

## MAITRISE D'OUVRAGE

MAITRE D'OUVRAGE

ASSISTANT MAITRE D'OUVRAGE



**ESID de BREST**  
BCRM de Brest  
ESID de Brest-Investissement  
CC16-29240 BREST cedex 9  
Tel : 02 98 14 81 83



**SEMBREIZH**  
37 rue Jean-Marie Le Bris  
29200 BREST  
Tél. : 02 98 43 15 14

## OPÉRATION

# RENOVATION DU BATIMENT DE LOGEMENT N°0268 (26 E) ET CREATION D'UN PARKING D'UNE CINQUANTAINE DE PLACES EN EXTERIEUR SUR LA Base Aéronautique Navale de LANDIVISIAU (29)



## ETUDE DE FAISABILITE DES APPROVISIONNEMENTS EN ENERGIE DCE

### MAITRISE D'OEUVRE

**ARCHITECTE MANDATAIRE**  
**NOMADE ARCHITECTES**  
26 Rue Alfred Kastler – 56000 VANNES  
Tel : 02 97 47 03 37  
Email : [agence.ouest@nomade.info](mailto:agence.ouest@nomade.info)

**BET TCE**  
**OTEIS Agence de Rennes**  
Parc de Brocéliande 35760 SAINT-GREGOIRE  
Tel : 02 99 23 45 67  
Email : [rennes@oteis.fr](mailto:rennes@oteis.fr)

**BET ACOUSTIQUE**  
**ACOUSTIBEL**  
22 Rue de Turgé – 35310 CHAVAGNE  
Tel : 02 99 64 30 28  
Email : [rennes@acoustibel.fr](mailto:rennes@acoustibel.fr)

**OPC**  
**NOM**  
Adresse  
Tel  
Email

**BUREAU DE CONTROLE**  
**SOCOTEC**  
ZAC de Kergaradec III  
180 Rue de Kerervern – 29806 BREST CEDEX 9  
Tel : 02 98 41 44 94  
Email : [andre.bozec@socotec.com](mailto:andre.bozec@socotec.com)

**COORDONATEUR – SPS**  
**BUREAU VERITAS**  
22 Rue Amiral Romain Desfossés  
29200 BREST  
Tel : 06 07 08 59 82  
Email : [gregory.allanic@fr.bureauveritas.com](mailto:gregory.allanic@fr.bureauveritas.com)

INDICE	DATE	OBJET	EMETTEUR	APPROBATEUR
00	27/10/2020	Création du document AVP-EFAE	Jenny LE ROUX	Hervé DECRIEM
01	27/07/2021	Mise à jour AVP	Jenny LE ROUX	Hervé DECRIEM
02	29/11/2022	Rendu PRO2	Jenny LE ROUX	Hervé DECRIEM
03	17/11/2023	Mise à jour	Jenny LE ROUX	Hervé DECRIEM
04	Mars 2024	Passage DCE	Jenny LE ROUX	Hervé DECRIEM

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1. PREAMBULE .....</b>	<b>4</b>
1.1 OBJET .....	4
<b>2. PRESENTATION.....</b>	<b>5</b>
2.1 PRESENTATION DU SITE.....	5
2.2 RESSOURCES.....	5
2.3 TABLEAU DES VARIABLES.....	6
2.4 SOLUTIONS ETUDIEES .....	6
<b>3. COUT DES SOLUTIONS.....</b>	<b>7</b>
3.1 COUTS D'INVESTISSEMENT .....	7
<b>4. FRAIS ANNUELS .....</b>	<b>8</b>
4.1 DEFINITION .....	8
4.2 FRAIS DE MAINTENANCE .....	8
4.3 FRAIS ANNUELS D'ENERGIE .....	9
4.4 CONSOMMATIONS ET COUTS ANNUELS .....	9
4.4.1 Consommations futures .....	9
4.4.2 Tableaux récapitulatifs des frais annuels .....	9
4.4.3 Comparaison des différentes solutions envisagées pour la production de chaleur .....	11
4.5 CONCLUSION .....	13
<b>5. ANNEXES .....</b>	<b>14</b>
5.1 RESULTATS DES CALCULS RT2012.....	14
5.1.1 Solution de base – chaufferie granulés Bois (étude A203) .....	14
5.1.2 Variante 1 – Chaufferie Propane (étude A221) .....	14
5.1.3 Variante 2 – Pompes à chaleur électriques air/eau et ballons ECS électriques (étude A222) .....	14

## 1. PREAMBULE

---

### 1.1 OBJET

Tout projet de rénovation dont la Surface de plancher est supérieure à 1000m<sup>2</sup> doit faire l'objet d'une étude de faisabilité, selon le décret n°2007-363 du 19 mars 2007.

La Surface de plancher du bâtiment n°268 sur la BAN de Landivisiau (29) est supérieure à 1000m<sup>2</sup>, une étude de faisabilité est donc réalisée.

Comme le précise le décret, l'étude portera sur les solutions suivantes :

- Fuel,
- Gaz Naturel,
- Electricité par effet joule,
- Propane (GPL),
- Solaire thermique pour le chauffage,
- Solaire thermique pour l'eau chaude sanitaire,
- Bois énergie,
- Eolien,
- Chauffage Urbain,
- Eau pour pompe à chaleur,
- Air pour pompe à chaleur,
- Terre pour pompe à chaleur géothermique.
- Photovoltaïque
- Cogénération.

## 2. PRESENTATION

### 2.1 PRESENTATION DU SITE

- Département : 29
- Zone : H2a
- Usages au sens de la RT RENOVATION : Hébergement.

### 2.2 RESSOURCES

Dans ce paragraphe nous allons étudier les ressources énergétiques présentes sur le site pour les différentes variantes évoquées dans le préambule.

Nous classerons ces ressources en 4 catégories :

- Existant : énergie présente sur le site
- Possible : énergie présente à proximité ou pouvant être amenée sur le site
- Faible : énergie difficilement envisageable pour le site
- Non : solution impossible

**TABLEAU : RESSOURCES PRESENTES SUR LE SITE**

RESSOURCES	EXISTANT	POSSIBLE	FAIBLE	NON
Fuel	Oui			
Gaz Naturel				Non
Electricité (effet Joule)		Oui		
Propane (GPL)		Oui		
Solaire thermique pour le chauffage		Oui		
Solaire thermique pour l'eau chaude sanitaire		Oui		
BOIS Energie		Oui		
Eolien		Oui		
Chauffage Urbain				Non
EAU pour pompe à chaleur			Oui	
Air pour pompe à chaleur		Oui		
Terre pour pompe à chaleur				
Géothermique		Oui		
Photovoltaïque		Oui		
Cogénération		Oui		

## 2.3 TABLEAU DES VARIABLES

Le tableau ci-dessous définit en fonction des ressources possibles décrites au paragraphe précédent, les solutions techniques qui peuvent être envisagées sur cette construction.

**TABLEAU : SOLUTIONS TECHNIQUES ENVISAGEABLES**

TECHNIQUES possibles	Ressources	Solutions envisageables	COMMENTAIRES
Fioul	OUI	NON	Solution non envisagée par le maître d'ouvrage
Gaz naturel Condensation	OUI	NON	Pas de réseau gaz à proximité
Electricité (effet Joule)	OUI	V2	Solution étudiée pour la production ECS
Propane (GPL)	OUI	V1	Solution étudiée
Solaire thermique pour le chauffage	OUI	NON	La région se prête difficilement à cette solution pour le chauffage (taux d'ensoleillement trop faible)
Solaire thermique pour l'eau chaude sanitaire	OUI	NON	Solution non étudiée
Bois énergie	OUI	BASE	Solution pressentie
Chauffage urbain	NON	NON	Pas de réseau urbain à proximité
Eau pour pompe à chaleur	OUI	NON	Pas d'étude hydrologique à ce jour
Air pour pompe à chaleur	OUI	V2	Solution étudiée
Terre pour pompe à chaleur Géothermique	OUI	NON	Solution non retenue car surface de terrain disponible insuffisante
Photovoltaïque	OUI	NON	Solution non envisagée par le maître d'ouvrage
Cogénération	OUI	NON	Solution non envisagée par le maître d'ouvrage

## 2.4 SOLUTIONS ETUDIEES

Les solutions suivantes seront donc étudiées :

- Solution pressentie : Production de Chauffage par 2 chaudières granulés bois. Production eau chaude sanitaire de type instantané avec ballon d'eau chaude sur le primaire.
- Variante n°1 : Production de Chauffage par 2 chaudières Propane. Production eau chaude sanitaire de type instantané avec ballon d'eau chaude sur le primaire.
- Variante n°2 : Production de Chauffage par 2 pompes à chaleur air-eau. Production eau chaude sanitaire par ballon électrique à accumulation.

## 3. COUT DES SOLUTIONS

### 3.1 COUTS D'INVESTISSEMENT

Dans un but de comparatif objectif entre les solutions, les coûts d'investissement ne comprennent que les équipements de production de chauffage complémentaires d'une solution à l'autre.

Nous détaillons les coûts pour le bâtiment.

**TABLEAU COÛT D'INVESTISSEMENT**

Solution	Coût d'investissement	
	€ HT	€ TTC
<b>Solution pressentie:</b> <b>Chauffage/ECS: chaudières granulés Bois</b>	100 849 €	121 019 €
<b>Variante n°1:</b> <b>Chauffage/ECS : chaudière propane</b>	58 910 €	70 692 €
<b>Variante n°2:</b> <b>Chauffage : Pompe à chaleur électrique Air/Eau</b> <b>ECS: Ballon à accumulation électrique</b>	97 690 €	117 228 €

Nota 1 : solution chaufferie propane, attention, cela ne comprend pas le stockage d'énergie qui est réalisé par le fournisseur.

Nota 2 : solution PAC, attention, il conviendra de valider la possibilité de raccordement sur les installations existantes de distribution électrique. En effet nous ne savons pas actuellement si celle-ci pourrait supporter l'augmentation de puissance liée à cette solution technique.

Il ressort de ce tableau un coût d'investissement qui oscille entre 58 910 € HT (chaudières propane) et 100849 € H.T. (chaudières granulés bois) en ce qui concerne les 3 solutions d'approvisionnement en énergie envisagées. Cela représente un surcoût de 71% pour la solution la plus onéreuse.

La suite de l'étude cherchera à déterminer si le surcoût d'investissement engendré par la solution pressentie, pourra être amorti ou justifié du point de vue environnemental.

## 4. FRAIS ANNUELS

### 4.1 DEFINITION

Les frais annuels d'exploitation du système comprennent :

- Les frais de maintenance et d'entretien des installations,
- Les consommations annuelles d'énergie, les abonnements et les taxes.

### 4.2 FRAIS DE MAINTENANCE

Pour chaque équipement de production, les frais de maintenance et la durée de vie des systèmes sont estimés.

Les tableaux ci-après présentent, pour chaque solution, le montant des « charges annuelles de maintenance et leur durée de vie ».

**TABLEAU: CHARGES ANNUELLES DE MAINTENANCE**

Solutions	Maintenance Chauffage ou autre (€/an)	Investissement et durée de vie des équipements		Provision pour remplacement des appareils (€ HT/an)	Charges annuelles de maintenance et provision pour remplacement (€ HT/an)	Charges annuelles de maintenance (€ TTC/an)
		Montant d'Investissement Chaudière, PAC, ballon ... (€ HT)	Durée de vie			
<b>Solution pressentie:</b> <b>Chauffage/ECS: chaudières granulés Bois</b>						
	<b>2 500 €</b>	100 849 €	30 et 20	<b>3 562 €</b>	<b>6 062 €</b>	<b>7 274 €</b>
<b>Variante n°1:</b> <b>Chauffage/ECS : chaudière propane</b>						
	<b>1 750 €</b>	58 910 €	20	<b>2 946 €</b>	<b>4 696 €</b>	<b>5 635 €</b>
<b>Variante n°2:</b> <b>Chauffage : Pompe à chaleur électrique Air/Eau</b> <b>ECS: Ballon à accumulation électrique</b>						
	<b>2 500 €</b>	97 690 €	20	<b>4 885 €</b>	<b>7 385 €</b>	<b>8 861 €</b>

**Nota** : durée de vie de 30ans pour la chaudière Bois.



### 4.3 FRAIS ANNUELS D'ENERGIE

Pour chacune des solutions étudiées, la consommation exprimée en kWh d'Energie Primaire est convertie en consommation d'Unités Tarifées (consommation qui est facturée). Ce facteur de conversion est propre à chaque Energie.

Bois Pellet	4600 kWh d'EP	= 1 tonne de granulés
Propane	6.90 kWh d'EP	= 1 L propane
Electricité	2,58 kWh d'EP	= 1 kWh d'électricité

Le tarif de chaque énergie est le tarif en vigueur au moment de l'étude

Tarif pellets : 271.3€TTC/tonne

Tarif propane: 0.14501 €TTC/kWh

Tarif électricité : 0.127134€HT/kWh

Les différentes solutions seront comparées sur le coût de chacune à la fin de la première année d'exploitation.

Pour comparer les différentes solutions à l'échéance de 30 ans, les hypothèses suivantes sont retenues :

- le montant des abonnements est supposé augmenter de 2 % par an
- le montant des consommations et production électrique est supposé augmenter de 5 % par an quelle que soit l'énergie considérée, excepté pour le bois dont le montant est supposé augmenter de 2%/an.

### 4.4 CONSOMMATIONS ET COUTS ANNUELS

#### 4.4.1 Consommations futures

L'étude ci-après est réalisée à partir des résultats des calculs réglementaires RT Rénovation avec les scénarios d'occupations conventionnels (voir annexe).

#### 4.4.2 Tableaux récapitulatifs des frais annuels

Nota : Pour calculer les quantités de gaz à effet de serre (kg CO<sub>2</sub>/an émises par les différentes solutions, nous avons utilisé les facteurs de conversion suivant (source : arrêté du 15 septembre 2006).

- Chauffage et production ECS au Bois: 0,013 kg CO<sub>2</sub>/kWh
- Chauffage et production ECS au Propane : 0,274 kg CO<sub>2</sub>/kWh,
- Chauffage Electrique :0,180 kg CO<sub>2</sub>/kWh
- Production ECS Electrique :0,040 kg CO<sub>2</sub>/kWh
- Eclairage, Auxiliaires Ventilation et auxiliaires Hydrauliques : 0,040 kg CO<sub>2</sub>/kWh,

Ci-dessous, le tableau récapitulatif des frais annuels.

Solutions	Consommations										Abonnements et maintenance			Frais annuels moyens 1ère année (€ TTC/an)
	Conso. Propane (kWh)	Montant conso Propane (€ TTC/an)	Conso. Élec. Chauffage+aux chauffage (kWh)	Conso. ECS+ Ventil+éclairage+froid+ équipements (kWh)	Montant Conso. Élec. Chauffage+ aux. chauffage (€ TTC/an)	Montant Conso. Élec. Autre que chauffage et ECS (€ TTC/an)	Montant conso Elec Total (€ TTC/an)	Conso. Bois Chauffage (kWh)	Montant Conso. Bois Chauffage (€ TTC/an)	Montant Total (€ TTC/an)	Abonnement gaz (€ TTC/an)	Charges annuelles maintenance /remplacement (€ TTC/an)	Montant total (€ TTC/an)	
<b>Solution pressentie:</b> <b>Chauffage/ECS: chaudières granulés Bois</b>	0	0 €	0	59 591	0 €	11 017 €	11 017 €	249 900	14 739 €	25 756 €	0 €	7 274 €	7 274 €	33 029 €
<b>Variante n°1:</b> <b>Chauffage/ECS : chaudière propane</b>	243 287	35 279 €	0	57 395	0 €	6 919 €	6 919 €	0	0 €	42 198 €	0 €	5 635 €	5 635 €	47 832 €
<b>Variante n°2:</b> <b>Chauffage : Pompe à chaleur électrique Air/Eau</b> <b>ECS: Ballon à accumulation électrique</b>	0	0 €	31 144	172 421	5 758 €	31 877 €	37 635 €	0	0 €	37 635 €	0 €	8 861 €	8 861 €	46 496 €

#### 4.4.3 Comparaison des différentes solutions envisagées pour la production de chaleur

Les différentes solutions envisagées sont comparées en fonction des éléments suivants :

- Le coût d'investissement,
- Les frais annuels moyens sur 30ans

Le temps de retour sur investissement qui est calculé de la façon suivante, en prenant la solution pressentie comme référence :

Temps de retour =	Différence de coût d'investissement entre la variante & le système pressenti
brut (en années)	Différence de coûts annuels d'exploitation entre la variante et le système pressenti

Nota : les éventuelles subventions ne sont pas prises en compte.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-après.

Solutions	Conso.	GES	Diff. Invest.	Frais ann. moyens sur 30 ans	Diff. Frais	Temps de retour années	Frais totaux sur 30 ans (hors investissement)	Différence Frais totaux sur 30 ans
	<i>kW EP/m².an</i>	<i>kg CO2/m².an</i>	€ TTC	€ TTC/an	€ TTC	an	€ TTC	€ TTC
<b>Comparaison des différentes installations avec la solution de BASE (Solution pressentie)</b>								
Solution pressentie: Chauffage/ECS: chaudières granulés Bois	132	2,0						
	classe C	classe A	0 €	57 618 €	0 €	0,0	1 728 555 €	0 €
Variante n°1: Chauffage/ECS : chaudière propane	161	28,0						
	classe D	classe D	-50 327 €	101 072 €	43 453 €	1,2	3 032 157 €	1 303 602 €
Variante n°2: Chauffage : Pompe à chaleur électrique Air/Eau ECS: Ballon à accumulation électrique	228	5,0						
	classe D	classe A	-3 791 €	95 331 €	37 713 €	0,1	2 859 933 €	1 131 378 €

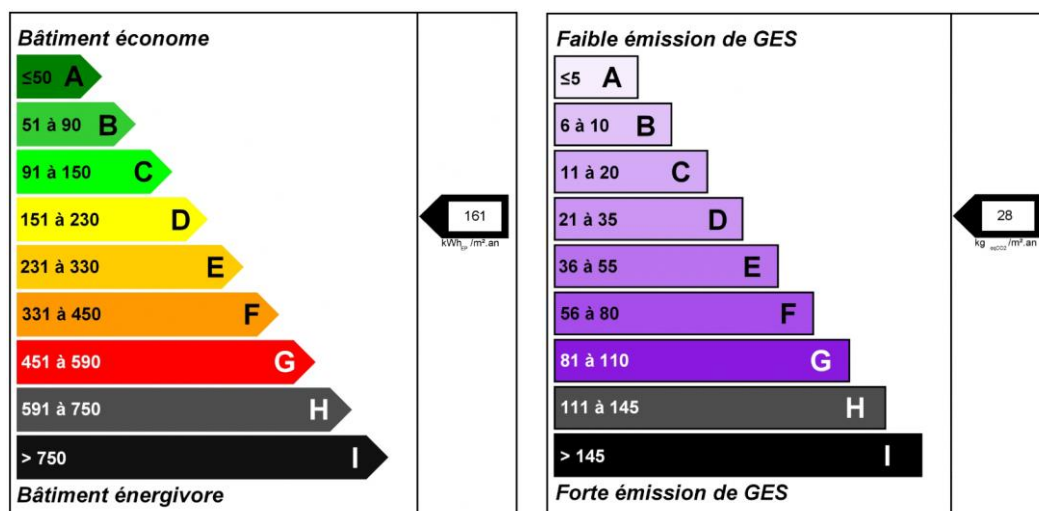
## 4.5 CONCLUSION

Les tableaux de synthèse montrent que par rapport à la solution « chaufferie granulés Bois », les solutions « chaufferie Propane » et « Pompe à chaleur air/eau » ne sont plus rentables au bout de 2ans au plus tard.

Cette étude de faisabilité met en évidence l'intérêt financier de la solution « chaufferie granulés Bois ». C'est la solution la plus économe actuellement et elle présente un intérêt énergétique de classe C et environnemental de classe A.

Néanmoins, le maître d'ouvrage choisit la solution « solution chaufferie Propane » avec un intérêt énergétique et environnemental de classe D.

Les étiquettes énergétiques de la solution Chaufferie Propane



## 5. ANNEXES

### 5.1 RESULTATS DES CALCULS RT2012

#### 5.1.1 Solution de base – chaufferie granulés Bois (étude A203)

Résultat détaillé des consommations annuelles énergétiques pour le bâtiment									
Consommation annuelle d'énergie primaire par poste (kWh ep/m² SRT)									
Chauffage	Froid	ECS	Eclairage	Aux ventil	Aux hydrau	Prod. Photovol	Prod Cogénér	Total/m²	Total (MWh ep)
31.88	0	31.55	35.27	26.19	3.56	0	0	128.45	303.68
Classe B : 132kWhEP/m²Sth.an									
Consommation annuelle d'énergie primaire(kWh ep/m² SRT)									
Gaz	Fioul	Charbon	Bois	Electricité	Réseaux	Prod. Photovol	Prod Cogénér	Total/m²	Total (MWh ep)
0	0	0	63.42	65.03	0	0	0	128.45	303.68
Classe A : 2kgCO₂/m²Sth.an									
Emission de gaz à effet de serre (kg CO₂/m² SRT)									
Gaz	Fioul	Charbon	Bois	Electricité	Réseaux	Prod. Photovol	Prod Cogénér	Total/m²	Total (t CO₂)
0	0	0	0.82	1.01	0	0	0	1.83	4.33

#### 5.1.2 Variante 1 – Chaufferie Propane (étude A221)

Résultat détaillé des consommations annuelles énergétiques pour le bâtiment									
Consommation annuelle d'énergie primaire par poste (kWh ep/m² SRT)									
Chauffage	Froid	ECS	Eclairage	Aux ventil	Aux hydrau	Prod. Photovol	Prod Cogénér	Total/m²	Total (MWh ep)
46.72	0	47.69	35.29	26.19	1.15	0	0	157.04	371.28
Classe B : 161kWhEP/m²Sth.an									
Consommation annuelle d'énergie primaire(kWh ep/m² SRT)									
Gaz	Fioul	Charbon	Bois	Electricité	Réseaux	Prod. Photovol	Prod Cogénér	Total/m²	Total (MWh ep)
94.41	0	0	0	62.64	0	0	0	157.04	371.28
Classe B : 28kgCO₂/m²Sth.an									
Emission de gaz à effet de serre (kg CO₂/m² SRT)									
Gaz	Fioul	Charbon	Bois	Electricité	Réseaux	Prod. Photovol	Prod Cogénér	Total/m²	Total (t CO₂)
25.87	0	0	0	0.97	0	0	0	26.84	63.45

#### 5.1.3 Variante 2 – Pompes à chaleur électriques air/eau et ballons ECS électriques (étude A222)

Résultat détaillé des consommations annuelles énergétiques pour le bâtiment									
Consommation annuelle d'énergie primaire par poste (kWh ep/m² SRT)									
Chauffage	Froid	ECS	Eclairage	Aux ventil	Aux hydrau	Prod. Photovol	Prod Cogénér	Total/m²	Total (MWh ep)
33.99	0	125.41	35.29	26.19	1.27	0	0	222.15	525.19
Classe C : 228kWhEP/m²Sth.an									
Consommation annuelle d'énergie primaire(kWh ep/m² SRT)									
Gaz	Fioul	Charbon	Bois	Electricité	Réseaux	Prod. Photovol	Prod Cogénér	Total/m²	Total (MWh ep)
0	0	0	0	222.15	0	0	0	222.15	525.19
Classe A : 5kgCO₂/m²Sth.an									
Emission de gaz à effet de serre (kg CO₂/m² SRT)									
Gaz	Fioul	Charbon	Bois	Electricité	Réseaux	Prod. Photovol	Prod Cogénér	Total/m²	Total (t CO₂)
0	0	0	0	5.29	0	0	0	5.29	12.5