

ANALYSE DE FAISABILITE TECHNIQUE ET ECONOMIQUE ENERGETIQUE

PROJET DE REQUALIFICATION DU SECTEUR DESSAUX-LES AUBRAIS



Réf : 2014.299-E02 A

17/12/2015

Rédigé par : Renaud DERRIEN

Vérifié par : François-Xavier MONACO

SOMMAIRE

1.	CONTEXTE DE L'ETUDE.....	3
2.	SCENARIO DE REFERENCE	6
3.	SCENARIO 1 : EXTENSION DES RESEAUX DE CHALEUR.....	9
4.	VARIANTE : LA PRODUCTION DE FROID A PARTIR D'UN RESEAU DE CHALEUR PAR L'ABSORPTION	23
5.	SCENARIO 2 : GEOTHERMIE BASSE ENERGIE SUR DOGGER.....	25
6.	SCENARIO 3 : GEOTHERMIE TRES BASSE ENERGIE SUR AQUIFERE SUPERFICIEL	29
7.	SYNTHESE	35
8.	HYPOTHESES RETENUES	40
9.	TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	42

1. CONTEXTE DE L'ETUDE

Pour couvrir les besoins énergétiques du projet InterRives, l'étude de potentiel a mis en avant les solutions en Energie Renouvelable (EnR) pertinentes suivantes :

- le raccordement aux réseaux de chaleur existants,
- la géothermie basse énergie sur aquifère profond (sur Dogger),
- la géothermie très basse énergie sur aquifère superficiel.

L'enjeu de cette étude de faisabilité technique et économique, pour chacun de ces scénarios, est:

- de produire une description synthétique et schématique des différentes solutions techniques mises en œuvre,
- de définir leur impact économique et le bilan des différents investissements à réaliser par l'aménageur ainsi que leurs coûts de gestion et de fonctionnement,
- d'établir leur apport environnemental, notamment en termes de CO2 évités par rapport au scénario de référence en énergie fossile,
- d'évaluer leurs avantages et leurs inconvénients.

Cette étude permet ainsi de présenter les scénarios faisables techniquement et économiquement pour guider opérationnellement la Communauté d'Agglomération Orléans Val de Loire dans les choix stratégiques à retenir pour l'approvisionnement en énergies renouvelables du projet InterRives.

La présente analyse de faisabilité technique et économique tient compte de la programmation prévisionnelle des phases 1 et 2, la programmation de la troisième phase étant hypothétique actuellement. Le périmètre de la phase 3 couvrira le reste du projet d'aménagement :

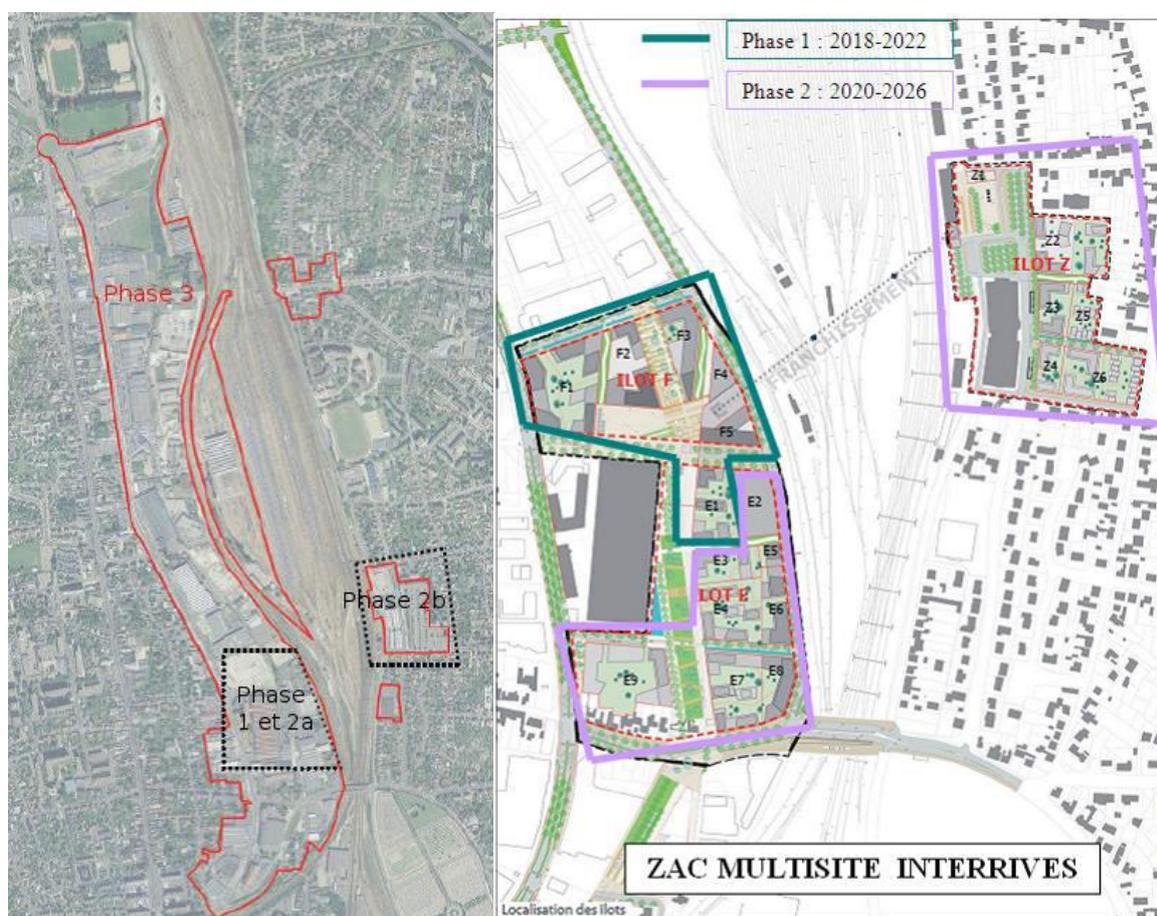


FIGURE 1: ESQUISSE DU PROJET INTERRIVES ET ZOOM SUR LA ZAC MULTISITE

Les besoins en énergie du futur projet, sur la base de la programmation de décembre 2012, sont détaillés dans les tableaux suivants :

Besoins de chaleur						
Phases	Type de bâtiments	SDP (m ²)	Performance énergétique	Besoins chauffage (kWh/an)	Besoins ECS (kWh/an)	Puissance chaud (kW)
1	Tertiaire	28 267	Effinergie +	652 968	62 187	391
	Habitat collectif	25 004	Effinergie +	616 099	687 610	546
	Hôtellerie	8 105	Effinergie +	187 226	312 042	175
	Commerce	3 923 ¹	Effinergie +	126 870	43 153	87
	Crèche	300	Effinergie +	11 088	6 600	9
	Restauration	1000	Effinergie +	23 100	38 500	26
2a	Tertiaire	29 170	RT 2020	449 218	64 174	291
	Habitat collectif	26 174	RT 2020	403 080	719 785	526
2b	Habitat collectif	15 093	RT 2020	232 432	415 058	303
Total	-	137 036	-	2 702 081	2 349 109	2 355

TABEAU 1: ESTIMATION DES BESOINS DE CHALEUR

Besoins de froid					
Phases	Type de bâtiments	SDP (m ²)	Performance énergétique	Besoins froid (kWh/an)	Puissance froid (kW)
1	Tertiaire	28 267	Effinergie +	373 124	746
	Habitat collectif	25 004	Effinergie +	-	-
	Hôtellerie	8 105	Effinergie +	147 106	294
	Commerce	3 923	Effinergie +	142 405	285
	Crèche	300	Effinergie +	4 620	13
	Restauration	1 000	Effinergie +	49 500	99
2a	Tertiaire	29 170	RT 2020	401 088	802
	Habitat collectif	26 174	RT 2020	-	-
2b	Habitat collectif	15 093	RT 2020	-	-
Total	-	137 036	-	1 117 843	2 239

TABEAU 2: ESTIMATION DES BESOINS DE FROID

¹ (3182m² +741m² avec le pôle de mobilité)

Besoins d'électricité				
Phases	Type de bâtiments	SDP (m ²)	Performance énergétique	Besoins électricité (kWh/an)
1	Tertiaire	28 267	Effinergie +	1 863 135
	Habitat collectif	25 004	Effinergie +	847 136
	Hôtellerie	8 105	Effinergie +	299 561
	Commerce	3 923	Effinergie +	235 615
	Crèche	300	Effinergie +	10 580
	Restauration	1 000	Effinergie +	172 480
2a	Tertiaire	29 170	RT 2020	1 373 324
	Habitat collectif	26 174	RT 2020	633 411
2b	Habitat collectif	15 093	RT 2020	365 251
Total	-	137 036	-	5 800 493

TABLEAU 3: ESTIMATION DES BESOINS D'ELECTRICITE

2. SCENARIO DE REFERENCE

Ce scénario « classique » d'alimentation, sans recours à des énergies renouvelables, sert de base pour la comparaison avec les autres scénarios en termes de bilan économique et environnemental. Pour ce scénario, la production de chaleur est donc délocalisée et sans réseau. Il est composé de plusieurs systèmes techniques installés en fonction des typologies de bâtiment :

Type	Chauffage	ECS	Froid
Habitat collectif	Chaudière gaz basse température individuelle		-
Tertiaire	PAC air/air réversible	Ballon électrique individuel	PAC air/air réversible
Commerce			
Hôtellerie			
Crèche			
Restauration			

TABLEAU 4: SYSTEMES TECHNIQUES DU SCENARIO DE REFERENCE

Ce scénario a notamment été conçu d'après la Zone d'Aménagement Concertée (ZAC) Sainte-Croix à Orléans, qui est actuellement en construction et où il n'y a pas eu de normes particulières concernant l'approvisionnement énergétique. Tous les systèmes de chauffage sur cette ZAC (20% électrique et 80% gaz) sont individualisés.

Pour l'habitat collectif, la chaudière gaz basse température individuelle a été retenue comme système technique adapté pour répondre aux besoins de chaleur à faible coût. Le chauffage par radiateur électrique est très peu développé sur la ZAC Sainte Croix et devra être proscrit sur le projet InterRives car son impact environnemental est très important.

Pour les bureaux, les commerces, la crèche, le Restaurant Inter-Entreprise (RIE) et l'hôtellerie, le ballon électrique répondra aux consommations en Eau Chaude Sanitaire (ECS).

Le chauffage est lui assuré par des Pompes À Chaleur (PAC) air/air réversible.

La PAC air/air est une machine thermodynamique fonctionnant à l'électricité ou au gaz qui capte des calories sur l'air extérieur pour les rejeter dans l'intérieur d'un bâtiment. Pour les besoins de froid, ce système sera utilisé pour un rafraîchissement d'été en inversant son fonctionnement :

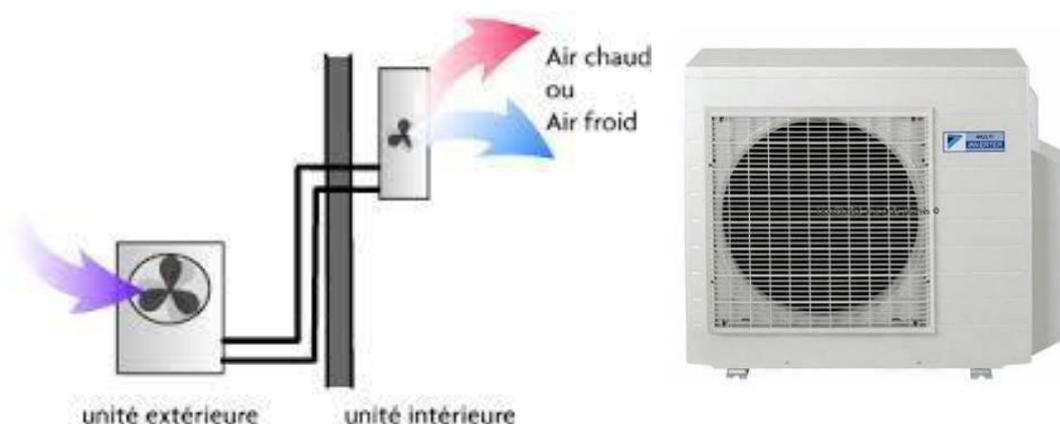


FIGURE 2: SCHEMA DE SYNTHESE ET ILLUSTRATION D'UNE PAC AIR/AIR REVERSIBLE

La principale caractéristique permettant de juger de la performance d'une pompe à chaleur est le Coefficient de Performance (COP) qui représente le nombre de kWh de chaleur produits, pour 1 kWh d'électricité/gaz consommé. Le COP de la pompe à chaleur air-air se situe généralement autour de 3. Ce COP est un COP moyen qui se dégrade avec la température extérieure. Plus il fait froid en hiver, plus le COP s'abaisse alors que les besoins sont les plus importants. Cette solution n'est donc pas considérée comme une énergie renouvelable par l'ADEME.

Dimensionnement

Le nombre de chaudières gaz basse température à installer correspond au nombre de logements prévus qui est de 800 environ. La puissance de ces chaudières sera comprise entre 12 et 20 kW.

En prenant comme hypothèse l'installation d'un ballon électrique individuel tous les 200m² de tertiaire/commerce, 307 chauffe-eaux électriques individuels seront mis en place. La puissance de chaque chauffe-eau sera de 10kW.

Dix PAC air/air réversible seront installées à l'échelle des îlots de bureaux, de commerces et d'hôtellerie. La puissance de chaque PAC air/air sera de 220kW.

Bilan financier et environnemental

Les coûts de ces systèmes sont détaillés dans ces tableaux :

Matériel	Investissement (€ HT)
Chaudière gaz basse température individuelle	1 242 000 €
Ballon électrique individuel	30 700 €
PAC air/air réversible	468 000 €

TABLEAU 5: COUT DES SYSTEMES TECHNIQUES DU SCENARIO DE REFERENCE

Aucune subvention ne sera accordée puisque les équipements concernés ne sont pas des systèmes utilisant des énergies renouvelables au sens de l'ADEME.

Le coût d'investissement sera supporté entièrement par les promoteurs.

Les impacts économiques et environnementaux du scénario de référence sont les suivants :

Bilan économique	
Investissement total (€ HT)	1 740 700 €
Subventions (€ HT)	0 €
Coût de la chaleur moyen sur 30 ans (HT/MWh)	206 €
Coût du froid moyen sur 30 ans (HT/MWh)	299 €

TABLEAU 6: BILAN ECONOMIQUE DU SCENARIO DE REFERENCE

Bilan environnemental	Chaud	Froid
Consommation d'énergie primaire (MWHep/an)	7 133	2 347
Consommation d'énergie finale (MWHep/an)	4 370	745
Part d'EnR sur le bilan global	17%	42%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	141%	210%
Émissions de CO2 (t/an)	961	134
Émissions de SO2 (t/an)	1	0,7
Émissions de NOx (t/an)	1,1	0,4
Déchets nucléaires faibles émis (kg/an)	57	37
Déchets nucléaires forts émis (kg/an)	11	7

TABLEAU 7: BILAN ENVIRONNEMENTAL DU SCENARIO DE REFERENCE

Ce scénario a été défini comme le scénario de référence, celui-ci constituant la solution la plus avantageuse économiquement à court terme (charges d'exploitation raisonnables pour les utilisateurs). Il présente toutefois un bilan environnemental peu satisfaisant et demeure fortement dépendant des énergies fossiles. Il expose donc, à moyen et long terme, les habitants du futur projet InterRives à de fortes hausses de leur facture énergétique.

Si la part énergies renouvelables existe du fait de l'utilisation de la ressource électrique qui contient une part d'énergie renouvelable et de PACs qui utilisent les calories de l'air pour produire le froid, le ratio d'énergie primaire est supérieur à 1 puisque l'électricité a un très mauvais ratio énergie primaire² sur énergie finale.

² L'énergie primaire est l'énergie prise à la planète. L'énergie finale est l'énergie disponible en entrée d'un système technique. A titre d'exemple pour 1kWh d'électricité disponible à l'entrée d'un système, la réglementation thermique considère que 2,58 kWh sont produits par EDF, le ratio réel, retenu pour cette étude, est de 3,15 kWh.

3. SCENARIO 1 : EXTENSION DES RESEAUX DE CHALEUR

Les réseaux de chaleur ont pour but de distribuer de la chaleur sur une zone prédéfinie via une production thermique centralisée :



FIGURE 3: SCHEMA D'UN RESEAU DE CHALEUR

Sous bien des aspects, le réseau de chaleur est un atout. Si on le compare à une chaudière individuelle, il est plus économique, plus simple d'utilisation, plus sûr, plus fiable, et plus respectueux de l'environnement. Il permet d'assurer une maintenance optimale, d'optimiser les coûts énergétiques et surtout facilite l'évolutivité des systèmes dans le temps.

Le Diamètre Nominal (DN) d'un réseau de chaleur varie en fonction du débit et de la perte de charge. Le diamètre nominal moyen est de 200mm auquel s'ajoute 200mm d'isolation au maximum :



FIGURE 4: ILLUSTRATION DE CANALISATIONS D'UN RESEAU DE CHALEUR

Dans la plupart des réseaux, les conduites sont doubles, pour un aller et un retour d'eau. La température de l'eau descend de 110°C à 50°C au retour dans les réseaux basse pression, et de 160°C à 80°C dans les réseaux haute pression.

Dans les zones en cours d'aménagement comme c'est le cas pour le projet InterRives, le coût d'installation des conduites peut descendre à 400 € HT/mètre linéaire.

Les sous-stations abritent des échangeurs en pied d'immeubles (de préférence au sous-sol) qui transmettent la chaleur du réseau principal au réseau interne des bâtiments. Leur coût dépend de la puissance délivrée. Ils occupent un petit espace (au minimum 15m² pour une hauteur de 3,5m) :

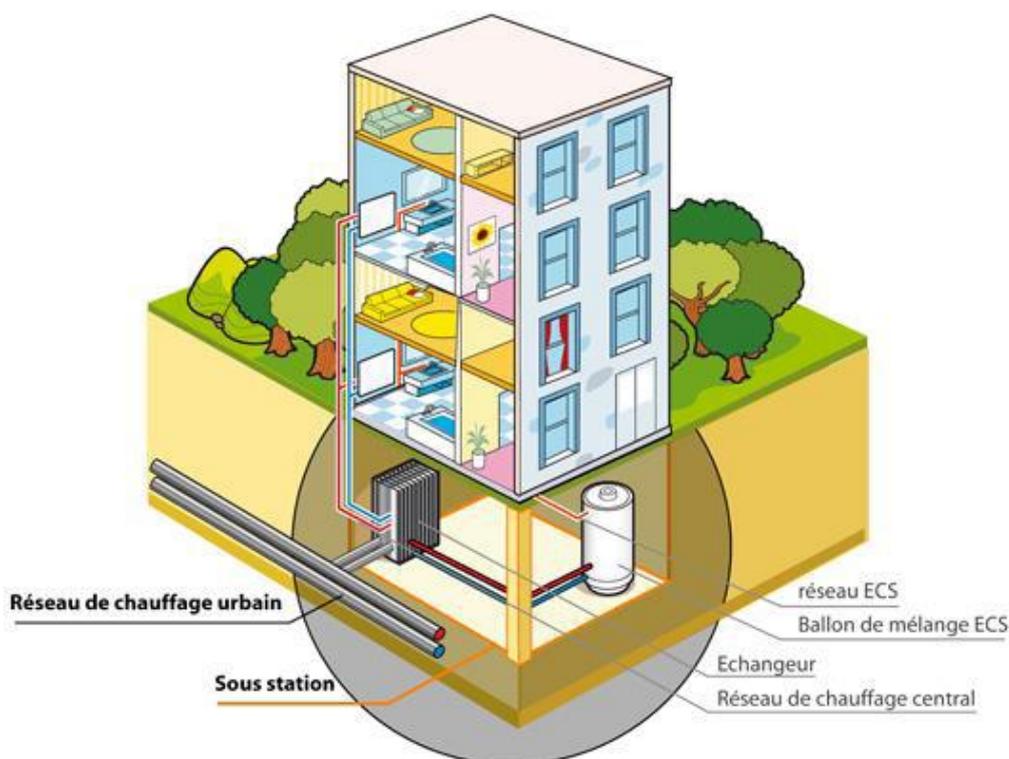


FIGURE 5: SCHEMA D'UNE SOUS-STATION

Il existe deux réseaux de chaleur à proximité du projet InterRives qui peuvent être raccordés :

- Le réseau de chaleur situé sur la partie centre et nord de la ville d'Orléans, géré et exploité jusqu'en 2034 par la Société Orléanaise de Distribution de Chaleur (SODC), filiale de Cofely-ENGIE ;
- Le réseau de chaleur situé sur la partie sur la ville de Fleury-les-Aubrais, géré et exploité jusqu'en 2025 par la Société Fleury Chauffage (SOFLEC), filiale de Dalkia-EDF.

3.1. Extension du réseau de chaleur de la SODC

La première variante de ce scénario correspond à l'extension du réseau de chaleur de la SODC pour couvrir la totalité des besoins de chauffage du projet sur les phases 1 et 2. Afin d'assurer les besoins des différents bâtiments les solutions d'approvisionnement retenues sont les suivantes :

Type	Chauffage	ECS	Froid
Habitat collectif	Réseau de chaleur SODC		-
Tertiaire			
Commerce			
Crèche			
Restauration			
Hôtellerie	Réseau de chaleur SODC	50% solaire thermique 50% réseau de chaleur SODC	Climatisation air/eau

TABLEAU 8: SYSTEMES TECHNIQUES DE LA PREMIERE VARIANTE DU SCENARIO 1

Pour l'habitat collectif, les bureaux, les commerces, la crèche, le RIE et l'hôtellerie, le réseau de chaleur a été retenu comme système technique pertinent pour répondre aux besoins de chaleur de façon renouvelable, contribuant ainsi à l'atteinte des objectifs fixés par la loi de transition énergétique.

La moitié de l'ECS nécessaire pour l'hôtellerie sera produite par des capteurs solaires thermiques (plans). La production d'ECS par capteurs solaires thermiques présente en effet un fort intérêt pour l'hôtellerie, en termes d'image et d'économie d'énergie réalisée.

Un chauffe-eau solaire individuel fonctionne grâce à l'énergie récupérée par les panneaux solaires. L'énergie captée est absorbée par un fluide caloporteur qui restitue la chaleur dans le ballon d'eau chaude. Le ballon stocke l'eau chaude pour la restituer en fonction de l'utilisation :



FIGURE 6: SCHEMAS DE FONCTIONNEMENT D'UN CAPTEUR ET D'UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE

Les besoins de froid de l'ensemble du projet seront couverts par l'installation de climatiseurs air/eau froid. Contrairement aux PAC réversibles, les climatiseurs air/eau ne produisent que du froid. L'air chaud ambiant est puisé et refroidi dans l'évaporateur, au contact du fluide rendu gazeux, avant d'être rediffusé dans la pièce :



FIGURE 7: SCHEMA ET ILLUSTRATION D'UNE CLIMATISATION AIR/EAU

Dimensionnement des installations

Le réseau de chaleur passe à proximité directe de la zone prévue pour le projet, notamment de la phase 1 et une partie de la phase 2 :



FIGURE 6 : RESEAU DE CHALEUR DE LA SODC ET PROJET INTERRIVES

Légende	
	Réseau de chaleur existant
	Réseau de chaleur projeté
	Limites administratives
	Emplacement sous-station

Le réseau a été dimensionné en fonction des besoins en termes de puissance appelés par le projet InterRives. Cela représente une extension de 2 990m de réseau principal.

Les capteurs solaires (plans) couvriront 446m² de toiture pour fournir 50% des besoins en ECS pour l'hôtellerie

Dix climatiseurs air/eau seront installés à l'échelle des îlots de bureaux, de commerces et d'hôtellerie. La puissance de chaque climatiseur sera d'environ 220kW.

Bilan financier et environnemental

Les coûts de cette variante sont détaillés dans ces tableaux :

Matériel	Investissement (€ HT)
Réseau de chaleur	1 196 000 €
Sous-stations et échangeur thermique	81 774 €
Raccordement des îlots	336 000 €
Capteurs thermiques (plans)	490 600 €
Climatiseur air/eau froid	906 200 €

TABLEAU 9 : COUT DES SYSTEMES TECHNIQUES DE LA PREMIERE VARIANTE DU SCENARIO 1

Les investissements liés à la création du réseau de chaleur sont lissés et financés sous forme de prêt bancaire sur les trente années d'opération³, l'investissement étant alors porté par l'opérateur dans le cadre d'une délégation de service public. Le coût d'investissement sera supporté par la SODC ainsi que par les promoteurs dans le cadre de leur demande de raccordement.

Les capteurs thermiques sont directement financés par l'hôtel, les climatiseurs étant financés par les promoteurs.

Bilan économique	
Investissement total (€ HT)	3 010 574 €
Subventions (€ HT)	171 710 €
Investissement non subventionné (€ HT/an)	3 010 574 €
Coût de la chaleur moyen sur 30 ans (HT/MWh)	115 €
Coût du froid moyen sur 30 ans (HT/MWh)	372 €
Efficacité financière	
Taux de retour sur investissement sur 30 ans (en années)	10

TABLEAU 10: BILAN FINANCIER DE LA PREMIERE VARIANTE DU SCENARIO 1

³ Pour les scénarios avec investissement sous forme de DSP, les investissements sont intégrés à l'année de mise en place puis les intérêts répartis annuellement sur 30 ans, les graphiques présentent la dépense annuelle liée au remboursement des intérêts, l'investissement ayant été cumulé à l'année 1.

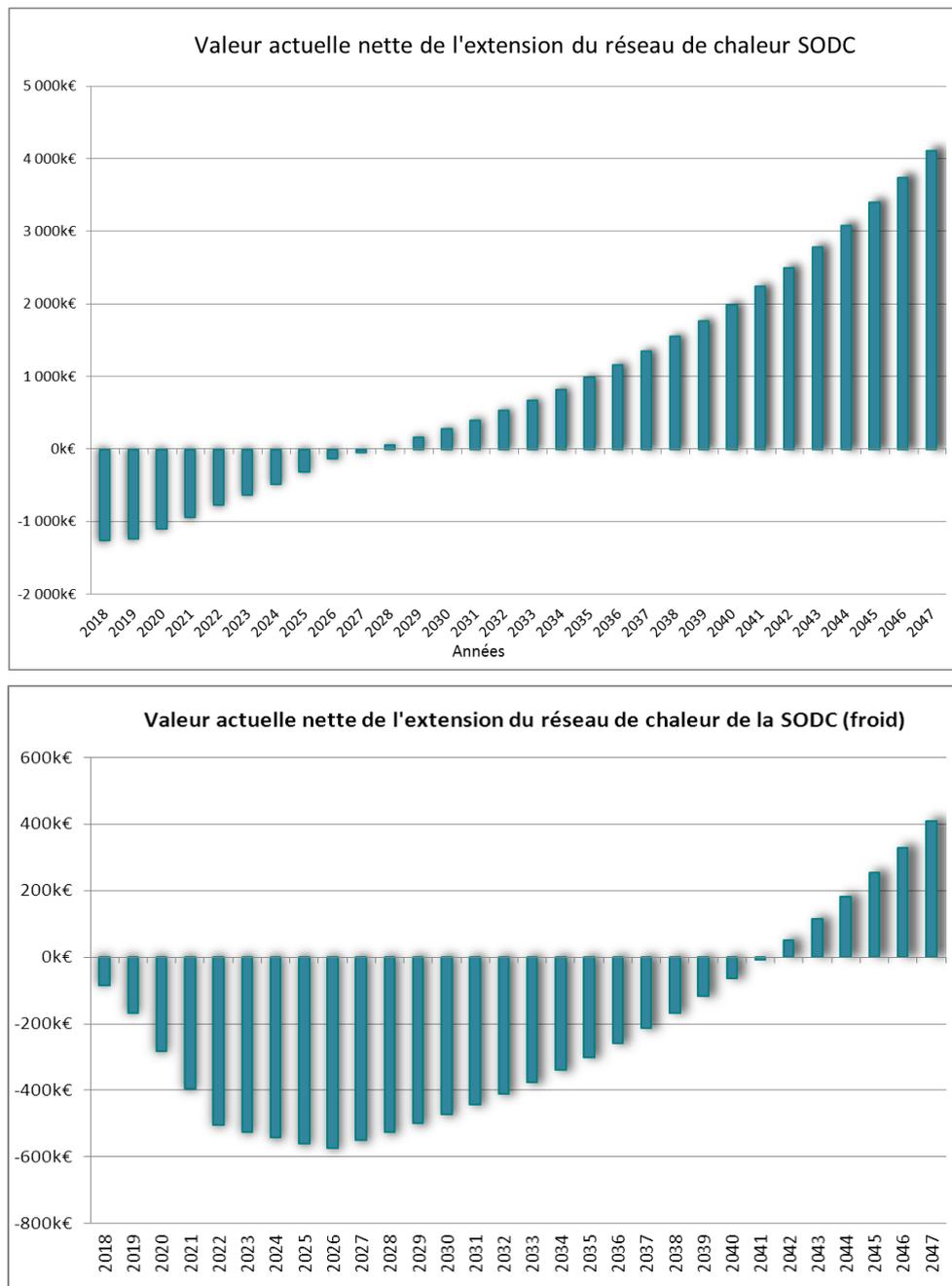


FIGURE 8 ET 8 BIS: ÉVOLUTION DE LA VALEUR ACTUELLE NETTE DE LA PREMIERE VARIANTE DU SCENARIO 1

La valeur actuelle nette (VAN), représentée ci-dessus, permet d'estimer le gain financier du scénario (par rapport au scénario de référence) à une année donnée. Le point de gain nul correspond au temps de retour sur investissement.

Le Fonds Chaleur de l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est une aide permettant de limiter le surcoût lié à l'investissement dans des systèmes en énergies renouvelables plus coûteux que le scénario de référence.

Il n'est toutefois pas mobilisable pour l'extension du réseau de chaleur de la SODC car les rendements ne sont pas atteints (le rendement en été est très faible car les besoins thermiques sont inexistants).

Les impacts environnementaux liés à l'approvisionnement énergétique selon la première variante du scénario EnR 1 sont les suivants :

Bilan environnemental	Chaud	Froid
Consommation d'énergie primaire (MWHep/an)	2 370	1 761
Consommation d'énergie finale (MWHep/an)	5 673	559
Part d'EnR sur le bilan global	80%	57%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	47%	158%
Émissions de CO2 (t/an)	229	101
Émissions de SO2 (t/an)	7	0,5
Émissions de NOx (t/an)	12	0,3
Déchets nucléaires faibles émis (kg/an)	0	28
Déchets nucléaires forts émis (kg/an)	0	6

TABLEAU 11: BILAN FINANCIER DE LA PREMIERE VARIANTE DU SCENARIO 1

La présentation des résultats du scénario froid étant identique pour les scénarios suivants, elle n'est pas systématiquement représentée.

Plusieurs éléments sont à noter :

- Le retour sur investissement de ce scénario est de 10 ans. Cela s'explique par le coût relativement peu élevé des investissements à réaliser (la chaufferie biomasse est notamment déjà construite) et le faible coût du mètre linéaire étant donné que la zone du projet sera réaménagée ;
- Les émissions de CO2 sont faibles contrairement aux émissions en NOx et en SO2 du fait de l'utilisation de la ressource bois ;
- Le ratio de consommation des ressources est peu élevé concernant la production du chaud, contrairement à la production de froid du fait du taux très élevé de la ressource bois dans le réseau de chaleur SODC.

3.2. Extension du réseau de chaleur de la SOFLEC

La deuxième variante de ce scénario correspond à l'extension du réseau de chaleur de la SOFLEC pour couvrir la totalité des besoins de chauffage du projet sur les phases 1 et 2. Elle est composée de plusieurs systèmes techniques installés en fonction des besoins :

Type	Chauffage	ECS	Froid
Habitat collectif	Réseau de chaleur SOFLEC		-
Tertiaire			Climatisation air/eau
Commerce			
Crèche			
Restauration			
Hôtellerie	Réseau de chaleur SOFLEC	50% solaire thermique 50% réseau de chaleur SOFLEC	

TABLEAU 12: SYSTEMES TECHNIQUES DE LA DEUXIEME VARIANTE DU SCENARIO 1

Le réseau de chaleur couvrira les besoins en chauffage et en ECS de l'habitat collectif, des bureaux, des commerces, de la crèche, du RIE et de l'hôtellerie.

La moitié de l'ECS nécessaire pour l'hôtellerie sera produite par des capteurs solaires thermiques (plans).

Les besoins de froid de l'ensemble du projet seront couvertes par l'installation de climatiseurs air/eau froid.

Dimensionnement

Le réseau a été dimensionné en fonction des besoins en termes de puissance appelés par le projet InterRives.

Pour cela, il faut que la SOFLEC étende son réseau en Diamètre Nominal 200mm depuis :

- soit le réseau en DN 250 au niveau de l'avenue Abbé Pasty;
- soit le réseau en DN 250 à partir de l'avenue Paul Bert
- soit le réseau en DN 400 boulevard Lamballe (un peu plus éloigné du projet InterRives).

Un exemple de tracé est présenté ci-dessous :

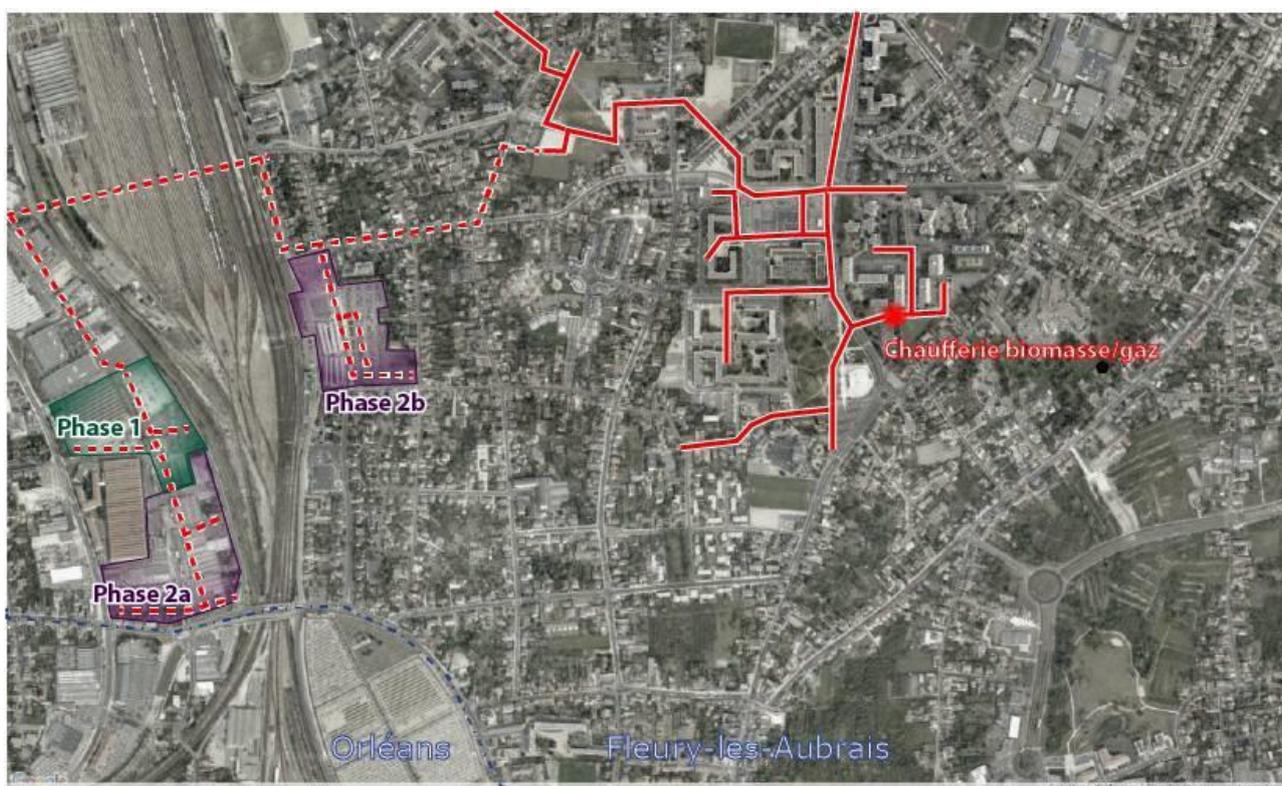


FIGURE 9 : RESEAU DE CHALEUR SOFLEC ET PROJET INTERRIVES

Ce tracé représente une extension de 4000 ml de réseau principal. Le réseau pourra produire l'énergie dont la zone a besoin en restant dans les critères d'obtention du 50% de taux de couverture en EnR.

La moitié de l'ECS nécessaire pour l'hôtellerie sera produite par des capteurs solaires thermiques (plans) qui couvriront 446m² de toiture.

10 climatiseurs air/eau seront installés à l'échelle des îlots de bureaux, de commerces et d'hôtellerie. La puissance de chaque climatiseur sera d'environ 220kW.

Bilan financier et environnemental

Les coûts de cette variante sont détaillés dans ces tableaux :

Matériel	Investissement (€ HT)
Réseau de chaleur	1 603 200 €
Sous-station et échangeur thermique	109 076 €
Raccordement des îlots	336 000 €
Capteurs thermiques (plans)	490 600 €
PAC air/eau froid réversible	906 200 €

TABLEAU 13: COUT DES SYSTEMES TECHNIQUES DE LA DEUXIEME VARIANTE DU SCENARIO 1

Bilan économique	
Investissement total (€ HT)	3 445 076 €
Subventions (€ HT)	685 393 €
Investissement non subventionné (€ HT)	2 759 683 €
Coût de la chaleur moyen sur 30 ans (HT/MWh)	106 €
Coût du froid moyen sur 30 ans (HT/MWh)	372 €
Efficacité financière	
Taux de retour sur investissement sur 30 ans (en années)	8

TABLEAU 14: BILAN FINANCIER DE LA DEUXIEME VARIANTE DU SCENARIO 1

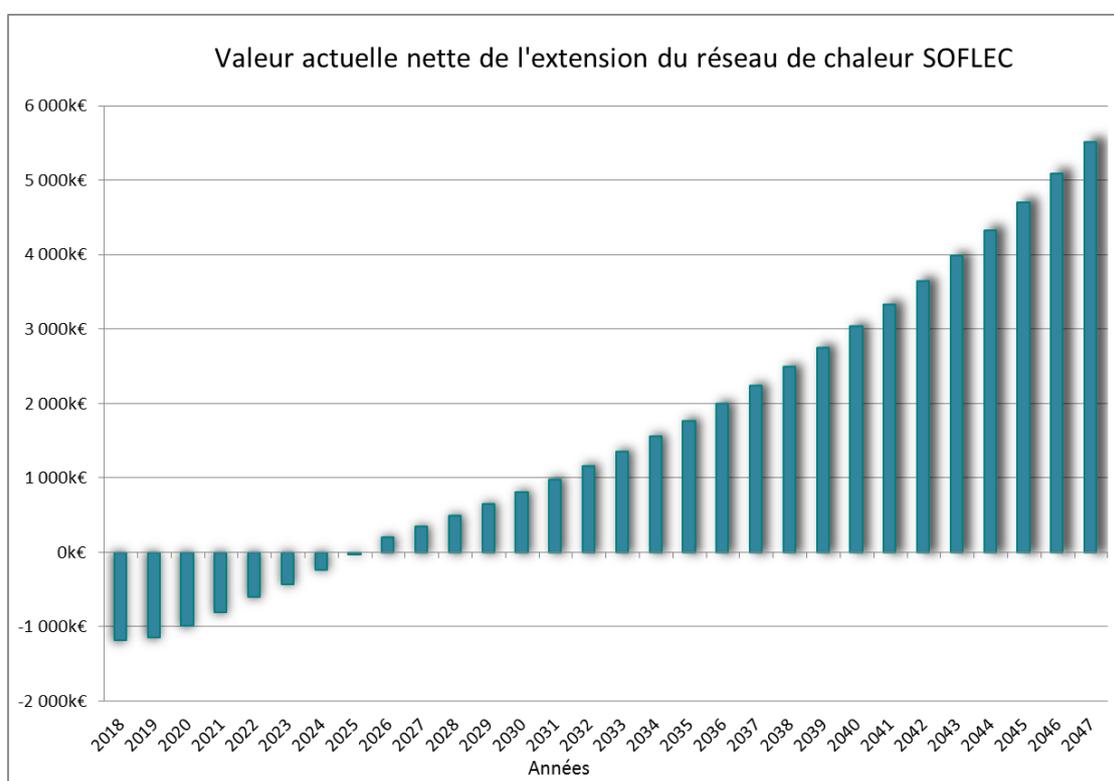


FIGURE 10 : ÉVOLUTION DE LA VALEUR ACTUELLE NETTE DE LA DEUXIEME VARIANTE DU SCENARIO 1

Le Fonds de Chaleur de l'ADEME pourrait être mobilisable sur ce projet. En effet, même si le taux d'EnR chutera en raison des nouveaux bâtiments à raccorder, le taux actuel de la chaufferie biomasse n'est pas à son maximum de capacité. Toutefois, la faible puissance en bois de la chaufferie (25,7MW de gaz et 4,3MW de bois) incite à établir une contractualisation avec la SOFLEC pour s'assurer que le taux d'EnR ne baissera pas en dessous de 50% de façon à conserver une TVA réduite.

D'après l'appel à candidature « Chaleur renouvelable en région Centre-Val de Loire 2016 » lancée par la Région Centre et l'ADEME, le taux d'aide pour une extension de réseau de chaleur est estimé à 30% du coût d'investissement.

Le coût d'investissement sera supporté par la SOFLEC ainsi que par les promoteurs dans le cadre de leur demande de raccordement. Les équipements spécifiques seront portés par les opérateurs.

Ce tableau met en évidence les différents impacts liés à l'approvisionnement énergétique selon la deuxième variante du scénario 1 :

Bilan environnemental	Chaud
Consommation d'énergie primaire (MWHep/an)	3 452
Consommation d'énergie finale (MWHep/an)	5 673
Part d'EnR sur le bilan global	54%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	68%
Émissions de CO2 (t/an)	509
Émissions de SO2 (t/an)	1
Émissions de NOx (t/an)	13
Déchets nucléaires faibles émis (kg/an)	0
Déchets nucléaires forts émis (kg/an)	0

TABLEAU 15: BILAN ENVIRONNEMENTAL DE LA DEUXIEME VARIANTE DU SCENARIO 1

En conclusion, plusieurs éléments peuvent être observés :

- Le retour sur investissement est positif dès huit ans pour les mêmes raisons que pour l'extension du réseau de chaleur de la SODC. Comparé à ce dernier, il est d'un an plus tôt grâce aux subventions du Fonds Chaleur ;
- Les émissions de CO2 tout comme le ratio de consommation des ressources sont relativement élevées étant donné le taux d'énergie renouvelable de la chaufferie qui est relativement faible. Les émissions de SO2 et de NOX sont élevées.

3.3. Extension du réseau de chaleur de la SODC et de la SOFLEC

La troisième variante de ce scénario correspond à l'extension du réseau de chaleur de la SODC pour couvrir les besoins énergétiques du projet pour la phase 1 et 2a et l'extension du réseau de chaleur de la SOFLEC pour couvrir les besoins énergétiques du projet pour la phase 2b, d'une part et d'autre de la voie ferrée. Cette variante se compose de plusieurs systèmes techniques :

Type	Chauffage	ECS	Froid
Habitat collectif	Réseau de chaleur SODC/SOFLEC		-
Tertiaire			Climatisation air/eau
Commerce			
Crèche			
Restauration			
Hôtellerie	Réseau de chaleur SODC/SOFLEC	50% solaire thermique 50% réseau de chaleur SODC/SOFLEC	

TABLEAU 16: SYSTEMES TECHNIQUES DE LA TROISIEME VARIANTE DU SCENARIO 1

Le réseau de chaleur couvrira les besoins en chauffage et en ECS de l'habitat collectif, des bureaux, des commerces, de la crèche, du RIE et de l'hôtellerie.

La moitié de l'ECS nécessaire pour l'hôtellerie sera produite par des capteurs solaires thermiques (plans).

Les besoins de froid de l'ensemble du projet seront couverts par l'installation de climatiseurs air/eau froid.

Dimensionnement

Un exemple de tracé est présenté ci-dessous :

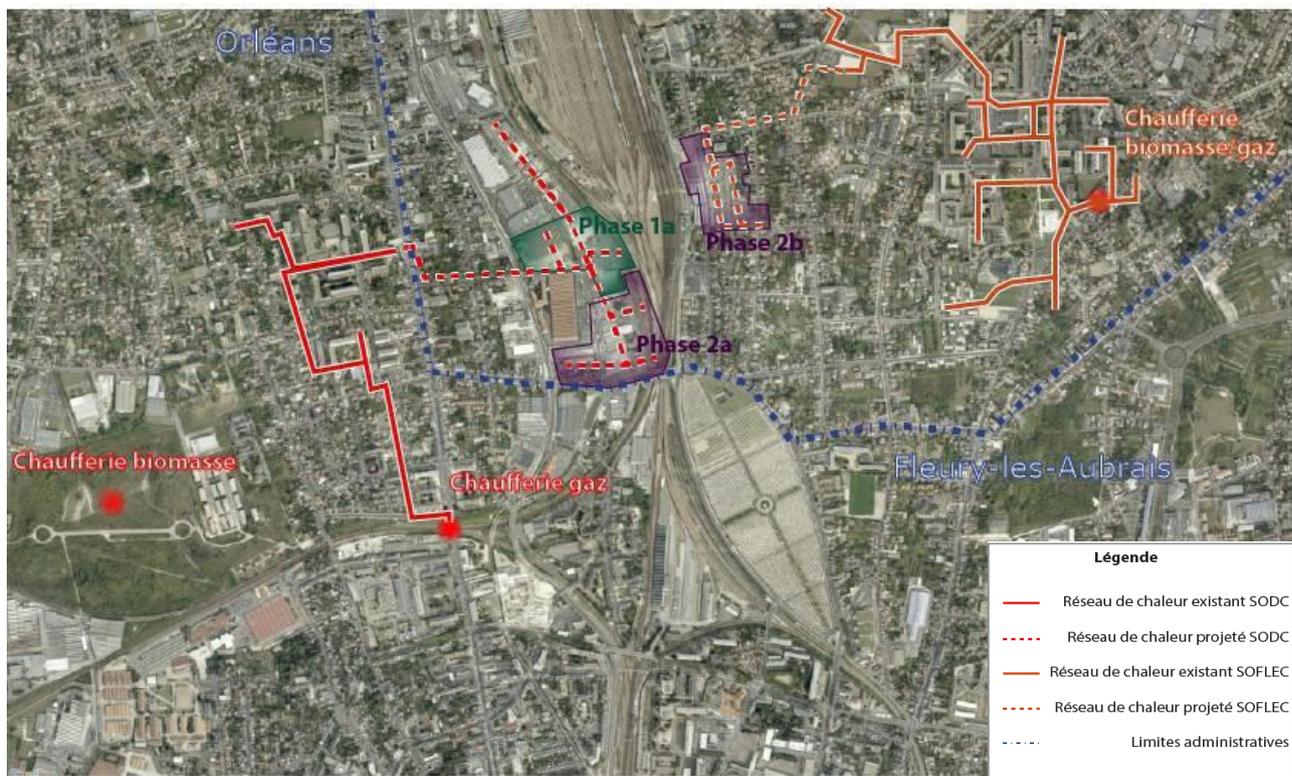


FIGURE 11: SCHEMA D'EXTENSION DU RESEAU SODC ET SOFLEC AU SEIN DU PROJET INTERRIVES

Le réseau a été dimensionné en fonction des besoins en termes de puissance appelés par le projet InterRives. Cela représente une extension de 1 675ml de réseau principal pour la SODC et 1 024ml pour la SOFLEC.

10 climatiseurs air/eau seront installés à l'échelle des îlots de bureaux, de commerces et d'hôtellerie. La puissance de chaque climatiseur sera d'environ 220kW.

Bilan financier et environnemental

Les coûts de cette variante sont détaillés dans ces tableaux :

Matériel	Investissement (€ HT)
Réseau de chaleur	1 079 600 €
Sous-station et échangeur thermique	85 030 €
Raccordement de l'échangeur à l'îlot	361 200 €
Capteurs thermiques (plans)	490 600 €
PAC air/eau froid réversible	906 200 €

TABLEAU 17: COUT DES SYSTEMES TECHNIQUES DE LA TROISIEME VARIANTE DU SCENARIO 1

Bilan économique	
Investissement total (€ HT)	2 922 630 €
Subventions (€)	298 814 €
Investissement non subventionné (€ HT)	2 623 816 €
Coût de la chaleur moyen sur 30 ans (HT/MWh)	114 €
Coût du froid moyen sur 30 ans (HT/MWh)	372 €
Efficacité financière	
Taux de retour sur investissement sur 30 ans (en années)	8

TABLEAU 18: BILAN FINANCIER DE LA TROISIEME VARIANTE DU SCENARIO 1

Cette alternative est la plus crédible techniquement, chaque opérateur restant dans une zone séparée par la ligne RFF.

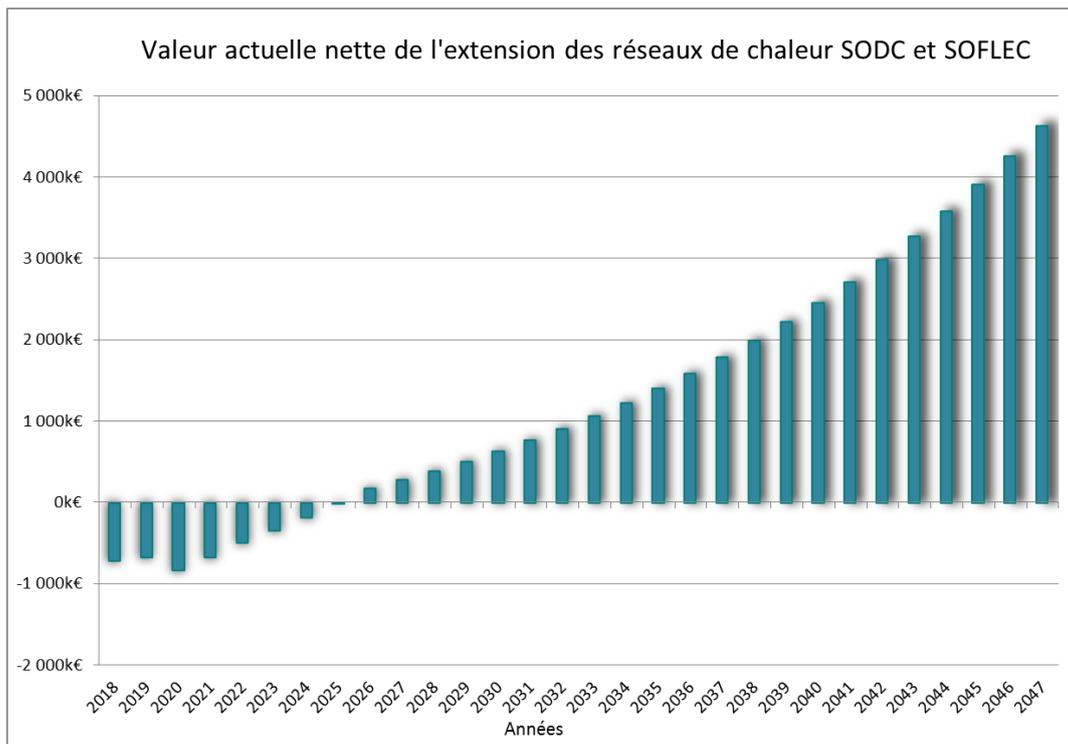


FIGURE 12 : ÉVOLUTION DE LA VALEUR ACTUELLE NETTE DE LA TROISIEME VARIANTE DU SCENARIO 1

Concernant l'extension du réseau de chaleur de la SOFLEC, il est possible d'obtenir les subventions du Fonds de Chaleur de l'ADEME. Le montant de cette subvention peut atteindre jusqu'à 30% du coût d'investissement.

Le coût d'investissement sera supporté par la SODC et la SOFLEC ainsi que par les promoteurs dans le cadre de leur demande de raccordement.

Les impacts environnementaux liés à l'approvisionnement énergétique selon la troisième variante du scénario 1 sont les suivants :

Bilan environnemental	Chaud
Consommation d'énergie primaire (MWHep/an)	2 513
Consommation d'énergie finale (MWHep/an)	5 673
Part d'EnR sur le bilan global	76%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	50%
Émissions de CO2 (t/an)	266
Émissions de SO2 (t/an)	6
Émissions de NOx (t/an)	12
Déchets nucléaires faibles émis (kg/an)	0
Déchets nucléaires forts émis (kg/an)	0

TABLEAU 19: BILAN ENVIRONNEMENTAL DE LA TROISIEME VARIANTE DU SCENARIO 1

De façon synthétique, plusieurs éléments peuvent être notés :

- Le retour sur investissement est positif dès huit ans pour les mêmes raisons que pour l'extension du réseau de chaleur de la SODC et de la SOFLEC. Cette variante est la plus rationnelle économiquement étant donné qu'aucun réseau ne traverse la voie ferrée ce qui réduit le nombre de mètres linéaires de réseau.
- Les émissions de CO₂ sont relativement faibles contrairement aux émissions de SO₂ et de NO_x. Le ratio des consommations des ressources est moyen.

4. VARIANTE : LA PRODUCTION DE FROID A PARTIR D'UN RESEAU DE CHALEUR PAR L'ABSORPTION

Cette variante correspond à l'extension d'un des réseaux de chaleur pour couvrir la totalité des besoins de chauffage du projet sur les phases 1 et 2 avec l'ajout d'une machine à absorption à double effet pour fournir du froid. Plusieurs systèmes techniques ont été choisis en fonction des besoins :

Type	Chauffage	ECS	Froid
Habitat collectif	Réseau de chaleur + machine à absorption à double effet		
Tertiaire			
Commerce			
Crèche			
Restauration			
Hôtellerie			

TABLEAU 20: SYSTEMES TECHNIQUES DE LA VARIANTE

En été, la production de chaleur d'un réseau de chaleur n'est valorisée que pour la production d'ECS et d'électricité via un éventuel système de cogénération. Toutefois, l'été est aussi une période de forte consommation de froid pour climatiser les bâtiments. Il est ainsi possible de produire du froid à partir d'une source de chaleur grâce notamment aux machines à absorption. Ces machines utilisent un couple absorbant/fluide frigorigène par exemple composé de Bromure de lithium et d'eau.

Les machines à absorption ont deux avantages pour les services de distribution d'énergie calorifique :

- elles permettent de mettre en place une offre de fourniture de froid à partir d'un réseau de chaleur existant, sans nécessité de mise en œuvre d'un réseau de distribution spécifique,
- elles permettent la valorisation d'énergie thermique excédentaire et/ou fatale. Dans le cas du projet InterRives, elles peuvent permettre ainsi d'optimiser une installation de cogénération (à partir de moteur ou de turbine à gaz), qui devient ainsi une trigénération.

Il existe deux types de technologies de machines à absorption :

- Machines à simple effet fonctionnant avec de l'eau dont la température doit être comprise entre 70°C et 90°C. Le COP de ces machines est d'environ 70 % ;
- Machines à double effet fonctionnant avec de l'eau surchauffée dont la température minimale doit être de 150°C. Le COP de ces machines est d'environ 110 % ;

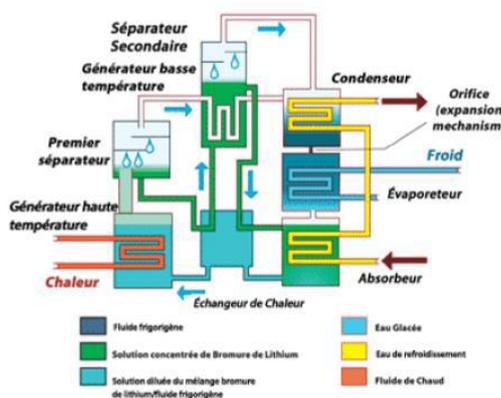


FIGURE 13: SCHEMA DE PRINCIPE DU FONCTIONNEMENT D'UNE MACHINE A ABSORPTION DOUBLE EFFET

L'avantage de ces solutions vis-à-vis des machines à compression (pompes à chaleur) traditionnelles est qu'elles permettent, dans le cadre de ce projet, d'utiliser une énergie renouvelable disponible localement et non valorisée en été particulièrement pour le cas de l'extension du réseau SODC.

Plusieurs réalisations de ce type de systèmes (communément appelés trigénération) existent en France. L'exemple de la centrale de trigénération mise en service à Montpellier (machine à simple effet de 11,1 MW) dans le quartier Port Marianne constitue une première en France. Récompensée par le label Ecocitè-ville pour son exemplarité, elle produit simultanément, à partir du bois régional, trois énergies (chaleur, froid et électricité) pour fournir les écoquartiers de Port Marianne qui à terme compteront 5 200 logements et 600 000m² de bureaux, commerces et équipements publics.

La chaleur produite par la centrale de cogénération est transportée jusqu'aux immeubles par un réseau de chaleur. Des postes de livraison dans les immeubles permettent ensuite la production du froid dans les immeubles grâce à des machines à absorption alimentée par le réseau de chaleur :

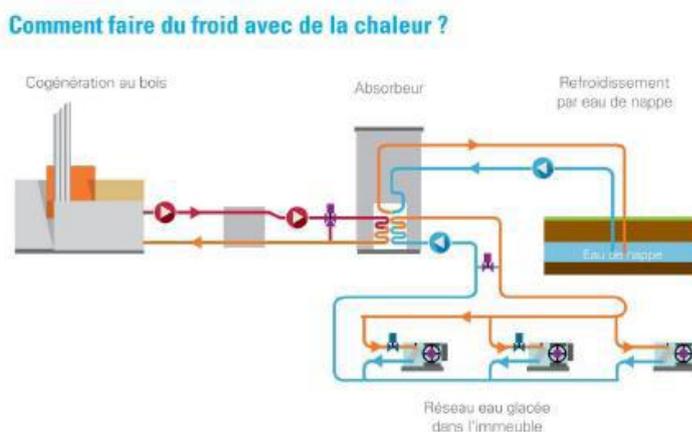


FIGURE 14: LA PRODUCTION DE FROID A PARTIR DE LA CHALEUR

Le coût de la centrale de trigénération de Montpellier a été de 15,88 M€ dont 31% financé par l'État. Le coût du réseau de distribution de chaleur et des sous-stations d'échange a été de 5,23 M€ dont 51% financé par l'ADEME.

Dans le cadre du projet InterRives, la demande en froid est majoritairement située sur la phase 1 du projet. Si la solution de production de chaud et de froid retenue était la connexion aux réseaux de chaleur, alors la production de froid à partir de la chaleur du réseau pourrait être mise en place à l'échelle de la partie centrale. Ainsi, sur ces îlots, le réseau de chaleur alimenterait en été le réseau d'eau glacée en énergie et assurerait la production de froid des bâtiments via des machines à absorption.

Cette solution permettrait d'augmenter fortement la densité énergétique du réseau de chaleur et donc sa pertinence en l'utilisant à la fois pour le chauffage et la climatisation.

Plusieurs facteurs rendent cette solution intéressante :

- Ressource en eau surchauffée disponible (et inutilisée) à partir de la centrale de cogénération biomasse SODC et SOFLEC ;
- Une solution compétitive vis-à-vis d'une solution « classique » à compression ;
- Une solution technique très innovante et efficace qui s'intègre dans le cadre de l'agenda 21 de la ville d'Orléans ainsi que dans son souhait d'être à la pointe dans le domaine des économies d'énergies.

5. SCENARIO 2 : GEOTHERMIE BASSE ENERGIE SUR DOGGER

Le deuxième scénario correspond à la solution géothermie basse énergie sur Dogger pour couvrir la totalité des besoins de chauffage du projet sur les phases 1 et 2. Afin d'assurer les besoins des différents bâtiments, les solutions d'approvisionnement retenues sont les suivantes :

Type	Chauffage	ECS	Froid
Habitat collectif	Géothermie sur Dogger avec réseau de chaleur + appoint gaz		-
Tertiaire			
Commerce			
Crèche			
Restauration			
Hôtellerie			
			Climatisation air/eau froid

TABLEAU 21: SYSTEMES TECHNIQUES DU DEUXIEME SCENARIO

La géothermie basse énergie couvrira les besoins en chauffage et en ECS de l'habitat collectif, des bureaux, des commerces, de la crèche, du RIE et de l'hôtellerie.

La géothermie basse énergie consiste à utiliser la chaleur de l'eau chaude contenue dans les aquifères (couches géologiques poreuses imprégnées d'eau) profonds. Le principe d'utilisation de cette filière géothermique est la réalisation d'un doublet de forages composé d'un puits producteur et d'un puits injecteur, et le passage d'un fluide par un échangeur de chaleur pour en récupérer les calories avant de le réinjecter dans la même formation géologique :

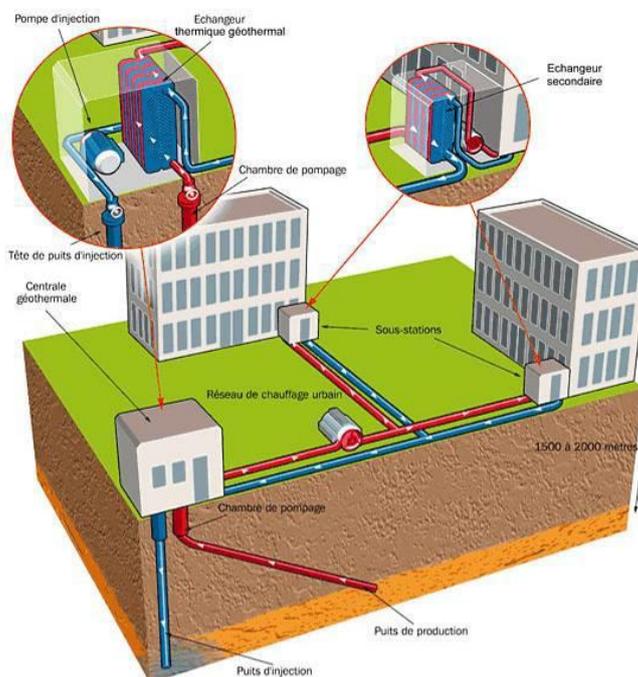


FIGURE 15: PRINCIPE DE LA GEOTHERMIE BASSE ENERGIE SUR DOGGER

Les besoins de froid de l'ensemble du projet seront couverts par l'installation de climatiseurs air/eau froid.

Dimensionnement

Dans le périmètre du projet InterRives et à 1100m de profondeur, il est possible de produire un fluide à 53°C environ et à un débit estimé à 75 m3/h en mode d'exploitation par pompage immergé. Par conséquent, si l'on extrait un ΔT de 30°C (différence de température entre la production et l'injection), il est possible de produire environ 2,6 MW de puissance thermique (chauffage + ECS) à distribuer sur le réseau. Cette puissance pourrait donc fournir l'énergie calorifique nécessaire aux phases 1 et 2 du projet et également à la phase 3 dont la programmation n'est pas définitivement établie actuellement.

Comme pour de nombreuses installations géothermiques comme celle d'Arcueil (94), cette centrale géothermique pourra être supplée par une chaudière d'appoint gaz à condensation. La puissance de cette chaudière serait pour les phases 1 et 2 de 2,3 MW.

La création d'un réseau de chaleur qui couvrirait les différentes phases du projet en traversant la voie ferrée sera nécessaire et sa longueur est estimée à 2 411 mètre linéaire.

10 climatiseurs air/eau seront installés à l'échelle des îlots de bureaux, de commerces et d'hôtellerie. La puissance de chaque climatiseur sera d'environ 205kW.

Bilan financier et environnemental

Les coûts de ces systèmes sont détaillés dans ces tableaux :

Matériel	Investissement (€ HT)
Doublet de forage sur Dogger	8 355 000 €
Raccordement des îlots	336 000 €
Réseau de chaleur	964 400 €
Chaudière gaz à condensation collective (600KW-5MW)	69 457 €
Climatisation air/eau froid	906 200 €

TABLEAU 22: COUT DES SYSTEMES TECHNIQUES DU SCENARIO 2

Bilan économique	
Investissement total (€ HT)	10 631 056 €
Subventions (€)	963 277 €
Investissement non subventionné (€ HT)	9 667 778 €
Coût de la chaleur moyen sur 30 ans (HT/MWh)	876 €
Coût du froid moyen sur 30 ans (HT/MWh)	372 €
Efficacité financière	
Taux de retour sur investissement sur 30 ans (en années)	> 30 ans

TABLEAU 23: BILAN FINANCIER DU SCENARIO 2

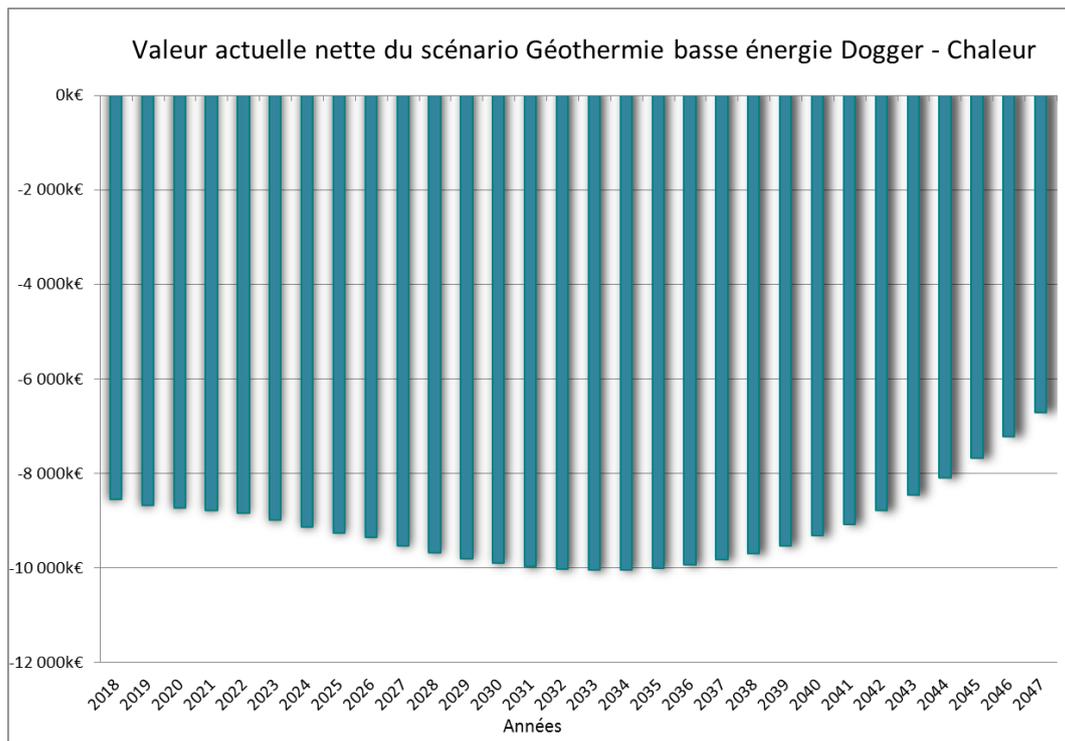


FIGURE 16 : ÉVOLUTION DE LA VALEUR ACTUELLE NETTE DU SCENARIO 2

Ce scénario est éligible aux Fonds Chaleur de l'ADEME. Cette aide se découpe en 2 parties, une pour le réseau de chaleur et l'autre pour le doublet de forage sur Dogger.

Les principaux critères d'éligibilité sont :

- Pour le réseau de chaleur :
 - o une densité énergétique du réseau d'au moins 1,5 MWh/ml,
 - o une production de chaleur d'au moins à 50 % issue d'EnR.
- Pour la géothermie basse énergie :
 - o La réalisation d'un doublet et la création d'un réseau de chaleur associé

Le montant de la subvention Fonds Chaleur pour le doublet de forage est calculé en fonction de la Tonne Équivalent Pétrole (TEP) en énergie renouvelable produite qui est de 396 pour ce scénario. L'aide du Fonds Chaleur est estimée à 7,6% du coût d'investissement du doublet et à 30% pour celui du réseau de chaleur.

À titre de comparaison en Ile-de-France :

- La réalisation en cours d'un doublet de forage sur Dogger à Bagnex (92) a représenté 20 millions d'euros d'investissement dont 14 millions admissibles au Fonds Chaleur. Pour une production de 6 600 tep, l'aide apportée par l'ADEME a été de 2 millions d'euros soit 10% du coût d'investissement subventionné;
- La réalisation en cours d'un doublet de forage sur Dogger à Rosny-sous-Bois (93) a représenté 19 millions d'euros d'investissement dont 12 millions admissibles au Fonds Chaleur. Pour une production de 4 300tep, l'aide apportée par l'ADEME a été de 2,1 millions d'euros soit 11% du coût d'investissement subventionné;
- La réalisation en cours d'un doublet de forage sur Dogger à Villepinte (93) a représenté 17 millions d'euros d'investissement dont 14 millions admissibles au Fonds Chaleur. Pour une production de 3 800tep, l'aide apportée par l'ADEME a été de 2,7 millions d'euros soit 16% du coût d'investissement subventionné.

Même si la phase 3 du projet InterRives permet de densifier le projet, le coût d'investissement initial du forage ne sera pas suffisamment financé par l'ADEME et ne pourra pas être absorbé par l'opération d'aménagement. La performance énergétique des bâtiments s'améliorant, une solution géothermique sur Dogger est donc difficilement envisageable pour ces densités.

Le gain environnemental par rapport au scénario de référence est présenté dans ce tableau :

Bilan environnemental	Chaud	Froid
Consommation d'énergie primaire (MWHep/an)	1 806	1 761
Consommation d'énergie finale (MWHep/an)	1 245	559
Part d'EnR sur le bilan global	88%	57%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	18%	158%
Émissions de CO2 (t/an)	280	101
Émissions de SO2 (t/an)	0	0
Émissions de NOx (t/an)	0	0
Déchets nucléaires faibles émis (kg/an)	11	28
Déchets nucléaires forts émis (kg/an)	2	6

En conclusion:

- Le retour sur investissement dépasse les 30 ans en raison du coût très élevé de l'investissement initial et du faible taux de subvention du Fonds Chaleur (8%)
- Les émissions de CO2 sont relativement faibles, mais légèrement plus élevées que les variantes du scénario 1. Les émissions en SO2 et en NOx sont inexistantes. La production de déchets nucléaire, bien que faible, est plus élevée en comparaison avec les variantes du scénario 1.

6. SCENARIO 3 : GEOTHERMIE TRES BASSE ENERGIE SUR AQUIFERE SUPERFICIEL

Le troisième scénario correspond à la solution géothermie très basse énergie sur la nappe de calcaire de Beauce pour couvrir la totalité des besoins de chauffage et de froid du projet sur les phases 1 et 2. Ce scénario est composé de plusieurs systèmes techniques installés en fonction des besoins :

Type	Chauffage	ECS	Froid
Habitat collectif	PAC réversible eau/eau sur nappe et réseau de chaleur + appoint secours gaz		-
Tertiaire			
Commerce			
Crèche			
Restauration			
Hôtellerie	PAC réversible eau/eau avec forage et réseau de chaleur + appoint gaz	50% solaire thermique 50% PAC réversible eau/eau avec forage et réseau de chaleur + appoint gaz	PAC réversible eau/eau sur nappe et boucle d'eau tempérée

TABLEAU 24: SYSTEMES TECHNIQUES DU SCENARIO 3

Cette solution utilise la ressource géothermique de la nappe superficielle des calcaires de Beauce. Une fois prélevée, l'eau de la nappe est réchauffée ou refroidie par les PAC réversibles eau/eau le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments.

Également appelé « petite boucle d'eau », cette solution nécessite un micro-réseau. Identique au réseau de chaleur classique mais à échelle réduite, il se destine notamment à couvrir les besoins d'éco-quartiers :

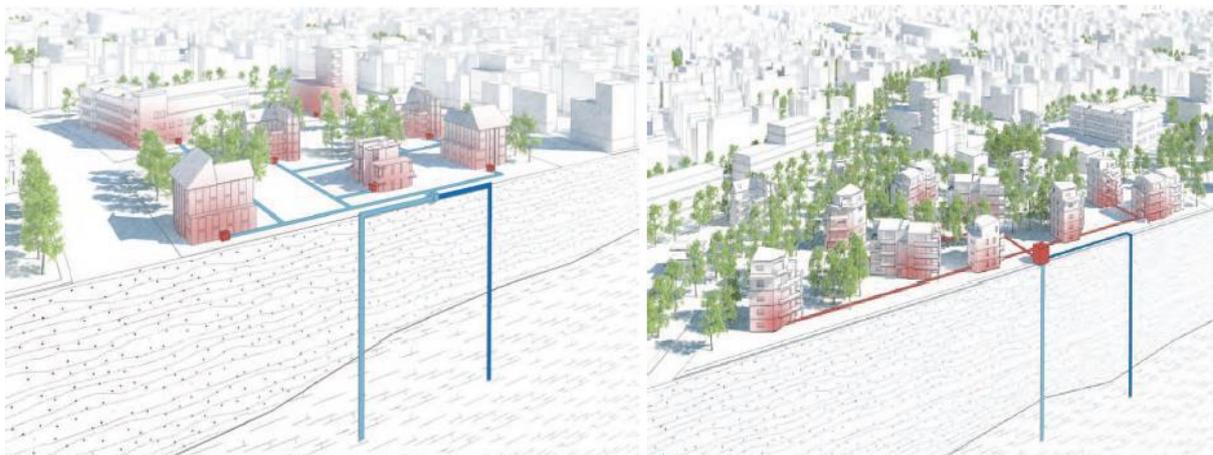


FIGURE 17: SCHEMA D'UNE BOUCLE D'EAU TEMPEREE

Cette solution possède de nombreux avantages :

- Elle permet de valoriser des ressources superficielles en utilisant des pompes à chaleur et ainsi d'éviter la multiplication de solutions individuelles ;
- Ce type de réseau apporte un exutoire possible pour les bâtiments à énergie positive (produisant plus d'énergie qu'ils n'en consomment), qui constitueront la norme à partir de 2020 ;
- Les coûts d'investissement sont peu élevés et s'échelonnent dans le temps, ce qui permet à cette solution d'être évolutive et de s'adapter aux différentes phases du projet.

Le schéma ci-dessous représente la délimitation précise entre la zone située dans la Nappe d'Approvisionnement en Eau Potable (NAEP) et la zone hors NAEP :

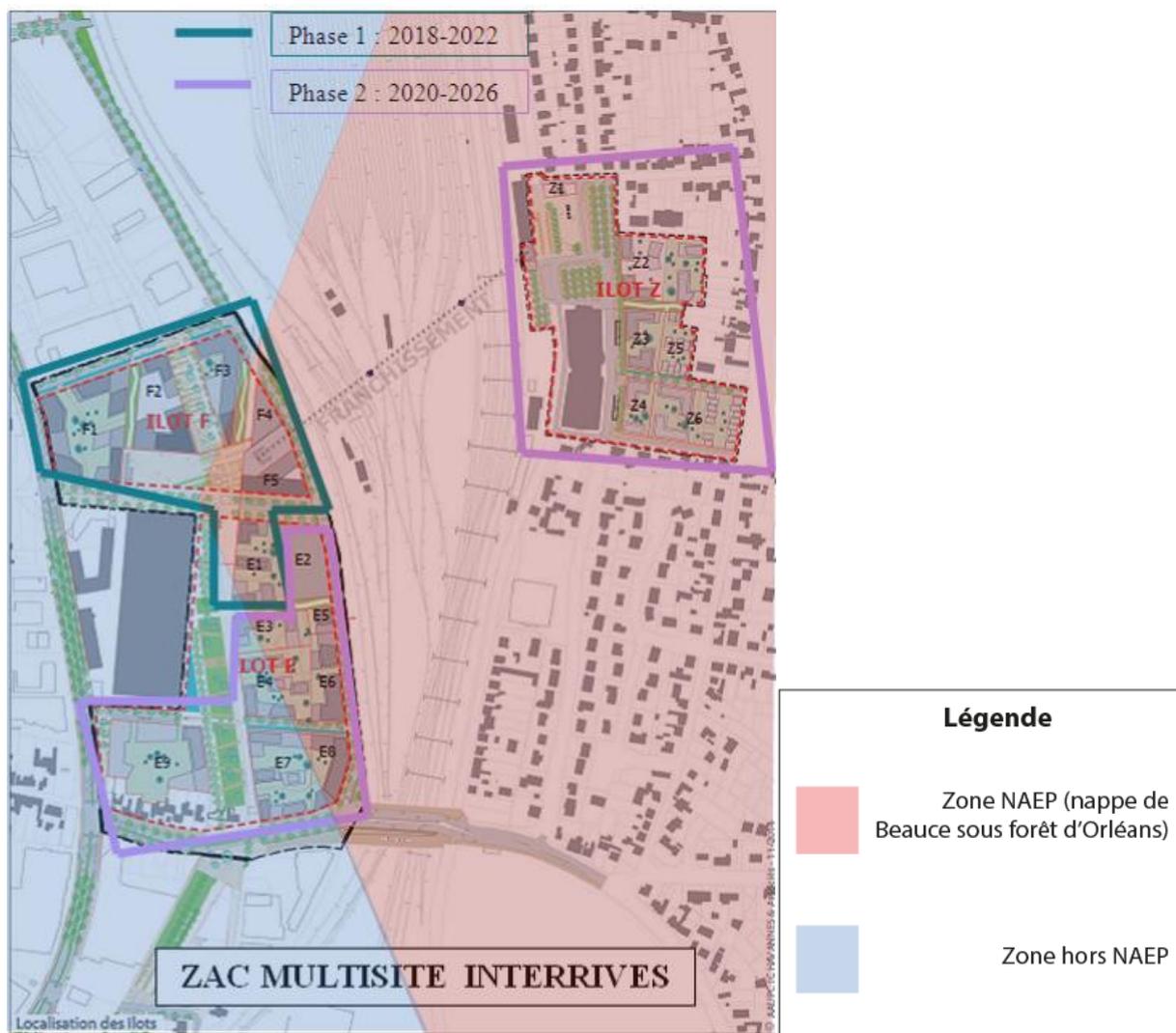


FIGURE 18: LOCALISATION DES NAEP AU SEIN DU PROJET INTERRIVES

Cette limite traversant les zones Est des phases 1 et 2 du projet, une solution peut être envisagée dans le cas d'une installation de géothermie très basse énergie. Elle consiste à réaliser des forages le plus à l'ouest possible de la ZAC et de faire relier les réseaux de chaleur très basse température depuis ces forages vers l'Est, en utilisant éventuellement le tunnel pour passer sous la voie ferré.

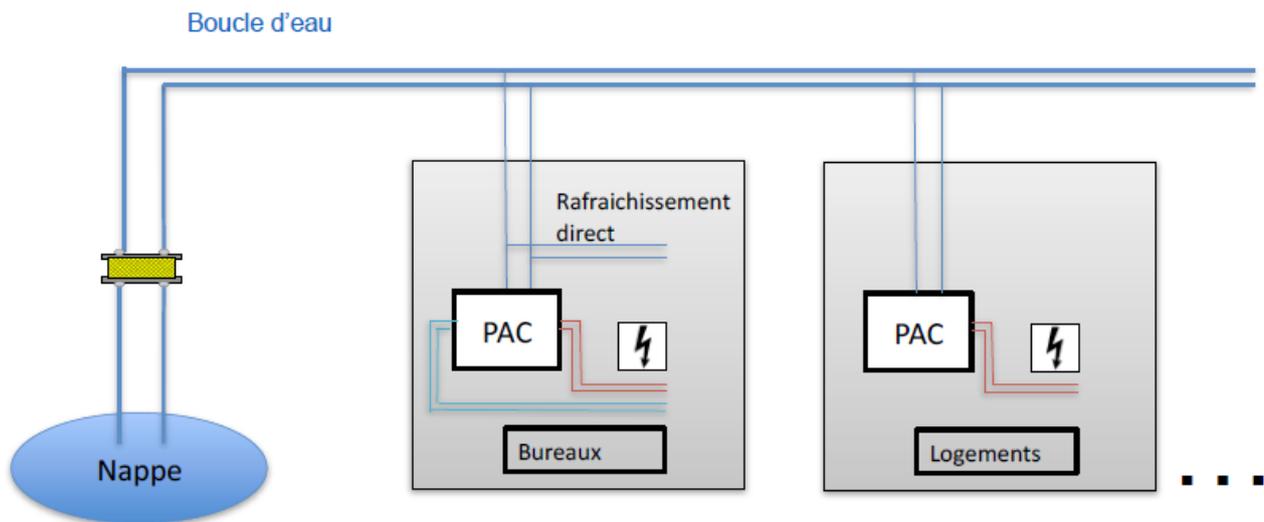
La base des calcaires de Beauce se situe à environ 72m de profondeur (6m de sables et argiles + 66m de calcaires de Beauce). Il est donc conseillé de ne pas dépasser cette profondeur.

Dimensionnement

Deux types de micro-réseau sont possibles :

- Le micro-réseau à production centralisée se caractérisant par une PAC unique alimentant l'ensemble des usages du réseau en chaud et en froid ;
- Le micro-réseau à production décentralisée où une boucle d'eau froide alimente plusieurs PAC dédiées à couvrir les besoins thermiques de différents bâtiments.

C'est vers cette deuxième configuration que le projet InterRives peut se tourner, en suivant l'exemple de l'opération de géothermie intermédiaire du quartier Fort Numérique à Issy-les-Moulineaux (92). Dans ce quartier, un réseau fermé à 28 °C dit « boucle d'eau tempérée » alimente une série de sous-stations équipées de PAC eau/eau installées au pied de chaque immeuble.



Des sous-stations équipées de machineries thermodynamiques de type PAC seront réparties le long des deux micro-réseaux qui seront mis en place, pour un total de 1 328 mètre linéaire :

- Le premier desservira la phase 1 et 2a du projet InterRives ;
- Le deuxième desservira la phase 2b du projet InterRives.

Quatre doublets de forages sont prévus (3 pour la phase 1 et 2a et 1 pour la phase 2b) ainsi que 10 PAC eau/eau réversibles pour alimenter les différents besoins en chaud et en froid. Ce scénario repose sur une ressource suffisamment disponible en nappes superficielles ce qui n'est pas garanti.

Quarante chaudières gaz collectives à condensation à 5kW seront installées pour servir d'appoint.

Bilan financier et environnemental :

Les coûts de ces systèmes sont les suivants :

Matériel	Investissement (€ HT)
PACs eau/eau réversible avec forages	848 800 €
Réseau de chaleur	796 800 €
Raccordement des îlots	315 420 €
Chaudière gaz à condensation collective appoint / secours (600KW-5MW)	238 760 €
Capteurs thermiques (plans)	462 000 €

TABLEAU 25: COUT DES SYSTEMES TECHNIQUES DU SCENARIO 3

Comme pour les scénarios précédents, ce scénario repose sur un financement par un opérateur avec participation des promoteurs pour le raccordement.

Bilan économique	
Investissement total (€ HT)	2 661 780 €
Subventions (€)	825 140 €
Investissement non subventionné (€ HT)	1 836 640 €
Coût de la chaleur moyen sur 30 ans (HT/MWh)	179 €
Coût du froid moyen sur 30 ans (HT/MWh)	389 €
Efficacité financière	
Taux de retour sur investissement sur 30 ans chaleur (en années)	4
Taux de retour sur investissement sur 30 ans froid (en années)	0

TABLEAU 26: BILAN FINANCIER DU SCENARIO 3

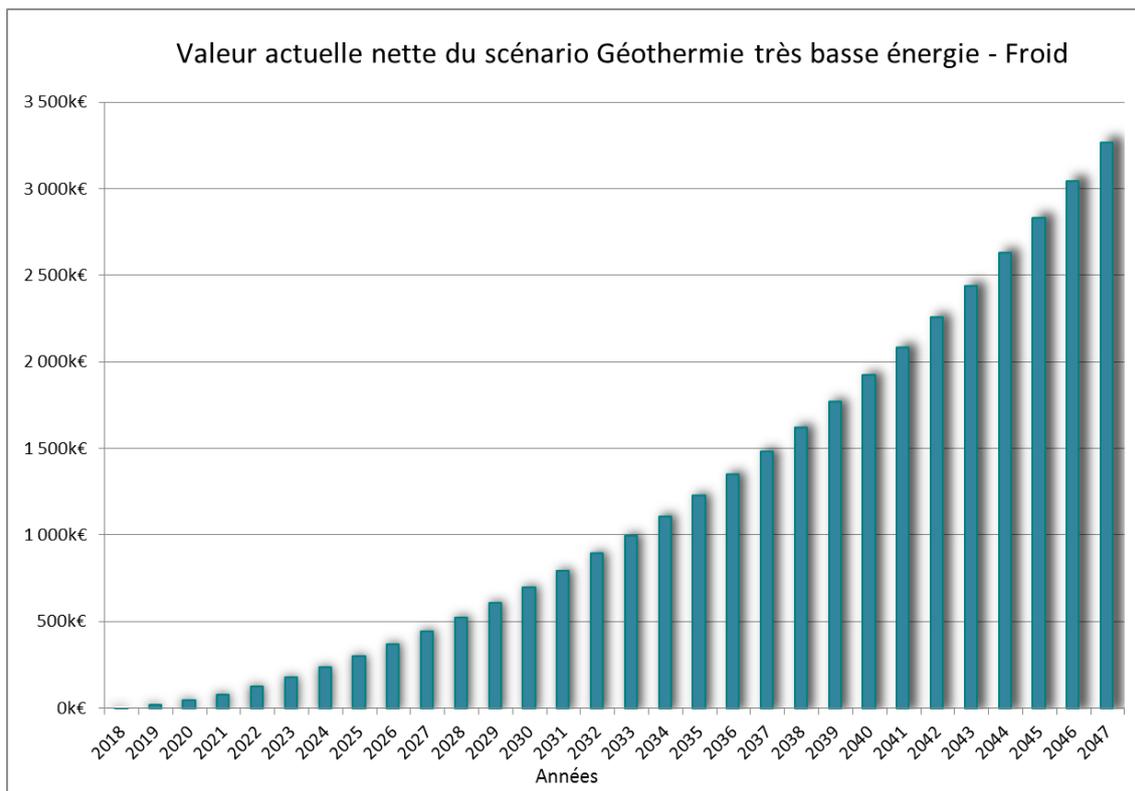
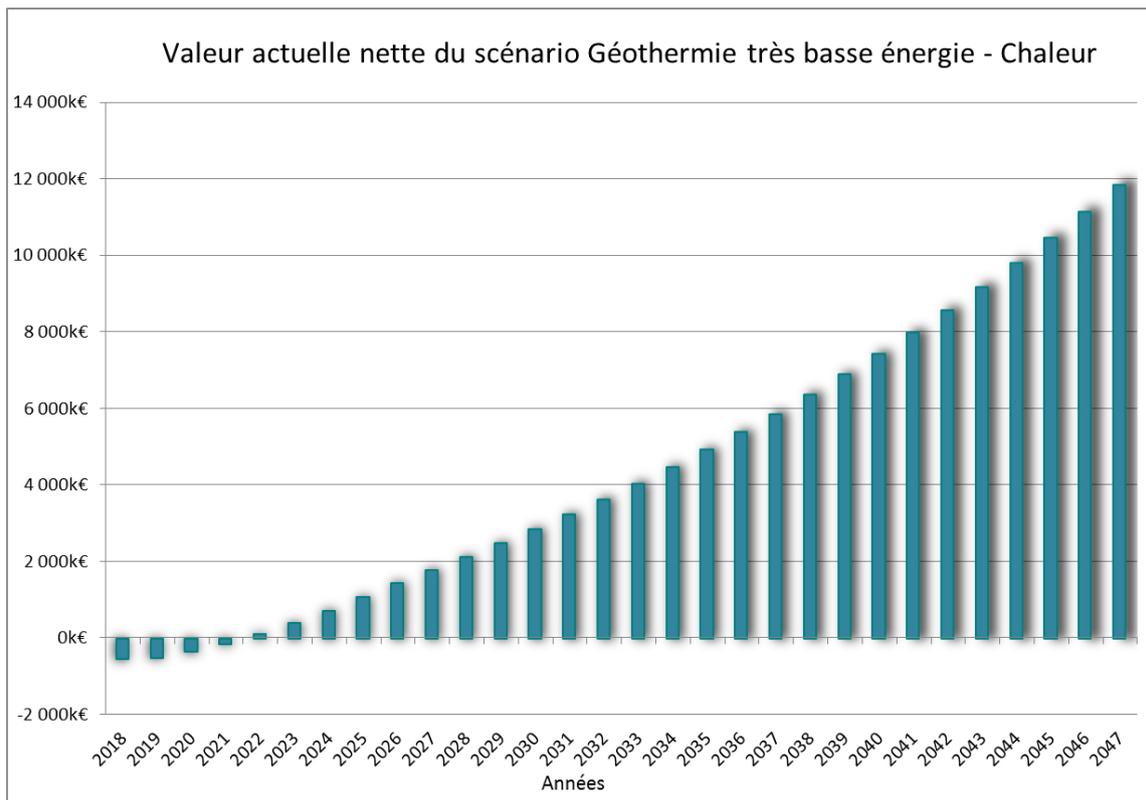


FIGURE 19 ET 21BIS : ÉVOLUTION DE LA VALEUR ACTUELLE NETTE DU TROISIEME SCENARIO

Ce scénario est éligible aux Fonds Chaleur de l'ADEME. En complément, la géothermie très basse énergie pourra obtenir une aide via « l'appel à projet Géothermie » qui mobilise des fonds européens. Le programme européen FEDER 2014-2020 en Région Centre-Val de Loire vise le développement d'installations de géothermie de type « démonstrateurs » ; à la fois vitrines technologiques et promoteurs actifs de la géothermie. Cela permettrait de financer en partie le matériel géothermique et la main d'œuvre associée ainsi que les outils de communication et de visites liés à ce type de projet.

En cumulant ces deux aides, il est possible de mobiliser des subventions à une hauteur comprise à environ 50% des coûts initiaux. Pour pouvoir maximiser les chances de remporter l'appel à projet, l'ADEME met l'accent sur plusieurs points :

- Les émetteurs fonctionneront à aussi basse température que possible ;
- Le « géocooling » (rafraîchissement passif) sera si besoin employé en période estivale ;
- Un soin particulier sera apporté à la régulation des PAC et de leurs auxiliaires afin de minimiser les consommations d'énergie et l'usure des matériels.

La mise en place d'un projet de géothermie très basse énergie permettrait ainsi de contribuer à l'atteinte de l'objectif du Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Énergie (SRCAE) concernant la chaleur produite par la géothermie à horizon 2023, qui est de 3 162 791 MWh sur le territoire régional Centre-Val de Loire.

Le coût d'investissement et de maintenance sera supporté par l'opérateur exploitant le réseau d'eau et les promoteurs pour le raccordement.

En plus du gain économique, le gain environnemental est lui aussi réel :

Bilan environnemental	Chaud	Froid
Consommation d'énergie primaire (MWh/an)	3 403	824
Consommation d'énergie finale (MWh/an)	2 230	261
Part d'EnR sur le bilan global	68%	80%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	67%	74%
Émissions de CO2 (t/an)	360	47
Émissions de SO2 (t/an)	1	0
Émissions de NOx (t/an)	1	0
Déchets nucléaires faibles émis (kg/an)	37	13
Déchets nucléaires forts émis (kg/an)	7	3

TABLEAU 27: BILAN ENVIRONNEMENTAL DU SCENARIO 3

En résumé :

- Le retour sur investissement est positif dès la quatrième année. Cela s'explique par les coûts d'investissement relativement faibles et modulables en fonction des besoins, ainsi que des subventions importantes dont peut bénéficier ce type d'opération.
- Les émissions de CO2 sont faibles mais comparativement plus élevées que les autres scénarios en énergies renouvelables (à l'exception de l'extension du réseau de chaleur de la SOFLEC). Les émissions de SO2 et de NOx sont très faibles mais la production de déchets nucléaires demeure élevée comparativement aux autres scénarios en énergies renouvelables (à cause de l'électricité importante qui est nécessaire). Le ratio de consommation des ressources est relativement élevé à cause de l'appoint gaz.
- La question de la puissance qu'il est possible d'obtenir via un doublet sur cette nappe superficielle est néanmoins toujours en suspens. Il est nécessaire qu'elle soit suffisante pour couvrir les besoins énergétiques du projet.

7. SYNTHÈSE

Le projet d'aménagement urbain InterRives présente un potentiel d'implantation des énergies renouvelables très intéressant par rapport aux besoins énergétiques estimés.

La présente étude permet d'avoir une première vision globale, technique et économique sur la stratégie énergétique du projet.

Un des indicateurs principaux pour mesurer le bilan environnemental des scénarios reste les émissions de CO₂. Le graphique suivant permet ainsi de comparer ces émissions en fonction des scénarios retenus :

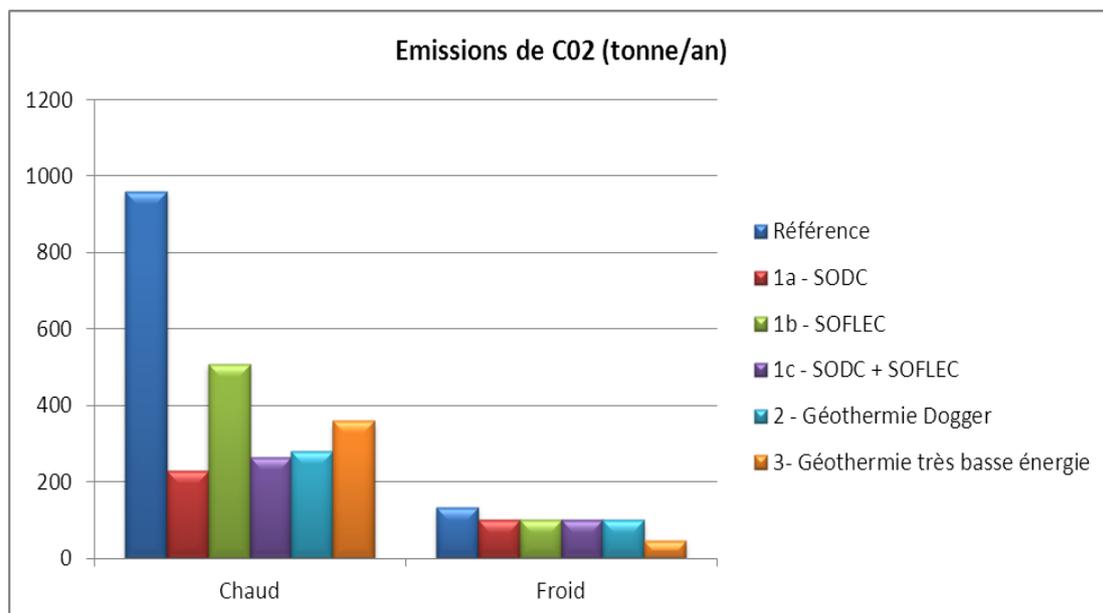


FIGURE 20: COMPARAISON DES SCENARIOS EN FONCTION DES EMISSIONS DE CO₂

Le scénario de référence est le plus émetteur de CO₂. Parmi les scénarios EnR, le résultat est relativement similaire à l'exception de l'extension du réseau de chaleur de la SOFLEC qui émet plus de CO₂ en raison des caractéristiques de la chaufferie qui fonctionne encore fortement au gaz.

Un autre indicateur pertinent est le « ratio de consommation de ressources ». Il représente le rapport entre l'énergie primaire consommée est la consommation nécessaire totale. Il permet d'observer ce qui est ponctionné à la planète en fonction des différents scénarios :

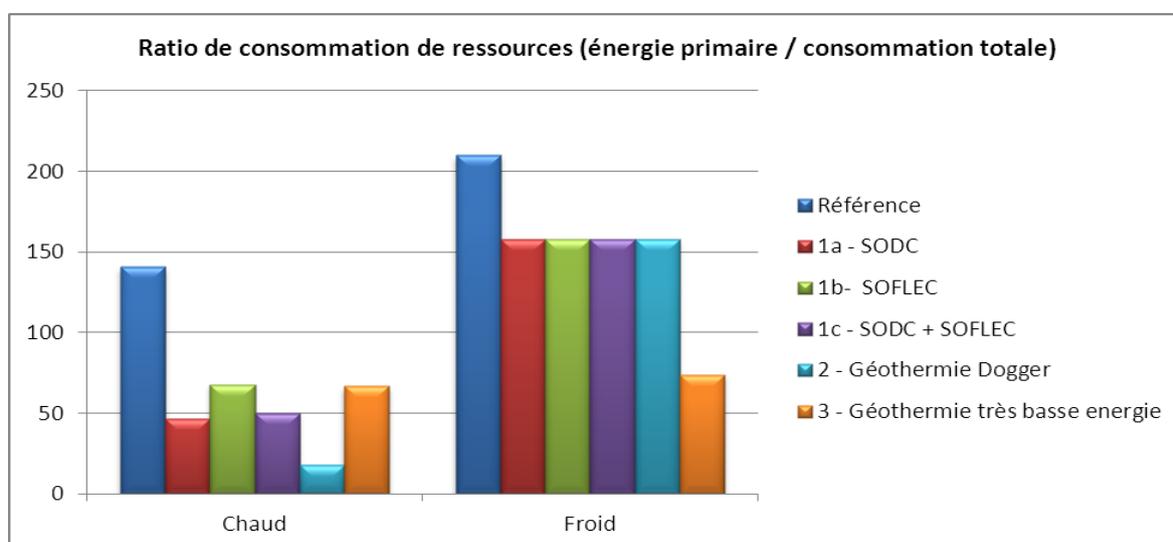


FIGURE 21: COMPARAISON DES SCENARIOS EN FONCTION DU RATIO DE CONSOMMATION DE RESSOURCES

Ainsi, c'est le scénario de référence qui ponctionne le plus de ressources à la planète. À l'inverse, c'est le scénario géothermie sur aquifère superficiel qui est le plus économe en termes de ressource prélevées pour la partie froid. Si la solution Dogger est très pertinente car consommant très peu d'énergie, elle est économiquement peu viable et peut donc être difficilement intégrée.

Ces tableaux complètent le bilan environnemental en détaillant le taux de SO₂, de NO_x, de déchets radioactifs émis et du taux en énergie renouvelable des différents scénarios:

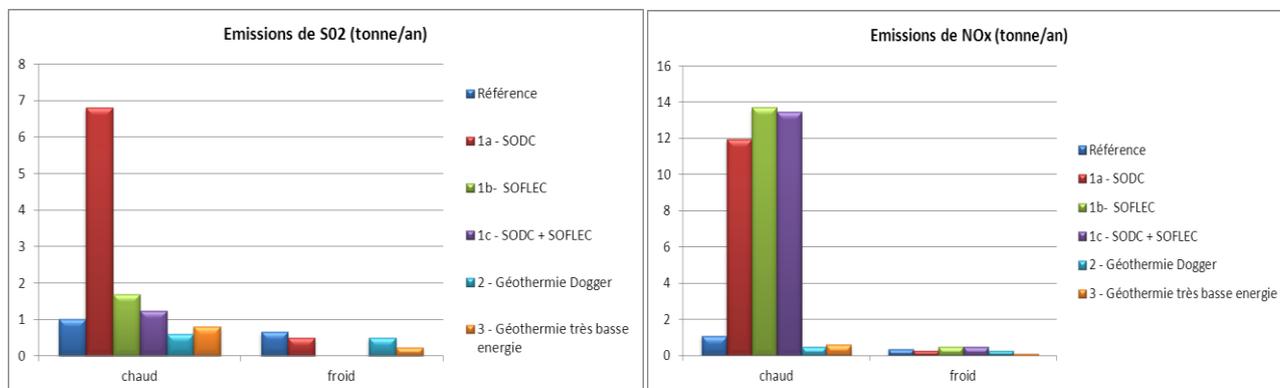


FIGURE 22: COMPARAISON DES SCENARIOS EN FONCTION DES POLLUTIONS EMISES⁴

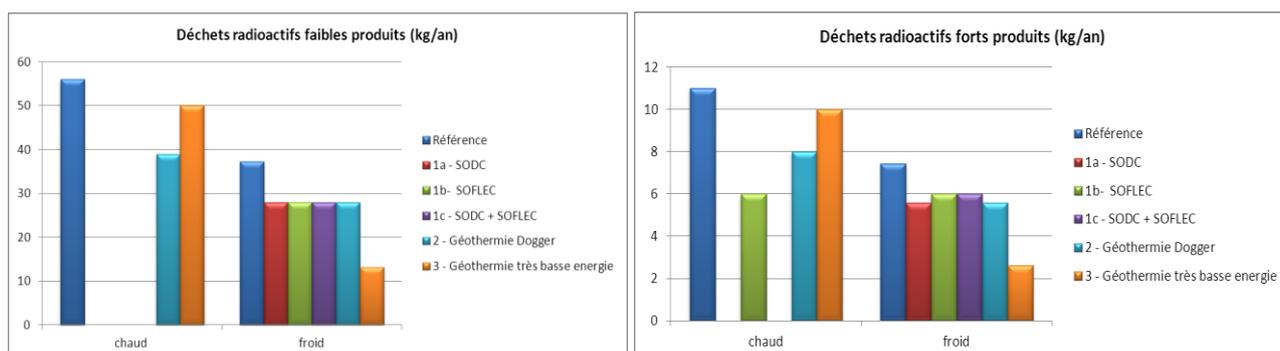


FIGURE 23: COMPARAISON DES SCENARIOS EN FONCTION DES DECHETS RADIOACTIFS PRODUITS

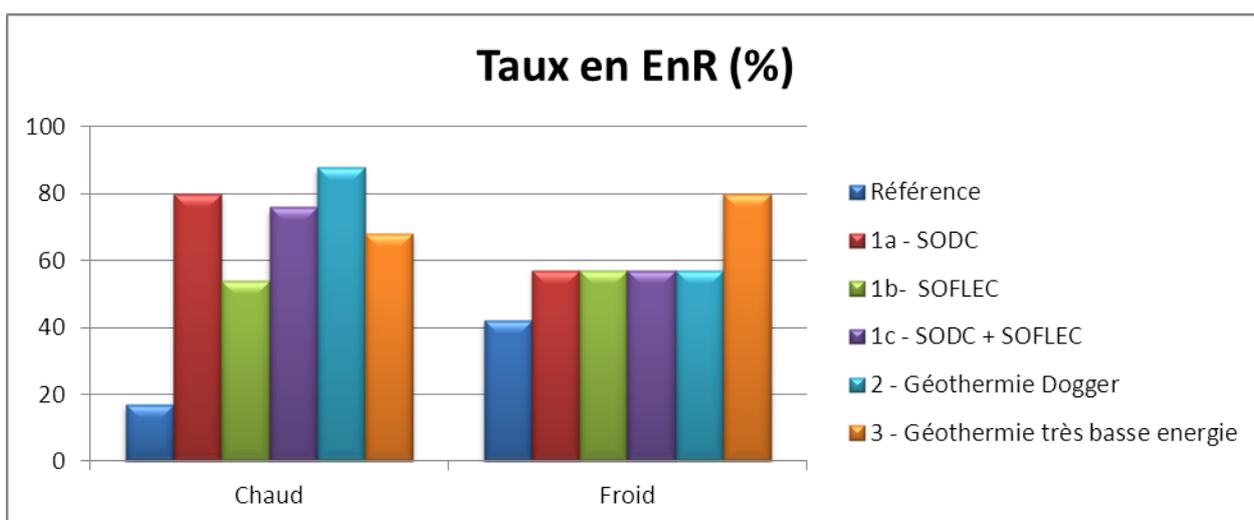


FIGURE 24: COMPARAISON DES SCENARIOS EN FONCTION DU TAUX D'ENERGIE RENOUVELABLE

⁴ Le taux SO₂ annoncé par SODC apparaît anormalement élevé et peut engendrer une mauvaise lecture de cette ressource.

Les émissions de SO₂ et de NO_x sont particulièrement fortes concernant les scénarios relatifs à l'extension des réseaux en raison des caractéristiques des deux chaufferies bois existantes.

La géothermie très basse énergie présente la plus forte émission de déchets nucléaires en comparaison aux autres scénarios EnR en raison de la forte consommation en électricité induite par ce scénario.

Le taux d'EnR du scénario géothermie sur Dogger concernant la production de la chaleur est le plus élevé suivi de l'extension du réseau de la SODC en raison des caractéristiques de la nouvelle chaufferie biomasse mise en service en 2015. Néanmoins, pour la production de froid, c'est le scénario géothermie très basse énergie qui présente le plus fort taux d'EnR en raison de l'utilisation de PAC eau/eau sur nappes superficielles qui prélèvent les calories de l'eau pour produire du chaud et du froid.

En parallèle du bilan environnemental, le bilan économique et financier global des différents scénarios est le suivant :

Scénarios	Investissements hors subventions (M €)	Subventions (M €)	Investissements restant à charge (M €)	Coût de la chaleur € / MWh (moyen sur 30 ans)	Coût du froid € / MWh (moyen sur 30 ans)	TRI chaleur (ans)
Référence	1,74	0	1,74	207	299	-
Extension réseau SODC	3	0,17	3	115	372	10
Extension réseau SOFLEC	3,4	0,69	2,71	106	372	8
Extension réseau SODC + SOFLEC	2,9	0,3	2,6	114	372	8
Géothermie basse énergie (Dogger)	10,6	0,96	9,64	876	372	>30
Géothermie très basse énergie	2,7	0,8	1,9	179	389	4

TABLEAU 28: BILAN ECONOMIQUE ET FINANCIER GLOBAL DES SCENARIOS RETENUS

Il met en évidence le fait que le déploiement des réseaux de chaleur n'ont pas d'impact significatif sur les investissements à déployer, que la solution Dogger est peu viable économiquement alors que la géothermie très basse énergie peut facilement être mise en œuvre sous réserve d'une ressource suffisante.

En conclusion, afin d'appréhender au mieux les solutions proposées, ce tableau présente de façon synthétique les avantages et les inconvénients des différents scénarios retenus :

Scénarios	Avantages	Inconvénients
Référence	Solution la plus avantageuse économiquement à court terme	Bilan environnemental peu satisfaisant ; Dépendance aux énergies fossiles ; Risques de fortes hausses de la facture énergétique des futurs habitants.
Extension du réseau de chaleur de la SODC	Réserve de puissance de la chaufferie biomasse importante ; Densités énergétiques fortes ; Taux d'EnR élevé (80% voire 90%) ; Proximité de la phase 1 et 2a.	Le contrat de DSP ne couvre pas la commune de Fleury-les-Aubrais, où se trouve la quasi-totalité du projet InterRives ; Coût de chaleur pour l'utilisateur plus cher que la SOFLEC ; Pas de subventions Fonds Chaleur possibles (rendements insuffisants en été).
Extension du réseau de chaleur de la SOFLEC	Exclusivité du réseau de chaleur de Fleury-les-Aubrais ; Fonds Chaleur mobilisable (sous réserve de conserver le taux d'EnR au-dessus de 50%); Proximité de la phase 2b du projet ; Coût de chaleur pour l'utilisateur moins cher que la SODC.	Taux d'EnR plus faible que la chaufferie biomasse de la SODC (55%).
Extension du réseau de chaleur de la SODC et de la SOFLEC	Permet de ne pas franchir le tunnel et donc d'éviter des coûts d'investissement importants. Fonds Chaleur mobilisable	Nécessite une analyse juridique des deux DSP et des modifications si nécessaires.
Géothermie basse énergie sur Dogger	Ressource disponible localement ; Faible emprise au sol de la station de géothermie. Fonds Chaleur mobilisable	Coûts d'investissements très élevés.
Géothermie très basse énergie sur aquifère superficiel (nappe de calcaire de Beauce)	Coûts d'investissement relativement peu élevés ; Fonds Chaleur et subventions complémentaires du programme européen FEDER mobilisables Ressource disponible toute l'année ; Échange d'énergie entre les bâtiments à énergie positive ; Évolutivité et adaptabilité en fonction des différentes phases du projet ; Limitation des pertes thermiques ; Possibilité de production de rafraîchissement à usage direct (« géocooling »).	Sous réserve d'obtention les autorisations réglementaires nécessaires auprès de la DREAL Centre ; La question de la puissance qu'il est possible d'obtenir via cette nappe superficielle est toujours en suspens.

TABLEAU 29: SYNTHÈSE AVANTAGES/INCONVÉNIENTS DES DIFFÉRENTS SCÉNARIOS RETENUS

Il apparaît ainsi que le scénario géothermie très basse énergie est optimal à moyen et long terme en termes de bilan économique et environnemental.

Toutefois, son bilan économique et environnemental pourrait être amélioré en remplaçant son appoint gaz par l'extension du réseau de la SODC à l'ouest du projet et par l'extension du réseau de la SOFLEC à l'est. En effet, les investissements en chaufferies biomasses ont déjà été réalisés, ce qui fait des scénarios correspondant à l'extension des réseaux de chaleur existants des solutions viables du point de vue économique et environnemental.

La solution géothermale très basse énergie sur aquifère superficiel présente l'avantage de fournir de la chaleur et du froid. Cependant, quatre doublets sont nécessaires, ce qui peut générer des conflits sur l'usage de la ressource (réchauffement et/ou refroidissement de la nappe suivant les saisons). Il convient donc :

- de vérifier que le débit prélevé ne soit pas trop important pour limiter le réchauffement et/ou le refroidissement de la nappe utilisée,
- de placer les doublets de façon à ce que le sens d'écoulement de la nappe ne favorise pas les interférences,
- d'éloigner suffisamment les doublets pour qu'il n'y ait pas de superposition des zones de rabattements,
- d'envisager éventuellement l'utilisation de 2 nappes superficielles différentes pour limiter l'impact sur la nappe des calcaires de Beauce

Le scénario géothermie basse énergie sur Dogger est quant à lui à écarter du fait de ses coûts d'investissement bien trop élevés qui sont peu couverts par le Fonds Chaleur de l'ADEME. Même si la phase 3 du projet InterRives, encore inconnue actuellement, est fortement consommatrice de chaleur, cela ne suffira pas à rentabiliser l'investissement.

Le raccordement aux réseaux existant reste une solution tout à fait intéressante à la fois économiquement et d'un point de vue environnemental. Ces scénarios comportent l'intérêt de ne pas présenter de risques.

8. HYPOTHESES RETENUES

Données économiques et financières :

Les hypothèses économiques retenues pour l'ensemble des analyses technico-économiques sont les suivantes :

Tarifs énergie 2015 (sources : Base de données Pégase et ADEME)

Gaz domestique : 60 € HT/MWh (tarif B1)

Gaz entreprise/professionnel : 50€ HT/MWh (tarif B2i)

Électricité domestique: 160€ HT/MWh (tarif bleu option base, 6kVa)

Électricité entreprise : 120€ HT/MWh (tarif bleu option heures creuses, 24kVa)

Chaleur SODC : 71,5 € HT/MWh

Chaleur SOFLEC : 62,7 € HT/MWh

Taux de variation annuel du coût de l'énergie (sources : Base de données Pégase et ADEME ou estimation)

Gaz domestique : 4%

Gaz entreprise : 4%

Électricité domestique : 4,8%

Électricité entreprise : 5%

Chaleur SODC : 3,2%

Chaleur SOFLEC : 3,45%

Hypothèses financières liées à l'emprunt :

Durée du prêt : 30 ans

Taux d'emprunt : 2,5%

Données environnementales :

Les hypothèses économiques retenues sont les suivantes :

Contenu équivalent (g/kWh)			
Gaz	Coefficient en énergie primaire	1,1	
	CO2	234	
	SO2	0	
	NOx	0,17	
	Déchets nucléaires faibles	0	
	Déchets nucléaires forts	0	
Électricité (en chauffage)	Coefficient en énergie primaire	3,15	
	CO2	180	
	SO2	0,89	
	NOx	0,47	
	Déchets nucléaires faibles	0,05	
	Déchets nucléaires forts	0,01	
		SODC	SOFLEC
Réseaux	Coefficient en énergie primaire	0,46	0,67
	CO2	44,5	98,85
	SO2	1,32	0,24
	NOx	2,32	2,61
	Déchets nucléaires faibles	0	0
	Déchets nucléaires forts	0	0

TABEAU 30: DONNEES ENVIRONNEMENTALES UTILISEES (SOURCE : GUIDE PRATIQUE HQE)

9. ANNEXE 1 – ACRONYMES

ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
COP	Coefficient de Performance
DN	Diamètre Nominal
DSP	Délégation de Service Public
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
ECS	Eau Chaude Sanitaire
ENR	Énergies Renouvelable
FEDER	Fonds Européen de Développement Régional
NAEP	Nappe d'Approvisionnement en Eau Potable
NOx	Oxyde d'azote
PAC	Pompe à Chaleur
RIE	Restaurant Inter Entreprise
SODC	Société Orléanaise de Distribution de Chaleur
SOFLEC	Société Fleury Chauffage
SO2	Dioxyde de soufre
SRCAE	Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Énergie
TEP	Tonne Équivalent Pétrole
TRI	Taux de Retour sur Investissement
VAN	Valeur Actuelle Nette
ZAC	Zone d'Aménagement Concertée

10. TABLE DES ILLUSTRATIONS

10.1. Figures

Figure 1: Esquisse du projet Interrives et zoom sur la zac multisite.....	3
Figure 2: Schéma de synthèse et illustration d'une pac air/air réversible.....	6
Figure 3: Schéma d'un réseau de chaleur.....	9
Figure 4: Illustration de canalisations d'un réseau de chaleur.....	9
Figure 5: Schéma d'une sous-station.....	10
Figure 6: Schémas de fonctionnement d'un capteur et d'un chauffe-eau solaire.....	11
Figure 7: Schéma et illustration d'une climatisation air/eau.....	12
Figure 10: Évolution de la valeur actuelle nette de la deuxième variante du scénario 1.....	17
Figure 11: Schéma d'extension du réseau sodc et sofleac au sein du projet interrives.....	19
Figure 12: Évolution de la valeur actuelle nette de la troisième variante du scénario 1.....	21
Figure 13: Schéma de principe du fonctionnement d'une machine à absorption double effet.....	23
Figure 14: la production de froid à partir de la chaleur.....	24
Figure 15: Principe de la géothermie basse énergie sur dogger.....	25
Figure 16: Évolution de la valeur actuelle nette du scénario 2.....	27
Figure 17: Schéma d'une boucle d'eau tempérée.....	29
Figure 18 : Schéma de principe d'une thermofrigopompe (chaud et froid simultanés avec chaud > froid).....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 19: Localisation des NAEP au sein du projet Interrives.....	30
Figure 20: Schéma de principe du réseau bitube.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 21: Évolution de la valeur actuelle nette du troisième scénario.....	33
Figure 22: Comparaison des scénarios en fonction des pollutions émises.....	36
Figure 23: Comparaison des scénarios en fonction des déchets radioactifs produits.....	36
Figure 24: Comparaison des scénarios en fonction du taux d'énergie renouvelable.....	36
Figure 25: Comparaison des scénarios en fonction des émissions de CO2.....	35
Figure 26: Comparaison des scénarios en fonction du ratio de consommation de ressources.....	35

10.2. Tableaux

Tableau 1: Estimation des besoins de chaleur.....	4
Tableau 2: Estimation des besoins de froid.....	4
Tableau 3: Estimation des besoins d'électricité.....	5
Tableau 4: Systèmes techniques du scénario de référence.....	6
Tableau 5: Coût des systèmes techniques du scénario de référence.....	7
Tableau 6: Bilan économique du scénario de référence.....	7
Tableau 7: bilan environnemental du scénario de référence.....	8
Tableau 8: Systèmes techniques de la première variante du scénario 1.....	11
Tableau 9 : coût des systèmes techniques de la première variante du scénario 1.....	13
Tableau 10: Bilan financier de la première variante du scénario 1.....	13
Tableau 11: Bilan financier.....	15
Tableau 12: Systèmes techniques de la deuxième variante du scénario 1.....	15
Tableau 13: Coût des systèmes techniques de la deuxième variante du scénario 1.....	17
Tableau 14: Bilan financier de la deuxième variante du scénario 1.....	17
Tableau 15: Bilan environnemental de la deuxième variante du scénario 1.....	18
Tableau 16: Systèmes techniques de la troisième variante du scénario 1.....	19
Tableau 17: Coût des systèmes techniques de la troisième variante du scénario 1.....	20
Tableau 18: Bilan financier de la troisième variante du scénario 1.....	20
Tableau 19: Bilan environnemental de la troisième variante du scénario 1.....	21
Tableau 20: Systèmes techniques de la variante.....	23
Tableau 24: Systèmes techniques du deuxième scénario.....	25
Tableau 25: Coût des systèmes techniques du scénario 2.....	26
Tableau 26: Bilan financier du scénario 2.....	26
Tableau 27: Systèmes techniques du scénario 3.....	29
Tableau 28: Coût des systèmes techniques du scénario 3.....	32
Tableau 29: Bilan financier du scénario 3.....	32
Tableau 30: Bilan environnemental du scénario 3.....	34
Tableau 32: Bilan économique et financier global.....	37
Tableau 34: Synthèse avantages/inconvénients des différents scénarios retenus.....	38
Tableau 35: Données environnementales utilisées.....	40