



200182.01-RN003b

9 avril 2020

SANEO

Domaine touristique des Pommereaux

**ÉTUDE
D'APPROVISIONNEMENT
ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS**

BG Ingénieurs Conseils SAS

Immeuble METROSUD, 1, bd Hippolyte Marques - F-94200 Ivry sur Seine

SAS au capital de 1 516 800 € - R.C.S Créteil 2007B04453 - SIRET 303 559 249 00162 - Code APE 7112B

T +33 1 56 20 64 60 – F +33 1 56 20 65 09 – paris@bg-21.com – www.bg-21.com

FR 493 035 592 49 TVA

✓INGENIOUSSOLUTIONS



DOMAINE DES POMMEREUX

ÉTUDE D'APPROVISIONNEMENT ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

VERSION	-	a	b
DOCUMENT	200182.01-RN003b		
DATE	9 avril 2020		
ELABORATION	LEPRINCE-MAILLÈRE Gwenael		
VISA	LEPAGE Loïc		
COLLABORATION	AMIOT Benoît, NOIROT Remi		
DISTRIBUTION	SANE0		



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1. Description du Projet	3
1.1 Généralités	3
1.2 Objet du document	4
1.3 Données météorologiques	4
1.4 Prérequis	4
1.5 Estimation de l'occupation	4
2. Étude des potentiels de ressources locales	5
2.1 Tableau récapitulatif des énergies envisagées	5
2.2 Bilan des ressources jugées pertinentes pour la suite du projet	9
3. Évolution du concept	10
3.1 Villas	10
3.2 Hameau	11
3.3 Centre équestre	12
3.4 Ferme	13
4. Étude des concepts	14
4.1 Villas et Maisons	14
4.1.1 Besoins énergétiques estimés	14
4.1.2 Énergies renouvelables pertinentes pour l'approvisionnement énergétique de la zone	15
4.1.3 Concept proposé	16
4.1.4 Analyses énergétique et environnementale du concept	18
4.1.5 Analyse des résultats du concept	19
4.1.6 Avantages et Inconvénients du concept	19
4.1.7 Approvisionnement en électricité	19
4.1.8 Estimation financière de la solution	21
4.2 Hameau / Bourg / Complexe hôtelier	23
4.2.1 Besoins énergétiques estimés	23
4.2.2 Énergies renouvelables pertinentes pour l'approvisionnement énergétique de la zone	24
4.2.3 Concept proposé	24
4.2.4 Analyses énergétique et environnementale du concept	27
4.2.5 Analyse des résultats du concept	28
4.2.6 Avantages et Inconvénients du concept	28
4.2.7 Estimation financière de la solution	29
4.3 Centre équestre	30
4.3.1 Besoins énergétiques estimés	30
4.3.2 Énergies renouvelables pertinentes pour l'approvisionnement énergétique de la zone	30
4.3.3 Concept proposé	30
4.3.4 Analyses énergétique et environnementale du concept	32



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

4.3.5	Analyse des résultats du concept	32
4.3.6	Avantages et Inconvénients du concept	32
4.3.7	Estimation financière de la solution	33
4.4	La Ferme	34
4.4.1	Besoins énergétiques estimés	34
4.4.2	Énergies renouvelables pertinentes pour l'approvisionnement énergétique de la zone	34
4.4.3	Concept proposé	34
4.4.4	Analyses énergétique et environnementale du concept	36
4.4.5	Analyse des résultats du concept	36
4.4.6	Avantages et Inconvénients du concept	36
4.4.7	Estimation financière de la solution	37
5.	Approvisionnement en électricité photovoltaïque de la zone d'étude	38
6.	Synthèse du projet	40
7.	Annexe	43
7.1	Annexe 1 : Données utilisées pour le calcul des besoins	43
7.2	Annexe 2 : Données utilisées pour les analyses environnementales	44
7.3	Annexe 3 : Données utilisées pour les analyses financières	45
7.4	Liste des Figures	47

1. Description du Projet

1.1 Généralités

Le projet se compose de plusieurs groupes de bâtiments qui se répartissent de la manière suivante sur l'emprise du site :

1. La partie Hameau / Bourg / Complexe hôtelier
2. Un centre équestre
3. 566 (le nombre sera ramené à 565) Villas et maisons¹
4. Une ferme



Figure 1 : Extrait du plan de masse général au 10/12/2019. Source : SANE0 - numéro AME-APS-GEN-001

¹ D'après le plan de masse général, numéro AME-APS-GEN-001, au 10/12/2019 (maître d'ouvrage : SANE0)



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

1.2 Objet du document

Le présent document présente les principes de l'approvisionnement énergétique du projet dans le respect du cadre réglementaire et programmatique. Les aspects techniques de l'implantation des équipements et environnementaux sont également abordés.

1.3 Données météorologiques

Les données météorologiques utilisées dans cette étude sont disponibles à la Météorologie Nationale, station de Orléans – région Centre.

Température de base hiver :	- 8°C
Zone climatique :	H2b
Degré Jour Unifié :	2766 DJU

Figure 2 : Hypothèses climatiques prises en compte pour cette étude. Source : Météorologie Nationale, station d'Orléans

1.4 Prérequis

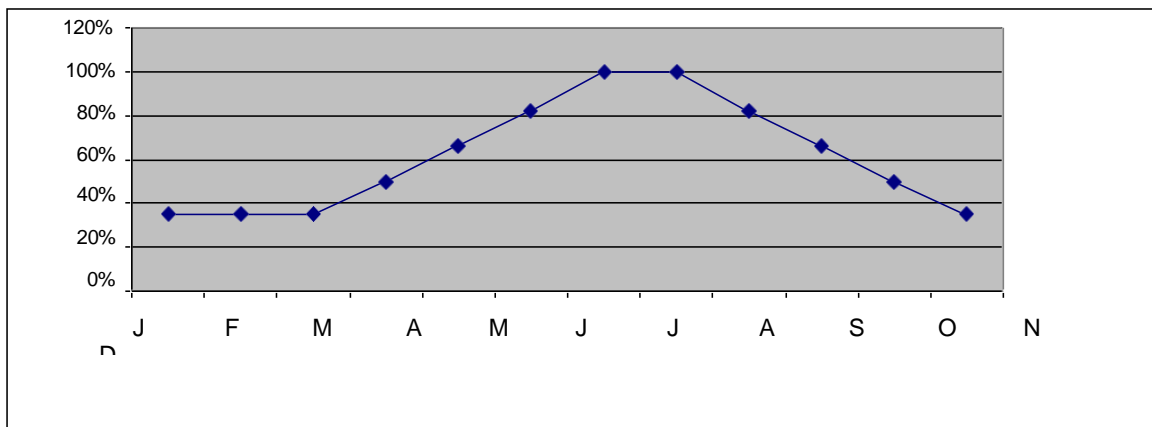
Des prérequis ont été établis dans le cadre du programme. Voici les principaux éléments concernant l'approvisionnement énergétique :

- Pas de climatisation pour les villas.
- Pour la reprise du projet en 2019, les besoins énergétiques ont été conservés comme convenu avec le client durant la séance du 10 décembre 2019.
- L'étude a été effectuée pour 566 villas. Ce nombre de villas a été mis à jour plus tard à 565 villas, ce qui est peu significatif pour les chiffres pris en compte dans cette étude préliminaire.

1.5 Estimation de l'occupation





L'estimation des besoins énergétiques nécessite la mise en œuvre d'un scénario d'occupation des groupes de bâtiments. En accord avec le maître de l'ouvrage, le profil se décompose comme suit : un taux d'occupation de 35% l'hiver et de 100% l'été (Juillet et Août) :

Figure 3 : Profil d'occupation annuel pris en compte pour l'estimation des besoins



2. Étude des potentiels de ressources locales






2.1 Tableau récapitulatif des énergies envisagées

Ressource	Technologie	Situation locale	Valorisation optimale de la ressource	Contraintes globales	Hameau	Centre équestre	Villas	Ferme
Biomasse	Ressource forestière 	Gisements selon les fournisseurs locaux : ■ BOISYNERGIE, 4000 tonnes ■ SOLOGNE Bois Energie, 100 tonnes ■ SCIC Bois Bocage Energie, 200 tonnes	■ Chauffage haute température ■ Eau chaude sanitaire ■ Électricité (si cogénération)	■ Nécessite l'installation d'un système de production defroid en parallèle ■ Génère des rotations de camion de livraison, donc des nuisances sonores ■ Problème de stockage pour les villas ■ Émissions de particules fines nécessitant des filtres + Gènes liées aux fumées (Solution inadaptée pour le hameau à cause de sa position centrale) ■ Production de chaud haute température (HT), non compatible avec les besoins des bâtiments performants (moyenne température ou MT)	●	●	●	●
	Biogaz 	Gisements de déchets estimés : ■ Fumier de chevaux : 35 100 m3 ■ Gazon (tonte) : 14 400 m3 ■ Autres déchets (FFOM, restaurants, exploitations voisines) : 16 500 m3	■ Chauffage haute et moyenne température ■ Eau chaude sanitaire ■ Électricité (si cogénération) ■ Injection dans le réseau de gaz naturel / biocarburant	■ Nécessite l'installation d'un système de production defroid en parallèle ■ Nuisances olfactives ■ Problème de stockage pour les villas ■ Une telle réflexion est à mener à plus large échelle avec les exploitants agricoles voisins	●	●	●	●
Solaire	Solaire thermique 	■ Ensoleillement existant mais réduit par la végétation du site ■ Toitures disponibles dans chaque zone :	■ Eau chaude sanitaire ■ Chauffage basse température	■ Production de chaud HT en adéquation avec les niveaux de température des besoins d'ECS	●	●	●	●
	Solaire photovoltaïque 	- Ferme : 5000 m ² (serres) - Hameau : 1500 m ² - Centre équestre : 1000 m ²	■ Électricité	■ Participe au concept BEPOS ■ Investissement jugé risqué pour le client vis-à-vis du coût de la technologie et des prix de rachats actuellement en baisse ou bloqués	●	●	●	●

ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

Ressource	Technologie	Situation locale	Valorisation optimale de la ressource	Contraintes globales	Hameau	Centre équestre	Villas	Ferme
Air	<p>Aérothermie</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Potentiel illimité ■ Climat moyennement favorable (climat océanique dégradé avec des températures négatives en hiver) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Chauffage basse température ou refroidissement ■ Eau chaude sanitaire 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Système générateur de bruit, non préconisé en milieu dense (villas) ■ Peut nécessiter un chauffage d'appoint ■ Perte d'efficacité par grand froid (jusqu'à -8°C en hiver) 	●	●	●	●
Sol et sous-sol	<p>Sondes géothermiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Limite de profondeur pour les forages (nappe phréatique sous l'emplacement du projet) => Potentiel forage faible profondeur (60m) ■ Vérification protection Natura 2000 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Chauffage basse température ou refroidissement ■ Eau chaude sanitaire 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gisement important ■ Couverture possible des besoins de chaud (basse température) et de froid => charge et décharge de sol ■ Nécessite l'installation d'une PAC pour relever la température en hiver, ce qui induit une consommation supplémentaire d'électricité ■ Limite de la puissance d'installation à 500 kW (limite GMI pour ne pas être soumis au code minier) 	●	●	●	●
	<p>Capteurs horizontaux</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Peu de surface de terrain extérieur disponible pour le hameau 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Chauffage basse température ou refroidissement ■ Eau chaude sanitaire 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Si présence de constructions ou de plantations à racines profondes aux alentours, les capteurs sont proscrits / distance aux réseaux supérieure à 1.5m) ■ Emprise des capteurs importante en termes de surface ■ Coût plus faible que la géothermie sur sonde ■ Technologie non soumise au code minier car de profondeur inférieure à 10m 	●	●	●	●
	<p>Géothermie sur nappe</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Débit maximum de pompage : 45 m3/h (BRGM ADEME) ■ Forage existant au niveau du hameau (usage agricole uniquement) ■ Pas de possibilité de nouveau forage sur le périmètre actuel 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pré-refroidissement sur bassin de rétention du forage existant 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gisement limité par la taille du forage et le débit maximum de pompage ■ Le forage existant ne peut pas être utilisé pour un usage non agricole 	●	●	●	●

ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

Ressource	Technologie	Situation locale	Valorisation optimale de la ressource	Contraintes globales	Hameau	Centre équestre	Villas	Ferme
Eau	Valorisation station épuration 	<ul style="list-style-type: none"> ■ STEP de Saint-Laurent des Eaux : 5 km et un débit de référence de 600 m3/j ■ STEP de La Ferté-Saint-Cyr : 6 km et un débit de référence de 250 m3/j ■ STEP de Beaugency : 7 km et un débit de référence de 2 000 m3/j ■ STEP de Lailly-en-Val : 7 km et un débit de référence de 600 m3/j 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Chauffage basse température ou refroidissement ■ Eau chaude sanitaire 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Les stations d'épuration existantes sont trop éloignées ou ont des débits trop faibles ■ Sur le site création d'une épuration FPR (Filtres plantés de Roseaux), pas de valorisation possible à priori 	●	●	●	●
	Valorisation - collecteur 	<ul style="list-style-type: none"> ■ L'aménagement du projet va demander la mise en place d'un réseau de canalisations neuves pour évacuer les eaux usées. Il est donc envisageable de faire le choix d'un réseau permettant la récupération de chaleur, ■ Réseau d'eau des bassins du golf 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Chauffage basse température ou refroidissement ■ Eau chaude sanitaire 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Le réseau d'assainissement ne sera passuffisant  Idéalement, il faut des canalisations (C'est-à-dire des collecteurs utilisés en milieu urbain) ■ L'occupation variable désavantage ce concept : La production d'eaux usées donc d'énergie est directement liée à la présence des usagers. 	●	●	●	●
	Hydrothermie eau de surface 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Rivières à proximité : l'Ardoux (≈4km) et la Loire (≈6km) ■ Multiples étangs à proximité (Ex: étang de la sablonnière) ■ Bassins et étangs du golf 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Chauffage basse température ou refroidissement 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Les cours d'eau sont trop éloignés ■ Les étangs naturels sont trop éloignés et de trop petite taille. Il y'a également un risque de variation de la température et d'impact sur la biodiversité ■ Piste des étangs du golf : l'impact sur la température est également trop fort, et le débit nécessaire à prélever n'est pas envisageable. 	●	●	●	●
	Hydroélectricité 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Rivières à proximité : l'Ardoux (≈4km), le Cosson (≈5km) et la Loire (≈6km) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Électricité 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Région sans dénivelés ■ Débits trop faibles ■ Cours d'eau sont trop éloignés 	●	●	●	●

ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS





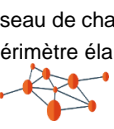
Ressource	Technologie	Situation locale	Valorisation optimale de la ressource	Contraintes globales	Hameau	Centre équestre	Villas	Ferme
Vent	Grand éolien 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Une partie du projet (Nord) se situe sur la commune de Saint-Laurent-Nouan qui se trouve sur le territoire "Val-de-Loire" classé au patrimoine mondial de l'UNESCO 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Électricité 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Grand éolien impossible : proximité avec les habitations 	●	●	●	●
	Petit éolien 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zone favorable à l'étude des projets éoliens à proximité du projet (Villiermain à 20 km au nord) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Électricité 	<ul style="list-style-type: none"> ■ La production dépend fortement du bâtiment d'implantation et des obstacles autour (turbulences éventuelles) => Dans notre cas la présence de végétation ■ Système pouvant être bruyant ■ Technologie encore peu développée ■ Impossibilité réglementaire pour la ferme (Zone classée) 	●	●	●	●
Chaleur fatale	Incinération des déchets 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2 usines d'incinération des déchets en Loir-et-Cher à Vernou-en-Sologne (22km) et Blois (27km) ■ 1 usine d'incinération des déchets dans le Loiret à Saran-Orléans (32km) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Chauffage basse température/ Haute température et process ■ Électricité (si cogénération) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Les usines sont trop éloignées 	●	●	●	●
	Rejets thermiques industriels 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Centrale nucléaire de Saint Laurent des Eaux à 7 km du site ■ Une partie des rejets thermiques de la centrale est utilisée pour l'approvisionnement de serres maraîchères ■ Seul une petite partie du rejet thermique est valorisée 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Chauffage basse température/ Haute température et process 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Problématique de la notion de nucléaire et de tout ce que cela représente en termes d'image pour le projet (soucis pour le promoteur) ■ Site trop éloigné et concept à développer à plus grande échelle (travaux trop importants) 	●	●	●	●
Réseau de chaleur	Réseau de chaleur périmètre élargi 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Le réseau de chaleur le plus proche : Blois (≈ 25 km) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Chauffage basse température ou refroidissement ■ Eau chaude sanitaire 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Le réseau de chaleur est trop éloigné 	●	●	●	●

Figure 4 : Bilan des ressources énergétiques renouvelable au voisinage du projet.



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

2.2 Bilan des ressources jugées pertinentes pour la suite du projet

Un certain nombre de ressources énergétiques ont été écartées immédiatement, car elles ne sont pas envisageables pour le projet, on peut ainsi citer :

- L'hydrothermie sur les eaux de surface ou les stations d'épuration \longleftrightarrow les ressources sont trop éloignées soit trop faiblement présentes sur la zone du projet. Aussi, les étangs naturels et artificiels aux alentours sont de taille trop faible et une valorisation thermique de ces eaux aurait un impact environnemental trop important.
- L'hydroélectricité \longleftrightarrow il n'y a pas de cours d'eau valorisables à proximité immédiate du projet.

L'éolien \longleftrightarrow le grand éolien n'est pas envisageable à proximité des habitations et le petit éolien est une technologie en cours de développement, pas encore pleinement mature. La région Centre possède un ensoleillement qui donne l'avantage au solaire photovoltaïque devant le petit éolien, pour envisager une production d'électricité renouvelable.

- La récupération de chaleur fatale \longleftrightarrow il n'y a pas de sources (usines ou stations d'incinération de déchets) à proximité.
- Le raccordement à un réseau de chaleur \longleftrightarrow le projet est en zone rurale et le réseau le plus proche (Blois) est à plus de 25 km, ce qui est trop éloigné pour envisager un raccordement
- La géothermie sur nappe \longleftrightarrow le forage existant sur le site ne peut pas être utilisé pour un usage agricole (DREAL). Le forage d'un autre puit de captage dans cette nappe au droit du projet pour de la production d'énergie n'est pas autorisé.
- La valorisation des eaux usées via les collecteurs \longleftrightarrow malgré son potentiel cette solution pose un problème majeur : la ressource en eaux usées est déjà mobilisée pour une réutilisation. Après un traitement approprié, il est prévu qu'elle soit destinée à l'irrigation, ce qui rend toute valorisation thermique impossible.

Parmi les options restantes, la biomasse présente un potentiel intéressant :

- Valorisation biogaz des déchets organiques (Fumier des chevaux : 35 100 m³ / gazon issu de la tonte du golf : 14 400 m³ / Autres déchets (FFOM, restaurants, fermes et exploitations voisines) : 16 500 m³) : cette solution présente des nuisances olfactives et des risques technologiques potentiels qui la rendent moins intéressante.
- Combustion du bois : cette option est davantage pertinente pour ce projet. Dans le concept de 2010, une chaufferie au bois avait été proposée pour le hameau. Toutefois, la position centrale du hameau, additionnée à l'orientation des vents, présentait un gêne potentiel pour les villas alentours, en raison des fumées générées par l'installation. La solution biomasse a donc été envisagée pour le centre équestre. Cette énergie ne permettant que la production de chaud (chauffage et eau chaude sanitaire), une unité additionnelle pour la production de froid (ex : groupe d'eau glacée) doit accompagner la chaufferie en cas de besoin de rafraîchissement.

La géothermie (hors nappe) est une solution très intéressante dans le cadre de ce projet. Cependant, la réglementation impose des démarches administratives (code minier) pour toutes installations de plus de 500 kW à plus de 10m de profondeur. La restriction en puissance concerne l'ensemble du projet et les différentes zones (villas, hameau, centre équestre et ferme) ne peuvent être traitées séparément. Ainsi, il a été décidé que l'intégralité du potentiel géothermique des sondes verticales serait consacrée au hameau, du fait de ses besoins en rafraîchissement. En complément de la géothermie sur sondes, une installation d'aérothermie semble la meilleure solution. Pour le reste des zones, la géothermie sur capteurs horizontaux a été privilégiée par rapport aux sondes, notamment pour les bâtiments de plus petites tailles.

Enfin, l'énergie solaire sera utilisée autant que possible tout en respectant les besoins. L'installation de capteurs solaires thermiques est privilégiée en cas de besoins en eau chaude sanitaire importants. Pour le reste, les toitures peuvent être couvertes par des panneaux photovoltaïques permettant de produire de l'électricité consommée directement sur le site ou revendue au réseau de distribution. L'estimation théorique effectuée dans ce rapport ne tient pas compte des problématiques d'ombrages (masques proches potentiels par la présence de végétations à proximité des villas).

3. Évolution du concept

Les tableaux présentés ci-dessous résument brièvement les concepts énergétiques, qui seront détaillés dans les parties suivantes du rapport. Le concept initialement présenté est également rappelé pour chacune des affectations.

3.1 Villas

	Concept initial	Problématique	Nouveau concept proposé		
			Base	Variante 1 (solaire)	Variante 2 (électrique)
Chauffage	Pompe à chaleur (PAC) Moyenne température (MT) sur sondes verticales (2 à 3 sondes verticales de 60m)	Le seuil de 500 kW (seuil d'autorisation du code minier) est considéré pour l'ensemble du projet (hameau, centre équestre et villas).	PAC MT sur capteurs géothermiques horizontaux (Emprise : entre 200 et 450 m ² de surface de terrain nécessaire par maison pour l'enfouissement des capteurs)		
ECS	PAC Haute température (HT) sur sondes verticales + possibilité de capteurs solaires thermique en toiture		Utilisation de la PAC MT sur capteurs horizontaux et appoint par épingle électrique (ballon bi-énergie)	1.5 à 4.5 m ² de capteurs solaires thermiques	Ballons à électro-accumulation
Froid (facultatif)	Rafrachissement direct via géothermie sur sondes verticales + PAC réversible		Pas de rafraichissement envisagé		
Électricité	Pas de production d'électricité au niveau local	Problématique des ombrages dus aux arbres déjà prise en compte pour le concept initial	Pas de production d'électricité au niveau local		

Figure 5 : Évolution du concept énergétique pour la zone Villas

3.2 Hameau

	Concept initial	Problématique	Concept proposé
Chauffage	Chaudières à bois granulés (8*100kW chacune)	Risque de nuisance lié aux fumées et à la qualité de l'air (vent dominant défavorable) pour les habitants et usagers alentours	PAC MT réversible sur sondes verticales dans la limite de 300 kW
ECS	600 m ² de capteurs solaires thermiques + appoint chaudières à bois granulés		450 m ² capteurs solaires thermiques pour la production d'ECS
Froid	Rafraichissement direct via géothermie sur nappe utilisant le forage existant + PAC réversible + 2 groupes d'eau glacée	Risque sur l'utilisation du forage existant pour un usage non agricole Le seuil de 500 kW (seuil d'autorisation du code minier) est considéré pour l'ensemble du projet (hameau, centre équestre et villas).	PAC MT réversible sur sondes verticales dans la limite de 300 kW + aérothermie 165 kW
Électricité	Pas de production d'électricité au niveau local	Solution initialement jugé trop risqué par le client	300 m ² de panneaux solaires photovoltaïque (≈ 7% des besoins en électricité spécifique du hameau)

Figure 6 : Évolution du concept énergétique pour la zone Hameau

3.3 Centre équestre

	Concept initial	Problématique	Concept proposé
Chauffage	PAC MT sur sondes verticales (2 PAC de 90kW pour 75 sondes de 60m)	Le seuil de 500 kW (seuil d'autorisation du code minier) est considéré pour l'ensemble du projet (hameau, centre équestre et villas).	Chaufferie bois granulés (80kW), localisation idéale (moins de nuisances)
ECS	45 m ² capteurs solaires thermique en toitures + appoint électrique		
Froid	Rafraichissement direct via géothermie sur sondes verticales + 2 PAC de 90kW pour 75 sondes de 60m		Groupe(s) d'eau glacée (80 kW)
Électricité	Pas de production d'électricité au niveau local	Solution initialement jugé trop risqué pour le client	500 m ² de panneaux solaires photovoltaïque (≈ 58% des besoins en électricité spécifique du centre équestre)

Figure 7 : Évolution du concept énergétique pour la zone Centre équestre

3.4 Ferme

	Concept initial	Problématique	Nouveau concept proposé
Chauffage	PAC MT sur sondes verticales (7 sondes verticales de 60m)	Le seuil de 500 kW (seuil d'autorisation du code minier) est considéré pour l'ensemble du projet (hameau, centre équestre et villas).	PAC MT sur capteurs horizontaux (Emprise : entre 615 m ²)
ECS	PAC MT sur sondes verticales + appoint électrique		Utilisation de la PAC MT sur capteurs horizontaux et appoint par épingle électrique (ballon bi-énergie)
Froid (facultatif)	Rafraichissement direct via géothermie sur sondes verticales + PAC réversible		Rafraichissement direct ou par PAC réversible via géothermie sur capteurs horizontaux
Électricité	Pas de production d'électricité au niveau local	Production photovoltaïque limitée car surfaces d'installations faibles	2500 m ² de panneaux solaires photovoltaïque intégré aux serres, en toiture de la ferme et du hangar

Figure 8 : Évolution du concept énergétique pour la zone Ferme



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

4. Étude des concepts

4.1 Villas et Maisons

4.1.1 Besoins énergétiques estimés

Les besoins énergétiques estimés sont calculés en fonction des déperditions thermiques, de l'occupation annuelle et des équipements prévus dans les bâtiments.

Les besoins ont été calculés en 2010 en utilisant les ratios du label BBC de la RT2005. Dans le cadre de la reprise actuelle du projet et conformément au compte-rendu de la réunion du 10 décembre 2019, il a été décidé avec le client de conserver les besoins précédemment calculés.

Les concepts de cette étude répondent donc aux besoins énergétiques de la RT2005 (chauffage, ventilation, climatisation, eau chaude sanitaire et éclairage) et donc a fortiori aux besoins énergétiques de la future RT2020.

Quelques ajustements ont été néanmoins nécessaires pour prendre en compte l'évolution du projet par rapport à la programmation de 2010 : la typologie de certaines villas ainsi que leur nombre ont évolué. Le principal effet est une légère augmentation de la surface totale des villas. Pour les calculs de dimensionnement des concepts énergétiques, il a été décidé de répartir les besoins déjà estimés lors de l'ancienne programmation (2010) sur le nouveau nombre de villas. Cette hypothèse se justifie dans la mesure où la faible augmentation de la surface des villas est contrebalancée par la moindre consommation due aux nouvelles exigences de la future réglementation environnementale.

Voici les étapes de la démarche utilisée pour l'estimation des besoins des villas :

- Les besoins sont recalculés en conservant les ratios de la RT2005 et en utilisant les tableaux de calculs de 2010 (Hypothèse : parmi les maisons type Golf, il y a toujours 38 villas avec piscine (les anciennes villas type D)).
- Le nouveau besoin total des villas obtenu, la comparaison par usage avec les anciennes valeurs de besoin permet de définir un facteur correctif par usage (chauffage, ECS et rafraîchissement).
- Les besoins pour chacune des villas sont multipliés par ces facteurs correctifs et permettent de retrouver le besoin total d'origine.

NB : Les facteurs de correction sont compris entre 0.85 et 0.86. Ainsi les besoins énergétiques sont réduits de 15% par rapport aux besoins calculés avec les ratios BBC de la RT2005. Les évolutions réglementaires entre 2010 et aujourd'hui permettent d'affirmer que l'hypothèse de conservation des besoins énergétiques est valable et serait même conservatrice. Il est donc pertinent et sécuritaire de continuer à utiliser les anciens besoins malgré la légère augmentation du nombre de villas.

L'ensemble des données et ratios utilisés pour le calcul des besoins énergétiques est précisé en annexe (partie 7.1).

D'autre part, tous les concepts proposés par BG préconisent l'utilisation d'une énergie renouvelable, locale et durable et répondront également à ce critère dans la nouvelle réglementation environnementale.

ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

Le tableau ci-dessous donne la nouvelle répartition des besoins :

Objet	Nombre		Surface SHON d'intérêt	Besoins chauffage	Besoins ECS	Besoins électriques (éclairage et ventilation)
Villas Type Golf	218	Par villas	280 m ²	3 960 kWh	1 323 kWh	3 638 kWh
		Total	61040 m ²	863 382 kWh	288 396 kWh	793 167 kWh
Villas Type Golf avec piscine	38	Par villas	280 m ²	3 960 kWh	2 241 kWh	3 638 kWh
		Total	10 640 m ²	150 498 kWh	85 152 kWh	138 259 kWh
Villas type Cavalière	31	Par villas	195 m ²	2 758 kWh	921 kWh	2 534 kWh
		Total	6 045 m ²	85 504 kWh	28 561 kWh	78 550 kWh
Villas type Étang	12	Par villas	285 m ²	4 031 kWh	1 347 kWh	3 703 kWh
		Total	3 420 m ²	48 374 kWh	16 158 kWh	44 440 kWh
Villas type Forêt	60	Par villas	170 m ²	2 405 kWh	803 kWh	2 209 kWh
		Total	10 200 m ²	144 274 kWh	48 192 kWh	132 541 kWh
Villas type Ranch	63	Par villas	170 m ²	2 405 kWh	803 kWh	2 209 kWh
		Total	10 710 m ²	151 488 kWh	50 602 kWh	139 168 kWh
Villas en bande	144	Par villas	130 m ²	1 839 kWh	614 kWh	1 689 kWh
		Total	18 720 m ²	264 786 kWh	88 446 kWh	243 252 kWh
Total Maisons	566	Total	120 775 m²	1 708.3 MWh	605.5 MWh	1 569.4 MWh

Figure 9 : Besoins thermiques et électriques (total et par type de villas) pour le secteur villas.

4.1.2 Énergies renouvelables pertinentes pour l'approvisionnement énergétique de la zone

Selon le tableau récapitulatif des énergies (Figure 4), les systèmes énergétiques potentiellement intéressants pour ce groupe de bâtiments sont les suivants :

- Solaire thermique et photovoltaïque – Possible mais la localisation et l'architecture des villas (présence d'ombrages) et l'occupation très intermittente ne donnent pas l'avantage à la ressource solaire. Au-delà des considérations techniques, il y a également un enjeu d'acceptabilité sur l'intégration des modules à l'architecture des villas.
- Géothermie sur sondes (pompe à chaleur) – Potentiel très intéressant avec la possibilité de couvrir la totalité du besoin. Toutefois, le code minier limite les installations géothermiques de type GMI (celles de profondeur au-delà de 10m, notamment les sondes verticales) à une puissance extraite maximale de 500 kW sur l'ensemble de la zone. Cette puissance sera réservée pour le hameau qui présente une concentration plus intéressante des besoins thermiques sur un faible périmètre.

ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

- Géothermie par capteurs horizontaux et PAC : Potentiel intéressant. Cette solution nécessite une surface au sol importante pour l'enfouissement des capteurs (surface plus importante que la géothermie sur sondes verticales). Cette surface est disponible grâce à l'importante superficie des jardins des villas. Il est important de noter que les capteurs ne peuvent être enterrés sous des constructions ou à proximité de végétations à racines profondes.

4.1.3 Concept proposé

Chauffage

- Production de chaleur réalisée par une pompe à chaleur eau/eau tirant l'énergie du sol par des capteurs géothermiques horizontaux.
- Entre 200 et 450 m² de capteurs enterrés à 1 mètre de profondeur dans les jardins (surface de capteurs variable suivant la puissance de la pompe à chaleur, les déperditions des bâtiments ou encore la taille de ces derniers)
- Émission de chaleur par plancher chauffant dans chaque pièce
- Régulation de la température de production en fonction de la température extérieure
- Régulation de zone (jour/nuit)
- Régulation pièce par pièce avec un thermostat

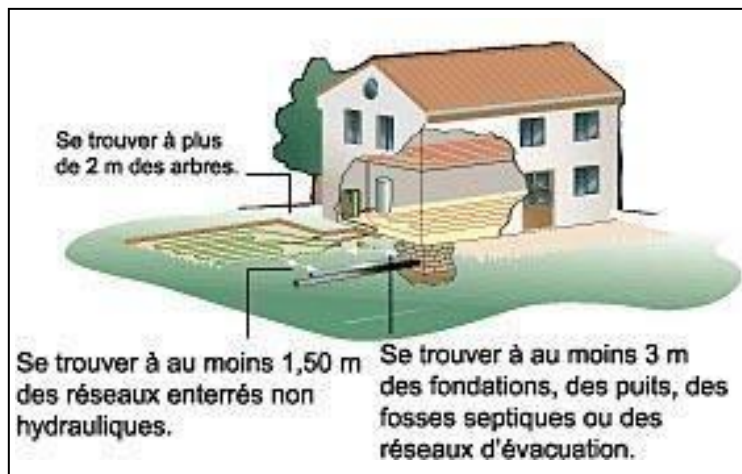


Figure 10 : Préconisation pour la mise en place d'un système de capteurs géothermiques horizontaux

Eau Chaude Sanitaire

Scénarios de base :

- Production d'eau chaude sanitaire par la pompe à chaleur eau/eau. La mise en place d'un ballon bi-énergie permet de compléter la production par la pompe à chaleur et de couvrir la totalité du besoin.
- Régulation de la température de stockage à 60°C
- Bouclage d'eau chaude pour limiter les attentes au point de puisage.

Variante 1 (Solaire) :

- Production d'eau chaude sanitaire par des capteurs solaires thermiques

Variante 2 (ballon électrique) :

- Production d'eau chaude sanitaire réalisée par des ballons à électro-accumulation situé à proximité des points de puisage, supprimant ainsi les temps d'attente.
- Distribution de proximité permettant de gérer des zones de fonctionnement.
- Régulation de la température de stockage de 60 à 85°C.
- Mitigeur thermostatique après ballon pour une distribution sécurisée à 55°C.

ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS



Figure 11 : Ballon ECS électrique

Ventilation

- Ventilation double flux avec récupération de chaleur à 95%.
- Distribution en faux plafond des circulations
- Mise en œuvre de bouches d'extraction autoréglables dans les pièces d'eau
- Mise en œuvre de diffuseurs esthétiques dans les pièces de vie (chambres et séjour)

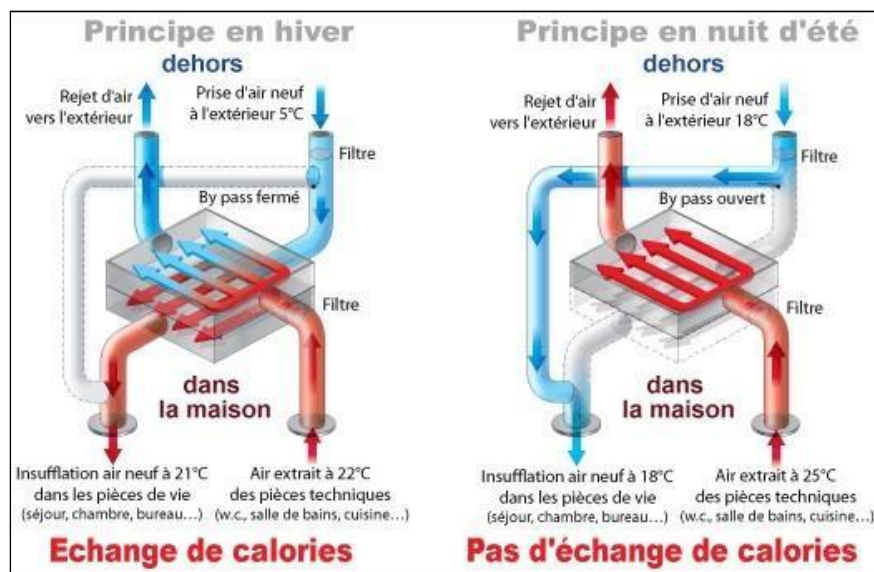


Figure 12 : Principe de l'échangeur de chaleur

Électricité

- Installation de luminaires à LED dans les salles de bains, WC et cuisines.
- Installation de sources fluorescentes à basse consommation pour l'ensemble des luminaires extérieurs fixés aux bâtiments.
- Mise en œuvre de délestage à plusieurs voies.
- Mise en œuvre d'une installation complète de domotique permettant la gestion de la production de chaleur, production ECS, ventilation, délestage, éclairage et scénarii d'éclairage, occultations solaires, contrôle intrusion.
- Une passerelle d'accès à la domotique par internet pour une gestion optimisée.

ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS



Figure 13 : Exemple d'interface utilisateur tactile pour la domotique, logiciel MyVera

- Pas d'installations solaires photovoltaïques en toiture pour les raisons évoquées dans la partie 4.1.2.

4.1.4 Analyses énergétique et environnementale du concept

Le concept a été analysé d'un point de vue énergétique et a été comparé à des solutions de référence telles que le gaz et le fioul. La consommation d'énergie finale prend en compte les rendements des équipements (pompe à chaleur, chaudière gaz, chaudière fioul). Le tableau ci-dessous propose une synthèse des résultats.

L'ensemble des hypothèses prises sur les équipements (rendement de production, COP, rendement de distribution, etc.) et sur les énergies (coefficient d'énergie primaire et facteur d'émission) pour cette analyse des impact environnementaux est précisée en annexe 0.

Comparatif villas	Consommation énergie finale	Consommation énergie primaire	Émissions eq. CO2	Aides	Émissions GES évitées / Gaz
Fioul	2 563 782 kWh/an	2 563 782 kWhep/an	831 t/an	Non	249 t/an
Gaz	2 563 782 kWh/an	2 563 782 kWhep/an	582 t/an	Non	0 - solution de référence
Concept de base BG (PAC pour chauffage et ECS)	631 662 kWh/an	1 452 822 kWhep/an	50 t/an	Oui / acquéreur	-532 t/an
Variante BG (PAC pour chauffage et solaire pour l'ECS)	449 554 kWh/an	1 033 975 kWhep/an	36 t/an	Oui / acquéreur	-546 t/an
Variante BG (PAC pour chauffage, chauffe-eau électrique pour l'ECS)	1 197 094 kWh/an	2 753 315 kWhep/an	95 t/an	Oui / acquéreur	-487 t/an

Figure 14 : Indicateurs énergétiques et environnementaux du scénario BG et des scénarios de référence, pour la zone des villas



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

4.1.5 Analyse des résultats du concept

Le concept "pompe à chaleur pour le chauffage et l'ECS" donne les résultats les plus intéressants sur le plan énergétique (énergie finale et primaire) mais aussi sur le volet environnemental (émission de CO2 équivalent).

4.1.6 Avantages et Inconvénients du concept

Avantages :

- Chaque propriétaire est indépendant pour la partie chauffage et eau chaude sanitaire, la gestion lui appartient.
- Optimisation des puissances de production dans chaque domaine.
- Optimisation de la surface au sol occupée par les installations techniques
- Contrôle de l'ambiance de chaque pièce.
- Contrôle de la ventilation de chaque pièce.
- Gestion globale et déportée de la villa par la domotique.
- Meilleur compromis technico/économico/environnemental
- Possibilité de free-cooling l'été (rafraîchissement direct par les calories du sol, sans passage par la pompe à chaleur, seule la pompe de circulation est sollicitée)
- Coût d'approvisionnement maîtrisé (consommation réduite d'électricité pour une énergie durable)

Inconvénients :

- Concept avec une consommation non-négligeable d'énergie électrique pour la production thermique, ce qui accroît la quantité d'énergie primaire.
- L'implantation de capteurs doit tenir compte des plantations à racines profondes, qui (installation proscrite si elles se situent à moins de 1.5m du réseau).
- Investissement de départ important pour l'installation des sondes verticales.

4.1.7 Approvisionnement en électricité

L'usage d'électricité est nécessaire pour ce concept proposé. Il convient donc de s'interroger sur les alternatives techniques (capteurs photovoltaïques) pour répondre à ce besoin.

Chauffage :

L'électricité est nécessaire au fonctionnement de la pompe à chaleur. Dans cet esprit, la mise en place de capteurs photovoltaïques en toiture peut permettre de moins solliciter le réseau de distribution d'électricité et d'alléger la facture pour le particulier.

Eau Chaude Sanitaire :

De la même manière que pour le chauffage, l'installation de capteurs photovoltaïques en toiture est à envisager pour alimenter tout ou partie de l'électricité nécessaire au compresseur de la pompe à chaleur. Le remplacement de la pompe à chaleur (ou du ballon électrique seul) par des capteurs solaires thermiques en toiture a été étudié. Un système de type CESI (chauffe-eau solaire individuel) permet de fournir une part importante des besoins en ECS dans les cas les plus favorables (au-delà de 50% du besoin). Entre 1.5 et 4.5 m² de surface de capteur solaire thermique en toiture, selon les types des villas, permettrait de produire l'énergie thermique nécessaire aux besoins en ECS. Toutefois, la solution solaire thermique présente les inconvénients suivants dans le contexte du projet :



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

- Il y a une importante intermittence de l'utilisation de l'ECS, induite par la fluctuation du taux d'occupation sur l'année. Des surchauffes dues à une sous-utilisation de l'équipement, impactent le rendement et la durée de vie du matériel.
- Un appoint énergétique est nécessaire : si celui-ci est électrique (solution la plus courante), l'intérêt de ce système en substitution de la pompe à chaleur, est remis en cause.
- Comme évoqué dans la partie 4.1.2, toutes les villas n'ont vraisemblablement pas les mêmes conditions d'ensoleillement (présence de masques proches : diminution du rendement, voir impossibilité de mettre en place des capteurs).

Éclairage public :

Il n'y a pas d'alternative technique à l'électricité pour l'éclairage. La possibilité d'une électricité renouvelable produite par des capteurs photovoltaïques peut tout de même être envisagée, malgré les réserves émises précédemment (ombrages, multiplicité des bâtiments, intégration architecturale incertaine)

Voiturettes :

La préconisation pour l'éclairage vaut également pour le cas de l'alimentation électrique des voiturettes.

Une estimation du déploiement photovoltaïque nécessaire pour les différents besoins a été effectuée. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Simulation compensation des consommations électriques Ferme solaire photovoltaïque	Surface de capteurs solaires (m ²)	Vente /an capteurs non intégrés (€)	Vente /an capteurs intégrés	Investissement (€)	Temps de retour brut non intégré (ans)	Temps de retour brut intégré (ans)
1) Consommations voiturettes (environ 400)	5 575	192 545	306 600	5 017 091	26	16
2) Consos électriques PAC chauffage Villas BBC	3 948	136 376	217 159	3 553 503	26	16
3) Éclairage public routes	1 023	35 325	56 250	920 455	26	16
4) Consos électriques ECS par PAC villas BBC	1 656	57 182	91 054	1 489 969	26	16
5) Consos électriques Variante ballons électriques ECS villas BBC	6 796	234 727	373 770	6 116 231	26	16

Figure 15 : Résultat du dimensionnement et éléments de chiffrage pour le déploiement de panneaux photovoltaïque pour la couverture des besoins en électricité du site.

Conclusions de l'estimation : Les investissements sont très importants et il convient de demander des propositions à des tiers investisseurs pour ces installations (EDF...). Le propriétaire du terrain deviendrait un loueur de surface durant un temps déterminé (habituellement 20 ans) puis il deviendrait propriétaire du système. Une étude détaillée de l'intégration en toiture des capteurs photovoltaïques pourrait permettre de confirmer ces indicateurs de rentabilité pré-estimés. La proposition serait potentiellement très attractive pour un tiers-investisseur.



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

4.1.8 Estimation financière de la solution

Une estimation des coûts d'investissement, d'exploitation et d'approvisionnement (P1, P2, P3, P4) a été menée pour les usages thermique du concept énergétique (chauffage, ECS, rafraîchissement). Les résultats sont proposés dans le tableau ci-dessous. Le coût global du concept est exprimé en €/MWh_{thermique} (au prix de l'énergie de 2020). L'ensemble des hypothèses prises en compte pour ce chiffrage est exposé en annexe 7.3.

Pour l'approvisionnement énergétique des villas, 3 scénarios ont été analysés :

- Concept BG : alimentation du chauffage et de l'ECS par des capteurs horizontaux géothermiques
- Variante 1 : alimentation du chauffage par des capteurs horizontaux géothermiques et de l'ECS par des ballons à électro-accumulation
- Variante 2 : alimentation du chauffage par des capteurs horizontaux géothermiques et de l'ECS par des panneaux solaires thermiques en toitures

	Coût absolu	Coûts annualisés			Coût global
	Investissement absolu TTC (k€)	P1 - Coût d'approvisionnement (k€/an)	P2 - Coût d'exploitation (k€/an)	P3 & P4 - Coût d'investissement et de renouvellement des équipements (k€/an)	Prix de revient du MWh TTC - 2020 (€/MWh)
Concept BG - capteurs géothermiques horizontaux (chauffage + ECS)					
Chauffage + ECS (capteurs géothermiques horizontaux)	13 748 k€	105 k€	300 k€	617 k€	442 €/MWh
Variante 1 - capteurs géothermiques (chauffage) - électricité (ECS)					
Chauffage (capteurs géothermiques horizontaux)	12 281 k€	74 k€	268 k€	551 k€	444 €/MWh
ECS (ballons électro-accumulation)	105 k€	128 k€	1 k€	5 k€	
Variante 2 - capteurs géothermiques (chauffage) - solaire thermique (ECS)					
Chauffage (capteurs géothermiques horizontaux)	12 281 k€	74 k€	268 k€	551 k€	423 €/MWh
ECS (solaire thermique)	1 415 k€	0 k€	14 k€	71 k€	

Figure 16 : Estimation du coût du concept préconisé pour la partie villas

Le coût global (prix de revient du concept) est sensiblement identique pour chacune de ces solutions. La variante 2 donne une rentabilité légèrement meilleure mais il convient toutefois de nuancer ce résultat : les ombrages potentiels sur les villas et donc les variations de production sur un pas de temps suffisamment restreint (journalier – horaire), ne sont pas des données prises en compte à ce stade du projet.

Pour cette raison, le résultat sera probablement dégradé en pratique. La variante 1 (ECS uniquement par des alimentation électrique) donne un coût de revient légèrement supérieur au concept de base. A prix égal, le bilan environnemental est plus intéressant pour la solution de base, nous écartons donc cette variante.



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

Le tableau ci-dessous expose les coûts unitaires par villa, pour le concept retenu (capteurs géothermiques horizontaux pour le chauffage et l'ECS) :

	Coût absolu	Coûts annualisés			Coût global
	Investissement absolu TTC (k€)	P1 - Coût d'approvisionnement (k€/an)	P2 - Coût d'exploitation (k€/an)	P3 & P4 - Coût d'investissement et de renouvellement des équipements (k€/an)	Prix de revient du MWh TTC - 2020 (€/MWh)
Concept BG - capteurs géothermiques horizontaux (chauffage + ECS)					
GOLF	31 k€	0.24 k€	0.78 k€	1.56 k€	488 €/MWh
GOLF piscine	33 k€	0.29 k€	0.83 k€	1.65 k€	446 €/MWh
CAVALIERE	22 k€	0.17 k€	0.54 k€	1.08 k€	488 €/MWh
ETANG	32 k€	0.25 k€	0.79 k€	1.58 k€	488 €/MWh
FORET	19 k€	0.15 k€	0.47 k€	0.94 k€	488 €/MWh
RANCH	19 k€	0.15 k€	0.47 k€	0.94 k€	488 €/MWh
MAISON EN BANDE	14 k€	0.11 k€	0.36 k€	0.72 k€	488 €/MWh

Figure 17 : Détail du chiffrage par type de villas pour le scénario de base

Nous constatons un prix de revient très proche pour chaque type de villas. Seules les villas de type "Golf piscine" se démarquent, en raison d'une consommation accrue d'eau chaude sanitaire, ce qui rentabilise davantage l'investissement dans les capteurs horizontaux.



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

4.2 Hameau / Bourg / Complexe hôtelier

4.2.1 Besoins énergétiques estimés

Les besoins énergétiques estimés sont calculés en fonction des déperditions thermiques, de l'occupation annuelle et des équipements prévus dans les bâtiments.

Objet		Surface SHON d'intérêt	Besoins Rafraichissement	Besoins Chauffage	Besoins ECS	Besoins électriques (éclairage et ventilation)
Complexe hôtelier	Chambres	4326 m ²	51 912 kWh	71 812 kWh	58 183 kWh	237 497 kWh
	Locaux Spa (réception, sanitaires, box soins, circulations)	130 m ²		5 610 kWh	243 kWh	12 292 kWh
	Piscine + spa	232 m ²		15 405 kWh	115 568 kWh	11 322 kWh
	Sauna/hammam	25 m ²				76 220 kWh
	Fitness Centre	10 m ²	500 kWh	432 kWh	105 kWh	946 kWh
	Club House Centre sans restaurant et cuisine	550 m ²	12 100 kWh	9 130 kWh	616 kWh	8 388 kWh
	Club House Centre restaurant et cuisine	550 m ²	27 500 kWh	23 738 kWh	5 749 kWh	52 003 kWh
	Restaurant gastronomique	820 m ²	41 000 kWh	28 011 kWh	19 401 kWh	77 531 kWh
	Lobby + administratif + locaux de services + congrès	1395 m ²	36 270 kWh	23 157 kWh	781 kWh	51 057 kWh
	Résidences hôtelières	2400 m ²	28 800 kWh	39 840 kWh	4 480 kWh	131 760 kWh
Total Complexe Hôtelier		10438 m ²	198082 kWh	217135 kWh	205126 kWh	659014 kWh
Hameau / Bourg	Pavillon d'entrée	100 m ²	2 600 kWh	1 660 kWh	56 kWh	3 660 kWh
	Kids Club	400 m ²	8 800 kWh	6 640 kWh	448 kWh	6 100 kWh
	Commerces	650 m ²	16 900 kWh	10 790 kWh	364 kWh	15 860 kWh
	Logements	1 200 m ²		19 920 kWh	2 240 kWh	18 300 kWh
	Centre sportif	420 m ²		18 127 kWh	4 390 kWh	39 711 kWh
Total Hameau / Bourg		6770 m ²	101890 kWh	202601 kWh	108439 kWh	307504 kWh
Total Hameau / Bourg /Complexe hôtelier		17 208 m ²	299 972 kWh	419 736 kWh	313 565 kWh	966 518 kWh

Figure 18 : Besoins thermiques et électriques (total et par complexe) pour le secteur Hameau-Bourg-Complexe hôtelier



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

4.2.2 Énergies renouvelables pertinentes pour l'approvisionnement énergétique de la zone

Selon le tableau récapitulatif des énergies (Figure 4), les ressources locales disponibles pour ce groupe de bâtiments sont :

- Bois énergie – Possible mais risque de nuisance liée aux fumées et à la qualité de l'air (les vents dominants sont défavorables) pour les habitants et usagers alentours.
- Solaire thermique – Potentiellement intéressant : l'important besoin en ECS rend cette solution particulièrement appropriée. Surface de toiture importante.
- Solaire photovoltaïque – Potentiellement intéressante : l'utilisation de pompes à chaleur (géothermie) consommatrice en électricité, rend la solution photovoltaïque pertinente. Surface de toiture importante.
- Géothermie sur sondes et PAC – Potentiel très intéressant avec possibilité de couvrir une grande partie des besoins (malgré la limite en puissance de 500 kW induite par le code minier pour la géothermie profonde, au-delà de 10m)
- Géothermie par capteurs horizontaux et PAC – Possible mais les besoins sont importants et nécessiterait une superficie de terrain pour l'enfouissement des capteurs qui n'est actuellement pas disponible. La combinaison de sondes géothermiques verticales avec des capteurs horizontaux n'est pas un concept souhaitable du fait de la complexité de mise en œuvre.
- Aérothermie – Possible mais il s'agit d'une fourniture partielle, qui nécessite un système d'appoint. En effet, une pompe chaleur aérothermique a un fonctionnement dépendant des épisodes climatiques : on observe une dégradation du rendement voire un arrêt de la production en période de grand froid. Un autre inconvénient est le bruit généré par le système, qui peut être un point sensible si le système est situé en voisinage direct de logements.

4.2.3 Concept proposé

Chauffage

- Production de chaleur réalisée par sondes géothermiques verticales et PAC réversible (puissance extractible par les sondes de 225 kW soit une puissance thermique en sortie de PAC pour le chauffage de 300 kW avec un COP de 4)
- Rafraîchissement par PAC réversible sur les sondes géothermiques. (Avec un EER de 4.5, on obtient une puissance thermique pour le froid 165 kW en sortie de PAC)
- En complément de la géothermie, une centrale aérothermique de 200 kW est nécessaire pour la production de froid.
- Émission de chaleur par plancher chauffant dans la grande majorité des locaux
- Émission de chaleur par ventilo-convecteur 4 tubes dans les chambres d'hôtel
- Émission de chaleur en "tout air" par centrale de traitement d'air spécifique suivant les locaux pour les commerces, restaurants, cuisine, salles de congrès, salles de séminaires, halle piscine, spa, fitness
- Régulation de la température de production en fonction de la température extérieure
- Régulation de zone (type d'occupation/jour/nuit)
- Régulation pièce par pièce avec platine de commande

Eau Chaude Sanitaire

- Production d'eau chaude sanitaire réalisée par 450 m² de capteurs solaires en toiture des locaux, bouclage d'eau chaude sanitaire supprimant les temps d'attentes et assurant la sécurité sanitaire anti légionella.

ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

- Régulation de la température de stockage de 60 à 85°C
- Mitigeur thermostatique après ballon d'appoint pour une distribution sécurisée à 55°C

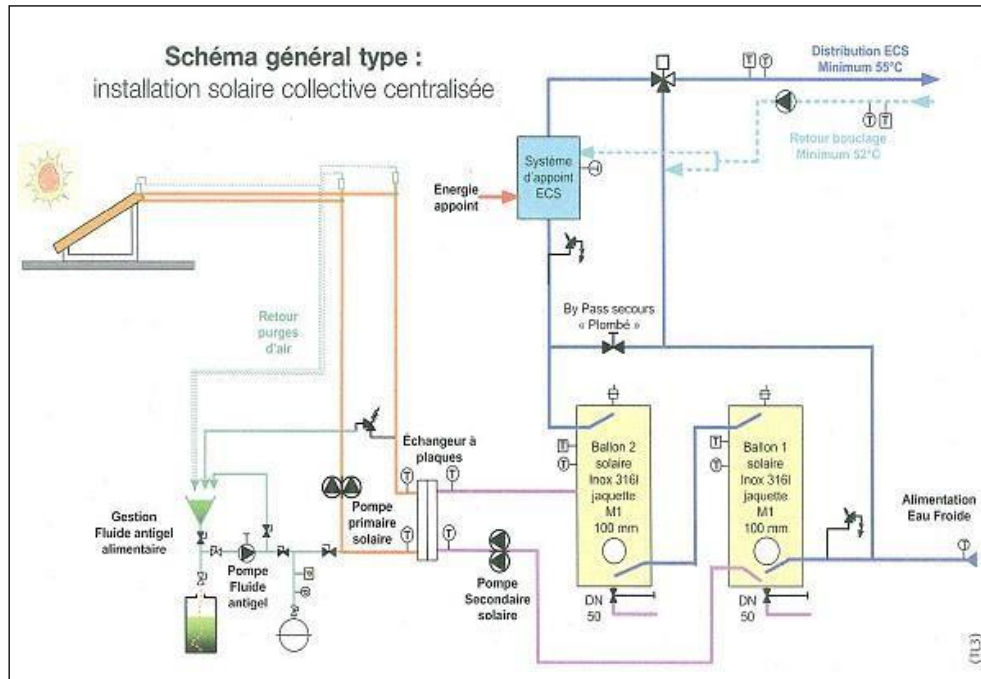


Figure 19 : Schéma de principe d'une installation solaire avec appoint

Ventilation

- Ventilation double flux avec récupération de chaleur à 85% réalisée par plusieurs centrales de traitement d'air réparties par zone de fonctionnement et optimisées géographiquement.
- Ventilation simple flux continue pour les sanitaires répartis par zone de fonctionnement et optimisée géographiquement.
- L'énergie de compensation est fournie par la pompe à chaleur
- Distribution en faux plafond des locaux et sous-sols
- Gestion de l'intermittence par sondes de qualité d'air et registres motorisés



Figure 20 : Centrale de traitement d'air avec échangeur rotatif 85 %

ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

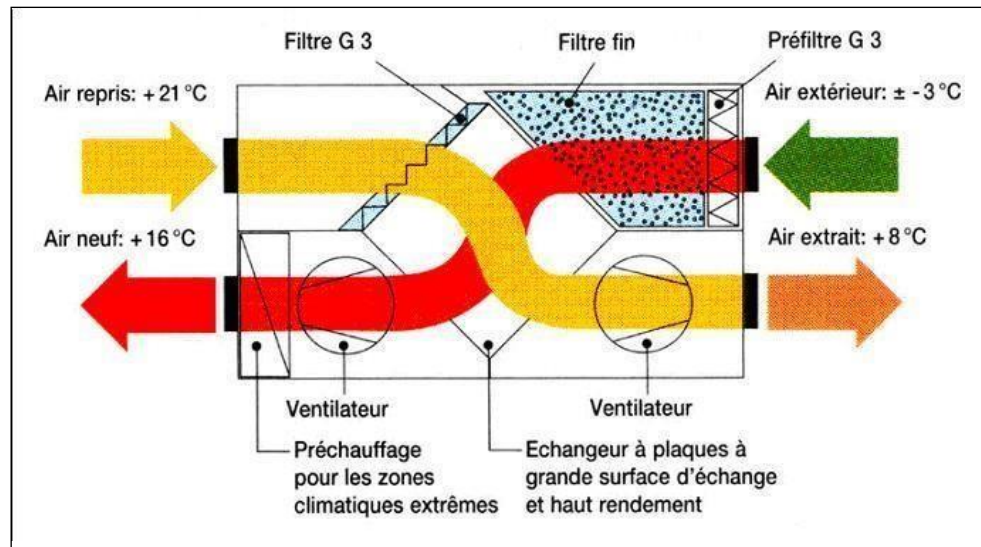


Figure 21 : Principe de la centrale double flux avec récupération d'énergie

Électricité

- Installation de luminaires à sources économes en énergie (LED, fluorescente, iode métallique...) dans l'ensemble des locaux.
- Installation de sources fluorescentes basses consommations pour l'ensemble des luminaires extérieurs fixés aux bâtiments.
- Mise en œuvre systématique de commande automatique et/ou temporisée dans les locaux à forte intermittence.
- Mise en œuvre de délestage à plusieurs voies, notamment pour les process (cuisine, traitement d'eau piscine...).
- Mise en œuvre d'une installation complète de Gestion Technique du Bâtiment (GTB) permettant la gestion de la production de chaleur, production d'eau chaude sanitaire, ventilation, délestage, éclairage et scénarii d'éclairage, occultations solaires, consommations.
- Un système de pilotage intelligent (norme KNX) permet de réaliser le lien entre interfaces-utilisateur, capteurs et actionneurs (voir la Figure 22). L'utilisateur peut également agir depuis son smartphone.

ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

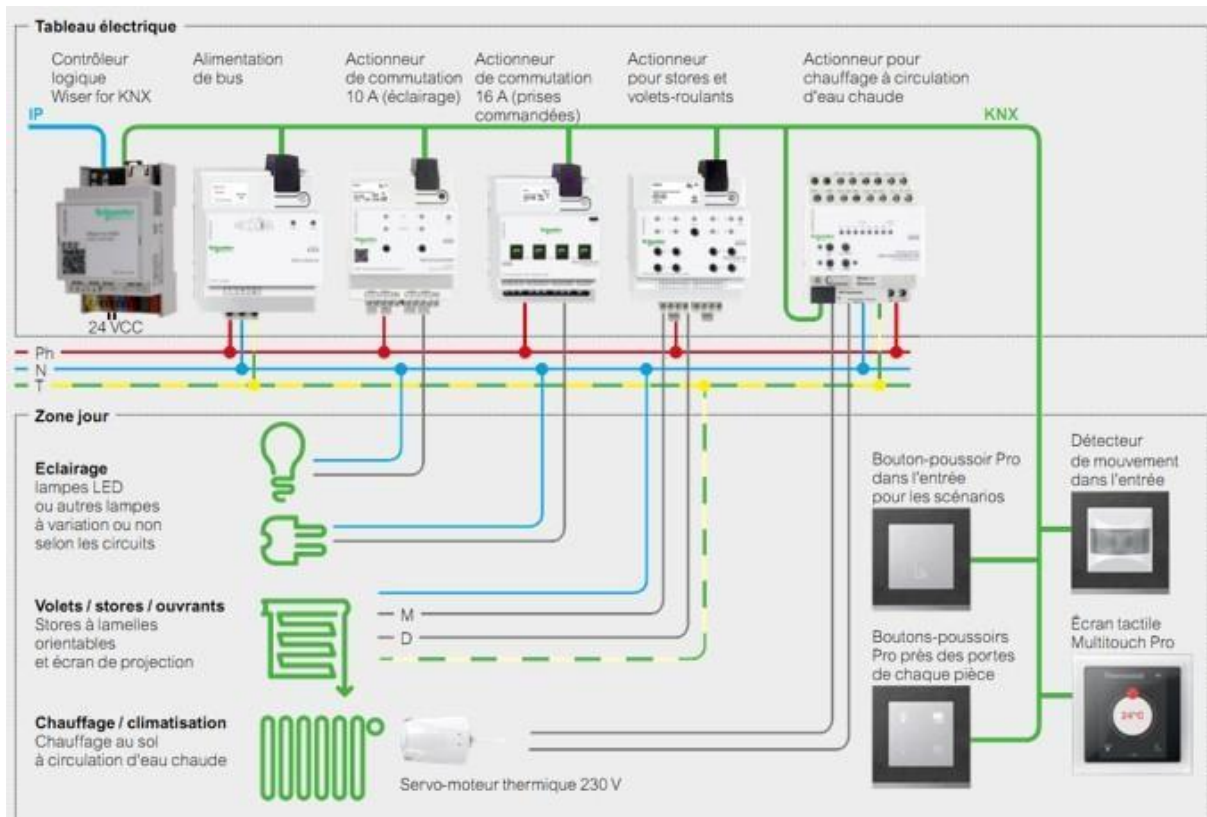


Figure 22 : Exemple d'interactions entre les interfaces-utilisateur, capteurs et actionneurs dans une pièce de vie.
Source : KNX 2018, eConfigure - logiciel KNX lite

- Production locale d'électricité via l'installation de panneaux solaires photovoltaïques en toiture : 1500 m² de toiture est disponible². Sur cette surface, nous retenons l'hypothèse de 50% de la superficie équipable par des panneaux solaires. 450m² sont dédiés en priorité au solaire thermique pour la production de chaleur, il reste donc 300m² potentiellement équipable par des capteurs solaires photovoltaïques. Cela correspond à une puissance crête de 54 kWc (hypothèse d'un rendement des modules de 18%), permettant de générer à l'année 64 MWh, soit l'équivalent de 7% des besoins en électricité spécifique du complexe.

4.2.4 Analyses énergétique et environnementale du concept

Le concept a été analysé d'un point de vue énergétique et a été comparé à des solutions de référence telles que le gaz, le fioul et le bois (granulés). La consommation d'énergie finale prend en compte les rendements des équipements (pompe à chaleur, chaudière gaz, chaudière fioul). Le tableau ci-dessous propose une synthèse des résultats.

L'ensemble des hypothèses prises sur les équipements (rendement de production, COP, rendement de distribution, etc.) et sur les énergies (coefficient d'énergie primaire et facteur d'émission) pour cette analyse des impact environnementaux est précisée en annexe 0.

² Superficie mesurée d'après la dernière version du plan de masse du 24 février 2020 (AME-APS-GEN-001 ind H 05).



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

Comparatif Hameau	Consommation énergie finale	Consommation énergie primaire	Émissions eq. CO2	Aides	Émissions GES évitées / Gaz
Fioul	857 662 kWh/an	857 662 kWhep/an	278 t/an	Non	83 t/an
Gaz	857 662 kWh/an	857 662 kWhep/an	195 t/an	Non	0 – Solution de référence
Bois granulés	857 662 kWh/an	857 662 kWhep/an	14 t/an	Bois granulés	-181 t/an
Concept BG : géothermie sondes + solaire thermique + aérothermie	116 593 kWh/an	268 165 kWhep/an	9 t/an	Oui / acquéreur	-185 t/an

Figure 23 : Indicateurs énergétiques et environnementaux du scénario BG et des scénarios de référence, pour la zone Hameau-Bourg-Complexe hôtelier

4.2.5 Analyse des résultats du concept

Le concept "pompe à chaleur pour le chauffage et l'ECS, appoint solaire thermique pour l'ECS et pompe à chaleur aérothermique pour le rafraîchissement" donne les résultats les plus intéressants sur le plan énergétique (énergie finale et primaire) mais aussi sur le volet environnemental (émission de CO2 équivalent). Une variante étudiée (chaufferie bois granulés) donne également des résultats plus intéressants que les scénarios de référence.

4.2.6 Avantages et Inconvénients du concept

Avantages :

- Production de chauffage et de froid (fourniture partielle) mutualisée par la pompe à chaleur géothermique, qui est une solution à bas niveau d'énergie.
- Optimisation des puissances de production dans chaque domaine par l'utilisation des ressources d'énergies renouvelables du site (notamment le solaire thermique et la géothermie).
- Contrôle de l'ambiance de chaque pièce.
- Contrôle de la ventilation de chaque zone.
- Gestion technique globalisée pour le site permettant une exploitation de qualité
- Bon compromis technico/économico/environnemental
- Coût d'approvisionnement maîtrisé (consommation réduite d'électricité pour une énergie durable)

Inconvénients :

- Investissement de départ important pour l'installation des sondes verticales.



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

4.2.7 Estimation financière de la solution

Une estimation des coûts d'investissement, d'exploitation et d'approvisionnement (P1, P2, P3, P4) a été menée pour la partie thermique du concept énergétique (chauffage, ECS, rafraîchissement) hors variante. Les résultats sont proposés dans le tableau ci-dessous. Le coût global du concept est exprimé en €/MWh_{thermique} (au prix de l'énergie de 2020) :

	Coût absolu	Coûts annualisés			Coût global
	Investissement absolu TTC (k€)	P1 - Coût d'approvisionnement (k€/an)	P2 - Coût d'exploitation (k€/an)	P3 & P4 - Coût d'investissement et de renouvellement des équipements (k€/an)	Prix de revient du MWh TTC - 2020 (€/MWh)
Chauffage + rafraîchissement (sondes géothermiques verticales)	699 k€	23 k€/an	16 k€/an	33 k€/an	127 €/MWh
Rafraîchissement complément (aérothermie)	141 k€	8 k€/an	4 k€/an	9 k€/an	
ECS (solaire thermique)	625 k€	0 k€/an	6 k€/an	31 k€/an	

* aides financières non-comprises (justification, partie 4.1.8)

Figure 24 : Estimation du coût du concept préconisé pour la partie Hameau-bourg-hôtel



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

4.3 Centre équestre

4.3.1 Besoins énergétiques estimés

Les besoins énergétiques estimés sont calculés en fonction des déperditions, de l'occupation estimée et des équipements.

Objet	Surface SHON d'intérêt	Besoins Rafraichissement	Besoins Chauffage	Besoins ECS	Besoins électriques (éclairage et ventilation)
Club house	445 m ²	11570 kWh	7387 kWh	440 kWh	6786 kWh
Restaurant steack house	1028 m ²	51400 kWh	44368 kWh	18963 kWh	97197 kWh
Logements de fonction	700 m ²		23240 kWh	7686 kWh	10675 kWh
Bureau gardien, ferrage, sellerie, sanitaires, vestiaires	649 m ²		21547 kWh	2138 kWh	23753 kWh
Remisage matériel tracteur	2800 m ²			9223 kWh	42700 kWh
Stockage foin/nourriture	65 m ²			214 kWh	991 kWh
Écuries lavage	60 m ²			3689 kWh	915 kWh
Total Centre Équestre	5747 m²	62970 kWh	96542 kWh	42353 kWh	183018 kWh

Figure 25 : Besoins thermiques et électriques (total et par bâtiment/pièce) pour le secteur Centre équestre.

4.3.2 Énergies renouvelables pertinentes pour l'approvisionnement énergétique de la zone

Selon le tableau récapitulatif des énergies (Figure 4), les ressources locales disponibles pour ce groupe de bâtiments sont :

- Bois énergie – Potentiel intéressant, le caractère isolé du centre équestre rend cette solution très appropriée (moins de nuisances liées à l'émissions de fumées et aux rotations de camions pour l'approvisionnement en combustible des chaudières).
- Solaire thermique – Potentiel intéressant, l'important besoin d'ECS rend cette solution particulièrement appropriée. Toiture importante
- Solaire photovoltaïque – Potentiel intéressant. Toiture importante.
- Géothermie sur sondes et PAC – Potentiel très intéressant avec possibilité de couvrir la totalité du besoin mais problématique du code minier limitant les installations géothermiques de profondeur (>10m) à 500 kW. Cette puissance sera réservée pour le hameau
- Géothermie par capteurs horizontaux et PAC : Potentiel intéressant. Cette solution présente toutefois des contraintes (Pas de construction ni de végétations à racine profondes au-dessus des capteurs).
- Aérothermie – Possible mais cette solution est limitée par les risques de grand froid et les nuisances sonores.

4.3.3 Concept proposé

Chauffage

- Production de chaleur réalisée par une chaufferie à bois granulés (80 kW)
- Le rafraichissement est assuré par un système de production d'eau glacée (groupes froids) de 80 kW
- Émission de chaleur par le plancher chauffant dans la grande majorité des locaux

ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

- Émission de chaleur en "tout air" par centrale de traitement d'air spécifique suivant les locaux pour le restaurant, cuisine, salle de détente.
- Régulation de la température de production en fonction de la température extérieure
- Régulation de zone (type d'occupation/jour/nuit)
- Régulation pièce par pièce avec platine de commande



Figure 26 : Schéma avec plusieurs sondes géothermiques

Eau Chaude Sanitaire

- Production de chaleur réalisée par la chaufferie à bois granulés
- Régulation de la température de stockage de 60 à 85°C
- Mitigeur thermostatique après ballon d'appoint pour une distribution sécurisée à 55°C

Ventilation

- Ventilation double flux avec récupération de chaleur à 85% réalisée par plusieurs centrales de traitement d'air réparties par zone de fonctionnement et optimisées géographiquement.
- Ventilation simple flux continue pour les sanitaires, locaux techniques et box des animaux, répartie par zone de fonctionnement et optimisée géographiquement.
- L'énergie de compensation est fournie par les pompes à chaleur
- Distribution en faux plafonds des locaux et sous-sols
- Gestion de l'intermittence par des sondes de qualité d'air et registres motorisés

Électricité

- Installation de luminaires à sources économes en énergie (LED, fluorescente, iode métallique, etc...) dans l'ensemble des locaux.
- Installation de sources fluorescentes basses consommations pour l'ensemble des luminaires extérieurs fixés aux bâtiments.
- Mise en œuvre systématique de commandes automatiques et/ou temporisées dans les locaux à forte intermittence.
- Mise en œuvre de délestage à plusieurs voies, notamment pour les process (cuisine, etc.).
- Mise en œuvre d'une installation complète de gestion technique centralisée permettant la gestion de la production de chaleur, production d'eau chaude sanitaire, ventilations, délestages, éclairages et scénarii d'éclairage, occultations solaires, consommations.
- Une passerelle d'accès à cette gestion par internet pour une sécurité optimisée.
- Production locale d'électricité via l'installation de panneaux solaires photovoltaïques en toiture : 1000 m² de surface disponible³. 500m² de panneaux photovoltaïques peuvent potentiellement

³ Surface estimée à partir du plan de masse du 24 février 2020 (AME-APS-GEN-001 ind H 05)



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

être installés sur cette toiture (hypothèse de 50% de la surface de toiture disponible). Cela correspond à une installation de 90 KWc, générant 107 MWh/an, soit l'équivalent de 58% de la consommation d'électricité spécifique du centre équestre.

4.3.4 Analyses énergétique et environnementale du concept

Le concept a été analysé d'un point de vue énergétique et a été comparé à des solutions de référence telles que le gaz et le fioul. La consommation d'énergie finale prend en compte les rendements des équipements (pompe à chaleur, chaudière gaz, chaudière fioul). Le tableau ci-dessous propose une synthèse des résultats.

L'ensemble des hypothèses prises sur les équipements (rendement de production, COP, rendement de distribution, etc.) et sur les énergies (coefficient d'énergie primaire et facteur d'émission) pour cette analyse des impact environnementaux est précisée en annexe 0.

Comparatif centre équestre	Consommation énergie finale	Consommation énergie primaire	Émissions eq. CO2	Aides	Émissions GES évitées / Gaz
Fioul	162 450 kWh/an	162 450 kWhep/an	53 t/an	Non	16 t/an
Gaz	162 450 kWh/an	162 450 kWhep/an	37 t/an	Non	0 – Solution de référence
Concept BG : bois granulés	162 450 kWh/an	162 450 kWhep/an	3 t/an	Bois granulés	-34 t/an

Figure 27 : Indicateurs énergétiques et environnementaux du scénario BG et des scénarios de référence, pour la zone Centre équestre.

4.3.5 Analyse des résultats du concept

Le concept proposé par BG est identique aux scénarios de référence en termes d'énergie nécessaire étant donné que le bois est considéré comme une énergie fossile. D'un point de vue environnemental, la solution biomasse a toutefois un avantage sur les solutions de références.

4.3.6 Avantages et Inconvénients du concept

Avantages :

- Utilisation de production de chauffage à bas niveau d'énergie
- Contrôle de l'ambiance de chaque pièce.
- Contrôle de la ventilation de chaque zone.
- Gestion technique globalisée pour le site permettant une exploitation de qualité
- Bon compromis technico/économico/environnemental

Inconvénients :

- Les émissions sur place de fumées qui peuvent causer des nuisances (malgré un vent globalement favorable, potentiellement réducteur des nuisances)
- Production de froid via des groupes d'eau glacée qui restent une solution moins intéressante que la géothermie



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

4.3.7 Estimation financière de la solution

Une estimation des coûts d'investissement, d'exploitation et d'approvisionnement (P1, P2, P3, P4) a été menée pour la partie thermique du concept énergétique (chauffage, ECS, rafraîchissement). Les résultats sont proposés dans le tableau ci-dessous. Le coût global du concept est exprimé en €/MWh_{thermique} (au prix de l'énergie de 2020). L'ensemble des hypothèses prises en compte pour ce chiffrage est exposé en annexe 7.3.

	Coût absolu	Coûts annualisés			Coût global
	Investissement absolu TTC (k€) *	P1 - Coût d'approvisionnement (k€/an)	P2 - Coût d'exploitation (k€/an)	P3 & P4 - Coût d'investissement et de renouvellement des équipements (k€/an)	Prix de revient du MWh TTC - 2020 (€/MWh)
Chauffage + ECS (chaufferie bois-plaquettes)	110 k€	3 k€/an	5 k€/an	4 k€/an	114 €/MWh
Rafraîchissement (groupe d'eau glacée)	68 k€	3 k€/an	2 k€/an	5 k€/an	

* aides financières non-comprises (justification, partie 4.1.8)

Figure 28 : Estimation du coût du concept préconisé pour la partie Centre équestre



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

4.4 La Ferme

4.4.1 Besoins énergétiques estimés

Les besoins énergétiques estimés sont calculés en fonction des déperditions, de l'occupation estimée et des équipements.

Objet	Surface SHON d'intérêt	Besoins Rafraîchissement	Besoins Chauffage	Besoins ECS	Besoins électriques (éclairage et ventilation)
Ferme	410 m ²	5 000 kWh	17 696 kWh	1 501 kWh	6 253 kWh

Figure 29 : Besoins thermiques et électriques pour le secteur de la ferme.

4.4.2 Énergies renouvelables pertinentes pour l'approvisionnement énergétique de la zone

Selon le tableau récapitulatif des énergies (Figure 4), les ressources locales disponibles pour ce groupe de bâtiments sont :

- Solaire thermique – Possible car la surface de toiture est importante mais les besoins d'ECS sont faibles.
- Solaire photovoltaïque – Potentiel intéressant malgré des besoins faibles, car la surface toiture est très importante.
- Géothermie sur sondes et PAC – Potentiel très intéressant avec possibilité de couvrir la totalité du besoin mais problématique du code minier limitant les installations géothermiques de profondeur (>10m) à 500 kW. Cette puissance sera réservée pour le hameau
- Géothermie par capteurs horizontaux et PAC : Potentiel intéressant. Cette solution présente toutefois des contraintes (Pas de construction ni de végétations à racine profondes au-dessus des capteurs).
- Aérothermie – Possible mais cette solution est limitée par les risques de grand froid et les nuisances sonores.

4.4.3 Concept proposé

Chauffage

- Production de chaleur réalisée par pompe à chaleur sur capteurs géothermiques horizontaux (11kW de puissance thermique chaud en sortie de PAC). Un tel déploiement permet également de couvrir la totalité des besoins en rafraîchissement grâce une PAC réversible.
- Émission de chaleur par plancher chauffant dans tous les locaux
- Régulation de la température de production en fonction de la température extérieure
- Régulation de zone (type d'occupation/jour/nuit)
- Régulation pièce par pièce avec platine de commande

Eau Chaude Sanitaire

- Production de chaleur réalisée par pompe à chaleur sur capteurs géothermiques horizontaux
- Appoint électrique en complément de la géothermie
- Régulation de la température de stockage de 60 à 85°C
- Mitigeur thermostatique après ballon d'appoint pour une distribution sécurisée à 55°C



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

Ventilation

- Ventilation générale double flux avec récupération de chaleur à 85%
- Ventilation logement double flux avec récupération de chaleur à 97%
- Ventilation simple flux continue des sanitaires, locaux techniques et box animaux
- L'énergie de compensation est fournie par la pompe à chaleur
- Distribution en faux plafond des locaux et sous-sols
- Gestion de l'intermittence par sondes de qualité d'air et registres motorisés

Électricité

- Installation de luminaires à sources économes en énergie (LED, fluorescente, iode métallique, ...) dans l'ensemble des locaux.
- Installation de sources fluorescentes basses consommations pour l'ensemble des luminaires extérieurs fixés aux bâtiments.
- Mise en œuvre systématique de commande automatique et/ou temporisée dans les locaux à forte intermittence.
- Mise en œuvre d'une installation complète de gestion technique centralisée permettant la gestion de la production de chaleur, production ECS, ventilations, éclairages et scénarii d'éclairage, occultations solaires, consommations.
- Une passerelle d'accès à cette gestion par internet pour une sécurité optimisée.
- Production locale d'électricité via l'installation de panneaux solaires photovoltaïques en toiture : sur le hangar, les bâtiments et les serres en verre cathédrale. La totalité de ces surfaces de toiture est estimée à 5000m². 50 m² suffisent pour produire autant d'électricité que les besoins en électricité spécifiques et de la consommation des pompes à chaleur. Toutefois, l'équipement de 2500m² de toiture est envisageable (hypothèse d'une couverture de la moitié de la superficie totale des toitures, équivalent à 1 pan sur 2 et d'une exposition nord-sud). Un tel équipement correspondrait à une puissance crête de 450 kWc, soit un productible théorique de 535 MWh/an. Cette énergie pourrait être revendue directement sur le réseau, ou servir à la fourniture d'électricité pour les autres bâtiments de la zone (autoconsommation collective).



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

4.4.4 Analyses énergétique et environnementale du concept

Le concept a été analysé d'un point de vue énergétique et a été comparé à des solutions de référence telles que le gaz et le fioul. La consommation d'énergie finale prend en compte les rendements des équipements (pompe à chaleur, chaudière gaz, chaudière fioul). Le tableau ci-dessous propose une synthèse des résultats.

L'ensemble des hypothèses prises sur les équipements (rendement de production, COP, rendement de distribution, etc.) et sur les énergies (coefficient d'énergie primaire et facteur d'émission) pour cette analyse des impact environnementaux est précisée en annexe 0.

Comparatif ferme	Consommation énergie finale	Consommation énergie primaire	Émissions eq. CO2	Aides	Émissions GES évitées / Gaz
Fioul	22 453 kWh/an	22 453 kWhep/an	7.3 t/an	Non	2.2 t/an
Gaz	22 453 kWh/an	22 453 kWhep/an	5.1 t/an	Non	0 – Solution de référence
Concept BG : PAC capteurs horizontaux	5 108 kWh/an	11 749 kWhep/an	0.4 t/an	Oui / acquéreur	-4.7 t/an

Figure 30 : Indicateurs énergétiques et environnementaux du scénario BG et des scénarios de référence, pour la zone de la ferme.

4.4.5 Analyse des résultats du concept

Le concept BG proposé répond favorablement sur les deux axes d'analyse, ce qui confirme qu'il s'agit bien d'une solution avantageuse.

4.4.6 Avantages et Inconvénients du concept

Avantages :

- Utilisation de production de chauffage à bas niveau d'énergie
- Optimisation des puissances de production dans chaque domaine par l'utilisation des ressources d'énergies renouvelables du site (géothermie et solaire).
- Contrôle de l'ambiance de chaque pièce.
- Contrôle de la ventilation de chaque zone.
- Gestion technique globalisée pour le site permettant une exploitation de qualité
- Bon compromis technico/économico/environnemental
- Coût d'approvisionnement maîtrisé (consommation réduite d'électricité pour une énergie durable)

Inconvénients :

- Un appoint électrique pour la production d'eau chaude sanitaire reste nécessaire. Cela reste néanmoins une part faible dans la consommation électrique globale de ce groupe de bâtiments, avec un investissement modéré (compter entre 500 à 1000€ suivant les modèles de ballon thermodynamique).
- Investissement financier important pour l'implantation des capteurs horizontaux



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

4.4.7 Estimation financière de la solution

Une estimation des coûts d'investissement, d'exploitation et d'approvisionnement (P1, P2, P3, P4) a été menée pour la partie thermique du concept énergétique (chauffage, ECS, rafraîchissement). Les résultats sont proposés dans le tableau ci-dessous. Le coût global du concept est exprimé en €/MWh_{thermique} (au prix de l'énergie de 2020). L'ensemble des hypothèses prises en compte pour ce chiffrage est exposé en annexe 7.3.

	Coût absolu	Coûts annualisés			Coût global
	Investissement absolu TTC (k€) *	P1 - Coût d'approvisionnement (k€/an)	P2 - Coût d'exploitation (k€/an)	P3 & P4 - Coût d'investissement et de renouvellement des équipements (k€/an)	Prix de revient du MWh TTC - 2020 (€/MWh)
Chauffage + ECS + rafraîchissement (capteurs géothermiques horizontaux)	43 k€	1 k€/an	1 k€/an	2 k€/an	161 €/MWh

* aides financières non-comprises (justification, partie 4.1.8)

Figure 31 : Estimation du coût du concept préconisé pour la partie Ferme



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

5. Approvisionnement en électricité photovoltaïque de la zone d'étude

Les concepts énergétiques présentés pour les 4 zones comprennent pour certains une installation de panneaux photovoltaïques en toiture des bâtiments. L'idée est de maximiser l'équipement des toitures en solaire PV, lorsque la situation le permet. Une hypothèse de couverture de 50% de la surface des toitures a été prise. Le tableau ci-dessous détaille le mode de valorisation (revente de la totalité de l'électricité produite sur le réseau, ou autoconsommation) pour l'énergie produite :

	Surface de toiture cible	Puissance crête correspondante	Energie théoriquement produite	Électricité spécifique couverte par le réseau	Électricité spécifique couverte par le PV	Taux d'autoconsommation **
Cas 1 : Revente totale de la production	3 300 m ²	594 kWc	706 MWh	2 725 MWh	0 MWh	0 %
Cas 2 : Autoconsommation*	3 300 m ²	594 kWc	706 MWh	2 019 MWh	706 MWh	26 %

* sans revente du surplus (la totalité de l'énergie est autoconsommée, à l'échelle du projet)

** à l'échelle de l'ensemble des zones

Figure 32 : Résultats énergétiques de l'étude de valorisation photovoltaïque à l'échelle de l'ensemble de la zone d'étude.

Dans le cas de l'autoconsommation, il a été considéré que l'énergie générée par l'équipement de la toiture de la ferme peut être utilisée pour la couverture des besoins en électricité des autres bâtiments.

En effet, la toiture de la ferme (toiture des serres) est potentiellement très intéressante pour un équipement en solaire photovoltaïque, bien que les besoins en électricité de cette zone précise soient faibles. Le gisement reste important et il apparaît donc pertinent d'alimenter les autres zones du domaine en autoconsommation pour les raisons suivantes :

- Les besoins en électricité spécifique à l'échelle de toute la zone sont bien plus importants que le productible totale sur une année. Ceci permet de valoriser chaque kWh solaire produit et de compléter ces besoins avec un achat d'électricité sur le réseau.
- Il y'a une certaine corrélation entre l'évolution de l'occupation sur l'année et celle de la production photovoltaïque estimée : importante en été et moindre en hiver.
- En cas de production excédentaire par rapport aux besoins en électricité spécifiques (peu probable d'après les 2 points précédents), l'électricité photovoltaïque produite peut être valorisée en alimentant les équipements de production thermique, notamment les pompes à chaleur (concepts de géothermie sur sondes, capteurs horizontaux, groupes froids aérothermiques).

ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

Le tableau ci-dessous expose l'ensemble des coûts pour les 2 options de valorisation, ainsi que le temps de retour sur investissement par rapport à une alimentation classique par le réseau électrique :

	Coût absolu	Coûts annualisés			Coût global	Temps de rentabilité du solaire PV ***
	Investissement absolu TTC	P1 - Coût d'approvisionnement **	P2 - Coût d'exploitation	P3 & P4 - Coût d'investissement et de renouvellement des équipements	Prix de revient du MWh TTC - 2020	
Cas 1 : Revente totale de la production	852 k€	396 k€/an	17 k€/an	34 k€/an	16.39 €/MWh_{él}	16 ans
Cas 2 : Auto-consommation *	852 k€	345 k€/an	17 k€/an	34 k€/an	14.52 €/MWh_{él}	7 ans

* sans revente du surplus (la totalité de l'énergie est autoconsommée, à l'échelle du projet)

** revente de l'énergie sur le réseau prise en compte

*** Temps nécessaire à la rentabilité par rapport à une solution de référence, type "alimentation totale par le réseau". Une hypothèse d'évolution du coût de l'énergie électrique est prise en compte

Figure 33 : Résultats économiques de l'étude de valorisation photovoltaïque à l'échelle de l'ensemble de la zone d'étude.

L'ensemble des hypothèses prises en compte pour cette estimation sont présentées en annexe 7.3.. Avec une hypothèse d'évolution du coût de l'électricité (+4.6% /an), l'autoconsommation permet une moindre sollicitation du réseau donc assure un profit plus rapide comparé à la revente totale de la production sur le réseau (tarif de rachat fixe sur 20ans). Le temps à partir duquel l'utilisateur est bénéficiaire par rapport à une solution de référence, est donc plus court dans le 2^e cas (7ans contre 16 ans). La figure ci-dessous explicite le solde financier (dépenses – recettes) annuel cumulé pour le cas 1(orange), le cas 2 (gris) et le scénario de référence (bleu). Le temps de rentabilité est considéré au croisement entre la courbe grise ou orange avec la courbe bleue. Les coûts mentionnés sont annualisées (k€/an) et concerne les P1, P2, P3 et P4.

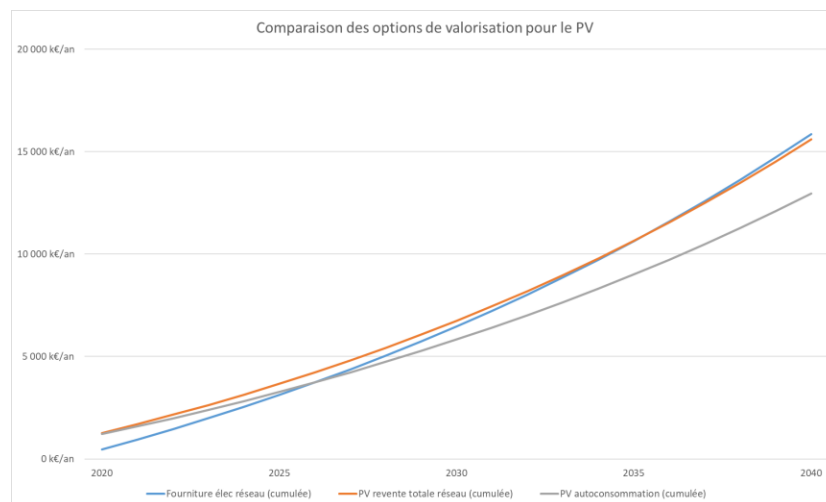


Figure 34 : Dépenses cumulées (k€/an) des 2 concepts de valorisation de l'énergie photovoltaïque et du scénario de référence (alimentation réseau électrique).

Enfin, compte tenu de la puissance globale cumulée de l'ensemble des installations, l'évaluation environnementale globale prévue pour le projet du Domaine des Pommereaux visera également l'item 30 du tableau annexé à l'article R.122-2 du code de l'environnement (production d'électricité à partir de l'énergie solaire), même si cette activité n'est soumise, seule, qu'à demande d'examen au cas par cas.



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

6. Synthèse du projet

Cette étude a pour finalité de présenter un concept énergétique optimal pour chaque typologie de bâtiments du périmètre d'étude. Le tableau ci-dessous est un rappel des concepts retenus et des besoins énergétiques associés (thermiques et électriques) :

Objet		Rafrâichissement	Chauffage	ECS	Électricité (éclairage et ventilation)
Maisons	Concept	Pas de rafraîchissement (possibilité de rafraîchissement direct via géothermie sur capteurs horizontaux)	Géothermie sur capteurs horizontaux	Géothermie sur capteurs horizontaux (Variantes : capteurs solaires thermiques ou ballons électrique)	Réseau
	Besoin	0 kWh	1 708 306 kWh	605 507 kWh	1 569 378 kWh
Hameau	Concept	Géothermie sur sondes verticales avec complément aérothermique	Géothermie sur sondes verticales	Capteurs solaires thermiques	Panneaux solaires photovoltaïques + réseau
	Besoin	299 972 kWh	419 736 kWh	313 564 kWh	966 518 kWh
Centre Équestre	Concept	Groupes d'eau glacée	Chaufferie à bois granulés	Chaufferie à bois granulés	Panneaux solaires photovoltaïques + réseau
	Besoin	62 970 kWh	96 542 kWh	42 353 kWh	183 018 kWh
Ferme	Concept	Rafrâichissement direct ou par PAC réversible via géothermie sur capteurs horizontaux	Géothermie sur capteurs horizontaux	Géothermie sur capteurs horizontaux	Panneaux solaires photovoltaïques + réseau
	Besoin	5 000 kWh	17 696 kWh	1 501 kWh	6 253 kWh
TOTAL Scénario BBC / BG		367 942 kWh	2 242 280 kWh	962 925 kWh	2 725 166 kWh
		368 MWh	2 242 MWh	963 MWh	2 725 MWh

Figure 35 : Synthèse des concepts proposés et des besoins énergétiques à couvrir



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

Une estimation financière a été réalisée pour chaque zone. Le tableau ci-dessous résume le coût des solutions et le coût global des concepts.

Objet	Concept	Coût absolu	Coûts annualisés			Coût global
		Investissement absolu TTC (k€)	P1 - Coût d'approvisionnement (k€/an)	P2 - Coût d'exploitation (k€/an)	P3 & P4 - Coût d'investissement et de renouvellement des équipements (k€/an)	Prix de revient du kWh TTC - 2020 (€/MWh) *
Maisons	Chauffage + ECS (capteurs géothermiques horizontaux)	13 748 k€	105 k€/an	300 k€/an	617 k€/an	442 €/MWh
Hameau	Chauffage + rafraîchissement (sondes géothermiques verticales)	699 k€	23 k€/an	16 k€/an	33 k€/an	127 €/MWh
	Rafraîchissement complément (aérothermie)	141 k€	8 k€/an	4 k€/an	9 k€/an	
	ECS (solaire thermique)	625 k€	0 k€/an	6 k€/an	31 k€/an	
Centre Équestre	Chauffage + ECS (chaufferie bois-plaquettes)	110 k€	3 k€/an	5 k€/an	4 k€/an	114 €/MWh
	Rafraîchissement (groupe d'eau glacée)	68 k€	3 k€/an	2 k€/an	5 k€/an	
Ferme	Chauffage + ECS + rafraîchissement (capteurs géothermiques horizontaux)	43 k€	1 k€/an	1 k€/an	2 k€/an	161 €/MWh
TOTAL Scénario BBC / BG		15 435 k€	144 k€/an	335 k€/an	702 k€/an	331 €/MWh

* Il s'agit du prix de revient pour l'approvisionnement thermique (usages : chauffage, ECS, rafraîchissement), l'approvisionnement de l'électricité spécifique n'est pas comprise.

Figure 36 Synthèse de l'estimation financière des concepts

Les concepts ont été définis pour tendre vers les objectifs suivants :

- Privilégier les énergies renouvelables locales (géothermie capteurs ou sondes, solaire thermique)
- Minimiser la consommation d'énergie primaire
- Réduire les émissions de GES induites par rapport à une solution classique (gaz – fioul)
- Limiter les coûts d'investissement des solutions
- Tenir compte des contraintes physiques et réglementaires propres à chaque zone pour le choix des solutions.



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

- Limiter la sollicitation du réseau électrique et ainsi les coûts d'approvisionnement (l'électricité étant une énergie coûteuse, avec une augmentation du prix de kWh attendue ces prochaines années).

L'énergie solaire photovoltaïque (non-incluse dans ce calcul des coûts) est intéressante à développer avec une surface potentielle estimée à 3 300 m² de panneaux. Pour une valorisation de la production par autoconsommation, le temps de retour sur investissement est estimé à 7 ans par rapport à une alimentation classique par le réseau.



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

7. Annexe

7.1 Annexe 1 : Données utilisées pour le calcul des besoins

	Logement	Bureaux / tertiaires	Équipements publics	Commerce	Loisirs / Restauration	Tertiaire / Administratif / Hôtel	Piscine / Sauna
Besoins Chauffage	16.6	16.6	16.6	16.6	43.2	16.6	66.4
Besoins ECS	6.1	1.8	3.7	1.8	34.2	6.1	91.5
Total Chauffage et Eau chaude sanitaire	22.7	18.4	20.3	18.4	77.3	22.7	157.9
Besoins électricité (éclairage, auxiliaires)	12.2	30.5	12.2	18.3	76.3	48.8	30.5
Besoins électricité ventilation	3.1	6.1	3.1	6.1	18.3	6.1	18.3
Total Électricité	15.3	36.6	15.3	24.4	94.6	54.9	48.8
Besoins rafraîchissement	12.0	26.0	22.0	26.0	50.0	12.0	0.0
Total des besoins	50.0	81.0	57.5	68.8	221.9	89.6	206.7

L'ensemble des valeurs du tableau ci-dessus sont exprimées en kWh/m²/an



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

7.2 Annexe 2 : Données utilisées pour les analyses environnementales

	Chaudière Gaz	Chaudière Fioul	Chaudière bois granulés	PAC capteurs horizontaux chauffage	PAC capteurs horizontaux ECS	PAC sondes verticales chauffage	PAC sondes verticales ECS	ECS électrique
COP	/	/	/	4.00	3.50	4.00	3.50	/
Rendement distribution	0.95	0.95	0.90	0.95	0.95	0.90	0.95	0.90
Rendement production	0.95	0.95	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90
Ratio de conversion en énergie primaire (= $E_{\text{primaire}}/E_{\text{finale}}$)	1.00	1.00	1.00	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
Transformation. Combustible	0.10 m ³ /kWh PCI	0.10 l/kWh	0.213 kg/kWh PCI	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Facteur d'émission (amont et combustion) (kgCO ₂ éq/kWh)	0.227	0.324	0.017	0.079	0.079	0.079	0.079	0.079



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

7.3 Annexe 3 : Données utilisées pour les analyses financières

Équipements	Ratio de coûts d'investissement	Justification / Source	Taux d'intérêt	Amortissement	Coût d'exploitation (% invest.)
Équipements de production de chaleur					
Chaudière bois < 500 kW	1 310 €/kW	Source : Coûts énergies renouvelables et de récupération en France, Donnée 2019, ADEME, 2020	3.0%	25 ans	5%
Chaudière bois entre 500 et 1000 kW	1 120 €/kW		3.0%	25 ans	5%
Chaudière bois entre 1000 et 3000 kW	1 020 €/kW		3.0%	25 ans	5%
Chaudière bois > 3000 kW	700 €/kW		3.0%	25 ans	5%
Équipements de production de chaleur et de froid					
PAC Eau/eau <150 kW	650 €/kW	Source : REX BG	3.0%	15 ans	3%
PAC Eau/eau entre 150 et 500 kW	550 €/kW				
PAC Eau/eau > 500kW	500 €/kW				
PAC Aérothermie <150 kW	800 €/kW		3.0%	15 ans	3%
PAC Aérothermie entre 150 kW et 500 kW	700 €/kW				
PAC Aérothermie >500 kW	650 €/kW				
Équipements de production de froid					
Groupe froid <150 kW	700 €/kW	Source : REX BG	3.0%	15 ans	3%
Groupe froid entre 150 et 500 kW	600 €/kW				
Groupe froid >500 kW	550 €/kW				
Géothermie					
Sondes géothermiques - capteur vertical	90 €/ml	Source : REX BG	3.0%	25 ans	2%
Sondes géothermiques - capteur horizontal	15 €/ml	Uniquement équipements (tubes) + pose (pompe à chaleur non incluse).	3.0%	25 ans	2%
Solaire thermique et photovoltaïque					
Panneaux solaire PV - résidentiel (3kWc - IAB)	550 €/m ²	CAPEX (ensemble du système) en €/kWc TTC - hypothèse : modules polySi de rendement 18% pour le coût en €/m ² Source : Coûts énergies renouvelables et de récupération en France, Donnée 2019, ADEME, 2020	3.0%	25 ans	2%
Panneaux solaire PV - résidentiel (3kWc - surimposé)	380 €/m ²		3.0%	25 ans	2%
Panneaux solaire PV - résidentiel (9kWc - IAB)	350 €/m ²		3.0%	25 ans	2%
Panneaux solaire PV - résidentiel (9kWc - surimposé)	330 €/m ²		3.0%	25 ans	2%
Panneaux solaire PV - moyennes toitures (36-100kWc)	210 €/m ²		3.0%	25 ans	2%
Panneaux solaire PV - toitures, ombrières (100-500kWc)	210 €/m ²		3.0%	25 ans	2%
Panneaux solaire PV - toitures, ombrières (500-2000kWc)	210 €/m ²		3.0%	25 ans	2%
Solaire thermique - individuel (CESI ou SSC)	1 130 €/m ²		Source : Coûts énergies renouvelables et de récupération en France, Donnée 2019, ADEME, 2020	3.0%	20 ans
Solaire thermique collectif - réseau de chaleur	980 €/m ²		3.0%	20 ans	1%
Ballon électro-accumulation	250 €/kW	Source : BG, entre 600 et 900€ pour entre 100 et 300L	3.0%	20 ans	1%

Figure 37 : Ratio économiques pour l'estimation des investissements des solutions



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

Hypothèses - Prix des énergies	Prix actuel (2020)	Hypothèse d'évolution (%/an)
prix du gaz	0.0520 €/kWh	+ 2.79%
prix du bois	0.0232 €/kWh	+ 2.46%
prix de l'électricité réseau	0.1707 €/kWh	+ 4.58%

Figure 38 : Prix des énergies et évolution prospective. Source : Ministère de la Transition énergétique et solidaire.

Hypothèses - Energie photovoltaïque	Vente totale	Autoconsommation	
	Obligation d'achat (20 ans)	Revente du surplus	Prime d'autoconsommation (uniquement si revente du surplus)
<3 kWc	0.1853 €/kWh	0.10 €/kWh	390 €/kWc installé
<9 kWc	0.1575 €/kWh	0.10 €/kWh	290 €/kWc installé
< 36 kWc	0.1207 €/kWh	0.06 €/kWh	180 €/kWc installé
< 100 kWc	0.1051 €/kWh	0.06 €/kWh	90 €/kWc installé
>100kWc	0.0965 €/kWh		0 €/kWc installé
>500kWc	0.0862 €/kWh		0 €/kWc installé

Figure 39 : Tarif de vente de la production photovoltaïque au 1^{er} trimestre 2020. Source : CRE



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

7.4 Liste des Figures

Figure 1 : Extrait du plan de masse général au 10/12/2019. Source : SANEO - numéro AME-APS-GEN-001	3
Figure 2 : Hypothèses climatiques prises en compte pour cette étude. Source : Météorologie Nationale, station d'Orléans.....	4
Figure 3 : Profil d'occupation annuel pris en compte pour l'estimation des besoins.....	4
Figure 4 : Bilan des ressources énergétiques renouvelable au voisinage du projet.....	8
Figure 5 : Évolution du concept énergétique pour la zone Villas	10
Figure 6 : Évolution du concept énergétique pour la zone Hameau	11
Figure 7 : Évolution du concept énergétique pour la zone Centre équestre	12
Figure 8 : Évolution du concept énergétique pour la zone Ferme	13
Figure 9 : Besoins thermiques et électriques (total et par type de villas) pour le secteur villas.	15
Figure 10 : Préconisation pour la mise en place d'un système de capteurs géothermiques horizontaux.....	16
Figure 11 : Ballon ECS électrique.....	17
Figure 12 : Principe de l'échangeur de chaleur.....	17
Figure 13 : Exemple d'interface utilisateur tactile pour la domotique, logiciel MyVera	18
Figure 14 : Indicateurs énergétiques et environnementaux du scénario BG et des scénarios de référence, pour la zone des villas	18
Figure 15 : Résultat du dimensionnement et éléments de chiffrage pour le déploiement de panneaux photovoltaïque pour la couverture des besoins en électricité du site.....	20
Figure 16 : Estimation du coût du concept préconisé pour la partie villas.....	21
Figure 17 : Détail du chiffrage par type de villas pour le scénario de base.....	22
Figure 18 : Besoins thermiques et électriques (total et par complexe) pour le secteur Hameau-Bourg-Complexe hôtelier	23
Figure 19 : Schéma de principe d'une installation solaire avec appoint.....	25
Figure 20 : Centrale de traitement d'air avec échangeur rotatif 85 %	25
Figure 21 : Principe de la centrale double flux avec récupération d'énergie	26
Figure 22 : Exemple d'interactions entre les interfaces-utilisateur, capteurs et actionneurs dans une pièce de vie. Source : KNX 2018, eConfigure - logiciel KNX lite.....	27
Figure 23 : Indicateurs énergétiques et environnementaux du scénario BG et des scénarios de référence, pour la zone Hameau-Bourg-Complexe hôtelier.....	28
Figure 24 : Estimation du coût du concept préconisé pour la partie Hameau-bourg-hôtel	29
Figure 25 : Besoins thermiques et électriques (total et par bâtiment/pièce) pour le secteur Centre équestre.....	30
Figure 26 : Schéma avec plusieurs sondes géothermiques	31



ETUDE ÉNERGÉTIQUE - PHASE APS

Figure 27 : Indicateurs énergétiques et environnementaux du scénario BG et des scénarios de référence, pour la zone Centre équestre.....	32
Figure 28 : Estimation du coût du concept préconisé pour la partie Centre équestre	33
Figure 29 : Besoins thermiques et électriques pour le secteur de la ferme.....	34
Figure 30 : Indicateurs énergétiques et environnementaux du scénario BG et des scénarios de référence, pour la zone de la ferme.	36
Figure 31 : Estimation du coût du concept préconisé pour la partie Ferme	37
Figure 32 : Résultats énergétiques de l'étude de valorisation photovoltaïque à l'échelle de l'ensemble de la zone d'étude.....	38
Figure 33 : Résultats économiques de l'étude de valorisation photovoltaïque à l'échelle de l'ensemble de la zone d'étude.....	39
Figure 34 : Dépenses cumulées (k€/an) des 2 concepts de valorisation de l'énergie photovoltaïque et du scénario de référence (alimentation réseau électrique)	39
Figure 35 : Synthèse des concepts proposés et des besoins énergétiques à couvrir	40
Figure 36 Synthèse de l'estimation financière des concepts	41
Figure 37 : Ratio économiques pour l'estimation des investissements des solutions.....	45
Figure 38 : Prix des énergies et évolution prospective. Source : Ministère de la Transition énergétique et solidaire.	46
Figure 39 : Tarif de vente de la production photovoltaïque au 1 ^{er} trimestre 2020. Source : CRE	46