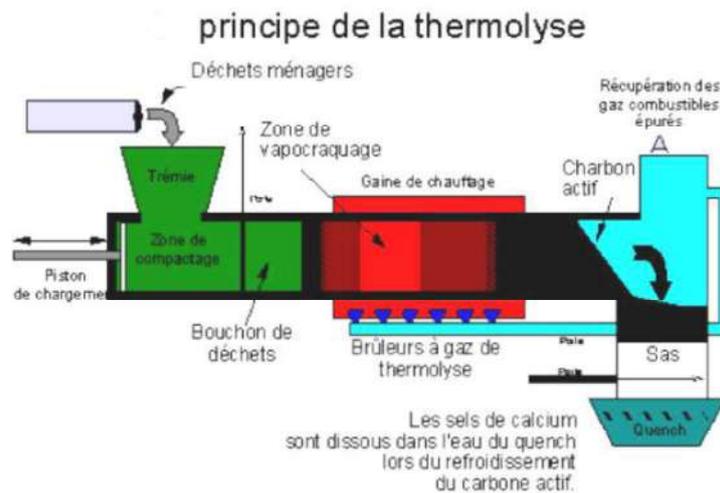
Issus de refus de tri, les combustibles solides de récupération (CSR) permettent de produire de la chaleur et/ou de l'électricité, en substitution de ressources fossiles comme le charbon, le coke de pétrole ou le gaz naturel, en vue de leur utilisation dans l'industrie et dans les réseaux de chaleur notamment.

Complément indispensable de la valorisation matière, la valorisation énergétique des CSR permet de trouver un exutoire aux déchets non recyclables autre que le stockage.

Diverses technologies de valorisation des CSR existent. Notamment, la pyrolyse et la gazéification consistent à chauffer des déchets en l'absence ou en manque d'oxygène afin que les substances générées sous l'effet de la température (solides, liquides et gazeuses) ne s'enflamment pas spontanément, ce qui donne la possibilité de les valoriser dans un second temps, sous forme de combustible, d'électricité, de chaleur...Répertorié dans les technologies de thermocraquage, divers procédés basés sur le même principe peuvent apporter des solutions efficaces tant en réduction de la pollution due aux CSR, qu'à la production d'énergie.

A ce titre, nous pouvons citer :

- La vapothermolyse : procédé développé par ARFC. Le déploiement à l'échelle industrielle de ce procédé doit permettre d'ouvrir de nouvelles filières de valorisation matière grâce à deux produits à haute valeur ajoutée (un combustible de remplacement et une charge carbonée). Le procédé présente, au-delà des possibilités de recyclage qu'il offre, des performances environnementales très intéressantes. Il ne nécessite en effet aucun apport d'énergie extérieure et est même excédentaire. Par ailleurs il permet de maîtriser le cycle du carbone, en conservant 80% de la masse de carbone des entrants et en la valorisant au travers des produits.
- La thermolyse : procédé de traitement thermique des déchets en l'absence d'air. Les déchets ne sont pas brûlés, mais sont mis dans un four hermétique chauffé à moyenne température (450 à 750°). La chaleur et l'absence d'air entraînent une décomposition des matières organiques en deux parties : un composant solide (formé de cendres, de matières minérales et de carbone) et un gaz chaud. Plusieurs techniques ont été développées depuis quelques années par des sociétés allemandes (PKA, Siemens, Thermoselect) ou françaises (Nexus, Thide, Traidec).



- La dépolymérisation catalytique (ou pyrolyse rapide) : procédé de déstructuration notamment des polymères, en présence d'un catalyseur, et sous basse température (environ 200°C). A l'heure actuelle, la société QUAMM AG possède les brevets concernant la dépolymérisation catalytique et a d'ores et déjà installé plusieurs unités dont les produits sont utilisés à des fins énergétiques (carburant/combustible).

Au terme de la conversion des déchets, le ou les produits énergétiques, sous réserve de respect des normes analytiques, peuvent ainsi alimenter des unités électrogènes directement. Cette voie demande cependant une étude plus poussée en matière de gisement utilisable, ainsi que des investissements conséquents pour la mise en place de l'unité. Ainsi, elle reste une potentialité pour le développement du territoire, et la réduction des déchets.

A l'heure de rédaction du présent rapport, il apparaît qu'un gisement qualifiable de CSR serait disponible sur un territoire proche des installations de PIC Valgo. Il n'est pas là question d'envisager un investissement de la part de VALGO sur une unité de valorisation mais de permettre la définition d'une synergie énergétique locale visant à identifier pour les besoins des acteurs locaux, une nouvelle filière de valorisation de leurs refus de tri, pour les transformer en un produit énergétique que le site de Petit Couronne pourra in fine bénéficier.

Aussi, les acteurs identifiés sont les suivants :

- Installations les plus proches de PIC VALGO :
 - La TMB du SMITVAD à Brametot (76)
 - À environ 60 km de Valgo
 - Refus de Tri : 10 000 T
 - Le Centre de Tri de Val de Saône (76)
 - A environ 45 km de Valgo
 - Refus de Tri : 3 700 T
 - Le centre de Tri du SDOMODE de Pont-Audemer (27)
 - A environ 46 km de Valgo
 - Refus de Tri : 8 200 T
 - Le centre de Tri du SYGOM d'Étrepagny (27)
 - A environ 56 km de Valgo
 - Refus de Tri : 7 500 T
 - Le centre de Tri du SETOM à Guichainville (27)
 - A environ 55 km de Valgo
 - Refus de Tri : 14 000 T

S'agissant ici d'approximation demandant des précisions quant aux quantités réelles et qualité associée, on peut estimer qu'un gisement de l'ordre de 50 000 tonnes/an de CSR serait mobilisables pour une valorisation énergétique indirecte, i.e. via une transformation thermochimique afin d'obtenir un produit énergétique directement utilisable (phase liquide)

Bien que sortant du périmètre de VALGO et du cadre de la présente étude, il apparaît intéressant de présenter cette source pouvant être de second ordre au niveau temporel. En effet, suite aux échanges avec les responsables des structures propriétaires de ces refus de tri, il apparaît que les exutoires actuels sont saturés et que la solution de mutualisation des gisements et la mise en place d'un outil de valorisation local, accompagné par la garantie du rachat du produit fini pour des besoins énergétiques locaux prend tout son sens.

Cette approche, complexe tant au niveau technique que logistique et économique pourrait faire partie d'une étude ultérieure afin de renforcer l'impact positif des futures activités du site VALGO.

La valorisation énergétique du biogaz

Le biogaz issu de la fermentation organique des déchets dans les installations de stockage de déchets non dangereux et dans les installations de méthanisation peut être valorisé, soit en tant qu'électricité et/ou de chaleur, soit, après épuration poussée, en tant que carburant pour alimenter les véhicules fonctionnant au gaz naturel ou le réseau de gaz naturel.

60

Pour information, selon l'ATEE, à fin juillet 2018, la France comptait 553 installations de production de biogaz par méthanisation, dont 406 utilisant le biogaz en cogénération, 44 pour la production de biométhane et 103 valorisant le biogaz comme combustible de chaudières.

Les progrès semblent très rapides, puisque mi-mars 2019, GRDF recensait 84 sites d'injection de biométhane en France, dont 73 sites injectant dans son réseau. Ce qui représente 1 320 GWh de capacité et plus de 130 000 tonnes d'émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) non-émises. 661 sites d'injection sont en projet, soit 14 TWh de capacité. C'est déjà plus que ce que prévoit le projet de PPE (Programmation Pluriannuelle de l'Energie) pour les périodes 2019 – 2023 et 2024 – 2028. La PEE vise une production globale de 14 TWh en 2023 et de 24 à 35 TWh en 2028, avec un objectif de coût de production de 67 €/MWh PCS en 2023 et de 60€/MWh PCS en 2028. Naturellement, GRDF espère que les objectifs de la PPE seront revus à la hausse et table sur le développement du marché pour faire baisser les coûts de production. Le Club Biogaz, qui rassemble les acteurs de la filière depuis les fabricants de matériels jusqu'aux entreprises productrices, compte déjà plus de 1000 membres.

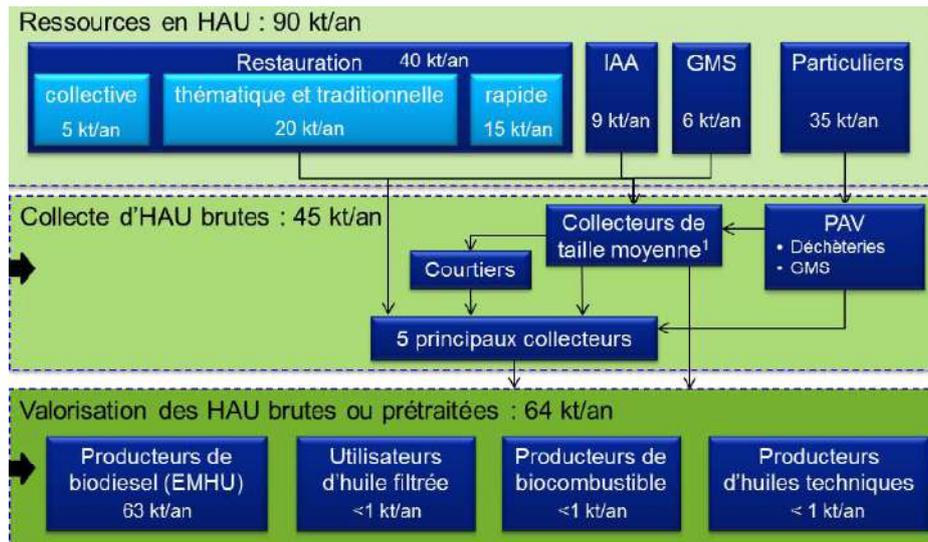
Il n'apparaît opportun de développer plus avant cette technologie ou ressource, au regard de l'implantation du site et en l'absence d'installations locales, pouvant permettre une utilisation in situ du biométhane. Cependant, cette piste pourrait être privilégiée si des besoins de chaleur en locale étaient identifiés.

Autres déchets visés

En termes de déchets pouvant être valorisés en énergie, on peut identifier le gisement des Huiles Alimentaires Usagées qui, une fois retraitées peuvent être assimilables à un combustible directement utilisable en cogénération notamment.

Les huiles alimentaires usagées (HAU) sont constituées par les résidus d'huiles végétales ou animales utilisées pour la friture, les huiles et graisses issues d'opérations de cuisson ainsi que les huiles et graisses issues des restes de plats. La plupart proviennent de la restauration commerciale et collective, des industries agroalimentaires et des métiers de bouche tels que les boulangeries et les boucheries.

D'après l'ADEME, les huiles alimentaires usagées représentent un gisement de 100 000 à 150 000 tonnes par an. A l'heure actuelle, environ 30% des quantités d'huiles usagées sont collectées chaque année. La production d'HAU brutes est cependant très diffuse sur le territoire. Les producteurs français d'HAU sont répartis en quatre catégories : les particuliers, les restaurateurs, les industries agro-alimentaires (IAA) et les grandes et moyennes surfaces (GMS). Ils produisent entre 70 000 et 105 000 tonnes d'HAU brutes par an.



*Organisation de la filière de production et de valorisation des HAU en France métropolitaine en 2014
(Source : BIO by Deloitte)*

Les principaux modes de valorisation des HAU sont l'estérification en vue de la production de biodiesel, la méthanisation ainsi que l'utilisation dans une installation de combustion.

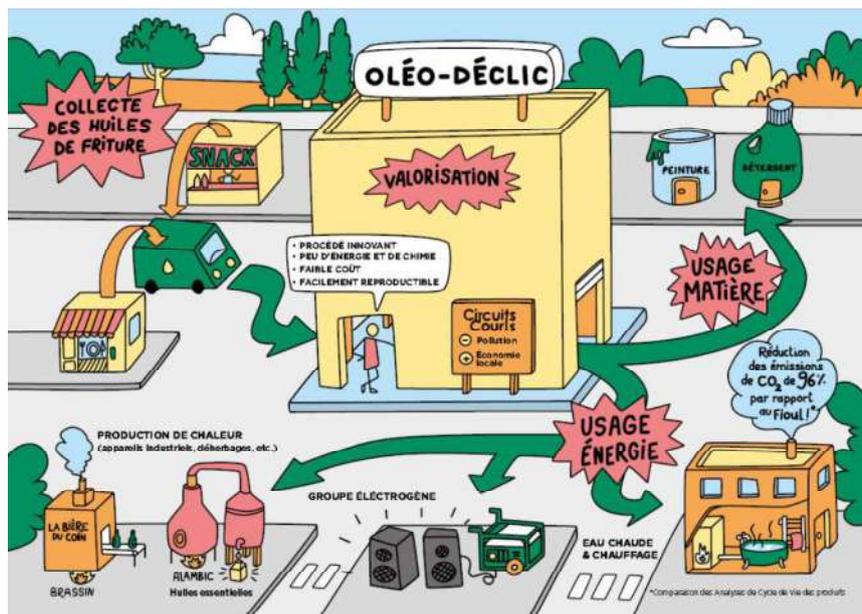
D'une façon générale, une fois ces huiles collectées, elles sont prétraitées pour éliminer l'eau et les impuretés (chauffées dans des cuves, décantées et filtrées selon la filière finale de valorisation).

Dans le cas d'un traitement des huiles par des opérations diverses et variées, il est possible d'en obtenir des acides gras d'une part et des esters méthyliques de l'autre. Les acides gras peuvent être valorisés dans les produits de tannages des cuirs, les lubrifiants industriels et les huiles siccatives. Quant aux esters méthyliques, ceux-ci sont utilisés dans la production de biocarburants, d'arômes alimentaires, de parfums, de détergents et de savons biologiques. En 2014, la France comptait trois unités de production de biocarburants (appelés Esters Méthyliques d'Huiles Usagées ou EMHU) à partir d'HAU.

La voie de valorisation qui semble dans le cadre de cette étude, la plus intéressante et qui rentre dans un cadre législatif bien défini est la valorisation en biocombustible, comme c'est le cas de OLEO DECLIC, basé à Marseille. Le cas de cet organisme est intéressant tant sur les points techniques qu'administratifs.

Créée en 2011, Oléo-Déclic est une association loi 1901 dont l'objectif est la réduction de l'empreinte écologique des activités humaines. Elle est composée d'une trentaine de membres, d'un noyau dur (CA + bénévoles) d'une dizaine de personnes, et emploie trois salariés. La proposition d'Oléo-Déclic pour la valorisation des HAU limite les transports (circuit court) et consomme très peu d'énergie et de produits chimiques pour le traitement du produit. De plus, les usages préconisés pour les huiles alimentaires recyclées (HAR), notamment en chauffage, ont un rendement très élevé (au moins 90%).

Selon une Analyse de Cycle de Vie commandée par Oléo-Déclic au bureau d'étude OUVERT, l'utilisation en chaudière des HAR produites selon la méthode d'Oléo-Déclic permet de réduire les émissions de CO₂ de 96% par rapport à l'utilisation du fioul domestique, et de 62% par rapport à la valorisation industrielle des HAU dans la filière agrocarburant.



Présentation des actions d'Oléo-décllic (source : Oléo-décllic)

Conformément aux objectifs de la transition énergétique et au principe de proximité dans la gestion des déchets (article L541-1 du code de l'environnement), OLEO DECLIC vise à réorienter les flux d'HAU vers une filière locale et de destiner l'HAR à des usages collectifs ou professionnels au plus près du gisement. Il est à noter qu'OLEO DECLIC a obtenu en 2016, la Sortie du Statut de Déchet des huiles alimentaires usagées auprès du Ministère de l'Environnement, pour une utilisation comme combustible dans les unités de plus de 100 kW thermiques.

Cette démarche et décision administrative accordée marque le début d'une réelle valorisation en tant que biocombustible des HAU. L'obtention d'un cadre technico-économique ouvre des marchés porteurs en matière d'économie circulaire et de diversification énergétique notamment pour les bâtiments.

Le concept de collecte et de valorisation du biodéchets a été repris par de nombreux organismes et l'un d'eux peut être identifié en proximité du site étudié. Un recours auprès de collecteurs de plus grande envergure comme SARIA, ECOGRAS (VEOLIA) ou SUEZ peut permettre un développement et un approvisionnement local. Il s'agira alors de définir les qualités et volumes requis.

L'IFHVP a mené avec succès, en 2012, un programme visant à recycler des Huiles Alimentaires Usagées pour une utilisation comme combustible pour un bateau de pêche professionnelle (projet AREC – France Filière Pêche).

Synergie locale

Identification des sources de déchets valorisables dans le rayon défini

Au regard des activités du SMEDAR, il est intéressant d'identifier les sources de déchets potentiellement valorisables pour les besoins énergétiques du site.

Dans son rapport d'activité de 2017, il est précisé les quantités de déchets

Les apports d'incinérables en 2017 (en Tonnes)

	2017		2016	Evolution (en %)
	Quantité (en T)	Part (en %)	Quantité (en T)	
<i>O.M. (adhérents et clients Valenseine)</i>	204 441,73	73,42	212 496,58	-3,8
<i>Incinérables des Services Techniques</i>	5 221,43	1,88	6 055,36	-13,8
<i>Tout-venant incinérable des déchetteries (*)</i>	16 249,07	5,84	1 543,98	952,4
<i>Incinérables des entreprises et associations</i>	49 556,24	17,80	44 732,48	10,8
<i>D.A.S.</i>	2 983,38	1,07	3 136,58	-4,9
Total	278 451,85	100,00	282 964,98	-1,6

(*) : Les collectes d'incinérables en apport volontaire réalisées par le SMEDAR pour la Métropole Rouen Normandie sont intégrées dans cette catégorie.

Outre ces déchets, des refus de tri (résidus non recyclables issus des chaînes de tri des déchets recyclables) et des « broyats » issus de l'Unité de Traitement des Encombrants (U.T.E.) ont également été valorisés énergétiquement, pour un total de 36 845,65 T.

Le total des déchets traités par ce biais pour 2017 est donc de **315 297,50 T** (315 320,35 T en 2016). Ce total inclus bien la part des déchets non-incinérables valorisés comme expliqué ci-dessous :

Les apports de déchets non-incinérables en 2017 (en Tonnes)

	2017		2016	Evolution (en %)
	Quantité (en T)	Part (en %)	Quantité (en T)	
<i>Encombrants des Particuliers</i>	6 335,45	18,62	6 484,45	-2,3
<i>Tout-venant Non-inc des déchetteries (*)</i>	26 363,59	77,49	25 762,92	2,3
<i>Non-Inc des Services Techniques</i>	858,82	2,52	1 009,85	-15,0
<i>Non-Inc des entreprises et associations</i>	463,28	1,36	364,57	27,1
Total	34 021,14	100,00	33 621,79	1,2

(*) : Les collectes de non-incinérables en apport volontaire réalisées par le SMEDAR pour la Métropole Rouen Normandie sont intégrées dans cette catégorie.

Les déchets non-incinérables issus des encombrants, des déchetteries, des entreprises, des associations et des services techniques des collectivités sont réceptionnés sur les différents quais de transfert du S.M.E.D.A.R. et, principalement, sur l'U.T.E.

Ces déchets sont triés sur l'U.T.E., afin d'extraire la ferraille, les pneus... et la fraction valorisable énergétiquement (cette dernière est envoyée sur l'U.V.E.). Seule la fraction non valorisable est donc envoyée en C.S.D.U. de classe II. **Plus de 90 % des déchets non-incinérables ont, ainsi, pu être valorisés en 2017.**

Les déchets non valorisables sont envoyés au C.S.D.U. de classe II de Fresnoy-Folny (76), exploité par IKOS. (Les big-bags d'amiante ciment, sont également envoyés dans ce C.S.D.U.)

Les évacuations en C.S.D.U. de classe II en 2017

	<i>IKOS</i> (Quantité en T)	<i>Amiante (IKOS)</i> (Nbre Bigbags)
2017	2 053,06	57 (*)
2016	2 887,58	29

En conséquence, les gisements pouvant constituer une source de CSR, à savoir :

Incinérables de déchetteries	=	16 249 T
Incinérables des Services Techniques	=	5 221 T
Incinérables des entreprises et associations	=	49 556 T
Incinérables issus des Refus de tri l'U.T.E	=	36 845 T

Soit 77 871 T /an sont déjà valorisées sur l'Usine de Valorisation Énergétique (U.V.E.) située sur le site de l'écopôle V.E.S.T.A., sis à Grand-Quevilly, boulevard de Stalingrad.

La vapeur produite par les chaudières de l'U.V.E. est transformée en énergie électrique, grâce à un turboalternateur. La puissance récupérable est de **32 mégawatts**. L'énergie ainsi récupérée est vendue à Electricité De France (E.D.F.), à l'exception d'une faible part, directement consommée sur le site V.E.S.T.A. La recette annuelle de la vente d'énergie électrique vient en déduction des coûts d'exploitation de l'U.V.E.

65

La vapeur permet également d'alimenter le réseau de chaleur « VESUVE » (mis en service en octobre 2013), qui fournit en chauffage 10 000 logements et plusieurs bâtiments publics des communes de Petit-Quevilly et Grand-Quevilly, ainsi que le siège du S.M.E.D.A.R.

En conclusion, il apparaît que l'équilibre budgétaire du SMEDAR repose en majeure partie sur le financement assuré par les redevances des adhérents ainsi que par les recettes provenant de la vente des matériaux recyclés et des énergies produites. L'éventualité d'une récupération, même partielle, des 77 871 T annuelles paraît proscrite.

Autres valorisations en synergie

UPM

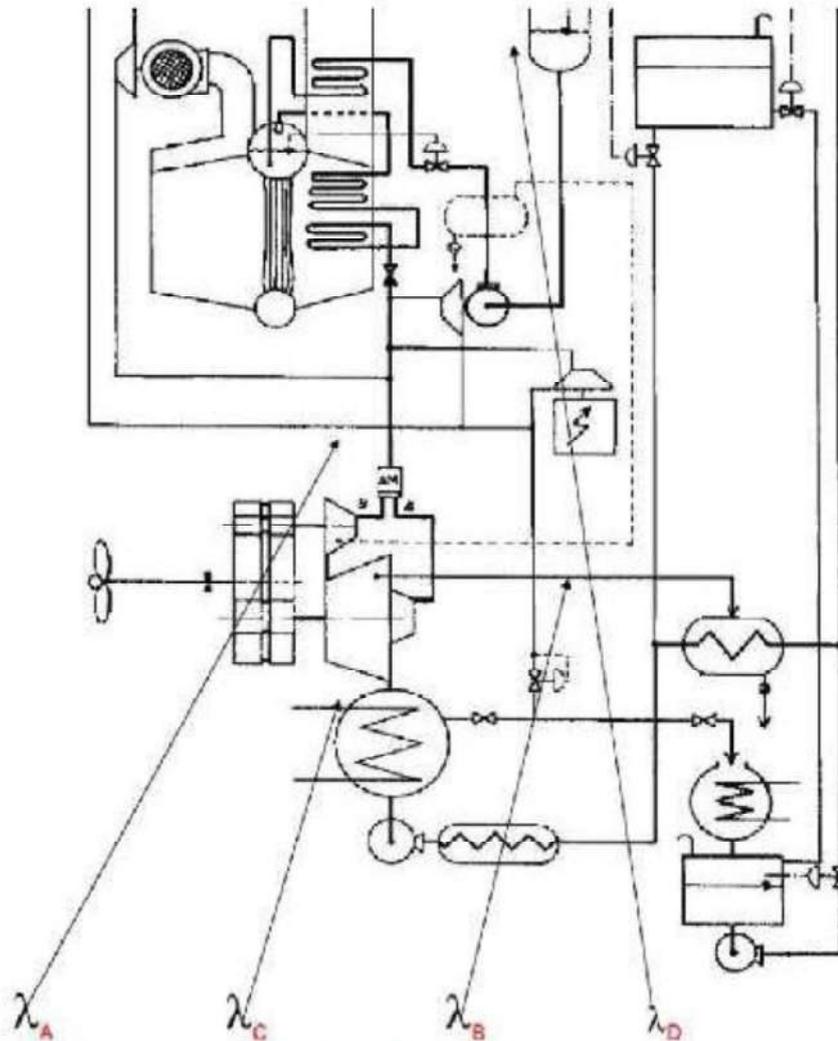
Le site étudié est à proximité immédiate d'un autre énergivore qu'est la société UPM, possédant une chaudière biomasse de forte capacité.

Produisant de la vapeur sous haute pression et température, il est proposé d'étudier la possibilité de raccordement pour alimenter un groupe turbo-alternateur (GTA) sur le site du parc, présentant ainsi une puissance possible de 10 MW.



Vue externe de la chaudière biomasse d'UPM (source : Le Télégramme)

Etude technico économique d'un GTA alimenté par vapeur HP UPM



I débit de vapeur, ou d'eau en retour du condenseur

Id débit de soulirage vers échangeurs chauffags groupe bâtiments

J équivalence mécanique de la chaleur

P développée par la turbine= $\lambda_A - \lambda_C \times J \times I = X \text{ KW}$

P soulirée pour échangeurs= $\lambda_B - \lambda_C \times Id = Y \text{ Kcal}$

De ce bilan thermique je vais déterminer les paramètres d'équilibre pour la négociation commerciale d'achat de vapeur à UPM, en intégrant les frais d'installation du GTA

L'étude du développement de cette ressource a été initiée en 2015 mais nécessite plus de temps pour être approfondie.

Zone des Milhuit

En bordure du site dont fait l'objet la présente mission, il se présente une zone appartenant, suivant nos informations, actuellement, au groupe Bolloré



67
Zone des Milhuit

Situation géographique de la zone

Sur cette zone de 10 ha, il pourrait être implanté un plateau technique où serait installé un ensemble de production énergétique, regroupant plusieurs technologies.

Il serait en effet possible de produire l'ensemble des énergies nécessaires au site PIC VALGO depuis ce site, avec une implantation sans contraintes, notamment des groupes de cogénération fonctionnant en HVP ou HAU ou autre produit énergétique liquide. Pourront s'y rajouter d'autres technologies, telles que de la génération solaire thermodynamique à concentrateur cylindro-parabolique, des éoliennes verticales... En effet, à l'altitude du site, les phénomènes météorologiques seront plus favorables telle que la vitesse du vent.

Le transfert des puissances thermiques sera à étudier, via notamment des boucles de fluides caloporteurs, les puissances électriques pourront être transférées par une ligne électrique vers la « zone du bas ».

Approche descriptive de l'installation mixte :

Il s'agit ici, en l'état de l'étude, d'une simple énumération de mots clés, avant tout dimensionnement, puissances, débits, surfaces d'échange, volumes de stockage, ainsi qu'un schéma des installations

Le terme « mixte » est utilisé en raison du jumelage d'au minima deux technologies s'apparentant aux EnR :

- Une pompe à chaleur, équipement de chauffage thermodynamique dit à énergie renouvelable.
- Une micro-génération solaire
- Un moteur à cycle thermodynamique tel que Hirn ou Rankine

I.F.H.V.P.

Pompe à chaleur :

À dimensionner mais de puissance d'au moins 1 MW (gamme du grand tertiaire et grand collectif à secteur industriel). A ce titre, il est à noter que l'ADEME soutient le développement de toutes les technologies de pompes à chaleur permettant d'accéder aux gisements d'énergies renouvelables ou fatales. Elle accompagne l'Institut National des Pompes à Chaleur (INPAC) sur des travaux d'identification des priorités de recherche. L'INPAC est un réseau d'acteurs français de la recherche sur les pompes à chaleur qui regroupe le BRGM, le CEA, le Cetiati, le Costic, le CSTB, EDF, Suez et MINES ParisTech.

68

L'ADEME accompagne à travers le Fonds chaleur les projets de pompes à chaleur géothermiques, sur eau de mer et eaux usées.

Fluide caloporteur :

Si l'emploi d'un fluide caloporteur s'avère pertinent, son choix et mode de stockage et transfert sera à étudier de près afin de conférer à cet emploi un caractère tout aussi environnemental que l'ensemble des productions énergétiques.

Tableau 1 - Températures d'utilisation des fluides caloporteurs	
Fluide	Domaine usuel de température d'utilisation (°C)
Gaz (air, CO ₂ , He...)	Ambiant à 1 000
Vapeur d'eau	100 à 600
Eau	Ambiant à 200
Fluides organiques	Ambiant à 350
Sels fondus	150 à 500
Métaux liquides	200 à 700

Conclusion générale

La conclusion générale de cette étude, dans son état d'avancement au regard du temps imparti présente plusieurs aspects afin de proposer une vision claire des potentialités en approvisionnements énergétiques renouvelables du site.

69

Tout d'abord, au regard des superficies disponibles à l'investissement, représentant au total 20 ha, les besoins énergétiques devraient être alors de 20 000 MWh/an, soit environ un besoin en puissance **installée de 2,5 MW pour un temps de fonctionnement de 8 000 heures par an.**

Il apparaît que la potentialité sur le site de PIC Valgo, d'installer une puissance d'EnR soit de plusieurs dizaines de mégawatts, en combinant plusieurs énergies. Il est d'ailleurs rappelé que dans les énergies proposées, certaines sont dites intermittentes et nécessitent des moyens de stockage. Il convient alors d'établir un mix énergétique afin de sécuriser l'approvisionnement tant sur les pans de la quantité que de la qualité.

Au regard des éléments définis en première partie du rapport, il apparaît que la fourniture d'énergies sur le site pourrait se faire via trois sources :

- Panneaux photovoltaïques sur les toitures des bâtiments, voire sur les ombrières des zones de parking des véhicules,
- Eoliennes verticales soit en toiture soit au sol, réparties sur les zones les plus adéquates,
- Cogénération en huile végétale pure et/ou en huile alimentaire usagée avec stockage de l'énergie thermique par ECS ou matériaux à changement de phase.

Il n'est pas question ici d'établir un dimensionnement de ces ressources car l'implantation des bâtiments et leurs besoins réels ne sont pas encore arrêtés. Cette précision pourra être apportée dans une étude complémentaire, le temps imparti pour la présente étude étant trop court.