
Etude de faisabilité de développement des énergies renouvelables

ZAC VARECOPOLE



AREA REGION SUD

Communauté de Communes Cœur du Var

TRACTEBEL ENGINEERING S.A.

Siège (Gennevilliers)
5, rue du 19 mars 1962 - 92622 Gennevilliers CEDEX - FRANCE
tél. +33 1 41 85 03 69 - fax +33 1 41 85 03 74
engineering-fr@tractebel.engie.com
tractebel-engie.fr

RAPPORT DE FAISABILITE



Intertek

Nos ref. : ZACV-TEF-PJ-RP-001
Entité : URBAN
Imputation : P.015560

PUBLIC

Client : AREA REGION SUD
Projet : ZAC VARECOPOLE
Pays/Ville : FRANCE

Titre : Etude de faisabilité de développement des énergies renouvelables
Sous-titre : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
Auteur(s) : SCO/MBN Cliquez ici pour taper du texte.
Date : 30 avril 2021

Résumé : -
Commentaires : -
Mots-clés : -
Nbr pages : -

00	30/04/2021	Première émission	Initial	S. COUCKE	M. BAGONNEAU	Z. BESARAT
REV.	JJ/MM/AA	OBJET DE LA REVISION	STAT.	REDACTION	VERIFICATION	APPROBATION

TRACTEBEL ENGINEERING S.A. - siège social : 5, rue du 19 mars 1962 - 92622 Gennevilliers CEDEX - FRANCE
au capital de 3 355 000 euros - R.C.S. Nanterre B 309 103 877 - SIREN 309 103 877 - TVA intra : FR 82 309 103 877 - APE 7112B

ZAC VARECOPOLE

ETUDE DE FAISABILITE DU DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENEUVELABLES

SOMMAIRE

1.	DESCRIPTION DU CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	5
1.1.	Enjeux et cadre en matière d'énergie-climat	5
1.1.1.	Niveau national	5
1.1.2.	Niveau régional	6
1.2.	Objectifs de l'étude	7
1.3.	Synthèse de l'étude EVEN Conseil	8
1.4.	Démarche de l'étude	9
2.	ESTIMATION DES BESOINS ENERGETIQUES	9
2.1.	Programme de développement	9
2.2.	Hypothèses	12
2.3.	Estimations des besoins énergétiques	12
3.	POTENTIELS D'ENERGIES RENEUVELABLES	14
3.1.	Energie solaire	14
3.1.1.	Solaire thermique	14
3.1.2.	Solaire photovoltaïque (PV)	15
3.2.	Energie éolienne	15
3.3.	Géothermie	17
3.4.	Aérothermie	19
3.5.	Biomasse.....	19
3.6.	Energies de récupération	20
3.7.	Réseau de gaz naturel.....	22
3.8.	Réseaux de chaleur/froid existants ou en projet.....	22

4.	ETUDE DES SCENARIOS ENERGETIQUES	23
4.1.	Définition des scénarios	23
4.1.1.	Réseau de chaleur biomasse / gaz	23
4.1.2.	PAC air/eau à gaz	24
4.1.3.	PAC air/eau électrique + PV	25
4.2.	Comparaison des scénarios.....	27
5.	SOLUTION ENERGETIQUE PRECONISEE.....	31
5.1.	Principe de fonctionnement du couplage PV+PAC.....	31
5.2.	Dimensionnement	32
5.2.1.	Besoins de chaleur et de froid des bâtiments	32
5.2.2.	ZAC autonome	32
5.2.3.	ZAC à énergie positive	33
5.3.	Usage des toitures	34
5.4.	Chiffres clés	35
5.4.1.	ZAC autonome	35
5.4.2.	ZAC à énergie positive	35
5.5.	Subventions	36
6.	INTEGRATION DE LA STATION H₂ DANS LE MIX ENERGETIQUE DE LA ZAC	38
6.1.	Integration pour les besoins énergétiques de la ZAC.....	38
6.2.	Integration au réseau électrique PV	38
6.3.	Integration à un réseau de production d'H₂.....	39
7.	ANNEXES.....	41

1. DESCRIPTION DU CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

À l'entrée de la plaine des Maures, le projet VARECOPOLE s'inscrit dans une démarche environnementale et d'innovation énergétique volontariste. Des prescriptions environnementales renforcées seront mises en œuvre par le maître d'ouvrage avec notamment des constructions basses consommations.

Dans ce cadre TRACTEBEL a été mandaté pour réaliser une étude de faisabilité du développement des énergies renouvelables dans le contexte du projet VARECOPOLE. Cette étude fait suite à l'étude réalisée par EVEN Conseil en avril 2018.

1.1. Enjeux et cadre en matière d'énergie-climat

1.1.1. Niveau national

Loi du 8 novembre 2019 relative à l'Energie et au Climat a rehaussé l'ambition de la Loi de Transition Energétique pour la Croissance Verte (LTECV). Parmi les objectifs et les mesures de la loi figurent en particulier :

- **Energie**
 - Réduction de 40% de la consommation d'énergies fossiles - par rapport à 2012 - d'ici 2030 (contre 30% précédemment) ;
 - Obligation d'installation de panneaux solaires sur les nouveaux entrepôts et supermarchés et les ombrières de stationnement ;
 - Objectif d'atteindre 33% d'énergies renouvelables dans le mix énergétique d'ici 2030, comme le prévoit la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) ;
 - Soutien à la filière hydrogène.
- **Bâtiment**
 - Rénovation de toutes les passoires thermiques d'ici dix ans ;
 - Faciliter les projets d'autoconsommation collective portés par les organismes HLM.

Révision en 2019 de la **Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC)** pour viser la **neutralité carbone en 2050**.

Le niveau de performance énergétique des constructions neuves est encadré par la **RT2012**, qui fixe des exigences de moyens et de résultats en termes de conception du bâti, de consommation d'énergie et de confort.

La RT2012 définit 3 exigences de performance :

- Besoins bioclimatiques du bâti (Bbiomax) ;
- Consommation d'énergie primaire (Cepmax) ;
- Confort en été (Ticréf).

D'autre part, la RT2012 impose le recours à une énergie renouvelable obligatoire au minimum pour tout projet de construction de maison individuelle ou accolée. Pour les autres types de bâtiments, l'utilisation d'énergies renouvelables n'est pas directement imposée et dépend de l'ambition du maître d'ouvrage.

La future **règlementation environnementale RE 2020**, prévue par la loi ELAN pour Evolution du Logement, de l'Aménagement et du Numérique, se veut plus ambitieuse pour améliorer la performance énergétique des bâtiments et leur impact carbone.

Printemps-Eté 2020

Concertation pour fixer les seuils et objectifs chiffrés de la RE 2020

Automne 2020

Publication des textes réglementaires de la RE 2020

1er janvier 2021

Entrée en vigueur de la RE 2020

Le référentiel **Energie Positive Réduction Carbone** préfigure la RE 2020 et fournit un cadre d'expérimentation pour les bâtiments.



Energie 1 - Energie 2	Energie 3	Energie 4
<i>Sobriété et efficacité énergétique et/ou recours aux ENR notamment la chaleur renouvelable</i>	<i>Sobriété et efficacité énergétique et recours aux ENR</i>	<i>Bâtiment producteur</i> Production ENR équivalente aux consommations NR sur tous les usages du bâtiment
Résidentiel : Entre 5 et 10% de réduction des consommations NR par rapport à la RT2012	Résidentiel : 20% de réduction des consommations NR par rapport à la RT2012 et recours à 20 kWh/m ² /an aux ENR	
Bureau : entre 15 et 30% de réduction	Bureau : 40% de réduction des consommations NR par rapport à la RT2012 et recours à 40 kWh/m ² /an aux ENR	

1.1.2. Niveau régional

En accord avec les objectifs nationaux et européens, le Région Provence-Alpes-Côte d'Azur a pour ambition de devenir **la première région française neutre en carbone à l'horizon 2050**.

Ainsi, le **Plan Climat régional** lancé en 2017 détaille des actions pour atteindre cette neutralité carbone, en particulier :

- Réduire de 50% la consommation d'énergie fossile de la région d'ici 2050 afin d'atteindre une équivalence entre la consommation et la production d'énergie ;
- Mobiliser 100% des énergies renouvelables disponibles à l'horizon 2050.

- Parmi les actions proposées :
 - La multiplication par trois d'ici 2021 de l'autoconsommation via le dispositif Smart PV ;
 - La multiplication par deux du nombre de parcs photovoltaïques d'ici 2021, en aidant les communes à identifier les surfaces disponibles, en privilégiant les bâtiments délaissés, toitures et parking ;
 - Le déploiement des installations solaires thermiques dans des lieux très consommateurs d'énergie (hôpitaux, logements collectifs, piscines, etc).

En particulier, le **Plan Solaire régional** vient en appui du plan d'actions et a pour ambition de définir un plan d'actions d'animation et d'intervention régionale et de fédérer tous les dispositifs et soutiens mis en œuvre par la Région en faveur de l'énergie solaire (photovoltaïque et thermique).

Dans un but de massification des installations de cette filière, plusieurs actions sont menées aujourd'hui sur le territoire par la Région comme :

- Le soutien d'installations en injection réseau comprises entre 10 kWc et 100 kWc, incluant une composante de maîtrise de l'énergie.
- Le soutien aux projets d'autoconsommation photovoltaïque intelligente porté par le dispositif Smart PV.
- Le soutien au déploiement d'installations photovoltaïques sur les lycées, le but étant de réduire la consommation d'énergie dans les lycées de 20% et d'équiper 30% des établissements de toitures photovoltaïques d'ici 3 ans.

D'autre part, la Communauté de Communes Cœur du Var a lancé officiellement le 25 février 2020 son **Plan Climat Air Énergie Territorial (PCAET)** dont les orientations clés concernant l'utilisation des énergies renouvelables sont les suivantes :

- Priorité au photovoltaïque (PV) grandes et petites toitures sur des sites anthropisés ;
- Favorisation du PV au sol en sites anthropisés ;
- Développement des productions de chaleur/froid renouvelables (solaire thermique, pompes à chaleur, bois énergie avec vigilance par rapport à la gestion des coupes et besoins de structuration de la filière).

1.2. Objectifs de l'étude

Cette étude est un complément à l'étude du potentiel de développement des énergies renouvelables réalisée par EVEN Conseil en avril 2018, et ayant pour objectif de :

- Déterminer les potentiels en énergies renouvelables et de récupération de la ZAC VARECOPOLE ;
- Proposer des scénarios de développement de ces énergies ;
- Donner au maître d'ouvrage et futurs acquéreurs les facteurs clés à prendre en considération.

L'article L. 128-4 du Code de l'urbanisme précise que : « Toute action ou opération d'aménagement telle que définie à l'article L. 300-1 et faisant l'objet d'une étude d'impact doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement

en énergies renouvelables de la zone, en particulier sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération ».

A ce jour aucun décret d'application ne précise de manière détaillée le contenu de l'étude ni n'indique le pourcentage minimum d'énergie renouvelable à considérer dans le mix énergétique. Cependant l'étude s'attachera à prendre en compte le cadre national et régional en matière d'énergie-climat.

1.3. Synthèse de l'étude EVEN Conseil

Trois scénarios sont étudiés :

- **Scénario 1 - Réseau** : Création d'un réseau de chaleur bois ;
- **Scénario 2 – Décentralisé Gaz naturel** : Dans ce scénario, l'accent est mis sur la valorisation de l'énergie gaz naturel pour les logements collectifs et tertiaire ;
- **Scénario 3 – Décentralisé Électricité** : Dans ce scénario, des systèmes décentralisés valorisant au maximum les énergies renouvelables sont pris en compte.

	Logements collectifs	Immobilier bureaux	Commerces et équipements publics
SCENARIO 1 Réseau de chaleur bois	Raccordés au réseau de chaleur	Raccordés au réseau de chaleur + PAC élec aérothermie	Raccordés au réseau de chaleur + PAC élec aérothermie
SCENARIO 2 Décentralisée – Gaz naturel	Chaudière gaz individuelle à condensation	PAC moteur gaz	Chaudière gaz à condensation + PAC élec aérothermie
SCENARIO 3 Décentralisée – Electricité	Radiateurs élec et thermodynamique	PAC élec + PV	PAC élec

L'analyse comparative a mis en exergue les points suivants :

- Le **réseau de chaleur Bois** est pertinent d'un point de vue environnemental mais implique une consommation d'énergie primaire plus importante, du fait des pertes envisageables sur le réseau. La densité énergétique faible du projet impacte fortement l'intérêt économique d'une telle solution : le coût global est plus important que dans le cas d'autres solutions décentralisées. Il existe aujourd'hui une réelle incertitude sur l'obtention des subventions du fonds chaleur pour les projets de RCU Bois.
- Les **solutions décentralisées** permettent de mieux concilier la performance énergétique et la limitation de la facture énergétique pour les futurs habitants.

1.4. Démarche de l'étude

Sur la base des ambitions énergétiques du projet VARECOPOLE, TRACTEBEL a réalisé l'étude de faisabilité du développement des énergies renouvelables selon la démarche suivante :

- Estimation des besoins énergétiques en se basant sur l'aménagement projeté de la future ZAC et des usages prévus ;
- Evaluation des potentiels en énergies renouvelables de la zone ;
- Comparaison de scénarios énergétiques pertinents basés sur les conclusions des deux premières étapes ;
- Recommandation et développement d'une solution énergétique.

2. ESTIMATION DES BESOINS ENERGETIQUES

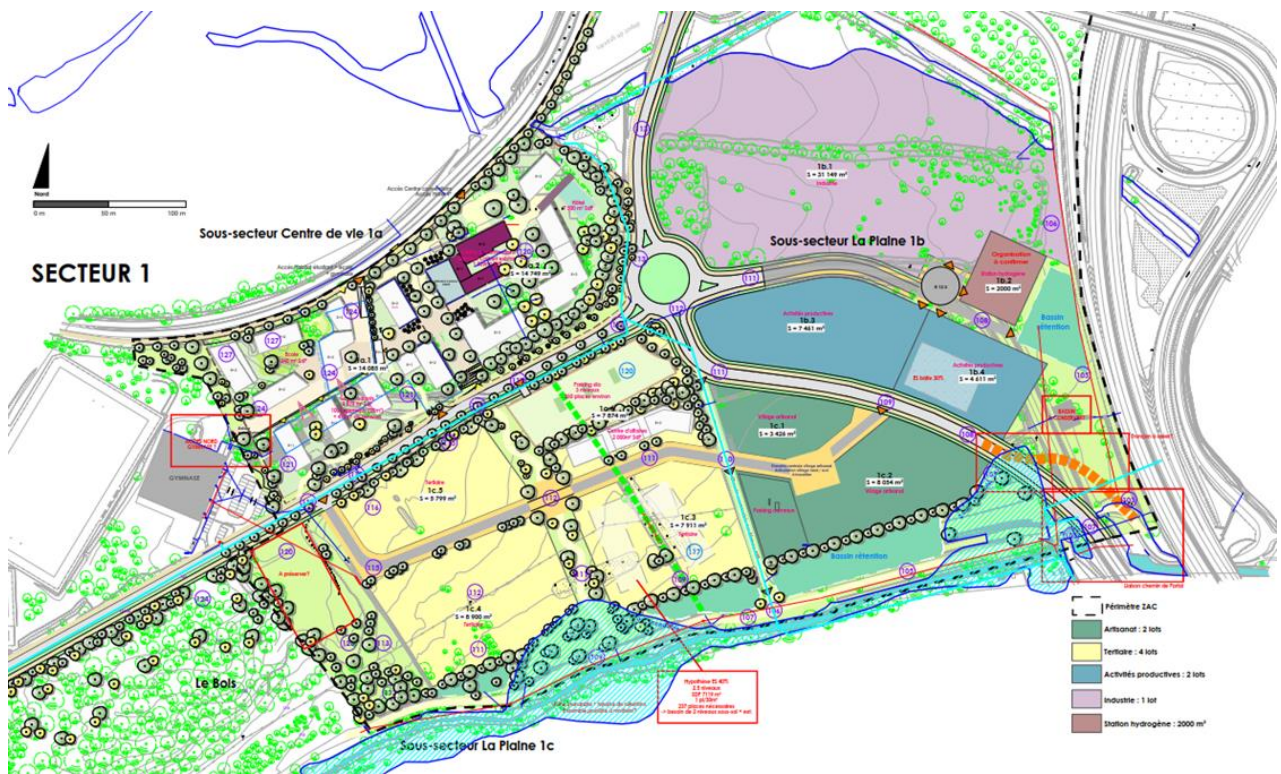
2.1. Programme de développement

L'estimation des besoins énergétiques de la ZAC est basée sur le programme de développement arrêté en février 2021 et présenté sur le plan de masse ci-dessous.



Le programme de développement est divisé en 3 secteurs :

- **Secteur 1 (2022) :**
 - Ecole d'ingénieur ;
 - Hôtel ;
 - Centre de convention ;
 - Activités tertiaires ;
 - Activités industrielles ;
 - Station hydrogène ;
 - Activités artisanales ;

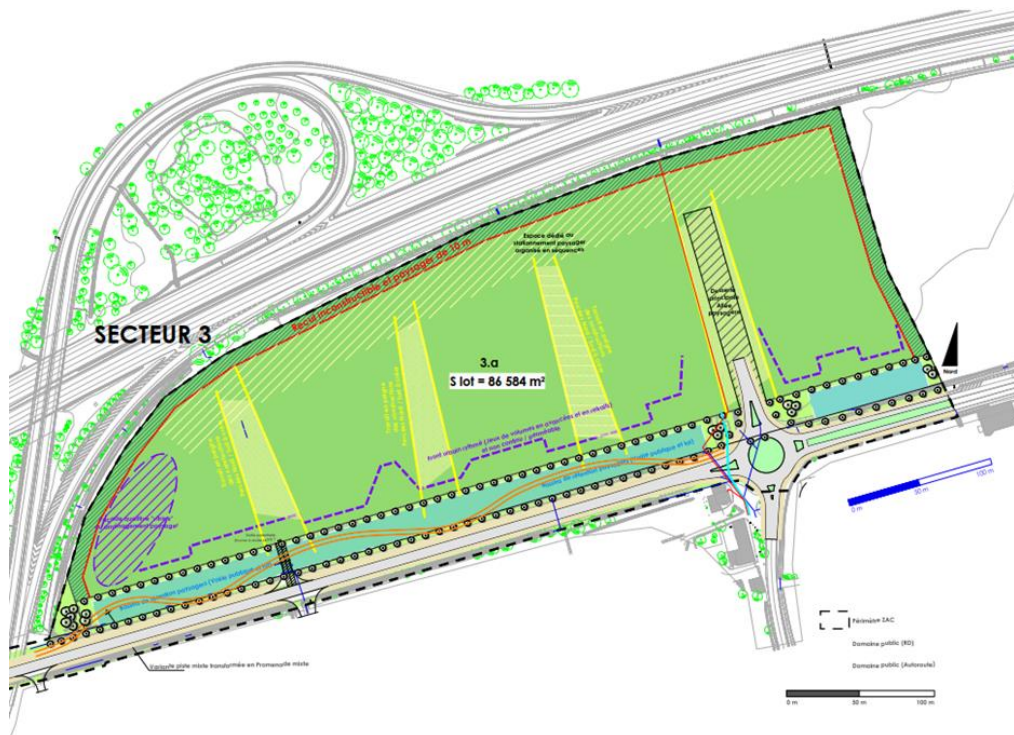


Ce document est la propriété de Tractebel Engineering S.A. Toute copie ou transmission à des tiers est interdite sans un accord préalable.

- **Secteur 2 :**
 - Activités tertiaires ;
 - Activités artisanales.



- **Secteur 3 : En cours d'étude**



2.2. Hypothèses

Les besoins en chaleur et en refroidissement des bâtiments de la ZAC VARECOPOLE ont été déterminés à l'aide d'un outil interne (NEMO Market) sur la base de la typologie des bâtiments et des surfaces du programme de développement communiquées.

Les hypothèses suivantes ont été considérées :

- Le Secteur 3 est considéré comme une industrie autonome énergétiquement et n'est pas considérée dans l'estimation des besoins énergétiques de la ZAC ;
- La station hydrogène située dans le Secteur 1 est considérée autonome énergétiquement et n'est pas considérée dans l'estimation des besoins énergétiques de la ZAC. Une partie de l'étude sera toutefois consacrée à la faisabilité d'intégration de la station hydrogène dans le mix énergétique (cf. paragraphe 6) ;
- Le niveau de performance énergétique des bâtiments est estimé pour les 3 cas suivants :
 - RT2012 ;
 - RT2012 – 10% (équivalent RE2020-E2) ;
 - RT2012 – 20% (équivalent RE2020-E3).

2.3. Estimations des besoins énergétiques

Sur la base de la typologie des bâtiments et des surfaces du programme de développement communiquées les besoins énergétiques de chaque bâtiment ont été évalués.



Figure 2-1 – Estimation des besoins énergétiques de la ZAC

Le tableau ci-dessous présente les consommations globales de la ZAC (chaleur, froid, électricité) pour les trois niveaux de performance de bâtiments définis ci-dessus.

	RT 2012	RT 2012 – 10%	RT 2012 – 20%
CHAUD – Puissance maximale (MW)	8,2	7,6	6,9
CHAUD – Consommation énergie totale (MWh)	13 700	12 706	11 712
FROID – Puissance maximale (MW)	8,8	7,9	7,0
FROID – Consommation énergie totale (MWh)	5 517	4 966	4 414
ELECTRICITE – Consommation énergie totale (MWh)	7 864	7 078	6 292

A noter que dans la suite de l'étude les besoins énergétique RT2012 - 20% sont considérés pour le prédimensionnement des solutions énergétiques et la comparaison des scénarios.

Profil de la demande annuelle

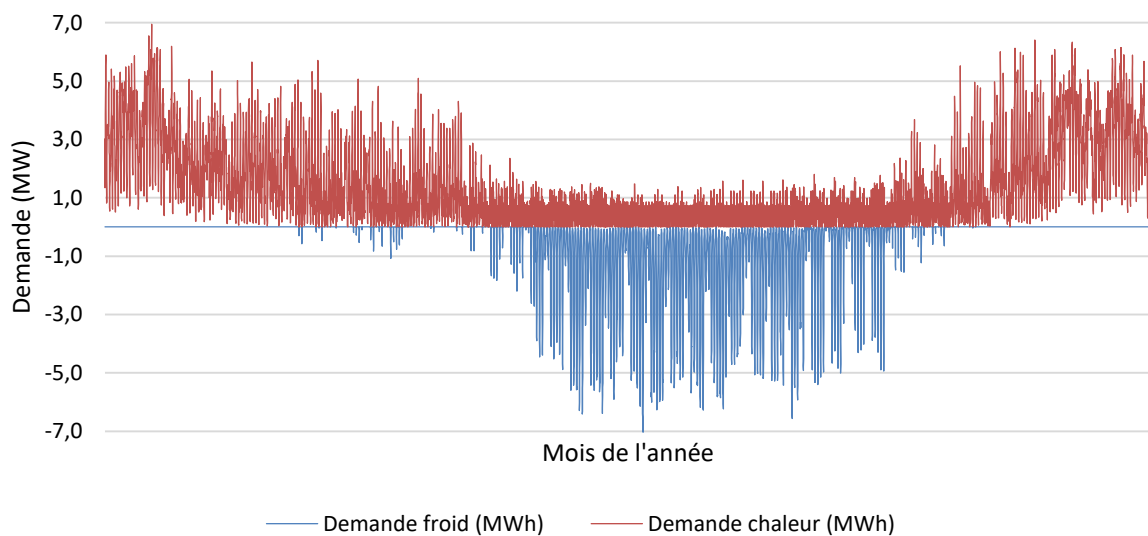


Figure 2-2 – Profil de demande annuelle (chaud/froid).

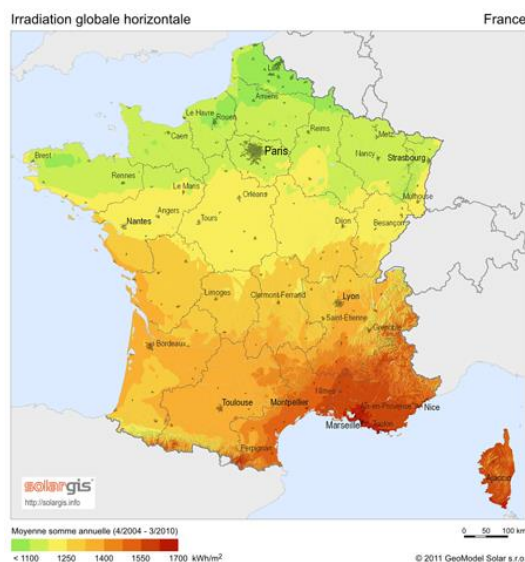
3. POTENTIELS D'ÉNERGIES RENOUVELABLES

3.1. Energie solaire



La région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) est la région la plus ensoleillée de France avec une moyenne de plus de 2800 heures d'ensoleillement par an, soit plus de 300 jours, correspondant à un facteur de charge solaire moyen de 15,6 %, permettant une production annuelle des panneaux solaires photovoltaïques pouvant atteindre jusqu'à plus de 1500 kWh/kWc.

La Région a par ailleurs renforcé son cadre d'intervention sur la filière solaire : cadastre énergétique, soutien à la décision, soutien à l'investissement (autoconsommation, injection réseau), en priorisant les installations sur toitures, ou sur du « nouveau » foncier, tel que les parkings (ombrières), etc.



Source : SolarGis

3.1.1. Solaire thermique

Les panneaux solaires thermiques, ou capteurs solaires thermiques ou chauffe-eau solaire individuel (CESI), sont des éléments qui permettent de chauffer de l'eau grâce à l'énergie solaire.

Le taux de couverture annuel moyen pour la production d'ECS est de 50%, et peut attendre 80 à 90% pendant les mois d'été.

Le gisement de solaire thermique est évalué en fonction de l'ensoleillement moyen sur le site. En considérant des panneaux solaires thermiques plans, ayant un rendement de l'ordre de 30% en moyenne, cela représente une production potentielle de 33 kWh/m²/an de chaud. Dans le cas de capteurs sous vide, ayant un rendement supérieur (environ 35 %), cette production peut en moyenne être estimée à 390 kWh/m²/an.



Ces systèmes sont intéressants pour des bâtiments avec des besoins importants en ECS, comme les logements, ou pour les bâtiments tertiaires présentant une zone d'activité avec un fort recours à l'ECS comme les activités d'hôtellerie et de restauration. Le programme de développement de la ZAC ne présentant pas ou peu de bâtiments de ce type (hormis les logements étudiants et l'hôtel), cette solution n'est pas retenue pour l'étude de scénarios énergétiques.

3.1.2. Solaire photovoltaïque (PV)

Une installation photovoltaïque se compose de modules solaires, eux-mêmes constitués de cellules photovoltaïques, généralement conçues à base de silicium. Ces générateurs transforment directement l'énergie solaire en électricité (courant continu).

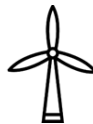
L'électricité ainsi produite peut, soit être stockée/consommée sur place, soit être revendu sur le réseau, ce qui permet de rentabiliser le coût d'investissement. L'installation photovoltaïque peut également être couplée à une pompe à chaleur (PAC) aérothermique afin de produire de la chaleur (et du froid dans le cas de PAC réversible) issue de l'air.

L'arrêté du 21 novembre 2019 prévoit actuellement que les producteurs et les consommateurs souhaitant réaliser une opération d'autoconsommation collective étendue doivent être raccordés au réseau basse tension et la distance séparant les deux participants les plus éloignés ne doit pas excéder deux kilomètres. Il précise également que l'opération peut présenter une puissance maximale cumulée de 3 MW sur le territoire métropolitain continental et de 0,5 MW dans les zones non interconnectées. Depuis début mars 2020, le caractère expérimental de l'autoconsommation collective n'est plus mentionné dans l'article du Code de l'énergie (article L. 315-2).



Le potentiel d'ensoleillement de l'emplacement de la ZAC étant conséquent et les dispositifs en faveur du développement du solaire photovoltaïque dans la région étant importants, cette solution est retenue pour l'étude des scénarios énergétiques.

3.2. Energie éolienne



L'énergie éolienne utilise le vent afin de produire de l'électricité. L'éolienne est couplée à un générateur électrique pour fabriquer du courant continu ou alternatif. Suivant leur taille les éoliennes ont une gamme de puissance assez étendue, allant de quelques kW (pour les éoliennes urbaines) à plusieurs MW (pour les grandes éoliennes).

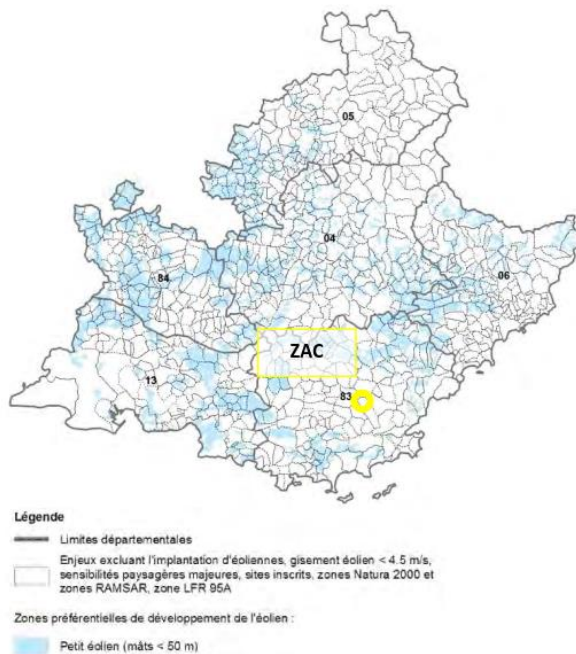
Le site SITERRE permet de connaître le potentiel éolien dans la région du Cannet-des-Maures.





Source : SITERRE

Aussi bien pour le grand (80m) que le petit (10m) éolien, le gisement présente un faible potentiel au niveau de la ZAC.



Par ailleurs la ZAC se situe dans une zone où les enjeux excluent l'implantation d'éoliennes (présence de la base générale Lejay EALAT).

De plus, la faisabilité du petit éolien n'est pas encore démontrée et la production énergétique potentielle est beaucoup plus faible que dans le cas d'un champ d'éoliennes terrestres. Elle présente également certaines incertitudes notamment concernant l'estimation du productible et donc l'équilibre économique de l'opération.

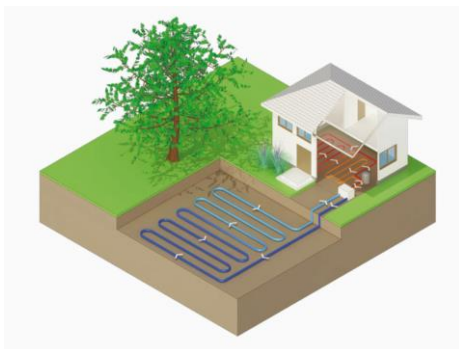
La ZAC n'est pas située dans une zone préférentielle pour le développement de l'éolien dans le schéma régional éolien (SRE), en plus d'un faible potentiel local. Une implantation de grand ou de petit éolien n'est pas retenue pour l'étude des scénarios énergétiques.

3.3. Géothermie

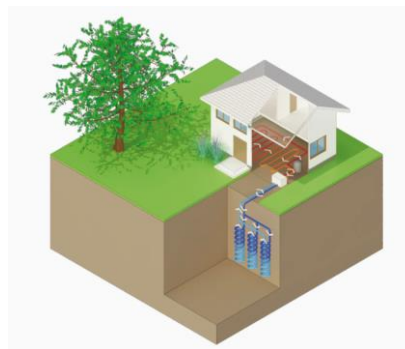


La géothermie est l'exploitation de la chaleur stockée dans le sol. La géothermie se distingue par deux catégories :

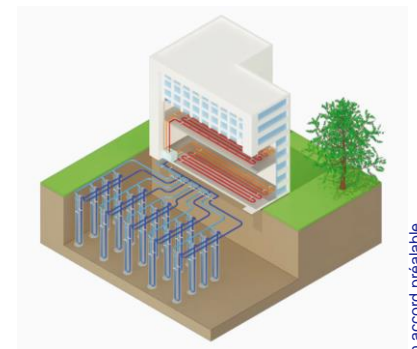
- **Géothermie de surface :**
 - Cette ressource se situe soit au sein de roches du sous-sol (exploitée en boucle fermée), soit dans des nappes d'eau souterraines (exploitée en boucle ouverte), à des profondeurs généralement inférieures à 200 m ;
 - Les systèmes géothermiques dits « en boucle fermée » sont constitués d'une boucle de tuyaux enterrés à faible profondeur (de 0,6 m à 1,2 m) dans laquelle circule un fluide caloporteur qui transmet son énergie à une pompe à chaleur (PAC). Ce circuit est installé en sous-sol et se présente sous différentes géométries ;



Echangeurs horizontaux

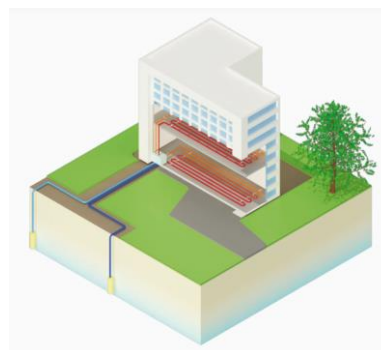


Corbeilles



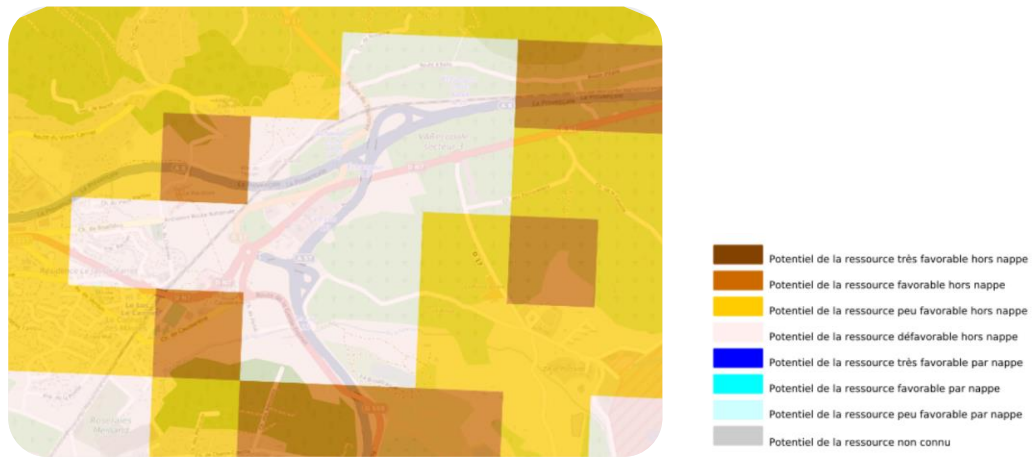
Sondes géothermiques verticales

- Un système géothermique en « boucle ouverte » valorise l'énergie de l'eau souterraine et nécessite généralement deux forages : un 1^{er} forage est utilisé pour le pompage de l'eau souterraine qui est acheminée à une pompe à chaleur via un échangeur, un 2^{ème} forage assure la réinjection de l'eau souterraine dans le milieu d'origine ;



PAC sur aquifère

- Le site du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) permet de connaître le potentiel de la géothermie de surface (systèmes ouverts et systèmes fermé) dans la région du Cagnet-des-Maures ;



Source : BRGM

● **Géothermie profonde :**

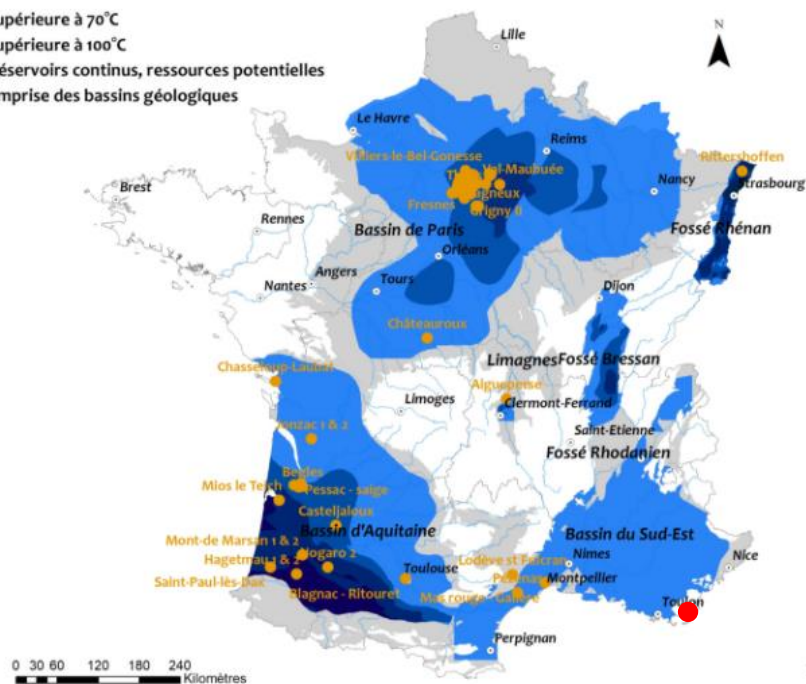
- Cette ressource se concentre schématiquement dans les aquifères profonds (profondeur supérieure à 200 m) pour un usage direct en réseau de chaleur, dans les zones volcaniques pour la production d'électricité ou dans les fossés d'effondrement pour la production d'électricité et/ou de chaleur par cogénération ;
- Le site du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) permet de connaître le potentiel de la géothermie en aquifères profonds dans la région du Cagnet-des-Maures.

Usage direct de la chaleur (état 2018)

● Opérations géothermales pour la production de chaleur (en fonctionnement)

Ressources potentielles ou prouvées

- supérieure à 70°C
- supérieure à 100°C
- Réservoirs continus, ressources potentielles
- Emprise des bassins géologiques



Source : BRGM

Pour la géothermie de surface, seule une petite portion du Secteur 1 est située sur une zone de potentiel favorable. Pour la géothermie profonde, dans le cadre d'un réseau de chaleur, la ZAC n'est pas située dans une zone de potentiel géothermique favorable. Par conséquent cette solution n'est pas retenue pour l'étude des scénarios énergétiques.

3.4. Aérothermie



L'aérothermie est l'énergie calorifique issue de l'air. En effet, l'air contient toujours de la chaleur, y compris à des températures négatives.

L'aérothermie consiste à récupérer cette chaleur via un dispositif technique de compression / décompression : la pompe à chaleur. Celle-ci peut être électrique ou à absorption gaz.

La fluctuation de la température de l'air extérieur influence la performance des systèmes de pompes à chaleur. En effet par temps froid, les besoins de chauffage sont maximaux alors que la quantité d'énergie pouvant être extraite dans l'air est à contrario minimale, d'où une baisse de la performance.

Pour les pompes à chaleur à absorption, l'influence de la température à la source froide est moins importante, puisque la réaction d'absorption est exothermique. Ce type de PAC est particulièrement adapté lorsque les besoins d'ECS et de chauffage sont élevés.

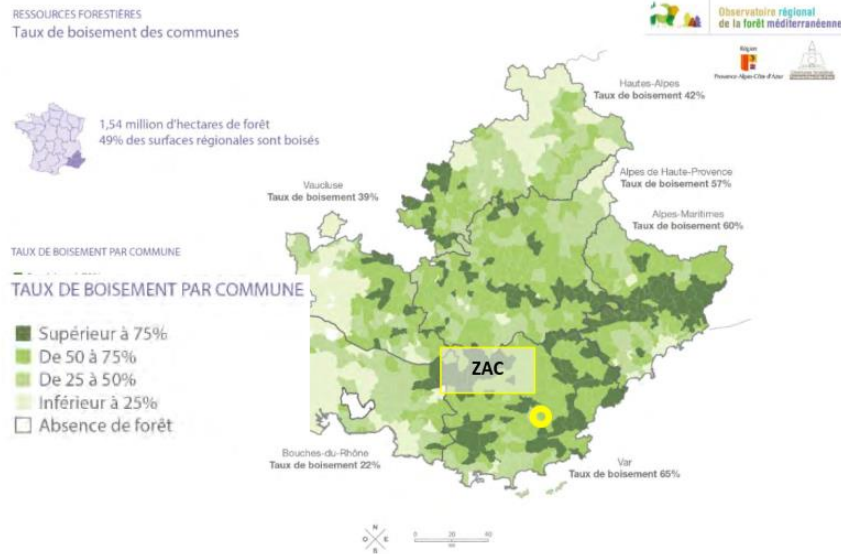
Les pompes à chaleur aérothermiques électriques sont des systèmes adaptés pour la typologie de bâtiments présents sur la ZAC de VARECOPOLE. Etant donné le climat tempéré et les faibles besoins en ECS la PAC à absorption s'avère moins intéressante. Ces deux solutions sont toutefois retenues pour l'étude des scénarios énergétiques

3.5. Biomasse

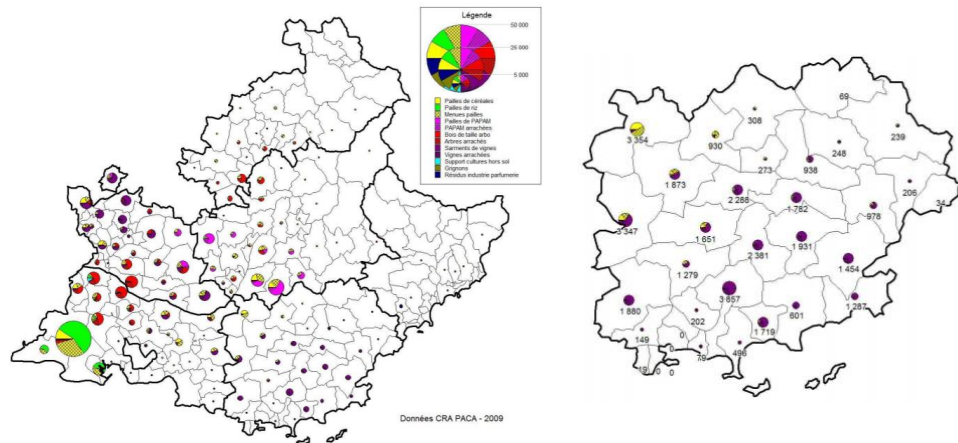


La biomasse constitue l'ensemble des matières organiques, animales ou végétales et peut être utilisée comme source d'énergie dans le cadre de réseaux de chaleur. Pour la production d'énergie calorifique les trois catégories de biomasse ci-dessous sont utilisées :

- **Bois** : biomasse forestière. Le bois est le principal type de biomasse utilisé pour produire de la chaleur (97%). La région PACA figure parmi les régions les plus boisées de France et, au sein de la région, la commune du Cannet-des-Maures figure parmi les plus boisées avec un boisement compris entre 50% et 75% de la surface et dispose de fournisseurs locaux (< 50km).



- **Biomasse agricole** : résidus de récolte et déchets des industries agroalimentaires. Le département du VAR possède un faible potentiel de valorisation de la biomasse agricole par combustion (cf. carte ci-dessous).



Source : CRA PACA

- **Déchets organiques** : valorisable par combustion (cf. §3.6).

Le potentiel de la ressource bois dans la région du Cannet-des-Maures étant important, la mise en place d'un réseau de chaleur à partir de biomasse bois est retenue pour l'étude des scénarios énergétiques.

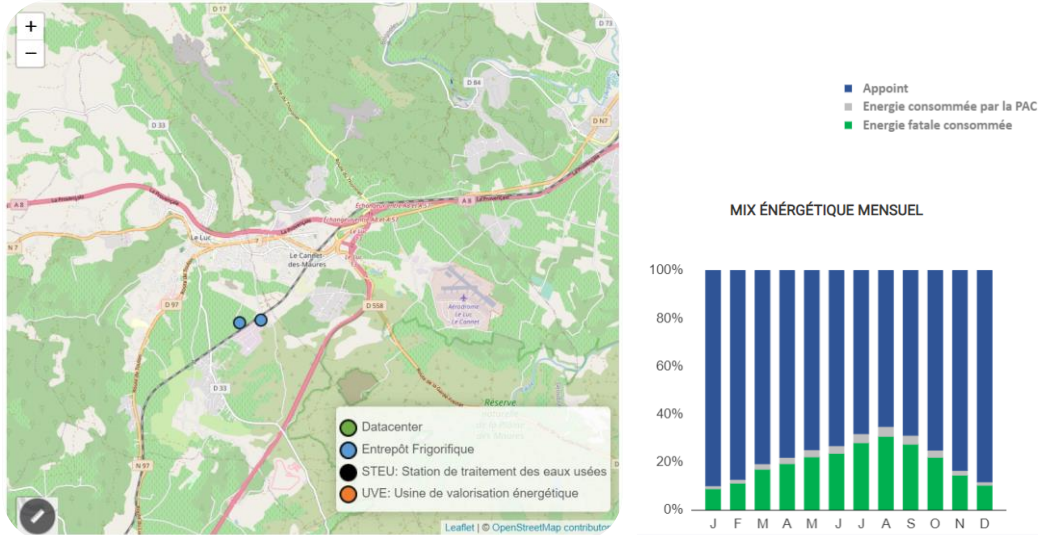
3.6. Energies de récupération



L'énergie de récupération, également appelée chaleur fatale, est produite par un processus dont l'objet initial n'est pas la production de cette chaleur (par exemple la chaleur rejetée lors de l'incinération des déchets). L'intégration dans un réseau de chaleur permet de valoriser cette chaleur fatale (raccordée à un réseau de chaleur, une unité de valorisation énergétique (UVE) peut chauffer un foyer à partir des déchets de sept autres).

L'outil interne Recov'Heat permet d'estimer le potentiel de récupération de chaleur fatale de la région du Cannet-des-Maures.

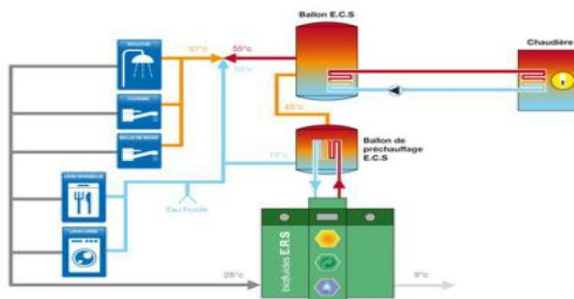
Recov'Heat



L'analyse du potentiel de récupération de chaleur fatale dans la région du Cannet-des-Maures exclue sa prise en compte pour l'étude des scénarios énergétiques en tant que source de chaleur dans le cadre d'un réseau de chaleur.

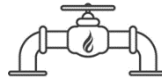
Il n'est pas non plus considéré la construction d'une usine de valorisation des déchets pour les besoins énergétiques de la ZAC, la filière de valorisation énergétique des déchets de la région PACA étant déjà organisée autour de l'usine de Toulon SITTOMAT.

Par ailleurs, l'activité humaine en ville est naturellement productrice de chaleur par l'intermédiaire des eaux usées dont la température est comprise entre 12°C et 20°C selon le moment de la journée et les saisons. Les eaux usées proviennent en partie des appareils électroménagers (lave-vaisselle et lave-linge). Les eaux usées produites par 100 habitants permettent de chauffer 10 habitants. La récupération des calories s'effectue par l'intermédiaire d'un échangeur et d'une pompe à chaleur afin de transmettre la chaleur à un réseau urbain.



Au regard du programme d'aménagement de la ZAC, les rejets d'eaux usées ne seront vraisemblablement pas suffisants pour pouvoir alimenter un système de récupération et un réseau de chaleur. Cette solution n'est par conséquent pas retenue pour l'étude des scénarios énergétiques.

3.7. Réseau de gaz naturel



Selon la cartographie des réseaux de gaz, un réseau de gaz naturel passe à proximité de la future ZAC.

Le gaz naturel peut être utilisé comme source énergétique dans le cadre d'un réseau de chaleur par l'intermédiaire d'une chaudière à gaz ou pour l'installation de PAC à absorption gaz individuelles.

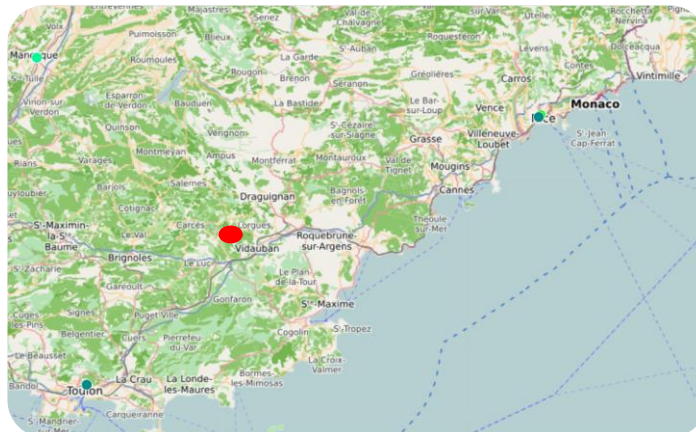
Le pourcentage d'énergie renouvelable lié à l'utilisation du gaz naturel dépend de la provenance du gaz naturel.

L'utilisation du gaz naturel disponible à proximité est retenue pour l'étude des scénarios énergétiques.

3.8. Réseaux de chaleur/froid existants ou en projet



Selon la cartographie des réseaux de chaleur et de froid, aucun réseau de chaleur ni de froid ne passe à proximité du périmètre du site ni est en projet.



Source : CEREMA

4. ETUDE DES SCENARIOS ENERGETIQUES

4.1. Définition des scénarios

Sur la base des potentiels des énergies renouvelables disponibles au niveau de la ZAC et définis dans le paragraphe précédent, ainsi que des ambitions énergétiques du projet VARECOPOLE et des objectifs nationaux et régionaux énergétiques, les scénarios énergétiques suivants ont été retenus :

- Centralisé – Réseau de chaleur biomasse / gaz ;
- Décentralisé – PAC air/eau à gaz ;
- Décentralisé – PAC air/eau électrique + PV.

4.1.1. Réseau de chaleur biomasse / gaz

Un réseau de chaleur est une installation qui permet de distribuer à plusieurs clients de la chaleur produite par une chaufferie centralisée via un ensemble de canalisations de transport (réseau). L'échange de calories s'effectue au niveau des sous-stations clients.

La courbe monotone de chaleur (présentée ci-dessous) est un graphique représentant la demande de chaleur simulée pour chaque heure sur une année et triée par ordre décroissant. Elle permet de sélectionner le meilleur compromis pour le dimensionnement des centrales thermiques : nombre d'unités de production, puissance thermique, nombre d'heures de fonctionnement.



La Figure 4-1 représente la monotone de chaleur simulée pour la ZAC VARECOPOLE.

Pour les besoins de la ZAC, la centrale thermique se compose d'une **chaudière biomasse de 3 MW** (base) et d'une **chaudière à gaz de 3 MW** en appoint.

Pour plus de détails sur la méthodologie de calcul et les principales hypothèses, voir ANNEXE A.1.

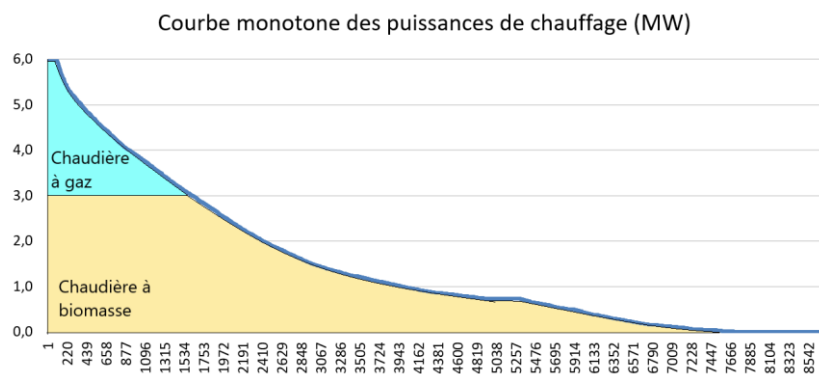


Figure 4-1 – Courbe monotone de charge pour le besoin de la ZAC.

4.1.2. PAC air/eau à gaz

Une pompe à chaleur permet de prélever la chaleur présente dans l'air et de l'amener à un niveau de température plus élevée dans les logements afin de les chauffer.

Une pompe à chaleur se compose de 4 éléments principaux :

- Un compresseur ;
- Un échangeur pour capter l'énergie à l'extérieur (évaporateur) ;
- Un deuxième échangeur pour la restituer à l'intérieur (condenseur) ;
- Un détendeur.

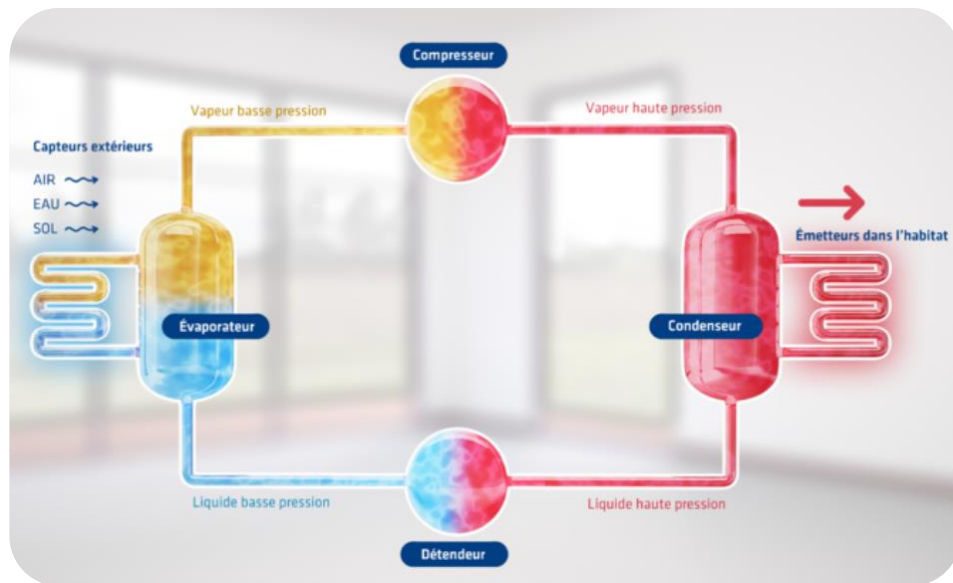


Figure 4-2 - Schéma du principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur.

Dans le cas d'une PAC air/eau à gaz, le compresseur est alimenté au gaz naturel.

La pompe à chaleur est un système capable de produire de la chaleur, mais aussi du froid en été (système réversible) et de fournir de l'eau chaude sanitaire.

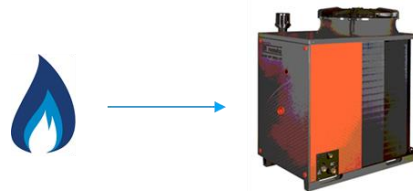


Figure 4-3 - Schéma de fonctionnement du système PAC gaz .

La puissance de la pompe à chaleur dépend de la demande de chaque bâtiment. Ces puissances, ainsi que la consommation de gaz naturel associée sont présentées dans le Tableau 4-1.

Pour plus de détail sur la méthode de calcul, voir ANNEXE A.2.

Bâtiment	Puissance thermique PAC kWth	Consommation MWh_gaz/an	Bâtiment	Puissance Thermique PAC kWth	Consommation MWh_gaz/an
2b.1 - Artisanat	110	184	1b.1 – Nice MATIN	760	991
2b.7 - Artisanat	150	267	1b.3 - Production	270	340
2b.2 - Artisanat	110	186	1b.4 – Production	200	266
2b.3 - Artisanat	100	175	1c.1 – Village artisanat	100	163
2b.4 - Artisanat	100	176	1c.2 – Village artisanat	180	278
2b.5 - Artisanat	100	170	1c.3 – Tertiaire	660	616
2b.6 - Artisanat	80	127	1c.4 – Tertiaire	726	694
1a.1 - Ecole d'ingénieur	300	263	1c.5 – Tertiaire	500	497
1a.1 - Logements étudiants	220	328	1c.6 – Centre d'affaires	250	269
1a.1 - Services étudiants	60	97	2a.1 – Tertiaire	1500	1333
1a.2 - Centre de convention	170	258	2a.2 – Tertiaire	750	884
Hôtel	1050	1819	2c.1 – Activité productive	280	365

Tableau 4-1 – Puissance de pompe à chaleur et consommation gaz naturel pour chaque bâtiment.

4.1.3. PAC air/eau électrique + PV

La combinaison PV + pompe à chaleur électrique permet la production de chaleur ou de froid (dans le cas d'une PAC réversible) à partir de l'énergie solaire. La PAC air/eau électrique fonctionne de la même manière qu'une PAC air/eau à gaz mais le compresseur est alimenté en électricité produite par le PV.

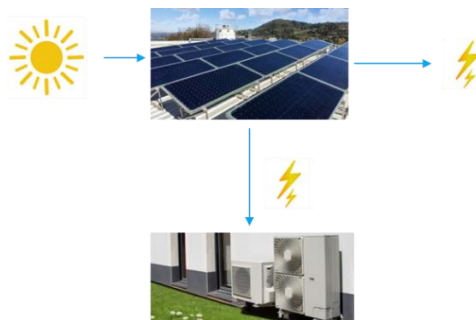


Figure 4-4 - Schéma de fonctionnement du système PAC électrique + PV.

La puissance de la PAC dépend des besoins en chaleur et froid de chaque bâtiment. Le nombre de panneaux solaires installés dépend de la puissance de la PAC de chaque bâtiment. Le nombre de panneaux est ainsi dimensionné de manière que les systèmes de chauffage, d'eau chaude et de climatisation soient autonomes (indépendant du réseau électrique).

Le Tableau 4-2 présente la puissance PAC et la surface des panneaux PV pour chaque bâtiment.

Pour plus de détails sur la méthode de calcul, voir ANNEXE A.3.

Bâtiment	Puissance Thermique PAC kWth	Panneaux PV		Bâtiment	Puissance PAC	Panneaux PV	
		%	m ²			%	m ²
2b.1 - Artisanat	110	25	215	1b.1 – Nice MATIN	761	10	1161
2b.7 - Artisanat	155	36	312	1b.3 - Production	268	13	399
2b.2 - Artisanat	111	26	218	1b.4 – Production	201	17	313
2b.3 - Artisanat	105	27	206	1c.1 – Village artisanat	102	15	191
2b.4 - Artisanat	105	27	207	1c.2 – Village artisanat	181	13	326
2b.5 - Artisanat	102	26	200	1c.3 – Tertiaire	660	11	797
2b.6 - Artisanat	78	19	147	1c.4 – Tertiaire	726	10	813
1a.1 - Ecole d'ingénieur	315	5	308	1c.5 – Tertiaire	500	11	581
1a.1 - Logements étudiants	226	13	385	1c.6 – Centre d'affaires	250	16	315
1a.1 - Services étudiants	63	24	113	2a.1 – Tertiaire	1499	11	1563
1a.2 - Centre de convention	168	20	302	2a.2 – Tertiaire	750	14	1036
Hôtel	1052	28	2130	2c.1 – Activité productive	280	15	428

Tableau 4-2 - Puissance pompe à chaleur et surface des panneaux photovoltaïques pour chaque bâtiment.

Cette solution permet également, dans le cas où la surface disponible pour l'installation des panneaux est suffisante, de produire une puissance électrique supérieure aux besoins des PAC et ainsi utiliser cette énergie pour répondre aux besoins électriques des auxiliaires ou des éclairages du bâtiment ou bien pour l'injecter sur le réseau électrique.

4.2. Comparaison des scénarios

Les scénarios présentés ci-dessus sont comparés entre eux sur la base des critères définis ci-dessous :

- Energie produite ;
- Coûts d'investissement (M€) d'une solution permettant la production de chaleur et de froid. Dans le cas du réseau de chaleur, celui-ci est combiné soit à des installations de climatisations individuelles soit à un réseau de froid ;
- Emissions de CO₂ évitées (tonnes/an) par rapport aux solutions de référence ci-dessous :
 - **Production de chaleur** : Chaudières gaz individuelles,
 - **Production de froid** : Climatisations individuelles,
- Part d'énergie renouvelable ;
- OPEX ;
- Subventions ;
- Consultation des élus locaux.

Le Tableau 4-3 présente les résultats de la comparaison des scénarios étudiés :

	Réseau de chaleur biomasse/gaz	PAC gaz	PAC électrique + PV
Energies produites	Chaleur	Chaleur Froid	Chaleur Froid Electricité
Coûts d'investissement (chaleur + froid) : - Climatisations individuelles - Réseau de froid	5,64 M€ 10,31 M€	1,21 M€	3,86 M€
Emission de CO₂ évitées : - Climatisations individuelles - Réseau de froid	2140 t/an 2175 t/an	491 t/an	2500 t/an
Part d'énergie renouvelable	> 88 %	Dépend de l'origine du gaz naturel	100%
OPEX	Entretien fréquent de la centrale et du système de distribution	Entretien annuel par un professionnel	Inspection visuelle annuelle des PV et nettoyage des modules à un rythme variable Entretien annuel des PAC par un professionnel
Subventions	Fond de chaleur géré par l'ADEME	-	Subvention de la région pour le PV

	Réseau de chaleur biomasse/gaz	PAC gaz	PAC électrique + PV
Consultation des élus locaux	Biomasse peu désirable sur le territoire : - Impact négatif sur le paysage - Filière peu structurée	Réticence du fait de la présence d'une station hydrogène : risque SEVESO	Pas d'avis défavorable

Tableau 4-3 – Comparaison des scénarios étudiés.

Les graphiques ci-après (Figure 4-5, Figure 4-6 et Figure 4-7) présentent les résultats obtenus pour chaque solution.

Les **émissions directes** sont les émissions de gaz qui se produisent à l'endroit même où l'activité a lieu. Par exemple, celles produites par la combustion d'une chaudière biomasse. Ces émissions directes ont été calculées pour comparer les différents scénarios dans la Figure 4-5 et Figure 4-8.

A cela s'ajoutent les **émissions indirectes**. Ces émissions sont celles qui ne sont pas produites dans la zone elle-même, mais qui sont une conséquence de son activité. Par exemple, les émissions dues au transport du combustible ou des équipements, à l'extraction de matières premières, aux activités logistiques, etc. La Figure 4-7 présente les résultats pour ce type d'émissions.

En termes d'émissions directes évitées, la solution PAC et panneaux solaires est la plus avantageuse, elle permet d'éviter près de 6 fois plus d'émissions directes de CO₂ que la solution PAC gaz. L'écart est plus faible dans le cas des émissions indirectes car les panneaux PV présentent un taux d'émissions de CO₂ indirectes plus élevé du fait de l'extraction et du transport des matériaux.

En termes économiques, la solution de chauffage urbain présente le coût d'investissement le plus élevé.

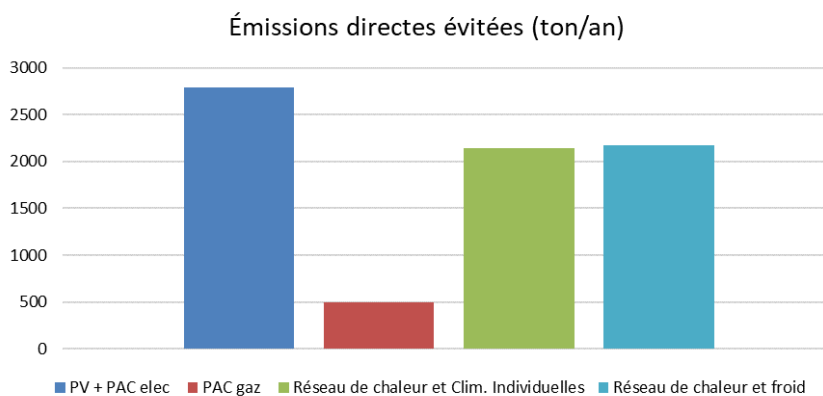


Figure 4-5 - Émissions directes évitées pour chaque solution.

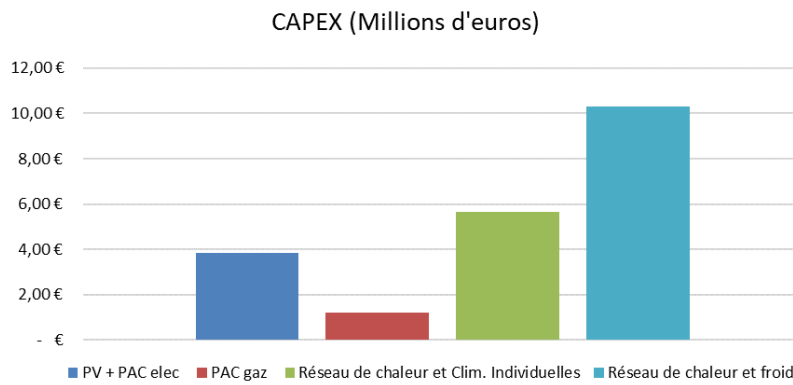


Figure 4-6 - Coûts d'investissement de chaque solution.

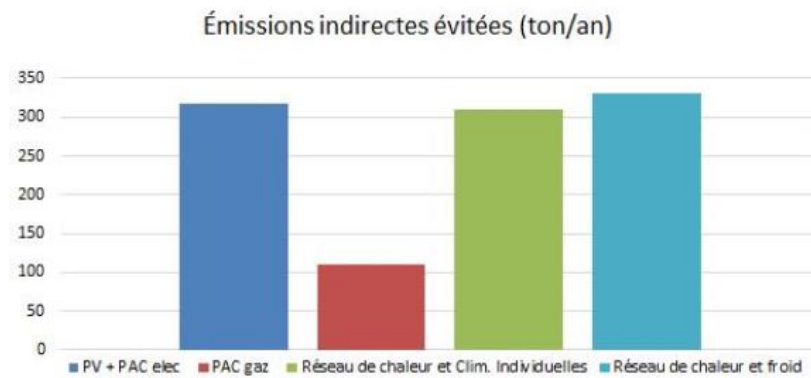


Figure 4-7 - Émissions indirectes évitées pour chaque solution.

Le graphique ci-dessous (Figure 4-8) permet de comparer les solutions d'un point de vue du ratio coût d'investissement sur émissions de CO₂ directes évitées. Cela permet de connaître l'effort financier nécessaire pour éviter une certaine quantité de CO₂. Cette analyse permet d'identifier le système énergétique le plus intéressant pour la ZAC VARECOPOLE.

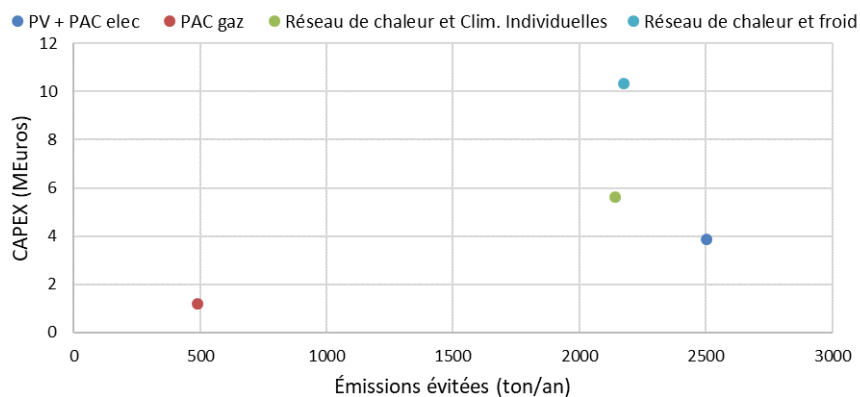


Figure 4-8 – Ratio coût d'investissement sur émissions de CO₂ évitées pour chaque solution proposée.

Les principaux avantages et inconvénients des scénarios sont par ailleurs présentés dans le tableau ci-après :

	Réseau de chaleur biomasse/gaz	PAC gaz	PAC électrique + PV
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Forte part d'énergies renouvelables Subventions de l'ADEME Emissions de CO₂ évitées importantes 	<ul style="list-style-type: none"> En mode réversible, les PAC peuvent délivrer du froid ou de la chaleur et produire de l'eau chaude Investissements faibles Performances 3 fois supérieures à celles d'une chaudière gaz classique Coûts d'exploitation et de maintenance faibles 	<ul style="list-style-type: none"> Forte part d'énergies renouvelables Subventions de la région et de l'ADEME pour le PV Emissions de CO₂ évitées très importantes En mode réversible, les PAC peuvent délivrer de la chaleur ou du froid et produire de l'eau chaude Rendement 5 fois supérieur à celui des chaudières gaz classiques Production d'électricité et possibilité de vendre l'excédent d'électricité au réseau
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> Contraintes de fourniture, acheminement et stockage du bois Investissements initiaux importants Coûts d'exploitation et de maintenance importants 	<ul style="list-style-type: none"> Besoin de raccordement au réseau de gaz naturel Part d'énergies renouvelables dépendante de l'origine du gaz naturel 	<ul style="list-style-type: none"> Investissements initiaux importants Utilisation du toit du bâtiment

Tableau 4-4 – Avantages et inconvénients des scénarios étudiés.

Sur la base de la comparaison des scénarios, la solution énergétique préconisée dans le contexte de la ZAC VARECOPOLE est l'installation individuelle de panneaux photovoltaïques pour la production d'électricité servant à alimenter des PAC électriques individuelles.

Le paragraphe suivant détaille la mise en œuvre de cette solution dans le cadre du programme de la ZAC et des ambitions énergétiques du projet.

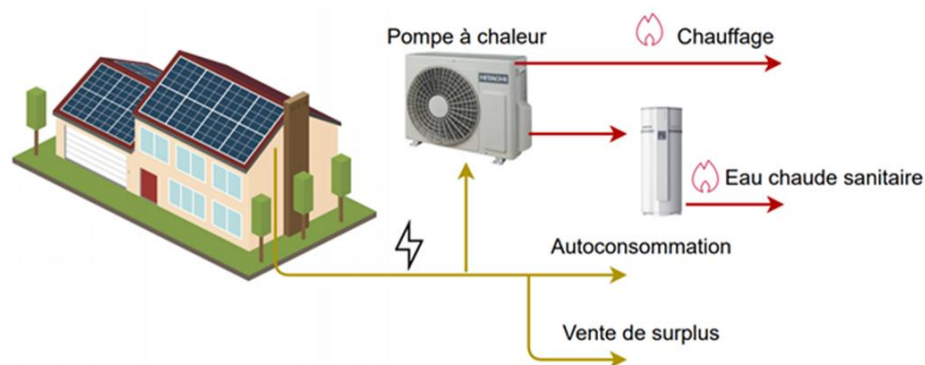
5. SOLUTION ENERGETIQUE PRECONISEE

5.1. Principe de fonctionnement du couplage PV+PAC

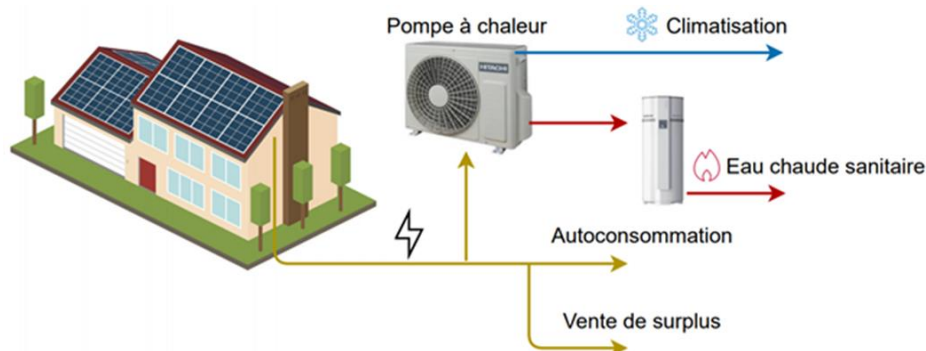
Le principe de ce couplage entre les deux énergies vise d'une part à alimenter la pompe à chaleur air/eau (voir sections 3.4, 4.1.2 et 4.1.3) avec l'électricité solaire produite gratuitement en toiture et d'autre part à optimiser l'autoconsommation photovoltaïque de manière à limiter l'injection sur le réseau électrique.

Les PAC modernes sont équipées d'une interface via laquelle l'installation PV peut communiquer sur l'intensité solaire et la pertinence d'activer le chauffage. Ainsi, l'eau chaude sanitaire est chauffée par beau temps à midi avec le courant photovoltaïque, plutôt que la nuit avec l'électricité à bas tarif du réseau.

Hiver



Eté



Dans le cas où la surface disponible pour l'installation des panneaux est suffisante, cette solution permet de produire une puissance électrique supérieure aux besoins des PAC et ainsi fournir également les consommateurs électriques de la ZAC (consommation électrique des bâtiments) et revendre le surplus éventuel sur le réseau électrique.

Le paragraphe suivant présente un prédimensionnement des installations PV+PAC pour différents cas :

- **Besoins de chaleur et de froid des bâtiments** : correspondant aux besoins électriques des PAC ;

- **ZAC autonome** : augmentation du pourcentage de couverture des toitures des bâtiments et utilisation des surfaces de parking publics pour couvrir les besoins de la ZAC (besoins énergétiques des bâtiments (chaud, froid, électricité), hors station hydrogène) ;
- **ZAC à énergie positive** : utilisation maximale de la surface disponible pour le PV afin de couvrir les besoins énergétiques des bâtiments de la ZAC et de la station hydrogène avec revente du surplus sur le réseau électrique.

5.2. Dimensionnement

5.2.1. Besoins de chaleur et de froid des bâtiments

Le dimensionnement des panneaux photovoltaïques et des PAC est présenté au paragraphe 4.1.3.

5.2.2. ZAC autonome

En considérant une couverture PV de **32%** des toits de tous les bâtiments de la ZAC ainsi que les deux parkings publics de la ZAC (voir ci-dessous), la ZAC atteint l'autonomie énergétique. Cela implique que l'énergie produite de manière décentralisée sur un an est telle que les besoins en chauffage, en refroidissement et en électricité de tous les bâtiments sont satisfaits.

Une couverture PV de **32%** des toits de tous les bâtiments de la ZAC équivaut à l'installation de **16 260 panneaux solaires**, pour une puissance installée de 6 500 kWc. Ce système permet de produire annuellement **10 358 MWh** d'électricité, dont 61% pour répondre aux besoins d'électricité auxiliaire et d'éclairage des bâtiments et 39% pour répondre aux besoins de chauffage, d'eau chaude et de climatisation.

Utilisation des parking publics

Le Plan Climat régional lancé en 2017 a pour objectif d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. Parmi les actions proposées figure la multiplication du nombre de parcs photovoltaïques en privilégiant, entre autres, les toitures de parking équipés d'ombrières. La ZAC VARECOPOLE prévoit la construction de 2 parkings dans le Secteur 1.

Les parkings n'ont généralement pas de demande énergétique, l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques installés ne peut donc pas être valorisée sur place et doit être injectée sur le réseau.

Les parkings jouent un rôle important dans le mix énergétique de la ZAC, puisque c'est grâce à leur participation que l'autonomie énergétique est atteinte.

Les principaux résultats du dimensionnement photovoltaïque au niveau des parkings sont présentés dans le Tableau 5-1.

	Parking 1 (Bleu)	Parking 2 (Rouge)
Surface couverte (%)	32 %	32 %
Surface couverte (m2)	1041	2536
N° panneaux	520	1268
Puissance installée	208	507
Production (MWh/an)	318	776
Coûts d'investissement (€)	208 000 €	507 000 €



Tableau 5-1 - Principaux résultats du dimensionnement PV des parking.

5.2.3. ZAC à énergie positive

Ce scénario vise à exploiter au maximum l'énergie solaire de la ZAC VARECOPOLE. Pour cela, il a été considéré que **50%** des toits de tous les bâtiments de la ZAC, y compris les parkings publics avec ombrières, sont équipés de panneaux photovoltaïques.

Remarque : Le pourcentage maximal de couverture des toitures de 50% considéré dans cette étude de faisabilité est un ordre de grandeur. Une étude de détail devra être réalisée pour chaque bâtiment afin de prendre en compte l'orientation et la pente du toit, l'ombrage des bâtiments voisins et les autres équipements qui pourraient être installés sur le toit du bâtiment.

Une couverture PV de **50%** des toits et parkings équivaut à l'installation totale de **25 649 panneaux**, ce qui représente une puissance totale installée de **10,26 kWc**. Ce système permet de produire annuellement l'équivalent de la demande énergétique de tous ses bâtiments (chauffage, eau chaude sanitaire, climatisation et électricité) et d'injecter **5 981 MWh/an d'électricité** sur le réseau.

Dans l'objectif d'intégration de la station hydrogène au mix énergétique de la ZAC, la consommation électrique annuelle de la station H₂ est estimée et comparée au surplus d'électricité produite par chaque bâtiment. De cette manière, il est possible de déterminer si la station d'hydrogène peut être alimentée par l'énergie renouvelable produite par la ZAC.

La demande annuelle de la station d'hydrogène est calculée sur la base des hypothèses suivantes :

- **Puissance électrolyseur** : 100 kWe. La consommation annuelle totale d'électricité est calculée en supposant que la station fonctionne toujours à la charge nominale (100 kW). Dans la pratique la charge est variable.
- **Heures de fonctionnement** : L'électrolyseur a une disponibilité de 98% avec deux épisodes de maintenance par an, une de quelques jours et l'autre de quelques heures.

- **Surdimensionnement** : Il est considéré dans cette étude que la station est à la fois connectée au réseau ENEDIS et aux panneaux photovoltaïques avec la possibilité de combiner les deux. En effet si l'électrolyseur est connecté uniquement aux panneaux PV, celui-ci doit être surdimensionné afin de compenser l'intermittence.

Sur la base de ces hypothèses il est considéré que la station d'hydrogène fonctionne 8 580 heures par an et que la consommation électrique de la station d'hydrogène est de **858 MWh/an**.

La ZAC a un excédent de production d'électricité de **5 981 MWh/an** grâce aux panneaux solaires. Cet excédent équivaut à environ **7 fois** la demande en électricité de la station d'hydrogène. Par conséquent, une synergie entre les panneaux photovoltaïques installés sur les bâtiments et la station d'hydrogène, dans le cadre des hypothèses formulées, se présente comme une possibilité intéressante. Il est recommandé de l'étudier plus en détail.

5.3. Usage des toitures

A noter que l'installation importante de panneaux photovoltaïques sur les toits des bâtiments n'est pas incompatible avec la mise en place de toiture végétalisée.

En effet d'après le CEREMA, l'énergie solaire incidente en période estivale dissipée par une toiture végétalisée sous forme de flux de chaleur latente principalement, crée une diminution de la température d'air localisée et fournit les conditions favorables à l'augmentation du rendement électrique d'un panneau photovoltaïque.

Une toiture végétalisée extensive avec une structure pouvant stocker les eaux pluviales, favorise les flux d'évapotranspiration et peut, dès lors améliorer le rendement du panneau.



5.4. Chiffres clés

5.4.1. ZAC autonome

- Couverture de **32%** des toits des bâtiments et des parkings publics ;
- Consommation électrique : **- 2 MWh/an** ;
- Investissement : **7,8 M€** ;
- Retour sur investissement :
 - Bâtiments : **4 ans** ;
 - Parking : **11 ans** ;
- Emissions CO₂ évitées : **3 055 t/an** :



1097 allers-retours PARIS/NYC



228 français



143 voitures

Exemple: Logements étudiants



- Nombre PV : 328 (209 MWh/an)
- Emissions CO₂ évitées: 90 t/an
- Consommation élec : **0 MWh / an**
- CAPEX (y compris raccordement) : 173 000 €
- Retour sur investissement : 4 ans

Remarque : Le retour sur investissement est un critère d'évaluation des projets qui se définit comme la période de temps nécessaire (généralement des années) pour récupérer le capital initial d'un investissement. Cette valeur est différente entre les projets de panneaux PV de parking et de bâtiments. En effet, le bénéfice des systèmes de panneaux PV sur des bâtiments est calculé sur la base de l'énergie économisée, énergie qui aurait dû être achetée au réseau à un prix d'environ 0,15 €/kWh. Au contraire, les parkings n'ont pas de demande d'électricité, l'énergie produite par les panneaux n'est donc pas une "énergie économisée" et doit être réinjectée et vendue au réseau. Le prix de vente de l'électricité étant inférieur au prix d'achat, les revenus perçus par les projets des parkings seront moins importants. Cette différence dans la façon de calculer les bénéfices de chaque projet est ce qui explique la différence dans le retour sur investissement de ces projets.

5.4.2. ZAC à énergie positive

- Couverture de **50%** des toits des bâtiments et des parkings publics ;
- Consommation électrique : **- 5 981 MWh/an** → génération de revenus.
- Investissement : **11,6 M€** ;
- Emissions CO₂ évitées : **3 554 t/an** :



1422 allers-retours PARIS/NYC



296 français



185 voitures

5.5. Subventions

Prime à l'autoconsommation photovoltaïque

L'autoconsommation photovoltaïque est la consommation de sa propre production d'électricité à partir de l'énergie solaire. Elle permet d'utiliser une énergie non polluante et abondante et de contribuer à la transition énergétique.

Les installations qui permettent l'autoconsommation (installations de vente en surplus), sont éligibles à une prime à l'investissement. Cette prime est dégressive et variable en fonction de la puissance de l'installation.

Elle est répartie sur les 5 premières années de fonctionnement.

Elle est versée par EDF Obligation d'Achat suite à la demande de raccordement à ENEDIS.

Puissance de l'installation	Montant de la prime pour une installation
$P \leq 3 \text{ kWc}$	380 €/kWc
$3 < P < 9 \text{ kWc}$	280 €/kWc
$9 < P < 36 \text{ kWc}$	160 €/kWc
$36 < P < 100 \text{ kWc}$	80 €/kWc

Tableau 5-2 – Tarifs de la prime à l'autoconsommation, en vigueur au 1^{er} trimestre 2021

Tarif d'achat subventionné

EDF Obligation d'Achat (OA) est le service mandaté par l'État (depuis la loi du 10 février 2000) pour acheter l'électricité aux producteurs particuliers et professionnels.

Ce contrat permet au particulier de vendre son kilowatt-heure (kWh) d'électricité à un tarif :

- Subventionné par l'État ;
- Garanti pendant 20 ans.

Au quatrième trimestre 2020, le tarif d'achat du kWh photovoltaïque dépend du type d'installation et de sa puissance :

Puissance de l'installation photovoltaïque	Tarif d'achat du kWh
$\leq 3 \text{ kWc}$	0,10 €
$\leq 9 \text{ kWc}$	0,10 €
$\leq 36 \text{ kWc}$	0,06 €
$\leq 100 \text{ kWc}$	0,06 €

Tableau 5-3 – Tarif d'achat subventionné

Taux de TVA réduit

Les installations photovoltaïques raccordées au réseau d'une puissance inférieure ou égale à 3 kWc en autoconsommation totale ou vendant le surplus ou la totalité de l'électricité produite peuvent bénéficier d'un taux de TVA à 10%.

Subventions régionales

- **Aides aux études de faisabilité par le Plan Solaire** : Pour les projets d'autoconsommation dont la taille, la stratégie visée, les enjeux de coûts et la complexité impliquent la nécessité de mener une étude préalable qui déterminera leur faisabilité et les conditions de leur faisabilité et permettra une prise de décision en matière d'investissement, celle-ci peut faire l'objet d'une aide au financement dans le cadre du Plan Solaire.

Bénéficiaires	Critères d'éligibilité	Taux d'aide maximal
Collectivités territoriales et établissements publics SEM ou SPL Entreprises Bailleurs sociaux Copropriétés ou leur syndic Associations/collectifs	Le bureaux d'études et experts choisis doivent disposer des qualifications ou références justifiant la compétence dans le domaine concerné par la prestation (certification « RGE études » obtenue par un organisme agréé, tel qu'OPQIBI, dans le domaine, ou équivalent)	50 à 70 %, avec un plafond d'assiette de 50 000 € HT (au titre du CPER)

Tableau 5-4 – Aides aux études de faisabilité par le Plan Solaire

- **Dispositif SMART PV** : Les projets d'autoconsommation tant individuelle que collective peuvent faire l'objet d'une aide dans le cadre du Plan Solaire.

Bénéficiaires	Projets éligibles	Taux d'aide	Plafond d'aide
Tout type de maître d'ouvrage ayant un statut juridique	Puissance de plus de 10 kWc Taux d'autoconsommation supérieur à 98% Taux de couverture (taux d'autoproduction) supérieur à 10%	20 à 25 % pour l'autoconsommation individuelle (avec possibilité de bonus additionnel jusqu'à +5%) 25 à 30% pour l'autoconsommation collective (avec possibilité de bonus additionnel jusqu'à +5%)	100 à 120 k€ en fonction du type d'autoconsommation, majoré par un bonus possible plafonné à 30 120 k€

Tableau 5-5 – Dispositif SMART PV

Subventions ADEME

Pour les collectivités, l'installation peut être éligible à une subvention de l'ADEME à hauteur de 25% du montant des études de faisabilité en cofinancement s'il y a aidé du conseil régional ou de 50% en l'absence du conseil régional.

6. INTEGRATION DE LA STATION H₂ DANS LE MIX ENERGETIQUE DE LA ZAC

6.1. Intégration pour les besoins énergétiques de la ZAC

Les solutions suivantes sont envisageables pour l'intégration de la station hydrogène dans le mix énergétique (chauffage, climatisation) de la ZAC (dans l'ordre de faisabilité, la mobilité n'étant ici pas considérée) :

- Possibilité de récupérer la chaleur produite par les électrolyseurs (et potentiellement les équipements auxiliaires, pompes, compresseurs, etc.) :
 - Chaleur basse température : typiquement une boucle de refroidissement 45 -55°C ;
 - Pour un électrolyseur de capacité 40 kg d'H₂/jour (ordre de grandeur de la capacité de la station H₂ de la ZAC), la puissance thermique récupérable au niveau de l'électrolyseur seul représente environ 20 kWth ;
 - Pour un électrolyseur plus les équipements auxiliaires, la puissance thermique récupérable peut représenter environ 30 kWth.
- Possibilité de diluer l'H₂ dans le réseau de gaz naturel, jusqu'à 20% en volume sans changer les équipements en fin de course.
- Installation de chaudières à hydrogène :
 - Premiers prototypes installés en France récemment, plus répandus aux Pays-Bas, Allemagne, Royaume Uni ;
 - Problème de la compétitivité de l'hydrogène face au gaz naturel : avec un PCI de 33,33 kWh/kg et un prix de l'hydrogène de ~9€ du kg (cible actuelle pour l'H₂ vert par électrolyse avec subventions), ce qui revient à ~270€/MWh contre 25-50€/MWh pour le gaz naturel.
- Déploiement de piles à combustibles pour les bâtiments :
 - Production d'électricité et de chaleur ;
 - Problème de rendement de la chaîne « Power to gaz to power » de 27%.

Ces solutions d'intégration ne sont pas compatibles avec la solution énergétique retenue pour la ZAC et ne sont donc pas retenues.

6.2. Intégration au réseau électrique PV

La solution énergétique retenue étant basée sur la production d'électricité par installation photovoltaïque, les besoins électriques de la station hydrogène peuvent être intégrés au dimensionnement de la surface de panneaux à installer.

Cette solution d'intégration est étudiée au paragraphe 5.2.3 du présent rapport.

A noter que ce dimensionnement est basé sur l'hypothèse d'une station H₂ raccordée à la fois au réseau ENEDIS et au réseau PV avec possibilité de combiner les deux.

En effet, l'alimentation d'une station de production d'hydrogène purement par PV est possible mais nécessite un surdimensionnement des équipements afin de compenser l'intermittence, ce qui a pour conséquence d'augmenter le prix de l'hydrogène produit.

Afin d'optimiser la production de 40 kg/j en moyenne seulement avec du PV, il est nécessaire :

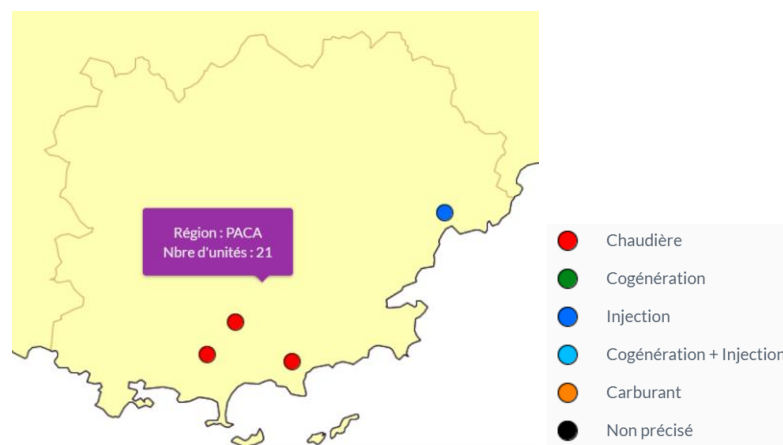
- D'installer un électrolyseur d'une capacité d'environ 120 kg/j (facteur 3 lié à l'intermittence de la production dans la journée et intersaisons) ;
- En fonction du besoin, de prévoir éventuellement un stockage H₂ pour lisser la production dans la journée et l'année (différence de production entre été-hiver) ;

Pour alimenter cet électrolyseur surdimensionné, environ 300 kW d'électricité disponible seraient nécessaires.

6.3. Intégration à un réseau de production d'H₂

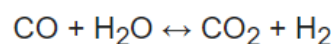
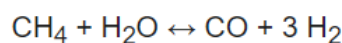
L'intégration de la station hydrogène à un réseau H₂ plus large n'a pas été retenue pour les raisons suivantes :

- Absence d'unité de méthanisation (biomasse agricole, déchets organiques) à proximité de la ZAC ;



Source : SINOE

- La mise en place d'une unité de méthanisation dédiée à la production d'H₂ à partir de CH₄ ne paraît pas pertinente pour les besoins en H₂ de la ZAC. Le procédé de vaporeformage du méthane nécessitant par ailleurs une quantité importante d'énergie et produisant du CO₂.



En fonction des ambitions de la ZAC, l'H₂ produit par la station pourra être utilisé, selon le schéma ci-dessous :

- Pour la mobilité ;
- Pour l'injection sur le réseau de gaz naturel en des proportions supportables pas les canalisations ;

- Pour la production de méthane de synthèse s'il est combiné avec du CO₂.

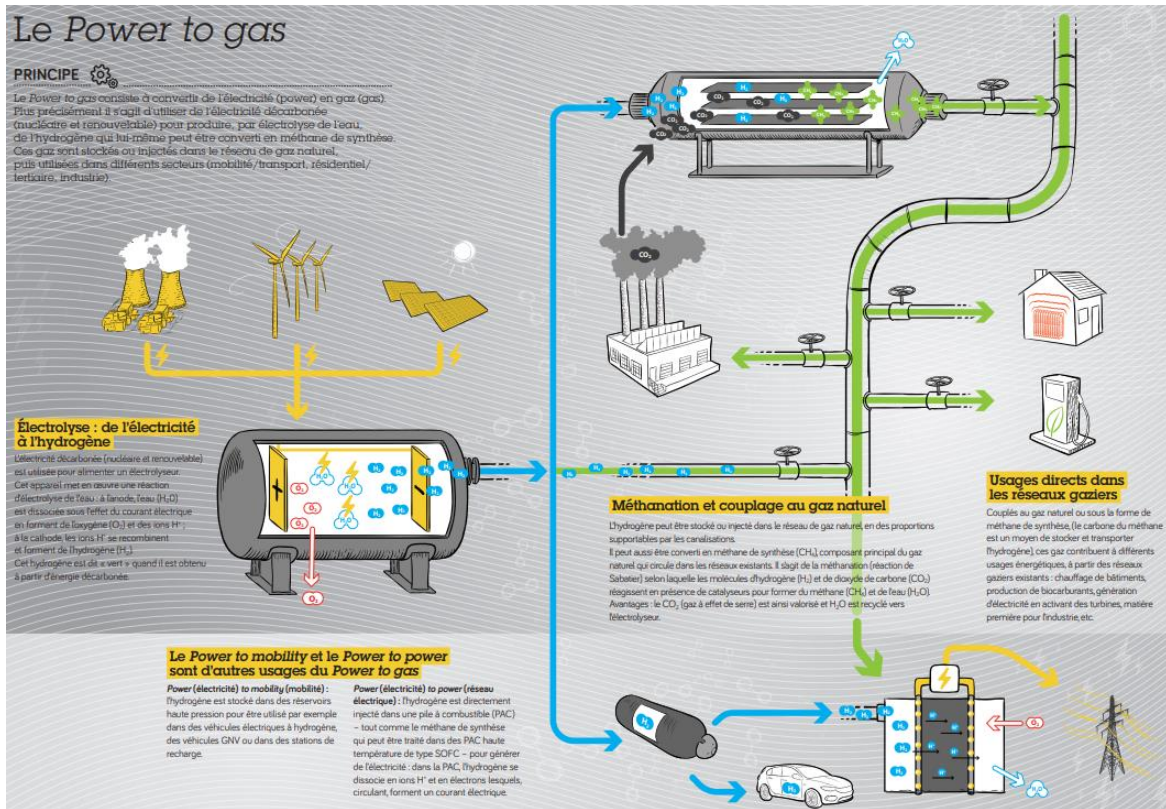


Figure 6-1 - Schéma d'utilisation du H₂

Ce document est la propriété de Tractebel Engineering S.A. Toute copie ou transmission à des tiers est interdite sans un accord préalable.

7. ANNEXES

Remarque : Les calculs réalisés pour la présente étude sont basés sur des hypothèses et des ordres de grandeurs utilisés dans le cadre d'une étude de faisabilité. Une étude de détail devra être réalisée afin de confirmer les hypothèses et le dimensionnement réalisé.

A.1. Méthode de dimensionnement du réseau de chaleur

Grâce au logiciel NEMO Market (logiciel interne du groupe Engie), le profil horaire de la demande de chaleur et de froid pour chaque bâtiment de la ZAC VARECOPOLE a été obtenu pour une période d'un an. Un réseau de chauffage urbain étant une solution centralisée, les demandes des bâtiments ont été additionnées pour dimensionner la centrale sur la base d'un profil de demande unique.

Afin de dimensionner et choisir le meilleur compromis entre la puissance et le nombre d'unités de production, la courbe monotone de charge (voir Figure 4-1) est utilisée.

Une chaudière à biomasse de **3,0 MW** est considérée, couplée à une chaudière à gaz naturel de **3,0 MW** en appoint.

Le pic de demande peut atteindre **6,9 MW** à certaines heures de l'année (en période hivernale). Des systèmes de pompe à chaleur ou des chaudières d'appoint individuels sont installés chez ces gros consommateurs pour éviter de surdimensionner l'installation uniquement pour les besoins de certains clients.

Les principales hypothèses considérées pour le dimensionnement de la chaudière biomasse sont les suivantes :

- Puissance maximale : **3,0 MW** ;
- Rendement global : **82 %** ;
- PCI biomasse : **3050 kWh/tonne**.

Pour la chaudière à gaz, il a été considéré :

- Puissance maximale : **3,0 MW** ;
- Efficacité globale : **90 %** ;
- Gaz naturel PCI : **12,4 kWh/m³**.

Dans cette configuration, la chaudière biomasse fonctionne la majeure partie de l'année car elle fournit également l'eau chaude sanitaire à la ZAC. Sur une année, la chaudière biomasse produit **88 %** de l'énergie thermique totale demandée par la ZAC, les **12 %** restants étant fournis par la chaudière gaz.

L'analyse économique prend en compte le coût d'investissement de la centrale thermique, du système de distribution et des sous-stations de chaque client. Il en résulte un coût d'investissement de **4 122 278 €** pour l'ensemble de la centrale. La consommation annuelle de combustible est de **4048,1 tonnes de biomasse** et de **126,5 m³ de gaz naturel**.

Cette solution permet d'éviter **2 140 tonnes/an** d'émissions directes de CO₂ par rapport à une solution de base de chaudières gaz.

Ce système de chauffage urbain fournit le chauffage et l'eau chaude sanitaire à la ZAC, mais pour que ce scénario soit comparable aux autres, il est nécessaire d'ajouter un système de production de froid. Cette production de froid a été considérée de deux manières :

- Climatiseurs électriques individuels ;
- Production centralisée (réseau de froid urbain) basée sur des groupes froids.

Les principales hypothèses de ces deux cas sont détaillées ci-dessous.

A.1.1. Scénario 1.A - Climatiseurs électriques individuels

Les climatiseurs électriques ont été considérés avec un **COP de 3**.

Il s'agit du cas de référence avec lequel les réductions d'émissions de CO₂ des autres configurations sont comparées.

Le coût d'investissement de ce système a été calculé pour chaque bâtiment. Le coût de ce système dépend de la puissance demandée par chaque bâtiment. Le montant total de l'investissement pour équiper tous les bâtiments d'une climatisation individuelle est de **1 514 000 €**.

Cette solution permet d'éviter **2 140 tonnes/an** d'émissions directes de CO₂ par rapport à une solution de base de chaudières gaz.

A.1.2. Scénario 1.B – Réseau de froid urbain

Pour le dimensionnement du réseau de froid, la même méthode que pour le système de chauffage urbain est utilisée, c'est-à-dire à partir de la monotone de charge pour la demande de froid (Figure 7-1).

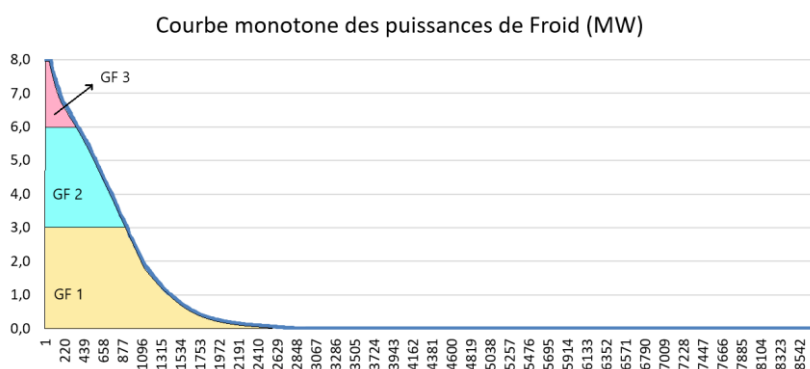


Figure 7-1 - Courbe monotone de charge froid pour le besoin de la ZAC.

Trois unités sont retenues, les deux premières de **3 MW** et une troisième de **2 MW** d'appoint.

Il est privilégié d'avoir **3 unités** au lieu d'une seule pour permettre à l'équipement de fonctionner autant que possible à sa charge nominale (charge présentant le meilleur

rendement). Ce mode de fonctionnement est illustré sur le graphique de la Figure 7-2. Lorsque la charge de la première unité est de 100% et que la demande augmente, la deuxième unité est démarrée. Pour les périodes estivales où il y a un pic de demande de froid, il peut arriver que les deux unités soient à 100% de leur capacité, dans ce cas l'unité d'appoint de 2 MW est à son tour démarrée (unité 3).

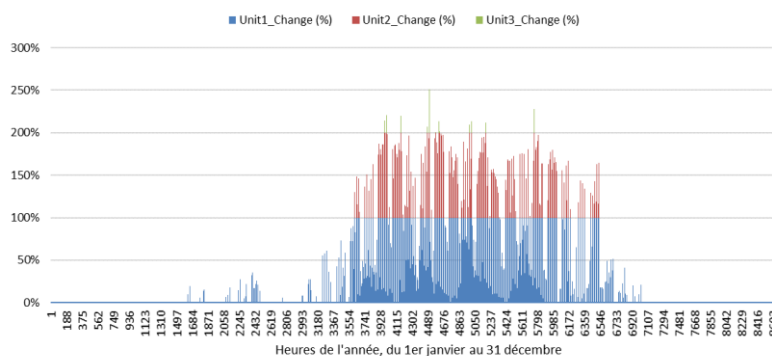


Figure 7-2 - Fonctionnement réseau de froid.

Les calculs économiques prennent en compte le coût d'investissement de la centrale thermique, du système de distribution et des sous-stations. Cela donne un coût d'investissements de **6 200 000 €**.

Les groupes frigorifiques fonctionnant grâce à l'électricité, une consommation annuelle de **726 MWh/an** est calculée. Ces unités ont un **COP de 6**, ce qui est deux fois plus efficace qu'un système de climatisation individuel. Cette solution permet d'éviter **2 175 tonnes/an** d'émissions directes de CO₂ par rapport à une solution de base de chaudières gaz et climatiseur électriques individuelles.

A.2. Méthode de dimensionnement des PAC gaz

Les hypothèses suivantes ont été considérées pour le dimensionnement :

- PAC gaz avec un **COP de 1,5** et réversible, ce qui signifie qu'elle produit du froid ou de la chaleur selon la demande ;
- Gaz PCI de **12,4 kWh/m³**.

Le logiciel NEMO Market (logiciel interne du groupe Engie) permet d'estimer la consommation horaire de chaque bâtiment de la ZAC VARECOPOLE pour une année. C'est sur la base de cette consommation que les PAC gaz sont dimensionnés.

A partir de la puissance maximale atteinte au cours de l'année pour les besoins de chauffage et de refroidissement, le système PAC gaz est dimensionné. La consommation annuelle en m³ ou en kWh de gaz naturel est également déterminée pour chaque bâtiment.

La consommation d'électricité et de gaz pour cette solution permet de calculer le coût d'investissement et les économies annuelles de gaz et d'électricité. Ce dernier est comparé à un cas de référence (chaudière à gaz et climatiseur électrique).

En utilisant les facteurs d'émission de gaz direct, il est possible, sur la base de la consommation annuelle, de calculer les émissions de CO₂ évitées par chaque bâtiment par rapport au cas de référence.

Le Tableau 7-1 présente le détail du dimensionnement des PAC gaz pour chaque bâtiment.

Bâtiment	PAC kWth	Emissions CO ₂ évitées Ton/an	Consommation Gaz MWh/an	Combustible Economisé €/an	Coûts d'investissement €
2b.1 - Artisanat	110	15,9	13,7	7 982	14 681
2b.7 - Artisanat	155	24,7	20,4	11 823	20 714
2b.2 - Artisanat	111	15,9	13,8	8 020	58 344
2b.3 - Artisanat	105	14,8	13,0	7 555	13 997
2b.4 - Artisanat	105	14,8	13,0	7 589	14 064
2b.5 - Artisanat	102	14,5	12,6	7 351	13 572
2b.6 - Artisanat	78	9,1	8,9	5 218	10 410
1a.1 - Ecole d'ingénieur	315	19,8	18,7	10 940	41 959
1a.1 - Logements étudiants	226	24,3	23,2	13 594	30 130
1a.1 - Services étudiants	63	7,2	6,8	4 007	8 383
1a.2 - Centre de convention	168	18,6	18,1	10 612	22 408
Hôtel	1052	113,2	122,4	72 098	140 293
1b.1 – Nice MATIN	761	58,4	65,7	38 814	101 466
1b.3 - Production	268	15,7	21,3	12 665	35 711
1b.4 – Production	201	16,4	17,9	10 525	26 853
1c.1 – Village artisanat	102	10,5	11,1	6 528	13 636
1c.2 – Village artisanat	181	16,7	18,6	10 945	24 122
1c.3 – Tertiaire	660	0,6	30,2	18 717	87 992
1c.4 – Tertiaire	726	1,8	34,4	21 278	96 809
1c.5 – Tertiaire	500	3,2	25,2	15 523	66 712
1c.6 – Centre d'affaires	250	0,5	13,0	8 055	33 337
2a.1 – Tertiaire	1499	0,9	64,8	40 199	199 812
2a.2 – Tertiaire	750	55,1	59,5	35 071	99 995
2c.1 – Activité productive	280	20,8	24,0	14 188	37 298

Tableau 7-1 - Résultats du dimensionnement des PAC gaz pour chaque bâtiment.

A.3. Méthode de dimensionnement des PAC électriques et panneaux PV

A.3.1. PAC électrique

Pour le dimensionnement des PAC électriques, ont été considérés des PAC électriques réversibles (production de froid ou de chaleur selon la demande) avec un **COP de 4**.

Le logiciel NEMO (logiciel interne du groupe Engie) permet d'estimer la consommation horaire de chaque bâtiment de la ZAC VARECOPOLE pour une année. C'est sur la base de cette consommation que les PAC électriques sont dimensionnées.

A partir de la puissance maximale atteinte au cours de l'année pour les besoins de chauffage et de refroidissement, le système PAC électrique est dimensionné. La consommation annuelle en électricité kWh est également déterminée pour chaque bâtiment. Cette consommation annuelle d'électricité sera utilisée pour dimensionner la quantité de panneaux PV à installer sur chaque bâtiment.

Le Tableau 7-2 présente le détail du dimensionnement pour chaque bâtiment.

A.3.2. Solaire

Les systèmes de panneaux photovoltaïques sont calculés pour les bâtiments et les parkings. Le rayonnement annuel pour la zone de la ZAC VARECOPOLE est de **1600 kWh/kWc** pour les bâtiments et de **1531 kWh/kWc** pour les parkings. Ces informations proviennent des données européennes EU Science Hub (PVGIS).

Les panneaux considérés pour l'étude présentent les caractéristiques suivantes :

- Puissance de chaque panneau : **400 Wc** ;
- Surface d'un panneau : **2 m²** ;
- Coût d'investissement : **1 € par Wc installé** (inclus le panneau PV et les systèmes de raccordement et de contrôle).

Sur la base de ces hypothèses le système photovoltaïque est dimensionné pour chaque bâtiment.

L'inclinaison optimale des panneaux pour les bâtiments est d'environ **30°** et pour les parkings de **15°**. Si les toits ne présentent pas ces caractéristiques 2 options sont envisageables : investir dans une infrastructure pour obtenir cette pente optimale ou réaliser l'installation avec la pente disponible mais la production d'énergie sera différente de celle de référence.

Sur la base de la surface totale du toit de chaque bâtiment, un pourcentage de celle-ci est considéré pour les panneaux PV à installer. Ce pourcentage est défini en fonction de la consommation électrique des PAC et par conséquent des besoins énergétiques annuels (chaleur et froid) de chaque bâtiment, de sorte qu'à la fin de l'année, l'énergie produite soit égale à la demande de ces deux vecteurs énergétiques.

Par exemple : **2b.1 - Artisanat** a une surface de toit de **844 m²** dont **25%** seront utilisés pour installer des panneaux PV. Cela représente **108 panneaux**, donc une puissance de **43,0 kWc** installés. La production annuelle dans ce cas est de **68,9 MWh/an**. Si ce bâtiment installe plus de **25%**, l'énergie supplémentaire servira à satisfaire les besoins en électricité des auxiliaires et d'éclairage du bâtiment. En cas de couverture de ces besoins, le système pourra injecter cette surproduction d'énergie dans le réseau et ainsi générer des bénéfices.

Sur la base du cas de référence (chaudière à gaz et climatiseur individuel), il est possible de calculer l'argent économisé en combustible par an grâce aux meilleures performances d'un système de pompe à chaleur et à l'énergie électrique produite par des panneaux solaires. Pour cela, il est considéré un prix du combustible pour l'électricité et le gaz naturel de **0,16 €/kWh** et **0,07 €/kWh** respectivement.

Le Tableau 7-2 présente le détail du dimensionnement pour chaque bâtiment

Bâtiment	PAC kWh	Surface total m ²	%	Surface effective m ²	N° PV	Installés kWc	Production MWh/an	Coûts d'investissement €	Combustible Economisé €/an	Emissions directes CO ₂ évitées Ton/an
2b.1 - Artisanat	110	844	25	215	108	43	68,9	59156	21 600	50,4
2b.7 - Artisanat	155	862	36	312	156	62,6	100,1	122880	31 500	74,7
2b.2 - Artisanat	111	844	26	218	109	43,6	69,7	59798	21 700	50,6
2b.3 - Artisanat	105	765	27	206	103	41,2	65,9	56564	20 500	47,7
2b.4 - Artisanat	105	758	27	207	104	41,4	66,3	56864	20 600	47,9
2b.5 - Artisanat	102	778	26	200	100	39,8	63,7	54739	19 900	46,4
2b.6 - Artisanat	78	759	19	147	74	29,4	47,1	40883	14 500	32,9
1a.1 - Ecole d'ingénieur	315	6040	5	308	154	61,6	98,6	107692	30 300	69,0
1a.1 - Logements étudiants	226	2979	13	385	192	76,9	123,1	110039	37 800	85,7
1a.1 - Services étudiants	63	475	24	113	57	22,6	36,2	31836	11 100	25,3
1a.2 - Centre de convention	168	1539	20	302	151	60,3	96,5	84939	29 600	66,8
Hôtel	1052	7500	28	2130	1065	426	681,6	580084	205 900	453,3
1b.1 - Nice MATIN	761	12000	10	1161	581	232,4	371,8	343808	125 000	243,9
1b.3 - Production	268	3022	13	399	199	79,8	127,6	118995	37 700	79,4
1b.4 - Production	201	1867	17	313	156	62,6	100,1	92052	30 100	66,2
1c.1 - Village artisanat	102	1250	15	191	96	38,3	61,2	53251	18 500	41,4
1c.2 - Village artisanat	181	2500	13	326	163	65,3	104,4	91743	31 400	68,8
1c.3 - Tertiaire	660	7120	11	797	399	159,5	255,1	256127	6 400	115,8
1c.4 - Tertiaire	726	8010	10	813	407	162,7	260,3	269008	72 400	131,7
1c.5 - Tertiaire	500	5219	11	581	290	116,2	185,8	189447	52 100	96,2
1c.6 - Centre d'affaires	250	2000	16	315	158	63,0	100,9	99654	27 850	49,8
2a.1 - Tertiaire	1499	14116	11	1563	781	312,5	500,0	531973	138 300	248,5
2a.2 - Tertiaire	750	7184	14	1036	1036	207,2	331,5	317016	100 150	220,5
2c.1 - Activité productive	280	2884	15	428	427	85,5	136,8	126492	41 000	89,1

Tableau 7-2 - Résultats de la simulation PAC + PV pour chaque bâtiment.

En tant qu'acteur de la transition énergétique, Tractebel propose à ses clients un éventail complet de conseils et services en ingénierie couvrant l'ensemble du cycle de vie des réalisations, y compris la conception et la gestion de projets. Reconnue comme une des plus grandes entreprises mondiales de conseils en ingénierie et s'appuyant sur plus de 150 ans d'expérience, la société a pour mission de façonner le monde de demain. Avec près de 5 000 experts et des implantations dans 33 pays, nous sommes en mesure de proposer à nos clients des solutions multidisciplinaires dans les domaines de l'énergie, de l'eau et des infrastructures.

TRACTEBEL ENGINEERING S.A.

SIEGE SOCIAL
5, rue du 19 mars 1962
92622 – Gennevilliers CEDEX – France
tractebel.engie.fr

Zeneviev BESARAT
tel. +33 649210968
fax +33 141851816
zeneviev.besarat@tractebel.engie.com

