

## ÉTUDE DE FAISABILITÉ EN APPROVISIONNEMENT ÉNERGETIQUE

### Bâtiment / Site

Maître d'Ouvrage : CORTIZO  
Bâtiment : Unité de Production  
Typologie : Extension d'usine  
Localisation : Chemillé-en-Anjou

### Versions du Rapport

Indice	Date	Modifications	Auteur
1.0	12/08/2025	Première diffusion	M. Adrien Lailler

## SOMMAIRE

1.	PREAMBULE .....	3
2.	ANALYSE DES BESOINS.....	4
2.1.	Données bâtimentaires.....	4
2.2.	Estimations des besoins.....	4
2.2.1.	Détermination des puissances .....	4
2.2.2.	Détermination des consommations énergétiques.....	4
2.2.3.	Synthèse.....	4
3.	SOLUTIONS D'APPROVISIONNEMENT ENVISAGEE .....	5
3.1.	Réseau de Chaleur et de Froid.....	5
3.2.	Aérothermie.....	5
3.3.	Géothermie couplée avec aérothermie .....	6
3.4.	Chaufferie Bois et PAC air-air .....	8
3.5.	Panneaux Photovoltaïque.....	9
4.	ÉTUDE COMPARATIVE.....	11
4.1.	Analyse technique.....	11
4.2.	Analyse économique.....	11
5.	CONCLUSIONS .....	13

## 1. PREAMBULE

---

Le projet de CORTIZO est de développer un nouveau bâtiment à Chemillé-en-Anjou comprenant 1142 m<sup>2</sup> de bureaux, 481 m<sup>2</sup> de locaux sociaux et 26 425 m<sup>2</sup> de locaux non chauffés servant à différents usages industriels. Les bureaux et locaux sociaux sont soumis à la RE2020 et par conséquent font l'objet d'une étude de faisabilité sur les approvisionnement en énergie.

Cette mission vise à étudier les différentes **solutions d'approvisionnement énergétique** à partir de sources renouvelables qui seront comparées à un système à base de gaz naturel. Les solutions retenues devront couvrir tout ou partie des besoins énergétiques de ce nouveau bâtiment. Chaque solution est évaluée sous l'angle de ses performances techniques et de sa viabilité économique afin de fournir au Maître d'Ouvrage une **analyse comparative** mettant en évidence la rentabilité, les avantages et les limites des solutions étudiées.

L'étude de potentiel EnR répond à deux objectifs complémentaires :

- **Favoriser une autonomie énergétique locale**, en limitant le recours à des énergies fossiles qui sont de plus en plus coûteuses,
- **Lutter contre le réchauffement climatique**, en réduisant les émissions de gaz à effet de serre issues de ressources fossiles.

Certaines filières sont écartées d'emblée en raison de leur inadéquation au contexte local :

- ❏ **Éolien** : la mise en place d'une production éolienne dédiée sur site est jugée non pertinente en raison de coûts d'investissement élevés, de contraintes techniques et réglementaires importantes, ainsi que de l'absence de retours d'expérience opérationnels en autoconsommation industrielle sur le territoire.
- ❏ **Hydroélectrique** : aucune ressource hydraulique exploitable n'est présente à proximité immédiate du site, excluant de facto cette option.

L'étude se concentre donc sur les solutions les plus adaptées et techniquement envisageables : **aérothermie, géothermie, raccordement à des réseaux de chaleur et de froid, chaufferie biomasse, ainsi que production photovoltaïque**. Ces filières feront l'objet d'une analyse comparative tenant compte des performances énergétiques, des coûts et de la faisabilité technique pour le projet.

## 2. ANALYSE DES BESOINS

### 2.1. DONNEES BATIMENTAIRES

Les données prises en compte dans l'estimation des besoins sont les suivantes :

#### Zone tertiaire

Surface totale chauffée : **1 623 m² SU**

(hors locaux techniques)

### 2.2. ESTIMATIONS DES BESOINS

#### 2.2.1. DETERMINATION DES PUISSANCES

Pour estimer les puissances nécessaires en chauffage et en climatisation, il est retenu des ratios usuels en phase d'étude de faisabilité, adaptés aux bâtiments de bureaux conformes à la RE2020 et chauffés/climatisés à des températures d'usage standard (environ 20 °C en hiver et 26 °C en été). La puissance de chauffage est fixée à 25 W/m², valeur représentative d'un bâtiment bien isolé. La puissance de climatisation est fixée à 35 W/m², en cohérence avec les besoins de confort d'été et la couverture des apports internes et solaires. Ces ratios s'appliquent de manière identique aux surfaces de bureaux (1 142 m²) et aux locaux sociaux (481 m²), les conditions d'occupation et de température étant similaires.

#### 2.2.2. DETERMINATION DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES

Les consommations annuelles de chauffage et de climatisation sont évaluées à partir de ratios énergétiques standards pour des locaux tertiaires récents soumis à la RE2020. La consommation de chauffage est estimée à 45 kWh/m².an, correspondant à un niveau de performance compatible avec l'isolation réglementaire et un usage continu. La consommation de climatisation est estimée à 20 kWh/m².an, couvrant les besoins liés aux périodes estivales et aux apports internes.

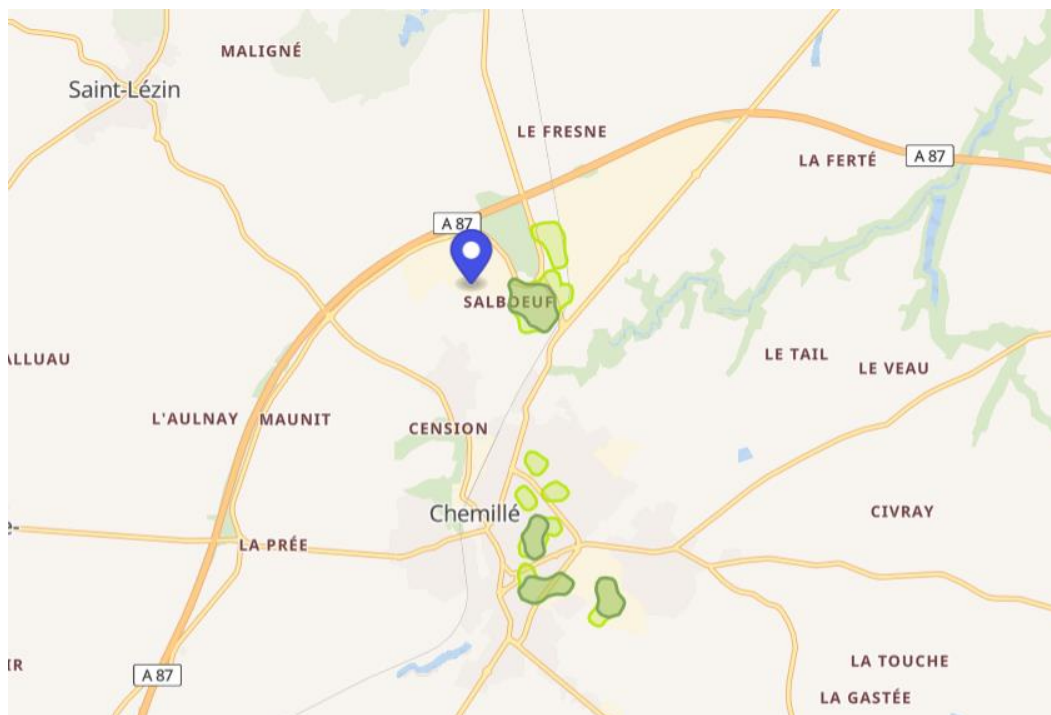
#### 2.2.3. SYNTHESE

	Puissance		Consommation	
Chauffage	25 W/m²	41 kW	45 kWh/m².an	73 MWh/an
Climatisation	35 W/m²	57 kW	20 kWh/m².an	32 MWh/an
TOTAL				105 MWh/an

### 3. SOLUTIONS D'APPROVISIONNEMENT ENVISAGEE

#### 3.1. RESEAU DE CHALEUR ET DE FROID

Le site n'est pas dans le périmètre de réseaux de chaleur ou de froid d'après les données gouvernementales de France Chaleur Urbaine. Le site reste à proximité des zones d'opportunité à fort potentiel pour la création de réseau comme l'indique la carte ci-dessous :



le point bleu donne la localisation approximative du projet

Sans plus de visibilité sur la création future d'un réseau de chaleur, cette piste sera donc écartée pour le projet.

#### 3.2. AEROTHERMIE

##### Description générale

La production de chauffage et de rafraîchissement est assurée exclusivement par des PAC air-air réversibles de type DRV (Direct-Driven Variable refrigerant) avec unités terminales à air pulsé (gainables/faux plafonds). La régulation installée avec sonde extérieure et sondes d'ambiance permet de moduler la puissance en fonction des besoins. Le DRV permet une modulation fine de la puissance et une distribution multi-zones. Il nécessite des unités extérieures modulantes et une régulation centralisée pour priorisation de zones et gestion des débits frigorifiques.

## 🔍 Points de vigilance

- ⚠ Sensibilité aux températures extérieures basses (performance en chauffage). Prévoir appoint ou stratégie hybride si température < -5 à -10 °C.
- ⚠ Bruit des unités extérieures : respecter contraintes acoustiques et implanter en conséquence.
- ⚠ Qualité de l'air intérieur : filtrations, renouvellement d'air hygiénique et traitement d'humidification/déshumidification.
- ⚠ Maintenance des circuits frigorifiques et conformité à la réglementation F-gaz.

## 🔍 Avantages

- ✅ Installation rapide et peu intrusive (pas de chaufferie). Bonne réactivité pour rafraîchissement (utile pour 82 kW froid).
- ✅ Haute modularité et adaptation multizones (confort usagers).
- ✅ Coûts CAPEX moyens pour puissances modestes ; simplicité d'extension par ajout d'unités.
- ✅ Excellente efficacité en saison intermédiaire grâce à la modulation DRV.

### 3.3. GEOTHERMIE COUPLEE AVEC AEROTHERMIE

## 🔍 Description générale

La production de chauffage repose principalement sur une géothermie sur sondes verticales (50 à 80m de profondeur), avec des PAC eau-eau en base. L'aérothermie via des PAC air-eau assure les besoins en rafraîchissement des locaux. Le système intègre une régulation intelligente permettant d'optimiser en temps réel le fonctionnement des deux sources afin de maximiser le COP global.

En période estivale, la géothermie permet également de réaliser du géocooling direct pour le rafraîchissement passif.

Le dimensionnement estimatif est le suivant :

Caractéristiques	
Puissance géothermie (eau)	30 kW
Puissance aérothermie (air)	70 kW
Linéaire de sondes (50 W/ml)	600 mètres

## Points de vigilance

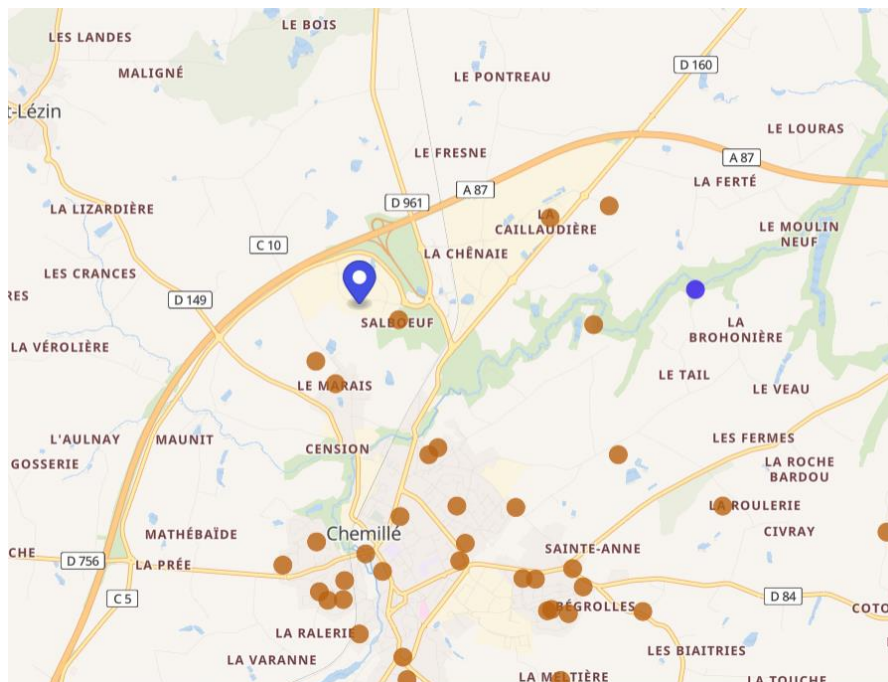
- ⚠ Nécessité de réaliser un forage d'essai avec Test de Réponse Thermique (TRT) pour confirmer le potentiel géothermique, estimer la durée du chantier selon la facilité à forer et dimensionner les champs de sondes. Il est possible également de vérifier si un forage test à déjà été réalisé à proximité.
- ⚠ Vérification des autorisations administratives (déclaration ou autorisation préfectorale selon la profondeur et la puissance).
- ⚠ Prévoir une régulation performante et adaptée au pilotage multi-sources.
- ⚠ Régime d'eau chaude à 45°C pour une performance optimale avec possibilité de monter à 55°C. Le plancher chauffant réversible et/ou panneaux rayonnants sont les plus adaptés à ce régime d'eau.

## Avantages

- ✅ Très bonne performance énergétique avec COP global optimisé.
- ✅ Faible consommation électrique, compatibilité forte avec les exigences RE2020.
- ✅ Géocooling possible, solution très intéressante pour limiter la consommation estivale.

## Présence locale de géothermie

À proximité du site de Chemillé-en-Anjou, nous recensons une géothermie sur nappe (puissance inconnue, point bleu sur la carte) et plusieurs géothermie sur sondes horizontales (puissances inférieures à 15 kW, points marrons sur la carte ci-dessous).

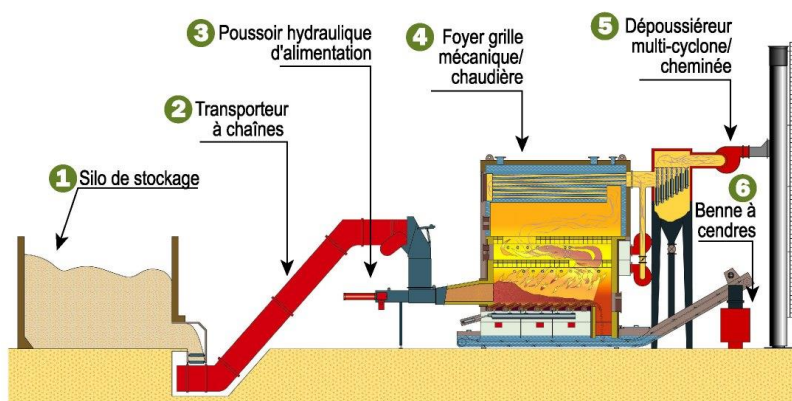


Installations géothermiques à proximité

### 3.4. CHAUFFERIE BOIS ET PAC AIR-AIR

#### Description générale

Le chauffage est assuré par une chaudière à granulés ou plaquettes forestières qui chauffe un volume d'eau tampon utilisé ensuite pour alimenter un bâtiment en chauffage via radiateurs ou plancher chauffant. La chaudière doit être couplée pour son alimentation, à un silo de stockage du combustible et un convoyeur avec alimentation automatique. Cette solution nécessite un contrôle automatique de la combustion, la filtration des fumées et le traitement des cendres, un système de sécurité anti-incendie et une ventilation locale.



*Schéma de principe d'un exemple de chaufferie bois*

La filière bois-énergie est bien présente en Maine-et-Loire : des opérateurs régionaux et des distributeurs de plaquettes forestières couvrent le département et les environs de Chemillé-en-Anjou (réseau ONF Énergie Bois, opérateurs locaux comme Anjou Bois Énergie, scieries/distributeurs référencés).

À proximité de Chemillé-en-Anjou, plusieurs acteurs peuvent fournir des plaquettes forestières adaptées à une chaufferie de 45 kW :






- **Bois Bocage Environnement** : Spécialiste du bois de chauffage à Chemillé-en-Anjou, offrant des produits de première qualité adaptés aux besoins professionnels. Bois de Chauffage+2Bois Bocage Environnement+2Bois Bocage Environnement
- **Bouvet Geoffroy** : Située à Lézigné, cette entreprise se focalise sur la production et la commercialisation de bois de qualité supérieure, incluant des plaquettes forestières. Pages Jaunes
- **Sylvo Watts (CFBL)** : Filiale de la Coopérative Forestière du Bassin Ligérien, elle assure la production et la commercialisation de plaquettes forestières, principalement issues de broyage en forêt. cfbl.fr

Ces acteurs peuvent fournir des plaquettes de qualité, avec des taux d'humidité adaptés (20-35 % pour la qualité domestique et 30-50 % pour la qualité industrielle), et sont capables de livrer directement sur le site de CORTIZO.







Avec une valeur énergétique des plaquettes usuelle ( $\approx 2,8-3,5$  MWh/tonne suivant humidité et qualité), cela représente  **$\approx 20$  à  $35$  tonnes de plaquettes par an**. Ces ordres de grandeur montrent qu'on parle d'un besoin faible à moyen, facile à absorber par un fournisseur local comparé aux grands consommateurs industriels.

### Points de vigilance

-  Sécurisation et disponibilité de la ressource bois locale (contrat d'approvisionnement à long terme).
-  Coûts annexes importants liés à la création de différents locaux techniques et la nécessité de stocker le combustible dans un local coupe-feu
-  Conformité aux prescriptions environnementales : valeurs limites d'émissions particulaires et NOx, nécessité d'installations de dépoussiérage si exigé.
-  Maintenance régulière (nettoyage échangeurs, retrait cendres) et nécessité d'opérateurs formés.
-  Doit être couplée à une solution de climatisation indépendante type PAC air-air DRV.

### Avantages

-  Solution peu coûteuse à l'usage
-  Performance carbone extrêmement favorable pour la RE2020
-  Bonne autonomie énergétique et résilience vis-à-vis des fluctuations du réseau électrique et des aléas climatiques
-  Solution adaptée à des puissances modestes (41 kW), avec modularité par chaudière modulaire ou ballon tampon pour lisser la charge.

## 3.5. PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUE

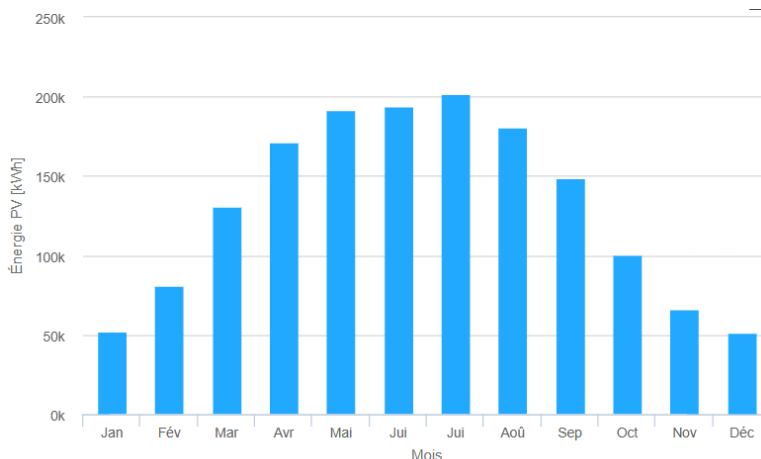
### Description générale

Installation photovoltaïque intégrée au bâti (toiture et/ou ombrières), orientée plein sud avec pente de  $12^\circ$ , sans ombrage, raccordée à une armoire de conversion (onduleurs) et à un système de gestion d'énergie (EMS). L'électricité produite alimente prioritairement les consommations électriques du site (pompes, compresseurs de froid, auxiliaires, etc.). Pour améliorer l'adéquation production/consommation, intégration possible d'un système de stockage par batteries et d'un système de délestage. Supervision de production et comptage granulaire pour piloter l'autoconsommation.

Selon le plan de masse, il est possible d'installer environ  **$7\,610$  m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques**. Avec une hypothèse de panneaux monocristallins performants, cela représente environ  **$1\,500$  kWc de puissance crête** installée.

Entrées fournies:	
Emplacement [Lat/Lon]:	47.234,-0.734
Horizon:	Calculé
Base de données:	PVGIS-SARAH3
Technologie PV:	Silicium cristallin
PV installée [kWp]:	1500
Pertes du système [%]:	19





Résultats de la simulation:	
Angle d'inclinaison [°]:	12
Angle d'azimut [°]:	0
Production annuelle PV [kWh]:	1569232.74
Irradiation annuelle [kWh/m²]:	1440.44
Variabilité interannuelle [kWh]:	47212.73
Changements de la production à cause de:	
Angle d'incidence [%]:	-3.62
Effets spectraux [%]:	1.43
Température et irradiance faible [%]:	-8.29
Pertes totales [%]:	-27.37








### Résultats de la simulation sous PVGIS

Au vu de l'orientation des panneaux, la production énergétique est estimée à **1 570 MWh/an**. Cette énergie peut être utilisée en partie ou revendue intégralement, selon les contrats choisis par la maîtrise d'ouvrage.

### Points de vigilance

-  Évaluation du gisement solaire local (orientation, inclinaison, ombrages), étude d'intégration architecturale et contraintes patrimoniales/urbanistiques.
-  Disponibilité de surfaces de toiture exploitables et de portique pour ombrières (résistance structurelle, accès).
-  Dimensionnement du stockage si décorrélation entre production photovoltaïque diurne et consommation nocturne : coût et durée de vie des batteries, conditions de température locales.
-  Raccordement au réseau et modalités de revente/injection.

### Avantages

-  Réduction directe de la consommation d'électricité fournie par le réseau et des besoins en énergie primaire.
-  Flexibilité d'implantation (toitures, parkings).
-  Possibilité de cumuler avec PAC électriques ou systèmes hybrides pour décarboner la demande électrique.
-  Amélioration de la résilience locale (autonomie partielle en cas de coupure si couplée à batteries).
-  Les projets de panneaux photovoltaïques ont aujourd'hui un temps de retour de l'ordre de 15 ans selon la taille et la valorisation de l'électricité produite.

## 4. ÉTUDE COMPARATIVE

### 4.1. ANALYSE TECHNIQUE

Le tableau suivant compare les différentes solutions d'approvisionnement de chauffage et de froid :

	Aérothermie	Géothermie	Bois + PAC
Consommation énergétique pour production de chaleur			
Rendement global	250%	350%	91%
Consommation d'énergie	29 MWh/an	21 MWh/an	80 MWh/an
Consommation par m <sup>2</sup>	18 kWh/m <sup>2</sup>	13 kWh/m <sup>2</sup>	49 kWh/m <sup>2</sup>
Emissions de CO <sub>2</sub>	2,3 tCO <sub>2</sub> /an	1,7 tCO <sub>2</sub> /an	2,4 tCO <sub>2</sub> /an
Consommation énergétique pour production de froid			
Rendement global	350%	450%	350%
Consommation d'énergie	9 MWh/an	7 MWh/an	9 MWh/an
Consommation par m <sup>2</sup>	6 kWh/m <sup>2</sup>	4 kWh/m <sup>2</sup>	6 kWh/m <sup>2</sup>
Emissions de CO <sub>2</sub>	0,7 tCO <sub>2</sub> /an	0,6 tCO <sub>2</sub> /an	0,7 tCO <sub>2</sub> /an

La solution de géothermie couplée à des PAC air-eau en relève semble être la plus performante en termes de consommation énergétique et d'émission de gaz à effet de serre.

La solution photovoltaïque peut être installée en complément de l'une ou l'autre de ces solutions. Elle devra être adaptée en fonction de la consommation électrique estimée de tout le site.

### 4.2. ANALYSE ECONOMIQUE

Le prix de l'énergie est le suivant :

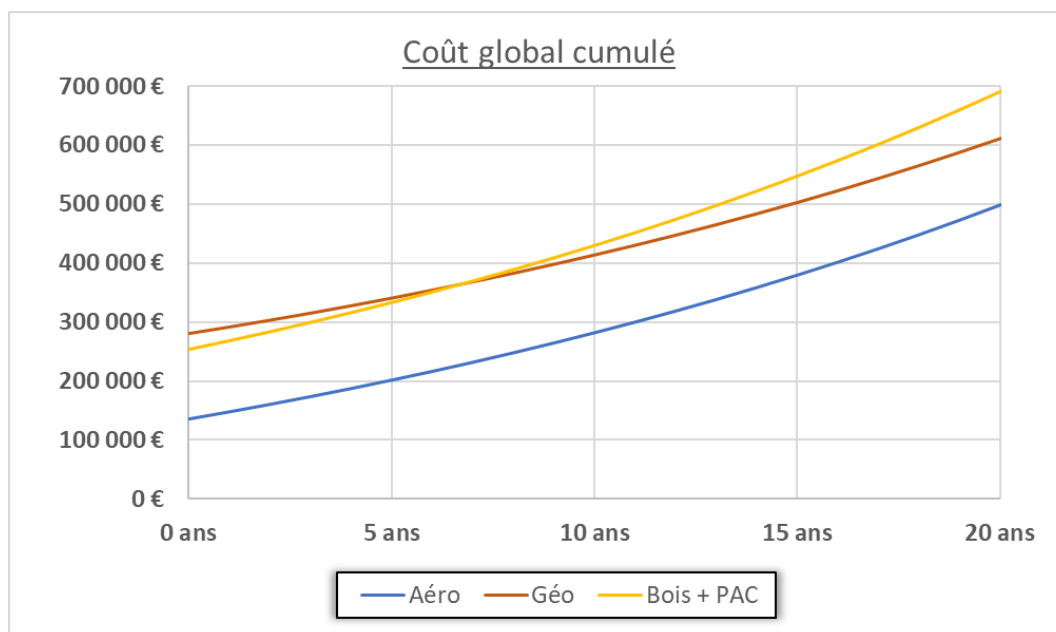
Electricité	200 €/MWh
Bois plaquette	60 €/MWh

Le tableau suivant résume les données économiques principales :

	Aérothermie	Géothermie	Bois + PAC
CAPEX estimatif	135 000 €	280 000 €	254 000 €
Facture énergétique	7,7 k€/an	5,6 k€/an	6,7 k€/an
Maintenance	4,5 k€/an	5,5 k€/an	8,0 k€/an
TOTAL OPEX	12,2 k€/an	11,1 k€/an	14,7 k€/an

Les coûts incluent les équipements de production, les accessoires (groupes de pompage, ballons, échangeurs), les régulations et les mises en service. Les coûts de distribution et d'émission sont exclus. Ces CAPEX peuvent varier de  $\pm 20\%$  selon les choix d'équipements, les configurations spécifiques, et la complexité d'intégration sur site.

Le graphe suivant représente l'évolution des coûts cumulés entre investissement initial (hors subvention) et charges opérationnelles (incluant maintenance et facture énergétique), avec un taux d'actualisation du prix de l'énergie de 4,0% selon les recommandations de l'ADEME.



Cette analyse montre que le coût cumulé à 20 ans est estimé à 500 k€ pour la solution la moins coûteuse (l'aérothermie) contre 700 k€ pour la solution la plus coûteuse (bois + PAC).

Le hypothèses prises permettent d'avoir les tendances cohérentes des modèles économiques de chaque solution :

- 🕒 La solution de chaufferie bois n'est pas rentable si elle est couplée à un système de PAC air-air pour assurer la climatisation des locaux.
- 🕒 Le coût de la géothermie est légèrement supérieure à celui de la chaufferie biomasse combinée avec un système de PAC air-air, mais l'aérothermie seule restera la moins chère.
- 🕒 Si le prix de l'électricité est plus faible ou le prix de la plaquette forestière plus élevé, cela favorise davantage la solution aérothermie par PAC air-air seules.

## 5. CONCLUSIONS

---

L'analyse des différentes solutions de production d'énergie pour les bureaux et les locaux sociaux de l'atelier CORTIZO met en évidence des alternatives techniquement viables, chacune présentant des atouts et des contraintes spécifiques. Les solutions intégrant des pompes à chaleur, en particulier la **géothermie combinée à l'aérothermie**, s'inscrivent pleinement dans les objectifs de performance énergétique et environnementale visés par l'exigence RE2020. Elles offrent de très bons rendements annuels et un retour carbone rapide.

La solution de **géothermie sur nappe** pourrait également être explorée pour optimiser le coût d'investissement, mais elle implique des contraintes réglementaires plus fortes, une maintenance plus lourde et des performances plus difficiles à anticiper. Cette option nécessite des études complémentaires et une sécurisation des risques avant tout engagement.

Les solutions moins conventionnelles, telles que la **chaufferie bois**, offrent une alternative décarbonée intéressante, mais ce type de solution n'est pas adapté dès lors que l'usage requiert de climatiser les locaux.

Une **chaufferie gaz à condensation** constitue une solution techniquement maîtrisée, peu coûteuse à l'installation, mais aujourd'hui en décalage avec les trajectoires de décarbonation nationales. Avec un facteur d'émission de l'ordre de 230 gCO<sub>2</sub>/kWh, elle compromet le seuil CEP NR fixé par la RE2020 qui exclut systématiquement le gaz des projets neufs.

Au regard des enjeux énergétiques, environnementaux et réglementaires, les solutions fondées sur la géothermie et les pompes à chaleur apparaissent comme les plus vertueuses à long terme, malgré un surcoût initial. La chaufferie bois n'est pas adaptée à l'usage présent ici, et le recours à une chaufferie gaz n'est pas compatible avec les ambitions environnementales du projet. Des études de sol approfondies et une réflexion sur la stratégie d'exploitation seront nécessaires pour sécuriser le choix définitif.