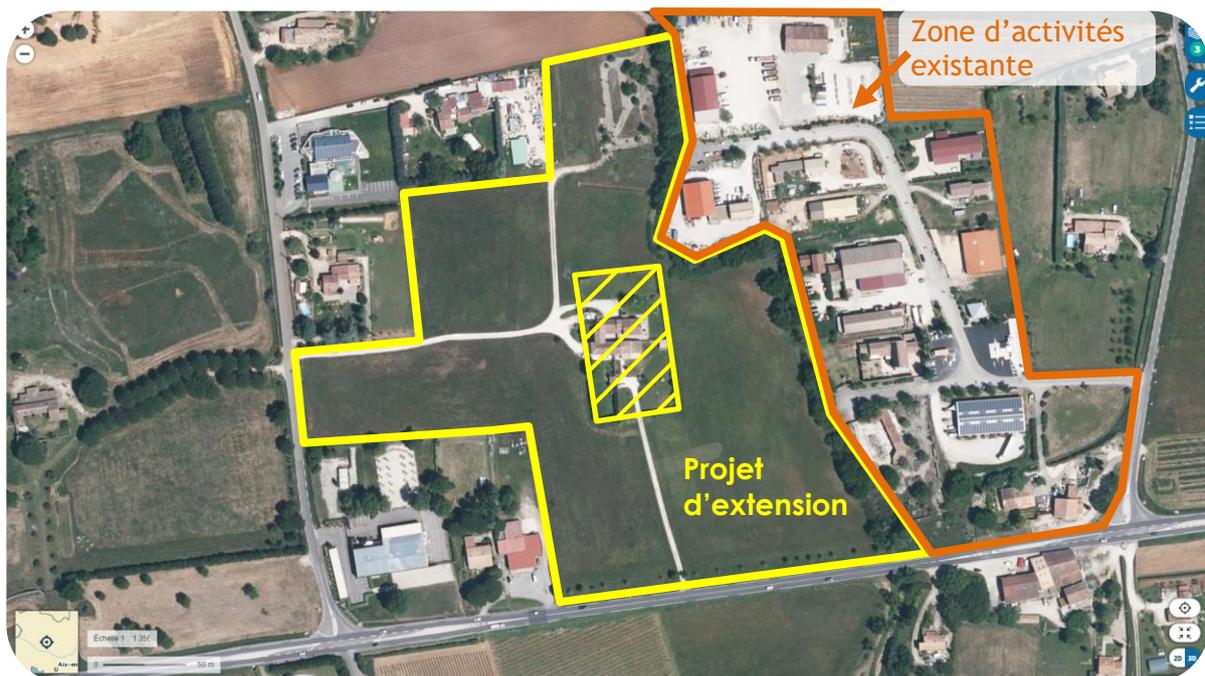


Étude sur le potentiel de développement des énergies renouvelables et de création d'un réseau de chaleur ou de froid

Projet d'extension de la zone d'activités de Pied Rousset

Commune de Goult (84)



*Vue aérienne de la zone ciblée pour l'extension - Goult (84)
Sources : Géoportail / Symbiose*

En application de l'article L300-1 du Code de l'Urbanisme

V0 - 20 janvier 2024

Sommaire

1. Contexte et présentation de l'opération	4
1.1. Cadre légal	4
1.2. Situation géographique et milieu physique	4
1.3. Projet d'aménagement	8
2. Evaluation des besoins énergétiques	10
2.1. Comparaison du prix des énergies	10
2.2. Estimation des besoins en chaleur	11
2.3. Estimation des besoins en électricité	12
2.4. Maîtrise de la consommation d'énergie	12
3. Réseaux de chaleur ou de froid	16
3.1. Avantages des réseaux de chaleur ou de froid	16
3.2. Pertinence de création ou raccordement d'un réseau de chaleur	16
4. Les énergies renouvelables et de récupération envisageables	17
4.1. Contexte réglementaire	17
4.2. L'énergie solaire	18
4.3. La biomasse	24
4.4. L'énergie éolienne	25
4.5. L'énergie hydraulique	25
4.6. La géothermie	26
4.7. L'aérothermie	28
4.8. La récupération d'énergie fatale	29
5. Synthèse sur le potentiel des différentes énergies renouvelables	30
6. Conclusion	32
6.1. Réseaux de chaleur	32
6.2. Énergies renouvelables	32

Cette étude décrit le **potentiel de développement des énergies renouvelables**, dans le cadre d'un projet d'extension d'une zone d'activités existante.

L'opération portée par la CC¹ Pays d'Apt Luberon et la SPL² Territoire Vaucluse concerne l'aménagement d'un terrain de près de 6 ha. Le projet cible 12 lots destinés à de l'activité plurisectorielle. L'objectif de ce projet est de répondre à une forte demande locale, pour une réserve foncière limitée.

Conformément à la réglementation (voir ci-après "Cadre légal"), l'objectif de cette étude est d'évaluer le potentiel des différentes énergies renouvelables et d'identifier les pistes les plus prometteuses, à l'échelle de l'opération projetée.

Auteur de l'étude : Geoffrey LEPEERS, ingénieur

¹ CC : communauté de communes

² SPL : société publique locale

1. CONTEXTE ET PRESENTATION DE L'OPERATION

1.1. Cadre légal

Selon l'article L.300-1-1 du code de l'urbanisme (loi n°2021-1104 du 22 août 2021, article 214 (V)) : « Toute action ou opération d'aménagement³ soumise à évaluation environnementale en application de l'article L. 122-1 du code de l'environnement doit faire l'objet :

1° 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 »⁴

Par conséquent, le projet d'aménagement doit faire l'objet d'une étude sur le potentiel de développement en énergies renouvelables.

1.2. Situation géographique et milieu physique

Situation et environnement

Le site du projet est localisé sur la commune de **Goult**, qui se situe dans la plaine du Calavon-Coulon, entre Cavaillon et Apt, avec les Monts de Vaucluse au Nord et le Petit Luberon au Sud.



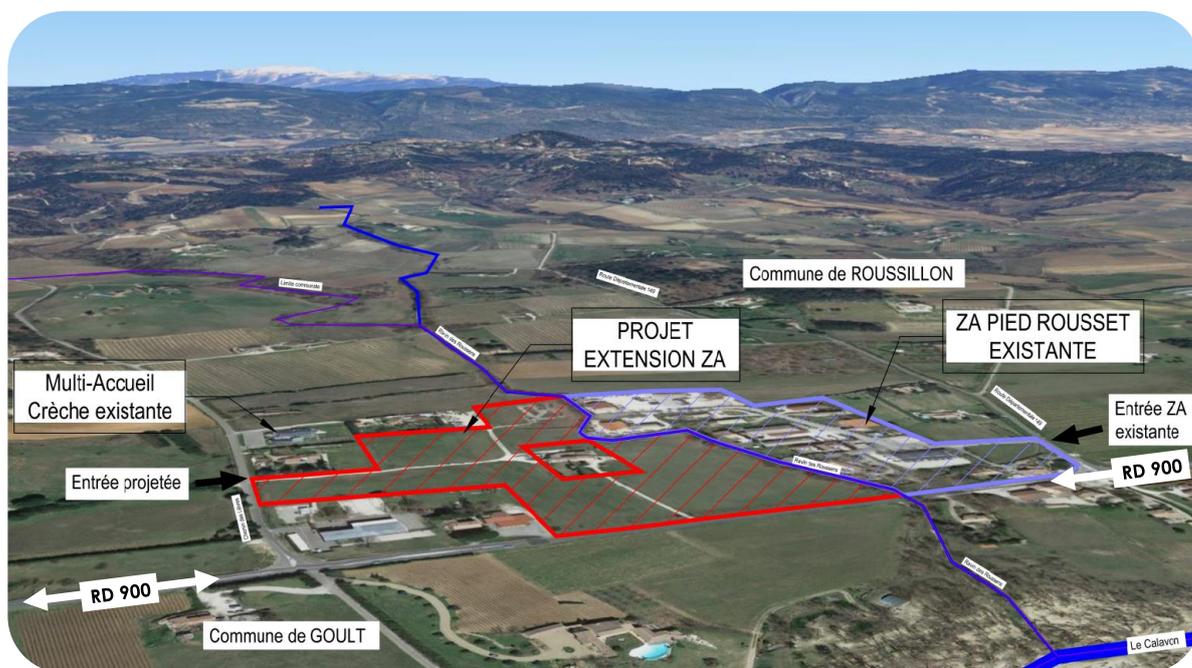
³ « Les actions ou opérations d'aménagement ont pour objets de mettre en œuvre un projet urbain, une politique locale de l'habitat, d'organiser la mutation, le maintien, l'extension ou l'accueil des activités économiques, de favoriser le développement des loisirs et du tourisme, de réaliser des équipements collectifs ou des locaux de recherche ou d'enseignement supérieur, de lutter contre l'insalubrité et l'habitat indigne ou dangereux, de permettre le recyclage foncier ou le renouvellement urbain, de sauvegarder, de restaurer ou de mettre en valeur le patrimoine bâti ou non bâti et les espaces naturels, de renaturer ou de désartificialiser des sols, notamment en recherchant l'optimisation de l'utilisation des espaces urbanisés et à urbaniser. » (article L.300-1 du code de l'urbanisme)

⁴ Articles L.300-1 et suivants du code de l'urbanisme : <https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGIARTI000047870470>.

L'opération concerne l'aménagement d'un terrain de près de **6 ha**, occupé actuellement de parcelles agricoles en friches. Elle est située sur le hameau de Pied Rousset, caractérisé par un tissu urbain mixte : activités artisanales, habitat, parcelles agricoles et un établissement public (crèche multi-accueil). Un cours d'eau se trouve également en limite du projet d'extension, impactant celle-ci par des zones inondables.

Plus précisément, ce projet consiste en l'extension d'une zone d'activités existante (le parc d'activités de Pied Rousset). L'extension prévue comprend 12 lots destinés à de l'activité plurisectorielle. Par ce projet, l'objectif de la commune est de répondre à une forte demande locale, pour une réserve foncière limitée.

Au-delà de la zone d'activités, nous trouvons des terres agricoles et de l'habitat dispersé. Les centres bourgs de Goult et de Roussillon sont à 4 et 6 km du site. Le territoire sur lequel est implanté la zone d'activités est un territoire rural.



Limites de l'extension prévue de la zone d'activités de Pied Rousset

Sources : Géoportail / Symbiose

Desserte

Routes

Le réseau routier local est structuré par la D900, qui constitue l'axe majeur du Pays d'Apt Luberon, car il dessert le territoire d'est en ouest avec des passages en deux fois deux voies. Le secteur d'étude est desservi par le chemin des Lièvres, axe nord-sud qui relie la D900 au sud à la D104 au nord, axe qui chemine sur les collines de Goult et Roussillon.

La D900, est classée route à grande circulation selon le Code de la Voirie Routière mais ne comporte aucun équipement pour la circulation à vélo ou autre mode actif.

Modes actifs

Une voie verte passe au Sud du secteur d'étude. Il s'agit de la véloroute du Calavon, qui constitue un axe structurant à l'échelle du Vaucluse. Cet axe dessert le territoire du Pays d'Apt Luberon d'est en ouest. Elle pourrait permettre de desservir la zone d'activités étudiées mais, bien qu'elle passe près de celle-ci à vol d'oiseau, il faut passer la rivière Calavon. Et si le gué situé dans le prolongement du chemin des lièvres, au sud de la D900 (Pied Rousset Sud) n'est pas praticable, ce passage ne peut se faire que par les ponts de :

- Pont Julien à l'est, via le rond-point D108-D900
- la D36 via le rond-point D36-D900.

Ces passages obligés impliquent de pratiquer la D900 sur près de 2 km, d'un des deux ronds-points précités, jusqu'à l'entrée de la zone d'activités. Et la D900 est à une seule voie par sens de circulation sur ce secteur. Ceci s'avère rédhibitoire au vu de la circulation des camions sur cet axe : plus d'un camion toutes les deux minutes en moyenne (sûrement plus aux heures de fort trafic) sur une plage 5h-23h⁵. Une autre solution est de faire un détour de 6,5 km par les collines de Goult et Roussillon. L'accès au site est donc loin d'être facilité pour la circulation à vélo. Des aménagements de la D900 en ce sens ou la construction d'une passerelle pour enjamber le Calavon sont souhaités, dans le but de favoriser ce type de mobilité.

Transports en commun / train

L'offre de transport en commun sur le Pays d'Apt-Luberon est essentiellement assurée par le réseau Trans'Vaucluse. Le secteur du Parc d'Activités de Pied Rousset ne dispose pas d'arrêt de transport en commun, ni au sein du parc d'activités, ni le long de la RD 900, pourtant empruntée par deux lignes du réseau régional ZOU :

- L914 : Apt - L'Isle-sur-la-Sorgue
- L915 : Apt - Avignon.

Les arrêts de transports en commun sont éloignés du secteur d'étude :

- à l'est, à 1,6 km du secteur d'étude, à Pont Julien
- à l'ouest, à 2,1 du secteur d'étude, près du rond-point D900/D36

Dans les deux cas, le temps de trajet à pied est supérieur à 20 mn sur des itinéraires ne disposant pas de cheminement piéton. Pour desservir la zone d'activités, un arrêt de l'une voire des deux lignes citées ci-dessus, dans chaque sens de circulation sur la D900, seraient les bienvenus pour d'une part alléger le trafic de véhicules sur cet axe et d'autres part réduire les émissions de GES associées à ce trafic.

Pour ce qui est du train, les deux gares les plus proches sont celles de L'Isle-sur-la-Sorgue et de Cavaillon (toutes deux à 25 minutes du site en voiture). Ce mode de déplacement (avec liaison finale en taxi) serait réservé plutôt pour des déplacements professionnels occasionnels (quoique peu fréquents pour les activités artisanales ciblées) que pour des déplacements domicile travail (pas d'arrêt de bus pour l'instant, pour faire la liaison gares - zone d'activités).

⁵ Les données (11 750 véhicules par jour ouvré dont 5,4% de camions et circulation quasi-équilibrée par sens de circulation) sont issues de l'Analyse de l'état initial de l'étude d'impact (p.77) / Symbiose / Octobre 2023

Climat

Le climat du Vaucluse est de type méditerranéen, avec cependant une note continentale pour l'est du département due au relief, sur les massifs du Luberon et des Monts de Vaucluse.

Le climat sur notre zone d'étude à Goult près du lit de la rivière Calavon est méditerranéen.

Les relevés des stations météo (météo France) des communes de Cabrières d'Avignon et de Saint-Saturnin-lès-Apt, à 10 km et 11 km à vol d'oiseau de la zone d'étude nous donnent les caractéristiques climatiques suivantes (année 2023)⁶ :

- ensoleillement à l'année de 2718 h/an ;
- hauteur de précipitation de 390,9 mm/an ;
- température minimale moyenne sur un mois : 0,2 °C en février (minimum journalier de -7,3 °C)
- température maximale moyenne sur un mois : 32,8 °C en juillet (maximum journalier de 40,2 °C)
- des rafales de vents maximales mensuelles toutes supérieures à 50 km/h (de 51 à 95 km/h).

Relief

Les terrains du secteur d'étude présentent une topographie globalement plane, mais avec une légère déclivité du nord-est vers le sud-ouest, ce qui correspond globalement au profil d'une plaine.

L'altitude est globalement comprise entre 167 m (au nord-ouest du site) et 163 m (au sud-est). Le point bas du site, favorable à un drainage gravitaire des eaux pluviales, se situe dans la zone sud-est du secteur d'étude. La pente globale est proche de 1%⁷.



Topographie de la zone d'étude (source : topographic-map)

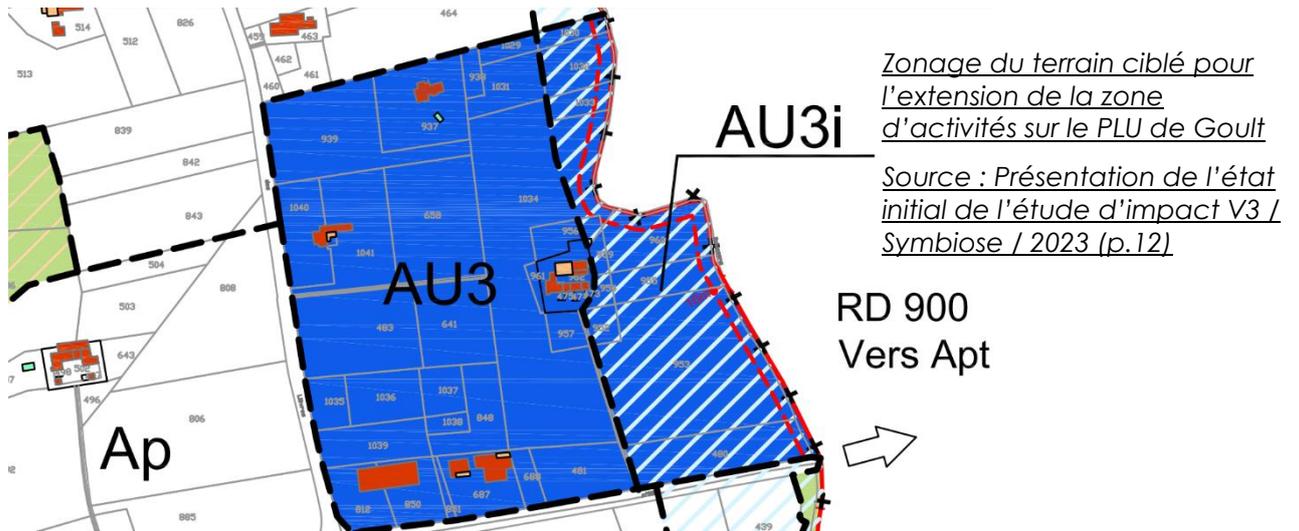
⁶ Sources : <https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2023/saint-saturnin-les-apt/valeurs/000DI.html> et <https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2023/cabrieres-d-avignon/valeurs/MF84025001.html>

⁷ Source : Analyse de l'état initial de l'étude d'impact / Symbiose / Octobre 2023

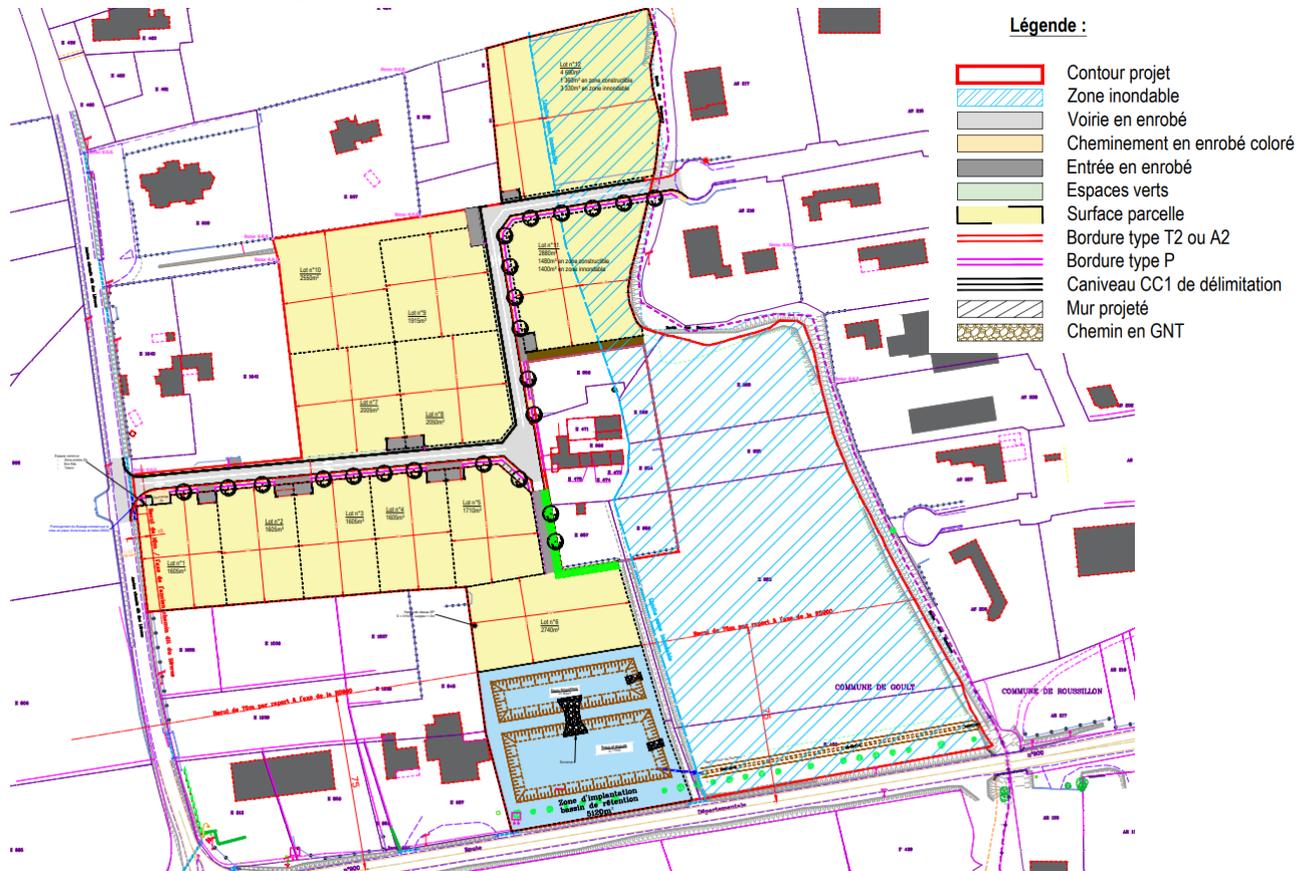
1.3. Projet d'aménagement

Le projet d'aménagement consiste en l'extension d'une zone d'activités existante (parc d'activités de Pied Rousset). La prise en compte de la loi Barnier impose une marge de recul entre les bâtis les plus proches et la route départementale D900 : 75 mètres minimum par rapport à l'axe cette route.

Le secteur d'étude est localisé en zone AU3 : zone à urbaniser, opérationnelle, à vocation principale d'activités économiques, artisanales et commerciales.



Un plan des aménagements de la zone détaille les lots qui y sont prévus.



Plan des aménagements - Source : SPL Territoire Vaucluse

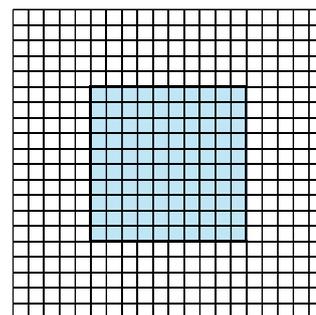
Voici le tableau des surfaces des lots du projet⁸.

Ensemble	Désignation	Surface (m ²)	Surface constructible (m ²)	Remarques
Espaces aménagés	Voirie en enrobé	2 470		
	Cheminement en enrobé coloré	705		
	Espace vert	915		
	Bassin de rétention	5 122		
Lots	1	1 605	1 370	Recul 10 m / chemin des lièvres
	2	1 605	1 605	
	3	1 605	1 605	
	4	1 605	1 605	
	5	1 710	1 710	
	6	2 740	2 740	
	7	2 005	2 005	
	8	2 050	2 050	
	9	1 915	1 915	
	10	2 550	2 550	
	11	2 880	1 480	Une part en zone inondable
	12	4 690	1 360	Une part en zone inondable
TOTAL		36 172	21 995	

Surfaces des lots

Ensemble	Désignation	Emprise au sol (m ²)	SDP (m ²)	Hypothèses :
Lots	1	401	502	<p>Emprise au sol = 1/3 x surface du lot, cf. schéma ci-dessous (nécessité surfaces pour camions, parkings...)</p> <p>Etage sur une partie des bâtiments ⇒ en moyenne : SDP = 1,25 x emprise au sol</p> <p>Surface bureaux ou équivalents ≈ 1/3 x SDP, soit : 2 800 m² en cumulé.</p> <p>Surface du carré bleu = 1/4 x surface du grand carré</p>
	2	401	502	
	3	401	502	
	4	401	502	
	5	428	534	
	6	685	856	
	7	501	627	
	8	513	641	
	9	479	598	
	10	638	797	
	11	720	900	
	12	1 173	1 466	
TOTAL		6 740	8 425	

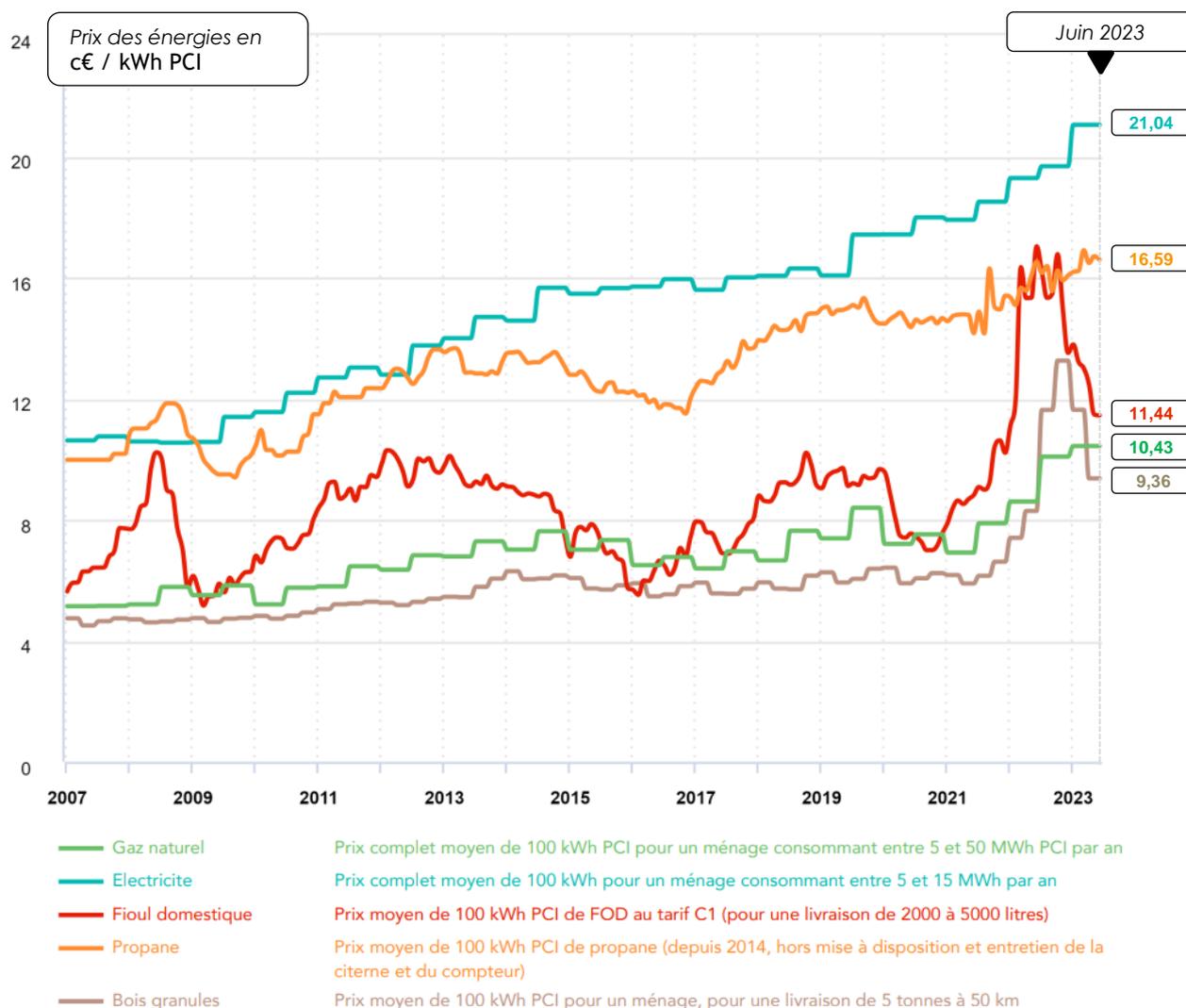
Emprises au sol et SDP



⁸ Source : Plan des aménagements de l'extension de la ZA de Pied Rousset / SPL Territoire Vaucluse

2. EVALUATION DES BESOINS ENERGETIQUES

2.1. Comparaison du prix des énergies



Comparaison des prix des énergies (€ TTC pour 100 kWh PCI) - Source : GRDF (Juin 2023)⁹

Sur des tendances longues (2007 - 2023), **l'électricité est l'énergie la plus coûteuse**. Le **bois**, après un pic en 2022, **redevient l'énergie la moins onéreuse**, bien que son prix ait doublé en 15 ans. Le rapport entre l'offre et la demande s'est considérablement réduit (peu de stocks, impact du conflit russo-ukrainien, augmentation du prix des autres énergies utilisées pour la transformation et le transport du bois...). Les prix du **gaz** et du **fioul** ont été progressivement impactés par la taxe carbone, et dessinent des profils globalement à la hausse. Le prix du fioul a subi un pic mais reste supérieur au bois et au gaz naturel. Le prix du gaz est resté à ce jour compétitif au regard des autres énergies grâce au TRVG pour le résidentiel (Tarif Réglementé de Vente du Gaz), qui a pris fin au 30 juin 2023. Pour les entreprises, les tarifs de gaz sont variables autour de la valeur donnée sur le graphique en fonction de l'utilisation finale du gaz, le volume de consommation et les fournisseurs (il n'y a plus de tarif réglementé pour les professionnels depuis décembre 2020).

⁹ <https://www.grdf.fr/particuliers/evolution-prix-energies>

2.2. Estimation des besoins en chaleur

Les besoins en énergie ne peuvent pas être calculés précisément à ce jour, faute de projets suffisamment avancés. Nous nous sommes basés sur les données communiquées par Symbiose, soit des surfaces de lots et avons posé des hypothèses pour les surfaces des bâtiments d'activités. Selon ces éléments, nous avons pu estimer les SDP (surfaces de plancher) totales, cf. tableau du §.1.3

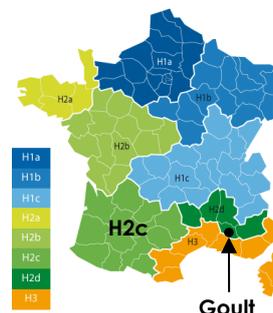
Il est possible d'évaluer un ordre de grandeur des consommations de chaleur des futures constructions en se basant sur les hypothèses de consommation prévues par la RT 2012¹⁰, proches de celles de la RE 2020. Rappelons qu'il s'agit d'un **objectif théorique**. La consommation réelle est toujours supérieure, ne serait-ce que parce qu'en pratique, les températures de consigne sont supérieures à la température de 19° C, prise en compte dans les calculs.

Concernant l'artisanat, la valeur standard donnée pour la consommation de chaleur par unité de surface est de 140 kWh/m².an, issue d'une catégorie très large « Industrie et artisanat en horaire de journée ». Nous modulons cette valeur pour deux raisons :

- quelques-unes des activités potentielles sur la zone sont le bâtiment, la réparation automobile... Nous considérons que pour ces types d'activités, une partie de la surface artisanale (hors bureaux) accueillera du stockage de matériaux (donc non chauffée) et que le personnel opérationnel (pour les entreprises du bâtiment) travaillera la plupart du temps sur leurs chantiers, donc à l'extérieur des bâtiments.
- la commune de Goult est située en zone climatique H2d suivant la RE 2020, cf. carte ci-contre.

Notre modulation tient compte de l'équivalent de 10 kWh/m².an d'électricité non consommée par rapport à la valeur de base, soit 26 kWh/m².an d'énergie primaire non consommée. Ce qui donne **une consommation CVC¹¹ de 114 kWh/m².an**.

Pour la surface concernée, cela nous donne un besoin en chaleur de **640 MWh/an**.



Zones climatiques suivant la RE 2020

Les surfaces de bureaux devront viser une consommation maximale de **50 kWh/m².an¹²** (valeur CVC : chaleur, ventilation, climatisation), soit un besoin correspondant pour la partie bureaux de **140 MWh/an**.

Au total, la consommation de chaleur pour l'ensemble des bâtiments de l'extension de la zone d'activités peut donc être estimée à **780 MWh/an**.

¹⁰ <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000026910098&dateTexte=20200626>

¹¹ CVC = Chaleur, Ventilation, Climatisation

¹² Source : Arrêté du 13 avril 2022 modifiant l'arrêté du 10 avril 2020 relatif aux obligations d'actions de réduction des consommations d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire.

Lien : https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=tt8Pn_noNUJrtHX0hN35x0kDKsw--9F4cO5LbLVloE=

2.3. Estimation des besoins en électricité

Nous estimons la consommation d'électricité spécifique (électricité hors chauffage) à 20% de la consommation de chaleur. Ce qui correspond aux valeurs brutes suivantes :

Type d'activité	Artisanat	Bureaux ou équivalent	TOTAL
Electricité spécifique (MWh/an)	128	28	156

Estimation des consommations d'électricité

Les solutions préconisées pour l'éclairage public sont des candélabres avec des lanternes LED. Le système d'éclairage n'a pas encore été défini avec plus de précision et la consommation due à celui-ci ne changera pas énormément l'évaluation des besoins énergétiques.

L'estimation de **la consommation d'énergie totale** (chauffage, électricité) s'élève à **0,94 GWh/an**.

2.4. Maîtrise de la consommation d'énergie

« La meilleure énergie est celle que nous ne consommons pas. »

Une démarche de réduction des besoins en énergie est un élément nécessaire de toute politique énergétique.

C'est pourquoi, même si cette étude est centrée sur l'utilisation des énergies renouvelables, il est utile d'aborder également la limitation des consommations.

Ces actions sont de différentes natures : il peut s'agir de solutions techniques, mais aussi d'actions d'information et de sensibilisation.

a) Maîtrise de l'énergie : une démarche à lancer sans tarder

Les actions qui vont être envisagées dans cette partie doivent être lancées **suffisamment tôt**, en amont de l'exploitation des bâtiments : **la maîtrise de l'énergie doit être prise en compte dès la conception des bâtiments**.

Sinon, les différentes constructions, de par leur structure, leur implantation et leur orientation notamment, risquent d'être définies sur des critères exclusivement économiques. Et les choix énergétiques seront faits trop tard, à un moment où les marges de manœuvre seront réduites et laisseront peu de place à des solutions énergétiques innovantes.

Dans la mesure où la construction des bâtiments dépendront de chaque porteur de projet, nous distinguons dans une première partie ce qui est la responsabilité de **l'aménageur de la zone** (éclairage, desserte), et dans une seconde les préconisations suggérées aux **entreprises qui s'installeront sur la zone**.

b) Responsabilité de l'aménageur de la zone d'étude

Sensibilisation, dialogue autour des questions énergétiques

L'atteinte des objectifs d'efficacité énergétique dépend en grande partie du **comportement des occupants** au sein des bâtiments concernés.

Il serait pertinent de **sensibiliser** et d'**impliquer** les acteurs de la zone d'étude dans **l'utilisation d'énergies renouvelables** et dans **l'efficacité énergétique des bâtiments** : extinction des matériels inutilisés (spécialement la nuit), respect des températures de consigne pour le chauffage, fermeture des volets en période de forte chaleur...

Déplacements (transports en commun, cheminements doux, covoiturage)

Transports en commun

Comme précisé au §.1.2, à ce jour, les transports en commun (à savoir 2 lignes de bus) ne desservent pas le site ou ses alentours. Le train n'est pas une solution non plus (gares éloignées). Un arrêt d'une des 2 lignes de bus à proximité de la zone d'activités permettrait à une partie des futurs actifs qui y travailleront de faire les déplacements domicile-travail en mode doux.

Covoiturage

Au vu de la situation rurale du site et la faible densité d'activités sur la zone, une aire de covoiturage n'est pas envisageable à court terme.

Modes actifs

Nous préconisons au §.1.2 l'intégration d'un ouvrage d'art (passerelle ou pont) permettant de franchir le Calavon à vélo et ainsi rejoindre la zone d'activité via la voie verte du Calavon, toute proche du site.

Eclairage extérieur

Contrairement aux déplacements, **la responsabilité de l'aménageur est ici directe** : concevoir un éclairage économe est une bonne manière de montrer l'exemple et d'inciter les occupants à appréhender les questions énergétiques.

Le choix des **LEDs** pour l'ensemble de l'éclairage public assurera par exemple une économie d'énergie importante : de l'ordre de 50 % par rapport à un éclairage classique.

Parmi les autres solutions à mettre en œuvre, on peut citer :

- **extinction nocturne**, au moins partielle, **modulations horaires**,
- **différenciation des espaces** (limiter le nombre de points d'éclairage), avec utilisation éventuelle de **détecteurs** pour les zones de faible passage.
- orientation du flux lumineux selon l'arrêté 2018 relatif à l'éclairage nocturne (cône de lumière resserré)

Des solutions d'éclairage autonomes (énergie photovoltaïque + batterie) existent également. Représentant un investissement plus important, elles ont l'avantage de ne pas consommer d'électricité du réseau.

Solution d'éclairage autonome*

* Source : <https://www.revolution-energetique.com/>



c) Responsabilité des entreprises s'installant sur la zone d'étude

Bioclimatisme

Préambule : même si la taille et la disposition des lots du projet d'extension de la ZA de Pied Rousset vont déterminer l'orientation des bâtiments qui y seront construits, il nous paraît important d'apporter quelques recommandations générales sur les principes et l'intérêt d'une conception pensée sous le prisme du bioclimatisme.

L'**objectif principal du bioclimatisme** est d'obtenir le **confort d'ambiance** recherché **de manière la plus naturelle possible**, en utilisant les moyens architecturaux, les énergies renouvelables disponibles et en utilisant le moins possible les moyens techniques mécanisés et les énergies extérieures au site.

Les principes de l'architecture bioclimatique visent à bénéficier des apports d'énergie du soleil en hiver et à limiter l'apport de chaleur en été.

Afin d'optimiser le confort des occupants tout en préservant le cadre naturel de la construction, de nombreux paramètres sont à prendre en compte. Une attention toute particulière sera portée à l'**orientation du bâtiment** (afin d'exploiter l'énergie et la lumière du soleil) et à la **construction** (vitres, protections solaires, compacité, matériaux...).

Les grands principes du bioclimatisme

La conception bioclimatique consiste donc à **tirer le meilleur profit de l'énergie solaire, abondante et gratuite**. En hiver, le bâtiment doit maximiser la captation de l'énergie solaire, la diffuser et la conserver. Inversement, en été, le bâtiment doit se protéger du rayonnement solaire et évacuer le surplus de chaleur du bâtiment.

La conception bioclimatique s'articule autour de **3 axes principaux** :

1. **Capter / se protéger de la chaleur,**
2. **Transformer, diffuser la chaleur,**
3. **Conserver la chaleur ou la fraîcheur.**

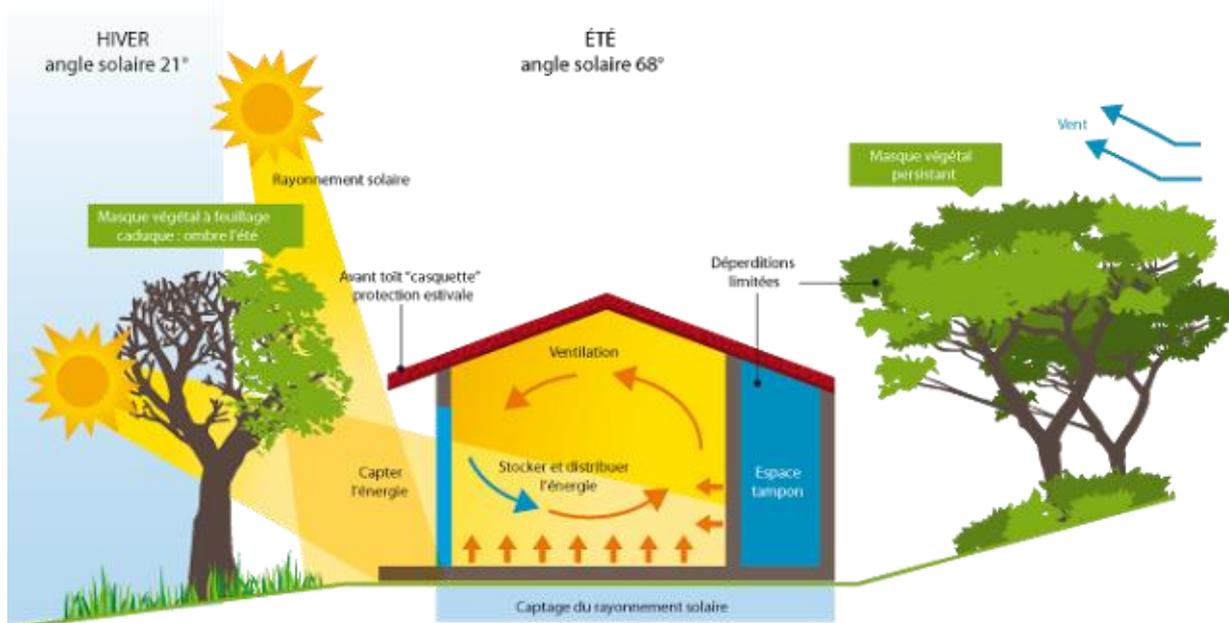


Figure 10 : Les grands principes du bioclimatisme - Source : e-RT2012

Principales recommandations pour un aménagement industriel

Les **espaces de bureaux** - concentrant les principaux besoins de lumière, chaleur et climatisation - doivent être idéalement implantés sur les **façades sud**. L'isolation des bâtiments doit être renforcée sur les **pignons nord**.

La protection contre le rayonnement du soleil estival, pour les **ouvertures orientées au sud**, peut être assurée à l'aide d'éléments intégrés au bâti, tels que des **pare-soleil** (ou "casquettes"), avancées de toit et auvents, ou balcons. La **plantation de végétaux à feuilles caduques** protégera du soleil estival les ouvertures situées à l'est ou à l'ouest.

L'implantation du bâtiment peut permettre de réduire les consommations d'énergie. L'implantation optimale consiste à avoir la plus grande surface possible **orientée au sud** et à disposer des **surfaces vitrées de grande dimension en face sud**, peu à l'est et à l'ouest, et très peu en face nord. De même, la forme des bâtiments peut également être prise en compte. Les **formes compactes** contribuent à limiter les consommations en réduisant la surface d'échange thermique avec l'extérieur.

L'optimisation des apports d'éclairage naturel, réduisant la consommation électrique d'éclairage, est également un point essentiel de la conception bioclimatique.

Enfin, le site sera aménagé de telle manière à prévoir une **intégration paysagère**, avec l'intégration de zones humides et d'espaces boisés ou de haies. Au-delà des gains environnementaux apportés par cet aménagement en matière de préservation des sols, de la biodiversité, de ruissellement des eaux et de séquestration carbone, la présence d'eau et de végétation devrait permettre de réduire les effets d'îlot de chaleur en été pour les quelques bureaux à proximité.

Enfin, l'implantation des parties internes au bâtiment (postes de travail vs zones de stockage ou inoccupées : zones techniques...), en fonction de l'orientation peut réduire les besoins énergétiques et favoriser le confort de travail. Cette organisation consiste à placer les **bureaux, certaines postes de travail au sud**, les **espaces "tampons" au nord** (zones d'entreposage, zones non chauffées). Notons également qu'à l'est les surchauffes estivales seront moins importantes qu'à l'ouest. L'implantation pourra être étudiée selon ces données.

Ces principes et recommandations sont évidemment à appliquer en fonction des contraintes du terrain et bien sûr de l'activité spécifique des porteurs de projet.

Efficacité énergétique

L'efficacité énergétique concerne aussi bien les grosses installations (chaudières) que l'éclairage, l'informatique, et le petit équipement. Voici quelques principes :

- choisir des matériels peu consommateurs (éclairage à LEDs, matériels informatique ou bureautiques labellisés Energy Star...),
- mettre en place des systèmes de détection de présence (éclairage, ventilation) et d'extinction automatique.

Par ailleurs, afin de vérifier et suivre l'efficacité énergétique, il est nécessaire de mettre en place des **systèmes de mesure et de contrôle**, afin de détecter les augmentations anormales des consommations et de gérer les pics de consommation.

3. RESEAUX DE CHALEUR OU DE FROID

Un réseau de chaleur (ou de froid) est un ensemble d'installations qui produisent et distribuent de la chaleur (ou du froid) à plusieurs bâtiments pour répondre aux besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire (ou en refroidissement).

L'un des objectifs de l'étude est de vérifier la possibilité de création ou de raccordement à un réseau de chaleur ou de froid.

3.1. Avantages des réseaux de chaleur ou de froid

Utilisés depuis de longues années avec des énergies fossiles, les réseaux de chaleur ont pour avantage premier une meilleure gestion de la production de chaleur ou de froid, notamment en termes de rendement et donc de coût.

A ces gains techniques et financiers, l'utilisation d'énergies renouvelables ajoute des avantages environnementaux : réduction des émissions de GES, limitation du recours aux énergies fossiles, valorisation de chaleur fatale ou de matières produites sur le site (déchets, rebuts de process)...

Enfin, un réseau de chaleur permet de fournir **une énergie moins chère** et peut s'avérer d'autant plus rentable économiquement du fait de l'augmentation très probable des coûts de l'énergie à moyen ou long termes.

3.2. Pertinence de création ou raccordement d'un réseau de chaleur

La pertinence de la **création** d'un réseau de chaleur ou du **raccordement** à un réseau de chaleur existant s'évalue en fonction de la **densité de consommation d'énergie**. Cette densité se calcule par le ratio suivant :

Besoin en chaleur / longueur du réseau de chaleur

L'ADEME recommande un ratio de **4,5 MWh/(ml.an)**. Mais la création est envisageable à partir de 1,5 MWh/(ml.an).

A première vue, la nature des activités et les faibles besoins en chaleur nous amènent à un ratio très inférieur à celui recommandé.

De plus, aucun réseau de chaleur n'est identifié à proximité du site¹³.

Ainsi, cette solution ne présente pas de potentiel intéressant sur la zone d'étude.

¹³ Source : <https://viaseva.org/>

4. LES ENERGIES RENOUVELABLES ET DE RECUPERATION ENVISAGEABLES

Les énergies renouvelables représentent les sources énergétiques qui peuvent être utilisées sans que leurs réserves s'épuisent. Il s'agit de :

- l'énergie solaire
- la biomasse, dont le bois énergie
- l'énergie éolienne
- l'énergie hydraulique
- la géothermie et l'aérothermie
- la récupération de chaleur fatale

Pour chacune de ces énergies, nous allons analyser la disponibilité de la ressource, leur facilité de mise en œuvre, leurs impacts environnementaux et les éventuelles contraintes associées tant d'un point de vue technique qu'économique ; ceci après avoir rappelé le contexte réglementaire.

4.1. Contexte réglementaire

L'article L.171-4 du code de la construction et de l'habitation¹⁴, impose désormais, pour les nouvelles constructions dépassant une certaine emprise au sol, **d'équiper la structure d'un système de production énergétique et thermique.**

Ces obligations sont réalisées **en toiture du bâtiment ou sur les ombrières surplombant les aires de stationnement sur une surface au moins égale à :**

- **30 %** de la toiture du bâtiment et des ombrières créées à compter du **1^{er} juillet 2023**,
- **40 %** à compter du **1^{er} juillet 2026**,
- **50 %** à compter du **1^{er} juillet 2027**.

Les nouvelles constructions ne seront autorisées que si elles intègrent soit **un procédé de production d'énergies renouvelables, soit un système de végétalisation** basé sur un mode cultural garantissant un haut degré d'efficacité thermique et d'isolation et favorisant la préservation et la reconquête de la biodiversité, soit **tout autre dispositif aboutissant au même résultat.**

Sur les aires de stationnement lorsqu'elles sont prévues par le projet, des revêtements de surface spécifiques, des aménagements hydrauliques ou des dispositifs végétalisés favorisant la perméabilité et l'infiltration des eaux pluviales ou leur évaporation et préservant les fonctions écologiques des sols, doivent être mis en place.

¹⁴ « Les bâtiments ou parties de bâtiments [...] doivent intégrer soit un procédé de production d'énergies renouvelables, soit un système de végétalisation basé sur un mode cultural ne recourant à l'eau potable qu'en complément des eaux de récupération, garantissant un haut degré d'efficacité thermique et d'isolation et favorisant la préservation et la reconquête de la biodiversité, soit tout autre dispositif aboutissant au même résultat. » Cf. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000043963538.

Concrètement, la loi concerne :

- les **nouvelles constructions, les extensions et les rénovations lourdes de bâtiments ou parties de bâtiment** : la loi n'étant pas rétroactive, il n'y a pas d'obligation pour le foncier déjà construit qu'on ne modifie pas
- les **bâtiments ou parties de bâtiments soumis à un permis de construire**
- les constructions, extensions ou rénovations lourdes pour les bâtiments ou parties de **bâtiments d'au moins 500 m²** d'emprise au sol ; à **usage commercial, industriel ou artisanal**, à usage d'entrepôt, à usage de hangars à but commercial et non ouverts au public, ainsi que les parcs de stationnement couverts accessibles au public
- les constructions, extensions ou rénovations lourdes pour les bâtiments ou parties de **bâtiments d'au moins 1 000 m²** d'emprise au sol ; à **usage de bureaux**.

Quelques exceptions à l'article présent existent :

- les constructions qui bénéficient déjà d'une installation d'ombrières photovoltaïques et espacées des bâtiments principaux par un espace à ciel ouvert inférieur ou égal à 10 mètres.
- les ouvrages dont les dispositifs de sécurité occupent plus de 70% de la toiture.
- les bâtiments dont la surface de toiture disponible (après exclusion de toutes les surfaces requises), est inférieure à 30% de la surface totale.

La réglementation précise que les constructions doivent :

- faire preuve **d'exemplarité énergétique**, c'est-à-dire atteindre des résultats minimaux, en termes de besoin en énergie, consommation en énergie primaire, consommation en énergie primaire non renouvelable et impact sur le changement climatique de la consommation en énergie primaire
- ou faire preuve **d'exemplarité environnementale**, c'est-à-dire atteindre des résultats minimaux en termes d'impact sur le changement climatique liés aux composants du bâtiment ; cet impact doit être évalué sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment
- ou être considérées comme **à énergie positive**, c'est-à-dire viser l'atteinte d'un équilibre entre leur consommation d'énergie non renouvelable et leur production d'énergie renouvelable injectée dans le réseau.

4.2. L'énergie solaire

Le rayonnement du soleil représente un flux d'énergie important.

Les relevés des stations météorologique de Saint-Saturnin-lès-Apt, (11 km de la zone d'étude) donnent un ensoleillement de 2718 h/an en 2022¹⁵.

Le rayonnement solaire à Goult est de l'ordre de **1 535 kWh/m².an**¹⁶. Cette valeur se situe en partie haute du classement pour la France, du fait de la latitude sud de la commune et de son climat méditerranéen. A titre de comparaison, l'ensoleillement est de 1 056 kWh/m².an à Lille et de 1 531 kWh/m².an à Perpignan.

Le potentiel solaire à Goult est donc très important.

L'énergie solaire peut être exploitée de plusieurs façons :

- de manière passive en suivant les principes de l'architecture bioclimatique,
- à l'aide de capteurs pour produire de la chaleur (solaire thermique),
- à l'aide de panneaux photovoltaïques pour produire de l'électricité (solaire photovoltaïque).

¹⁵ Sources : <https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2023/saint-saturnin-les-apt/valeurs/000DI.html>

¹⁶ http://ines.solaire.free.fr/dataclim_1.php

Le solaire thermique¹⁷

Une installation solaire thermique récupère l'énergie du soleil sous forme de chaleur. Elle comprend des capteurs, un circuit d'échange de chaleur et un ballon de stockage.

Les capteurs solaires thermiques ont des rendements élevés : le rendement d'un panneau thermique oscille entre 35 % et 40 % ; en comparaison, les panneaux photovoltaïques les plus performants ont un rendement d'un peu plus de 20%. Le système produit principalement de **l'eau chaude**, utilisée pour les applications **d'eau chaude sanitaire (ECS)** ou éventuellement pour du **chauffage** (en complément d'un autre système de chauffage).

En cas d'application de chauffage, il s'agit généralement d'un moyen de chauffage complémentaire où une énergie d'appoint est souvent nécessaire.

Il s'agit d'une solution particulièrement intéressante lorsque les besoins en eau chaude sont réguliers tout au long de l'année et suffisamment importants. Ceci ne semble pas être le cas des activités potentielles sur l'extension de la ZA de Pied Rousset.

Compte tenu de la destination des lots et des activités pressenties, le solaire thermique ne semble a priori pas adapté pour la zone d'étude, qui ne nécessite pas de besoins en ECS ou chauffage réguliers.

Le solaire photovoltaïque

Une installation solaire photovoltaïque récupère l'énergie du soleil pour la transformer en électricité, grâce au silicium, matériau semi-conducteur. Outre les modules (panneaux), l'installation comprend un onduleur, pour transformer le courant produit (continu) en courant utilisable (alternatif).

Les cellules disponibles sur le marché atteignent des rendements d'un peu plus de 20 %. Une attention doit être portée sur la température des cellules. Même s'il n'existe pas de risque de surchauffe, le rendement (optimal à 25°C) peut baisser pour des températures supérieures, notamment en cas de canicule. Les panneaux hybrides : photovoltaïques et thermiques, permettent de refroidir les modules photovoltaïques par l'absorption de chaleur des panneaux thermiques.

Une installation photovoltaïque constitue une source de production électrique décentralisée ; sa particularité étant de dépendre de l'ensoleillement (alternance jour-nuit et clarté pendant le jour). L'électricité produite peut être utilisée de plusieurs façons. Elle peut être :

- intégralement consommée, les besoins complémentaires étant assurés par un raccordement au réseau
- Intégralement vendue (via un compteur sur le raccordement au réseau), les besoins du logement étant assurés de façon traditionnelle par le réseau.
- consommée en partie et le surplus vendu.

La quantité d'électricité produite par des panneaux photovoltaïques est généralement estimée en fonction de la puissance crête installée (kWc), soit la puissance (maximale) délivrée dans des conditions optimales. Pour la zone considérée, la productivité est de l'ordre de **1 299 kWh/kWc.an**¹⁸, pour des panneaux inclinés à 30°.

¹⁷ Sources du paragraphe : ADEME et EDF EnR

¹⁸ http://ines.solaire.free.fr/pvreseau_1.php

Les tarifs de revente de l'électricité produite sont donnés ci-dessous.

Type de revente	de 0 à 3 kWc ^C	de 3 à 9 kWc	de 9 à 36 kWc	de 36 à 100 kWc	de 100 à 500 kWc
Revente totale (c€/kWh)	17,35	14,74	13,82	12,02	suivant formule ^D
Autoconsommation avec revente du surplus (c€/kWh)	13,00	13,00	7,80	7,80	suivant formule ^D
Prime d'investissement ^A pour l'autoconsommation (€/kWc)	370,00	280,00	200,00	100,00	pas de prime
Dates	du 01/11/2023 au 31/01/2024				

Tarifs de revente actualisés de l'électricité photovoltaïques en France

^A La prime à l'investissement pour l'autoconsommation n'est due qu'une fois et dépend de la puissance installée (Wc).

^B Prime concernant les tuiles photovoltaïques intégrées au bâti, conditionnée à l'utilisation de certaines marques

^C Les installations photovoltaïques raccordées au réseau d'une puissance inférieure ou égale à 3 kWc peuvent bénéficier d'un taux de TVA à 10 %.

^D Le tarif est indexé à un coefficient K_N (indexation indice INSEE) égal à l'augmentation relative de sept indices sur la période considéré. Formule = $13,12 \times K_{N+P}/K_N$ où P (valant 0 ; 1 ou 2) est le trimestre de la mise en service, à partir de la complétude de la demande de raccordement

^E De 100 à 250 kWc : prime = 128 €/kWc - Jusqu'à 500 kWc : prime = 125 €/kWc

NB : la puissance crête cumulée ne doit pas dépasser 115 MW.

Tarifs de rachat de l'électricité photovoltaïque pour le deuxième trimestre 2023¹⁹

• **Obligations**

Comme précisé au §.4.1. « Contexte réglementaire », les constructions de bâtiments d'au moins 500 m² d'emprise au sol, à usage commercial, industriel ou artisanal, doivent intégrer un système de production énergétique et thermique. Pour notre cas, ces dispositifs sont à réaliser en toiture du bâtiment sur une surface au moins égale à 30 % de la toiture du bâtiment²⁰.

Dans la prise en compte de ces obligations, nous partons sur une solution photovoltaïque, le potentiel dans la région y étant très important, comme nous l'avons vu.

Nous posons l'hypothèse que, pour chaque lot où l'emprise au sol est supérieure à 500 m², la surface en panneaux photovoltaïques est de 30% de la surface de toiture (que l'on considère égale à l'emprise au sol). La surface de panneaux PV²¹ sera calculée en fonction d'une taille de panneau standard (1,7 m x 1 m).

Bien sûr, la réalité pourra s'éloigner de cette hypothèse : certains bâtiments plus petits pourraient ne pas être soumis à l'obligation, d'autres plus grands auront plus de panneaux... Notre hypothèse est toutefois réaliste et donnera un ordre de grandeur. De plus, nous considérons la construction de ces futurs bâtiments comme une opportunité pour installer des systèmes de production d'électricité renouvelable.

¹⁹ <https://www.photovoltaique.info/fr/tarifs-dachat-et-autoconsommation/tarifs-dachat/arrete-tarifaire-en-vigueur/>

²⁰ Obligation à compter du 1er juillet 2023 selon l'article L.171-4 du code de la construction et de l'habitation, cf. p.17

²¹ PV pour photovoltaïque(s)

- **Ordres de grandeurs techniques et économiques**

Le tableau ci-dessous répertorie pour chaque lot les emprises au sol des bâtiments (soit 1/4 de la surface du lot suivant notre hypothèse) et les surfaces de panneaux PV correspondantes pour les lots qui sont concernés.

Lots n°	Emprise au sol (m ²)	Surface PV minimale (m ²)
1	401	<i>pas d'obligation</i>
2	401	<i>pas d'obligation</i>
3	401	<i>pas d'obligation</i>
4	401	<i>pas d'obligation</i>
5	428	<i>pas d'obligation</i>
6	685	206
7	501	150
8	513	154
9	479	144
10	638	191
11	720	216
12	1 173	352
TOTAL	6 740	1 412

Emprises au sol et surfaces de panneaux PV

Nous exposons ci-dessous le détail d'une installation pour le lot n°6.

Critère	Valeur
Surface constructible du lot	2 740,0 m ²
Emprise au sol du bâtiment (= surface toiture plate)	685,0 m ²
Surface de panneaux PV minimale (30% de surf. toiture)	205,5 m ²
Surface d'un panneau unitaire de 1,7 m x 1,0 m	1,7 m ²
Nombre de panneaux PV nécessaires	121
Puissance crête d'un panneau PV	375 Wc
Puissance crête de l'installation	45,4 kWc
Productivité annuelle locale	1299 kWh/kWc.an
Production annuelle estimée	59 MWh/an

Détail d'une installation PV du lot n°6

Remarques

Nous rappelons que ces données sont calculées pour des conditions optimales, à savoir des panneaux exposés plein sud, orientés à 30° et sans ombrage.

Ci-dessous, nous présentons la synthèse du même travail que celui fait pour le lot n°6, pour tous les lots soumis à obligation.

Lot n°	6	7	8	9	10	11	12
Emprise sol	685,0 m ²	501,2 m ²	512,5 m ²	478,7 m ²	637,5 m ²	720,0 m ²	1 172,5 m ²
Surface PV	205,5 m ²	150,4 m ²	153,7 m ²	143,6 m ²	191,2 m ²	216,0 m ²	351,7 m ²
Nb p. ^x PV	121	88	90	84	113	127	207
Puiss. ^{ce} crête	45,4 kWc	33,0 kWc	33,8 kWc	31,5 kWc	42,4 kWc	47,6 kWc	77,6 kWc
Production	59 MWh/an	43 MWh/an	44 MWh/an	41 MWh/an	55 MWh/an	62 MWh/an	101 MWh/an

Synthèse PV des lots 6 à 12

Avec nos hypothèses, la **production** cumulée des **lots 6 à 12** est de **405 MWh/an**.

Remarques

- La production d'électricité photovoltaïque estimée ici pour ces lots, est supérieure au besoin total en électricité, calculé au §.1.6, soit 156 MWh.
- Nous avons posé ce cas d'école pour établir un ordre de grandeur et appréhender la vente d'électricité (totale ou le surplus).
- Pour simplifier, nous avons raisonné de façon annuelle. Or, si les besoins en électricité varient peu selon les saisons, la production photovoltaïque, elle, varie fortement. Pour un lot donné, il est donc probable que :
 - en hiver, les besoins soient assurés, pour une partie, par le réseau électrique
 - à partir d'un seuil d'ensoleillement suffisant (printemps, été, automne), la majeure partie voire la totalité des besoins soient assurés par l'installation photovoltaïque, avec revente du surplus non consommé (si c'est le choix de l'entreprise, qui peut également opter pour la revente totale).

Investissement

En prenant un ratio d'investissement de **1 200 €HT/kWc**, qui est cohérent pour des installations sur grandes toitures autour de 50 à 100 kWc²², l'investissement pour le cas présenté (lot n°6) serait de l'ordre de **54 500 €HT**.

Là encore, ce coût varie selon l'installateur, le type de pose (surimposition, intégration au bâti) et la marque de panneau photovoltaïque choisis.

Le **temps de retour sur investissement théorique** (calculé sur la base du tarif de revente totale précisé p.20) se situe autour de 8 ans.

• Installation

Afin **d'optimiser la mise en place de panneaux solaire en toiture**, certaines mesures sont à prendre en compte :

- l'inclinaison optimale est aux alentours de 30°,
- la meilleure orientation est le sud.

Le vent est également une caractéristique à prendre en compte. La charge du vent déterminera le mode de fixation des panneaux et la nécessité, plus ou moins grande, d'un lestage que la toiture devra supporter.

²² <https://terresolaire.com/Blog/rentabilite-photovoltaique/prix-installation-photovoltaique-100-kw-2/>

Il existe différentes façons d'installer des panneaux solaires :

- intégrée au bâti (IAB),
- en pose de tuiles photovoltaïques,
- surimposée sur le toit
- sur bâtis installés et fixés sur toitures plates ou peu inclinées (notre hypothèse).

Ces différentes méthodes présentent chacune des avantages et des inconvénients. Nous retiendrons que le mode d'installation le plus pratiqué est la **surimposition** : les panneaux solaires sont installés par-dessus une toiture existante, ce qui rend l'installation plus simple à installer et moins chère. Ce système surélève les panneaux solaires par rapport à la toiture, ce qui favorise leur rafraîchissement, ne met pas en péril l'étanchéité de l'habitation et diminue les risques d'incendie.

De plus cette technique peut également être adaptée **pour les toitures plates**. En effet, il est possible d'installer des structures inclinées pour poser les panneaux sur le toit, ce qui présente l'avantage de pouvoir régler directement l'angle d'inclinaison à l'optimum des 30 degrés.

Pour cette dernière solution, au vu de l'exposition au vent, il conviendra de porter une attention particulière aux conditions de vents extrêmes localement et de dimensionner les structures en conséquence. En effet, ces panneaux sur toiture plate auront une prise au vent importante.

- **Limites et perspectives du photovoltaïque**

L'urgence climatique est de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Ceci est vrai à l'échelle nationale, comme à l'échelle locale. L'objectif est de passer aussi rapidement que possible d'une énergie carbonée à une énergie non carbonée.

Le but principal du développement des énergies renouvelables est donc de permettre au territoire de réduire les tonnes de CO₂ émises chaque année.

Pour cela, il faut à la fois :

- réduire les consommations d'énergie, et en premier lieu des énergies fossiles
- électrifier les usages

Concernant l'électricité, les études de RTE²³ prévoient une augmentation du besoin en électricité et montrent que, pour répondre à la hausse de la demande, le nucléaire ne suffira pas et le développement de la production d'électricité par les EnR est nécessaire.

- **Aide de l'ADEME**

L'ADEME propose un dispositif d'aide aux études de faisabilité pour accompagner entreprises et collectivités dans la mise en place de leur toiture ou ombrière solaire photovoltaïque en autoconsommation individuelle, par un prestataire Bureau d'études ou Conseil d'assistance à maîtrise d'ouvrage.

Au regard des besoins d'électricité spécifique potentielle et de la surface des bâtiments de cet aménagement, le potentiel du solaire photovoltaïque est fort.

²³ <https://rte-futursenergetiques2050.com/>

4.3. La biomasse

La production d'énergie à partir de la biomasse, c'est à dire de matières organiques (végétale ou animale), peut utiliser des produits très divers : végétaux, boues de station d'épuration, déchets verts, lisiers, etc.

Et les procédés sont eux aussi très variés : combustion directe, combustion d'un gaz ou d'un liquide obtenu à partir de la biomasse, transformation chimique ou biochimique...

Le procédé le plus ancien et le plus répandu est la combustion directe du bois.

Les autres procédés visent à transformer la biomasse par fermentation ou digestion (anaérobie ou aérobie), afin d'obtenir un combustible sous forme gazeuse ou liquide.

a) Le bois-énergie

Le bois-énergie est une source d'énergie intéressante, puisqu'elle est à la fois renouvelable, disponible à (relativement) bon marché, et avec très peu d'émissions de gaz à effet de serre²⁴.

Généralités

Le bois est utilisable en tant que combustible sous des formes variées : bois bûches, plaquettes forestières, granulés de bois, produits connexes de première transformation, broyats de bois en fin de vie ... Ces différentes formes de bois ont un coût et des performances thermiques variables. Pour les besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire à l'échelle d'un bâtiment, les trois principaux combustibles couramment utilisés sont le **bois bûche**, le **granulé**, et la **plaquette forestière**.

Le **bois bûche** est la forme de combustible la plus largement utilisée en France (26,3 Mm³ en 2016, soit 82% du volume total produit en France parmi les sources de bois énergie²⁵). Une bûche mesure entre 20 cm et 1 m de long et est destinée aux poêles, inserts ou chaudières du secteur domestique.



Le **granulé de bois**, aussi appelé pellet, est fabriqué principalement à partir de sciures de bois compressées, issues de l'activité des scieries. C'est un combustible de petites dimensions qui mesure de 3 à 6 mm de diamètre en moyenne, pour 2 à 3 cm de longueur. Son utilisation, encore minoritaire, est en pleine expansion, et se justifie de par ses excellentes propriétés tant calorifiques qu'ergonomiques (faible taux d'humidité et haut rendement, faible volume occupé). Son coût est cependant plus élevé que la bûche ou la plaquette forestière.



²⁴ Du moins dans le cadre d'une exploitation forestière raisonnée.

²⁵ SER d'après Mémento FCBA 2018.

La **plaquette forestière** est constituée de morceaux de bois de l'ordre de 2 à 6 cm, issus du déchetage ou du broyage de bois brut (branches, bois d'éclaircies, palettes...), et est utilisée essentiellement dans le secteur collectif et industriel. Son principal désavantage réside dans le caractère volumineux du combustible, et la mise en place d'une plateforme d'approvisionnement.



Comme vu précédemment, étant donné les besoins en ECS et chaleur très limités, il est donc peu envisageable d'installer des chaudières bois au sein de la zone.

b) La méthanisation

La méthanisation permet de produire de l'énergie à partir d'une grande variété de produits fermentescibles, tels que les déchets issus de l'agriculture, les déchets verts, les déchets issus de l'industrie agro-alimentaire, les déchets ménagers, etc... Les unités de méthanisation permettent généralement de produire du gaz à un prix de vente d'environ 90 €/MWh. Pour comparaison, le gaz importé est environ à 20 €/MWh.

Les projets d'installation d'une unité de méthanisation sur un territoire doivent parfois faire face à une réticence de la part des riverains, notamment en raison des odeurs et du flux de transport routier généré. Cependant, les nuisances olfactives peuvent être limitées grâce à divers procédés : traitement de l'air, isolation...

Concernant le projet d'extension de la ZA, au vu des faibles besoins en chaleur et ECS, un projet de méthaniseur ne semble pas opportun.

Dans le contexte du projet, la méthanisation ne semble donc pas constituer une hypothèse adaptée.

4.4. L'énergie éolienne

Le vent est un phénomène naturel de circulation de masses d'air des hautes pressions vers les basses pressions. De nombreux facteurs ont un effet sur le vent dont la topographie, la végétation, la rugosité du paysage...

La principale difficulté à envisager l'énergie éolienne sur le site du projet vient de la relative petite taille de l'extension, en regard des implantations potentielles des bâtiments sur les parcelles. Entre les bâtiments, les dessertes internes et les zones protégées (zones humides et végétales), il ne reste pas suffisamment de place pour l'installation d'une éolienne.

Compte tenu de la présence de parcs éoliens à proximité et de l'inadaptation du site pour l'implantation d'une éolienne, nous ne retenons pas l'éolien comme présentant un potentiel pour ce projet, sur la surface de la zone d'extension de la zone d'activités.

4.5. L'énergie hydraulique

La zone étudiée ne présente pas de potentiel de production hydraulique.

Nous ne retenons pas l'hydraulique comme présentant un potentiel pour ce projet.

4.6. La géothermie

La géothermie est l'exploitation de la chaleur du sous-sol. Cette exploitation peut s'effectuer à différents niveaux :

- la géothermie très basse énergie (géothermie de surface) jusqu'à environ 100 m,
- la géothermie basse énergie (géothermie profonde) jusqu'à 2 000 m,
- la géothermie haute énergie (géothermie très profonde) jusqu'à 10 000 m.

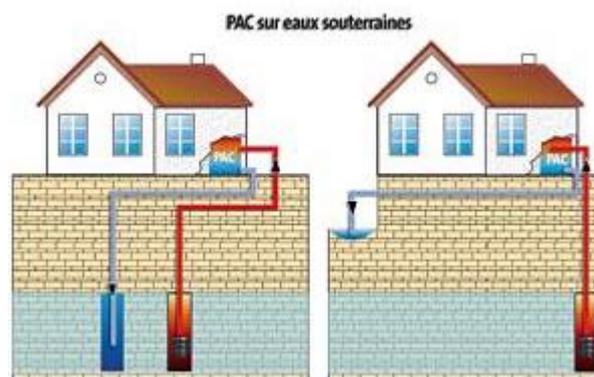
Pour l'instant, peu d'études ont été faites au niveau national pour évaluer le potentiel des ressources en géothermie profonde. Seuls le bassin aquitain et l'Ile-de-France ont fait l'objet d'investigations dans les aquifères profonds. Compte-tenu des coûts d'exploitation et des difficultés techniques, ces technologies se sont peu développées²⁶.

Ainsi, ce sont surtout les technologies de géothermie de surface qui sont retenues. Elles concernent l'exploitation de deux types de ressources : l'énergie naturellement présente dans le **sous-sol** à quelques dizaines voire centaines de mètres et dans les **aquifères** qui s'y trouvent ou dans les nappes. Elles permettent de chauffer des bâtiments et/ou de l'eau chaude sanitaire.

Géothermie en eaux souterraines (aquifères ou nappe)

Il s'agit de prélever l'eau du sous-sol pour en récupérer les calories. La technologie généralement retenue est le doublet géothermique, c'est-à-dire la création de deux puits :

- un puits de prélèvement,
- un puits de réinjection afin de ne pas appauvrir la nappe ou l'aquifère.

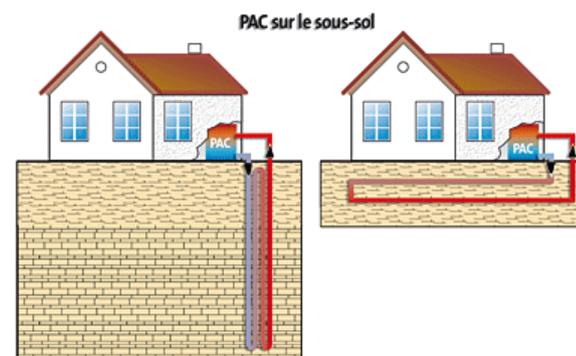


Géothermie en eaux souterraines

Géothermie en sous-sol (sondes)

Il s'agit de capter les calories emmagasinées dans le sous-sol. La technologie repose sur des sondes géothermiques verticales ou horizontales qui peuvent capter la chaleur du sous-sol à partir de 80 cm de profondeur jusqu'à une centaine de mètres en général.

La chaleur emmagasinée dans le sol est accessible en tout point du territoire.

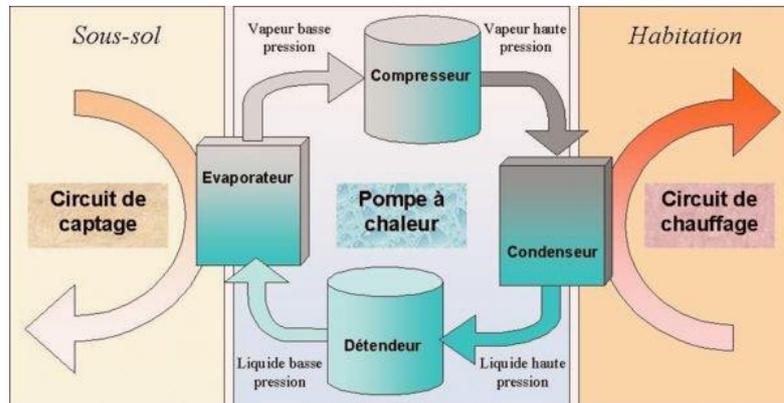


Géothermie en sous-sol

²⁶ L'Ile de France a fait figure de précurseur avec des installations mise en œuvre au début des années 80 pour alimenter du chauffage collectif.

Comment fonctionnent ces systèmes ?

Les calories de la nappe ou du sol sont récupérées et transférées à un réseau de chauffage ou rafraîchissement par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur (PAC). Cette PAC est constituée de différents éléments :



Principe de fonctionnement d'un chauffage avec pompe à chaleur
[Source : ADEME]

En mode chauffage :

- 1) Un échangeur, aussi appelé évaporateur, récupère les calories captées dans le sous-sol et les fait transiter par le fluide dit « caloporteur ».
- 2) Le compresseur comprime le fluide, ce qui élève sa température.
- 3) L'échangeur intérieur ou condenseur transfère les calories au circuit de chauffage.
- 4) Le détendeur abaisse la pression du fluide et donc sa température pour amorcer un nouveau cycle.

Par une inversion de son fonctionnement, la PAC peut également rafraîchir l'air intérieur.

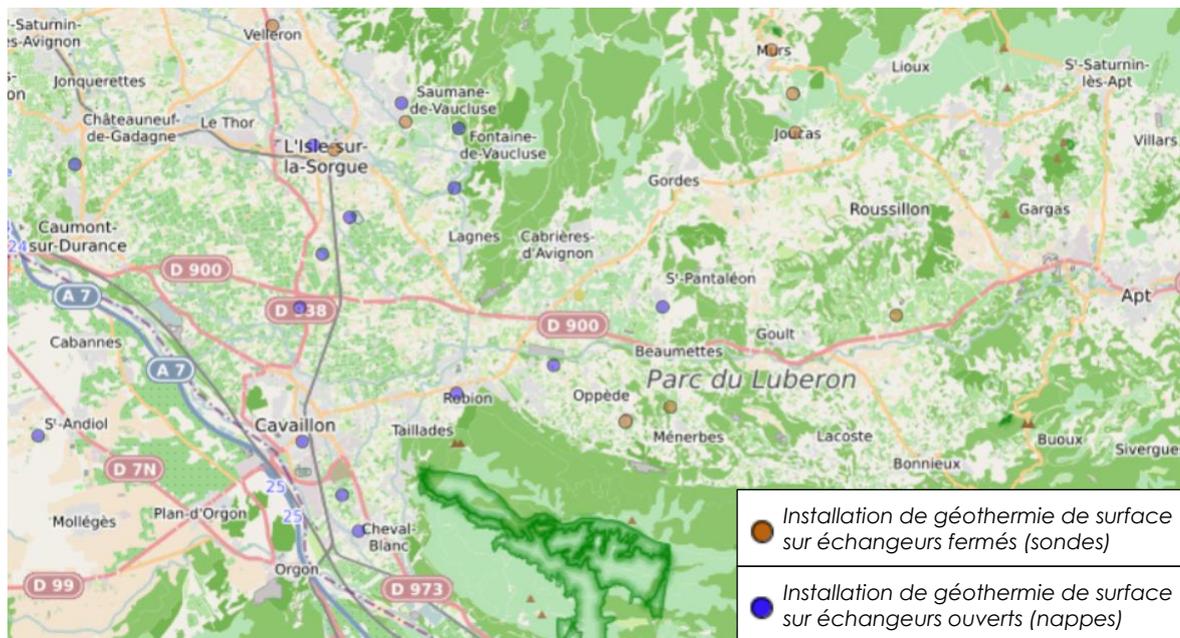
La PAC utilise de l'électricité pour faire fonctionner l'ensemble de ses composants. On appelle Coefficient de Performance (ou COP) le rapport entre la quantité d'énergie fournie et la quantité d'énergie (électricité) consommée. Généralement, le COP est de l'ordre de 4,5 sur les modèles de pompe à chaleur géothermique. Cela signifie que pour 1 kWh d'électricité consommée, le local recevra 4,5 kWh de chaleur.

La température de l'eau ou du sous-sol proche de la surface est de l'ordre de 12 à 14°C tout au long de l'année. Pour un rendement optimal, il est recommandé d'utiliser ces technologies pour du chauffage basse température. Elles sont donc privilégiées pour des solutions de chauffage par plancher chauffant (~30°C). Néanmoins, elles peuvent également alimenter des ventilo-convecteurs.

Quel potentiel pour la zone ?

Etat des lieux

La géothermie de surface est peu développée globalement dans le département du Vaucluse, au regard de ce qui peut se faire ailleurs au niveau national. Néanmoins il existe plusieurs installations de géothermie de surface, sur échangeurs fermés (sondes) et sur échangeurs ouverts (nappes), cf. carte ci-dessous.



*Carte locale des ouvrages de géothermie
Source : geothermies.fr*

Le potentiel pour la géothermie de très basse énergie (nécessitant une pompe à chaleur) est donc avéré sur le territoire. Toutefois, avant de réaliser une installation sur un périmètre précis, il convient de faire un test de réponse thermique sur le terrain pour vérifier le potentiel. **L'ADEME** accompagne la réalisation d'un **test de réponse thermique**.

Pour ce projet, il s'agirait donc de géothermie très basse énergie (géothermie de surface), pour laquelle on peut considérer un potentiel moyen d'après l'évaluation du BRGM²⁷. Néanmoins, étant donné les faibles besoins en chaleur du projet, l'installation d'un tel dispositif semble onéreuse et peu adaptée aux besoins réels.

4.7. L'aérothermie

L'aérothermie consiste à récupérer la chaleur contenue dans l'air extérieur et à la restituer à un réseau d'air ou d'eau par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur.

Le coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur diffère en fonction de la température extérieure. Le COP diminue lorsque la température extérieure baisse. **Ainsi le COP est de l'ordre de 3 à 4 à + 7°C et de l'ordre de 2 à 2,5 à - 7°C.** A basse température (≈ -10°C), le COP est de l'ordre de 1, ce qui revient à un chauffage 100% électrique. **Cette solution est donc adaptée dans les zones tempérées**, au climat plutôt doux en hiver, ce qui est le cas pour la région de Goult.

²⁷ Bureau de recherches géologiques et minières

Cette technologie permet de chauffer des bâtiments et/ou de l'eau chaude sanitaire (dans le cas d'une pompe à chaleur air-eau).

Tout comme la géothermie, elle est à privilégier pour du **chauffage basse température (~30 °C)**.

Le rendement d'une pompe à chaleur étant d'autant plus élevé que la température de la source froide est élevée, l'aérothermie voit sa performance baisser quand la température de l'air extérieur diminue, et que les besoins de chaleur sont les plus importants.

Sa mise en œuvre est relativement aisée et ne nécessite pas de travaux d'aménagement importants.

La zone du projet est donc plutôt intéressante pour l'utilisation de l'aérothermie.

Sur la période 1991-2020, pour la zone de Goult²⁸ :

- la **température minimale moyenne** est de **2,3 °C en février** (avec un record quotidien de -7,6 C° pour la température la plus basse en janvier 2017) ;
- la **température maximale moyenne** est de **31,3 °C en août** (avec un record quotidien de 43,2 C° pour la température la plus haute en juin 2019).

Par conséquent, le climat local est favorable à l'utilisation de l'aérothermie. Il semble tout à fait envisageable de l'exploiter pour les besoins de chauffage identifiés, notamment au sein des bureaux (par ventilo-convecteur, dans le cas d'une pompe à chaleur air-air, ou, idéalement, par plancher chauffant, dans le cas d'une pompe à chaleur air-eau²⁹).

Remarque

Pour capter l'air extérieur, des unités munies de système de ventilation sont posées en extérieur. Ces installations engendrent du bruit et il est donc indispensable de réfléchir en amont à leur implantation pour minimiser les nuisances sonores.

4.8. La récupération d'énergie fatale

Quand on consomme de l'énergie, celle-ci n'est jamais utilisée à 100 % et l'énergie inutilisée est dite « **fatale** ». Cette énergie fatale peut parfois être récupérée pour d'autres usages, en particulier **sous forme de chaleur** pour le chauffage de bâtiments ou des besoins d'eau chaude sanitaire (ECS).

Les installations susceptibles de produire cette énergie fatale sont des installations industrielles, des stations d'épuration, des usines de traitement d'ordures ménagères, les data centers etc...

En dehors de la zone d'activités concernée par le projet d'extension, aucune installation de ce type n'a été identifiée à proximité du site.

Cependant, **les futurs preneurs** des parcelles de la zone **d'extension pourraient avoir des processus industriels dégageant de la chaleur**. Dans cette hypothèse, il conviendra d'étudier les dispositifs de récupération de cette chaleur fatale dès la conception du bâtiment concerné et de l'implantation interne.

²⁸ <https://www.infoclimat.fr/climatologie/normales-records/1991-2020/niort-souche/valeurs/07330.html>

²⁹ Une pompe à chaleur **air-eau** fonctionne généralement à plus basse température, et dispose donc de meilleures performances thermiques en comparaison à une pompe à chaleur **air-air**. Le COP d'une PAC **air-eau** est généralement supérieure à celui d'une PAC **air-air**.

La récupération de chaleur fatale est potentielle sur le site mais dépendra des activités des entreprises qui s'y installeront.

Le cas de figure le plus intéressant serait de récupérer la chaleur fatale des preneurs de l'extension de la ZA, si tant est qu'il y ait des sources de chaleur fatale dans leur processus.

Dans ce cas, en raison de la proximité immédiate de l'utilisation de la chaleur (par exemple la zone bureaux ou un atelier du bâtiment concerné), l'investissement pour le dispositif de récupération de chaleur serait moindre que pour les sources plus éloignées.

5. SYNTHÈSE SUR LE POTENTIEL DES DIFFÉRENTES ÉNERGIES RENOUVELABLES

A partir des analyses précédentes, le tableau de la page suivante récapitule pour chaque énergie, la disponibilité de la ressource, les avantages et contraintes, les impacts environnementaux.

La dernière colonne du tableau, "Intérêt global", propose une évaluation synthétique de l'opportunité que constitue chaque énergie renouvelable pour le projet.

L'intérêt global pour le site est évalué sur une échelle de 1 à 5 (de 1 = nul à 5 = fort).

Energie renouvelable	Disponibilité ressource	Avantages	Contraintes / Limites	Impacts environnementaux	Intérêt global
Solaire photovoltaïque	Très bonne	Tarifs de rachat	Intermittence de la ressource Faible gain en CO ₂	Bilan Carbone de l'installation variable en fonction de l'origine des panneaux	5
Aérothermie	Bonne	Économique	Implantation des échangeurs Bruit	Très peu d'émissions de GES Se substitue aux énergies fossiles	5
Géothermie	Moyenne	Économique	Coût d'installation	Très peu d'émissions de GES Se substitue aux énergies fossiles	3
Bois énergie	Moyenne	Disponible à (relativement) bon marché	Besoins en chaleur faibles	Très peu d'émissions de GES Se substitue aux énergies fossiles Risque de pollution atmosphérique (particules fines)	2
Solaire thermique	Très bonne	Rendements élevés	Besoins en ECS faibles Stockage de la chaleur l'été	Très peu d'émissions de GES Se substitue aux énergies fossiles	1
Méthanisation	Bonne	Peu de GES	Coût d'installation Non adapté au projet	Très peu d'émissions de GES Se substitue aux énergies fossiles	1
Récupération d'énergie fatale	Potentiel à déterminer*	Économique	A prévoir en amont	Très peu d'émissions de GES Se substitue aux énergies fossiles	*
Éolien	Bonne	Non détaillé	Surface du projet non adaptée à l'implantation d'une éolienne	Non détaillé	-
Energie hydraulique	Non disponible	Non détaillé		Non détaillé	-

[Evaluation synthétique de chaque type d'énergie renouvelable](#)

* Potentiel à considérer une fois l'activité économique des preneurs connue.

6. CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif d'analyser le potentiel des différentes énergies renouvelables dans le cadre de l'extension du parc d'activités de Pied Rousset sur la commune de Goult, située sur le territoire Pays d'Apt - Luberon, dans le département du Vaucluse. Nos conclusions sont présentées ci-dessous.

6.1. Réseaux de chaleur

Compte tenu des faibles besoins en chaleur supposés, la création d'un réseau de chaleur n'est pas envisageable.

6.2. Énergies renouvelables

- Étant donné les probables surfaces importantes des bâtiments sur une partie des lots (emprise au sol supérieure à 500 m²), l'installation de **panneaux solaires photovoltaïques**, rendue obligatoire depuis peu par l'article L.171-4 du code de la construction et de l'habitation, représente un fort potentiel pour la production d'électricité.

NB : pour les installations de capacités photovoltaïques supérieures à 100 kWc, la vente d'électricité associée devra s'opérer par l'intermédiaire des appels d'offres nationaux présentés sur le site de la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE) : <https://www.cre.fr/>

- Pour l'énergie de chauffage, **l'aérothermie** apparaît comme un levier efficace pour limiter la dépendance du site aux énergies fossiles (une pompe à chaleur a recours à l'énergie électrique), limiter les consommations d'énergie (rendement supérieur à 1) et ainsi réduire les émissions de gaz à effet de serre. Le potentiel s'avère intéressant afin d'assurer les besoins de chaleur des espaces de bureaux, surfaces commerciales ou ateliers, pour un coût économique moindre et une installation simple à mettre en place.
De plus, l'aérothermie, en mode réversible, permet de rafraîchir l'air intérieur en été, ce qui peut s'apprécier pour le confort de travail ou la réception de clients dans un département comme celui du Vaucluse.
- Des installations **de géothermie** existent aux alentours du site. Néanmoins, l'intérêt de cette énergie est un peu moins intéressant que l'aérothermie en raison du coût d'investissement plus élevé. Et les faibles besoins en chaleur identifiés ne permettront pas d'amortir l'installation rapidement.
- Malgré les importantes surfaces de toiture disponibles, **le solaire thermique** ne présente pas de potentiel important, du fait des faibles besoins identifiés en eau chaude sanitaire pour le projet considéré.
- **Le bois-énergie** ne présente pas de potentiel important, pour les mêmes raisons.
- L'énergie de **récupération de chaleur fatale** pourrait s'avérer intéressante, dans l'hypothèse où elle existerait dans les procédés de futurs preneurs.
- **La méthanisation** et **l'énergie éolienne** ne sont pas adaptées au projet.

Maîtrise des consommations d'énergie

En ce qui concerne les mesures permettant de limiter les consommations d'énergie, la collectivité et le maître d'ouvrage sont essentiellement concernés par les déplacements et l'éclairage.

L'information et la **sensibilisation des futurs occupants** sont également des enjeux importants pour réduire les consommations.

Un point important concerne l'**implantation des bâtiments et les enjeux de bioclimatisme**. Ces notions sont d'ailleurs renforcées dans la RE 2020, avec notamment un **renforcement de l'indicateur de besoin bioclimatique, dit Bbio** (seuil maximal pour le besoin bioclimatique des logements abaissé de 30 % en moyenne, prise en compte des besoins de froid dans le Bbio, nouvel indicateur de confort d'été en degré.heure), ainsi qu'une nette **amélioration de la prise en compte du confort d'été** à partir de nouvelles exigences spécifiques, pour que les bâtiments de demain soient adaptés au changement climatique.

Réduction des émissions de GES

L'utilisation des solutions d'énergies renouvelables préconisées permettra de **réduire les émissions de gaz à effet de serre**, par rapport aux énergies fossiles classiquement utilisées. Elles permettront également de se mettre en conformité avec la nouvelle réglementation RE 2020.

Enfin, l'utilisation le plus possible des transports en commun (en l'occurrence le bus) peut également contribuer de manière non négligeable à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, à condition d'entreprendre quelques aménagements, le site de Pied Rousset n'étant pas desservi par les lignes de bus existantes à ce jour.