Opération Mérignac Soleil – Mérignac (33)

Étude des opportunités en énergies renouvelables et réseaux communs

Document de travail
Version d'Octobre 2017

Groupement de maîtrise d'œuvre urbaine : OMA – ALTO STEP – MDP – 8'18

1 PREAMBULE 4
1.1 Objet de l'étude 4
1.2 Contexte règlementaire 4
1.3 Historique des études 5
1.4 Situation et description du projet 5
2 DETERMINATION DES BESOINS 9
2.1 Besoins énergétiques de référence 9
2.2 Besoins thermiques 10
2.3 Besoins en électricité 11
2.4 Synthèse des besoins 13
2.5 Puissances 14
2.6 Synthèse des puissances 16
2.7 Foisonnement 17
3 OPPORTUNITE DE DEVELOPPEMENT D'UN RESEAU DE CHALEUR ALIMENTE PAR DES ENERGIES RENOUVELABLES 19
3.1 Densité énergétique 19
3.2 Une équation économique fragile 19
3.3 Classement du réseau de chaleur 19
3.4 Phasage 20
3.5 Faisabilité technique de la solution suivant la programmation actuelle 20
4 DIAGNOSTIC DU POTENTIEL EN ENERGIES RENOUVELABLES 24
4.1 Éléments de contexte 24
4.2 Ressource solaire 26
4.3 Ressource éolienne 30
4.4 Ressource géothermique 32
4.5 Biomasse 37
4.6 Méthanisation 39
4.7 Récupération de chaleur sur eaux usées 41
4.8 Récupération de l'energie fatale 44
4.9 Synthèse du potentiel en énergies renouvelables 45
5 SCENARIOS PROPOSES POUR L'ANALYSE DES VARIANTES ENERGETIQUES 50
5.1 Introduction 50
5.2 Scénarios étudiés 50
6 ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE SUR LA VOISINEE 2 54
6.1 Hypothèses d'études 54
6.2 Synthèse économique 59
6.3 Synthèse environnementale 61
6.4 Différentiation des scénarios 65

7 ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE SUR LA VOISINEE 4 66
7.1 Hypothèses d'études 66
7.2 Synthèse économique 71
7.3 Synthèse environnementale 73
7.4 Différentiation des scénarios 77
8 IMPACTS DE CES SOLUTIONS D'APPROVISIONNEMENT ENERGETIQUE SUR LE PROJET URBAIN. 79
8.1 Surfaces de locaux techniques 79
8.2 Impact foncier sur le projet urbain 79
8.3 Impact planning sur le projet urbain 80
8.4 Points de vigilances 80
8.5 Récapitulatifs des atouts, contraintes, opportunités et menaces 81
9 SYNTHESE DES CONCLUSIONS PAR SCENARIO 85

1 PREAMBULE

1.1 OBJET DE L'ETUDE

Dans le cadre des études de la requalification urbaine du secteur de Mérignac Soleil, la présente note a pour objet l'étude des opportunités en énergies renouvelables et réseaux communs pour tendre vers le 0 carbone en cohérence avec l'article L128-4 du Code de l'Urbanisme.

Dans un premier temps, la demande en énergie du projet est évaluée pour les différents secteurs et les différentes typologies du projet. L'opportunité de création d'un réseau de chaleur ou d'une boucle tempérée est alors étudiée.

Ensuite, le potentiel énergétique local est exploré afin de produire chaleur, froid et électricité pour le quartier. Les ressources énergétiques suivantes sont étudiées dans le cadre du secteur de Mérignac Soleil :

- Ressource solaire,
- Ressource éolienne,
- Ressource géothermique,
- Biomasse,
- Méthanisation,
- Récupération de chaleur sur eaux usées,
- Récupération de chaleur fatale.

Enfin, ce document présentera différents scénarios de desserte énergétique du projet ayant recours à des énergies renouvelables ou de récupération. L'établissement de ces scénarios s'appuie sur les ressources identifiées lors du diagnostic. Après avoir donné les hypothèses de calcul, ce document présentera tout d'abord les solutions de production d'électricité locale en fonction des secteurs où elles s'avèrent envisageables. Ensuite, différents scénarios de production de chaleur et de froid seront comparés.

Cette étude permettra au maitre d'ouvrage de se positionner sur l'opportunité de réalisation d'un réseau de chaleur ou d'une boucle tempérée et sur les solutions proposées par les constructeurs, chaque constructeur étant dans l'obligation de réaliser une étude d'approvisionnement énergétique adaptée au cas particulier de chaque bâtiment.

1.2 CONTEXTE REGLEMENTAIRE

Depuis la parution de la loi Grenelle 1 du 03 août 2009, suivant l'article L128-4 du Code de l'Urbanisme, les opérations d'aménagement faisant l'objet d'une étude d'impact ont l'obligation de procéder à une étude de potentiel de développement des énergies renouvelables pour la zone :

« Toute action ou opération d'aménagement telle que définie à l'article L. 300-1 et faisant l'objet d'une étude d'impact doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, en particulier sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération. »

1.3 HISTORIQUE DES ETUDES

La présente étude fait suite à une étude, réalisée en Mai 2015 par Sermet pour Bordeaux Métropole. Elle étudiait la faisabilité de la mise en œuvre d'un réseau de chaleur à une échelle plus large en intégrant les opérations Mérignac Soleil, Mérignac Marne ainsi que l'hyper-centre de Mérignac. Cette étude a analysé plusieurs scénarios d'approvisionnement : géothermie au Crétacé (-1 000 m), géothermie au Jurassique (-1 600 m) avec ou sans PAC, et 2 scénarios biomasse. Cette étude conclue à un prix de la chaleur supérieur au coût de référence (notamment en raison des importants coûts de forage sur ces aquifères très profonds) et à des difficultés de commercialisation, en plus de l'incertitude concernant le réel potentiel de géothermie profonde.

Une étude complémentaire a été réalisée en Décembre 2016 par Sermet pour Bordeaux Métropole afin d'envisager la création de 2 réseaux de chaleur : un premier sur l'hyper-centre de Mérignac et un 2nd sur le secteur Mérignac Marne et Soleil. Pour le secteur Mérignac Marne et Soleil, un approvisionnement biomasse a été étudié. Le coût de la chaleur estimée est proche du coût de référence pour les bâtiments neufs de ce secteur et les résultats de l'étude d'opportunité sont globalement positifs, mais la localisation de la chaufferie n'a pas pu être déterminée.

La présente étude s'inscrit dans la continuité de celles produites par Sermet. Le secteur Mérignac Marne étant assez éclaté et comprenant beaucoup de voiries existantes, la rentabilité du projet pourrait être supérieure en limitant le réseau de chaleur à Mérignac Soleil. En effet, la dispersion du secteur diminue la densité énergétique. Par ailleurs, les travaux de VRD sont une opportunité de mutualisation des interventions pour limiter le coût de mise en œuvre d'un réseau de chaleur.

1.4 SITUATION ET DESCRIPTION DU PROJET

1.4.1 *Situation géographique*

La commune de Mérignac est localisée dans le département de la Gironde et fait partie de la région Nouvelle Aquitaine. La carte ci-dessous présente la localisation de la commune sur le territoire français.

Figure 1 - Localisation de la commune de Mérignac

Le secteur Mérignac Soleil est situé au Sud du centre-ville de Mérignac, entre la ville de Bordeaux et l'aéroport de Mérignac. Le périmètre opérationnel s'étend sur soixante-neuf hectares.

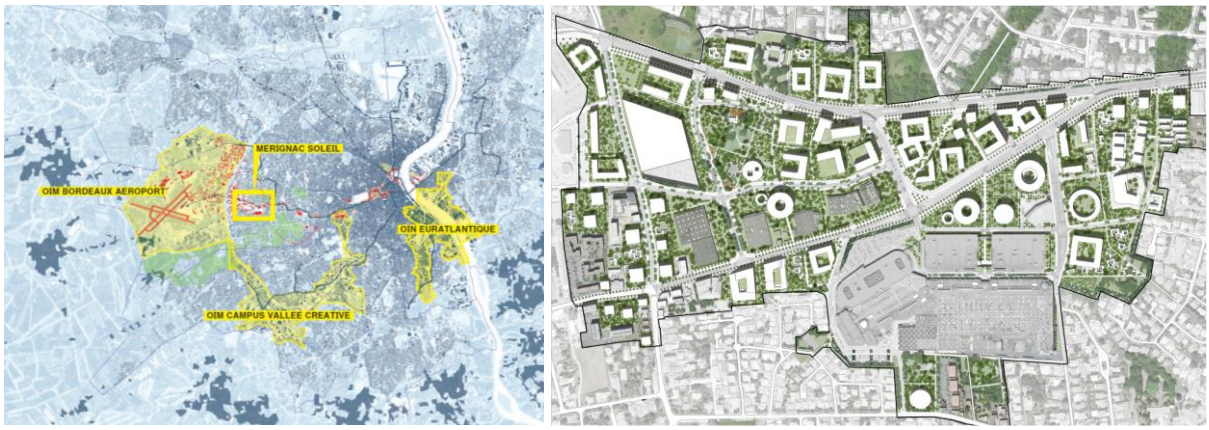


Figure 2 – Localisation du secteur Mérignac Soleil et périmètre de l'opération *(source : Plan Guide, Juin 2017)*

1.4.2 *Hypothèses de programmation*

Le Plan Guide défini par le groupe de MOE urbaine OMA permet de caractériser le futur quartier et d'identifier les différentes hypothèses de programmation nécessaires à la présente étude :

<u>Secteurs géographiques</u>

9 voisinés sont distinguées au sein du plan guide :

- Voisinée 1 – Pole activités
- Voisinée 2 – Polarité mixte de grand commerce
- Voisinée 3 – Pole de proximité
- Voisinée 4 – Le parc
- Voisinée 5 – Le grand commerce et la lisière
- Voisinée 6 – La polarité urbaine
- Voisinée 7 – Les folies
- Voisinée 8 – Carrefour
- Voisinée 9 – Le quartier résidentiel

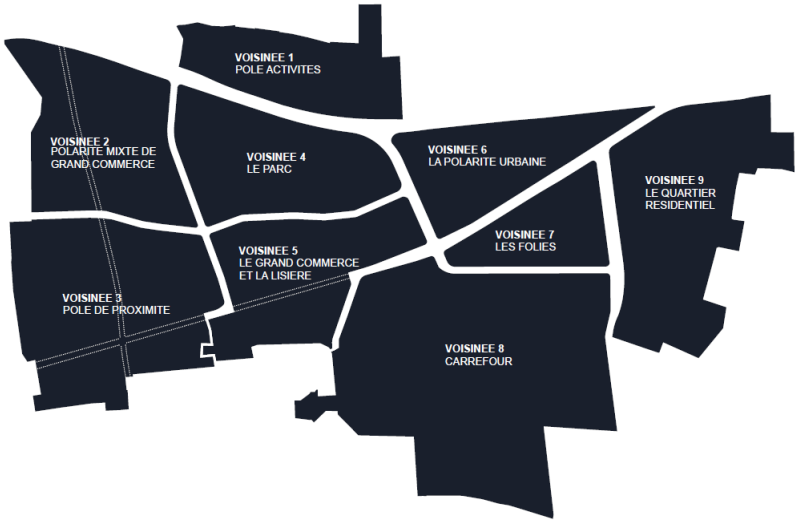


Figure 3 - Carte des secteurs géographiques *(source : Plan Guide - Juin 2017)*

Programmation

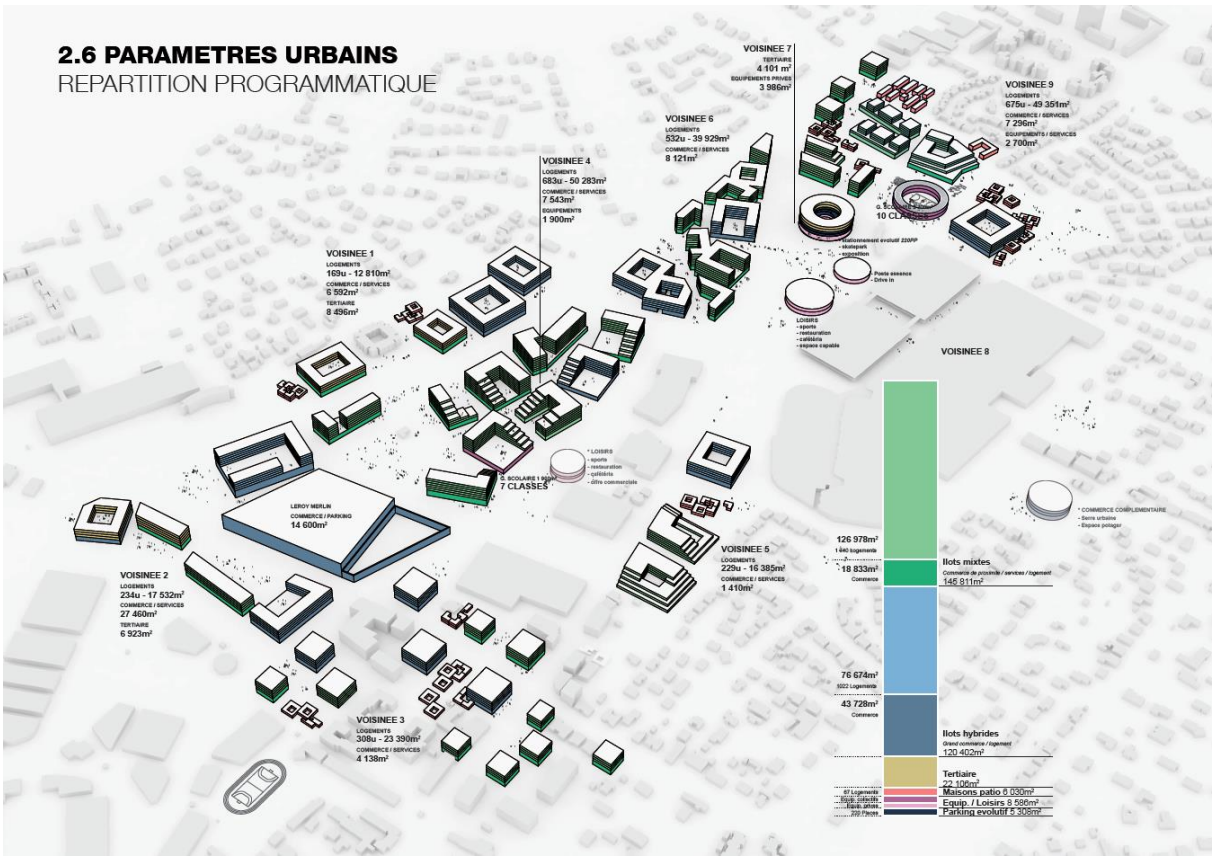


Figure 4 – Répartition programmatique *(source : Plan Guide - Juillet 2017)*

Les typologies de bâtiments, par voisinée, prises en compte sont les suivantes :

	Logements	Commerces	Equipements	Tertiaire
Voisinée 1	12 810 m² (169 logt.)	6 592 m²	-	8 496 m²
Voisinée 2	17 532 m² (234 logt.)	27 460 m²	-	6 923 m²
Voisinée 3	23 390 m² (308 logt.)	4 138 m²	-	-
Voisinée 4	50 283 m² (683 logt.)	7 543 m²	1 900 m²	-
Voisinée 5	16 385 m² (229 logt.)	1 410 m²	-	-
Voisinée 6	39 929 m² (532 logt.)	8 121 m²	-	-

Voisinée 7	-	-	3 986 m²	4 101 m²
Voisinée 8	-	-	-	-
Voisinée 9	49 351 m² (675 logt.)	7 296m²	2 700 m²	-
Total	**209 682 m² (2 830 logt.)**	**62 562 m²**	**8 586 m²**	**22 105 m²**

Tableau 1 : Programmation du nouveau quartier Mérignac Soleil par secteur

Ces hypothèses de programmation sont issues de la programmation proposée par l'agence d'architecture OMA, dans le Plan Guide, version Juillet 2017.

2 DETERMINATION DES BESOINS

2.1 BESOINS ENERGETIQUES DE REFERENCE

2.1.1 *Profil et niveau de consommation*

Les profils de consommation permettent d'évaluer la quantité de chaleur que devra délivrer le réseau commun, la puissance totale à installer, mais également une part fixée des besoins, ce qui est nécessaire pour dimensionner les installations renouvelables. Nous avons pris en compte les principales typologies, et distingué chauffage et ECS (niveaux de température distincts).

Les calculs de puissances appelées et de besoins énergétiques sont effectués sur la base de ratios de besoins et de puissances. Ces ratios sont empiriques. Ils s'appuient sur des besoins énergétiques et puissances appelées constatés lors de précédents projets pour des bâtiments neufs, à usage de logements, de commerces, de bureaux, d'équipements …

Les besoins d'électricité, de chaleur et de froid ainsi calculés intègrent les besoins dus aux bâtiments et les besoins liés aux usages à l'intérieur des bâtiments. Cette évaluation ne se limite pas au calcul des usages réglementaires, l'objectif étant de dimensionner les systèmes de production d'énergie. Le comportement des usagers et les consommations spécifiques internes au bâtiment ont une large influence sur le niveau des besoins.
Les consommations réelles sont également susceptibles d'être plus élevées en raison de défauts de mise en œuvre ou d'usages non optimaux (ouverture des fenêtres, surchauffe…).
Sur les commerces, les typologies de commerces et les consommations d'énergie spécifique associées peuvent être très variées. Ces consommations ne sont pas prises en compte à ce stade des études.

Les valeurs de puissances identifiées sont issues des profils de consommations et correspondent aux valeurs maximales d'appel de puissance de ces derniers, le but étant de déterminer la puissance souscrite.

2.1.2 *Température de consigne*

Les températures de consigne sont la référence de la température de l'air qui est demandée dans la zone d'occupation d'un local. Suivant la performance de la régulation et la demande des usagers, la température oscillera plus ou moins autour des 19°C. Cette consigne modifie les besoins de chauffage du bâtiment.

2.1.3 *Besoins thermiques par typologie de bâtiment*

	Besoins thermiques (kWh/m²/an)			
	Chauffage	**ECS**	**Refroidissement**	**Totaux**
NEUF - Logements	20	35	0	**55**
NEUF - Bureaux	10	1	23	**34**
NEUF - Activités commerciales	21	5	18	**44**
NEUF – Parkings silo	0	0	0	**0**
NEUF - Equipements	25	12	0	**37**

Tableau 2 : Besoins d'énergie thermique par typologie de bâtiment

2.1.4 *Besoins électriques par typologie de bâtiment*

	Besoins en électricité (kWh/m²/an)			
	Eclairage	**Ventilation**	**Usages spécifiques***	**Totaux**
NEUF - Logements	11	6	30	**41**
NEUF - Bureaux	15	6	31	**46**
NEUF - Activités commerciales	184	15	/	**199**
NEUF – Parkings silo	15	5	10	**30**
NEUF - Equipements	16	10	0	**26**

Tableau 3 : Besoins d'énergie électrique par typologie de bâtiment

*Les usages spécifiques sont les postes de consommation autres que l'éclairage et la ventilation, non comptabilisés dans la RT2012.

2.2 BESOINS THERMIQUES

Pour l'ensemble du secteur Mérignac Soleil, les besoins en énergie thermique sont les suivants :

	Chauffage (kWh/an)	*ECS (kWh/an)*	*Refroidissement (kWh/an)*	***TOTAL CH (kWh/an)***	***TOTAL FR (kWh/an)***
Besoins thermiques par typologie					
NEUF - Logements	4 188 237	7 329 414	0	**11 517 650**	**0**
NEUF - Bureaux	221 058	22 106	497 380	**243 164**	**497 380**
NEUF - Activités commerciales	1 340 571	312 800	1 094 800	**1 653 371**	**1 094 800**
NEUF - Equipements	214 650	103 032	0	**317 682**	**0**
Besoins thermiques par secteur					
Voisinée *1*	482 417	489 806	306 520	**972 223**	**306 520**
Voisinée *2*	1 008 299	757 843	636 318	**1 766 142**	**636 318**
Voisinée *3*	556 471	839 340	72 415	**1 395 811**	**72 415**
Voisinée *4*	1 214 796	1 820 420	132 003	**3 035 216**	**132 003**
Voisinée *5*	357 914	580 525	24 675	**938 439**	**24 675**
Voisinée *6*	972 601	1 438 120	142 118	**2 410 721**	**142 118**
Voisinée *7*	140 660	51 933	92 273	**192 593**	**92 273**
Voisinée *8*	0	0	0	**0**	**0**
Voisinée *9*	1 210 863	1 796 165	127 680	**3 007 028**	**127 680**
TOTAL	**5 944 021**	**7 774 152**	**1 534 000**	**13 718 173**	**1 534 000**

Tableau 4 : Besoins en énergie thermique de l'opération

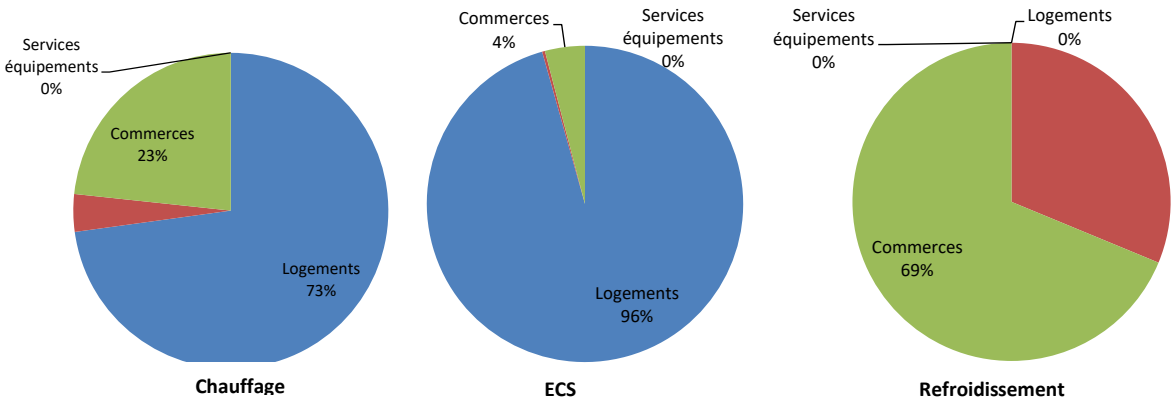


Figure 5 - Répartition des besoins en énergie thermique par typologie de bâtiment

- Le besoin total en chaleur s'élève à 13 718 MWh/an.
- Le besoin total en froid s'élève à 1 534 MWh/an.
- La production de l'**ECS est le poste le plus consommateur**, concentrant 51% des besoins thermiques totaux, suivi par le chauffage concentrant 39% des besoins et le froid avec 11% des besoins.
- **Les logements sont les principaux consommateurs d'énergie thermique** ; les besoins correspondants représentent 84% des besoins de chaleur sur l'ensemble de l'opération.

2.3 BESOINS EN ELECTRICITE

	Eclairage (kWh/an)	*Ventilation (kWh/an)*	*Usages spécifiques (kWh/an)*	***TOTAL (kWh/an)***
Besoins électriques par typologie				
NEUF - Logements	2 295 996	1 271 629	6 199 189	**9 766 814**
NEUF - Bureaux	298 656	119 462	597 312	**1 015 430**
NEUF - Activités commerciales	11 523 552	921 884	/	**12 445 436**
NEUF - Equipements	137 376	85 860	/	**223 236**
Besoins électriques par secteur				
Voisinée 1	1 484 505	226 823	638 705	**2 350 033**
Voisinée 2	5 356 029	553 344	730 177	**6 639 551**
Voisinée 3	1 018 340	202 829	691 525	**1 912 694**
Voisinée 4	1 970 419	435 101	1 486 617	**3 892 137**

Voisinée 5	439 138	120 146	484 423	**1 043 707**
Voisinée 6	1 933 111	361 825	1 180 501	**3 475 437**
Voisinée 7	126 521	64 958	125 491	**316 970**
Voisinée 8	/	/	/	**/**
Voisinée 9	1 927 517	433 809	1 459 062	**3 820 388**
TOTAL	**14 255 580**	**2 398 835**	**6 796 501**	**23 450 916**

Tableau 5 : Besoins en énergie électrique de l'opération

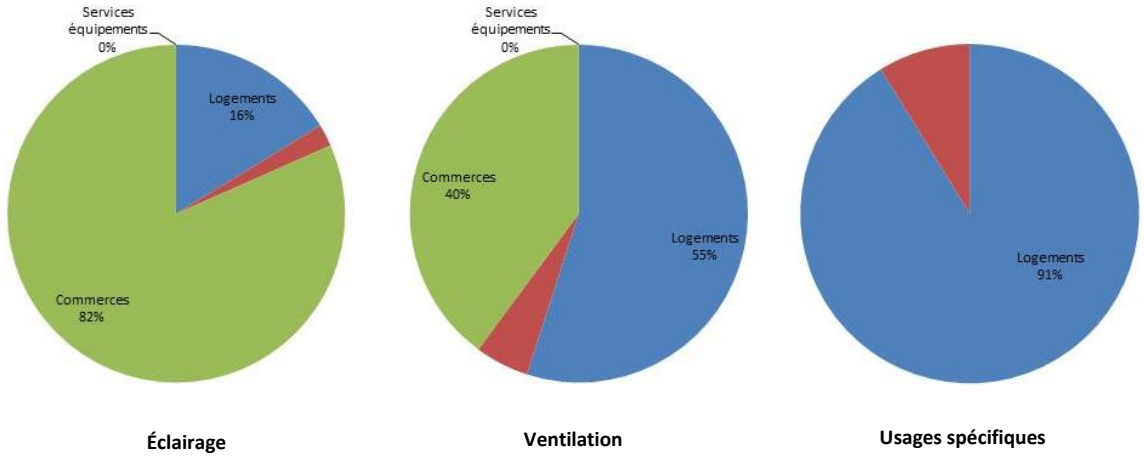


Figure 6 - Répartition des besoins en énergie électrique par typologie de bâtiment

- Les besoins en électricité sur l'ensemble du quartier Mérignac Soleil s'élèvent à 23 451 MWh/an.
- Les commerces sont les bâtiments les plus consommateurs de l'opération (53% des besoins totaux), suivis par les logements (42%). Les commerces présentent un fort besoin en éclairage.
- **L'éclairage des bâtiments est le poste le plus important**, représentant 61% des besoins électriques sur l'ensemble du quartier.
- **Les usages spécifiques des commerces ne sont pas pris en compte car trop fluctuant en fonction de la typologie de commerce (production de froid positif / négatif …)**

2.4 SYNTHESE DES BESOINS

La répartition entre besoins thermiques et électriques est la suivante :

Type d'énergie	Besoins (MWh/an)
Thermique chaud	13 718
Thermique froid	1 534
Electrique	23 451

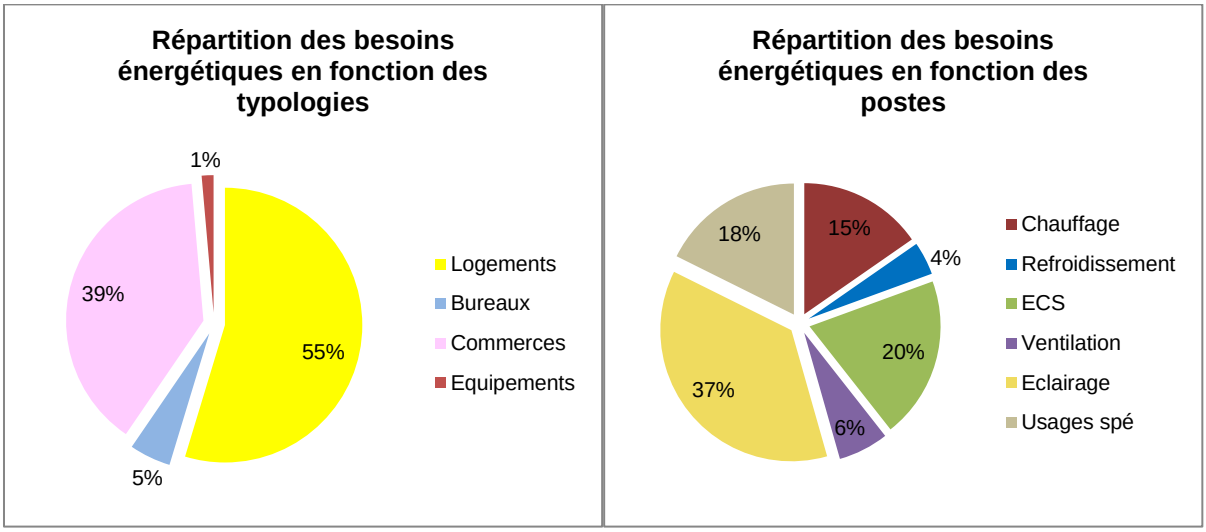


Figure 7 - Répartition des besoins en énergétique par typologie de bâtiment et par poste.

- **Les besoins énergétiques des logements représentent le 1er poste sur l'opération**, avec 55% des besoins énergétiques totaux, suivi par les commerces (39%, hors électricité spécifique)
- Les besoins électriques sont les plus importants sur l'opération : 61% des besoins énergétiques totaux, contre 39% pour les besoins thermiques.
- L'éclairage représente 37% des besoins énergétiques totaux de l'opération en raison de la forte consommation des surfaces commerciales.
- Le besoin en ECS est supérieur au besoin de chauffage (20% contre 15%). L'ECS est utilisé à 96% par les logements.

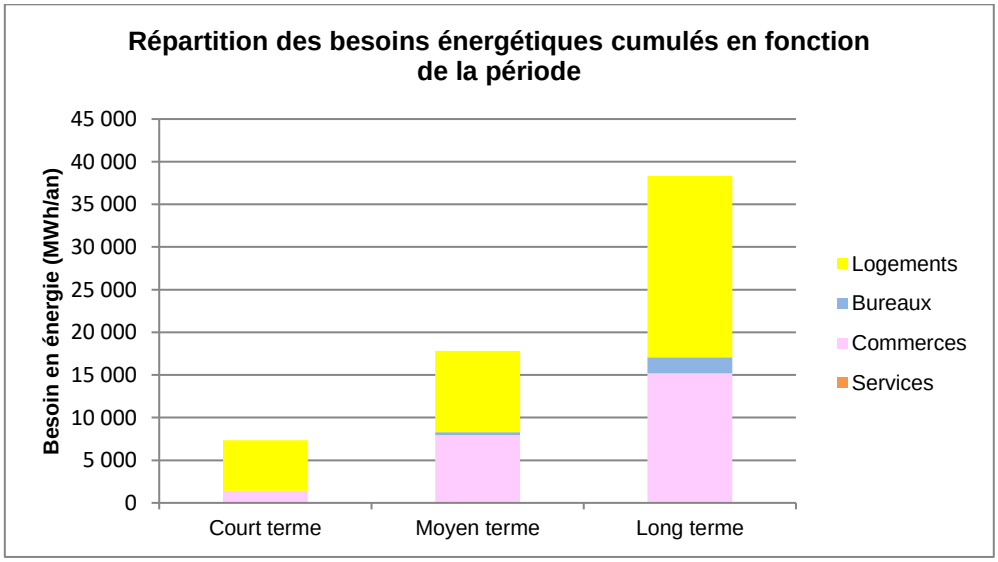


Figure 8 - Répartition des besoins énergétiques cumulés en fonction de la période

2.5 PUISSANCES

Pour l'ensemble du secteur Mérignac Soleil, les puissances énergétiques appelées sont les suivantes :

	Chauffage (kW)	*ECS (kW)*	*Refroidissement (kW)*	***TOTAL chaud (kW)***	***TOTAL froid (kW)***
Puissances thermiques appelées par typologie					
NEUF - Logements	9 424	3 141	0	**12 565**	**0**
NEUF - Bureaux	663	44	332	**707**	**332**
NEUF - Activités commerciales	2 502	125	2 190	**2 628**	**2 190**
NEUF - Equipements	343	172	0	**515**	**0**
Puissances thermiques appelées par secteur					
Voisinée *1*	1 095	222	358	**1 317**	**358**
Voisinée *2*	2 095	332	1 065	**2 427**	**1 065**
Voisinée *3*	1 218	359	145	**1 577**	**145**
Voisinée *4*	2 640	807	264	**3 448**	**264**
Voisinée *5*	794	249	49	**1 042**	**49**
Voisinée *6*	2 122	615	284	**2 737**	**284**
Voisinée *7*	282	88	62	**370**	**62**
Voisinée *8*	0	0	0	**0**	**0**
Voisinée *9*	2 621	809	255	**3 429**	**255**
TOTAL	**12 867**	**3 481**	**2 482**	**16 348**	**2 482**

Tableau 6 : Répartition des puissances thermiques appelées sur l'opération

- La puissance Chaud totale appelée s'élève à **16 348 kW**.
- La puissance Froid totale appelée s'élève à **2 482 kW**.
- Les **logements** sont la typologie nécessitant le plus de puissance chaud (77% de la puissance chaud totale).
- Les **commerces** sont la typologie nécessitant le plus de puissance froid (88% de la puissance froid totale)

	Eclairage (kWh/an)	*Ventilation (kWh/an)*	*Usages spécifiques (kWh/an)*	***TOTAL (kWh/an)***
Besoins électriques par typologie				
NEUF - Logements	1 048	174	2 831	**4 053**
NEUF - Bureaux	98	39	195	**332**
NEUF - Activités commerciales	3 128	250	/	**3 378**
NEUF - Equipements	69	34	/	**103**
Besoins électriques par secteur				
Voisinée *1*	436	54	258	748
Voisinée *2*	1 495	138	306	1 939
Voisinée *3*	324	36	316	676
Voisinée *4*	644	80	679	1 402
Voisinée *5*	152	19	221	393
Voisinée *6*	606	66	539	1 210
Voisinée *7*	52	24	41	118
Voisinée *8*	0	0	0	0
Voisinée *9*	633	81	666	1 380
TOTAL	**4 343**	**498**	**3 026**	**7 866**

Tableau 7 : Répartition des puissances électriques appelées sur l'opération

- La puissance totale appelée en énergie électrique s'élève à **7 866 kW**.
- Le poste d'**éclairage** est celui nécessitant la plus grande puissance (55% de la puissance électrique appelée).
- Les **logements** sont la typologie nécessitant le plus de puissance électrique (52%), suivi des **commerces** (43%).

2.6 SYNTHESE DES PUISSANCES

La répartition entre puissances thermiques et électriques est la suivante :

Type d'énergie	Puissances appelées (kW)
Thermique Chaud	16 348
Thermique Froid	2 482
Electrique	7 866

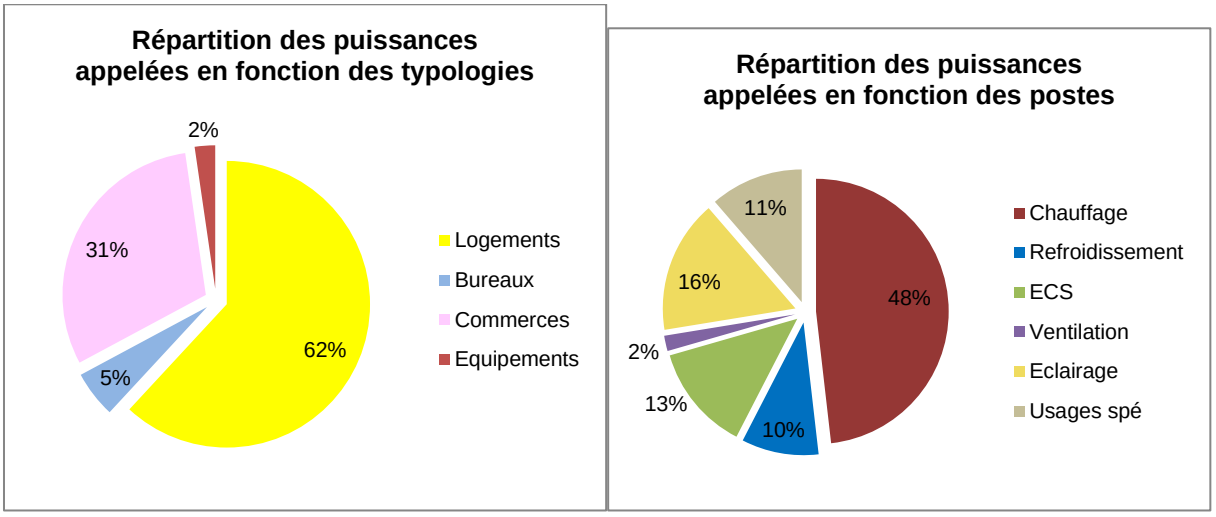


Figure 9 - Répartition des puissances énergétique par typologie de bâtiment et par poste

- La puissance Chaud s'élève à 16 3 MW, tandis que la puissance Froid atteint 2,5 MW.
- La puissance électrique est de 7,8 MW (hors électricité spécifique des commerces)
- Les logements concentrent 62% des puissances appelées ; viennent ensuite les commerces (31%) et les bureaux (5%).
- Le chauffage représente 48% des puissances installées à l'échelle de l'opération, suivi par l'éclairage (16%) et l'ECS (13%).

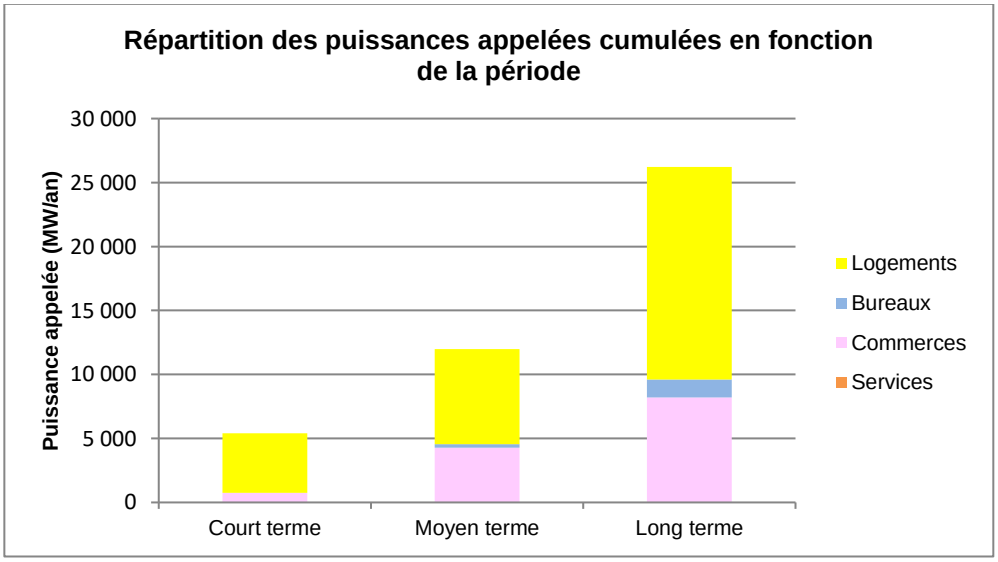


Figure 10 - Répartition des puissances énergétiques cumulés en fonction de la période

2.7 FOISONNEMENT

2.7.1 *Hypothèses de calcul*

Le calcul du coefficient de foisonnement est réalisé en tenant compte des besoins horaires en chauffage, ECS et refroidissement pour chaque typologie de bâtiment.

Il a été pris en compte une production de chauffage et de froid par des PAC sur boucle tempérée à température constante d'environ 20°C.

Compte tenu des faibles besoins en ECS des commerces, bureaux et équipements, il a été pris en compte une production par appoint électrique pour ces typologies

Pour les logements, la production d'ECS est réalisée à 80% par la boucle tempérée et à 20% par un appoint électrique pour limiter la température de production de chaleur des PAC. La production d'ECS sera de type semi-accumulation pour permettre une production en dehors des périodes de fortes demandes (relances matinales de chauffage dans les commerces, bureaux et équipements notamment) et ainsi réduire les appels de puissances.

Les coefficients de rendements des échangeurs sont pris en compte, ainsi que les pertes du réseau.

2.7.2 *Puissances calculées*

Le monotone de puissance suivant est ainsi obtenu :

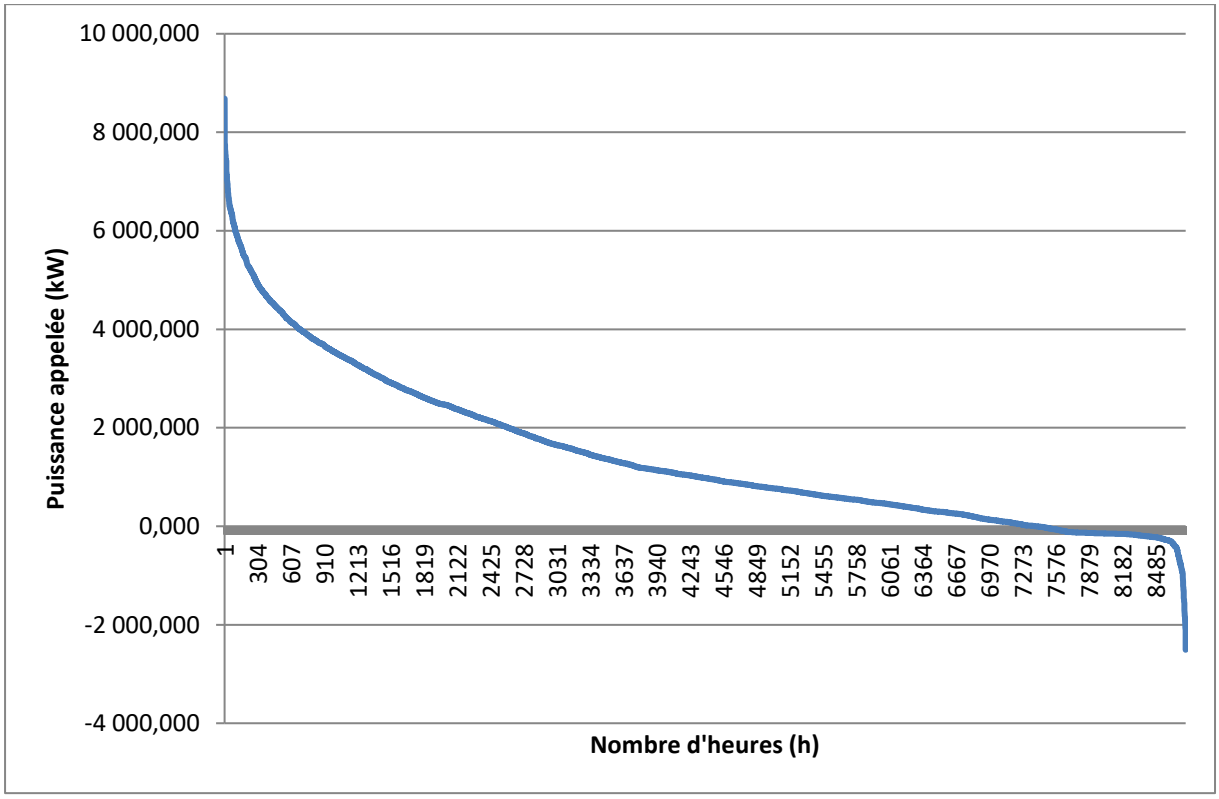


Figure 11 - Monotone de puissance intégrant le foisonnement horaire

En tenant compte de ce foisonnement, la puissance chaud maximum calculée est de 8,7 MW, soit un coefficient de foisonnement d'environ 45%

2.7.3 *Pré-dimensionnement de la production EnR*

Puissance EnR	% puissance totale	% couverture besoins	Puissance appoint / secours gaz
3 MW	35 %	53 %	13 MW
3,5 MW	40 %	63 %	12,5 MW
4 MW	46 %	73 %	12 MW

Tableau 8 : Pré-dimensionnement de la production énergétique et taux de couverture EnR associé pour l'ensemble du secteur Mérignac Soleil

.

3 OPPORTUNITE DE DEVELOPPEMENT D'UN RESEAU DE CHALEUR ALIMENTE PAR DES ENERGIES RENOUVELABLES

3.1 DENSITE ENERGETIQUE

La densité énergétique du réseau de chaleur est un facteur de décision essentiel afin de justifier de la faisabilité technico-économique d'un réseau de chaleur. **Ce critère fait partie d'une exigence d'éligibilité au fond chaleur de l'ADEME ; le seuil bas est limité à 1,5MWh/ml de réseau**[1].
La densité thermique des réseaux existants en France est en moyenne de 8 MWh/ml/an. Elle est entre 3 et 6 MWh/ml/an pour les réseaux récents.
Dans le cas du secteur de Mérignac Soleil, **la densité de projet dans sa globalité est estimée à environ 2,75 MWh/an**.

3.2 UNE EQUATION ECONOMIQUE FRAGILE

Deux points importants sont à prendre en compte dans la réalisation d'un micro-réseau de chaleur pour ce quartier :

- **La planification des investissements est essentielle :**
  Un réseau de chaleur nécessite un investissement initial important, et doit être opérationnel dès les premiers bâtiments occupés et évolutif en fonction des futurs raccordements. Il est nécessaire de prévoir un planning favorable avec environ 40 à 50% de la puissance raccordée au réseau dans les premières années de fonctionnement.
  La planification actuelle prévoit la construction des 1ères opérations du quartier dans des délais assez courts (îlots Fiat, Sogara et Castorama). Or, les études de conception et la réalisation d'un réseau de chaleur ou d'une boucle d'eau tempérée sont relativement longues et un réseau ne serait probablement pas opérationnel avant fin 2021. Des approvisionnements provisoires seront donc à anticiper. D'autre part, la mutation de ce secteur par négociation avec les opérateurs privés et en dehors d'un contexte de ZAC offre peu de visibilité sur le planning de réalisation des différentes opérations.

- **L'incertitude sur les besoins énergétiques :**
  Il peut y avoir des écarts très significatifs entre ce qui est envisagé aujourd'hui et les besoins réels dix, quinze ou vingt ans après. Le secteur des logements est notamment sensible avec les évolutions réglementaires thermiques ; il est aujourd'hui envisageable et techniquement possible de réaliser des logements sans chauffage… **Les besoins de chauffage des logements représentent 70% des besoins de chauffage du secteur de Mérignac Soleil.**
  En parallèle, les besoins énergétiques des surfaces commerciales peuvent varier dans des proportions non négligeables en fonction de la typologie de commerces (besoins de froid positif et/ou négatif pour des commerces alimentaires, …).
  Le fait d'avoir une importante mixité fonctionnelle sur ce quartier est très favorable à la réalisation d'un réseau de chaleur ou d'une boucle d'eau tempérée.

3.3 CLASSEMENT DU RESEAU DE CHALEUR

Le **classement du réseau de chaleur**, souvent appliqué, est un atout pour son développement**. Ce classement permet aux réseaux comprenant plus de 50% d'EnR de rendre obligatoire le raccordement aux bâtiments neufs dans le cadre d'une Déclaration de Service Public ou d'une régie.** Cela permet de consolider le scénario réseau de chaleur envisagé, dans l'intérêt commun des usagers (réduction des coûts énergétiques) et de l'aménageur.

[1] *Remarque :* Si la densité thermique est trop faible, les pertes de distribution du réseau sont trop élevées comparées à l'énergie à fournir.

3.4 PHASAGE

Le planning est un facteur qui pourrait remettre en cause la faisabilité d'un scénario d'approvisionnement par réseau de chaleur.

Les études de conception et la réalisation d'un réseau de chaleur ou d'une boucle d'eau tempérée sont relativement longues et un réseau ne serait probablement pas opérationnel avant fin 2021. Or, plusieurs projets (intégrant environ 1/3 des logements de l'opération) devraient être livrés avant la mise en service d'un éventuel réseau de chaleur. La rentabilité d'un tel réseau sans ces programmes pourrait être remise en cause. Des approvisionnements temporaires seraient alors à prévoir.

D'autre part, la mutation de ce secteur par négociation avec les opérateurs privés et en dehors d'un contexte de ZAC offre peu de visibilité :

- sur le planning de réalisation des différentes opérations,
- sur leur performance énergétique,
- sur leur volonté ou non de se raccorder à un réseau de chaleur.

Si le planning s'avère favorable, un portage politique fort devra assurer le raccordement de tous les îlots au réseau déployé pour en assurer la rentabilité.

3.5 FAISABILITE TECHNIQUE DE LA SOLUTION SUIVANT LA PROGRAMMATION ACTUELLE

3.5.1 *Réseau à l'échelle du secteur Mérignac Soleil*

Pour vérifier la faisabilité de la solution, il s'agit de déterminer les linéaires maximums envisageables pour assurer une densité énergétique suffisante à l'échelle de l'opération.
Le linéaire minimum de réseau peut être estimé en comptabilisant le linéaire de réseaux nécessaire pour desservir chaque voisinée. Ainsi, les calculs réalisés mènent aux résultats suivants :

	Besoins Chauffage et ECS (MWh/an)	**Linéaire de réseau maximum**		**Linéaire de réseau nécessaire estimé**
		Pour une densité correcte de 4MWh/ml :	Pour une densité critique de 1,5MWh/ml	
Mérignac Soleil	11 828	2 957 m	7 521 m	**4 300 m**

Tableau 9 : Linéaire de réseau pour l'ensemble de l'opération Mérignac Soleil

Ce rapide calcul montre une densité énergétique une fois le quartier terminé d'environ 2,75 MWh/ml/an à l'échelle de l'opération Mérignac Soleil et permet d'envisager le développement d'un réseau de chaleur.
Cette densité énergétique comprend le raccordement du Carrefour et de sa galerie marchande pour récupération de chaleur sur ses installations thermiques. Le non-raccordement du Carrefour permet d'économiser environ 300 m de réseau et d'obtenir une densité d'environ 2,96 MWh/ml/an.

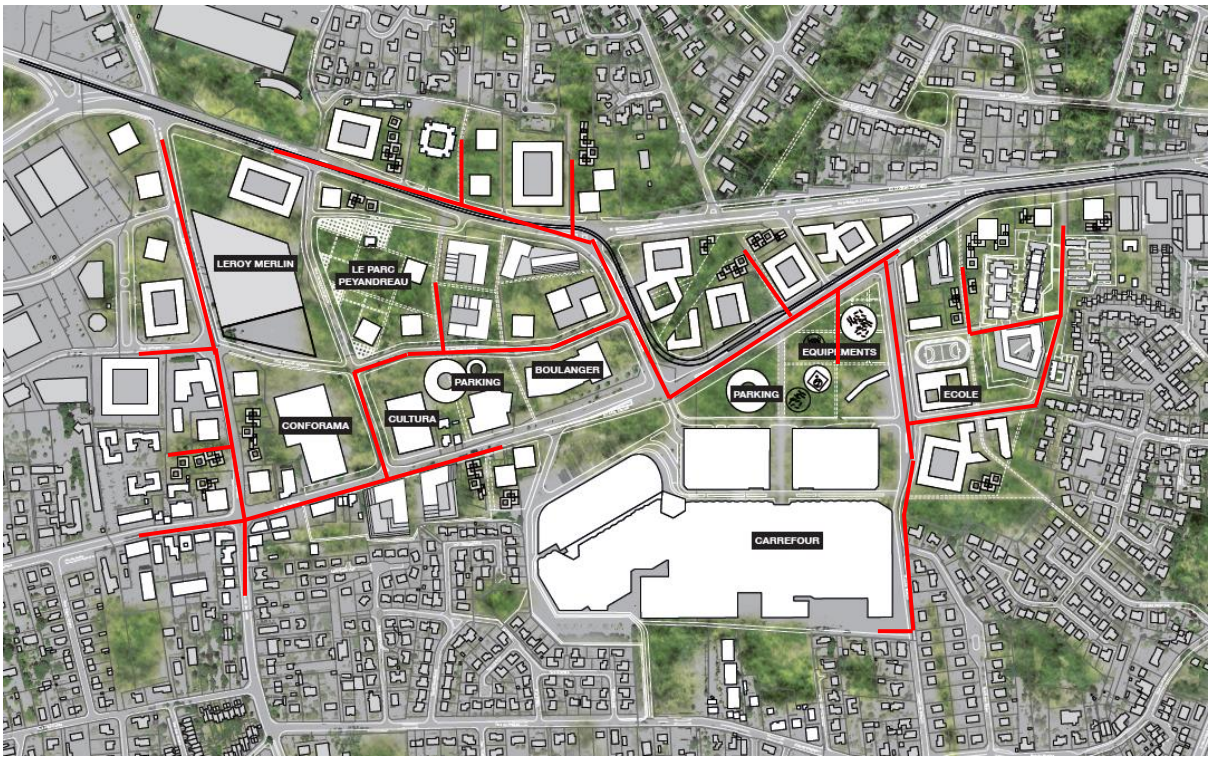


Figure 12 - Schéma de principe pour le déploiement d'un réseau de chaleur *(source : Plan Guide – Mai 2017)*

3.5.2 *Micro-réseaux à l'échelle des voisinées*

Le calcul peut également être mené à l'échelle des voisinées pour envisager la création de micro-réseaux de chaleur à cette échelle si le déploiement d'un réseau global n'est pas envisageable.

	Besoins Chauffage et ECS (MWh/an)	Linéaire de réseau nécessaire estimé	Densité énergétique du micro-réseau de la voisinée
Voisinée 1	972	**525 m**	1,86
Voisinée 2	1 766	**320 m**	5,52
Voisinée 3	1 381	**680 m**	2,03
Voisinée 4	3 035	**670 m**	4,53
Voisinée 5	938	**175 m**	5,36
Voisinée 6	2 410	**660 m**	3,65
Voisinée 7	193	**150 m**	1,29

Voisinée 8	/	**/**	/
Voisinée 9	3 007	**750 m**	4,01

Tableau 10 : Densité énergétique du micro-réseau pour chaque voisinée

Ces premières estimations permettent d'estimer que la création d'un micro-réseau pourrait être intéressante sur les voisinées 2, 4, 5, 6 et 9.

Une attention particulière devra être portée au phasage de construction de ces voisinées pour assurer la rentabilité économique d'éventuels micro-réseaux de chaleur.

3.5.3 *Approvisionnements mutualisés à l'échelle des îlots*

L'estimation des besoins et puissances a également été réalisée à l'échelle des îlots. La connaissance de ces éléments pourrait permettre une plus grande précision dans la réflexion stratégique autour de l'échelle d'approvisionnement énergétique afin de trouver la solution la plus pertinente.
Une étude d'approvisionnement en EnR à l'échelle de l'îlot est réglementairement à réaliser en conception par les maîtrises d'œuvre qui seront désignées. La présente étude ne descendra donc pas à ce degré de précision.
A titre informatif, les résultats non foisonnés sont présentés dans le tableau suivant :

		Besoins (kWh/an)				Puissance W				TOTAL kW	
		Chauffage	ECS	TOTAL CH	Froid	Chauffage	ECS	TOTAL CH	Froid	Chaud	Froid
VOISINEE 1	Ilot 1.1	94 837	29 087	123 924	142 031	237 354	20 114	257 468	133 509	257	134
	Ilot 1.3	66 256	24 472	90 728	96 614	166 548	15 804	182 352	88 881	182	89
	Ilot 1.4	202 303	279 072	481 375	40 362	436 236	119 273	555 509	80 724	556	81
	Ilot 1.5	119 031	157 176	276 207	27 531	254 898	67 136	322 034	55 062	322	55
	Ilot 1.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	**482 427**	**489 808**	**972 235**	**306 537**	**1 095 036**	**222 328**	**1 317 364**	**358 176**	**1 317**	**358**
VOISINEE 2	Ilot 2.1	62 862	9 752	72 615	104 182	159 127	9 800	168 927	97 760	169	98
	Ilot 2.2	44 608	6 093	50 701	82 824	119 952	7 616	127 568	68 544	128	69
	Ilot 2.3	98 029	145 314	243 343	14 128	213 935	62 162	276 097	28 256	276	28
	Ilot 2.4	132 557	179 442	311 999	28 287	284 976	76 673	361 649	56 574	362	57
	Ilot 2.5	670 247	417 243	1 087 490	406 910	1 317 058	175 497	1 492 554	813 820	1 493	814
	Total	**1 008 304**	**757 843**	**1 766 148**	**636 330**	**2 095 047**	**331 747**	**2 426 794**	**1 064 953**	**2 427**	**1 065**
VOISINEE 3	Ilot 3.1	39 330	60 228	99 558	4 631	86 319	25 774	112 093	9 261	112	9
	Ilot 3.2	94 881	152 861	247 742	7 098	210 152	65 454	275 605	14 196	276	14
	Ilot 3.4	78 171	119 250	197 421	9 450	171 450	51 030	222 480	18 900	222	19
	Ilot 3.5	70 971	106 650	177 621	9 450	155 250	45 630	200 880	18 900	201	19
	Ilot 3.8	20 886	29 512	50 398	3 791	45 215	12 617	57 832	7 581	58	8
	Ilot 3.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ilot 3.13	65 571	97 200	162 771	9 450	143 100	41 580	184 680	18 900	185	19
	Ilot 3.14	7 200	12 600	19 800	0	16 200	5 400	21 600	0	22	0
	Ilot 3.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ilot 3.16	32 130	47 628	79 758	4 631	70 119	20 374	90 493	9 261	90	9
	Ilot 3.17	49 251	73 008	122 259	7 098	107 484	31 231	138 715	14 196	139	14
	Ilot 3.20	51 030	72 104	123 134	9 261	110 471	30 826	141 296	18 522	141	19
	Ilot 3.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ilot 3.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ilot 3.23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ilot 3.24	18 514	26 160	44 674	3 360	40 080	11 184	51 264	6 720	51	7
	Ilot 3.27	23 143	32 700	55 843	4 200	50 100	13 980	64 080	8 400	64	8
	Total	**551 141**	**830 005**	**1 381 145**	**72 419**	**1 206 074**	**355 125**	**1 561 199**	**144 837**	**1 561**	**145**
VOISINEE 4	Ilot 4.1	101 821	150 389	252 210	14 968	222 071	64 330	286 402	29 936	286	30
	Ilot 4.2	354 525	523 353	877 878	19 784	757 520	252 361	1 009 881	39 568	1 010	40
	Ilot 4.3	472 664	740 127	1 212 790	46 865	1 041 496	316 815	1 358 310	93 730	1 358	94
	Ilot 4.4	285 814	406 575	692 389	50 400	619 425	173 835	793 260	100 800	793	101
	Total	**1 214 824**	**1 820 443**	**3 035 267**	**132 017**	**2 640 512**	**807 341**	**3 447 853**	**264 033**	**3 448**	**264**
VOISINEE 5	Ilot 5.5	211 780	370 615	582 395	0	476 505	158 835	635 340	0	635	0
	Ilot 5.6	10 800	18 900	29 700	0	24 300	8 100	32 400	0	32	0
	Ilot 5.7	135 334	191 010	326 344	24 675	292 920	81 660	374 580	49 350	375	49
	Total	**357 914**	**580 525**	**938 439**	**24 675**	**793 725**	**248 595**	**1 042 320**	**49 350**	**1 042**	**49**
VOISINEE 6	Ilot 6.1	305 672	453 114	758 786	44 053	667 085	193 832	860 917	88 106	861	88
	Ilot 6.2	230 451	346 838	577 289	30 398	504 248	148 397	652 644	60 795	653	61
	Ilot 6.3	172 086	253 094	425 180	25 877	375 048	108 257	483 305	51 755	483	52
	Ilot 6.4	38 250	56 700	94 950	5 513	83 475	24 255	107 730	11 025	108	11
	Ilot 6.5	226 162	328 392	554 554	36 288	491 832	140 443	632 275	72 576	632	73
	Total	**972 622**	**1 438 137**	**2 410 759**	**142 128**	**2 121 687**	**615 184**	**2 736 871**	**284 256**	**2 737**	**284**
VOISINE E 7	Ilot 7.1	41 714	20 023	61 736	0	66 742	33 371	100 113	0	100	0
	Ilot 7.2	98 951	31 910	130 861	92 286	215 744	54 551	270 295	61 524	270	62
	Total	**140 665**	**51 933**	**192 598**	**92 286**	**282 486**	**87 922**	**370 408**	**61 524**	**370**	**62**
VOISI NEE 8	Ilot 8.7	25 840	2 584	28 424	58 140	77 520	5 168	82 688	38 760	83	39
	Total	**25 840**	**2 584**	**28 424**	**58 140**	**77 520**	**5 168**	**82 688**	**38 760**	**83**	**39**
VOISINEE 9	Ilot 9.1	236 503	338 922	575 425	40 362	513 186	144 923	658 109	80 724	658	81
	Ilot 9.2	67 500	32 400	99 900	0	108 000	54 000	162 000	0	162	0
	Ilot 9.3	49 200	75 180	124 380	5 880	107 940	32 172	140 112	11 760	140	12
	Ilot 9.4	72 702	111 092	183 794	8 689	159 501	47 540	207 041	17 378	207	17
	Ilot 9.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ilot 9.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ilot 9.7	73 307	115 613	188 920	6 825	161 738	49 493	211 230	13 650	211	14
	Ilot 9.8	44 190	68 324	112 514	4 851	97 151	29 242	126 392	9 702	126	10
	Ilot 9.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ilot 9.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ilot 9.11	57 107	87 263	144 370	6 825	125 288	37 343	162 630	13 650	163	14
	Ilot 9.12	610 369	967 395	1 577 764	54 250	1 347 865	414 155	1 762 020	108 500	1 762	109
	Total	**1 210 878**	**1 796 187**	**3 007 065**	**127 682**	**2 620 667**	**808 867**	**3 429 534**	**255 364**	**3 430**	**255**
		5 964 615	**7 767 465**	**13 732 080**	**1 592 213**	**12 932 754**	**3 482 277**	**16 415 030**	**2 521 253**	**16 415**	**2 521**

Tableau 11 : Besoins et puissances énergétique pour chaque îlot.

4 DIAGNOSTIC DU POTENTIEL EN ENERGIES RENOUVELABLES

4.1 ÉLEMENTS DE CONTEXTE

4.1.1 *Contenu*

Cette section a vocation à décrire l'état des lieux énergétique du site. Ce diagnostic permettra d'identifier les ressources disponibles pour la production d'énergie et d'électricité renouvelables, ainsi que les infrastructures et sites à proximité. Cette approche détaillera les critères techniques de faisabilité (potentiel, exploitabilité) et règlementaires (prise en compte des servitudes, éligibilité à la géothermie…). Les sources d'énergie locales identifiées comme opportunes doivent permettre d'assurer l'approvisionnement en électricité, en chaleur et en froid.
Les ressources énergétiques pouvant être utilisées dans cette optique sont les suivantes :

- Énergie solaire (photovoltaïque et thermique),
- Ressource éolienne,
- Ressource géothermique (de surface et profonde),
- Biomasse,
- Méthanisation,
- Récupération de chaleur sur eaux usées et de chaleur fatale.

Le potentiel de l'hydroélectricité n'est pas étudié en raison de l'absence de cours d'eau.

Par la suite, cet état des lieux sera mis en relation avec l'étude d'opportunité de création d'un réseau de chaleur.

4.1.2 *Prise de connaissance des documents cadre*

Les documents cadrant les ambitions énergétiques à l'échelle territoriale sont à prendre en compte pour la définition des orientations et objectifs de déploiement d'énergies renouvelables sur le site.

Le **Schéma Régional Climat Air Energie de la région Aquitaine**, approuvé le 15 Novembre 2012, définit un objectif de **23% d'EnR dans la consommation finale d'énergie en 2020** (objectif Grenelle). 2 scénarios sont envisagés : Grenelle + qui prévoit 25% d'EnR dans la consommation d'énergie et Durban qui prévoit 35% d'EnR dans la consommation d'énergie.
Pour atteindre ces objectifs, l'ensemble des filières renouvelables sur lesquelles un potentiel a été identifié et évalué doit être développé, tout en tenant compte des enjeux environnementaux, paysagers et des contraintes techniques. La déclinaison de ces objectifs par typologie de ressource est précisée par le tableau ci-dessous.

Filières de production		Production en Aquitaine estimée 2010 (GWh)	Estimation de la puissance installée en 2010 (MW)	Mix de production proposée en 2020 (GWh)	Estimation de la puissance installée en 2020 (MW)	Effort sur 2010-2020
Production de chaleur d'origine renouvelable	Biomasse dans l'industrie	6 814	2 963	8 529[35]	3708	746
	Bois de chauffage des ménages	4 806	2 090	5 557[36]	2416	326
	Chaufferie bois tertiaire	92	39	239[37]	120	80
	Valorisation énergétique des déchets (2006)	79	34	33[38]	14	-20
	Géothermie (2004)	111	48	400	174	126
	Solaire thermique (2007)	14	24	1187[39]	[1 835] [40]	[1 810]
	Méthanisation (dt injection)	10[41]	1,3	960[42]	120	120
	Total	**11 926**		**16 905**		
Production d'électricité d'origine renouvelable	Hydraulique (yc pompage)	1 696	628	1 965[43]	705	77
	Biomasse	427[44]	85[45]	1 147	229[46]	144
	Valorisation énergétique des déchets	171	20	117	20	
	Solaire photovoltaïque (relié au réseau)	90	82	1200	1091	1009
	Eolien	0	0	1 260[47]	600	600
	Méthanisation			210[48]	60	60
	Total	**2 384**		**5 899**	**2 705**	**1 890**
Total de la production EnR régionale		**14 310**		**22 804**		
Dt Biocarburants (Politique nationale)[49]				**2 164**		
Total de la consommation d'énergie provenant de sources renouvelables				**24 968**		

Figure 13 - Objectifs de développement des énergies renouvelables sur la région Aquitaine en puissance installée pour le scénario Durban - Source : SRCAE Aquitaine

Le **Schéma Régional Eolien**, annexé au SRCAE, précise les objectifs de développement de l'éolien, et les décline selon les spécificités du territoire. Dans cette optique sont définies des **zones préférentielles de développement de l'éolien** sur la région.

Le **Plan Climat Air Energie Gironde**, approuvé le 20 décembre 2012, s'appuie sur le SRCAE et en reprend les objectifs. D'après ce PCAE, 95% de l'énergie consommée en Gironde est d'origine fossile ou fissile. Les 5% renouvelables correspondent essentiellement à l'utilisation de bois-énergie dans l'habitat.
En se basant sur le scénario Grenelle du SRCAE, l'effort de production EnR pour la Gironde est estimé à :

- 85,5 MW pour le bois chauffage des ménages,
- 28,5 MW pour les chaufferies bois tertiaire,
- 195 MW pour le solaire thermique,
- 1,5 MW pour la méthanisation,
- 54 MW pour la biomasse,
- 256,5 MW pour le solaire photovoltaïque.

4.2 RESSOURCE SOLAIRE

4.2.1 *Gisement solaire*

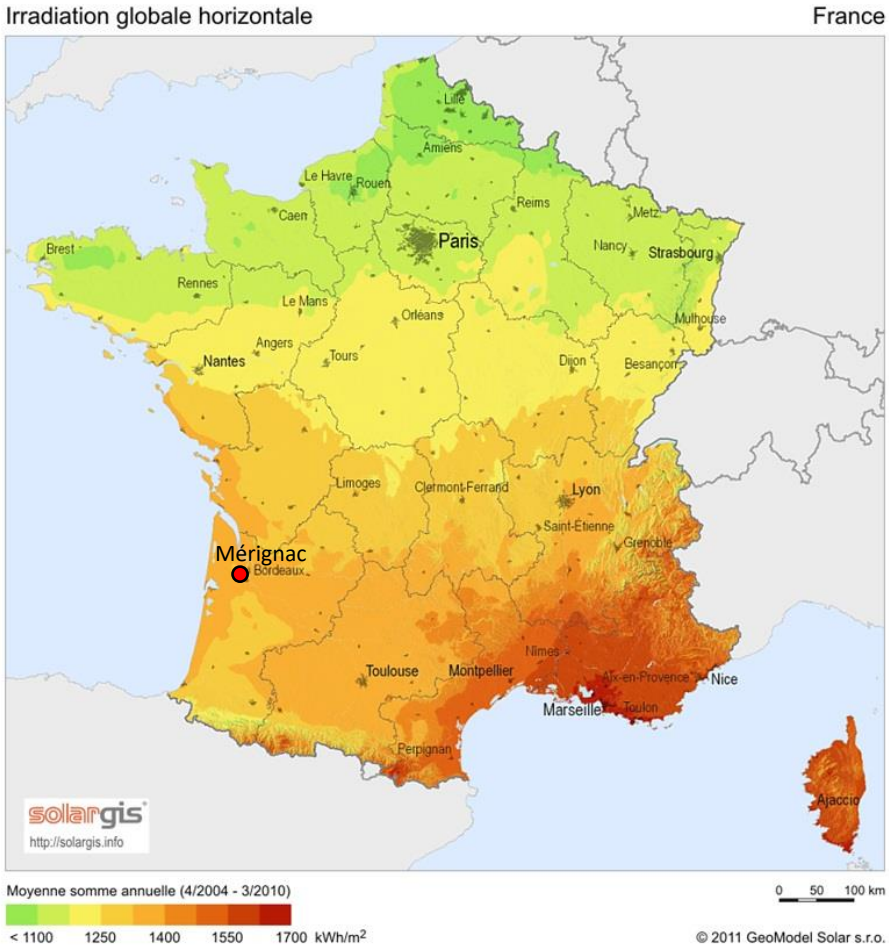


Figure 14 - Gisement solaire en France - Sources : SolarGIS

Mérignac bénéficie d'un bon potentiel solaire, avec une valeur de rayonnement global sur plan horizontal comprise entre 1 350 et 1 400 kWh/m² (l'irradiation globale annuelle en France varie de 1 100 kWh/m² dans le Nord à près de 1 700 kWh/m² dans le Sud).

4.2.2 *Potentiel photovoltaïque*

L'énergie solaire peut être transformée en électricité par l'intermédiaire de panneaux photovoltaïques, dont il existe trois catégories : les panneaux amorphes, polycristallins et monocristallins.

En ce qui concerne les logements, la consommation d'électricité d'un ménage français, hors chauffage et eau chaude, est de 3 200 kWh/an (chiffres RTE pour l'année 2013).
A titre indicatif, l'installation de 100 m² de panneaux photovoltaïques, orientés plein Sud et inclinés de 30° fournit environ :

Type de panneaux PV	Polycristallins	Monocristallins
Production attendue (kWh/an)	14 973	19 136
Equivalent logements couverts	4,7	6

L'installation de 100 m² de panneaux solaires photovoltaïques permettrait donc d'alimenter entre 4,7 et 6 logements selon la technologie choisie, ce qui reflète un important potentiel de couverture des besoins.

Les installations photovoltaïques sont intéressantes à développer sur plusieurs types de bâtiments, au regard de leur pertinence économique, environnementale et de l'adéquation d'une production photovoltaïque avec les usages des bâtiments :

- L'habitat collectif (le promoteur est à même d'intégrer un générateur photovoltaïque sur son bâtiment et de le remettre en exploitation à la copropriété) ;
- Les équipements ;
- Les surfaces commerciales.

A titre d'exemple, l'installation de panneaux solaires photovoltaïques en toiture du Carrefour serait en mesure de couvrir :

- 100% des besoins en éclairage et ventilation de 100% des logements et équipements de l'opération,
- ou 100% des consommations électrique de la voisinée n°4,
- ou 100% des consommations électrique de la voisinée n°6.

Hypothèse de calcul : surface de toiture du Carrefour 35 000 m², couvert sur 75% de sa surface par des panneaux photovoltaïques polycristallins, orientés plein Sud et inclinés à 0°.

Fin 2015, plus de 10 000 installations solaires photovoltaïques étaient recensées sur le département de la Gironde, dont 7 sur la commune de Mérignac.

Les panneaux solaires photovoltaïques sont recyclables à hauteur de 90 à 98%. En effet, ces panneaux sont composés :

- d'un cadre en aluminium
- de verre
- de cellules photovoltaïques en silicium (élément le plus abondant de la croute terrestre après l'oxygène, 25% de sa masse)
- de plastiques
- de connexions en cuivre ou argent

La collecte des panneaux en fin de vie est assurée par PV Cycle et le recyclage assuré par un réseau de partenaires (Véolia …).

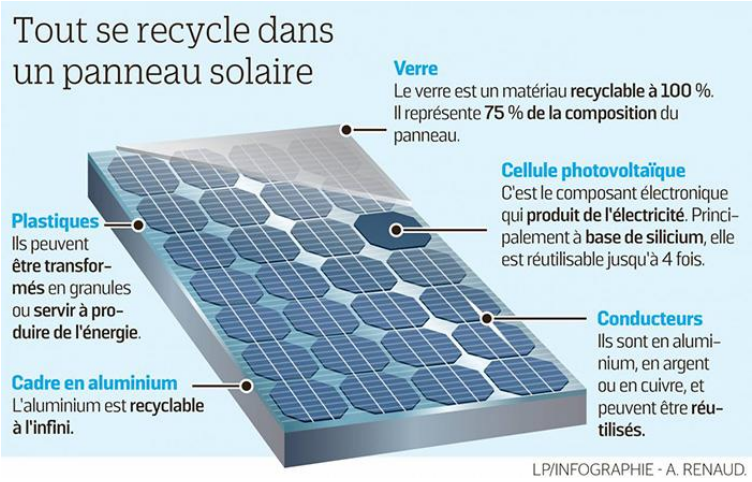


Figure 15 – recyclage des panneaux solaires photovoltaïques - Sources : cozynergy

4.2.3 *Gestion citoyenne de la production solaire*

Il peut être envisagé de développer ce projet sous forme d'une centrale photovoltaïque citoyenne. Ce procédé permet de faire participer la population à des questions liées à l'énergie et à la façon de concevoir des projets publics ou privés. Pour recevoir ce type de projet, les toitures d'équipements publics et de surfaces commerciales sont les plus adaptées.

L'investissement nécessaire à la création de la centrale est partagé et porté à la fois par des citoyens et par les collectivités locales au sein d'une société citoyenne locale. Cette société des centrales citoyennes pourrait associer :

- Les collectivités (ville de Mérignac, Bordeaux Métropole, CD 33, Région Nouvelle Aquitaine …),
- Les citoyens (particuliers, associations, clubs),
- Les acteurs régionaux (Energie Partagée, Energ'éthique, énergies coopératives),
- Les investisseurs (Enercoop, la Compagnie du vent…).

4.2.4 *Potentiel solaire thermique*

L'énergie solaire peut également être valorisée pour la production de chaleur grâce à des panneaux solaires thermiques, principalement utilisés pour la production de chaleur pour l'eau chaude sanitaire :

- Les immeubles de logement ;
- Certains bâtiments publics : groupe scolaire ;
- Commerces, cafés et restaurants.

Du fait de la constance sur l'année des besoins en eau chaude des logements collectifs, le rendement est généralement meilleur que dans les systèmes individuels.

Une estimation de la production solaire thermique dans le cas d'un projet de logements collectifs (îlot SOGARA) sur le secteur de Mérignac Soleil peut être réalisée suivant les hypothèses suivantes :

- Besoins :
    - Calculés pour un bâtiment de 153 logements collectifs (Surface de Plancher : 10 000 m²), avec environ 3 personnes par logement ;
    - Taux d'occupation des logements de 75% en juillet et août, 100% sur le reste de l'année ;

→ Le besoin annuel en eau chaude sanitaire du bâtiment est ainsi estimé à 236 721 kWh/an.

- Système de production :
    - Inclinaison des capteurs : 45° par rapport à l'horizontale ;
    - Température de l'eau : 55°C ;
    - Volume de stockage : 4 ballons de 2000 L extérieur aux bâtiments.

L'installation de 350 m² de capteurs thermiques (1 capteur de 2,3 m² par logement) permet d'atteindre un taux de couverture de plus de 50% des besoins ECS annuels.

Attention : en cas de déploiement d'un réseau de chaleur ou d'une boucle tempérée, la mise en place de panneaux solaires thermiques ne devra pas être prescrite pour éviter de limiter la densité énergétique du réseau et donc sa rentabilité

4.2.5 *Conclusion sur le potentiel solaire*

Le quartier de Mérignac Soleil offre de nombreuses opportunités de développement de l'énergie solaire en toiture. Les surfaces disponibles pour la production devront prendre en compte les autres fonctions des toitures : systèmes techniques (édicule d'ascenseur, gaines de ventilation, CTA, PAC …), toitures végétalisées, accessibilité pour entretien / maintenance … Au maximum 50% de la surface de toiture disponible pourra être couverte de panneaux.
L'arbitrage sur le choix des modes de production à favoriser (photovoltaïque ou thermique) s'effectuera selon des critères de pertinence environnementaux et économiques, et en fonction des typologies de besoins des bâtiments. Des précisions pourront être fournies dans les fiches de lots.

		ATOUTS	CONTRAINTES
Besoins électricité	**Photovoltaïque**	Gisement favorable Technique largement maîtrisée Pas de consommation de foncier (consommation d'espaces de toitures) Pas d'impact calendrier (mise en œuvre lors de la construction)	Orientation des toitures Coût d'investissement
Besoins ECS	**Solaire thermique**	Gisement favorable Technique largement maîtrisée Pas de consommation de foncier (consommation d'espaces de toitures) Pas d'impact calendrier (mise en œuvre lors de la construction)	Limite la densité énergétique et donc la rentabilité d'un réseau de chaleur

4.3 RESSOURCE EOLIENNE

4.3.1 *Gisement éolien*

La région Aquitaine a produit un Schéma Régional Eolien, annexé au SRCAE du 15 Novembre 2012. Ce schéma est accompagné de cartographies.

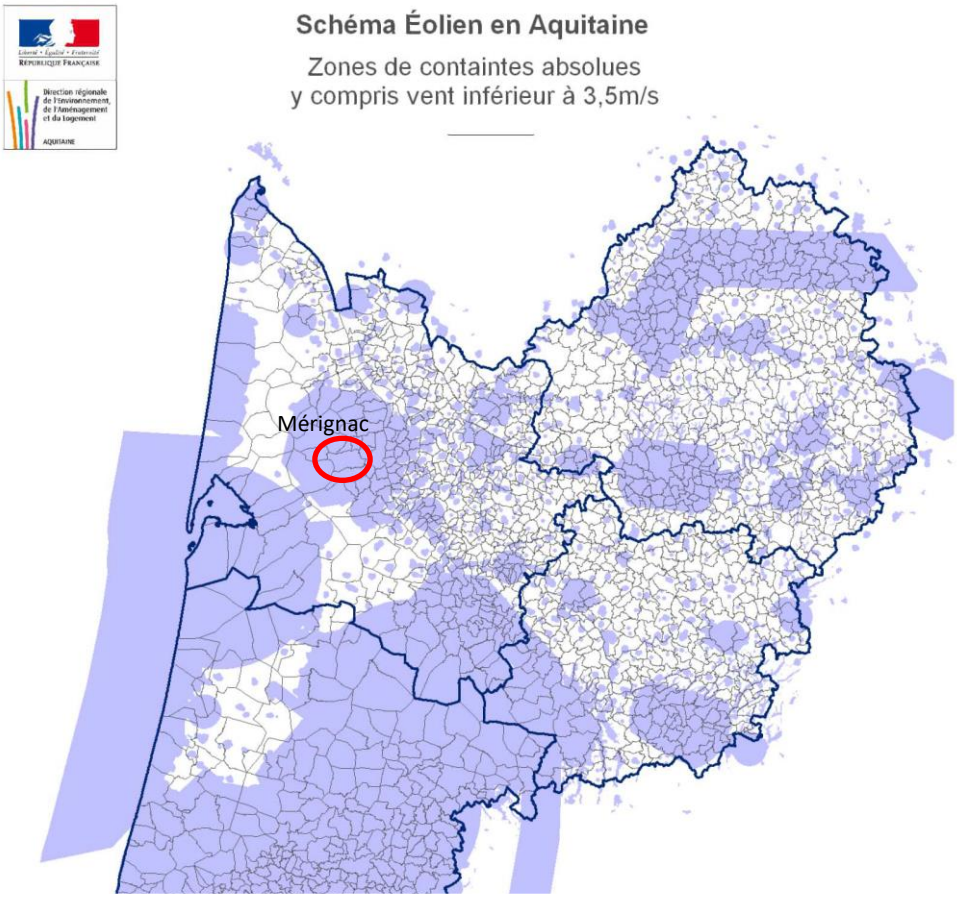


Figure 16 **- Extrait de la cartographie du gisement éolien à 80 m en région Aquitaine – Source : Schéma Régional Eolien (SRE)**

La commune de Mérignac est située dans une zone suffisamment ventée pour accueillir des installations éoliennes. Le gisement est bon avec des vitesses de vent supérieures à 4,7 m/s à 80m d'altitude.

4.3.2 *Contraintes*

Malgré un gisement en vent favorable, les trois contraintes suivantes ne permettent pas d'envisager le développement de l'énergie éolienne sur le territoire de la commune :

- La présence de l'aéroport de Bordeaux-Mérignac,
- L'environnement urbain dense,
- Le classement au Patrimoine Mondiale de l'Unesco du centre-ville de Bordeaux.

4.3.3 *Conclusion sur le potentiel éolien*

Le déploiement du petit éolien (puissance inférieure à 36kW) est a priori envisageable, sous réserve de compatibilité avec les servitudes aéronautique et de protection de Monument Historique, de rentabilité économique et de capacité de couverture des besoins électriques grâce à cette technologie. L'implantation d'une telle installation, par exemple en toiture pour une éolienne à axe vertical devra faire l'objet d'une étude de ventement pour s'assurer du productible disponible.

Cette ressource est considérée comme non pertinente techniquement et financièrement dans le présent contexte.

		ATOUTS	CONTRAINTES
Besoins électricité	**Petit éolien**	Implantable en milieu urbain	Servitude aéronautique Faible productivité Constance du ventement à vérifier en contexte urbain
Besoins électricité	**Moyen et grand éolien**	Bon ventement	A exclure en milieu urbain et à proximité de l'aéroport

4.4 RESSOURCE GEOTHERMIQUE

Le bassin Aquitain représente, après le bassin parisien, la 2ème ressource d'énergie géothermale en France métropolitaine, mais reste actuellement sous-exploité. Plusieurs technologies permettent de valoriser la chaleur du sous-sol pour couvrir des besoins en chaud et en froid. Parmi les systèmes géothermiques existants, seront étudiés la géothermie très basse température et basse température, la géothermie peu profonde et profonde. Certaines de ces ressources ont déjà été étudiées par Bordeaux Métropole dans le cadre de faisabilité de déploiement de réseau de chaleur urbain dans la ville de Mérignac.

4.4.1 *Géothermie très basse énergie*

La géothermie très basse énergie est une géothermie assistée par pompe à chaleur. Elle utilise des eaux dont la température est inférieure à 30°C, contenue dans les terrains géologiques compris entre 0 et 100 m de profondeur. Une pompe à chaleur permet d'augmenter la température de l'eau afin qu'elle soit suffisante pour le chauffage. Les usages à privilégier sur le secteur sont le chauffage et rafraîchissement des logements individuels, collectifs ou tertiaire. La géothermie très basse température est particulièrement adaptée pour les bâtiments ayant de faibles besoins en chaleur.

De nombreuses opérations développées dans les années 1980 et 1990 permettent d'encourager le développement de la géothermie basse à très basse énergie : climatisation du Palais du Festival de Cannes, chauffage de bâtiments administratifs à Marseille, Nice, …

Deux technologies distinctes permettent de valoriser les ressources géothermiques de faible profondeur : la géothermie sur nappe ou « en nappe » (échange de chaleur à partir d'eau prélevée, rejetée par forages en doublet) et sur sondes, dite « hors nappe » (échanges entre des sondes géothermiques verticales et le sous-sol).

L'atlas des ressources géothermiques, réalisé par le BRGM met à disposition les informations relatives à la géothermie très basse énergie.

Figure 17 - Caractérisation du gisement en géothermie très basse énergie sur le secteur de Mérignac Soleil – Source : Géothermie Perspective

Le secteur de Mérignac Soleil se situe dans une zone à fort potentiel pour de la géothermie très basse énergie. La nappe souterraine de l'oligocène, située à une quarantaine de mètres de profondeur, est

référencée par le BRGM comme présentant une température de 15°C et un débit exploitable supérieur à 100m³/h.

Un captage pour l'alimentation en eau potable est enregistré à moins de 2 km du site au Nord-Est et des mesures seront à prendre pour assurer le maintien de la qualité de l'eau en cas d'exploitation de cet aquifère.

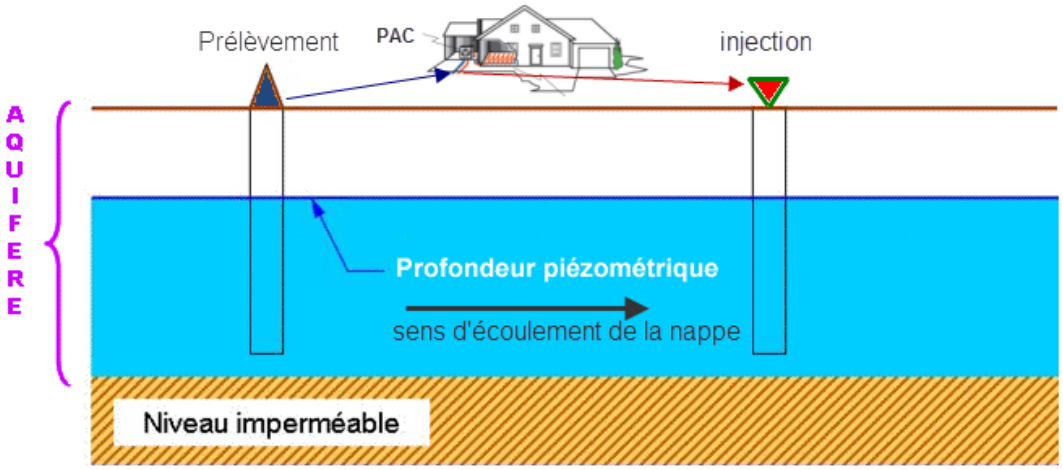


Figure 18 - Coupe schématique du principe de fonctionnement en double forage – Source : Géothermie Perspective

Le secteur de Mérignac Soleil bénéficie d'un potentiel estimé important à très important, exploitable par géothermie sur nappe. Ce potentiel a été évalué en fonction de deux critères :

- Le débit d'exploitation espéré,
- La profondeur de la nappe.

Sur l'ensemble du secteur concerné, les débits sont importants (supérieurs à 100 m³/h), ce qui correspond à des conditions très favorables pour l'exploitation du gisement. La profondeur relativement faible de la nappe (environ 40 m) facilite l'accès à la ressource. Sur l'ensemble du secteur, la température se situe aux environs de 15°C, ce qui correspond à des conditions favorables pour une exploitation géothermique en très basse température.

Ce type d'installation permet de fournir chauffage et rafraîchissement aux bâtiments collectifs ou tertiaires. L'exploitation de cet aquifère pourrait fournir une puissance thermique d'environ 1MW, d'après une estimation de Bordeaux Métropole en Janvier 2017.

La mise en œuvre d'installation de sondes géothermiques pourra également être étudiée pour l'approvisionnement énergétique du secteur et/ou de ses bâtiments. Ces champs de sondes peuvent notamment être mis en œuvre sous des surfaces de parkings extérieurs ou intégrés à des pieux de fondation sous les bâtiments.

4.4.2 *Géothermie basse énergie*

La géothermie basse énergie est également assistée par pompe à chaleur. Elle utilise des eaux contenues dans les terrains géologiques compris entre 100 et 1 000 m de profondeur. Une pompe à chaleur permet d'augmenter la température de l'eau afin qu'elle soit suffisante pour le chauffage. Les usages à privilégier sur le secteur sont le chauffage des logements collectifs ou bâtiment tertiaire.

Figure 19 - Caractérisation du gisement en géothermie basse énergie sur le secteur de Mérignac Soleil – Source : Géothermie Perspective

Le secteur de Mérignac Soleil se situe dans une zone à fort potentiel pour de la géothermie basse énergie. La nappe souterraine du Cénomanien, située à environ 900 m de mètres de profondeur, est référencée par le BRGM comme présentant une température d'environ 50°C et un débit exploitable supérieur à 100 m^3/h.

Les études, réalisées par Sermet dans le cadre d'un approvisionnement plus large à l'échelle de la ville, concluaient à un prix de l'énergie trop élevé pour assurer la rentabilité de l'installation.

4.4.3 *Géothermie moyenne énergie*

La géothermie de moyenne énergie extrait l'eau chaude contenue dans les aquifères profonds (1 500-2 000 m) des bassins sédimentaires et utilise cette chaleur directement (via un échangeur de chaleur) pour le chauffage. Elle nécessite un second forage pour réinjecter les eaux dans l'aquifère originel, à 1 500 ou 2 000 m du puits de production (concept de doublet géothermique).
La géothermie de moyenne énergie se base sur des eaux ou vapeurs d'eau comprises entre 70 et 150°C. Elle se retrouve dans les zones propices à la géothermie haute énergie, à des profondeurs inférieures à 1 000 m, ainsi que dans les bassins sédimentaires, à des profondeurs comprises entre 2 000 et 4 000 m. Cette technologie nécessite l'utilisation d'un fluide intermédiaire pour la production d'électricité.

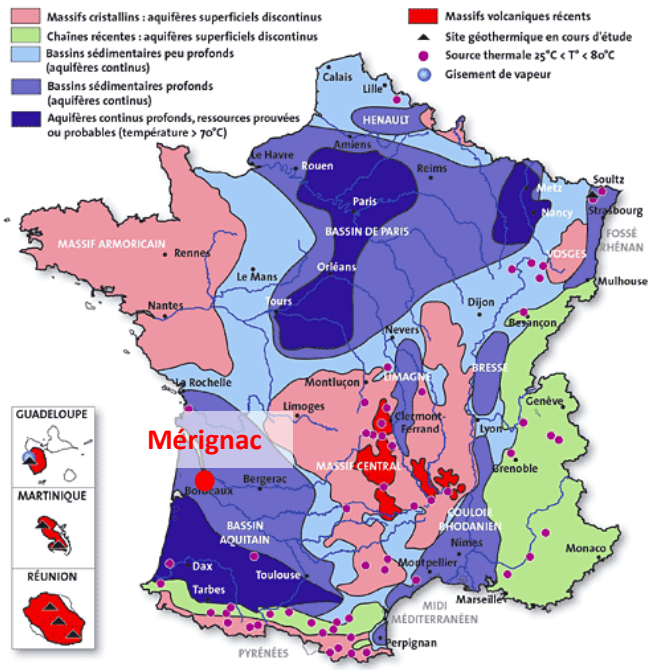


Figure 20 - Gisement de géothermie profonde en France - Source BRGM

Mérignac se situe sur un bassin sédimentaire profond, et un aquifère continu, ce qui représente un potentiel favorable à la géothermie profonde. Plusieurs opérations sont référencées dans ce secteur géographique comme par exemple le quartier Mériadeck à Bordeaux.

Les études, réalisées par Sermet dans le cadre d'un approvisionnement plus large à l'échelle de la ville, concluaient à un prix de l'énergie compatible avec la rentabilité d'une telle installation, mais néanmoins supérieur au prix actuel de l'énergie payé par les usagers. Cette solution n'a donc pas été retenue.

4.4.4 *Géothermie haute énergie*

La géothermie haute énergie est utilisée pour la production d'électricité. Le principe de cette technique consiste à injecter de l'eau sous pression dans des roches chaudes profondes (entre 4 000 et 5 000 mètres de profondeur). L'eau est réchauffée au contact des roches chaudes profondes et cède son énergie à une unité de surface produisant de l'électricité.

La carte suivante cartographie les zones possédant un fort potentiel pour l'exploitation de la géothermie haute énergie.

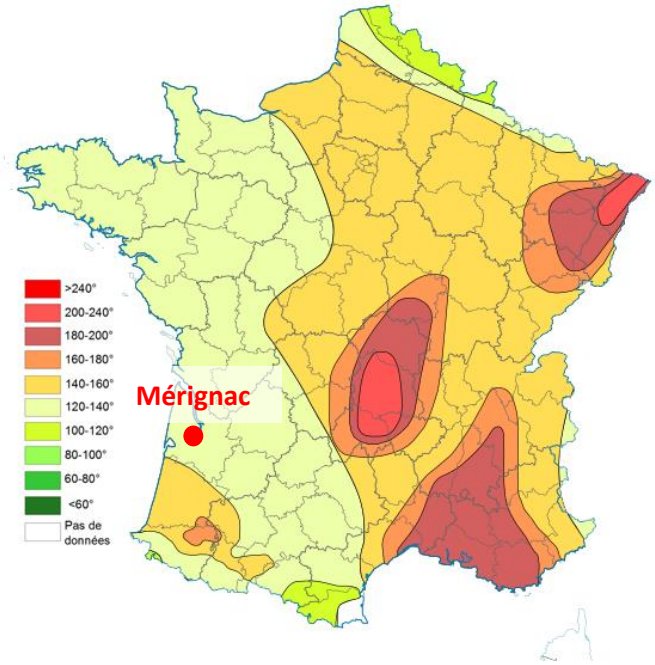


Figure 21 - Gisement de géothermie très profonde >5km – Source : TLS Geothermics SAS

Mérignac ne se situe pas sur un gisement de géothermie très profonde favorable.

4.4.5 *Conclusion sur le potentiel de la géothermie*

La ressource la plus facilement mobilisable est la géothermie très basse température sur nappe. La puissance de la nappe alluviale fournit des débits importants, qui rendent les prélèvements géothermiques intéressants à condition de bien dimensionner les ouvrages et d'éviter les interactions.

		ATOUTS	CONTRAINTES	
Besoins chauffage/ECS/ climatisation	**Géothermie très basse énergie**	Potentiel favorable Emprise foncière limitée lors des forages Emprise de la centrale à intégrer au projet : environ 100m² pour le local technique, variable selon puissance	Potentiel énergétique à valider par une étude d'hydrogéologue Puissance énergétique limitée : ne pourra pas subvenir aux besoins en chaleur de tout le projet. Pertinent pour l'approvisionnement en chaleur d'un îlot ou comme appoint pour un réseau plus grand.	
Besoins chauffage/ECS/ climatisation	**Géothermie basse énergie**	Potentiel favorable	Potentiel énergétique à valider par une étude d'hydrogéologue. Investissement important Prix de la chaleur trop élevé pour rentabiliser l'installation Emprise foncière importante lors des forages	

Besoins chauffage/ECS/ climatisation	**Géothermie moyenne énergie**	Potentiel favorable	Potentiel énergétique à valider par une étude d'hydrogéologue Investissement important Prix de la chaleur supérieur au prix actuel Emprise foncière très importante lors des forages. L'emprise de la centrale géothermique est ensuite plus réduite.	
Besoins chauffage/ECS/ climatisation	**Géothermie haute énergie**		Potentiel défavorable Investissement trop élevé	

4.5 BIOMASSE

La forêt couvre 44% du territoire régional Aquitain. En 2010, la production d'énergie thermique renouvelable, couverte à 95% par la biomasse, représentait 12,4% de la consommation d'énergie finale de l'Aquitaine (principalement sous la forme de bois énergie dans l'industrie et de bois de chauffage des ménages).

La filière bois énergie fait apparaître 3 principales origines :

- Origine agricole (cultures dédiées, valorisation des pailles, effluents et coproduits agricoles),
- Origine sylvicole (cultures dédiées ou semi dédiées, valorisation des petits bois, rémanents et souches, coproduits industriels),
- Recyclage (déchets d'élagages et d'espaces verts, DIB, papier/cartons, déchets alimentaires, résidus de traitements des eaux, effluents, ordures ménagères).

D'après le SRCAE Aquitaine, *« Le principal enjeu de la production d'énergie à partir du bois est celui d'éventuels conflits d'usage. En effet, la production d'énergie n'est pas le seul usage du bois et les besoins en bois d'œuvre (sciage, contreplaqués) et bois d'industrie (panneaux, pâtes/papiers, Energie) sont particulièrement importants en région Aquitaine. ».*
Pour y remédier, il est préconisé d'utiliser les ressources en bois de manière optimale, de développer le recours à des gisements inexploités (massifs autres que le Landais) et de développer l'utilisation de la biomasse énergétique d'origine agricole.

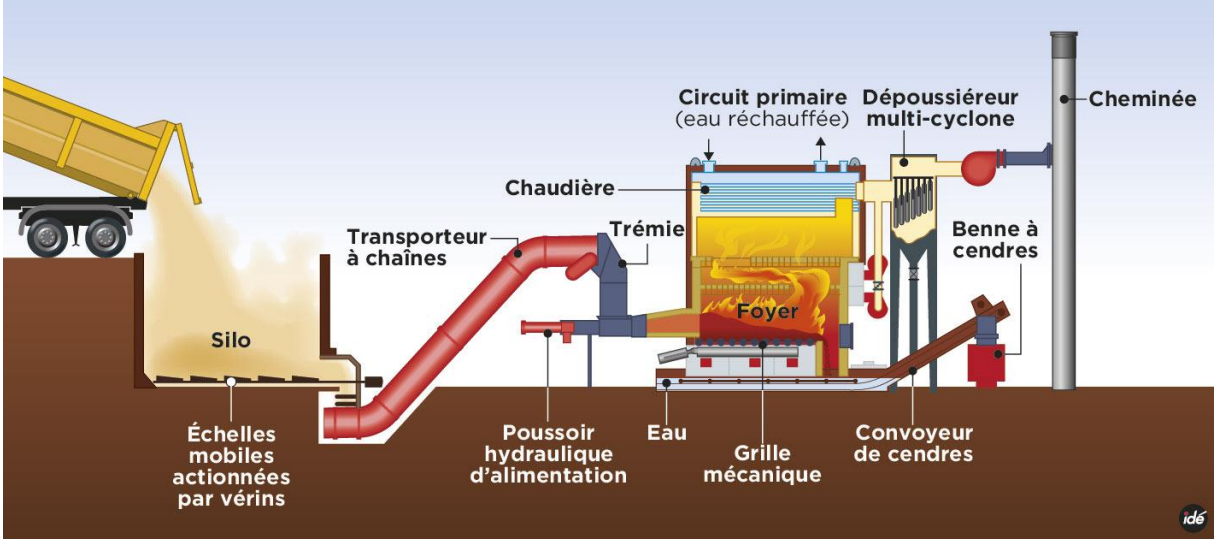


Figure 22 - Schéma de principe pour le fonctionnement d'une chaufferie biomasse – Source : MAEV

L'approvisionnement biomasse reste une opportunité intéressante en Aquitaine et serait en mesure d'approvisionner le secteur de Mérignac Soleil. Les gisements forestiers gérés durablement les plus proches du site seront à privilégier.

La mise en œuvre d'une chaufferie biomasse nécessite de l'espace (chaufferie en elle-même, mais aussi espace de stockage, aire de livraison …). A titre d'exemple, la chaufferie Ginko, d'une puissance de 3MW occupe une parcelle d'environ 2500m². Un espace sera donc à trouver dans l'emprise du projet pour son implantation.

4.5.1 *Conclusion sur le potentiel de la filière biomasse*

La biomasse est une ressource disponible à l'échelle de la région. L'approvisionnement local pour les besoins énergétique de l'opération devra être sécurisé. La localisation de la chaufferie sera également à déterminer.

		ATOUTS	CONTRAINTES	
Besoins chauffage/ECS	**Chaudière bois**	Ressource importante à l'échelle régionale Energie exploitable à l'échelle du projet comme à celle de l'îlot ou du bâtiment	Approvisionnement local à sécuriser Emprise foncière importante à prévoir dans le projet : chaufferie, stockage, aire de retournement pour les livraisons … : variable selon la puissance de la chaufferie et l'autonomie recherchée dans le stockage Impact sur la qualité de l'air	

4.6 METHANISATION

4.6.1 *Caractérisation du gisement*

Les matières organiques pouvant être traitées par méthanisation se déclinent en trois catégories :

- Les déchets agro-industriels (déchets carnés, restes de restauration, etc),
- Les déchets agricoles (lisier, fumier, résidus de récoltes, etc),
- Les déchets des collectivités locales (boues de stations d'épuration des eaux urbaines, ordures ménagères, tontes de pelouse, etc).

Le SRCAE indique que « *selon GRdF, ce sont près de 25 % de la consommation de gaz naturel en Aquitaine qui pourrait être couverte par la production de biogaz ».*

Figure 23 – Centre de méthanisation – source : Démouville

Cependant, le secteur de Mérignac Soleil ne produit pas suffisamment de matières méthanisables pour assurer la rentabilité d'une installation et l'installation d'un méthaniseur en centre urbain n'est pas envisageable.

Une installation de type micro-méthanisation pourrait cependant être envisagé dans le quartier, en utilisant les déchets organiques des logements et de restauration (restauration scolaire, d'entreprise, commerciale). La récupération des déchets alimentaire de Carrefour et de sa galerie marchande pourrait améliorer la rentabilité d'une telle installation. Le biogaz produit peut ensuite être valorisé en chaleur sur un réseau de chaleur ou une boucle tempérée ou via un module de cogénération avec récupération de chaleur. Le fertilisant généré par le processus pourra quant à lui être valorisé pour l'entretien des espaces verts de la ville ou de l'agglomération ou encore chez des agriculteurs locaux.
La récupération des biodéchets des logements pourrait, à elle seule représenter environ 550 tonnes de déchets fermentescibles chaque année, pour une production d'environ 55 000 m^3 de biogaz, soit 330 000 kWh / an.

Figure 24 – exemple de micro-méthanisation urbaine – source : Tryon Environnement

La mise en œuvre d'une telle installation nécessitera une forte volonté des pouvoirs publics locaux, notamment pour l'organisation de la collecte et la gestion administrative (impact sur la taxe ordures ménagères …)

4.6.2 *Conclusion sur le potentiel méthanisation*

Si la région Aquitaine présente un potentiel de production de biogaz intéressant, la mise en œuvre d'une usine de méthanisation n'est pas envisageable dans un espace urbanisé tel que le secteur de Mérignac Soleil. En revanche, la micro-méthanisation peut être envisagée. La collecte des matières méthanisables devra être organisée, de même que les interactions avec le gestionnaire des déchets habituel.

		ATOUTS	CONTRAINTES	
Besoins chauffage/ECS	**Méthanisation**	Gisement important à l'échelle régional	Intégration difficile à un projet urbain Emprise au sol importante Acceptation difficile de ce type de projet par les riverains	
Besoins chauffage/ECS	**Micro-méthanisation**	Environ 2600 logements, des surfaces de restauration et une grande surface alimentaire à proximité.	Nécessite une volonté politique forte Collecte à organiser	

4.7 RECUPERATION DE CHALEUR SUR EAUX USEES

Lors de leur évacuation, les eaux usées ont une température comprise en moyenne entre 10 et 20°C. Les calories de ces eaux peuvent être récupérées par deux moyens techniques :

- Récupération de la chaleur des eaux usées d'un bâtiment pour préchauffer l'eau froide et ainsi faire des économies sur les consommations dues au chauffage de l'eau chaude sanitaire. Un échangeur thermique est installé au sein des canalisations d'évacuation. Il récupère la chaleur des eaux usées et les transferts dans le bâtiment via une pompe à chaleur, mettant cette énergie à profit pour le préchauffage de l'ECS. Ces eaux usées peuvent être issues des cuisines, salles de bain, lave-linge, lave-vaisselle, etc.
- Récupération de la chaleur contenue dans les eaux usées circulant dans les réseaux collecteurs.

Du fait de la généralisation progressive des systèmes hydro-économes, la consommation d'eau froide tend à diminuer. Cela entraîne une augmentation de la température des eaux usées. Ainsi, les pompes à chaleur fonctionnant avec les eaux usées peuvent atteindre des températures d'utilisation de 50 à 65°C. La récupération de chaleur est particulièrement adaptée dans le cas de nouvelles constructions équipées de systèmes de chauffage à basse température (planchers chauffants par exemple).
La rentabilité de l'exploitation d'un chauffage collectif augmente avec la densité du quartier. Une seule chaufferie peut alimenter tous les bâtiments situés dans un rayon de 100 m.

4.7.1 *Récupération dans les collecteurs du réseau d'assainissement*

Cette solution utilise la chaleur des effluents quel qu'en soit le type (eaux vannes et eaux grises), sans prétraitement nécessaire. Elle met en œuvre des échangeurs spécifiques (brevets) qui sont soit directement intégrés dans des canalisations neuves lors de leur fabrication, soit rapportés et posés en partie basse des canalisations d'eaux usées existantes ou construites spécifiquement.
Pour utiliser cette ressource, il est nécessaire de vérifier que le diamètre des conduits est supérieur à 80 cm pour des réseaux existants et 40 cm pour les réseaux neufs. Par ailleurs, le tronçon équipé doit être exempt de coude, le débit doit être au minimum de 12 l/s et la température doit être supérieure à 10°C la plupart du temps même en hiver. Il est indispensable d'avoir une puissance minimale de 150 kW.
A Bordeaux, cette technologie a été mise en œuvre en 2011 sur le réseau d'assainissement de l'Hôtel de la Communauté Urbaine. 198m linéaire d'échangeur ont été installés dans le réseau d'eaux usées. Ils permettent une économie de 300 000 kWh chaque année.

Pendant l'avancement des plans VRD, en phase AVP / PRO, il conviendra de vérifier que les réseaux projetés, sont suffisamment importants pour une valorisation de la chaleur des eaux usées, et que la densité énergétique du quartier est suffisante pour permettre la rentabilité d'une telle installation.

Figure 25 – Récupération de chaleur sur les eaux usées – Source : BPR-Europe

4.7.2 *Récupération d'énergie thermique sur les eaux grises des bâtiments*

Au niveau des bâtiments ayant une forte consommation d'eau, la chaleur des eaux usées peut être captée directement à la sortie de l'immeuble, grâce à un échangeur de chaleur installé sur l'évacuation des eaux grises des bâtiments neufs.

La chaleur récupérée sert généralement au préchauffage de l'eau chaude sanitaire de l'immeuble. Une application au chauffage (et/ou à la climatisation) peut également être envisagée avec l'intégration d'une pompe à chaleur au dispositif.

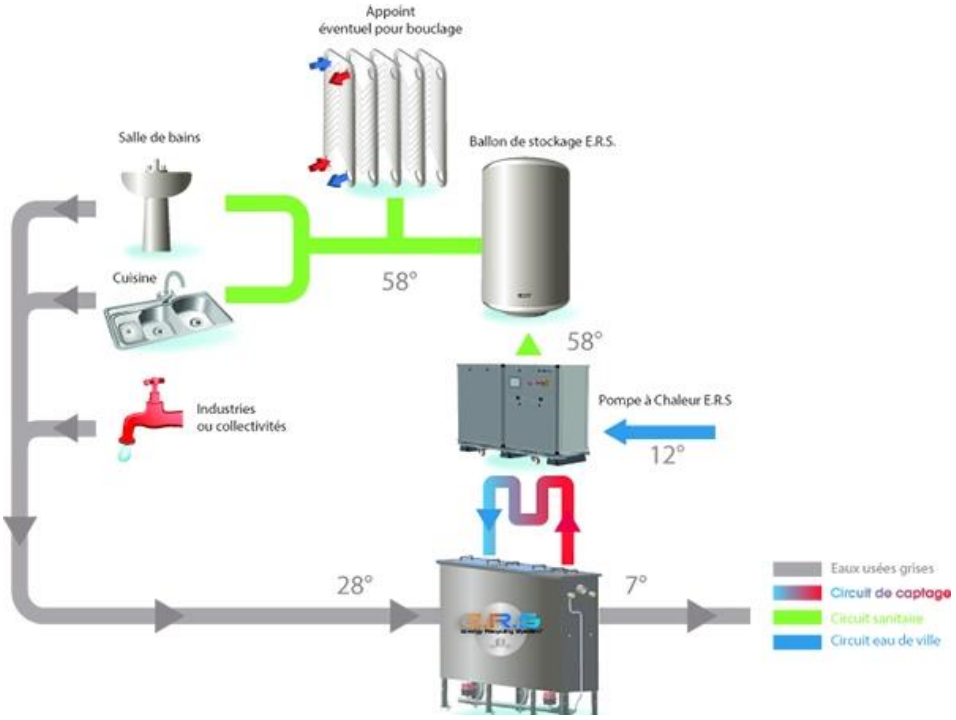


Figure 26 – Récupération de chaleur sur les eaux usées Bâtiment – Source : Biofluides-ERS

4.7.3 *Récupération au niveau de stations d'épuration*

La station d'épuration de Cantinolle, à Eysines, la plus proche du secteur de Mérignac Soleil est trop éloignée du site pour envisager une récupération de chaleur sur les effluents.

4.7.4 *Conclusion sur le potentiel de récupération de chaleur sur les eaux usées*

La récupération de chaleur sur eaux usées pour réaliser des économies d'eau chaude sanitaire est envisageable au niveau des bâtiments qui en sont de forts consommateurs (logements collectifs par exemple). Le cas échéant, la conception des bâtiments devra prévoir la séparation des eaux grises et des eaux vannes.

		ATOUTS	CONTRAINTES	
Besoins ECS / Chauffage	**Echangeur sur le réseau d'eaux usées du quartier + PAC**	Facilité de mise en œuvre sur réseaux neufs Emprise foncière faible S'intègre au planning travaux VRD (pas de délais supplémentaires)	Caractéristiques des canalisations et des débits à vérifier Mise en œuvre plus difficile sur réseaux existants	

Besoins ECS / Chauffage	**PAC sur le réseau d'eaux usées du bâtiment**	Ressource assurée et pérenne Emprise foncière faible S'intègre au planning travaux des constructions (pas de délais supplémentaires)	Prévoir la séparation des réseaux dans la conception des bâtiments	
Besoins ECS / Chauffage	**Echangeur sur station d'épuration**	Ressource assurée et pérenne Pas d'emprise foncière sur le projet	Station d'épuration trop éloignée du site	

4.8 RECUPERATION DE L'ENERGIE FATALE

L'énergie fatale désigne les rejets thermiques inévitables et non valorisés. Dans le cas de la création d'un réseau de chaleur ou d'une boucle tempérée à l'échelle d'un secteur, il peut être intéressant d'y raccorder les installations émettrices d'énergie fatale (chaud et/ou froid) afin de récupérer et de valoriser l'énergie résiduelle de ces bâtiments.

Le magasin Carrefour et sa galerie marchande sont susceptibles d'être des sources d'énergie fatales intéressantes. Un diagnostic de leurs installations de production de chaud et de froid est cependant nécessaire pour s'assurer de leur compatibilité avec un process de récupération de chaleur et/ou de froid en fonction des saisons. En effet, dans le cadre d'une boucle d'eau tempérée à l'échelle du secteur de Mérignac Soleil, les installations de climatisation et production de froid positif et négatif pourraient être une source permettant de réchauffer la boucle en toute saison, tandis que les installations de chauffage fonctionnant l'été pourraient constituer une source permettant de refroidir la boucle en été.

Ce potentiel énergétique ne peut pas être évalué pour le moment. Nous sommes dans l'attente d'un retour de Carrefour / Klépierre pour approfondir cette étude par un diagnostic des installations existantes, afin de déterminer le potentiel.

Au-delà du magasin Carrefour et de sa galerie marchande, les futurs preneurs des locaux commerciaux du secteur Mérignac Soleil pourraient également constituer des contributeurs de chaleur ou de froid pour une boucle tempérée à l'échelle du secteur de Mérignac Soleil mais aussi à l'échelle de l'îlot.

Cette solution est intéressante à développer à l'échelle de plusieurs bâtiments proches, dans le cas où des complémentarités de besoins sont constatées (par exemple, proximité d'un bâtiment producteur de froid donc susceptible d'émettre une chaleur résiduelle et d'un bâtiment de logements avec de forts besoins de chaleur).

		ATOUTS	CONTRAINTES
Besoins chauffage	**Echangeur en sortie de bâtiments**	Proximité du magasin Carrefour et de sa galerie marchande Locaux commerciaux en RdC des îlots Emprise foncière faible	Gisement de chaud et de froid à évaluer Compatibilité technique des installations existantes et à venir à vérifier Gisement lié à la présence du Carrefour et de sa galerie marchande

4.9 SYNTHESE DU POTENTIEL EN ENERGIES RENOUVELABLES

Ce diagnostic a permis de mettre en avant la disponibilité de plusieurs ressources pour la production de chaleur, de froid et d'électricité renouvelables pour les besoins du secteur Mérignac Soleil.

L'énergie solaire peut être valorisée pour la production de chaleur ou d'électricité. La disponibilité de la ressource est favorable, de par un gisement important et la disponibilité d'espace en toitures. Un arbitrage sera cependant à réaliser sur l'usage des différentes surfaces de toitures :

- solaire thermique,
- solaire photovoltaïque,
- végétalisation,
- systèmes techniques,
- accessibilité pour les habitants (terrasses)
- zone d'accessibilité pour l'entretien et la maintenance.

A ce stade du projet, il peut être préconisé d'intégrer les équipements techniques dans le bâtiment pour libérer un maximum d'espaces en toiture, de réserver les toitures bien exposées à la production d'énergie solaire (thermique ou photovoltaïque en fonction des besoins des bâtiments) et d'utiliser les toitures les moins bien exposées pour de la végétalisation.

La ressource éolienne ne pourra pas être exploitée en raison des contraintes trop importantes : milieu urbain, proximité du centre-ville classé de Bordeaux, mais surtout proximité de l'aéroport de Bordeaux-Mérignac.

La géothermie très basse énergie sur nappe semble une source intéressante à valoriser. Le gisement est sera à vérifier en missionnant un hydrogéologue, si l'étude technico-économique menée dans le cadre de la présente étude valide l'opportunité de cette source d'approvisionnement. Cette ressource géothermique pourrait participer à l'équilibre d'une boucle tempérée ou à l'approvisionnement d'un gros îlot. La géothermie très basse énergie est appropriée pour la production de chaud, mais aussi de froid ou pour le free-cooling (rafraichissement passif).
Des gisements existent également en géothermie basse et moyenne énergie, mais les précédentes études réalisées concluent à des prix de la chaleur trop élevés.

La biomasse est une ressource importante à l'échelle de la région. Elle est cependant déjà largement exploitée et l'approvisionnement en matière locale n'est pas assuré en raison de conflits d'usages (bois énergie, bois industriel, bois d'œuvre …). La sécurisation de l'approvisionnement est donc à assurer avant d'envisager l'approvisionnement de Mérignac Soleil par cette énergie. D'autre part, un emplacement devra être trouvé pour implanter la chaufferie au sein du quartier.

Le recours à la méthanisation en zone urbaine n'est pas envisageable, malgré un potentiel à l'échelle régional intéressant. La micro-méthanisation représente en revanche une réelle opportunité, mais ne pourra représenter qu'un appoint énergétique.

La récupération de chaleur sur les eaux usées est envisageable à l'échelle des bâtiments, notamment des immeubles de logements. Celle-ci nécessite d'installer des systèmes d'évacuation séparés des eaux grises et des eaux vannes au sein des bâtiments. La récupération de chaleur au niveau des collecteurs d'eaux usées dans le quartier peut également être envisagée et sera à valider avec l'avancée des études de VRD.

Enfin, **la récupération d'énergie fatale constitue une opportunité importante à l'échelle du secteur étudié**, pour la récupération et la valorisation de chaleur ou de froid résiduel. Si les installations techniques sont compatibles, cette récupération d'énergie pourrait participer à l'approvisionnement d'une boucle tempérée ou à un approvisionnement à l'échelle de l'îlot ou de la voisinée grâce aux rez-de-chaussée commerciaux.

Les larges surfaces de toitures, comme celles des surfaces commerciales (ex : Carrefour), des parkings silos et des bâtiments n'ayant pas de besoins en ECS très importants (ex : tertiaires, scolaire …) pourront être utilisées pour la production d'énergie solaire photovoltaïque et couvrir ainsi une partie des besoins électriques du secteur. En cas de surproduction, l'électricité excédentaire pourra alimenter les bornes de recharge pour véhicules électriques ou être revendue sur le réseau électrique national.

L'approvisionnement en chaleur pourra être envisagé à l'échelle de l'ensemble de l'opération Mérignac Soleil si les contraintes de phasage sont compatibles, la densité énergétique favorable et le prix de l'énergie compétitif. Dans ce cas, le secteur présentant des besoins en chaud et en froid importants, la mise en place d'une boucle d'eau tempérée constituerait une véritable opportunité à l'échelle du secteur.
La récupération des énergies fatales sur les installations thermiques et frigorifiques des surfaces commerciales pourrait être une solution particulièrement pertinente au regard de la programmation et des besoins de cette zone.
L'aquifère géothermique très basse énergie de l'oligocène semble présenter un bon débit et pourrait également être une source d'énergie pertinente à l'échelle du quartier.
Enfin, si les réseaux d'EU le permettent, la récupération de chaleur sur les eaux usées du quartier sera envisagée.
En complément, des panneaux solaires thermiques en toiture des bâtiments d'habitation apporteraient un complément énergétique pour la production d'ECS.

Si les contraintes à la réalisation d'un approvisionnement à l'échelle de l'ensemble de la zone sont trop importantes et insurmontables, un approvisionnement à l'échelle du bâtiment ou de l'îlot ou de la voisinée sera envisagé. Plusieurs approvisionnements énergétiques sont envisageables et seront à étudier dans les études d'approvisionnement en EnR de ces projets de construction, comme par exemple la géothermie très basse énergie, le solaire thermique, la récupération de chaleur sur les eaux usées des bâtiments, la récupération de l'énergie fatale des surfaces commerciales à rez-de-chaussée…

		ATOUTS	CONTRAINTES	
Besoins électrique	**Photovoltaïque**	Gisement favorable Technique largement maîtrisée Pas de consommation de foncier (consommation d'espaces de toitures) Pas d'impact calendrier (mise en œuvre lors de la construction)	Orientation des toitures Coût d'investissement	
	Petit éolien	Implantable en milieu urbain	Servitude aéronautique Faible productivité Constance du ventement à vérifier en contexte urbain	
	Moyen et grand éolien	Bon ventement	A exclure en milieu urbain et à proximité de l'aéroport	
Besoins chaud	**Chaudière bois**	Ressource importante à l'échelle régionale Energie exploitable à l'échelle du projet comme à celle de l'îlot ou du bâtiment	Approvisionnement local à sécuriser Emprise foncière importante à prévoir dans le projet : chaufferie, stockage, aire de retournement pour les livraisons … : variable selon la puissance de la chaufferie et l'autonomie recherchée dans le stockage Impact sur la qualité de l'air	
	Méthanisation	Gisement important à l'échelle régional	Intégration difficile à un projet urbain Emprise au sol importante Acceptation difficile de ce type de projet par les riverains	
	Micro-méthanisation	Environ 2800 logements (plus de 6000 habitants), des surfaces de restauration et une grande surface alimentaire à proximité.	Nécessite une volonté politique forte Collecte à organiser	
	Solaire thermique	Gisement favorable Technique largement maîtrisée	Limite la densité énergétique et donc la rentabilité d'un réseau de chaleur	

		Pas de consommation de foncier (consommation d'espaces de toitures) Pas d'impact calendrier (mise en œuvre lors de la construction)		
	Récupération de chaleur sur eaux usées – échangeur sur station d'épuration	Ressource assurée et pérenne Pas d'emprise foncière sur le projet	Station d'épuration trop éloignée du site	
	Récupération de chaleur sur eaux usées – échangeur en sortie de bâtiment	Ressource assurée et pérenne Emprise foncière faible S'intègre au planning travaux des constructions (pas de délais supplémentaires)	Prévoir la séparation des réseaux dans la conception des bâtiments	
Besoins chaud / froid	**Géothermie très basse énergie**	Potentiel favorable Emprise foncière limitée lors des forages Emprise de la centrale à intégrer au projet : environ 100m² pour le local technique, variable selon puissance	Potentiel énergétique à valider par une étude d'hydrogéologue Puissance énergétique limitée : ne pourra pas subvenir aux besoins en chaleur de tout le projet. Pertinent pour l'approvisionnement en chaleur d'un îlot ou comme appoint pour un réseau plus grand.	
	Géothermie basse énergie	Potentiel favorable	Potentiel énergétique à valider par une étude d'hydrogéologue. Investissement important Prix de la chaleur trop élevé pour rentabiliser l'installation Emprise foncière importante lors des forages	
	Géothermie moyenne énergie	Potentiel favorable	Potentiel énergétique à valider par une étude d'hydrogéologue Investissement important Prix de la chaleur supérieur au prix actuel Emprise foncière très importante lors des forages. L'emprise de la centrale géothermique est ensuite plus réduite.	

	Géothermie haute énergie		Potentiel défavorable Investissement trop élevé	
	Récupération d'énergie sur eaux usées – échangeur sur le réseau du quartier	Facilité de mise en œuvre sur réseaux neufs Emprise foncière faible S'intègre au planning travaux VRD (pas de délais supplémentaires)	Caractéristiques des canalisations et des débits à vérifier Mise en œuvre plus difficile sur réseaux existants	
	Récupération d'énergie fatale - échangeur en sortie de bâtiments	Proximité du magasin Carrefour et de sa galerie marchande Locaux commerciaux en RdC des îlots Emprise foncière faible	Gisement de chaud et de froid à évaluer Compatibilité technique des installations existantes et à venir à vérifier Gisement lié à la présence du Carrefour et de sa galerie marchande	

Tableau 12 : Synthèse des potentiels en énergies renouvelables par type de besoin pour secteur Mérignac Soleil

Potentiel favorable
Opportunité à approfondir
Potentiel défavorable

5 SCENARIOS PROPOSES POUR L'ANALYSE DES VARIANTES ENERGETIQUES

5.1 INTRODUCTION

Suite au calcul du coefficient de foisonnement pour la mise en place d'un réseau de chaleur ou boucle tempérée à l'échelle de l'ensemble du secteur Mérignac Soleil, il a été convenu que ce type de projet ne serait pas mis en œuvre sur l'ensemble du secteur. En effet, ce projet fait face à plusieurs contraintes présentant un risque trop important pour cette opération :

- Contrainte de coordination de calendrier avec les travaux du tramway ;
- Contrainte de coordination de calendrier avec les opérations immobilières déjà lancées et dont les travaux risques de se terminer avant ceux du réseau de chaleur ;
- Contrainte d'obligation de raccordement en dehors d'un contexte de ZAC ;
- Contrainte de difficulté de portage d'un réseau de cette dimension pour Bordeaux Métropole ;
- …

Ainsi, il a été acté en réunion, le 25 Septembre 2017, que cette opportunité d'approvisionnement ne serait pas davantage étudiée.

La suite des études prend désormais en compte un approvisionnement énergétique à une échelle plus restreinte : le développement de micro-réseau à l'échelle des voisinées.
L'analyse de la densité énergétique de chacune des voisinées, au paragraphe 3.2.4, a permis de déterminer la densité énergétique des micro-réseau de chaque voisinée. Les voisinées qui semblent les plus propices à ce type d'installation sont les voisinées 2, 4, 5, 6 et 9.
Les voisinées 2 et 4, dont les calendriers de réalisation sont plus contraints, sont étudiées en priorité pour valider la pertinence économique de ce type de montage.

Les voisinées 1, 3, 7 et 8 présentent des densités énergétiques trop justes. Des scénarios d'approvisionnement à l'échelle de l'ilot seront donc privilégiés.

Le dimensionnement des installations thermiques renouvelables est volontairement limité à 500kW pour les PAC sur nappes et 2MW pour les chaufferies biomasse pour limiter la lourdeur des démarches administratives. En effet, les chaufferies de plus de 2MW sont soumises au régime des ICPE, tandis que les installations géothermiques prélevant plus de 500kW sur nappe sont soumises à un régime ICPE en autorisation au lieu d'un régime ICPE en déclaration pour les installations plus petites.

5.2 SCENARIOS ETUDIES

5.2.1 *Scénario de référence*

Le scénario de référence prend en compte l'approvisionnement en chauffage par une chaufferie gaz collective à condensation. La production d'ECS est réalisée à hauteur de 50 % par des panneaux solaires thermiques avec appoint gaz. La production de froid est assurée par des groupes froid.
Le choix de la technique des panneaux solaires pour la production d'ECS est pris à titre d'exemple, il n'est pas prévu d'imposer cette technique, mais plutôt d'imposer un taux de couverture de la production d'ECS par des énergies renouvelables.

Figure 27 – Principe d'approvisionnement énergétique du scénario de référence

5.2.2 *Scénario 1 :*

Le scénario 1 prévoit l'approvisionnement en chaleur (chauffage et ECS) par une chaufferie biomasse, appoint gaz. Les besoins de froid seront assurés par des groupes froids.

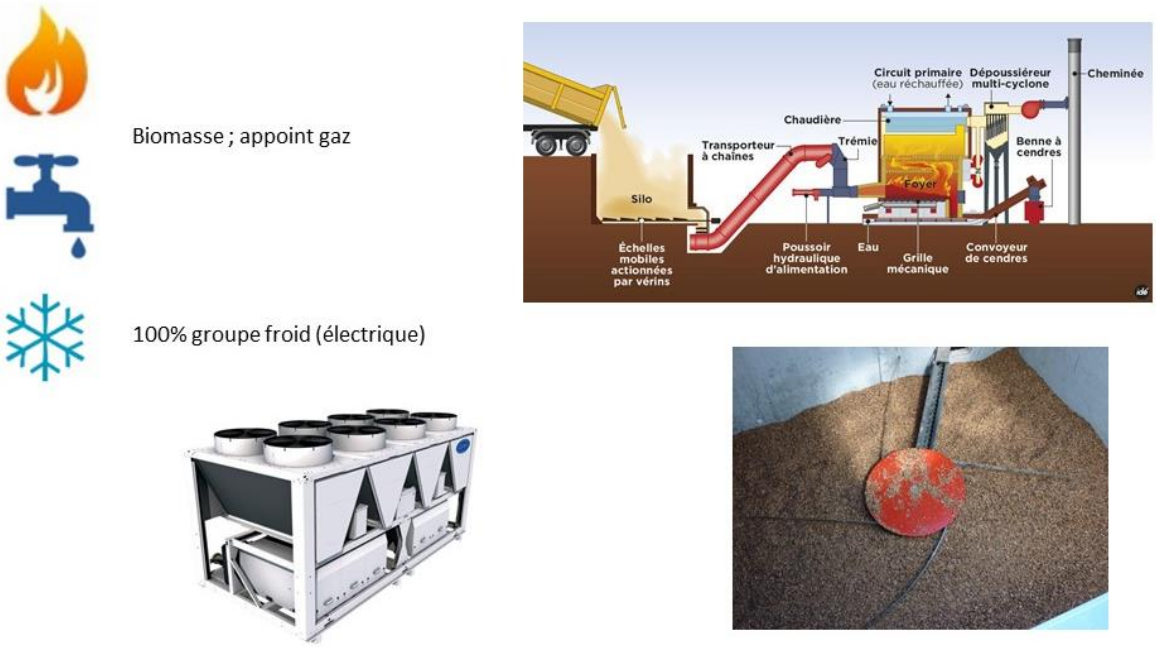


Figure 28 – Principe d'approvisionnement énergétique du scénario 1

5.2.3 *Scénario 2 :*

Le scénario 2 prévoit la réalisation d'un forage géothermique pour l'approvisionnement en chaleur (chauffage et ECS), appoint gaz. Les besoins de froid seront assurés par des groupes froids.

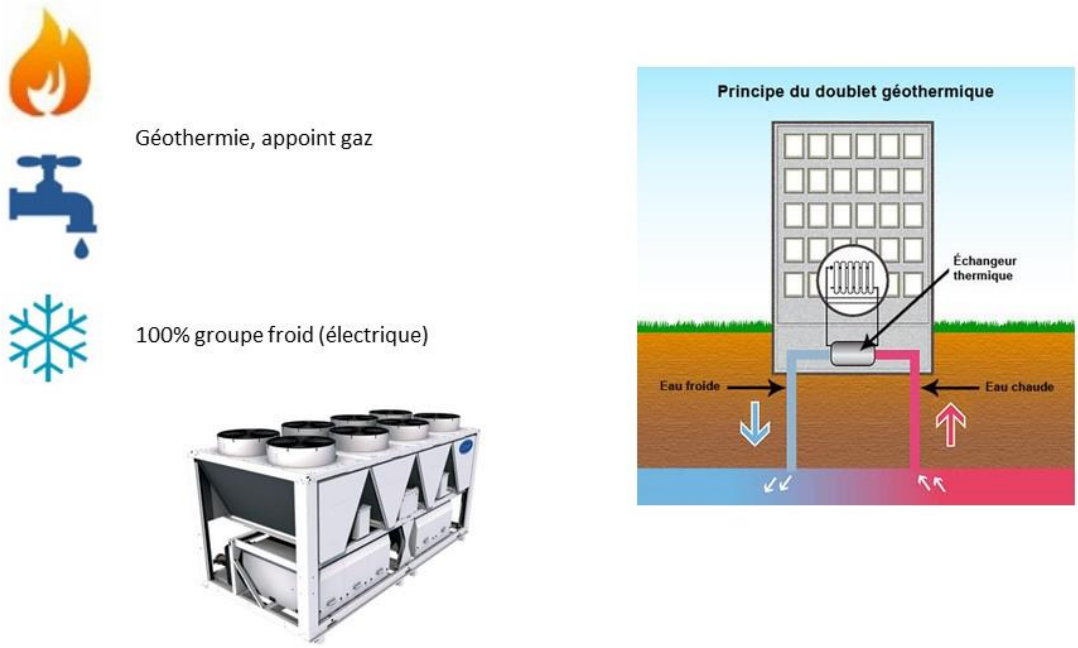


Figure 29 – Principe d'approvisionnement énergétique du scénario 2

5.2.4 *Scénario 3 :*

Le scénario 3 est une variante du scénario 2, prévoyant l'appoint de production d'ECS par un module de cogénération.

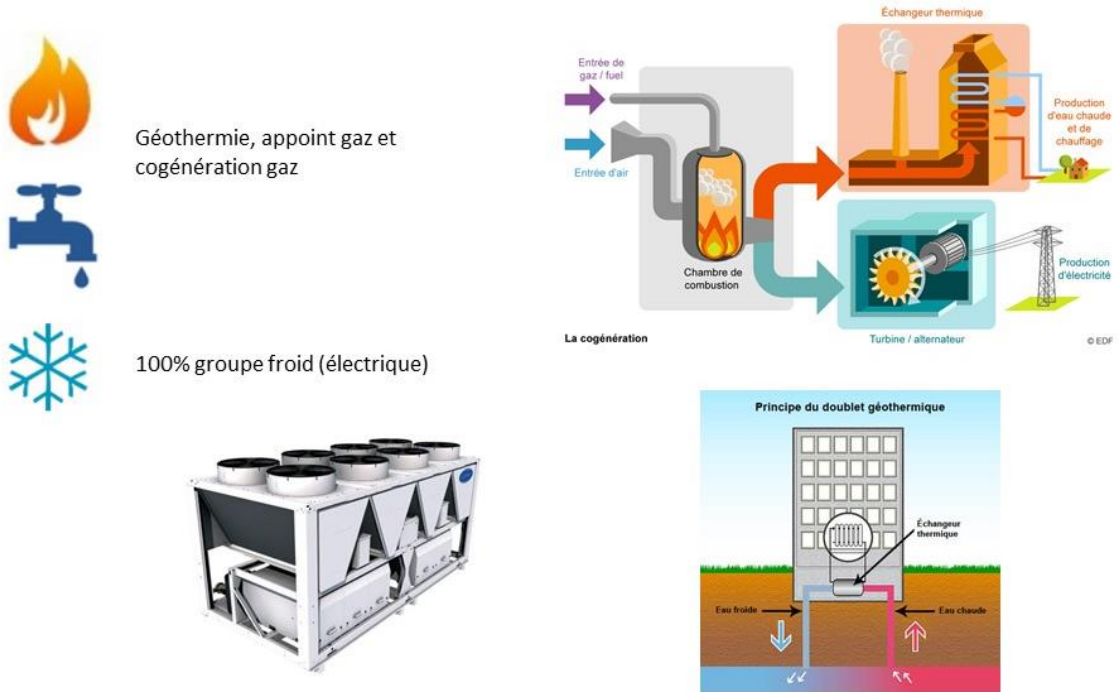


Figure 30 – Principe d'approvisionnement énergétique du scénario 3

5.2.5 *Scénario 4 :*

Le scénario 4 est également une variante du scénario 2, couplant la production de froid au forage géothermique, via la création d'une boucle tempérée et de thermofrigopompes en lieu et place des PAC prévues au scénario 2.
Les appoints restent au gaz pour le chaud et via des groupes froids pour le froid.

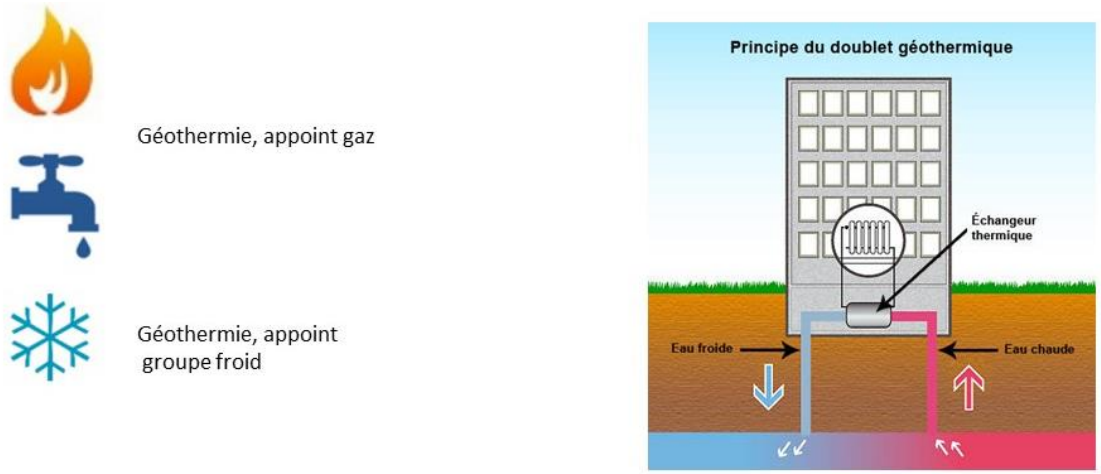


Figure 31 – Principe d'approvisionnement énergétique du scénario 4

6 ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE SUR LA VOISINEE 2

6.1 HYPOTHESES D'ETUDES

6.1.1 *Besoins et puissances théoriques*

Sur la voisinée 2, les besoins et puissances théoriques, calculés selon les ratios utilisés au chapitre 2 de la présente étude sont les suivants :

	Chauffage (MWh/an)	*ECS (MWh/an)*	*Refroidissement (MWh/an)*	***TOTAL CH (MWh/an)***	***TOTAL FR (MWh/an)***
Besoins thermiques par typologie					
NEUF - Logements	351	614	0	**965**	**0**
NEUF - Bureaux	69	7	156	**76**	**156**
NEUF - Activités commerciales	588	137	481	**725**	**481**
TOTAL	**1008**	**758**	**637**	**1697**	**637**

Tableau 13 : Répartition des besoins thermiques appelées sur la voisinée 2

	Chauffage (kW)	*ECS (kW)*	*Refroidissement (kW)*	***TOTAL chaud (kW)***	***TOTAL froid (kW)***
Puissances thermiques appelées par typologie					
NEUF - Logements	789	263	0	**1052**	**0**
NEUF - Bureaux	208	14	104	**222**	**104**
NEUF - Activités commerciales	1098	55	961	**1153**	**961**
TOTAL	**2095**	**332**	**1065**	**2427**	**1065**

Tableau 14 : Répartition des puissances thermiques appelées sur la voisinée 2

Ces besoins thermiques permettent d'obtenir une densité de chaleur de 5,52 MWh/ml de réseau, favorable au déploiement d'un micro-réseau de chaleur.

L'intégration du foisonnement des puissances appelées est réalisée via la prise en compte de l'évolution des besoins énergétiques (chauffage, ECS et refroidissement) sur chaque heure de l'année pour chaque typologie de bâtiment. Il est pris en compte une production d'ECS de type semi-accumulation pour permettre une production en dehors des périodes de fortes demandes (relances matinales de chauffage dans les commerces et bureaux notamment) et ainsi réduire les appels de puissances.

La puissance foisonnée calculée est ainsi d'environ 1 100 kW, soit un coefficient d'environ 54 %.

Ce coefficient est calculé sur un pas de temps horaire, il ne prend donc pas en compte les appels de puissance d'une durée inférieure à 1h, par exemple lors du lancement d'un équipement. Des calculs plus fins devront être réalisés lors des études de maîtrise d'œuvre pour la conception des micro-réseaux. Ce degré de précision est cependant suffisant pour assurer le dimensionnement pertinent des outils de production renouvelable.

6.1.2 *Energie principale et appoint*

Dans la présente étude, les solutions d'approvisionnements en chaleur renouvelable reçoivent un appoint par chaudière gaz. Le dimensionnement de l'appoint gaz est aujourd'hui plutôt conservateur et couvre 100 % de la puissance chaud théorique, moins la puissance renouvelable installée, afin d'assurer l'appoint sur les pointes d'appel de puissance inférieures à 1h. Comme indiqué dans le paragraphe précédent, cette puissance d'appoint pourra être affinée avec l'avancement des études de MOe.

Scénario de référence
L'approvisionnement en chaleur est prévu par une chaufferie gaz de 2,25 MW + 2,3m² de panneaux solaires thermiques par logements.
L'approvisionnement en froid est assuré par des groupes froids pour une puissance totale de 1,1MW.

Scénario 1
L'approvisionnement en chaleur renouvelable est assuré par une chaufferie biomasse de 300 kW. Cette chaufferie permet de couvrir 75,4 % des besoins en chaleur (chauffage et ECS confondu).
L'appoint gaz permet de couvrir les 24,6 % de besoins restants
L'approvisionnement en froid est assuré par des groupes froids pour une puissance totale de 1,1 MW, couvrant 100 % des besoins en froid.

Scénario 2
L'approvisionnement en chaleur renouvelable est assuré par un doublet géothermique de faible profondeur (environ 50 m) de 500 kW. Cette chaufferie permet de couvrir 93,8 % des besoins en chaleur (chauffage et ECS confondu).
L'appoint gaz permet de couvrir les 6,2 % de besoins restants
L'approvisionnement en froid est assuré par des groupes froids pour une puissance totale de 1,1 MW, couvrant 100 % des besoins en froid.

Scénario 3
L'approvisionnement en chaleur renouvelable est assuré par un doublet géothermique de faible profondeur (environ 50 m) de 500 kW. Cette chaufferie permet de couvrir 79,4 % des besoins en chaleur (chauffage et ECS confondu). Un module de cogénération gaz d'une puissance de 40 kW (20 % de la puissance ECS des logements) permet d'assurer la montée en température de l'ECS. Ce module de cogénération permet d'assurer 16,1 % des besoins thermiques.
L'appoint gaz permet de couvrir les 4,4 % de besoins restants.
L'approvisionnement en froid est assuré par des groupes froids pour une puissance totale de 1,1 MW, couvrant 100 % des besoins en froid.

Scénario 4
L'approvisionnement thermique est assuré par un doublet géothermique de faible profondeur (environ 50 m) de 500 kW. Celui-ci permet, via la mise en œuvre d'une boucle tempérée de couvrir 68,4 % des besoins en chaleur et 90,4 % des besoins en froid.
L'appoint gaz permet de couvrir les 31,6 % de besoins chaud restant et des groupes froids, les 9,6 % de besoins froid restant.

6.1.3 *Réseau de chaleur*

Le linéaire de réseau estimé est de 320 m linéaire. Un tarif de 320€/ml a été appliqué sur les scénarios 1, 2 et 3. Ce prix comprend le réseau en tube PER pré-isolé et une partie des travaux de VRD car une partie est déjà prévue dans les travaux VRD du quartier et est dont mutualisable.

Le tarif appliqué au scénario 4 est supérieur, à 350€/ml en raison du régime de température plus faible du réseau et du différentiel de température plus faible entre l'aller et le retour que sur les scénarios précédents.

6.1.4 *Moyens de production : Coûts d'investissement*

Catégorie de coût	Référence - Gaz + ECS solaire thermique	Scénario 1 - micro-réseau Biomasse, appoint gaz	Scénario 2 - micro-réseau Géothermie, appoint gaz	Scénario 3 - micro-réseau Géothermie appoint cogénération gaz	Scénario 4 - micro-réseau Géothermie CH/FR, appoint gaz
Investissement					
Chaufferies gaz	376 820 €	308 704 €	278 704 €	268 954 €	278 704 €
Groupe Froid	591 641 €	591 641 €	591 641 €	591 641 €	282 477 €
Géothermie pour RC	0 €	0 €	275 000 €	275 000 €	375 000 €
Cogénération pour RC	0 €	0 €	0 €	24 500 €	0 €
Panneaux solaires thermiques	538 200 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Chaufferie biomasse pour RC	0 €	150 000 €	0 €	0 €	0 €
Réseau de chaleur	0 €	479 684 €	479 684 €	479 684 €	830 826 €
Sous-total investissement	*1 506 661 €*	*1 530 029 €*	*1 625 029 €*	*1 643 529 €*	*1 767 006 €*

Tableau 15 : Coûts d'investissement estimés pour chaque scénario

Ces prix d'investissement ne prennent pas en compte la construction de la chaufferie (gros-œuvre …), mais uniquement les systèmes de productions, le micro-réseau de distribution et les sous-stations associées.

6.1.5 *Prix de l'énergie et coût d'exploitation*

Catégorie de coût	Référence - Gaz + ECS solaire thermique	Scénario 1 - micro-réseau Biomasse, appoint gaz	Scénario 2 - micro-réseau Géothermie, appoint gaz	Scénario 3 - micro-réseau Géothermie appoint cogénération gaz	Scénario 4 - micro-réseau Géothermie CH/FR, appoint gaz
Exploitation					
Gaz	69 361 €	18 724 €	4 378 €	25 787 €	4 378 €
Bois	0 €	35 573 €	0 €	0 €	0 €
Electricité	20 033 €	32 350 €	67 677 €	63 871 €	58 504 €
Sous-total exploitation	89 394 €	86 447 €	72 054 €	89 658 €	62 881 €
Rachat d'électricité	0 €	0 €	0 €	24 686 €	0 €

Tableau 16 : Coût d'exploitation estimé pour chaque scénario

Les tarifs utilisés pour le gaz et l'électricité sont les suivants :

- Gaz : 0,045 € / kWh
- Bois : 0,025 € / kWh
- Électricité : 0,090 €/kWh
- Rachat de l'électricité issue de la cogénération gaz : 0,140 € / kWh

Le taux d'augmentation du prix du gaz se base sur les variations observées sur le tarif réglementé entre 2002 et 2017. Sur cette période, le prix du gaz a subi une augmentation de 61% en 15 ans, soit 4,1% / an.
Sur les mêmes dates, l'augmentation du tarif réglementé de l'électricité est d'environ 47% en 15 ans, soit une augmentation annuelle de 3,13%.
Le prix du bois déchiqueté a quant à lui augmenté de 22% en 15 ans, soit une augmentation annuelle de 1,45%

Des augmentations plus importantes peuvent cependant être attendues, a minima sur les prix du gaz et de l'électricité, en raison de la raréfaction des ressources fossiles et des prix très élevés de mise à niveau de la sécurité des centrales nucléaires et/ou de leur démantèlement.

6.1.6 *Maintenance et renouvellement*

Catégorie de coût	Référence - Gaz + ECS solaire thermique	Scénario 1 - micro-réseau Biomasse, appoint gaz	Scénario 2 - micro-réseau Géothermie, appoint gaz	Scénario 3 - micro-réseau Géothermie appoint cogénération gaz	Scénario 4 - micro-réseau Géothermie CH/FR, appoint gaz
Maintenance					
Maintenance annuelle - Chaufferies gaz	18 841 €	15 435 €	13 935 €	13 448 €	13 935 €
Maintenance annuelle - Groupe Froid	41 415 €	41 415 €	41 415 €	41 415 €	19 773 €
Maintenance annuelle - Géothermie pour RC	0 €	0 €	19 250 €	19 250 €	26 250 €
Maintenance annuelle - Cogénération pour RC	0 €	0 €	0 €	1 715 €	0 €
Maintenance annuelle - Panneaux solaires thermiques	8 073 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Maintenance annuelle - Chaufferie biomasse pour RC	0 €	7 500 €	0 €	0 €	0 €
Maintenance annuelle - Réseau de chaleur	0 €	9 594 €	9 594 €	9 594 €	16 617 €
Sous-total maintenance	*68 329 €*	*73 944 €*	*84 194 €*	*85 609 €*	*76 575 €*
Gros entretien					
Gros entretien - Chaufferies gaz	75 364 €	61 741 €	55 741 €	53 791 €	55 741 €
Gros entretien - Groupe Froid	88 746 €	88 746 €	88 746 €	88 746 €	42 371 €
Gros entretien - Géothermie pour RC	0 €	0 €	41 250 €	41 250 €	56 250 €
Gros entretien - Cogénération pour RC	0 €	0 €	0 €	4 900 €	0 €
Gros entretien - Panneaux solaires thermiques	26 910 €	0 €	0 €	0 €	0 €

Gros entretien - Chaufferie biomasse pour RC	0 €	22 500 €	0 €	0 €	0 €
Gros entretien - Réseau de chaleur	0 €	71 953 €	71 953 €	71 953 €	124 624 €
Sous-total gros entretien	*191 020 €*	*244 940 €*	*257 690 €*	*261 390 €*	*278 986 €*

Tableau 17 : Coûts de maintenance et de gros entretien estimés pour chaque scénario

L'évaluation des coûts de maintenance et de renouvellement s'effectue sur la base de ratios observés sur des opérations ALTO. Les frais de maintenance s'appliquent tous les ans, tandis que les frais de gros entretien s'appliquent tous les 5 ans.

6.1.7 *Subventions*

Des subventions peuvent être obtenues de la part du Fond Chaleur de l'ADEME.

- Pour les réseaux de chaleur, une aide est accordée s'il est alimenté au minimum par 50% d'EnR, avec une densité thermique d'au moins 1,5 MWh/ml/an. Sur des réseaux de petites dimensions (diamètre inférieur à 65 mm), l'aide forfaitaire du Fond Chaleur est de 331 €/ml de réseau.
- Pour les chaufferies biomasse de plus de 100 tep, justifiant d'un taux de couverture EnR de plus de 50%, l'aide forfaitaire est de 95€ / tep sur 20 ans.
- Pour les forages géothermiques, le Fond Chaleur demande une production minimum de 6 tep EnR/an, avec un nombre d'heure de fonctionnement à puissance nominale de la PAC supérieur à 1 000 h et un COP supérieur à 4. Le montant forfaitaire de l'aide du Fond Chaleur est de 110 000 € + 200 € / mètre linéaire de puits foré
- Les installations de cogénération gaz ne sont pas considérées comme des installations EnR et n'ouvrent pas droit à des aides du Fond Chaleur.

Ces aides sont versées pour partie à réception des installations. Le solde est versé au plus tard 24 mois après réception de l'installation.

Nous sommes actuellement dans l'attente d'éléments concernant le plafonnement de ces aides. Par mesures de précaution, il a été pris comme hypothèse un plafonnement des aides du Fond Chaleur à 50% du coût d'investissement.

<u>Scénario 1 :</u>
La chaufferie biomasse du scénario 1 offre un taux de couverture de 75% pour une production de 110 tep / an. La subvention forfaitaire lié au Fond Chaleur est de 209 000 €. Le plafonnement à 50 du coût d'investissement limite cette subvention à 75 000 €.
Le réseau de 320 m linéaire ouvre droit à une subvention de 105 920 €

<u>Scénario 2 :</u>
En l'état des connaissances actuelles, la profondeur du doublet géothermique serait d'environ 50 m. Ce doublet serait en mesure de produire 126 tep/an. Le montant de la subvention au titre du Fond Chaleur serait donc de 130 000 €.
Le réseau de 320 m linéaire ouvre droit à une subvention de 105 920 €

<u>Scénario 3 :</u>
En l'état des connaissances actuelles, la profondeur du doublet géothermique serait d'environ 50 m. Ce doublet serait en mesure de produire 91 tep/an. Le montant de la subvention au titre du Fond Chaleur serait donc de 130 000 €.
Le réseau de 320 m linéaire ouvre droit à une subvention de 105 920 €

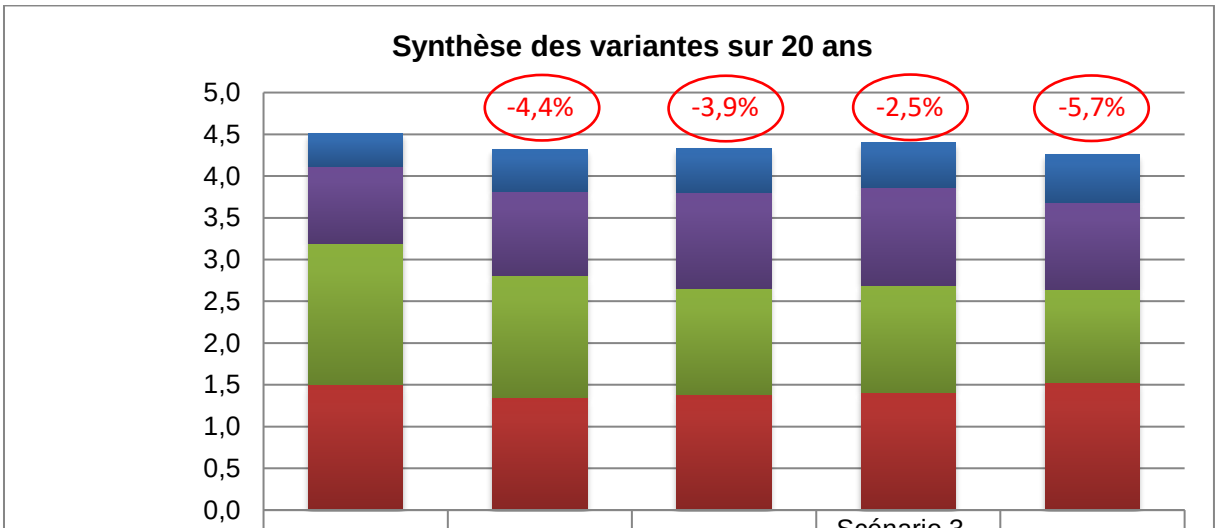
Scénario 4 :
En l'état des connaissances actuelles, la profondeur du doublet géothermique serait d'environ 50 m. Ce doublet serait en mesure de produire 180 tep/an. Le montant de la subvention au titre du Fond Chaleur serait donc de 130 000 €.
Le réseau de 320 m linéaire ouvre droit à une subvention de 105 920 €.

6.1.8 *Autres hypothèses*

Taux d'actualisation : 4%
Taux d'inflation : 2%

6.2 SYNTHESE ECONOMIQUE

Les coûts d'investissement, d'exploitation, de maintenance et de gros entretien sont ensuite analysés sur 20 ans en prenant en compte l'inflation, l'évolution des prix de l'énergie et le taux d'actualisation.



	Référence - Gaz + ECS solaire thermique	Scénario 1 - micro-réseau Biomasse, appoint gaz	Scénario 2 - micro-réseau Géothermie, appoint gaz	Scénario 3 - micro-réseau Géothermie appoint cogénération gaz	Scénario 4 - micro-réseau Géothermie CH/FR, appoint gaz
Remplacement	392 118 €	502 801 €	528 974 €	536 569 €	572 690 €
Maintenance	931 252 €	1 007 777 €	1 147 473 €	1 166 758 €	1 043 639 €
Exploitation	1 680 932 €	1 454 120 €	1 267 479 €	1 287 418 €	1 107 067 €
Investissement	1 506 661 €	1 349 109 €	1 389 109 €	1 407 609 €	1 531 086 €

Figure 32 – Récapitulatif des coûts sur 20 ans

Sur les 20 ans, le coût global cumulé de chacun des scénarios est ainsi le suivant :
- Scénario de référence : 4 510 962 €
- Scénario 1 : 4 313 807 €
- Scénario 2 : 4 333 035 €
- Scénario 3 : 4 398 354 €
- Scénario 4 : 4 254 483 €

Les courbes suivantes représentent l'évolution du coût global cumulé de chaque scénario sur 20 ans. On observe que :

- Le scénario 1 est le moins cher à l'investissement, suivi de près par les scénarios 2 et 3. Le scénario 4 est le plus cher à l'investissement en raison de la boucle tempérée, le scénario de référence est légèrement moins cher.
- A 6 ans, la situation a peu changé pour les scénarios 1, 2 et 3. En revanche, c'est à partir de ce moment que le scénario 4 devient financièrement plus intéressant que le scénario de référence, qui devient alors le scénario le plus onéreux et le restera sur le reste de l'étude.
- A 10 ans, le scénario 4 rejoint les scénarios 1, 2 et 3.
- A 15 ans, le scénario 4 devient le scénario le plus avantageux. Les scénarios 1 et 2 restent dans les mêmes ordres de grandeur économique. Le scénario 3 devient moins intéressant que les 2 précédents.

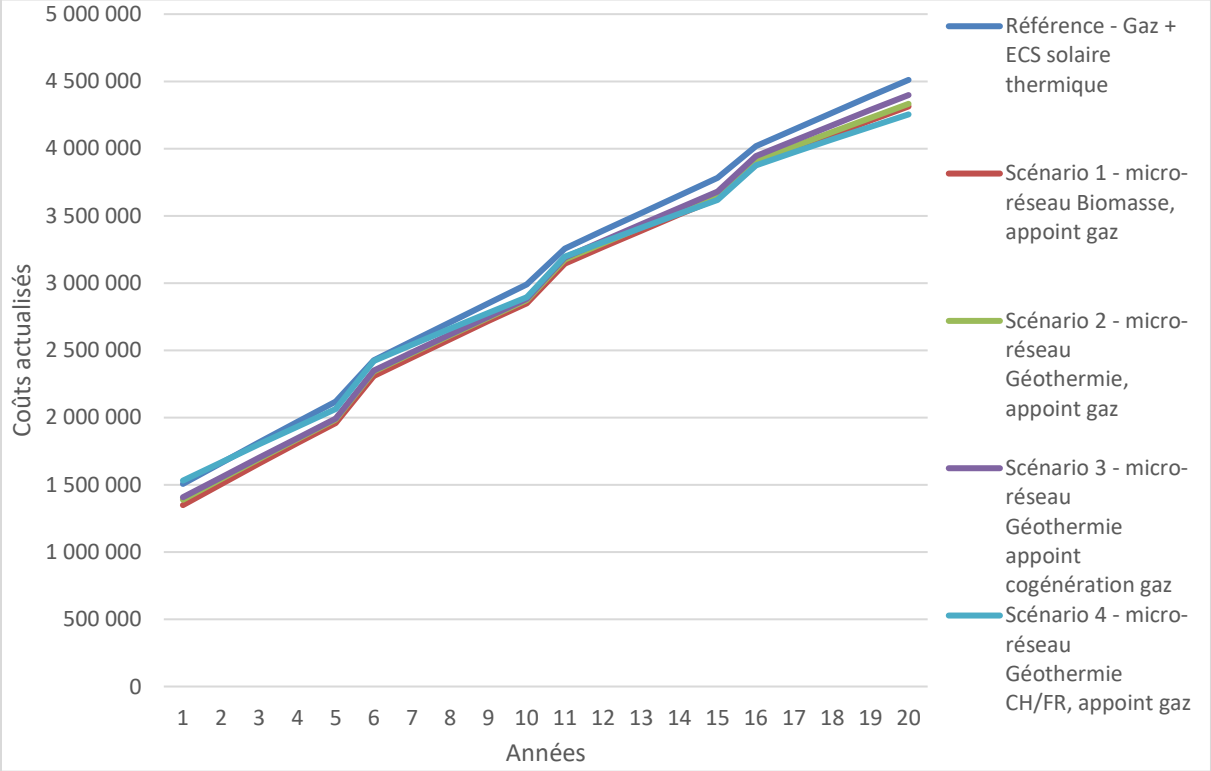


Figure 33 – Evolution du coût global cumulé de chaque scénario sur 20 ans

<u>Coût de la chaleur</u>

En lissant les coûts de chaque scénario sur 20 ans, les coûts suivants sont obtenus :

Catégorie de coût	Référence - Gaz + ECS solaire thermique	Scénario 1 - micro-réseau Biomasse, appoint gaz	Scénario 2 - micro-réseau Géothermie, appoint gaz	Scénario 3 - micro-réseau Géothermie appoint cogénération gaz	Scénario 4 - micro-réseau Géothermie CH/FR, appoint gaz
Coût moyen du MWh sur 20 ans					
P1	35 €	30 €	26 €	27 €	23 €
P2	19 €	21 €	24 €	24 €	22 €
P3	8 €	10 €	11 €	11 €	12 €
P4	31 €	28 €	29 €	29 €	32 €
TOTAL HT	94 € HT	90 € HT	90 € HT	92 € HT	89 € HT
TOTAL TTC	113 € TTC	95 € TTC	95 € TTC	110 € TTC	93 € TTC

Tableau 18 : Récapitulatif des coûts de la chaleur sur 20 ans

Le coût de la chaleur TTC des scénarios 1, 2 et 4 sont les plus avantageux. Ces montants restent cependant assez onéreux pour des réseaux de chaleur EnR. Des pistes d'optimisation devront être trouvées.

6.3 SYNTHESE ENVIRONNEMENTALE

6.3.1 *Synthèse des résultats*

Les émissions de polluants liés aux consommations énergétiques issues de la production de chaud et de froid sur la voisinée 2 sont résumées dans le tableau suivant pour chaque scénario :

		Scénario Base	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
Emissions annuelles de CO2	t eq CO2 / an	315	139	120	217	89
Emissions annuelles de SO2	kg SO2 / an	195	314	657	564	574
Emissions annuelles de Nox	kg NOx / an	376	789	571	573	501
Emissions annuelles de déchets radioactifs faible et moyenne activité	kg DN fm / an	30	49	103	88	90
Emissions annuelles de déchets radioactifs forte et très forte activité	kg DN ftf / an	6	10	21	18	18
Taux EnR chaud	%	22	75	75	47	75
Taux EnR froid	%	0	0	0	0	79

Tableau 19 : Impact environnemental estimé pour chaque scénario

6.3.2 *Analyse*

Dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone est l'un des principaux gaz à effet de serre d'origine anthropique, responsables des changements climatiques actuels. Pour évaluer le potentiel de réchauffement climatique global, on utilise l'unité de l'« équivalent CO_2 », qui prend comme base le potentiel de réchauffement climatique global du CO_2 et pondère les autres GES au regard de leur puissance et de leur durée de vie. C'est ainsi l'unité de mesure principale pour caractériser le potentiel de réchauffement climatique.

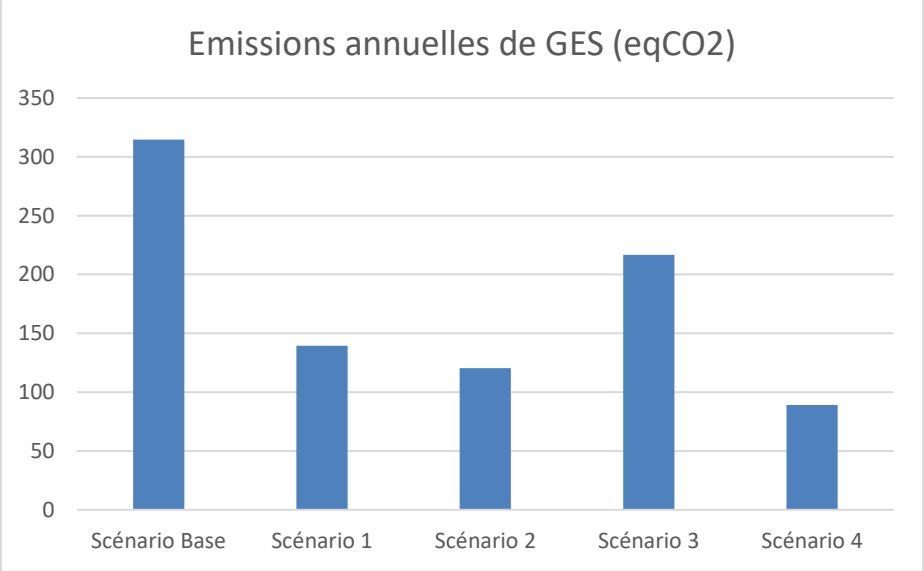


Figure 34 – Emissions annuelles de GES pour chaque scénario (en eqCO2)

Sur ce critère, les 4 scénarios étudiés se distinguent du scénario de base par des émissions moindres. On note cependant que le scénario 3, intégrant une cogénération au gaz naturel affiche des émissions de GES supérieures aux 3 autres scénarios EnR étudiés en raison du faible rendement du module de cogénération.
Le scénario 4 est le plus performant car c'est celui qui utilise la géothermie pour la production de froid, contrairement aux autres scénarios, qui utilisent des groupes froids, à rendement inférieur, pour cette production.

Les scénarios 1, 2 et 4 présentent une réduction de émissions eqCO_2 de l'ordre de 55 à 70%.

Dioxyde de soufre

Le SO_2, dioxyde de soufre, est également un gaz à effet de serre. Le SO_2 est notamment issu de la combustion des énergies fossiles telles que le fioul, le charbon, le pétrole … et est un responsable de la formation des pluies acides et de l'acidification des océans. Ces phénomènes engendrent, entres autres, des problèmes sanitaires respiratoires, mais aussi la destruction d'écosystèmes fragiles tels que les récifs coralliens.

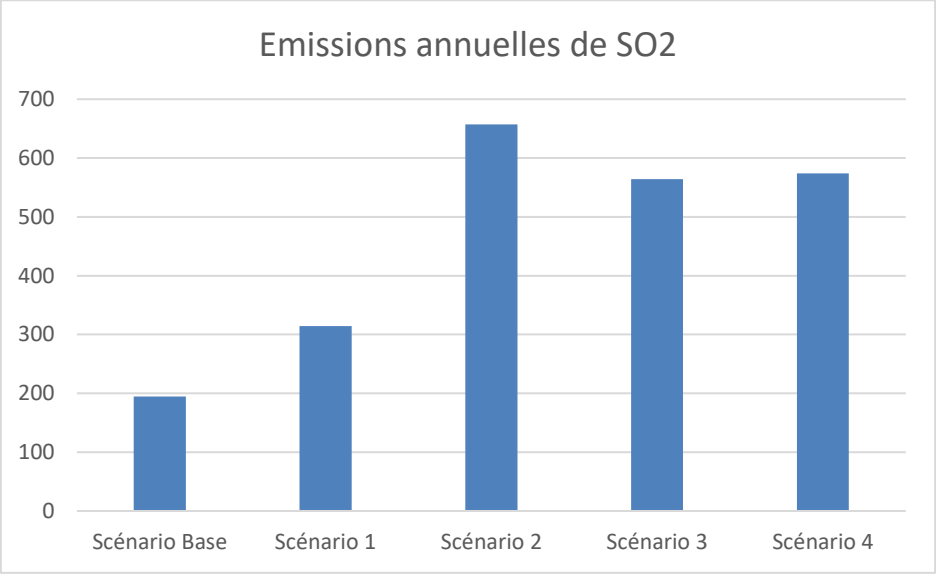


Figure 35 – Emissions annuelles de SO2 pour chaque scénario

Le scénario de référence est le moins émetteur. Cela s'explique par une consommation d'électricité limitée grâce à une production de chauffage via du gaz naturel. Or le gaz naturel n'émet pas de SO_2, tandis que la production électrique française en émet, via les centrales au charbon et au fioul, notamment utilisées pour répondre aux pics de consommations de chauffage en hiver.

Sur ce critère, le scénario de référence est le moins émetteur.

Oxydes d'azote

Les NOx sont également des gaz issus de processus de combustion : combustibles fossiles (liquides et gazeux), biomasse … Ils sont principalement issus du secteur des transports : transport routier (notamment le diesel), transport maritime … mais aussi des systèmes de productions énergétiques faisant intervenir des combustions. Les NOx prennent également part à la formation des pluies acides et problèmes sanitaires respiratoires, tels que l'asthme.

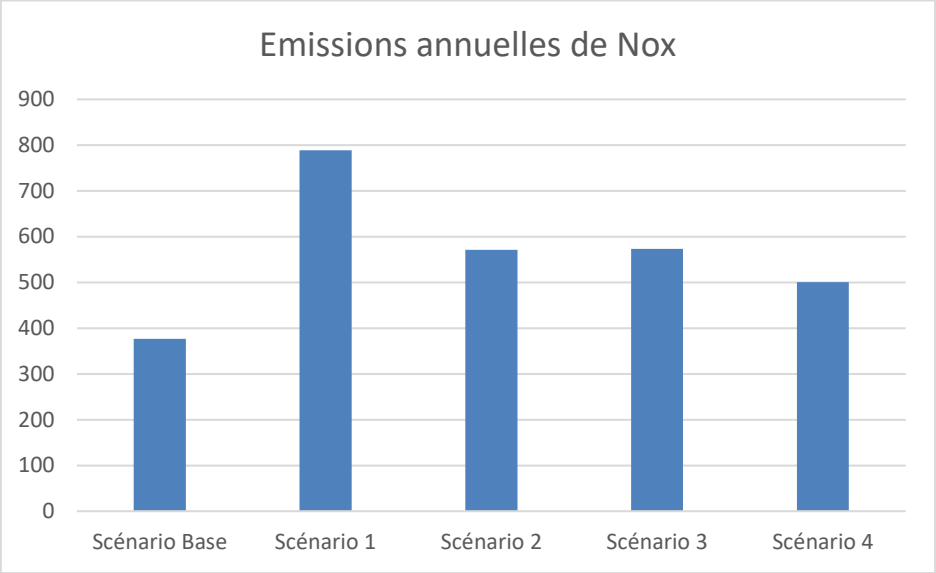


Figure 36 – Emissions annuelles de NOx pour chaque scénario

Sur ce critère, le scénario de référence est le moins émetteur. Si le gaz naturel est un émetteur de NOx, les émissions sont moindres que pour la combustion du bois énergie du scénario 1 ou pour les consommations électriques, dont le bilan est grevé par les centrales au charbon et au fioul, notamment utilisées pour répondre aux pics de consommations de chauffage en hiver.

Sur ce critère, le scénario de référence est le moins émetteur.

Déchets nucléaires

Les déchets nucléaires sont issus de la production électrique française, dont le mix énergétique est constitué d'un peu moins de 80% d'énergie nucléaire. Cette activité nucléaire génère la production de déchets radioactifs de plusieurs types selon leur durée de vie et leur radioactivité.

Les déchets à très faible, faible et moyenne activité représentent la quasi-totalité du volume de déchets, mais seulement 4% de la radioactivité totale. Il s'agit globalement des déchets liés à la maintenance et au fonctionnement des installations (vêtements, outillage, …). Leur durée de vie est d'environ 300 ans.

Les déchets de forte et très forte activité représentent environ 0,2% du volume de déchets radioactifs produits, mais sont à l'origine de 96% de la radioactivité totale. Il s'agit principalement des combustibles nucléaires usés et des produits issus de leur traitement. Leur durée de vie est de plusieurs dizaines à centaines de milliers d'années.

La Loi de Transition Énergétique, votée en 2015, prévoit de limiter la part du nucléaire dans le mix énergétique français en parallèle d'une réduction de la demande en énergie. Cela induira une réduction de la production de ces déchets radioactifs dont la gestion reste aujourd'hui problématique. Plusieurs scénarios ont également été étudiés pour envisager une sortie des énergies fossiles et de l'énergie nucléaire, d'ici à 2050. C'est notamment le cas d'un rapport de l'ADEME en 2013, mis à jour en 2016, traitant exclusivement de l'approvisionnement électrique, mais aussi du Rapport Negawatt, produit par les experts de l'Institut Negawatt, élaboré en 2003 et mis à jour en 2006, 2011 et 2017, qui traite de l'ensemble de l'approvisionnement énergétique de la France.

Sur ce critère, le scénario le moins producteur de déchets nucléaires est le scénario de référence. Celui-ci produit l'intégralité de sa chaleur par le gaz naturel et des panneaux solaires et n'utilise l'électricité que pour la production de froid.

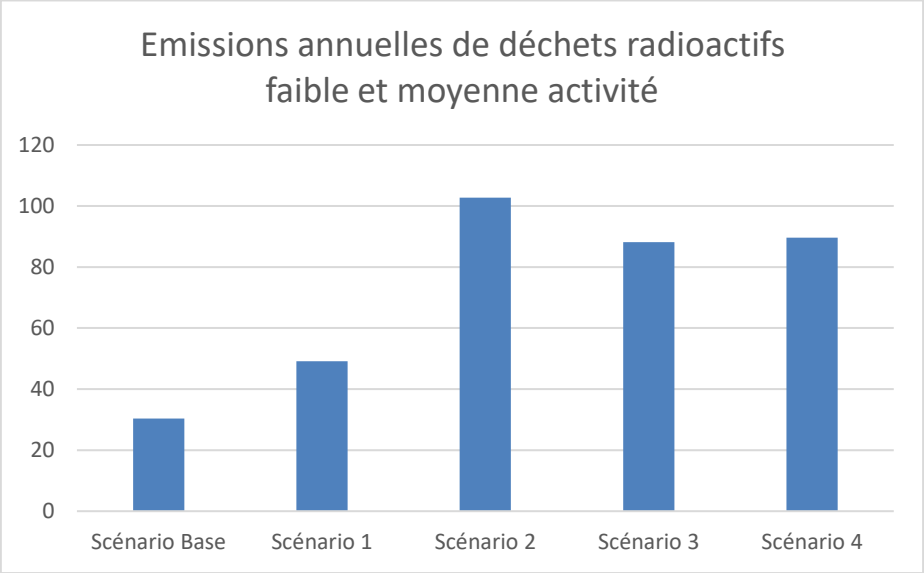


Figure 37 – Emissions annuelles de déchets radioactifs faible et moyenne activité pour chaque scénario

Sur ce critère, le scénario le moins producteur en déchets nucléaires est le scénario de référence.

Taux EnR

Promulguée en 2015, la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte a inscrit un objectif de 32 % d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'ici 2030, dont 38 % pour la consommation finale de chaleur. En complément des changements d'approvisionnement énergétique vers des solutions EnR des réseaux de chaleur existants et des bâtiments intégrant leur propre chaufferie, les bâtiments et réseaux neufs se doivent d'être exemplaires.

Par ailleurs, dans le cadre de la création d'un réseau de chaleur, un classement du réseau peut être demandé si celui-ci est alimenté à plus de 50% par des EnR. Ce classement permet d'imposer le raccordement des opérations situés dans le périmètre du classement afin d'assurer la viabilité économique de l'investissement que représente le déploiement d'un tel dispositif et d'assurer un tarif intéressant pour l'usager ainsi qu'un approvisionnement en énergie verte. Par ailleurs, le classement du réseau permet de bénéficier d'une TVA réduite à 5,5%.

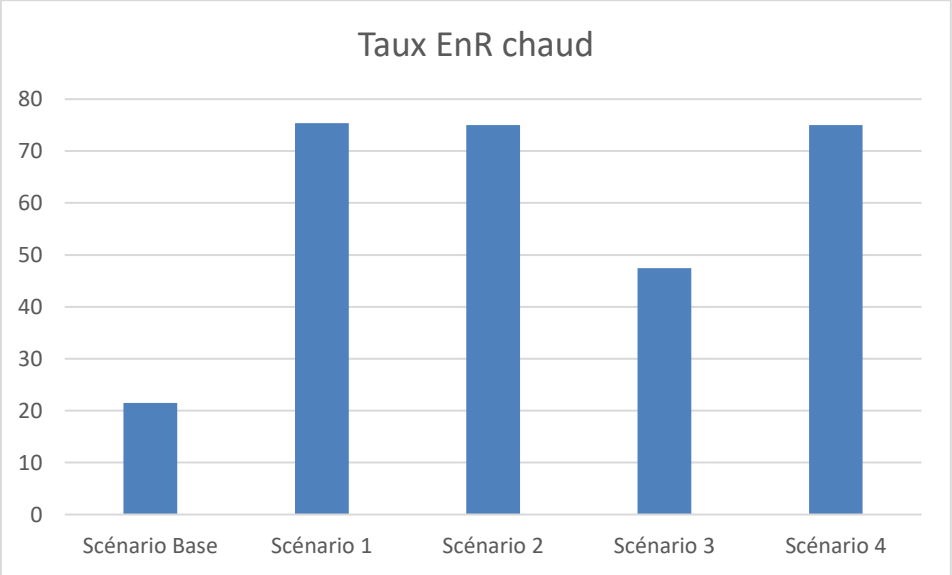


Figure 38 – Taux d'énergie renouvelable dans la production de chaleur pour chaque scénario

Sur ce critère, le scénario de référence est le moins bon, avec seulement 22% d'EnR, grâce à la production EnR d'une partie de l'ECS.
Les scénarios 1, 2 et 4 offrent un taux d'alimentation du micro-réseau en EnR d'environ 75%, compatibles avec le classement du réseau.
Le scénario 3, en raison de la consommation importante de gaz naturel du module de cogénération ne parvient pas à atteindre ce seuil de 50% d'EnR dans l'alimentation du réseau et n'est donc pas éligible au classement.

Les scénarios 1, 2 et 4 offrent un taux d'alimentation du micro-réseau en EnR d'environ 75%, compatibles avec le classement du réseau.

Concernant la production de froid, seul le scénario 4 propose un approvisionnement EnR via le doublet géothermique, avec un taux d'alimentation en EnR de 79% sur la production de froid.

6.4 DIFFERENTIATION DES SCENARIOS

Le scénario de référence est, à termes, le plus onéreux et est celui qui propose les émissions de GES les plus élevées et le contenu EnR le plus faible, inférieur aux objectifs de la Loi de Transition Energétique. Il ne doit donc pas être privilégié.
Les scénarios 1 et 2 offrent des avantages similaires sur les critères environnementaux d'émissions de GES et d'alimentation EnR. Si les émissions de GES du scénario biomasse sont un peu supérieures à celles du scénario géothermique, la production de déchets radioactifs y est inférieure. Ils sont par ailleurs économiquement très proches.

Le scénario 3 apparait comme le moins intéressant des scénarios EnR étudiés. En effet, le faible rendement du module de cogénération fait nettement augmenter la consommation de gaz naturel de ce scénario et les émissions de GES associées, tout en faisant baisser le pourcentage d'EnR dans le réseau sous le seuil des 50% empêchant tout classement du micro-réseau. Cette consommation importante de gaz le pénalise également d'un point de vue économique et en fait le scénario EnR le moins intéressant d'un point de vue économique.

Le scénario 4 semble le plus intéressant en raison de la mutualisation de la production de chaud et de froid dans un même doublet géothermique, permettant d'obtenir les émissions de GES les plus faibles de l'ensemble des scénarios étudiés. Si son coût d'investissement est le plus élevé, la limitation des consommations de froid permet de limiter les coûts d'exploitation et d'en faire le scénario le plus avantageux d'un point de vue économique. Attention, ce scénario n'est intéressant qu'avec le raccordement du magasin Leroy Merlin au micro-réseau. En effet, celui-ci concentre 85% des besoins de froid de la voisinée. Dans le cas contraire, les scénarios 1 et 2 semblent plus pertinents.

7 ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE SUR LA VOISINEE 4

7.1 HYPOTHESES D'ETUDES

7.1.1 *Besoins et puissances théoriques*

Sur la voisinée 4, les besoins et puissances théoriques, calculés selon les ratios utilisés au chapitre 2 de la présente étude sont les suivants :

	Chauffage (MWh/an)	*ECS (MWh/an)*	*Refroidissement (MWh/an)*	***TOTAL CH (MWh/an)***	***TOTAL FR (MWh/an)***
Besoins thermiques par typologie					
NEUF - Logements	1 006	1 760	0	**2 766**	**0**
NEUF - Equipement	48	23	0	**71**	**0**
NEUF - Activités commerciales	162	38	132	**200**	**132**
TOTAL	**1 216**	**1 821**	**132**	**3 037**	**132**

Tableau 20 : Répartition des besoins thermiques appelées sur la voisinée 4

	Chauffage (kW)	*ECS (kW)*	*Refroidissement (kW)*	***TOTAL chaud (kW)***	***TOTAL froid (kW)***
Puissances thermiques appelées par typologie					
NEUF - Logements	2 263	754	0	**3 017**	**0**
NEUF - Equipement	76	38	0	**114**	**0**
NEUF - Activités commerciales	302	15	264	**317**	**264**
TOTAL	**2 641**	**807**	**164**	**3 345**	**264**

Tableau 21 : Répartition des puissances thermiques appelées sur la voisinée 4

Ces besoins thermiques permettent d'obtenir une densité de chaleur de 4,53 MWh/ml de réseau, favorable au déploiement d'un micro-réseau de chaleur.

L'intégration du foisonnement des puissances appelées est réalisée via la prise en compte de l'évolution des besoins énergétiques (chauffage, ECS et refroidissement) sur chaque heure de l'année pour chaque typologie de bâtiment. Il est pris en compte une production d'ECS de type semi-accumulation pour permettre une production en dehors des périodes de fortes demandes (relances matinales de chauffage dans les commerces et bureaux notamment) et ainsi réduire les appels de puissances.

La puissance foisonnée calculée est ainsi d'environ 1 500 kW, soit un coefficient d'environ 56%.

Ce coefficient est calculé sur un pas de temps horaire, il ne prend donc pas en compte les appels de puissance d'une durée inférieure à 1h, par exemple lors du lancement d'un équipement. Des calculs plus fins devront être réalisés lors des études de maîtrise d'œuvre pour la conception des micro-réseaux. Ce degré de précision est cependant suffisant pour assurer le dimensionnement pertinent des outils de production renouvelable.

7.1.2 *Energie principale et appoint*

Dans la présente étude, les solutions d'approvisionnements en chaleur renouvelable reçoivent un appoint par chaudière gaz. Le dimensionnement de l'appoint gaz est aujourd'hui plutôt conservateur et couvre 100% de la puissance chaud théorique, moins la puissance renouvelable installée, afin d'assurer l'appoint sur les pointes d'appel de puissance inférieures à 1h. Comme indiqué dans le paragraphe précédent, cette puissance d'appoint pourra être affinée avec l'avancement des études de MOe.

Scénario de référence
L'approvisionnement en chaleur est prévu par une chaufferie gaz de 3,05MW + 2,3m² de panneaux solaires thermiques par logements.
L'approvisionnement en froid est assuré par des groupes froids pour une puissance totale de 265kW.

Scénario 1
L'approvisionnement en chaleur renouvelable est assuré par une chaufferie biomasse de 400kW. Cette chaufferie permet de couvrir 72,8% des besoins en chaleur (chauffage et ECS confondu).
L'appoint gaz permet de couvrir les 27,2% de besoins restants
L'approvisionnement en froid est assuré par des groupes froids pour une puissance totale de 265kW, couvrant 100% des besoins en froid.

Scénario 2
L'approvisionnement en chaleur renouvelable est assuré par un doublet géothermique de faible profondeur (environ 50m) de 500kW. Cette chaufferie permet de couvrir 88% des besoins en chaleur (chauffage et ECS confondu).
L'appoint gaz permet de couvrir les 12% de besoins restants
L'approvisionnement en froid est assuré par des groupes froids pour une puissance totale de 265kW, couvrant 100% des besoins en froid.

Scénario 3
L'approvisionnement en chaleur renouvelable est assuré par un doublet géothermique de faible profondeur (environ 50m) de 500kW. Cette chaufferie permet de couvrir 63,6% des besoins en chaleur (chauffage et ECS confondu). Un module de cogénération gaz d'une puissance de 120kW (20% de la puissance ECS des logements) permet d'assurer la montée en température de l'ECS. Ce module de cogénération permet d'assurer 27,4% des besoins thermiques.
L'appoint gaz permet de couvrir les 9% de besoins restants
L'approvisionnement en froid est assuré par des groupes froids pour une puissance totale de 265kW, couvrant 100% des besoins en froid.

Scénario 4
L'approvisionnement thermique est assuré par un doublet géothermique de faible profondeur (environ 50m) de 500kW. Celui-ci permet, via la mise en œuvre d'une boucle tempérée de couvrir 84,2% des besoins en chaleur et 100% des besoins en froid.
L'appoint gaz permet de couvrir les 15,8% de besoins chaud restants

7.1.3 *Réseau de chaleur*

Le linéaire de réseau estimé est de 670m linéaire. Un tarif de 320€/ml a été appliqué sur les scénarios 1, 2 et 3. Ce prix comprend le réseau en tube PER pré-isolé et une partie des travaux de VRD car une partie est déjà prévu dans les travaux VRD du quartier et est dont mutualisable.

Le tarif appliqué au scénario 4 est supérieur, à 350€/ml en raison du régime de température plus faible du réseau et du différentiel de température plus faible entre l'aller et le retour que sur les scénarios précédents.

7.1.4 *Moyens de production : Coûts d'investissement*

Catégorie de coût	Référence - Gaz + ECS solaire thermique	Scénario 1 - micro-réseau Biomasse, appoint gaz	Scénario 2 - micro-réseau Géothermie, appoint gaz	Scénario 3 - micro-réseau Géothermie appoint cogénération gaz	Scénario 4 - micro-réseau Géothermie CH/FR, appoint gaz
Investissement					
Chaufferies gaz	507 364 €	449 215 €	434 215 €	411 715 €	434 215 €
Groupe Froid	146 685 €	146 685 €	146 685 €	146 685 €	0 €
Géothermie pour RC	0 €	0 €	275 000 €	275 000 €	375 000 €
Cogénération pour RC	0 €	0 €	0 €	73 500 €	0 €
Panneaux solaires thermiques	1 570 900 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Chaufferie biomasse pour RC	0 €	200 000 €	0 €	0 €	0 €
Réseau de chaleur	0 €	757 562 €	757 562 €	757 562 €	1 002 848 €
Sous-total investissement	*2 224 949 €*	*1 553 462 €*	*1 613 462 €*	*1 668 962 €*	*1 812 062 €*

Tableau 22 : Coûts d'investissement estimés pour chaque scénario

Ces prix d'investissement ne prennent pas en compte la construction de la chaufferie (gros-œuvre …), mais uniquement les systèmes de productions, le micro-réseau de distribution et les sous-stations associées.

7.1.5 *Prix de l'énergie et coût d'exploitation*

Catégorie de coût	Référence - Gaz + ECS solaire thermique	Scénario 1 - micro-réseau Biomasse, appoint gaz	Scénario 2 - micro-réseau Géothermie, appoint gaz	Scénario 3 - micro-réseau Géothermie appoint cogénération gaz	Scénario 4 - micro-réseau Géothermie CH/FR, appoint gaz
Exploitation					
Gaz	106 252 €	37 861 €	14 697 €	78 040 €	19 292 €
Bois	0 €	62 704 €	0 €	0 €	0 €
Electricité	4 156 €	9 300 €	80 111 €	68 759 €	76 417 €
Sous-total exploitation	110 408 €	109 865 €	94 809 €	147 243 €	95 709 €
Rachat d'électricité	0 €	0 €	0 €	73 470 €	0 €

Tableau 23 : Coût d'exploitation estimé pour chaque scénario

Les tarifs utilisés pour le gaz et l'électricité sont les suivants :

- Gaz : 0,045 € / kWh
- Bois : 0,025 € / kWh
- Électricité : 0,090 €/kWh
- Rachat de l'électricité issue de la cogénération gaz : 0,140 € / kWh

Le taux d'augmentation du prix du gaz se base sur les variations observées sur le tarif réglementé entre 2002 et 2017. Sur cette période, le prix du gaz a subi une augmentation de 61% en 15 ans, soit 4,1% / an.
Sur les mêmes dates, l'augmentation du tarif réglementé de l'électricité est d'environ 47% en 15 ans, soit une augmentation annuelle de 3,13%.
Le prix du bois déchiqueté à quant à lui augmenté de 22% en 15 ans, soit une augmentation annuelle de 1,45%

Des augmentations plus importantes peuvent cependant être attendues, a minima sur les prix du gaz et de l'électricité, en raison de la raréfaction des ressources fossiles et des prix très élevés de mise à niveau de la sécurité des centrales nucléaires et/ou de leur démantèlement.

7.1.6 *Maintenance et renouvellement*

Catégorie de coût	Référence - Gaz + ECS solaire thermique	Scénario 1 - micro-réseau Biomasse, appoint gaz	Scénario 2 - micro-réseau Géothermie, appoint gaz	Scénario 3 - micro-réseau Géothermie appoint cogénération gaz	Scénario 4 - micro-réseau Géothermie CH/FR, appoint gaz
Maintenance					
Maintenance annuelle - Chaufferies gaz	25 368 €	22 461 €	21 711 €	20 586 €	21 711 €
Maintenance annuelle - Groupe Froid	10 268 €	10 268 €	10 268 €	10 268 €	0 €
Maintenance annuelle - Géothermie pour RC	0 €	0 €	19 250 €	19 250 €	26 250 €
Maintenance annuelle - Cogénération pour RC	0 €	0 €	0 €	5 145 €	0 €
Maintenance annuelle - Panneaux solaires thermiques	23 564 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Maintenance annuelle - Chaufferie biomasse pour RC	0 €	10 000 €	0 €	0 €	0 €
Maintenance annuelle - Réseau de chaleur	0 €	15 151 €	15 151 €	15 151 €	20 257 €
Sous-total maintenance	*59 200 €*	*57 880 €*	*66 380 €*	*70 625 €*	*68 018 €*
Gros entretien					
Gros entretien - Chaufferies gaz	101 473 €	89 843 €	86 843 €	82 343 €	86 843 €
Gros entretien - Groupe Froid	22 003 €	22 003 €	22 003 €	22 003 €	0 €
Gros entretien - Géothermie pour RC	0 €	0 €	41 250 €	41 250 €	56 250 €
Gros entretien - Cogénération pour RC	0 €	0 €	0 €	14 700 €	0 €
Gros entretien - Panneaux solaires thermiques	78 545 €	0 €	0 €	0 €	0 €

Gros entretien - Chaufferie biomasse pour RC	0 €	30 000 €	0 €	0 €	0 €
Gros entretien - Réseau de chaleur	0 €	113 634 €	113 634 €	113 634 €	150 427 €
Sous-total gros entretien	*202 020 €*	*255 480 €*	*263 730 €*	*274 830 €*	*293 520 €*

Tableau 24 : Coûts de maintenance et de gros entretien estimés pour chaque scénario

L'évaluation des coûts de maintenance et de renouvellement s'effectue sur la base de ratios observés sur des opérations ALTO. Les frais de maintenance s'appliquent tous les ans, tandis que les frais de gros entretien s'appliquent tous les 5ans.

7.1.7 *Subventions*

Des subventions peuvent être obtenues de la part du Fond Chaleur de l'ADEME.

- Pour les réseaux de chaleur, une aide est accordée s'il est alimenté au minimum par 50% d'EnR, avec une densité thermique d'au moins 1,5 MWh/ml/an. Sur des réseaux de petites dimensions (diamètre inférieur à 65mm), l'aide forfaitaire du Fond Chaleur est de 331 €/ml de réseau.
- Pour les chaufferies biomasse de plus de 100 tep, justifiant d'un taux de couverture EnR de plus de 50%, l'aide forfaitaire est de 95€ / tep sur 20 ans.
- Pour les forages géothermiques, le Fond Chaleur demande une production minimum de 6 tep EnR/an, avec un nombre d'heure de fonctionnement à puissance nominal de la PAC supérieur à 1000h et un COP supérieur à 4. Le montant forfaitaire de l'aide du Fond Chaleur est de 110 000 € + 200 € / mètre linéaire de puits foré
- Les installations de cogénération gaz ne sont pas considérées comme des installations EnR et n'ouvrent pas droit à des aides du Fond Chaleur.

Ces aides sont versées pour partie à réception des installations. Le solde est versé au plus tard 24 mois après réception de l'installation.

Nous sommes actuellement dans l'attente d'éléments concernant le plafonnement de ces aides. Par mesures de précaution, il a été pris comme hypothèse un plafonnement des aides du Fond Chaleur à 50% du coût d'investissement.

<u>Scénario 1 :</u>
La chaufferie biomasse du scénario 1 offre un taux de couverture de 73% pour une production de 195 tep / an. La subvention forfaitaire lié au Fond Chaleur est de 370 500 €. Le plafonnement de l'aide à 50% du coût d'investissement la limite à 100 000 €.
Le réseau de 670m linéaire ouvre droit à une subvention de 221 770 €

<u>Scénario 2 :</u>
En l'état des connaissances actuelles, la profondeur du doublet géothermique serait d'environ 50m. Ce doublet serait en mesure de produire 207 tep/an. Le montant de la subvention au titre du Fond Chaleur serait donc de 130 000 €.
Le réseau de 670m linéaire ouvre droit à une subvention de 221 770 €

<u>Scénario 3 :</u>
En l'état des connaissances actuelles, la profondeur du doublet géothermique serait d'environ 50m. Ce doublet serait en mesure de produire 126 tep/an. Le montant de la subvention au titre du Fond Chaleur serait donc de 130 000 €.
Le réseau de 670m linéaire ouvre droit à une subvention de 221 770 €

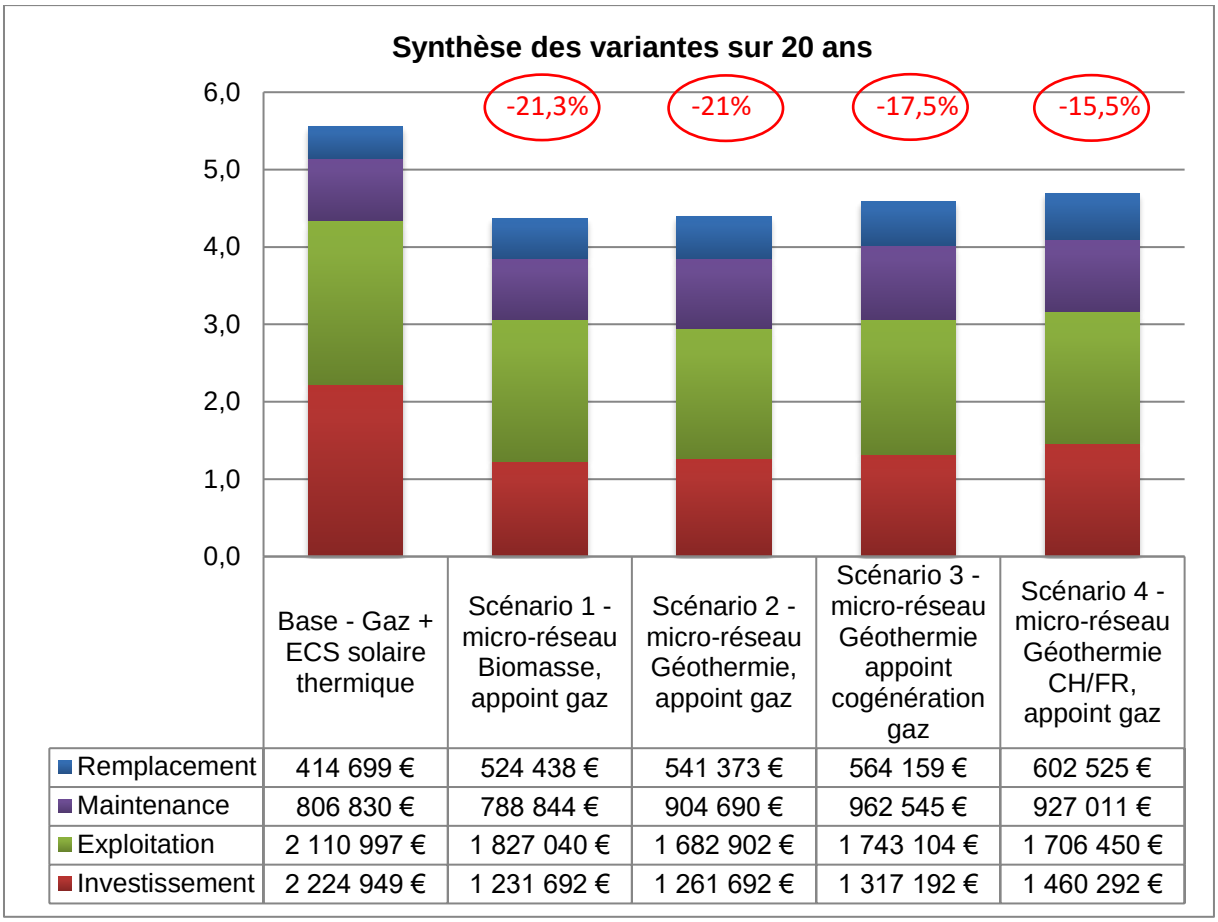
Scénario 4 :
En l'état des connaissances actuelles, la profondeur du doublet géothermique serait d'environ 50m. Ce doublet serait en mesure de produire 209 tep/an. Le montant de la subvention au titre du Fond Chaleur serait donc de 130 000 €.
Le réseau de 670m linéaire ouvre droit à une subvention de 221 770 €

7.1.8 *Autres hypothèses*

Taux d'actualisation : 4%
Taux d'inflation : 2%

7.2 SYNTHESE ECONOMIQUE

Les coûts d'investissement, d'exploitation, de maintenance et de gros entretien sont ensuite analysés sur 20 ans en prenant en compte l'inflation, l'évolution des prix de l'énergie et le taux d'actualisation.



	Base - Gaz + ECS solaire thermique	Scénario 1 - micro-réseau Biomasse, appoint gaz	Scénario 2 - micro-réseau Géothermie, appoint gaz	Scénario 3 - micro-réseau Géothermie appoint cogénération gaz	Scénario 4 - micro-réseau Géothermie CH/FR, appoint gaz
Remplacement	414 699 €	524 438 €	541 373 €	564 159 €	602 525 €
Maintenance	806 830 €	788 844 €	904 690 €	962 545 €	927 011 €
Exploitation	2 110 997 €	1 827 040 €	1 682 902 €	1 743 104 €	1 706 450 €
Investissement	2 224 949 €	1 231 692 €	1 261 692 €	1 317 192 €	1 460 292 €

Figure 39 – Récapitulatif des coûts sur 20 ans

Sur les 20 ans, le coût global cumulé de chacun des scénarios est ainsi le suivant :
- Scénario de référence : 5 557 474 €
- Scénario 1 : 4 372 014 €
- Scénario 2 : 4 390 657 €
- Scénario 3 : 4 587 000 €
- Scénario 4 : 4 696 278 €

Les courbes suivantes représentent l'évolution du coût global cumulé de chaque scénario sur 20 ans. On observe que :

- Le scénario de référence est le plus cher à l'investissement en raison de l'important coût de la production solaire thermique. Ce scénario reste le plus cher sur 20 ans
- Le scénario 4 est la variante étudiée la plus onéreuse à l'investissement. Contrairement à la voisinée 2, elle ne trouve pas de rentabilité sur cette voisinée en raison de la faible consommation de froid.
- Le scénario 3 a un coût d'investissement sensiblement similaire aux scénarios 1 et 2. Ses importantes consommations de gaz, ainsi que les frais d'entretien – maintenance du module de cogénération ne le rendent pas compétitif sur le long terme.
- Les scénarios 1 et 2 sont très proche d'un point de vue économique. Le scénario 1 présente un bilan légèrement plus avantageux à 20 ans.

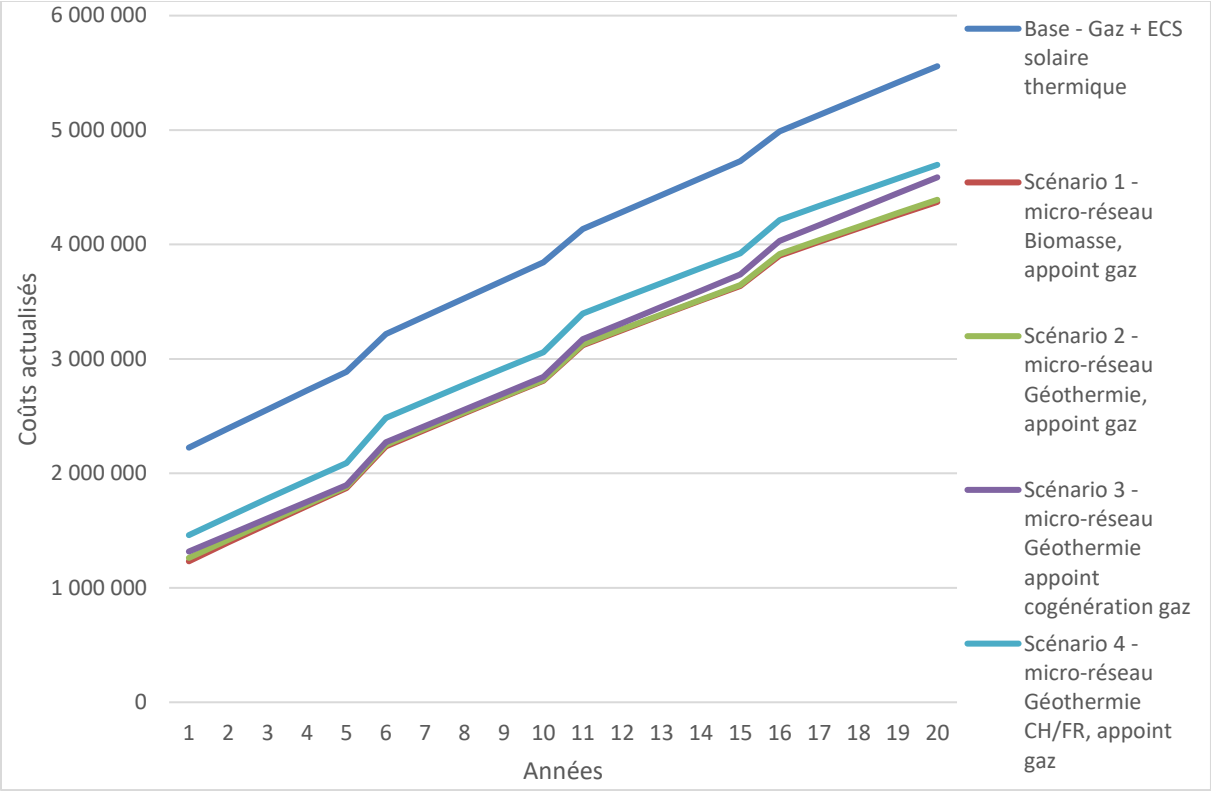


Figure 40 – Evolution du coût global cumulé sur 20 ans de chaque scénario

<u>Coût de la chaleur</u>

En lissant les coûts de chaque scénario sur 20 ans les coûts suivants sont obtenus :

Catégorie de coût	Référence - Gaz + ECS solaire thermique	Scénario 1 - micro-réseau Biomasse, appoint gaz	Scénario 2 - micro-réseau Géothermie, appoint gaz	Scénario 3 - micro-réseau Géothermie appoint cogénération gaz	Scénario 4 - micro-réseau Géothermie CH/FR, appoint gaz
Coût moyen du MWh sur 20 ans					
P1	33 €	29 €	27 €	28 €	27 €
P2	13 €	12 €	14 €	15 €	15 €
P3	7 €	8 €	9 €	9 €	10 €

P4	35 €	19 €	20 €	21 €	23 €
TOTAL HT	88 € HT	69 € HT	69 € HT	72 € HT	74 € HT
TOTAL TTC	105 € TTC	73 € TTC	73 € TTC	87 € TTC	78 € TTC

Tableau 25 : Récapitulatif des coûts de la chaleur sur 20 ans

Le coût de la chaleur TTC des scénarios 1 et 2 sont les plus avantageux.

7.3 SYNTHESE ENVIRONNEMENTALE

7.3.1 *Synthèse des résultats*

Les émissions de polluants liés aux consommations énergétiques issues de la production de chaud et de froid sur la voisinée 4 sont résumées dans le tableau suivant pour chaque scénario :

		Scénario Base	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
Emissions annuelles de CO2	t eq CO2 / an	452	210	201	487	186
Emissions annuelles de SO2	kg SO2 / an	40	90	778	500	742
Emissions annuelles de Nox	kg NOx / an	359	1 022	712	718	699
Emissions annuelles de déchets radioactifs faible et moyenne activité	kg DN fm / an	6	14	122	78	116
Emissions annuelles de déchets radioactifs forte et très forte activité	kg DN ftf / an	1	3	24	16	23
Taux EnR chaud	%	30	73	70	23	67
Taux EnR froid	%	0	0	0	0	80

Tableau 26 : Impact environnemental estimé pour chaque scénario

7.3.2 *Analyse*

Dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone est l'un des principaux gaz à effet de serre d'origine anthropique, responsables des changements climatiques actuels. Pour évaluer le potentiel de réchauffement climatique global, on utilise l'unité de l' « équivalent CO2 », qui prend comme base le potentiel de réchauffement climatique global du CO2 et pondère les autres GES au regard de leur puissance et de leur durée de vie. C'est ainsi l'unité de mesure principale pour caractériser le potentiel de réchauffement climatique.

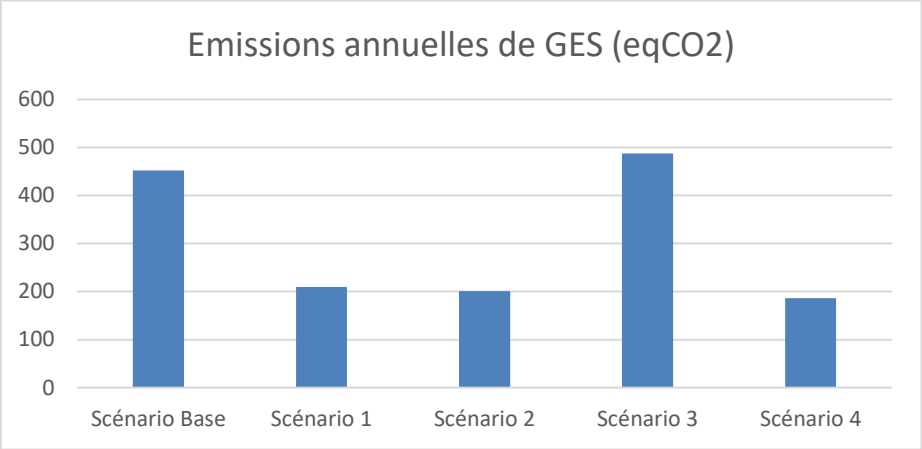


Figure 41 – Emissions annuelles des GES (eq CO2) de chaque scénario

Sur ce critère, les scénarios 1, 2 et 4 se distinguent nettement du scénario de base par des émissions moindres. En revanche, cette voisinée ayant la particularité d'intégrer peu de commerces et beaucoup de logements, les besoins en ECS sont importants et la consommation du module de cogénération gaz sur une partie de la production ECS, avec un faible rendement, font du scénario 3 le plus émetteur en GES.
Le scénario 4 est le plus performant car c'est celui qui utilise la géothermie pour la production de froid, contrairement aux autres scénarios, qui utilisent des groupes froids, à rendement inférieur, pour cette production. On note cependant que cette différence est nettement moins prononcée que sur la voisinée 2 en raison des surfaces limitées en locaux commerciaux

Les scénarios 1, 2 et 4 présentent une réduction de émissions eqCO2 de l'ordre de 55 à 70%.

<u>Dioxyde de soufre</u>
Le SO2, dioxyde de soufre, est également un gaz à effet de serre. Le SO2 est notamment issu de la combustion des énergies fossiles telles que le fioul, le charbon, le pétrole … et est un responsable de la formation des pluies acides et de l'acidification des océans. Ces phénomènes engendrent, entres autres, des problèmes sanitaires respiratoires, mais aussi la destruction d'écosystèmes fragiles tels que les récifs coralliens.

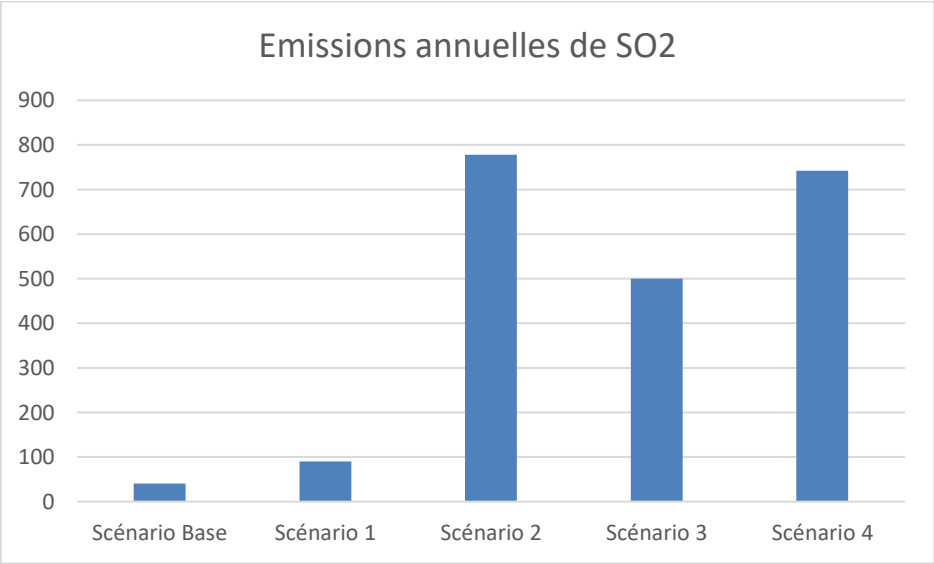


Figure 42 – Emissions annuelles de SO2 de chaque scénario

Le scénario de référence est le moins émetteur. Cela s'explique par une consommation d'électricité limitée grâce à une production de chauffage via du gaz naturel. Or le gaz naturel n'émet pas de SO2, tandis que la production électrique française en émet, via les centrales au charbon et au fioul, notamment utilisées pour répondre aux pics de consommations de chauffage en hiver. Le scénario de référence est suivi de près par le scénario 1 car le bois énergie ne génère pas non plus de SO2 lors de sa combustion.

Sur ce critère, le scénario de référence est le moins émetteur, suivi de près par le scénario 1.

Oxydes d'azote

Les NOx sont également des gaz issus de processus de combustion : combustibles fossiles (liquides et gazeux), biomasse … Ils sont principalement issus du secteur des transports : transport routier (notamment le diesel), transport maritime … mais aussi des systèmes de productions énergétiques faisant intervenir des combustions. Les NOx prennent également part à la formation des pluies acides et problèmes sanitaires respiratoires, tels que l'asthme.

Sur ce critère, le scénario de référence est le moins émetteur. Si le gaz naturel est un émetteur de NOx, les émissions sont moindres que pour la combustion du bois énergie du scénario 1 ou pour les consommations électriques, dont le bilan est grevé par les centrales au charbon et au fioul, notamment utilisées pour répondre aux pics de consommations de chauffage en hiver.

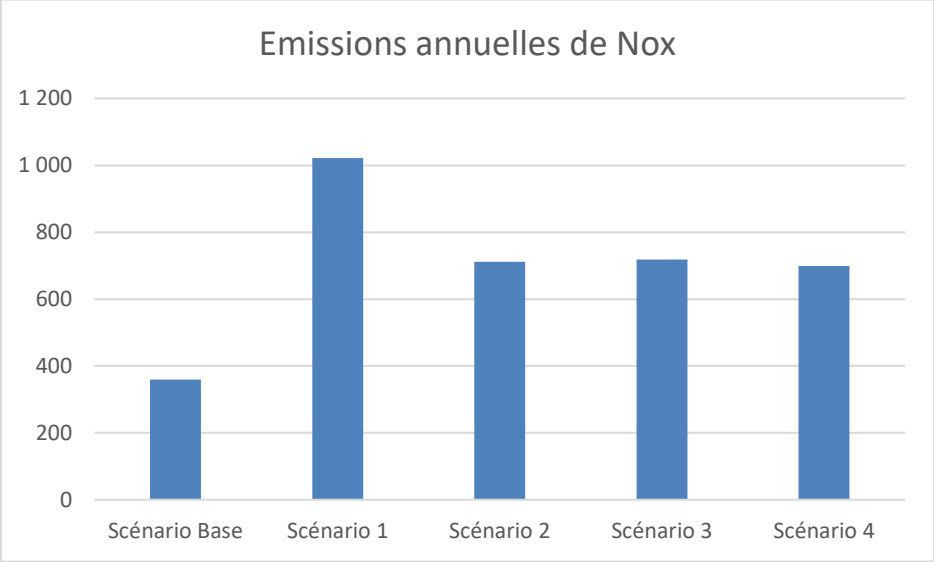


Figure 43 – Emissions annuelles de NOx de chaque scénario

Sur ce critère, le scénario de référence est le moins émetteur et le scénario 1 le plus émetteur.

Déchets nucléaires

Les déchets nucléaires sont issus de la production électrique française, dont le mix énergétique est constitué d'un peu moins de 80% d'énergie nucléaire. Cette activité nucléaire génère la production de déchets radioactifs de plusieurs types selon leur durée de vie et leur radioactivité.

Les déchets à très faible, faible et moyenne activité représentent la quasi-totalité du volume de déchets, mais seulement 4% de la radioactivité totale. Il s'agit globalement des déchets liés à la maintenance et au fonctionnement des installations (vêtements, outillage, …). Leur durée de vie est d'environ 300 ans.

Les déchets de forte et très forte activité représentent environ 0,2% du volume de déchets radioactifs produits, mais sont à l'origine de 96% de la radioactivité totale. Il s'agit principalement des combustibles nucléaires usés et des produits issus de leur traitement. Leur durée de vie est de plusieurs dizaines à centaines de milliers d'années.

La Loi de Transition Énergétique, votée en 2015, prévoit de limiter la part du nucléaire dans le mix énergétique français en parallèle d'une réduction de la demande en énergie. Cela induira une réduction de la production de ces déchets radioactifs dont la gestion reste aujourd'hui problématique. Plusieurs scénarios ont également été étudiés pour envisager une sortie des énergies fossiles et de l'énergie nucléaire, d'ici à 2050. C'est notamment le cas d'un rapport de l'ADEME en 2013, mis à jour en 2016, traitant exclusivement de l'approvisionnement électrique, mais aussi du Rapport Negawatt, produit par les experts de l'Institut Negawatt, élaboré en 2003 et mis à jour en 2006, 2011 et 2017, qui traite de l'ensemble de l'approvisionnement énergétique de la France.

Sur ce critère, le scénario le moins producteur de déchets nucléaires est le scénario de référence. Celui-ci produit l'intégralité de sa chaleur par le gaz naturel et des panneaux solaires et n'utilise l'électricité que pour la production de froid. Le scénario 1 présente également une faible production de déchets radioactifs en raison d'une production de chaleur par la biomasse.

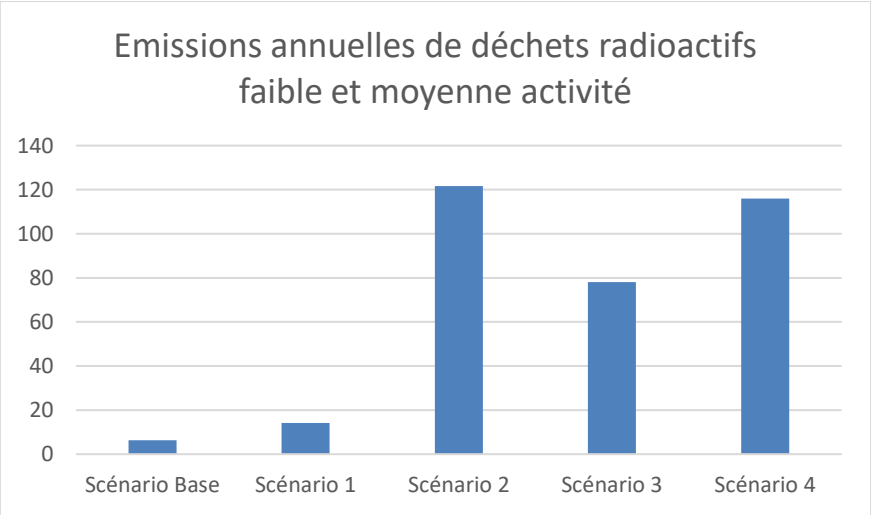


Figure 44 – Emissions annuelles de déchets radioactifs faible et moyenne activité de chaque scénario

Sur ce critère, le scénario le moins producteur en déchets nucléaires est le scénario de référence, suivi de près par le scénario 1.

<u>Taux EnR</u>

Promulguée en 2015, la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte a inscrit un objectif de 32 % d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'ici 2030, dont 38 % pour la consommation finale de chaleur. En complément des changements d'approvisionnement énergétique vers des solutions EnR des réseaux de chaleur existants et des bâtiments intégrant leur propre chaufferie, les bâtiments et réseaux neufs se doivent d'être exemplaires.
Par ailleurs, dans le cadre de la création d'un réseau de chaleur, un classement du réseau peut être demandé si celui-ci est alimenté à plus de 50% par des EnR. Ce classement permet d'imposer le raccordement des opérations situés dans le périmètre du classement afin d'assurer la viabilité économique de l'investissement que représente le déploiement d'un tel dispositif et d'assurer un tarif intéressant pour l'usager ainsi qu'un approvisionnement en énergie verte. Par ailleurs le classement du réseau permet de bénéficier d'une TVA réduite à 5,5 %.

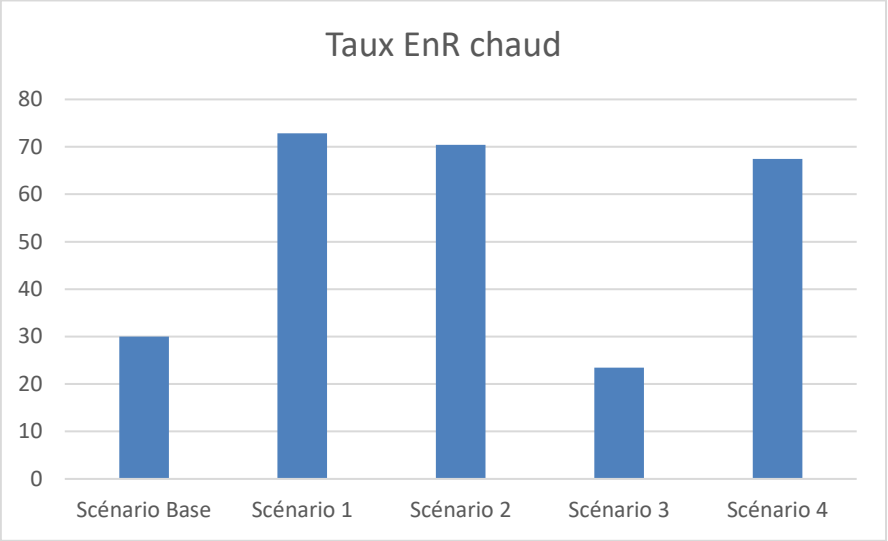


Figure 45 – Taux d'approvisionnement renouvelable de chaque scénario

Sur ce critère, le scénario de référence est le moins bon, avec seulement 30% d'EnR, grâce à la production EnR d'une partie de l'ECS.
Le scénario 4 présente ensuite un taux d'alimentation EnR du micro-réseau de 67%. Cette performance est moins bonne que sur la voisinée 2 en raison des faibles besoins en froid. Le scénario 2 permet d'atteindre un taux EnR de 70%. Le scénario le plus performant est le scénario 1 (biomasse), avec un taux EnR dans le micro-réseau de 73%
Le scénario 3, en raison de la consommation importante de gaz naturel du module de cogénération, ne parvient pas à atteindre ce seuil de 50% d'EnR dans l'alimentation du réseau et n'est donc pas éligible au classement. Le bilan EnR de ce scénario est assez faible (23%) en raison de l'importante quantité d'ECS à produire sur cette voisinée qui comprend de très nombreux logements, comparativement à la voisinée 2.

Les scénarios 1, 2 et 4 offrent un taux d'alimentation du micro-réseau en EnR variant de 67% à 73% compatible avec le classement du réseau. Le scénario 1 est le plus performant.

Concernant la production de froid, seul le scénario 4 propose un approvisionnement EnR via le doublet géothermique, avec un taux d'alimentation en EnR de 80% sur la production de froid.

7.4 DIFFERENTIATION DES SCENARIOS

Le scénario de référence est le plus onéreux durant toute la durée de l'étude en raison du coût important de l'investissement pour la production EnR d'ECS. Par ailleurs, c'est le scénario qui propose les émissions de GES les plus élevées et le contenu EnR parmi les plus faibles, inférieur aux objectifs de la Loi de Transition Energétique. Il ne doit donc pas être privilégié.

Les scénarios 1 et 2 offrent des avantages similaires sur les critères environnementaux d'émissions de GES et d'alimentation EnR. Si les émissions de GES du scénario biomasse sont un peu supérieures à celles du scénario géothermique, la production de déchets radioactifs y est inférieure. Ils sont par ailleurs économiquement très proches. Le scénario 1 reste cependant le scénario proposant le taux d'alimentation EnR du micro-réseau le plus élevé et le bilan économique global à 20 ans le plus faible.

Le scénario 3 apparait comme le moins intéressant des scénarios EnR étudiés. En effet, le faible rendement du module de cogénération fait nettement augmenter la consommation de gaz naturel de ce scénario et les émissions de GES associées, tout en faisant baisser le pourcentage d'EnR dans le réseau sous le seuil des 50% empêchant tout classement du micro-réseau. Cette consommation

importante de gaz le pénalise également d'un point de vue économique et en fait le scénario EnR le moins intéressant d'un point de vue économique.

Le scénario 4 ne présente pas le même intérêt sur cette voisinée 4 que sur la voisinée 2. En effet, les coûts d'investissement restent plus élevés que pour les scénarios 1 et 2, mais les besoins en froid relativement faibles ne permettent pas d'obtenir un retour sur investissement. Ce scénario est cependant celui qui permet les émissions de GES les plus faibles et le seul à offrir une production EnR pour la production de froid.

8 IMPACTS DE CES SOLUTIONS D'APPROVISIONNEMENT ENERGETIQUE SUR LE PROJET URBAIN

L'objet de cette section est de mettre en avant les impacts engendrés par ces scénarios d'approvisionnement énergétique à l'échelle des voisinées. Cela concerne aussi bien l'impact sur le foncier des espaces publics du quartier que sur celui des projets immobiliers ou encore sur le planning des opérations.

8.1 SURFACES DE LOCAUX TECHNIQUES

Scénario de référence :
Chaufferies gaz de 50 m² en moyenne (10 chaufferies dans la voisinées 4, 6 chaufferies dans la voisinée 2)
Utilisation des toitures pour l'implantation des panneaux solaires thermiques.

Scénario 1 :
55 m² pour les chaudières biomasse (hors silo)
100 à 200 m² pour les chaudières gaz en fonction du dimensionnement retenu pour l'appoint / secours
20 m² par sous-station

Scénario 2 :
60 m² pour le local géothermie
100 à 200 m² pour les chaudières gaz en fonction du dimensionnement retenu pour l'appoint / secours
20 m² par sous-station

Scénario 3 :
60 m² pour le local géothermie
40 m² pour le module de cogénération
100 à 200 m² pour les chaudières gaz en fonction du dimensionnement retenu pour l'appoint / secours
20 m² par sous-station

Scénario 4 :
50 m² pour le local géothermie
100 à 200 m² pour les chaudières gaz en fonction du dimensionnement retenu pour l'appoint / secours
40 m² par sous-station

8.2 IMPACT FONCIER SUR LE PROJET URBAIN

Scénario de référence :
1 chaufferie (donc 1 cheminée d'évacuation des fumées) par îlot.

Scénario 1 :
Aménagement d'une aire de retournement pour les camions de livraison entre la voirie et le bâtiment (prévoir un dégagement d'environ 15 à 20 m, cf. premières réflexions de l'agence OMA ci-après) + trappe de livraison du combustible dans le silo souterrain + dimensionnement du silo de stockage à déterminer en fonction de l'autonomie recherchée.

Scénarios 2 et 3 :
Pas d'impact foncier particulier en dehors des forages géothermiques.

Scénario 4 :
Locaux sous-station plus grands en raison d'un delta de température aller/retour plus faible (boucle tempérée) qui nécessite des échangeurs plus largement dimensionnés.

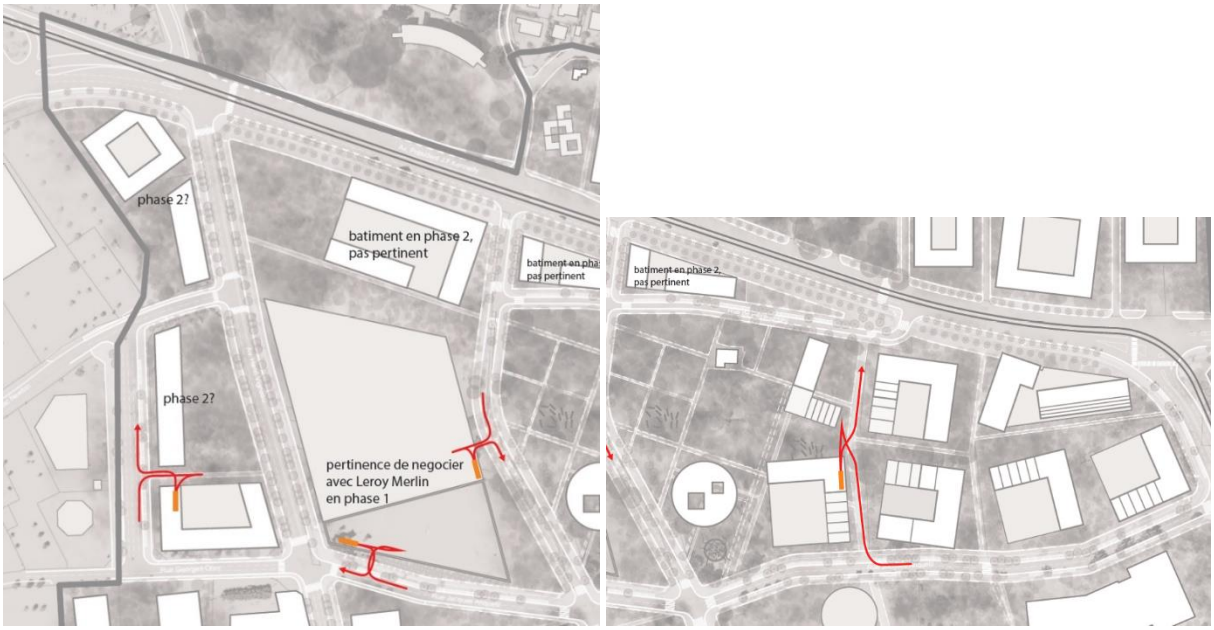


Figure 46 – 1ères réflexions sur la localisation d'aire de retournement pour la livraison de combustible biomasse sur les voisinées 2 et 4 – Source : OMA

8.3 IMPACT PLANNING SUR LE PROJET URBAIN

Scénario de référence :
Solution présentant la plus grande flexibilité en terme de déploiement. Chaque îlot intègre une chaufferie gaz dans sa construction.

Scénario 1 :
Privilégier l'aménagement de la chaufferie centrale sur les îlots Fiat et Leroy Merlin, 1ers îlots des voisinées à évoluer.

Scénario 2, 3 et 4 :
Privilégier l'aménagement de la chaufferie centrale les îlots Fiat et Leroy Merlin, 1ers îlots des voisinées à évoluer.
Prévoir un temps d'étude supplémentaire pour la vérification du potentiel géothermique au droit de cette parcelle (profondeur, température, débit, transmissivité…), ainsi qu'un temps de chantier supplémentaire pour la réalisation des forages géothermiques.

La rentabilité d'un micro-réseau sera également lié à la rapidité d'évolution de l'ensemble des îlots de la voisinée (investissement initial important pour la chaufferie biomasse ou l'installation géothermique). Ce phénomène peut être atténué augmentant la puissance des installations thermiques (nombre de chaudières / PAC) en cohérence avec les projets immobiliers.

8.4 POINTS DE VIGILANCES

Quelques points de vigilance sont à mettre en avant concernant ces projets de micro-réseaux :

- La puissance théorique des micro-réseaux dépasse les 2MW, seuil limite de la réglementation ICPE : 2,3 MW sur la voisinée 2 et 3,4 MW sur la voisinée 4. En revanche, les puissances foisonnées horaire sont plus limitées (1,1 MW sur la voisinée 2 et 1,5 MW sur la voisinée 4).
  Les appels de puissance plus courts pourraient engendrer un dépassement des 2 MW, essentiellement sur la voisinée 4, ce qui nécessiterait de créer 2 chaufferies distinctes (sur 2 îlots différents), afin de ne pas être soumis à la réglementation ICPE. Il est ainsi envisageable de prévoir une chaufferie gaz sur l'un des îlots dont l'usage serait limité aux pics de consommations hivernaux.

- Sur la voisinée 2, le scénario 4 (géothermie chaud et froid) n'a de pertinence que si Leroy Merlin se raccorde au micro-réseau tempéré pour ses besoins en froid (cf. bilan économique du scénario 4 sur la voisinée 4).

- Quelle maîtrise du planning pour la réalisation des différentes opérations ?

- Comment s'assurer du raccordement de l'ensemble des opérateurs pour assurer la rentabilité économique des installations : micro-réseau certifié ? Attention aux délais et lourdeurs administratives.

- Montage opérationnel à définir avec Bordeaux Métropole

- Potentiel géothermique à confirmer par une étude d'hydrogéologique.

8.5 RECAPITULATIFS DES ATOUTS, CONTRAINTES, OPPORTUNITES ET MENACES

Scénario de référence

Atouts	Contraintes
Solution la plus flexible en termes de mise en œuvre	Production EnR faible et inférieure aux objectifs de la Loi de Transition Energétique
Montage opérationnel aisé et classique	Coût d'investissement important en raison de la production renouvelable sur l'ECS
Surface limitée de locaux techniques (hors production renouvelable)	Production de GES importante sur site
Recours à l'énergie électrique limité	Inflation du prix du gaz potentiellement importante avec la raréfaction de la ressource (+ enjeux géopolitique)
	Ressource principale non locale

Opportunités	Menaces
Permet d'adapter la production énergétique, notamment EnR, à chaque type de bâtiment	Augmentation importante du prix de l'énergie possible dans les années à venir en raison de la raréfaction de la ressource en gaz
	Participation trop faible à l'effort de transition énergétique et écologique → risque d'emballement climatique planétaire

Etant donné l'impact financier important de la production d'ECS d'origine renouvelable, il est pertinent de s'interroger sur l'utilisation de cette enveloppe budgétaire. Dans le cadre d'une démarche de type Négawatt, il est intéressant de réduire ses consommations avant de produire de l'énergie renouvelable. Une réflexion sur le scénario de référence pourrait ainsi porter sur son évolution afin de privilégier la réduction du besoin énergétique (par exemple en allant chercher un label de performance énergétique comme le label Effinergie+) plutôt qu'une production renouvelable couteuse et assez limitée.

Approvisionnement biomasse

Atouts	Contraintes
Approvisionnement de chaleur par une énergie renouvelable Ressource locale Recours à l'énergie électrique limité Peu d'émissions de GES (par rapport à un approvisionnement gaz) Inflation du prix de la biomasse inférieure à celle du gaz et de l'électricité	Coûts d'investissement importants Impact sur la qualité de l'air à maîtriser (filtration des fumées de combustion) Emprise foncière potentiellement importante pour l'aire de livraison et le silo de stockage du combustible Nécessité d'un appoint gaz pour absorber les appels de puissance importants mais peu fréquents

Opportunités	Menaces
Limite l'impact environnemental de la production énergétique du quartier Produit une énergie propre, fiable, pérenne et économe La création d'un réseau de chaleur approvisionné à plus de 50% par des EnR permet de demander un financement du Fond Chaleur	Conflits d'usage sur la ressource bois à évaluer

Approvisionnement géothermique

Atouts	Contraintes
Approvisionnement de chaleur par une énergie renouvelable Ressource locale Possibilité de mutualiser la production de chaud et de froid sur le forage géothermique Pas d'émission de GES sur site (hors appoint)	Coûts d'investissement importants Impact sur la qualité de l'eau et sur son débit à maîtriser Nécessité d'un appoint gaz pour absorber les appels de puissance importants mais peu fréquents

Gisement géothermique a priori favorable (à confirmer par une étude d'hydrogéologique)	Inflation du prix de l'électricité potentiellement importante avec la mise à niveau des centrales nucléaires (sécurité, prolongement de la durée de vie) et leur démantèlement.

Opportunités	Menaces
Limite l'impact environnemental de la production énergétique du quartier Produit une énergie propre, fiable, pérenne et économe Offre un meilleur indice de rendement qu'une production gaz. Cela permet d'obtenir de meilleurs résultats dans l'étude RT (par exemple pour l'obtention d'un label énergétique) La création d'un réseau de chaleur approvisionné à plus de 50% par des EnR permet de demander un financement du Fond Chaleur. L'approvisionnement via PAC sur aquifère superficiel permet de demander un financement du Fond Chaleur. Le risque d'absence de ressource géothermique ou de sa diminution dans le temps est assuré par AQUAPAC.	Potentiel géothermique à confirmer par une étude d'hydrogéologique Risque de diminution de la ressource dans le temps à évaluer Conflits d'usage sur la ressource en eau à évaluer Nécessite une coordination avec le projet immobilier pour réaliser les forages géothermiques avant le programme immobilier

<u>Distribution par micro-réseau</u>

Atouts	Contraintes
Densité énergétique des voisinées 2 et 4 compatible avec le déploiement d'un micro-réseau de chaleur Programmation importante et variée Mise en œuvre plus simple et flexible que pour un réseau de chaleur à l'échelle de l'ensemble du secteur Mérignac Soleil (interactions avec d'autres travaux, plannings …) Ne nécessite pas la mise en œuvre d'une chaufferie collective sur un foncier dédié. Les outils de production peuvent être implantés en RdC ou sous-sol des bâtiments s'ils ne sont pas classés ICPE.	Investissement budgétaire important pour le déploiement du micro-réseau et la mise en œuvre des équipements de production énergétique Rentabilité délicate tant que l'ensemble des bâtiments ne sont pas construits et raccordés Surface de locaux techniques importante à réserver dans le programme immobilier qui accueille la chaufferie collective Planning de réalisation à coordonner avec ce programme immobilier

Opportunités	Menaces
Mutualisation des systèmes de production énergétique Raccordement à une production d'énergie renouvelable pour une large distribution Rentabilité plus aisée de systèmes de production plus onéreux que des solutions individuelles Maîtrise du coût de l'énergie grâce à une moindre dépendance aux énergies fossiles Réduction des surfaces de locaux techniques dans les bâtiments (hors chaufferie centrale) Lutte contre la précarité énergétique	Nécessite des besoins énergétiques importants pour assurer une bonne densité énergétique Montage opérationnel à trouver Non rentabilité du réseau si l'ensemble des bâtiments ne s'y raccorde pas ou s'y raccorde tardivement : nécessite une certaine maîtrise sur le raccordement et le planning Puissance chaud non foisonnée supérieure au plafond de classement ICPE : demande une analyse fine des appels de puissance pour dimensionner l'outil de production au plus juste et limiter la puissance à moins de 2 MW. En cas d'impossibilité, nécessité de créer 2 chaufferies collective pour le micro-réseau.

9 SYNTHESE DES CONCLUSIONS PAR SCENARIO

	Scénario de référence : Gaz + ECS EnR	Scénario 1 : biomasse appoint gaz	Scénario 2 : géothermie appoint gaz	Scénario 3 : géothermie appoint gaz et cogénération gaz	Scénario 4 géothermie chaud/froid, appoint gaz
Impacts environnementaux					
Taux de production EnR sur les besoins en chaud	Taux de 20 à 30% suivant la programmation des voisinées	Taux d'environ 70% compatible avec le classement du réseau de chaleur	Taux d'environ 70% compatible avec le classement du réseau de chaleur	Taux inférieur aux 50% nécessaire pour le classement du réseau de chaleur	Taux d'environ 70% compatible avec le classement du réseau de chaleur
Disponibilité de la ressource	Approvisionnement principal d'origine fossile Réserve estimée à 50 ans environ	Approvisionnement principal d'origine renouvelable Gisement bois important dans la région	Approvisionnement principal d'origine renouvelable Gisement géothermique a priori favorable (à confirmer)	Approvisionnement principal d'origine renouvelable Gisement géothermique a priori favorable (à confirmer) Usage important d'une énergie fossile (gaz pour la cogénération)	Approvisionnement principal d'origine renouvelable Gisement géothermique a priori favorable (à confirmer)
Émissions de GES	Émissions de GES élevées	Emissions de GES limitées	Pas d'émissions de GES sur site (hors appoint)	Emissions de GES élevées en raison de la cogénération gaz	Pas d'émissions de GES sur site (hors appoint)
Production de déchets nucléaires	Pas de production de déchets nucléaires pour la production de chaud	Pas de production de déchets nucléaires pour la production de chaud	Production de déchets nucléaires pour le fonctionnement des installations géothermiques	Production de déchets nucléaires pour le fonctionnement des installations géothermiques	Production de déchets nucléaires pour le fonctionnement des installations géothermiques
Risque hydrologique	Pas de risque hydrologique	Pas de risque hydrologique	Risque de perturbation de l'aquifère (modification de la	Risque de perturbation de l'aquifère (modification de la	Risque de perturbation de l'aquifère (modification de la

			température et/ou pollution)	température et/ou pollution)	température et/ou pollution)
Impacts financiers					
Investissement	Investissement global important (en raison de la production renouvelable d'ECS)	Investissement global important	Investissement global important	Investissement global important	Investissement global important
Exploitation	Coûts d'exploitation élevés	Coûts d'exploitation limités	Coûts d'exploitation limités	Coûts d'exploitation limités	Coûts d'exploitation limités
Entretien / maintenance	Frais d'entretien / maintenance limités	Frais d'entretien / maintenance limités	Frais d'entretien / maintenance importants	Frais d'entretien / maintenance importants	Frais d'entretien / maintenance importants
Bilan	Scénario parmi les plus couteux à 20 ans	Scénario parmi les moins couteux à 20 ans	Scénario parmi les moins couteux à 20 ans	Scénario parmi les plus couteux à 20 ans	Scénario parmi les moins couteux à 20 ans (en cas de besoins de froid importants)
Impacts projet					
Emprise projet urbain	Pas d'emprise de chaufferie centrale à prévoir sur le projet urbain	Pas d'emprise de chaufferie centrale à prévoir sur le projet urbain Aire de retournement et de livraison à prévoir pour la livraison du combustible	Pas d'emprise de chaufferie centrale à prévoir sur le projet urbain	Pas d'emprise de chaufferie centrale à prévoir sur le projet urbain	Pas d'emprise de chaufferie centrale à prévoir sur le projet urbain
Emprise bâtiment	Emprise des locaux techniques dans les bâtiments limitée	Chaufferie centrale d'environ 150 à 200 m² à prévoir en sous-sol d'un bâtiment. Emprise à prévoir pour le silo de stockage, variable en fonction de l'autonomie recherchée	Chaufferie centrale d'environ 150 à 200 m² à prévoir en sous-sol d'un bâtiment.	Chaufferie centrale d'environ 150 à 200 m² à prévoir en sous-sol d'un bâtiment.	Chaufferie centrale d'environ 150 à 200 m² à prévoir en sous-sol d'un bâtiment.

Financement	Financement individuel	Financement mutualisé	Financement mutualisé	Financement mutualisé	Financement mutualisé
Montage opérationnel	Simple et classique	A définir avec Bordeaux Métropole	A définir avec Bordeaux Métropole	A définir avec Bordeaux Métropole	A définir avec Bordeaux Métropole
Démarches administratives	Pas de démarche administrative particulière grâce à la décentralisation de la production	Pas de classement ICPE si la puissance de la chaufferie reste inférieure à 2 MW	Installation géothermique soumise à déclaration si la puissance reste inférieure à 500 kW. Installation soumise à autorisation au-delà.	Installation géothermique soumise à déclaration si la puissance reste inférieure à 500 kW. Installation soumise à autorisation au-delà.	Installation géothermique soumise à déclaration si la puissance reste inférieure à 500 kW. Installation soumise à autorisation au-delà.
Classement du réseau de chaleur	Pas de démarche administrative particulière en l'absence de réseau de chaleur	Nécessité de classer chaque micro-réseau pour générer une obligation de raccordement	Nécessité de classer chaque micro-réseau pour générer une obligation de raccordement	Pas de démarche administrative particulière en raison d'un taux d'EnR trop faible	Nécessité de classer chaque micro-réseau pour générer une obligation de raccordement
TVA applicable	TVA à 20%	TVA à 5,5% en cas de classement du réseau	TVA à 5,5% en cas de classement du réseau	TVA à 20%	TVA à 5,5% en cas de classement du réseau
Rafraichissement	Pas de possibilité de faire du géocooling (rafraichissement passif en été)	Pas de possibilité de faire du géocooling (rafraichissement passif en été)	Pas de possibilité de faire du géocooling (rafraichissement passif en été)	Pas de possibilité de faire du géocooling (rafraichissement passif en été)	Possibilité de faire du géocooling (rafraichissement passif en été) et/ou de produire du froid (actif)