Projet de domaine Center Parcs
Le Rousset / Saône-et-Loire

17-06-2015

Groupe Pierre & Vacances CenterParcs

Etude d'opportunité pour l'approvisionnement énergétique

Réf	Date	Auteur
V1	27/05/2015	ELAN
V2	03/06/2015	ELAN
V3	05/06/2015	ELAN
V4	11/06/2015	ELAN
V5	17/06/2015	ELAN

ELAN
1, avenue Eugène Freyssinet
78061 SAINT-QUENTIN-EN-YVELINES cedex
Tél +33(0)1 30 60 22 92 / Fax +33(0)1 30 60 56 23

ELAN

Sommaire

1. Introduction 3
2. Contexte réglementaire 5
3. Estimation des consommations énergétiques 6
A/ Estimation pour les Cottages 6
B/ Estimation pour les Equipements 6
4. Synthèse des hypothèses retenues 7
A/ Récapitulatif des consommations estimées 7
B/ Définition des systèmes pressentis 7
5. Analyse des différentes ressources renouvelables 8
A/ Energie solaire thermique 8
a) Etude 8
b) Tableau récapitulatif 9
B/ Energie solaire photovoltaïque 9
a) Etude 10
b) Tableau récapitulatif 10
C/ Energie éolienne 11
a) Etude 11
b) Conclusion énergie éolienne 12
D/ Récupération de chaleur des eaux usées 13
a) Etude 14
b) Tableau récapitulatif 15
E/ Chauffe-eau thermodynamique 16
F/ Opportunité de mise en place d'un réseau de chaleur 17
a) Etude 17
b) Conclusion réseau de chaleur 18
G/ Approvisionnement en chaleur du cœur de village 19
a) Biomasse 19
b) Géothermie 20
c) La cogénération (production combinée de chaleur et d'électricité) 21
d) Usine d'Incinération d'Ordures Ménagères (UIOM) 21
e) Méthaniseur 21
6. Sélection des variantes 22
A/ Synthèse 22
B/ Variantes retenues 24
7. Résultats de l'étude 25
A/ Tableau de synthèse des résultats 25
B/ Analyse en coût global 26
8. Conclusion 27

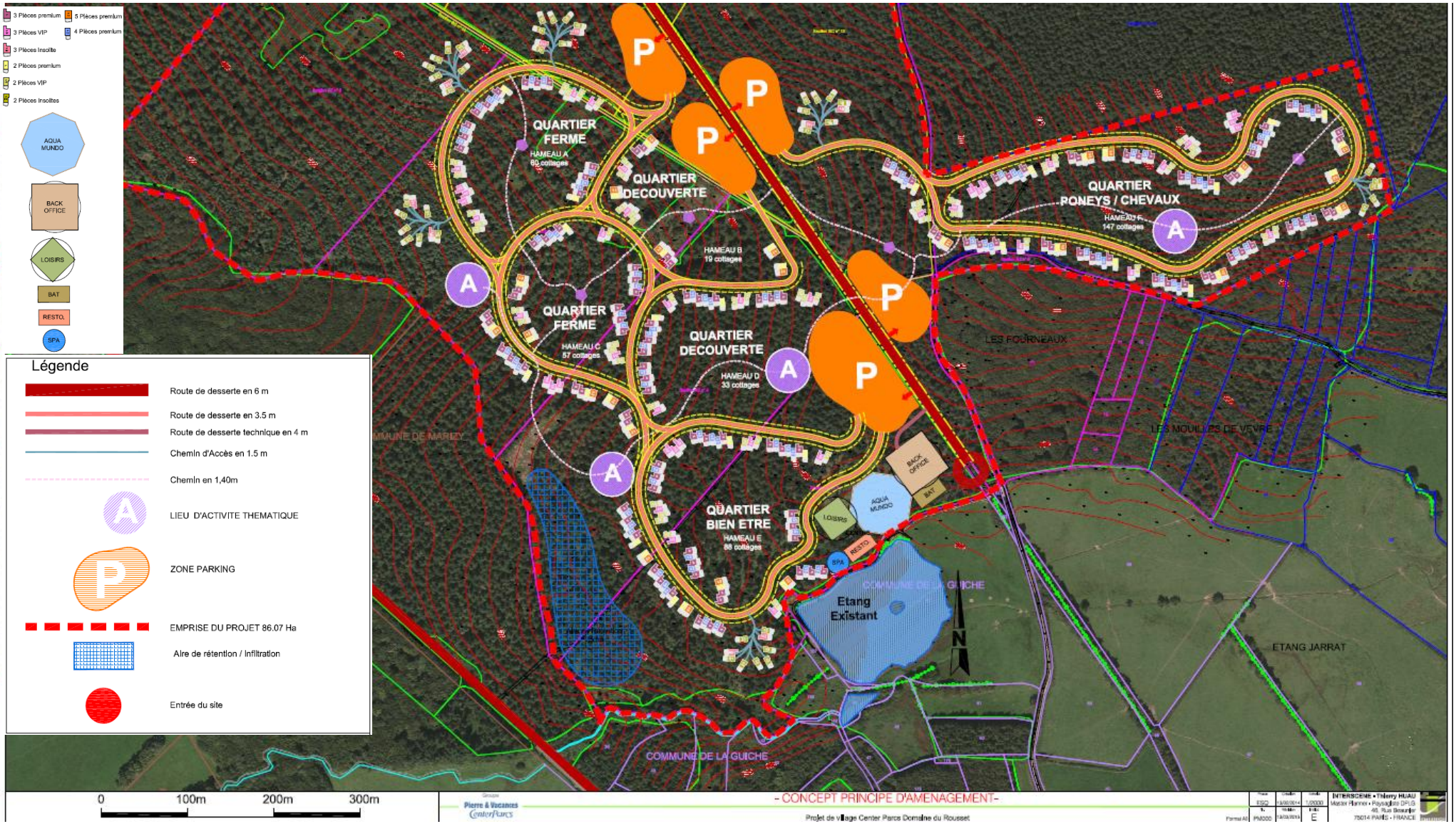
1. Introduction

Le groupe Pierre&Vacances Center Parcs souhaite implanter un Center Parcs de nouvelle génération, c'est-à-dire de taille moyenne, dans la commune du Rousset en Saône-et-Loire. Ce Center Parcs de taille réduite prévoit la réalisation d'environ 400 cottages de 40 à 98m² habitables et un cœur de village d'environ 12 000 m², comprenant services et équipements de loisirs variés. Le projet visera la certification HQE@ et présentera donc un objectif énergétique RT2012-10%.

Une démarche de concertation des différentes parties intéressées a été initiée pour cette opération, donnant lieu à la tenue de débats publics. Dans ce contexte et afin d'alimenter les débats à venir, Pierre&Vacances Center Parcs a souhaité réaliser une pré-étude de faisabilité permettant d'évaluer les opportunités en énergie renouvelable du site.

Ainsi, ce rapport présente une étude d'opportunité en énergie renouvelable, établie selon la méthode définie par l'arrêté du 18 décembre 2007 relatif aux études de faisabilité des approvisionnements en énergie pour les opérations de construction de bâtiments dont la surface est supérieure à 1000 m² en France métropolitaine. Le contexte réglementaire précis est présenté dans le paragraphe suivant.

Le plan d'aménagement de référence, pris en compte est présenté ci-dessous, correspond aux premières intentions définies pour le site. Ce plan sera amené à évoluer suivant les opportunités identifiées et les échanges tenus, mais apporte dans un premier temps une base de travail pour la présente étude.



Premières intentions d'aménagement prises comme référence pour la présente étude

2. Contexte réglementaire

➢ **Etude de faisabilité technique et économique d'approvisionnement en énergie**

Depuis le 1er janvier 2008, le Maître d'Ouvrage d'une opération de construction de surface de plancher supérieure à 1000 m² doit réaliser, avant le dépôt du permis de construire, une étude de faisabilité technique et économique des diverses solutions d'approvisionnement en énergie de la construction (art L .111-9 du code de la construction et de l'habitation introduit par la loi du 13 juillet 2005).

Le maître d'ouvrage doit dans ce cadre :

- choisir un système parmi ceux définis ci-après ou un autre système d'approvisionnement en énergie. Le projet de bâtiment équipé du système choisi est appelé système pressenti au sens du présent arrêté. Les projets de bâtiments équipés des autres systèmes définis ci-après sont alors appelés variantes ;
- réaliser une étude de faisabilité technique et économique comparant le système pressenti aux variantes suivantes, éventuellement combinées :
  - les systèmes solaires thermiques ;
  - les systèmes solaires photovoltaïques ;
  - les systèmes de chauffage au bois ou à biomasse ;
  - les systèmes éoliens ;
  - le raccordement à un réseau de chauffage collectif à plusieurs bâtiments ou urbain ;
  - les pompes à chaleur géothermiques ;
  - les autres types de pompes à chaleur ;
  - les systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité.

Si une variante n'est pas envisageable, du fait notamment de l'indisponibilité de la ressource à proximité, l'étude le justifiera.

➢ **Rappel concernant la RT 2012 :**

La RT 2012 est applicable à toutes les constructions neuves depuis le 01 janvier 2013

- La RT2012 fixe des exigences en termes de besoins et de consommations

Exemple d'exigence RT2012 pour un cottage moyen de 70 m² (6 personne) sur le site du Rousset :

Bbio max =	**85**	**kWh/m².an**
Cep max =	**70**	**kWhep/m².an**

- La RT2012 fixe des exigences en termes de moyens
  - Obligation de recours à une énergie renouvelable pour les logements individuels, au choix :
    - Solaire thermique pour l'Eau Chaude Sanitaire (noté ECS pour la suite du document)
    - Réseau de chaleur alimenté avec plus de 50% d'Energies Renouvelables (noté ENR pour la suite du document)
    - ECS produite par un système thermodynamique performant
    - 5 kWhhep/m².an d'ENR à minimum
  - Traitement des ponts thermiques (rupteur pour les nez de dalle ou ITE)
  - Accès à l'éclairage naturel (1/6 de la SHAB du logement)
  - Traitement de l'étanchéité à l'air (Q4 Pa-surf <= 1 m3/h/m²).

3. Estimation des consommations énergétiques

Afin d'évaluer la pertinence de recours aux différentes énergies renouvelables existantes, il est nécessaire dans un premier temps d'évaluer les besoins énergétiques engendrés par le projet.

Les consommations prises en référence dans l'étude sont des estimations des consommations (incluant tous les postes de consommation).
Les données sont issues du DMO du Rousset et de différentes estimations faites par Pierre&Vacances Center Parcs ; ELAN ne peut garantir l'exactitude de ces hypothèses, et elles ne doivent pas être considérées comme une prévision des futures consommations réelles du concept de Center Parcs Nouvelle Génération.

Les consommations d'énergie annoncées pour les besoins de chaleur (gaz et biomasse) sont données en kWh PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur).

A/ Estimation pour les Cottages

Pour les besoins de l'étude, ELAN a réalisé une estimation des consommations d'ECS en s'appuyant sur les résultats du calcul RT 2012 des cottages du Center Parcs de la Vienne. Ce poste de consommation faisant partie des consommations électriques des cottages, en raison de l'hypothèse de la production par ballon thermodynamique sur l'air extrait VMC.

kWh/an Energie finale environ 400 cottages	**Chauffage** (kWh PCI)	**ECS** **PAC VMC**	**Autres consommations électriques**	**TOTAL**
Consommation retenue pour l'étude des "Mid Size"	2 912 346	260 465	1 439 535	**4 612 346**
Répartition en %	63%	6%	31%	100%
Type d'énergie	Gaz	Electricite	Electricite	

Consommations des cottages retenues comme hypothèses pour l'étude

B/Estimation pour les Equipements

Concernant le cœur de village (partie Equipements), le projet est encore peu précis à ce sujet, mais les hypothèses retenues sont les suivantes :

kWh/an Energie finale Equipements de 12 000 m²	**Electricité**	**Gaz** (kWh PCI)	**Bois** (kWh PCI)	**TOTAL**
Consommation retenue pour l'étude des "Mid Size"	4 750 000	2 524 000	14 360 357	**21 634 357**
Répartition en %	22%	12%	66%	100%

Consommations du cœur de village retenues comme hypothèses pour l'étude

4. Synthèse des hypothèses retenues

A/ Récapitulatif des consommations estimées

Notamment en vue de l'étude d'opportunité de mise en œuvre d'un réseau de chaleur, le tableau ci-dessous présente les besoins et puissances estimés pour chacun des sous-ensembles du Center Parcs (version provisoire pris pour base dans la présente étude) :

Estimation des consommations et puissance de chaud par sous-ensemble du parc								
Zone	CENTRE	Hameau A	Hameau B	Hameau C	Hameau D	Hameau E	Hameau F	**Total**
Nb Cottage	-	60	19	57	33	88	147	**404**
Consommation ELEC (kWhef/an)	4 750 000	255 000	80 750	242 250	140 250	374 000	624 750	**6 467 000**
Consommations Chaleur (kWhef/an)	16 884 357	436 852	138 336	415 009	240 269	640 716	1 070 287	**19 825 826**
Puissance Chaud nécessaire (kW)	Estimée 3000	168	53	160	92	246	412	**4 131**

Besoins et puissances par sous-ensemble, retenus comme hypothèses pour l'étude

De même que les estimations de consommations, les puissances de chauffage annoncées dans le tableau ci-dessous ne sont pas à considérer comme définitives.
Celles-ci sont issues de ratio communément admis pour les maisons individuelles en RT 2012 ; les puissances devront être déterminées précisément lors des phases ultérieures de conception du projet.

B/ Définition des systèmes pressentis

Les systèmes pressentis par le maître d'ouvrage et pris pour référence dans l'étude sont les suivants :

- **COTTAGES :**
  - Chaudière gaz individuelle à condensation pour le chauffage,
  - Chauffe-eau thermodynamique sur l'air extrait de la VMC pour la production d'ECS,
  - Raccordement au réseau ERdF pour les consommations d'électricité : tous postes confondus.

- **EQUIPEMENTS :**
  - Chaufferie commune pour la production de chaleur (chauffage, ECS et équipements nautiques) équipée :
    - Chaudière(s) bois en base,
    - Appoint et secours par chaudières gaz,
  - Raccordement au réseau ERdF pour les consommations d'électricité : tous postes confondus

5. Analyse des différentes ressources renouvelables

A/ Energie solaire thermique

Un chauffe-eau solaire fonctionne grâce à l'énergie récupérée par les panneaux solaires. L'énergie captée est absorbée par un fluide caloporteur qui restitue la chaleur dans un ballon d'eau chaude. Le ballon stocke l'eau chaude pour la restituer en fonction de l'utilisation. Le chauffe-eau solaire permet ainsi de couvrir un pourcentage non négligeable des besoins en eau chaude sanitaire d'un logement et de réaliser des économies sur l'énergie nécessaire à ce poste.

Exemple de panneaux solaires thermiques en toiture terrasse – tubes sous vide.

Des panneaux solaires thermiques permettraient de fournir une partie de l'eau chaude sanitaire (ECS) et ainsi engendrer des économies sur l'énergie nécessaire à ce poste. Etant donnée la surface disponible en toiture, **une étude de cette variante semble pertinente pour les cottages**. Concernant les équipements, les besoins en ECS y sont trop importants et représenteraient une contrainte rédhibitoire : **cette variante n'a pas été étudiée pour alimenter le cœur de village**.

a) Etude

Comme indiqué ci-dessus, l'étude a été menée à l'échelle des cottages et non pour le cœur de village.
L'éloignement des cottages par rapport aux arbres (forêt) laisse espérer un impact minime sur l'ensoleillement des toitures.

Les **données météorologiques** utilisées pour l'étude sont celles de la ville de Chalon-sur-Saône du fait de sa proximité à la ville du Rousset. L'ensemble des calculs seront basés sur une **occupation annuelle moyenne de 4,375 habitants par cottage**, définie dans le document de présentation du projet (DMO du Rousset).

Sur la base des premières intentions d'aménagement, il a été défini que **48% des cottages sont orientés Nord/sud, 52 % Est/Ouest**.
Dans le cas d'une orientation Nord du pan de toit, il sera possible de positionner les panneaux en surtoiture à l'aide d'une structure complémentaire.

Les **hypothèses retenues en termes de consommations d'eau** correspondent à une consommation journalière de 120 litres d'eau mitigée par personne et par jour, soit l'équivalent de 50 litres d'eau à 60°C qui seront stockés dans un ballon bi-énergie de 300 litres.

Les calculs d'apports solaires ont été envisagés sur la base de deux surfaces nominales de panneaux solaires dans le but de déterminer un optimum de surface à installer. La synthèse des calculs effectués est présentée dans le tableau ci-après.

b) Tableau récapitulatif

Besoin ECS journalier [l/j]	Inclinaison toiture [°]	Surface de panneau [m²]	Orientation	Besoin annuel [kWh/an]	Apport solaire annuel [kWh/an]	Productivité annuelle [kWh/m².an]	Taux de couverture [%]	Taux de couverture pondéré [%]
525	15	6,78	Nord/Sud	4 203	2 698	398	64,2	62,6
			Est/Ouest		2 571	379	61,2	
		4,52	Nord/Sud		2 207	489	52,5	50,9
			Est/Ouest		2 077	461	49,4	

Synthèse des calculs réalisés avec l'outil TECSOL

La surface de 4,5 m² a été retenue pour l'installation, assurant un taux de couverture de 51 % des besoins d'ECS annuels, et est présentée comme **variante au système pressenti**. Le coût de cette installation, à raison de 388 €/m² de panneaux solaire et de 900 € de ballon d'ECS bi-énergie (prix HT pose comprise), serait de l'ordre de 2 650 €HT par cottage (comparativement au ballon intégrant une PAC sur air extrait, chiffré à 2 400€HT par unité).
Un surcoût de 300 €HT a également été considéré pour les structures en surtoiture (orientation Nord).

B/Energie solaire photovoltaïque

Les modules photovoltaïques transforment le rayonnement solaire en électricité. Ils couvrent une surface variable dont dépend la puissance installée maximale. Un onduleur transforme le courant produit par les modules en courant alternatif 230 volts compatibles pour de l'autoconsommation et/ou avec le réseau de distribution d'électricité.

Ainsi, l'électricité produite est soit consommée immédiatement, soit vendue au distributeur local.

Exemple de toiture photovoltaïque - site industriel

Du fait de l'étalement des cottages sur le site, il semble peu pertinent de les équiper individuellement en panneaux photovoltaïques car les coûts de raccordement seraient alors multipliés.

L'étude porte ici sur les surfaces de parkings qui, si elles étaient entièrement couvertes, représenteraient une surface conséquente et une inclinaison propice à l'installation de panneaux photovoltaïques : 15° par rapport à l'horizontal dans le but de capter au mieux le rayonnement solaire en hiver.

a) Etude

Les données météorologiques utilisées pour l'étude sont celle de la ville de Chalon-sur-Saône du fait de sa proximité avec Le Rousset.

Concernant le calcul de la surface de toiture de parkings disponible, le ratio 1,3 places par cottage, utilisé pour l'étude du Center Parcs de Vienne, a été repris, associé à une dimension de place de parking standard s'élevant à 12,5 m², on obtient alors une surface de 6 500 m² de toiture exploitable.

b) Tableau récapitulatif

Generateur photovoltaique	
Station Meteo	*Chalon sur Saone*
Latitude du lieu	*46 46*
Modules PV	*GOnOrique Si monocristalin (Verre/Tedlar)*
	Puissance 217 Wc Surface unitaire 1,5 m2
Orientation	*0 degres/Sud*
Inclinaison	*15 degres/horizontale*
Surface utile	*6499,5 m2*
Puissance crete	*940,26 kWc*

Mois	*Energie solaire recue plan horizontal Wh/m2.j*	*Energie solaire recue plan des capteurs Wh/m2.j*	*Electricite produite par le systeme kWh/mois*
Janvier	*912*	*1 084*	*24 020*
Fevrier	*1 662*	*1 938*	*38 775*
Mars	*2 939*	*3 311*	*73 346*
Avril	*4 157*	*4 420*	*94 749*
Mai	*4 837*	*4 950*	*109 658*
Juin	*5 629*	*5 689*	*121 963*
Juillet	*5 953*	*6 075*	*134 576*
Aout	*5 058*	*5 328*	*118 025*
Septembre	*3 778*	*4 209*	*90 227*
Octobre	*2 137*	*2 458*	*54 444*
Novembre	*1 159*	*1 380*	*29 591*
Decembre	*790*	*957*	*21 205*
Total energie (kWh/an)			*910 579*
Total CO2 evite (kg/an) ( )			*327 808*
Productivite (kWh/kWc.an)			*968*

Synthèse des calculs de production d'énergie solaire réalisés avec l'outil TECSOL

Au vu de la production mensuelle d'électricité par le système photovoltaïque, et du profil type des consommations observées sur le site des Trois Forets, la demande en électricité du cœur de village seul serait en tout temps supérieure à la production. **De ce fait le raccordement au réseau ou l'utilisation de batteries de stockage n'est pas nécessaire : il semble donc pertinent d'étudier une auto consommation sur le cœur de village, et ainsi réduire à la fois le coût de l'installation photovoltaïque et les coûts d'exploitation annuels. Cette solution est proposée en variante du système pressenti.**

C/ Energie éolienne

Avec une puissance mondiale installée de 370 GW en 2014, l'énergie éolienne est devenue une production majeure d'énergie renouvelable électrique. L'énergie éolienne est produite par des aérogénérateurs qui captent à travers leurs pales l'énergie cinétique du vent et entraînent un générateur qui produit de l'électricité d'origine renouvelable.

Une solution d'éolien « diffus », avec des petits aérogénérateurs à axe vertical implantés sur les cottages, a été étudiée pour le site du Center Parcs de la Vienne (*cf. Etude d'approvisionnement énergétique du Center Parcs Grand Ouest, en date du 05/12/2011*). Cette dernière n'a pas été retenue en raison du concept d'implantation en forêt, qui limite fortement la ressource en vent à faible hauteur, et est donc écartée de la présente étude.

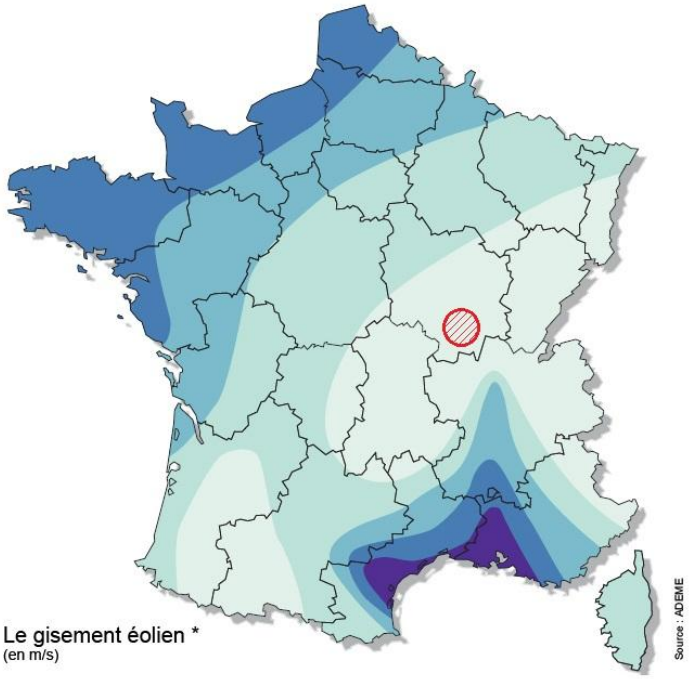
La solution envisagée ici correspond à l'installation d'une, (ou plusieurs) éolienne(s) de grande puissance, de l'ordre de 1 MW environ.

Éoliennes en forêt de Halouze - Basse Normandie

a) Etude

Pour commencer à produire de l'énergie, une éolienne exige une vitesse de vent minimale, dite vitesse de démarrage. Pour la plupart des éoliennes modernes, cette vitesse de vent est de 4 m/s (14,4 km/h). Quand le vent augmente, la production augmente au cube de la vitesse du vent. La vitesse de vent nominale est d'environ 12 m/s (43km/h) pour les éoliennes modernes.

Au vu de la vitesse moyenne du vent présentée ci-contre, et de l'implantation en zone forestière du projet, la production d'énergie éolienne ne sera que très peu efficiente.



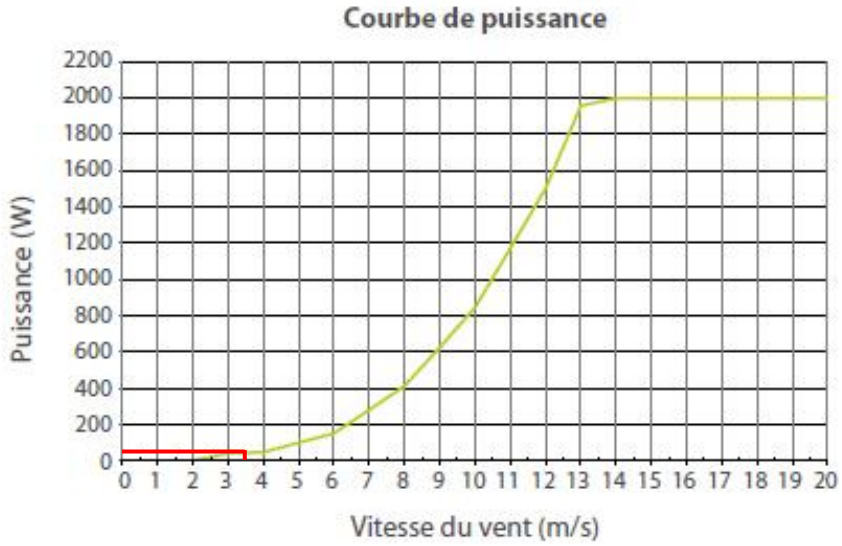
		Bocage dense, bois, banlieue	Rase campagne, obstacles épars	Prairies plates, quelques buissons	Lacs, mer	Crêtes** collines
Zone 1		< 3,5	< 4,5	< 5,0	< 5,5	< 7,0
Zone 2		3,5 - 4,5	4,5 - 5,5	5,0 - 6,0	5,5 - 7,0	7,0 - 8,5
Zone 3		4,5 - 5,0	5,5 - 6,5	6,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,5 - 10
Zone 4		5,0 - 6,0	6,5 - 7,5	7,0 - 8,5	8,0 - 9,0	10 - 11,5
Zone 5		> 6,0	> 7,5	>8,5	> 9,0	>11,5

Zone d'étude

* Vitesse du vent à 50 mètres au dessus du sol en fonction de la topographie
** Les zones montagneuses nécessitent une étude de gisement spécifique.

Gisement éolien à proximité du site

Pour plus de précisions, la courbe ci-dessous présente la corrélation entre la vitesse de vent et la puissance fournie par l'éolienne.



Puissance d'une éolienne en fonction de la vitesse de vent

b) Conclusion énergie éolienne

Le site du Rousset n'est pas propice à l'exploitation de la ressource éolienne, et ceci en raison du faible potentiel en vent de la région. **Cette solution n'est pas retenue.**

D/ Récupération de chaleur des eaux usées

Les eaux usées, véhiculées par les canalisations d'assainissement, présentent une température se situant entre 13 et 20°C. Elles offrent donc un réel potentiel calorifique pour le chauffage (ou inversement le rafraîchissement) de bâtiments via le recours à des échangeurs, placés dans les canalisations des eaux usées, et des pompes à chaleur.

- **A l'échelle du parc :**

La récupération de chaleur pourrait se faire par le biais d'un système permettant de récupérer les calories dans les canalisations et de les transférer aux bâtiments via une pompe à chaleur. Le système est réversible, il permet de rafraichir les bâtiments en été lorsque la température des eaux usées est inférieure à la température intérieure des bâtiments.

Du fait de la création d'une STEP et du réseau d'assainissement pour le traitement des effluents du Parc (environ 3 000 éq. habitants), l'étude de ce système parait intéressante.

Canalisations eaux usées avec échangeur thermique intégré

Pour avoir recours à ce procédé, plusieurs critères doivent être respectés :

- Le débit minimal permanent des eaux usées doit être supérieur à 15 l/s,
- La température des eaux usées doit être supérieure à 10°C (vérifié la plupart du temps),
- Les collecteurs du réseau d'assainissement doivent avoir un diamètre supérieur à 80 cm,
- Les tronçons doivent être rectilignes sur 100 m environ pour les grandes installations.

En première approche, et après échange avec le groupe SUEZ (Lyonnaise des eaux), il semblerait **que le seuil de rentabilité de ce système se situe aux environs de 5 000 ép. Habitants. La solution n'a donc pas été étudiée plus en avant à l'échelle du parc**, mais pourra tout de même être ré-envisagée lors des études projet concernant les réseaux d'assainissement.

- **A l'échelle du centre aquatique :**

La solution Degrés Bleus® Eau Chaude, présentée dans les paragraphes suivants, **semble parfaitement adaptée au centre aquatique du concept Center Parcs.**
Présentation de la solution Degrés Bleus Eau Chaude : *« La solution Degrés Bleus® Eau Chaude extrait quotidiennement du circuit de filtration un volume d'eau à renouveler directement lié à la fréquentation réelle de l'établissement (en plus des possibles volumes rejetés par les pédiluves et les analyseurs d'eau). L'ensemble de ces rejets transfèrent leurs calories à l'eau froide du réseau urbain venant en remplacement*

des eaux évacuées à travers la solution Degrés Bleus Eau Chaude. Les eaux de rejets refroidies sont alors stockées et seront réutilisées pour le lavage des filtres.

La solution Degrés Bleus Eau Chaude permet de ***réduire la consommation énergétique de chauffage*** *des apports d'eaux neuves des bassins. Il est également possible de collecter dans la solution Degrés Bleus Eau Chaude les eaux de rejets des douches. »*

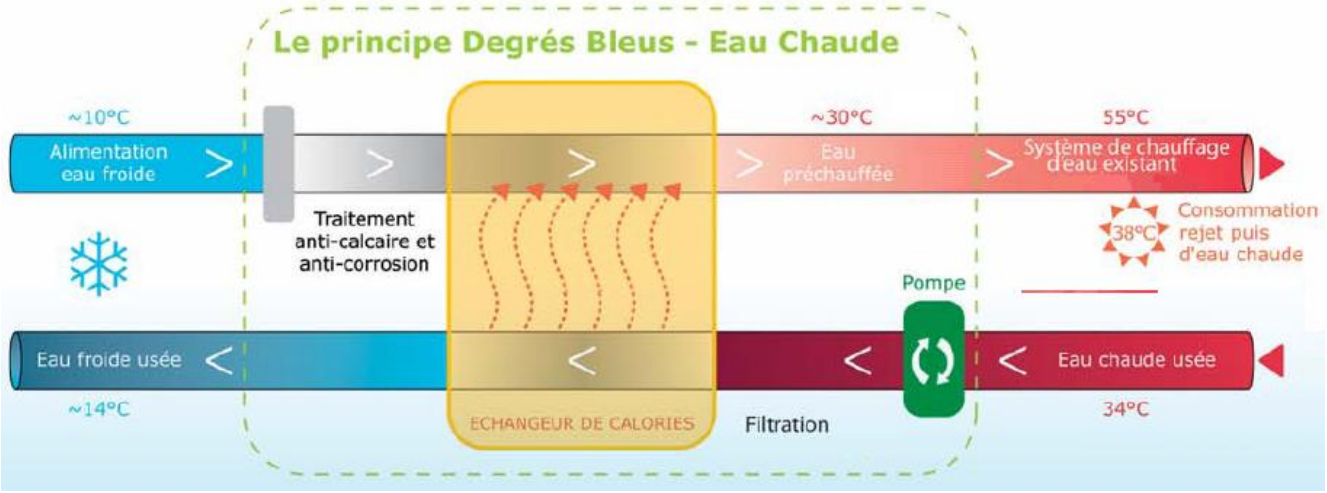


Schéma de principe du système DBEC

a) Etude

Au vu de la fréquentation prévisionnelle du centre aquatique, estimée à 1 500 personnes jour sur 365 jours, la solution Degrés Bleus Eau Chaude (DBEC) semble pertinente et a été pré-étudiée pour la récupération de chaleur des bassins, des douches et des pédiluves.
Les tableaux suivant présentent la pré-étude réalisée :

HYPOTHESES		
Température EFR	11	°C
Fréquentation annnuelle	547 500	
Taux renouvellement	50,00	L/baigneur
Taux récupération des EG bassin	90%	%
Température bassins	32,5	°C
ΔT (BASSINS/EG)	1	°C
Pincement	2	°C
Conso Eau Mitigée DOUCHES	13,00	L/baigneur
Conso ECS DOUCHES	8,00	L/baigneur
Taux récupération des EG douches	100%	%
Température ECS	55	°C
Température EM	38	°C
ΔT (EM/EG)	6	°C
Pincement	3	°C

Hypothèses prises en compte dans l'étude

RESULTATS		
Gains sur volume eau/baigneurs :		
V_{eau} gagné/an/baigneur	10,0	L/baigneur
Energie économisée sur chauffage eau bassin *	197	MWh
Coût économisée sur chauffage eau bassin	11 820	€
Coût économisée sur consommation eau bassin	28 470	€
Gains en énergie sur bassin avec Degrés Bleus Eau Chaude		
$V_{eau\ bassin}$ traités /an DBEC bassin	19 163	m^3
Economie réalisée DBEC bassin	658	MWh
Economie réalisée DBEC bassin	39 480	€
Calories EG valorisées sur ECS douches :		
V_{ECS} traités /an DBEC douches	4 380	m^3
Economie réalisée DBEC douches	146	MWh
Economie réalisée DBEC douches	8 760	€

Pré-calculs de gains avec le système DBEC

b) Tableau récapitulatif

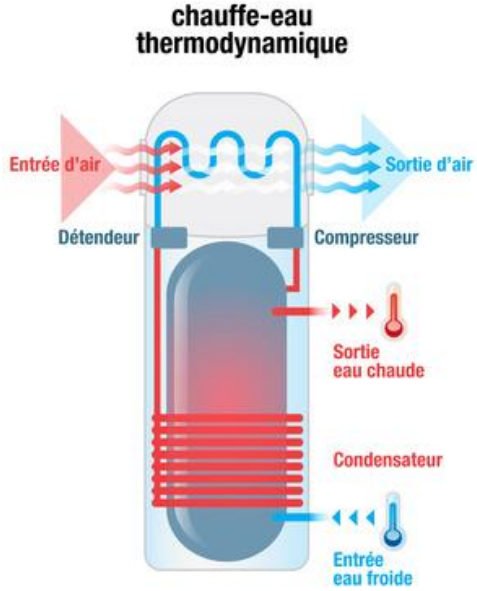
CUMULS :		
Volume annuel valorisé BASSIN+DOUCHE	23 543	m3
Gains/an cumulés BASSIN+DOUCHE+EAU	1 001	MWh
Gains/an cumulés BASSIN+DOUCHE+EAU	88 530	€

Cumuls des gains générés avec l'utilisation du système DBEC

Compte tenu des potentielles économies d'eau et d'énergie réalisables, l'emploi du système DBEC à l'échelle du centre aquatique présente un réel avantage d'un point de vue économique et environnemental et constitue **une variante au système pressenti dans la présente étude.**
En effet une économie de l'ordre de 1 GWh est envisageable avec l'utilisation de ce système innovant.

E/Chauffe-eau thermodynamique

Le chauffe-eau thermodynamique utilise la chaleur contenue dans l'air pour chauffer l'eau sanitaire. Son principe est de récupérer les calories présentes naturellement dans l'air pour transmettre la chaleur à l'eau du ballon via un cycle thermodynamique.



Principe du chauffe-eau thermodynamique

L'air utilisé par le chauffe-eau thermodynamique peut provenir de différentes sources : l'air ambiant non chauffé, l'air extérieur ou l'air extrait d'une VMC.

Dans le cas présent, il parait intéressant d'utiliser ce système pour récupérer les calories contenues dans l'air extrait de la VMC.
Ce système fait partie de la solution pressentie pour la production d'ECS des cottages.

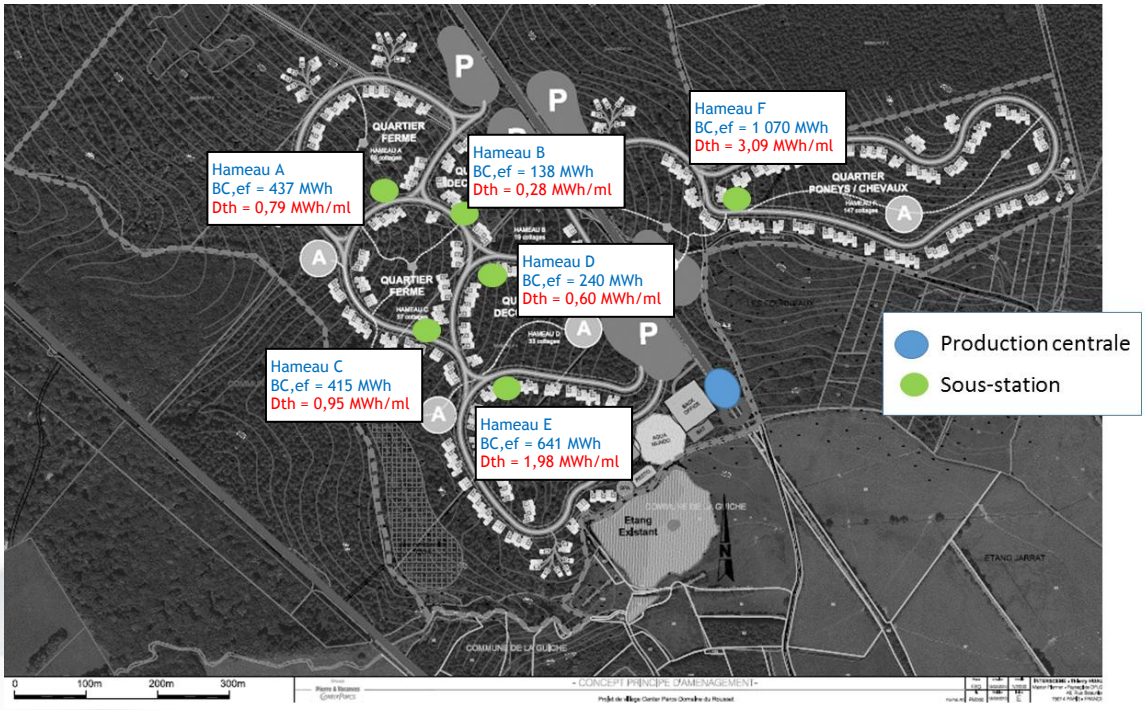
F/Opportunité de mise en place d'un réseau de chaleur

La pertinence d'un réseau de chaleur à l'échelle du site est **évaluée sur la base de la densité thermique du projet, correspondant au rapport entre l'énergie distribuée (en MWh) et la longueur du réseau (en mètre linéaire, ml).** A titre d'exemple, l'ADEME recommande de ne pas descendre en dessous de 3 MWh/ml pour un réseau alimenté par une chaufferie bois (Source : *Le Bois Energie pour les Collectivités Territoriales*).

Néanmoins, l'ADEME apporte un soutien dans le cadre de réseaux de chaleur d'origine renouvelable de densité thermique supérieure ou égale à 1,5 MWh/ml[1], mégawatt livrés en sous-station. **Dans ce contexte, le critère retenu dans la présente étude pour évaluer la pertinence de mise en œuvre d'un réseau de chaleur est fixé à 1,5MWh de densité thermique jusqu'aux sous-stations.**

a) Etude

Au regard des intentions d'aménagement actuelles et en considérant une production centralisée à proximité du cœur de village qui concentre la majorité des besoins de chaleur, le plan masse ci-dessous présente les densités thermiques obtenues pour l'alimentation des différents hameaux (BC,ef= Besoins de chaud en énergie finale, Dth= Densité thermique).



Besoins de chaud et densité thermique par hameau

Seuls les hameaux E et F présente une densité thermique supérieure à 1,5 MWh/ml. Concernant les hameaux A à D, les densités obtenues varient de 0,28 à 0,95 MWh/ml et **sont trop faibles pour envisager la mise en place d'un réseau alimentant ces hameaux.**

[1] Exception pour certains projets dont la densité thermique du réseau est comprise entre 1 et 1,5 MWh/ml.an et qui peuvent bénéficier du soutien de l'ADEME.

Une estimation de la **distance maximale à garantir pour atteindre une densité thermique de 1,5 MWh/ml** depuis la production centrale jusqu'à la sous-station a été réalisée pour différents hameaux type et est présentée dans le tableau ci-dessous.

	Hameau 50 cottages	Hameau 75 cottages	Hameau 100 cottages	Hameau 150 cottages
Besoins de chaud (MWh)	364	546	728	1 092
Distance maximale jusqu'à sous-station pour densité de 1,5Mwh/ml (m)	243	364	485	728

Distances maximales à respecter pour atteindre la densité critique de 1,5Mwh/ml, par hameau type

Les distances maximales justifiant l'étude approfondie d'un réseau de chaleur semblent difficiles à respecter dans le cadre d'un Center Parcs, elles peuvent néanmoins être atteintes pour un, voire plusieurs hameaux.

Dans l'hypothèse où le concept du domaine Center Parcs parvenait à garantir ces distances, **une densification des cottages au sein des hameaux serait nécessaire pour rentabiliser les coûts associés aux raccordements des cottages à la sous-station la plus proche** : une étude complémentaire devra être menée le cas échéant.

b) Conclusion sur le réseau de chaleur

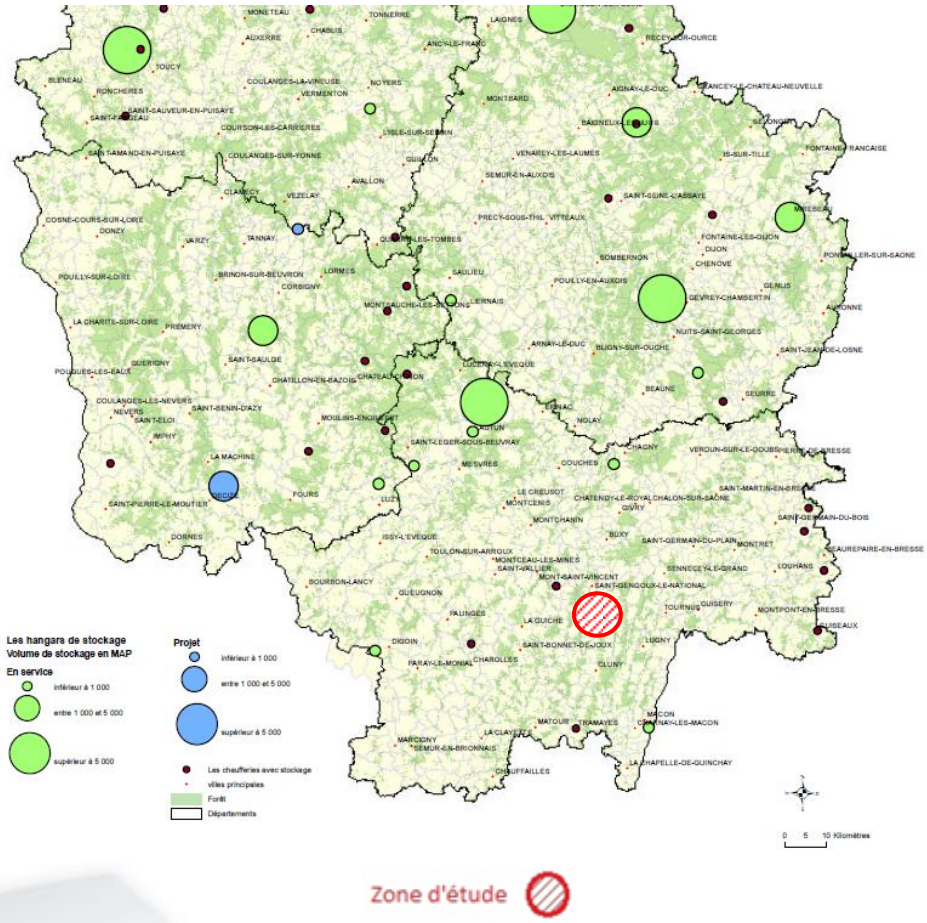
Au vu de ces éléments, la mise en place d'un réseau de chaleur alimentant les différents hameaux ne semble aujourd'hui pas pertinente et nécessiterait une densification des hameaux par rapport au cœur de village d'une part, et des cottages au sein des hameaux d'autre part. Néanmoins, un raccordement d'un ou plusieurs hameaux à un réseau alimentant le cœur de village pourrait être étudié avec plus de précisions si les hameaux concernés respectent les distances maximales présentées dans le tableau ci-dessus.

Dans ce contexte et dans le cadre de la présente étude, les différentes ressources susceptibles d'alimenter un éventuel réseau de chaleur ont pour l'heure été approfondies pour répondre aux besoins du cœur de village uniquement. Elles sont présentées dans les paragraphes suivants.

G/ Approvisionnement en chaleur du cœur de village

a) Biomasse

Le chauffage au bois ou à biomasse permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de s'assurer un prix de l'énergie stable au fil des années. De plus la solution bois énergie/biomasse est particulièrement pertinente dans la région du projet (Bourgogne) pour des raisons d'accès aux ressources. L'extrait ci-dessous illustre la disponibilité de la ressource à proximité du site et montre la présence d'un hangar de plus de 5000 MAP (Mètre cube Apparent) à environ 50 km du site.



Ressources de bois énergie à proximité du projet - Source : Approvalbois-Plaquette Bois Energie

Ces éléments justifient la prise en compte d'une chaufferie bois comme système pressenti pour alimenter le cœur de village.

Néanmoins, au regard des intentions d'aménagement actuelles, des difficultés logistiques pourront apparaitre et devront être approfondies si ce système est retenu :

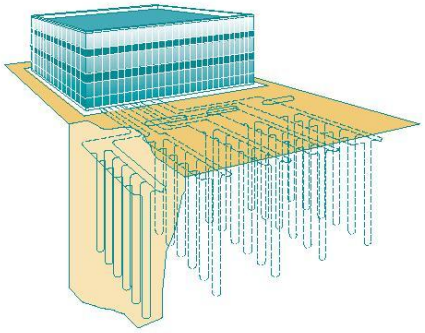
- **Disponibilité d'une surface de terrain suffisante à proximité du cœur de village pour installer la chaufferie, sans nuire aux visiteurs ;**
- **Accès routier aisé pour la livraison de combustible.**

b) Géothermie

Dans le cas de la géothermie, la chaleur est puisée dans le sol ou l'eau d'une nappe par l'intermédiaire d'un réseau de capteurs ou de forages. Ces capteurs peuvent être horizontaux ou verticaux.

Les figures ci-dessous présentent les 2 solutions possibles :

a) Tranchée



b) Puits

Les capteurs horizontaux sont composés de boucles enterrées à environ 2 mètres sous la surface du sol. La surface occupée par les capteurs dépend de la nature du sol et peut s'étendre jusqu'à deux fois la surface à chauffer.
Ce principe est en règle générale adapté aux petites surfaces (maisons individuelles)

Les capteurs verticaux, autrement appelés sondes géothermiques, comportent un tuyau formant une seule boucle verticale. Ils nécessitent un forage en profondeur (jusqu'à 100 m), plus coûteux, mais qui présente l'avantage d'occuper moins de surface au sol.

De plus, on distingue la géothermie basse énergie (30 à 90°C), permettant un usage direct de la chaleur de sources d'eau souterraines par simple échange thermique, et la géothermique très basse énergie (température inférieure à 30°C), permettant une utilisation thermique via l'ajout d'une pompe à chaleur (PAC) qui prélève l'énergie pour l'augmenter à une température suffisante pour le chauffage.

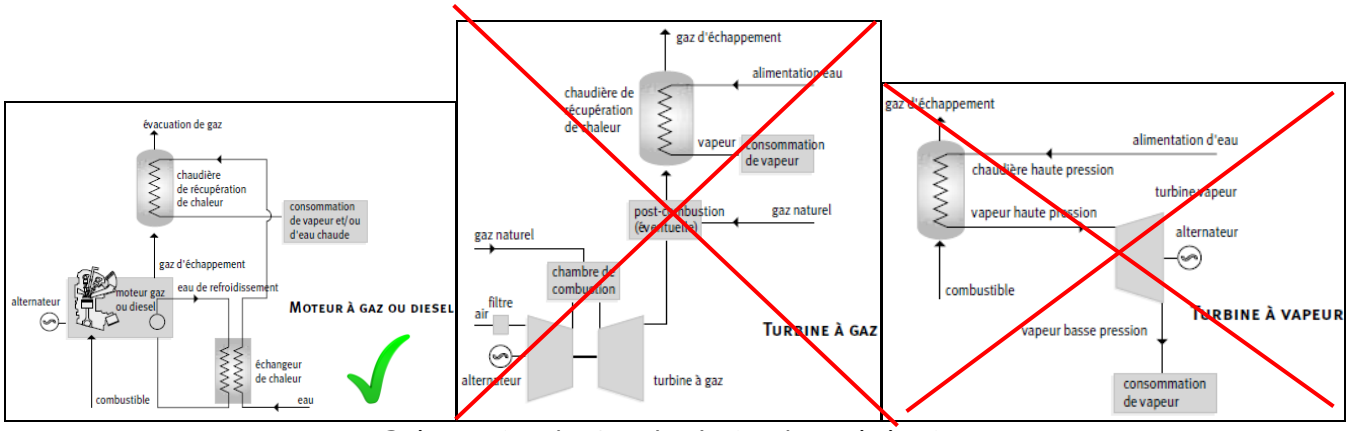
D'après l'ADEME, la Bourgogne présente un potentiel faible pour la géothermie basse énergie, le potentiel en géothermie très basse énergie est considéré également faible en captage horizontal tandis qu'il peut être plus important en captage vertical selon les sols. Compte tenu du potentiel bourguignon disparate du point de vue géothermique, une étude de sol locale pourra être menée pour évaluer le potentiel précis à l'échelle du site.

A l'heure actuelle et dans l'attente d'informations complémentaires quant au potentiel du site, cette solution n'est pas étudiée en tant que variante au système pressenti.

c) La cogénération (production combinée de chaleur et d'électricité)

La cogénération permet la production d'énergie électrique en complément de la production de chaleur et pourrait être envisagé à l'échelle du cœur de village compte tenu de la simultanéité des besoins électriques et en eau chaude tout au long de l'année.

Trois types de technologies existent en termes de cogénération de chaleur et d'électricité : le moteur à gaz ou diesel, la turbine à gaz ou la turbine à vapeur.



Présentation des 3 technologies de cogénération

Les turbines à vapeur sont généralement utilisées pour de très grosses puissances et ne sont pas adaptées au projet. Par ailleurs, dans le cas du cœur de village les besoins de chaleur consistent en des besoins en eau chaude et non en vapeur, **le moteur à gaz sera donc la technologie la mieux adaptée au projet**
Cette dernière est une technologie robuste est éprouvé, il s'agit en fait d'un moteur thermique classique associé à un alternateur (type groupe électrogène) sur lequel on vient récupérer la chaleur habituellement évacuée.

Cette solution est retenue comme variante au système pressenti, avec appoint chaudière gaz.

Une étude précise de dimensionnement de l'unité de cogénération sera nécessaire si cette solution est retenue. A l'heure actuelle, **une préfaisabilité effectuée a permis de dimensionner les éléments suivant :**

- **Puissance thermique de cogénération d'environ 1500kW,**
- **Puissance électrique de cogénération d'environ 1100kW.**

d) Usine d'Incinération d'Ordures Ménagères (UIOM)

Le projet ne génère pas un volume suffisant de déchets pour justifier l'installation d'une UIOM.

e) Méthaniseur

La méthanisation consiste à produire du gaz naturel (méthane) au moyen de déchets. Ce processus permet ainsi de valoriser les déchets urbains, industriels, agricoles en une énergie renouvelable.

De même que pour l'UIOM, le potentiel de matière putrescible n'est pas suffisant pour l'installation d'un méthaniseur. Néanmoins, et en cas de projet communautaire, les matières organiques du parc pourraient être collectées et valorisées.

6. Sélection des variantes

A/ Synthèse

Trois critères sont retenus pour cette étude :

- **Disponibilité :** qualifie la présence de la ressource dans l'environnement du projet,
- **Adéquation technique** : qualifie la faisabilité de mise en œuvre associée aux contraintes d'urbanisme de la zone,
- **Adéquation économique** : viabilité de l'investissement du système corrélée avec le montant global du projet.

L'échelle d'évaluation est la suivante : = Favorable = Possible = Défavorable

	Disponibilité de la Ressource	Adéquation		Solution envisageable	Variante retenue
		Technique	Economique		
Capteurs solaires thermiques	🟡	🟢	🟢	OUI	Intéressant à l'échelle des cottages pour la production d'ECS
Systèmes solaires photovoltaïques	🟡	🟢	🔴	OUI	Investissement initial important mais ressource présente et surface disponible en toiture de parking.
Systèmes éoliens	🔴	🟢	🟡	NON	Le potentiel éolien du site est insuffisant
Récupération de chaleur sur eaux usées	🟢	🟢	🟢	OUI	Présente un réel intérêt à l'échelle du centre aquatique
Réseau de chaleur à l'échelle du parc	🔴	🟡	🟡	NON	Densité des hameaux trop faible
Chaufferie Biomasse	🟢	🟢	🟡	OUI	Système pressenti pour le cœur de village
PAC géothermiques	🔴	🟡	🟡	NON	Contraintes économiques et techniques importantes, de plus potentiel géothermique non avéré
Cogénération au gaz	🟢	🟡	🟢	OUI	Solution pertinente demandant des études complémentaires liées à la production d'électricité
Chaudière d'incinération d'ordures ménagères	🔴	🟡	🟡	NON	Volume de déchets insuffisant
Réseau de méthanisation	🔴	🟡	🟢	NON	Non adapté à l'échelle du projet
PAC aérothermiques	🟢	🔴	🟡	NON	Technologie non adaptée à la production de chauffage sur ce site
	🟢	🟢	🟢	OUI	PAC sur air extrait VMC, retenue pour la production d'ECS des cottages
Chaudières gaz à condensation	🟢	🟢	🟡	OUI	Fait partie du système pressenti pour le chauffage des cottages

B/Variantes retenues

En tenant compte des caractéristiques du projet et sur la base de l'évaluation réalisée au paragraphe précédent, les variantes retenues par rapport aux systèmes pressentis pour ce projet sont les suivantes :

- **Variante 1 : Production d'ECS solaire thermique**
  - Cottages : Chauffage et appoint pour la production d'eau chaude sanitaire via chaudière murale gaz à condensation.
  - Equipements : Production de chaleur (chauffage, ECS et équipements nautiques) par chaudière bois en base avec un appoint et secours par chaudière gaz.
  - Système complémentaire : Système solaire thermique pour la production d'ECS des cottages.

- **Variante 2 : Production d'ECS par PAC sur air extrait VMC + solaire PV sur les toitures parking des ilots**
  - Cottages : Production d'ECS via le chauffe-eau thermodynamique sur l'air extrait de la VMC et chauffage par chaudière murale gaz à condensation.
  - Equipements : Production de chaleur (chauffage, ECS et équipements nautiques) par chaudière bois en base avec un appoint et secours par chaudière gaz.
  - Système complémentaire : Production d'électricité pour autoconsommation par panneaux photovoltaïques disposés en toitures parkings des ilots (6 500 m² pour 940 kWc).

- **Variante 3 : Récupération de chaleur sur les eaux usées**
  - Cottages : Production d'ECS via chauffe-eau thermodynamique sur l'air extrait de la VMC et chauffage par chaudière murale gaz à condensation.
  - Equipements : Production de chaleur (chauffage, ECS et équipements nautiques) par chaudière bois en base avec un appoint et secours par chaudière gaz.
  - Système complémentaire : Mise en place d'une technologie permettant la récupération de chaleur sur les eaux usées du centre nautique et un contrôle précis de la consommation d'eau ; système Degrés Bleus Eau chaude.

- **Variante 4 : Production de chaleur et d'électricité par cogénération gaz**
  - Cottages : Production d'ECS via chauffe-eau thermodynamique sur l'air extrait de la VMC et chauffage par chaudière murale gaz à condensation.
  - Equipements : Production de chaleur et d'électricité (chauffage, ECS et équipements nautiques) par cogénération gaz avec un appoint et secours par chaudière gaz.
  - Système complémentaire : Aucun.

7. Résultats de l'étude

A/ Tableau de synthèse des résultats

		Systèmes standards (SS)			Systèmes pressentis (SP)	Variante 1 (V1)			Variante 2 (V2)			Variante 3 (V3)			Variante 4 (V4)		
ASPECTS TECHNIQUES	COTTAGES	Chauffage gaz ECS gaz			Chauffage gaz ECS par PAC sur air extrait VMC	Chauffage gaz ECS solaire avec appoint chaudière gaz			Chauffage gaz ECS par PAC sur air extrait VMC			Chauffage gaz ECS par PAC sur air extrait VMC			Chauffage gaz ECS par PAC sur air extrait VMC		
	EQUIPEMENTS	Chaudière gaz centrale			Chaufferie bois en base avec appoint gaz	Chaufferie bois en base avec appoint gaz			Chaufferie bois en base avec appoint gaz			Chaufferie bois en base avec appoint gaz			Cogénération gaz + appoint chaudière gaz		
	Système complémentaire				-	ECS solaire thermique par cottage			Solaire PV sur les parkings des ilots			Système degrés bleus			-		
		SS	SS - SP	(%)		V1	V1 - SP	(%)	V2	V2 - SP	(%)	V3	V3 - SP	(%)	V4	V4 - SP	(%)
ASPECTS ENERGETIQUES	Total des consommations énergétiques (MWhef / an)	26 963	716	3%	26 247	26 465	218	1%	25 336	- 911	-3%	25 247	- 1 000	-4%	23 037	- 3 210	-12%
ASPECTS CLIMAT Emissions de GES	Total des émissions de GES (T eq CO2 / an)	5 381	3 567	197%	1 814	1 904	90	5%	1 737	- 76	-4%	1 730	- 84	-5%	4 905	3 091	170%
ASPECTS ECONOMIQUES	Coût d'investissement estimé k€HT	2 935	- 1 757	-37%	4 692	4 851	159	3%	7 327	2 635	56%	4 892	200	4%	4 282	- 410	-9%
	Coût annuel d'exploitation k€HT (hors abonnements)	1 741	- 161	-8%	1 902	1 858	- 44	-2%	1 882	- 20	-1%	1 831	- 71	-4%	1 713	- 189	-10%
	Coût global calculé sur 30 ans k€HT (non actualisé)		**55 153**	-11%	**61 745**		**60 599**	-2%		**63 776**	3%		**59 815**	-3%		**55 671**	-10%
	Temps de retour brut sur investissement (en année)	Investivement moindre				4			< 30 ans			3			Investivement moindre		
AVANTAGES des variantes / systèmes pressentis		Cette solution est très avantageuse économiquement ; le coût d'investissement est nettement moindre			Les émissions de GES sont relativement faibles	Le coût annuel d'exploitation est réduit, et le temps de retour sur investissement est convenable			Les performances énergétiques ainsi que les émisions de GES sont améliorées			Le retour sur inverstissement est bon Les consommations d'énergie et le bilan GES sont améliorés			Le coût annuel d'exploitation est réduit, grâce aux recettes de la production électrique qui vient nettement améliorer le bilan énergétique Le coût d'investissement estimé est moindre que celui de la chaufferie bois		
INCONVENIENTS des variantes / systèmes pressentis		Les performances énergétiques sont inférieures Les émissions de GES sont très largement supérieures (de l'ordre du double)			La consommation estimée en énergies est importante. Le coût annuel d'exploitation est le plus élevé.	Les performances énergétiques ainsi que les émisions de GES sont dégradées Le surcoût d'inverstissement est estimé à 160 k€HT			Le surcoût d'investissement est conséquent (plus de 50 % par rapport à la solution préssentie) Absence de rentabilité sur la durée de vie des équipements						Les émissions de GES sont quasiment triplées Des études de faisabilité par rapport au raccordement ERdF doivent-être menées		

Remarques :

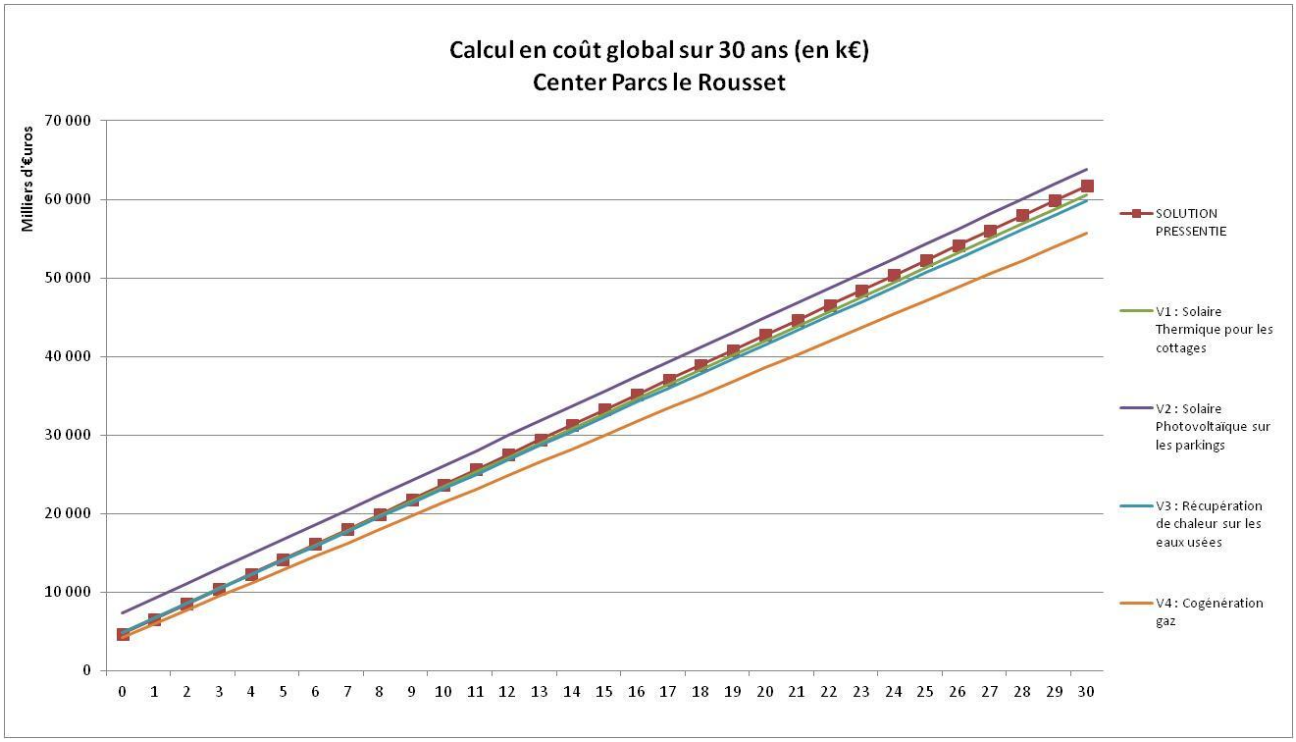
- Les coûts d'investissement sont donnés à titre indicatif, et nécessitent des études de faisabilité complémentaires pour être affinés ; les montants sont en euros Hors Taxes et n'intègrent pas les coûts d'études et de maitrise d'œuvre.
- L'investissement annoncé pour la solution pressentie correspond uniquement au périmètre des équipements envisagés dans l'étude de faisabilité, à savoir : la production de chaleur et d'ECS des cottages et la production de chaleur pour les équipements du cœur de village.
- Le coût annuel d'exploitation comprend les frais de maintenance, d'entretien renouvellement (sur la base de ratios), ainsi que les charges énergétiques liées aux consommations, en euros Hors Taxes.
- Les prix de l'énergie sont supposés constants dans le temps (non actualisés), et sont pris à leur valeur de décembre 2014 (Prix des énergies en date du 15/12/2015 ; revue EnergiePlus).

La solution Standard (avec des systèmes standards - tout gaz pour la chaleur) est présentée ici pour rappel et afin de valoriser les systèmes pressentis. En effet, il faut avoir à l'esprit que la solution prise en référence dans cette étude est déjà très vertueuse, puisqu'elle correspond à la combinaison des meilleurs systèmes déjà installés sur les autres parcs.
On peut également relever que le surcoût d'investissement de la solution pressentie par rapport à celle standard est de l'ordre de 35% ; l'aspect économique n'est donc pas prédominant dans les choix.

Les variantes étudiées ont donc comme ambition d'encore améliorer le concept de production d'énergie, même si elles sont comparées à des systèmes déjà performants.

B/Analyse en coût global

Le graphique suivant présente le coût global sur 30 ans en fonction des différentes variantes (Coût d'investissement + coût d'exploitation + coût des consommations énergétiques).



Comparatif en coût global sur 30 ans (non actualisé) des différentes variantes (en k€)

Le coût d'investissement initial est comparable pour la solution pressentie et les variantes V1, V3 et V4, autour de 5 000 k€ environ (plus ou moins 10 % selon les variantes). Seule la solution V2 (solaire photovoltaïque) se démarque avec un surinvestissement de plus de 56 %, qui engendre une absence de rentabilité sur la durée de l'étude (30 ans).

La solution la plus avantageuse économiquement est la V4 (cogénération gaz), puisqu'elle présente à la fois un investissement initial moindre (- 9 %) mais surtout un coût annuel d'exploitation réduit de 10 % en raison de la production électrique qui couvre une part importante des besoins estimés des équipements.

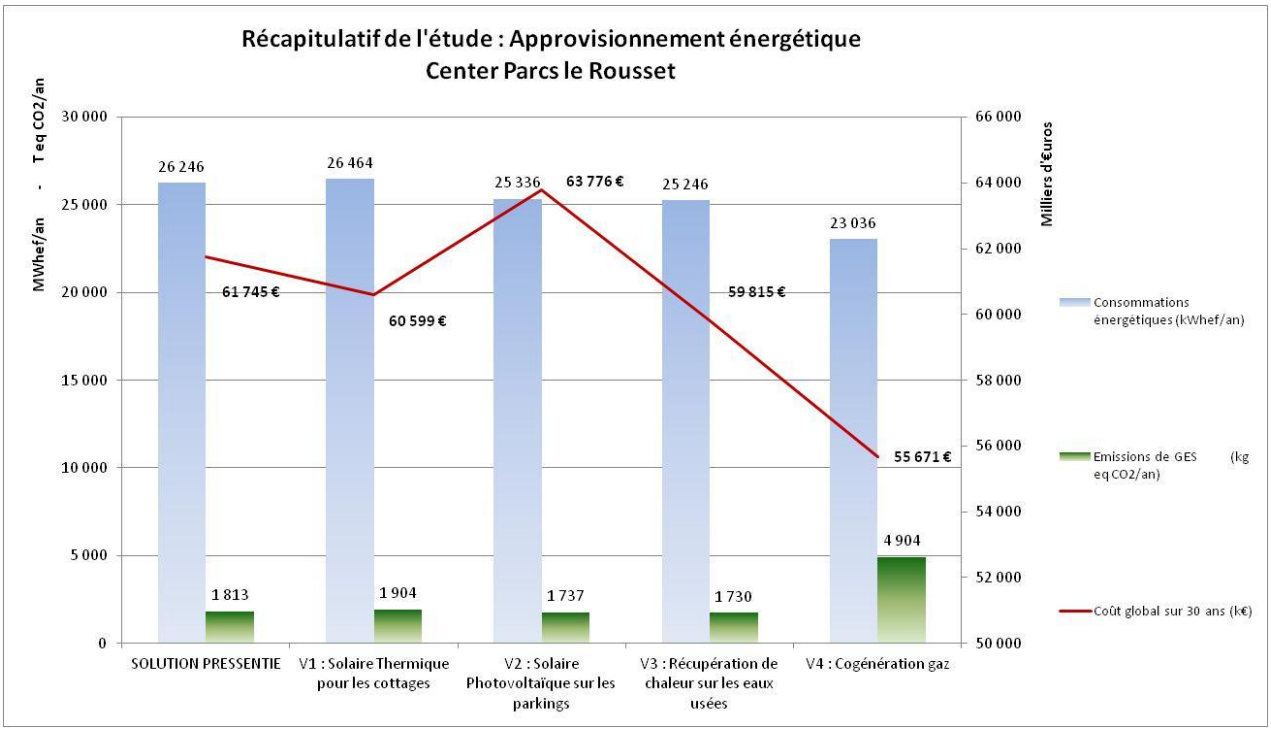
La variante 1 (solaire thermique) présente une bonne rentabilité avec un TRI proche de 4 ans. Malgré un surinvestissement initial, le changement d'énergie (gaz au lieu d'électricité) permet de une économie annuelle de 44 k€.

La variante 3 (système Degrès Bleus) présente également une très bonne rentabilité avec un TRI de 3 ans. En effet le surinvestissement est relativement faible (200 k€) pour une économie annuelle de plus de 70 k€.

8. Conclusion

Le graphique ci-dessous présente une synthèse des résultats en regroupant les 3 indicateurs étudiés pour chacune des solutions :

- **Consommation énergétique en Energie Finale,**
- **Emissions de Gaz à Effet de Serre (GES) en équivalent CO2,**
- **Coût global sur une période de 30 ans.**



Synthèse des résultats pour les différentes variantes

La variante 1 permet de réduire légèrement le coût global (-2 %) malgré un investissement initial qui présente un faible surcoût (+3 %). En raison du taux de couverture partiel du solaire, et de l'appoint par la chaudière gaz, ce système ne permet pas de réduire les consommations énergétiques qui augmentent même (+1 %) ; de ce fait les émissions de GES se trouvent également augmentées (+5 %).
La solution pressentie pour la production d'ECS des cottages est pertinente, néanmoins une variante avec du solaire thermique est envisageable et intéressante financièrement.

La variante 2 (solaire photovoltaïque) est plus favorable sur le plan énergétique (-3 %) et des émissions de GES (-4 %). Cependant l'investissement initial reste important (estimé à 2 635 k€) et la disponibilité de surface en toiture doit être vérifiée.
Le solaire photovoltaïque est une solution onéreuse, mais elle permet une production d'électricité 100 % ENR, qui peut être intéressante pour compenser des consommations, notamment dans le cadre réglementaire (calcul RT2012).

La variante 3 (système degrés Bleus) présente une bonne rentabilité (TRI < 3 ans). Un tel système permet de réduire les émissions de GES (-5 %) et offre un gain direct sur les charges d'exploitation (-4 %).
Il semble pertinent de généraliser ce système sur l'ensemble des parcs aquatiques.

La variante 4 (cogénération gaz) parait économiquement très intéressante pour la production de chaleur et d'électricité au niveau des équipements, **la faible densité d'habitation des hameaux ne permettant pas le développement d'un réseau de chaleur à l'échelle du parc.**

En effet, le coût d'investissement initial estimé pour la cogénération est inférieur à l'installation d'une chaufferie bois (solution pressentie), et la production d'électricité permet une économie sur les consommations de 12 %. Néanmoins, **l'inconvénient de cette variante se situe au niveau des émissions de GES (+170 %)**, du fait de l'emploi exclusif du gaz pour la production de chaleur. **Il s'agit donc de faire un choix parmi les critères exposés, et déterminer si cette solution peut être en cohérence avec la politique carbone du groupe Pierre&Vacances Center Parcs.**

La solution idéale pourrait être de coupler la variante 4 à la solution pressentie, à savoir réaliser de la cogénération à partir de biomasse bois. Ce type de système existe pour de très grosses puissances, où le bois sert à produire de la vapeur ensuite utilisée dans une turbine pour la production d'électricité.
A l'échelle des puissances demandées par le projet du Rousset, des solutions innovantes sont en cours de développement, avec notamment des prototypes fonctionnant sur un principe de gazéification du bois.
Cette dernière solution étant encore au stade du développement, elle n'a pas été étudiée plus en avant.