



Chauffage urbain

CHOISY - VITRY

S.I.C.U.C.V
HOTEL DE VILLE
2, avenue Youri Gagarine
94407 VITRY SUR SEINE Cedex

Mise à jour du schéma directeur du réseau de chaleur de Choisy-Vitry



Phase 4 :

Scénarios d'évolution du réseau



SOMMAIRE

0. OBJET.....	3
1. DÉFINITION DES SCENARIOS.....	4
2. BILAN ÉNERGÉTIQUE.....	6
3. INVESTISSEMENTS.....	8
3.1. GÉOTHERMIE.....	8
3.2. BOIS-ENERGIE.....	8
3.3. SYNTHÈSE.....	9
4. COÛTS D'EXPLOITATION ET TARIFS RÉSULTANTS.....	10
4.1. HYPOTHÈSES.....	10
4.2. COÛTS D'EXPLOITATION ANNUELS.....	12
4.3. TARIF DE LA CHALEUR RÉSULTANT.....	13
5. FICHES RÉCAPITULATIVES.....	15
6. CONCLUSION.....	17

0. OBJET

Les précédents rapports (1 à 3) ont permis de dresser l'état des lieux du réseau de chauffage urbain du SICUCV, les sources de chaleur disponibles et des évolutions envisagées.

L'objet de ce rapport est d'établir plusieurs scénarios pour l'avenir du réseau, tenant compte de l'évolution probable des besoins énergétiques, ainsi que des modes de production de chaleur.

Les scénarios feront l'objet d'une évaluation énergétique, économique et environnementale, qui permettra de guider la collectivité dans le choix d'un scénario optimal, et qui pourra être mis en œuvre dans la prochaine délégation de service public.

1. DÉFINITION DES SCENARIOS

Le tableau suivant présente les 4 scénarios proposés à l'étude et validés lors du premier comité de pilotage :

N° scénario	1 (référence)	2	3	4
Evolution des besoins à horizon 2030	+ 20 %			
Modes de production	Mix actuel - Réseau de Paris - SEMMARIS	- Géothermie - SEMMARIS - Réseau de Paris	- Bois énergie - SEMMARIS - Réseau de Paris en appoint	- Géothermie - Bois énergie - SEMMARIS - Réseau de Paris en appoint

Dans tous les scénarios, une évolution des besoins énergétiques de +20 % est supposée. Cette valeur correspond à une augmentation probable estimée à horizon 2030 (voir conclusion du rapport n° 3 – *Evolution et développements du réseau*). L'influence de ce paramètre a néanmoins été analysée, et s'avère être sans impact majeur sur le choix d'un scénario (voir FICHES RÉCAPITULATIVES).

- ➡ Dans le premier scénario, les sources de production de chaleur restent inchangées.
- ➡ Dans les scénarios 3 et 4, une chaufferie biomasse de **35 MW** est intégrée aux sources de production.
- ➡ Dans les scénarios 2 et 4, un doublet géothermique au Dogger alimente la branche basse température du Sud du réseau (de la chaufferie Léon Geffroy vers Choisy-le-Roi). Les caractéristiques techniques du doublet sont basées sur les résultats de l'étude de faisabilité géothermique réalisée en 2023 (cf. rapport n°2 – *État des lieux des sources de chaleur à proximité*).

Dans tous les scénarios, l'échange de chaleur avec le réseau SEMMARIS est conservé, avec les mêmes caractéristiques techniques qu'aujourd'hui (même disponibilité, prise de chaleur prioritaire par rapport aux autres sources). Il est supposé que le réseau SEMMARIS sera en capacité de fournir l'intégralité des besoins de chaleur du SICUCV en été (de mi-mai à mi-octobre) dans tous les scénarios, conformément aux échanges SICUCV/SEMMARIS du mois de mars 2023.

L'échange de chaleur CVD/CVE/Ville de Paris est conservé dans tous les scénarios. Néanmoins, une différence de tarif est appliquée selon que cette source est utilisée en base (scénarios 1 et 2), ou en appoint (scénarios 3 et 4). En effet, dans le cas de la mise

en place d'une chaufferie bois, celle-ci permet de couvrir la majorité des besoins. L'appoint CVE/Ville de Paris est alors utilisé en appoint, lorsque les températures sont basses et que le tarif de la vapeur de Paris est le plus élevé.

Les scénarios 2 et 4 incluent la mise en place d'une pompe à chaleur (PAC) montée en parallèle de l'échangeur géothermique, qui permettra de compenser la limitation du débit du puits. Une PAC de 3,8 MW permet d'augmenter le débit réchauffé de 100 m³/h et la production géothermique de 7 000 MWh/an, pour un investissement supplémentaire de 2 000 k€HT. En tenant compte de cet investissement et des consommations électriques nécessaires au fonctionnement de la PAC, le prix unitaire de la chaleur (en €/MWh) en sortie de chaufferie reste sensiblement équivalent avec et sans PAC (environ 54 €HT/MWh). Ce dispositif est préconisé car il permet de substituer davantage de chaleur du réseau Ville de Paris, dont le tarif R1 valait 46 €HT/MWh en 2021, mais est estimé entre 60 et 80 €HT/MWh en 2030.

2. BILAN ÉNERGÉTIQUE

Le tableau suivant présente le bilan énergétique et environnemental des différents scénarios, pour une année de rigueur climatique moyenne (2 228 DJU).

SYNTHÈSE ÉNERGÉTIQUE ET ENVIRONNEMENTALE						
POSTES	UNITÉ	2020	SCÉNARIO			
			1	2	3	4
			Mix actuel	Géothermie	Bois	Bois + Géothermie
BESOINS ANNUELS EN SOUS-STATION	MWh/an	180 760	233 702	233 702	233 702	233 702
Puissance souscrite	kW	164 479	191 156	191 156	191 156	191 156
	URF	225 949	262 596	262 596	262 596	262 596
ÉNERGIE PRODUITE EN SORTIE CHAUFFERIE	MWh/an	211 229	281 369	281 369	281 369	281 369
RIVED	MWh/an	58 163	81 946	74 195	81 946	74 195
géothermie	MWh/an			41 960		41 960
bois	MWh/an				138 358	125 559
vapeur Paris	MWh/an	153 066	199 423	165 213	61 065	39 654
Consommation électrique géo et PAC	MWh/an			5 096		5 096
TAUX D'ENR&R	%	66 %	72 %	77 %	91 %	94 %
Taux de couverture SEMMARIS	%	28 %	29 %	26 %	29 %	26 %
Taux de couverture Géothermie	%	0 %	0 %	15 %	0 %	15 %
Taux de couverture Bois	%	0 %	0 %	0 %	49 %	45 %
Taux de couverture CVE	%	72 %	71 %	59 %	22 %	14 %
CONTENU CO₂	kgCO₂eq/MWh	126	123	105	57	46
De la chaleur produite						

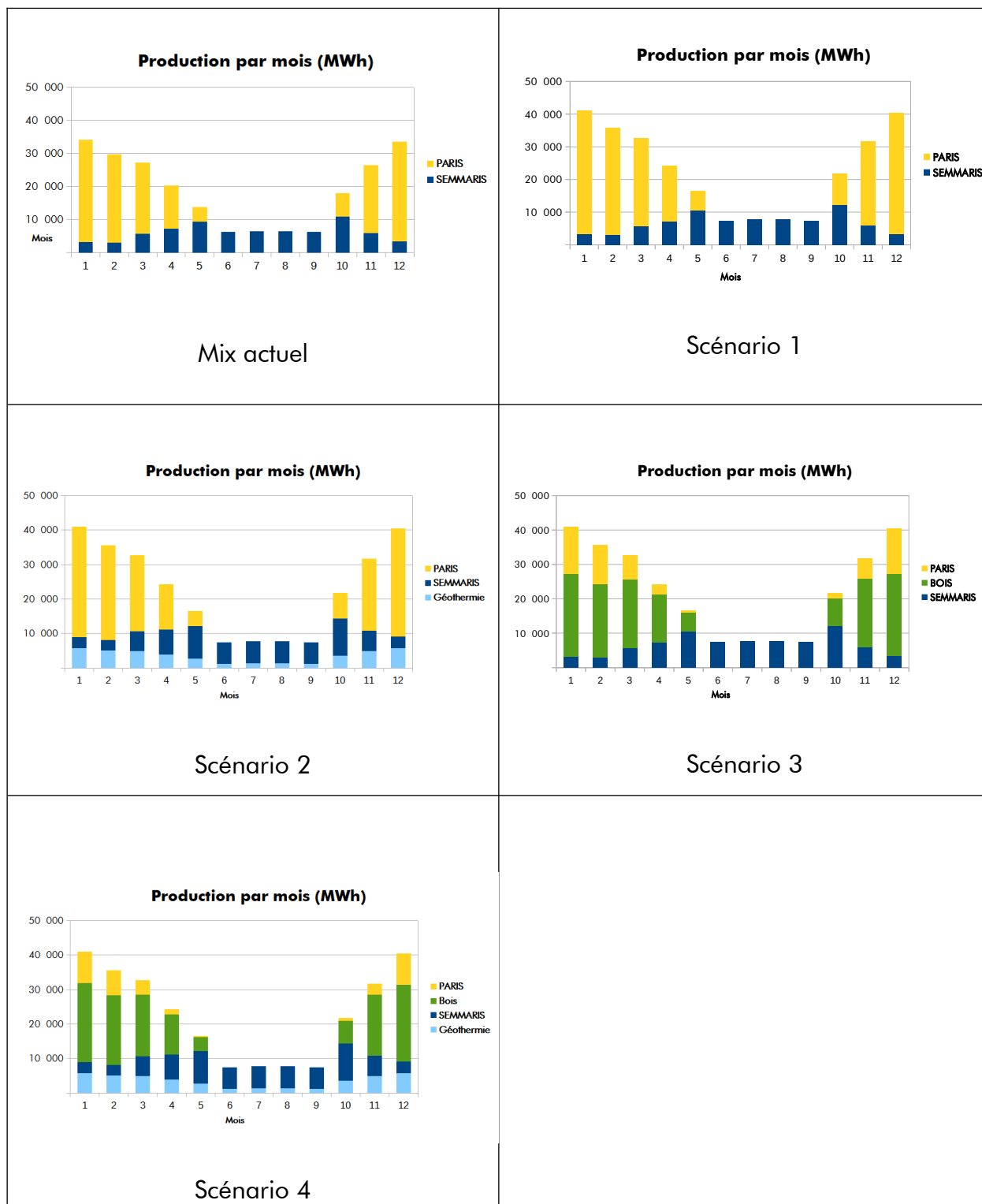
Le contenu en CO₂-équivalent des différentes sources est basé sur les valeurs de l'ADEME, à savoir :

- Électricité nécessaire au fonctionnement de la géothermie : 180 kgCO₂eq/MWh
- Chauffage au bois : 40 kgCO₂eq/MWh
- Eau chaude SEMMARIS : 0 kgCO₂eq/MWh (100 % chaleur de récupération)
- Vapeur CPCU : 156 kgCO₂eq/MWh (source CPCU).

A titre comparatif, le contenu en CO₂eq du gaz est chiffré à 225 kgCO₂eq/MWh utile.

L'analyse de l'influence des températures montrent qu'un climat plus froid entraîne principalement une augmentation des consommations Ville de Paris/CPCU, et donc une légère baisse du taux d'ENR&R. En ce qui concerne l'impact économique et le choix des scénarios : voir FICHES RÉCAPITULATIVES .

Les graphes suivants illustrent le mix énergétique mensuel des différents scénarios pour une année de rigueur climatique moyenne (2 228 DJU) :



3. INVESTISSEMENTS

3.1. GÉOTHERMIE

Le tableau suivant récapitule les coûts d'investissements liés à la géothermie. Ceux-ci sont estimés à partir de l'étude géothermique réalisée en 2012, tenant compte d'une indexation de 15 % entre 2012 et 2025, dans l'attente des résultats de la nouvelle étude de faisabilité géothermique.

SYNTHÈSE DES INVESTISSEMENTS – GEOTHERMIE	
POSTES	COÛT
	<i>k€.HT</i>
DOUBLET AU DOGGER	13 119
CENTRALE GEOTHERMIQUE	2 208
POMPE A CHALEUR	600
<i>Subventions attendues</i>	-4 598
TOTAL INVESTISSEMENTS AVEC SUBVENTIONS	11 329
TOTAL INVESTISSEMENTS SANS SUBVENTIONS	15 927

3.2. BOIS-ENERGIE

Le tableau suivant récapitule les coûts d'investissement d'une chaufferie bois de 35 MW qui serait financée par le SICUCV :

SYNTHÈSE DES INVESTISSEMENTS – BIOMASSE	
POSTES	COÛT
	<i>k€.HT</i>
Chaudière et équipements	17 000
Génie civil	11 000
MOE, assurances, aléas	4 760
<i>Subventions attendues</i>	-9 828
TOTAL INVESTISSEMENTS AVEC SUBVENTIONS	22 932
TOTAL INVESTISSEMENTS SANS SUBVENTIONS	32 760

Dans le cas du scénario biomasse présenté dans cette étude, l'investissement est porté par une société privée, et répercuté dans son tarif de vente d'énergie. Aucun investissement n'est donc présenté directement dans le compte d'exploitation prévisionnel (Coûts d'exploitation annuels).

3.3. SYNTHÈSE

Le tableau suivant présente la synthèse des investissements (subventions déduites) prévues dans les différents scénarios :

INVESTISSEMENTS ET SUBVENTIONS						
POSTES	UNITÉ	SCÉNARIOS				
		2020	1	2	3	4
			Mix actuel	Bois	Géothermie	Biomasse + Géothermie
INVESTISSEMENTS (SUBVENTIONS DEDUITES)	k€.HT		0	0	11 329	11 329
Installations de géothermie + PAC	k€.HT				11 329	11 329
Chaufferie bois	k€.HT					

4. COÛTS D'EXPLOITATION ET TARIFS RÉSULTANTS

Dans cette partie sont estimés les coûts globaux d'exploitation, incluant :

- la fourniture de combustible, électricité ou chaleur fatale nécessaires à la production de chaleur (P1) ;
- les coûts d'abonnement à CVE, à CPCU/Ville de Paris et au fournisseur de chaleur biomasse (P2) ;
- les coûts de conduite, entretien et renouvellement des installations du réseau (P3) ;
- la redevance d'interconnexion SEMMARIS et le financement des investissements (P4).

Ces coûts sont ensuite divisés par le volume de chaleur vendue, pour estimer le tarif moyen pour les usagers, en €/MWh.

4.1. HYPOTHÈSES

4.1.1. Tarifs d'achat de l'énergie

Concernant les tarifs d'achat d'énergie, deux hypothèses ont été formulées, afin de tenir compte de l'incertitude sur ces valeurs :

Hypothèses sur les tarifs d'achat d'énergie				
		2020	2030	2030
			estimation basse	estimation haute
SEMMARIS		17	19	21
Vapeur Paris – R1 (profil de conso actuel)		46	59	73
Vapeur Paris – R2 (profil de conso actuel)		6	7	9
Total Vapeur Paris profil actuel		52	66	82
% Variation			28 %	59 %
Vapeur Paris – R1 (appoint seult)	€HT/MWh vendu en sortie de chaufferie		104	140
Vapeur Paris – R2 (appoint seult)			7	9
Total Vapeur Paris appoint			111	149
Bois - R1		27	29	33
Bois – R2		30	33	36
TOTAL bois		57	62	69
Electricité	€HT/MWh é	83	123	216
Variation			48 %	159 %

4.1.2. Indexation des tarifs

Les hypothèses suivantes ont été prises en compte sur l'inflation annuelle moyenne des tarifs :

Poste	Montant
Abonnements CVE et Fournisseur bois-énergie	1 %/an
Conduite, entretien, renouvellement	1 %/an

Ces coûts sont supposés égaux dans les estimations hautes et basses, et sont basées sur les tarifs 2020 auxquels sont appliqués les indexations ci-dessus pour l'année 2030.

4.1.3. Conditions d'emprunt

Il est également supposé dans cette étude que les investissements seront financés par emprunt bancaire de la société d'exploitation délégataire, sur une durée de 30 ans, à un taux d'intérêts de 4 %.

4.2. COÛTS D'EXPLOITATION ANNUELS

Les tableaux suivants représentent les deux estimations (haute et basse) des coûts d'exploitation annuels du réseau de chaleur dans les différents scénarios et dans la situation actuelle (référence 2020) :

COÛTS D'EXPLOITATION ANNUELS						
POSTES	UNITÉ	SCÉNARIOS – estimation basse				
		2020	1	2	3	4
			Mix actuel	Géothermie	Bois	Biomasse + Géothermie
COÛTS D'EXPLOITATION ANNUELS	k€.HT	16 314	22 402	21 771	24 372	22 589
P1 – Fourniture de combustible		8 023	13 381	11 833	11 956	9 840
<i>dont chaleur SEMMARIS</i>		1 006	1 565	1 417	1 565	1 417
<i>dont vapeur Paris</i>		7 017	11 816	9 789	6 327	4 109
<i>dont bois</i>		0	0	0	4 063	3 687
<i>dont électricité géothermie et PAC</i>		0	0	627	0	627
P2 – Part fixe abonnement CPCU		843	1 012	1 012	1 012	1 012
P2 – Part fixe abonnement CVE		1 462	1 615	1 615	1 615	1 615
P2 – Part fixe chaufferie bois					3 395	2 811
P3 – Conduite – entretien – GER CVD		3 898	4 306	4 306	4 306	4 306
P4 – Redevance interconnexion SEMMA		1 043	1 043	1 043	1 043	1 043
P4 – Investissements		1 046	1 046	1 963	1 046	1 963

POSTES	UNITÉ	SCÉNARIOS – estimation haute				
		2020	1	2	3	4
			Mix actuel	Géothermie	Bois	Biomasse + Géothermie
COÛTS D'EXPLOITATION ANNUELS	k€.HT	14 852	25 842	24 871	25 905	23 752
P1 – Fourniture de combustible		8 023	18 183	16 295	14 850	12 365
<i>dont chaleur SEMMARIS</i>		1 006	1 727	1 564	1 727	1 564
<i>dont vapeur Paris</i>		7 017	16 456	13 633	8 549	5 552
<i>dont bois</i>					4 574	4 151
<i>dont électricité géothermie et PAC</i>		0	0	1 099	0	1 099
P2 – Part fixe abonnement CPCU		843	1 265	1 265	1 265	1 265
P2 – Part fixe abonnement CVE		1 462	1 615	1 615	1 615	1 615
P2 – Part fixe chaufferie bois					3 395	2 811
P3 – Conduite – entretien – GER CVD		3 898	4 306	4 306	4 306	4 306
P4 – Redevance interconnexion SEMMA		1 043	1 043	1 043	1 043	1 043
P4 – Investissements		1 046	1 046	1 963	1 046	1 963

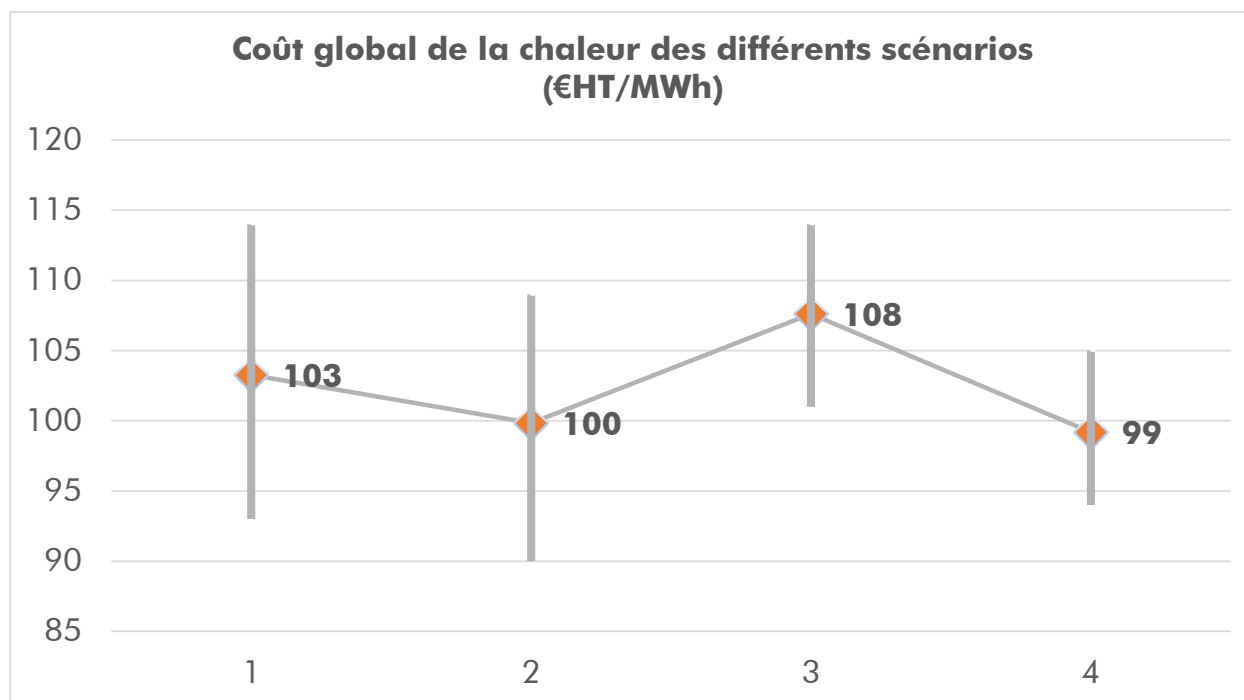
4.3. TARIF DE LA CHALEUR RÉSULTANT

Les coûts d'exploitation divisés par les volumes de chaleur vendues annuellement donnent une estimation du tarif de la chaleur vendue aux abonnés.

COÛT GLOBAL DE LA CHALEUR						
POSTES	UNITÉ	SCÉNARIOS – estimation basse				
		2020	1 Mix actuel	2 Géothermie	3 Bois	4 Biomasse + Géothermie
COÛT GLOBAL CHALEUR		86	93	90	101	94
dont r1 : fourniture de combustible	€.HT/MWh	44	57	51	51	42
dont SEMMARIS		6	7	6	7	6
dont vapeur Paris		39	51	42	27	18
dont bois		0	0	0	17	16
dont gaz		0	0	0	0	0
dont électricité géothermie et PAC		0	0	3	0	3
dont r2 : part fixe		42	36	40	50	52
dont r21 : part fixe CVE et CPCU	€.HT/URF	10	10	10	10	10
dont r21 : part fixe Bois					13	11
dont r22 : conduite et entretien + GER CVD	€.HT/kW	24	23	23	23	23
dont r24 : redevance Semmaris		1,8	1,9	1,9	1,9	1,9
dont r24 : financement des investissements	€.HT/URF	4,6	4	7	4	7

POSTES	UNITÉ	SCÉNARIOS – estimation haute				
		2020	1 Mix actuel	2 Géothermie	3 Bois	4 Biomasse + Géothermie
COÛT GLOBAL CHALEUR		86	114	109	114	105
dont r1 : fourniture de combustible	€.HT/MWh	44	78	70	64	53
dont SEMMARIS		6	7	7	7	7
dont vapeur Paris		39	70	58	37	24
dont bois		0	0	0	20	18
dont électricité géothermie et PAC		0	0	5	0	5
dont r2 : part fixe		42	36	40	50	52
dont r21 : part fixe CVE et CPCU	€.HT/URF	10	10	10	10	10
dont r21 : part fixe Bois					13	11
dont r22 : conduite et entretien + GER CVD	€.HT/kW	24	23	23	23	23
dont r24 : conduite/entretien Semmaris		1,8	1,9	1,9	1,9	1,9
dont r24 : financement des investissements	€.HT/URF	4,6	4	7	4	7

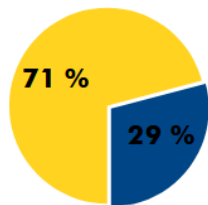
Le graphique suivant indique le coût global moyen de la chaleur selon les différents scénarios, ainsi que l'écart lié à la variabilité des prix des énergies :



5. FICHES RÉCAPITULATIVES

SCENARIO 1 de référence : CONSERVATION DU MIX ACTUEL

Mix énergétique prévisionnel



■ RIVED ■ vapeur Paris

Taux d'**ENR** : **72 % ***
Coût global de la chaleur :
93 – 114 € HT/MWh

CX/21-0762/RP/20220018A

* en supposant un taux ENR Paris à 60 % en 2030

Avantages

- Simplicité contractuelle et technique

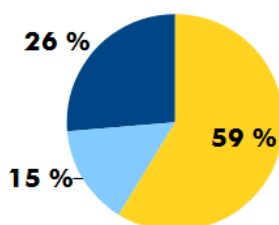
Inconvénients

- Risque de ne pas atteindre un taux d'ENR suffisant (65%) (selon climat, développements du SICUCV, développement des ENR Paris)
- Dépendance totale aux fournisseurs externes, sans secours
- Sensibilité élevée aux fluctuations de prix des énergies fossiles



SCENARIO 2 : SOURCES ACTUELLES + **GEOTHERMIE**

Mix énergétique prévisionnel



■ RIVED ■ géothermie ■ vapeur Paris

Taux d'**ENR** : **77 % ***
Coût global de la chaleur :
90 – 109 € HT/MWh

CX/21-0762/RP/20220018A

* en supposant un taux ENR Paris à 60 % en 2030

Avantages

- Production pour partie maîtrisée par le SICUCV
- Énergie locale et « propre »
- Baisse des coûts globaux

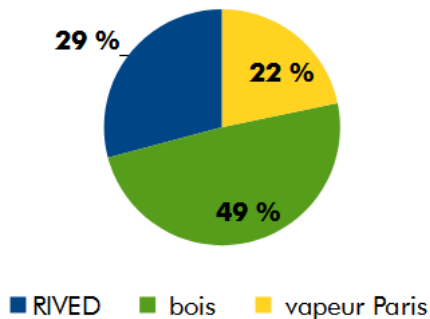
Inconvénients

- Compromis à obtenir avec Alfortville pour améliorer le débit
- Travaux consistants et foncier à valider
- Montage juridique et financier à établir



SCENARIO 3 : SOURCES ACTUELLES + **BOIS-ENERGIE**

Mix énergétique prévisionnel



Taux d'**ENR** : **91 % ***
Coût global de production :
101 – 114 € HT/MWh

CX/21-0762/RP/20220018A

* en supposant un taux **ENR** Paris à 60 % en 2030

Avantages

- Réduction de la dépendance aux énergies fossiles → stabilité des prix
- Approvisionnement régional ou national
- Valorisation de combustible peu émissif en CO₂

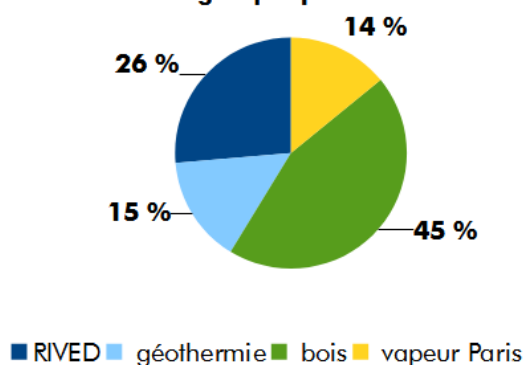
Inconvénients

- Surcoût en cas de prix du gaz bas
- Implantation industrielle de forte dimension impliquant gestion des nuisances potentielles



SCENARIO 4 : SOURCES ACTU. + **GÉOTHERMIE + BOIS-ENERGIE**

Mix énergétique prévisionnel



Taux d'**ENR** : **94 % ***
Coût global de la chaleur :
93 – 104 € HT/MWh

CX/21-0762/RP/20220018A

* en supposant un taux **ENR** Paris à 60 % en 2030

Avantages d'un mix diversifié

- Avantages cumulés bois et géothermie
- Forte réduction de la dépendance aux énergies fossiles → stabilité des prix
- Baisse des risques inhérents au choix d'une seule filière

Inconvénients

cf. inconvénients déjà mentionnés pour géothermie et bois



6. CONCLUSION

Ce quatrième volet du schéma directeur a permis de comparer 4 scénarios d'évolution du réseau :

- Conservation du mix énergétique actuel ;
- Développement de la géothermie ;
- Développement du bois-énergie ;
- Développement de la géothermie et du bois-énergie

L'étude de ces scénarios tient compte des probabilités d'évolution des besoins énergétiques du réseau à horizon 2030, liées notamment au raccordement de nouveaux quartiers. De plus, des hypothèses hautes et basses sur les prix des énergies ont été considérées afin de tenir compte de l'incertitude sur l'avenir de ces valeurs.

La comparaison énergétique et environnementale montre que les scénarios incluant la chaufferie bois (scénarios 3 et 4) permettent d'obtenir le meilleur taux d'énergies renouvelables (respectivement 90 et 93 %) et les émissions de carbones les plus faibles (57 et 45 kgCO_{2eq}/MWh). Le scénario 2 (géothermie) affiche un taux d'ENR&R de 73 %, le scénario 1 (conservation du mix actuel) un taux de 67 %.

Ainsi, la conservation du mix énergétique actuel (scénario 1) ne permet pas de garantir un taux d'ENR&R supérieur à 65 %, seuil retenu par l'ADEME pour l'attribution de subventions.

Le bilan économique montre que dans le cadre des hypothèses considérées, le scénario le plus avantageux dépend des hypothèses sur les prix des énergies :

- **Dans le cas de tarifs bas (notamment pour la Ville de Paris), le scénario présentant le coût global le plus faible est le scénario 2 (géothermie) ;**
- **Dans le cas de tarifs élevés, le scénario présentant le coût global le plus faible est le scénario 4 (géothermie + biomasse).**

L'augmentation des besoins énergétiques avait été estimée à +20 % entre 2020 et 2030. L'analyse de sensibilité de ce paramètre montre que, quelle que soit la valeur de cette augmentation (entre +10 % et +30%), les résultats de comparaison entre scénarios restent identiques.

L'analyse de sensibilité sur la rigueur climatique montre que le classement en coût global des scénarios reste inchangé quelle que soit la rigueur climatique.

Dans la suite du schéma directeur seront présentés des principes d'intégration contractuelle et juridique des éventuels changements, ainsi que le plan d'action à suivre.