

AF233584 | APS | Notice d'Étude de Faisabilité en Approvisionnement Énergétique

Mai 2024

Maîtrise d'œuvre pour la construction d'un ensemble immobilier Quai de la Gironde | Paris

PHASE APS

Maîtrise d'Ouvrage

NEXITY

19 Rue de Vienne

75 008 PARIS

Maîtrise d'œuvre

PETITDIDIERPRIoux

47 Rue Popincourt

75 011 Paris

SODEBA - GINKO

52 avenue Philippe Auguste

75 011 Paris

Sommaire

1. Objet du document	4
2. Solutions énergétiques	5
2.1 Solutions existantes	5
2.2 Etude des sources d'énergie envisageables	6
2.3 Avantages et inconvénients	6
3. EFAE – Tranche 1	7
3.1 Consommation d'énergie primaire (Cep)	7
3.2 Classes énergie et climat	7
3.3 Performance économique	8
3.3.1 Coût d'investissement	8
3.3.2 Coût énergétique annuel	9
3.4 Bilan économique	10
3.4.1 Temps de retour sur investissement brut.....	10
3.4.2 Temps de retour sur investissement actualisé.....	11
3.5 Émissions de gaz à effet de serre	12
4. EFAE – Tranche 2	13
4.1 Consommation d'énergie primaire (Cep)	13
4.2 Classes énergie et climat	13
4.3 Performance économique	14
4.3.1 Coût d'investissement	14
4.3.2 Coût énergétique annuel	14

4.4	Bilan économique	16
4.4.1	Temps de retour sur investissement brut.....	16
4.4.2	Temps de retour sur investissement actualisé.....	17
4.5	Émissions de gaz à effet de serre.....	18
5.	Conclusion	19

1. Objet du document

Lors d'une étude RE2020, une Étude de Faisabilité d'Approvisionnement Énergétique (EFAE) doit être réalisée, afin de comparer différents systèmes sur les critères énergétiques, environnementaux et économiques. Cette étude est réalisée afin de guider le Maître d'Ouvrage dans le choix de la solution qui sera la plus adaptée à son projet.

Dans le cadre de ce projet, il a été décidé de ne pas étudier les solutions suivantes :

- Pompe à chaleur eau/eau géothermique : le potentiel géothermique n'est pas intéressant dans le cadre de ce projet
- Éolien : mise en œuvre compliquée et pas intéressante à Paris
- Chaudière à condensation : ne permet pas l'atteinte des objectifs RE2020 du projet
- Solaire thermique : contraintes d'entretien et de maintenance, trop compliqué pour les bailleurs

Les autres solutions étudiées et les résultats associés seront présentés dans la suite de ce document.

Ce document concerne les Tranches 1 et 2, dont voici le repérage des bâtiments :



Les bâtiments A et A' composent la Tranche 1, tandis que le reste des bâtiments composent la Tranche 2.

2. Solutions énergétiques

2.1 Solutions existantes

- Pompe à chaleur (PAC) air/eau : la pompe à chaleur air/eau est un système de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire (ECS) qui puise les calories présentes dans l'air (extérieur la plupart du temps). Ces calories sont transmises à un fluide frigorigène comprimé afin de produire de la chaleur. Cette chaleur est ensuite transmise aux émetteurs et aux points d'eau.
- PAC eau/eau : le principe est le même que pour une PAC air/eau, à la différence que dans ce cas, les calories sont puisées dans une source d'eau (nappe phréatique, eaux grises ou autre...).
- Réseau de Chaleur Urbain (RCU) : cette solution consiste à distribuer à un ensemble de bâtiments (via des canalisations souterraines) de la chaleur produite de manière centralisée. L'approvisionnement pour chaque bâtiment est réalisée grâce à un échangeur situé en sous-station.
- Solaire photovoltaïque : le rayonnement solaire est capté par des cellules photovoltaïques, qui transforment cette énergie solaire en énergie électrique.
- Solaire thermique : dans ce cas-ci, un fluide caloporteur capte les calories du rayonnement solaire, afin de les transmettre à un ballon de stockage d'ECS.
- Chaudière (biomasse ou gaz) : ce moyen de production utilise les calories produites lors d'une combustion (du bois ou du gaz) afin de chauffer un circuit hydraulique qui alimente les émetteurs du bâtiment, ou afin de préparer l'ECS.
- Éolien : une éolienne permet de produire de l'électricité en transformant l'énergie mécanique du vent en énergie électrique via un alternateur.

2.2 Etude des sources d'énergie envisageables

Afin de répondre de la meilleure des manières aux ambitions du projet, les 5 systèmes suivants ont été étudiés :

- > Scénario 0 : Chauffage et ECS par Réseau de Chaleur Urbain (RCU) ;
- > Scénario 1 : Chauffage et ECS par RCU + mise en place de panneaux photovoltaïques ;
- > Scénario 2 : Chauffage et ECS par RCU + Pompe à Chaleur (PAC) air/eau ;
- > Scénario 3 : Chauffage et ECS par RCU + PAC eau/eau sur eaux usées (pour l'ECS) ;
- > Scénario 4 : Chauffage et ECS par RCU + Chaudière biomasse.

À noter que toutes les solutions étudiées permettent l'atteinte des objectifs RE2020 sur les critères énergétique et environnemental.

Concernant le scénario 3, la pompe à chaleur avec récupération sur eaux grises possède un taux de couverture de 100% pour l'ECS, avec production d'ECS par RCU en secours.

Par soucis de lisibilité, pour chaque tranche, les résultats présentés tiennent compte de tous les bâtiments, pondérés selon leur SHAB.

2.3 Avantages et inconvénients

Solutions	Avantages	Inconvénients
Réseau de Chaleur CPCU	- Alimenté à plus de 50% par EnR - Peu d'entretien pour l'utilisateur	- Nécessite la création d'une sous-station
Photovoltaïque	- Énergie renouvelable - Pas de fluctuation du prix de l'énergie	- Nécessite une surface conséquente pour être intéressant - Dépend de l'ensoleillement
Pompe à chaleur air/eau	- Bon rendement (COP) - Impact carbone faible	- Performance variable en fonction des conditions extérieures - Acoustique suivant l'implantation
Pompe à chaleur eau/eau avec récupération sur EU	- Bon rendement (COP) - Impact carbone faible	- Idem PAC air/eau - Mise en place d'un système de récupération des eaux grises
Chaudière biomasse	- Énergie renouvelable - Impact carbone faible	- Équipement et stockage de combustible volumineux - Livraison pellet

3. EFAE – Tranche 1

3.1 Consommation d'énergie primaire (Cep)

Les consommations d'énergie du bâtiment indiquées correspondent aux consommations conventionnelles liées au chauffage, au refroidissement, à la production d'eau chaude sanitaire, à l'éclairage et aux auxiliaires. Ces consommations ne peuvent donc être liées à l'usage réel qui sera fait du bâtiment.

N° scénario	Système	Cep (kWhEP/m ² /an)
0	RCU	66,5
1	RCU + PV	66,3
2	RCU + PAC air/eau	64,0
3	RCU + PAC eau/eau sur EU	63,4
4	RCU + Biomasse	65,6

**D'après les surfaces disponibles repérées, il a été considéré une surface de panneaux photovoltaïques de 20 m²*

La solution présentant le meilleur Cep est la solution de chauffage par RCU couplé à une pompe à chaleur eau/eau de récupération sur eaux grises.

3.2 Classes énergie et climat

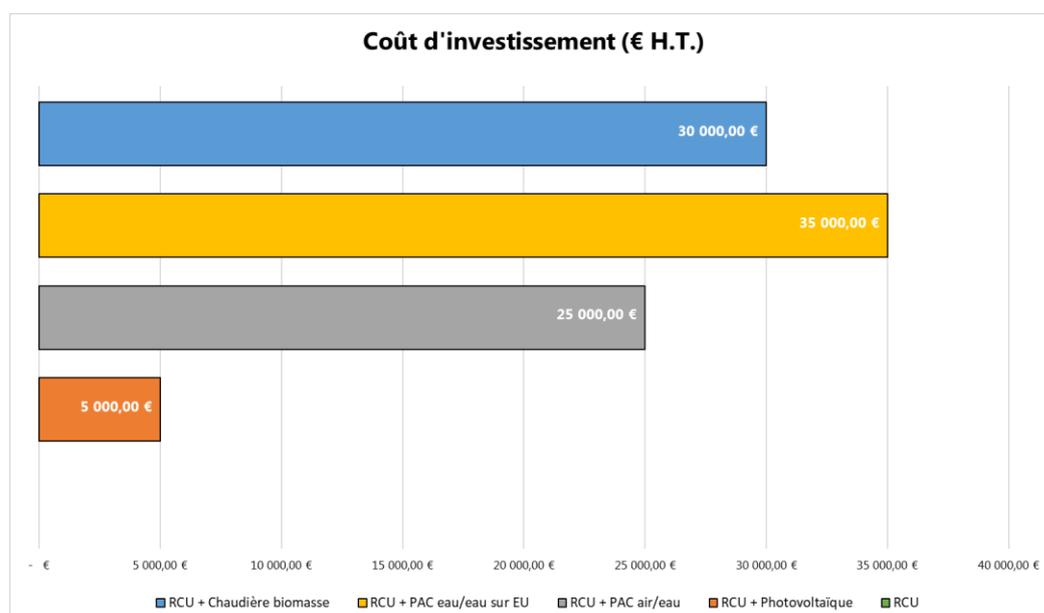
Scénario	Classe énergie	Classe climat
RCU	B	B
RCU + PV	B	B
RCU + PAC air/eau	B	B
RCU + PAC eau/eau sur EU	A	A
RCU + Biomasse	B	B

L'ensemble des scénarii permet d'atteindre des classes énergie et climat B, à l'exception de la solution incluant le raccordement au RCU ainsi que la mise en place d'une pompe à chaleur eau/eau avec récupération sur eaux grises, qui permet d'atteindre des classes A.

3.3 Performance économique

3.3.1 Coût d'investissement

Ci-dessous sont indiqués les coûts d'investissements des différentes solutions étudiées dans le cadre du projet (nota : les montants sont indiqués en € HT) :

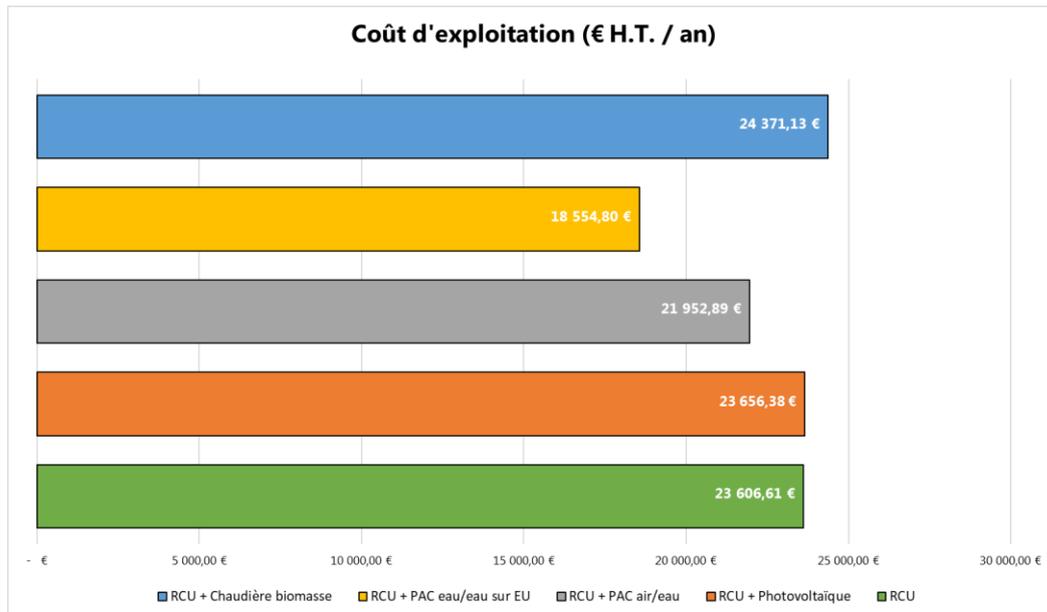


Ces montants d'investissement sont établis pour les ouvrages relatifs à la production de chaleur et d'ECS, et ne comprennent pas les équipements communs à chacun des scénarii.

Ainsi, en dehors de la solution comprenant uniquement le raccordement au RCU (commun à tous les scénarii), la solution présentant le coût d'investissement le plus faible est l'ajout de panneaux photovoltaïques.

3.3.2 Coût énergétique annuel

Ci-dessous, sont présentés les coûts d'exploitations annuels pour les différentes variantes. À noter que les consommations d'énergie considérées sont les mêmes que dans la partie Consommation d'énergie primaire.



(1) Les coûts du kWh et abonnements par énergie sont ceux indiqués dans l'arrêté du 1er décembre 2015.

(2) Les coûts P2 correspondent aux coûts d'exploitation et de maintenance en petits entretiens (contrôle des paramètres chaudières, gestion des cendres, ramonage des tubes de fumées...)

(3) Option P3 : provisions réalisées pour grosses réparations des équipements constituant de l'installation basées sur 4 % de l'investissement initial (durée de vie 25 ans). Ce coût est donné à titre indicatif mais n'est pas considéré dans le calcul du coût d'exploitation annuel, ni du temps de retour sur investissement.

Nota : Ne sont plus considérés ici les annuités P4 correspondant au remboursement de l'emprunt.

La solution présentant le coût annuel d'exploitation le plus faible est la solution de chauffage par RCU couplé à une pompe à chaleur eau/eau de récupération sur eaux grises.

3.4 Bilan économique

Il est nécessaire d'évaluer la pertinence des solutions envisagées pour le projet d'un point de vue financier. De ce fait sont calculés ici les indicateurs économiques suivants :

- > Temps de retour brut sur investissement ;
- > Temps de retour brut actualisé.

3.4.1 Temps de retour sur investissement brut

Le temps de retour brut sur investissement est calculé comme étant le surinvestissement divisé par les économies générées sur les coûts annuels P1 et P2 de la solution comparée par rapport à la solution de référence qui présente le coût d'investissement le plus faible.

Ce calcul est effectué sans évolution du prix des énergies et services.

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
	RCU	RCU + Photovoltaïque	RCU + PAC air/eau	RCU + PAC eau/eau sur EU	RCU + Chaudière biomasse
Investissement initial	0,00 €	5 000,00 €	25 000,00 €	35 000,00 €	30 000,00 €
Surinvestissement	-	5 000,00 €	25 000,00 €	35 000,00 €	30 000,00 €
Coût Consommation P1 (€ HT/an)	22 106,61 €	22 056,38 €	19 752,89 €	16 354,80 €	21 121,13 €
Entretien Equipements P2 (€ HT/an)	1 500,00 €	1 600,00 €	2 200,00 €	2 200,00 €	3 250,00 €
Economies annuelles générées (€ HT/an)	-	-49,77 €	1 653,72 €	5 051,81 €	-764,52 €
TRB (années)	-	Pas de TRIB	15 année(s)	7 année(s)	Pas de TRB

Dans le cas de l'étude, en dehors de la solution de référence la solution avec le TRIB le plus rapide est la mise en place d'une pompe à chaleur eau/eau avec récupération sur eaux grises.

3.4.2 Temps de retour sur investissement actualisé

Dans le cas du temps de retour actualisé sur investissement, l'évolution des prix de l'énergie est prise en compte, selon les taux suivants :

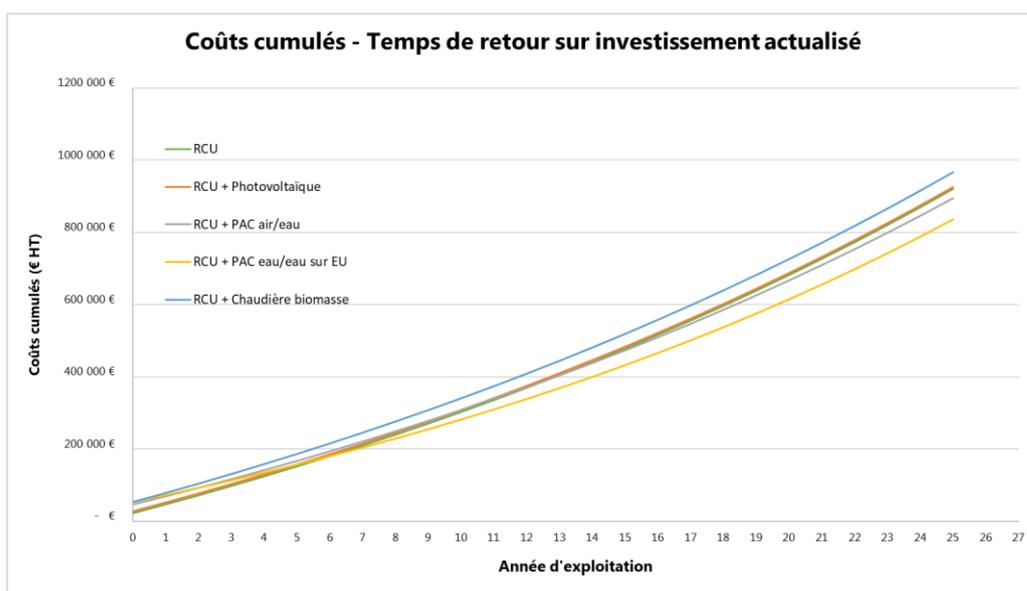
- > 5% pour l'électricité ;
- > 3% pour le bois.
- > 3% pour le RCU

De plus, une inflation de 1,5% est ajoutée sur les services (maintenance, grosses réparations) conformément à une inflation générale moyenne sur les 5 dernières années.

Ces valeurs sont issues d'une moyenne observée sur les 10 dernières années (base de données PEGASE).

Le graphique ci-dessous indique sur 25 ans les montants cumulés par année intégrant :

- > Investissement à l'année 0 ;
- > Coût d'exploitation annuel actualisé selon l'évolution des prix de l'énergie et de l'inflation (abonnement) ;
- > Coût de maintenance annuel actualisé selon l'inflation.



Coûts cumulés après 25 ans d'exploitation :

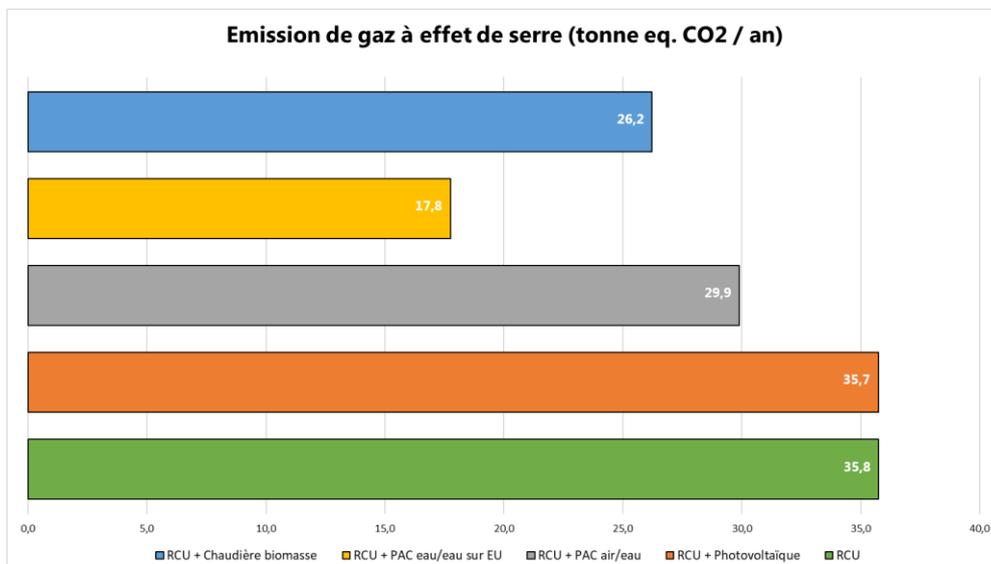
- > **RCU : 920 000 €**
- > **RCU + PV : 925 000 €**
- > **RCU + PAC air/eau : 895 000 €**
- > **RCU + PAC eau/eau sur EU : 840 000 €**
- > **RCU + Chaudière biomasse : 970 000 €**

En considérant l'actualisation et les hypothèses évoquées précédemment, le scénario le plus rentable sur la durée de vie des équipements est le raccordement au **RCU couplé à la mise en place d'une PAC eau/eau avec récupération sur eaux grises**, avec un TRIA de 6 ans.

3.5 Émissions de gaz à effet de serre

Le graphique ci-dessous indique les émissions de gaz à effet de serre sur 1 an pour chacune des solutions étudiées. Les valeurs d'émissions selon le type d'énergie suivantes ont été considérées :

- > 65 g CO₂/kWhEF pour l'électricité ;
- > 27 g CO₂/kWhEF pour le bois.
- > 188 g CO₂/kWhEF pour le RCU.



Le scénario avec les émissions de GES les plus basses est le raccordement au RCU avec la mise en place d'une pompe à chaleur eau/eau avec récupération sur eaux grises.

4. EFAE – Tranche 2

4.1 Consommation d'énergie primaire (Cep)

Les consommations d'énergie du bâtiment indiquées (transmises par AIA Environnement) correspondent aux consommations conventionnelles liées au chauffage, au refroidissement, à la production d'eau chaude sanitaire, à l'éclairage et aux auxiliaires. Ces consommations ne peuvent donc être liées à l'usage réel qui sera fait du bâtiment.

N° scénario	Système	Cep (kWhEP/m ² /an)
0	RCU	66,0
1	RCU + PV	64,6
2	RCU + PAC air/eau	63,5
3	RCU + PAC eau/eau sur EU	62,9
4	RCU + Biomasse	65,1

**Conformément aux informations transmises par AIA Environnement, il a été considéré une surface PV de 189 m²*

La solution présentant le meilleur Cep est la solution de chauffage par RCU couplé à une pompe à chaleur eau/eau de récupération sur eaux grises.

4.2 Classes énergie et climat

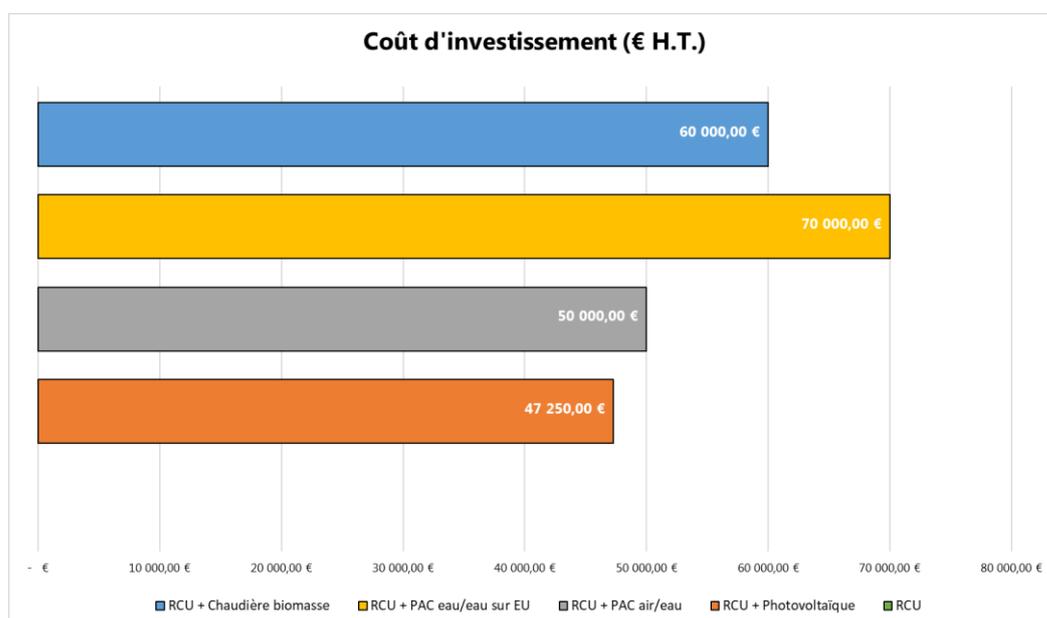
Scénario	Classe énergie	Classe climat
RCU	B	B
RCU + PV	B	B
RCU + PAC air/eau	B	B
RCU + PAC eau/eau sur EU	A	A
RCU + Biomasse	B	B

L'ensemble des scénarii permet d'atteindre des classes énergie et climat B, à l'exception de la solution incluant le raccordement au RCU ainsi que la mise en place d'une pompe à chaleur eau/eau avec récupération sur eaux grises, qui permet d'atteindre des classes A.

4.3 Performance économique

4.3.1 Coût d'investissement

Ci-dessous sont indiqués les coûts d'investissements des différentes solutions étudiées dans le cadre du projet (nota : les montants sont indiqués en € HT) :



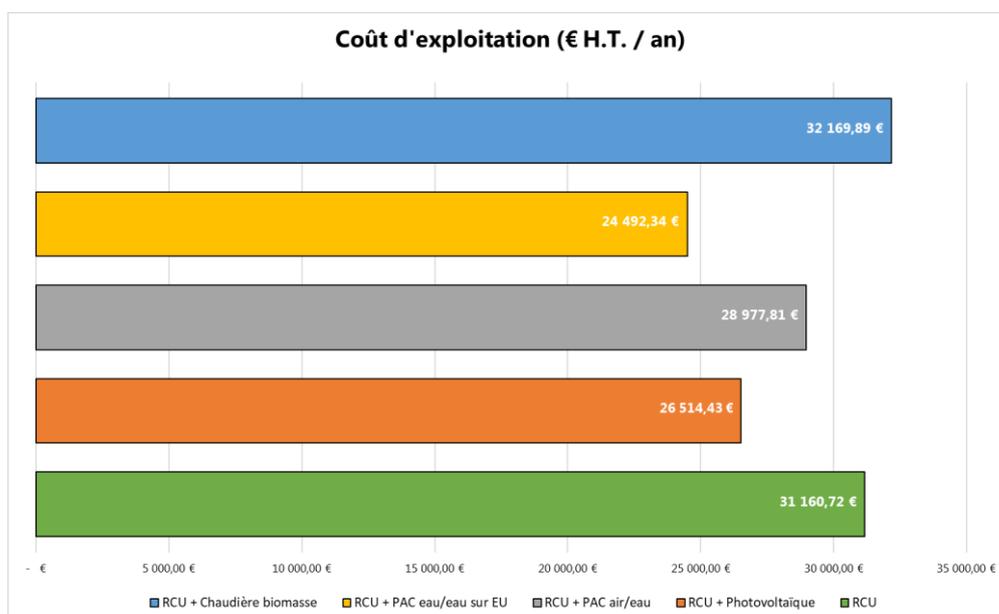
Ces montants d'investissement sont établis pour les ouvrages relatifs à la production de chaleur et d'ECS, et ne comprennent pas les équipements communs à chacun des scénarii.

Ainsi, en dehors de la solution comprenant uniquement le raccordement au RCU (commun à tous les scénarii), la solution présentant le coût d'investissement le plus faible est l'ajout de panneaux photovoltaïques.

4.3.2 Coût énergétique annuel

Ci-dessous, sont présentés les coûts d'exploitations annuels pour les différentes variantes.

À noter que les consommations d'énergie considérées sont les mêmes que dans la partie Consommation d'énergie primaire.



(1) Les coûts du kWh et abonnements par énergie sont ceux indiqués dans l'arrêté du 1er décembre 2015.

(2) Les coûts P2 correspondent aux coûts d'exploitation et de maintenance en petits entretiens (contrôle des paramètres chaudières, gestion des cendres, ramonage des tubes de fumées...)

(3) Option P3 : provisions réalisées pour grosses réparations des équipements constituant de l'installation basées sur 4 % de l'investissement initial (durée de vie 25 ans). Ce coût est donné à titre indicatif mais n'est pas considéré dans le calcul du coût d'exploitation annuel, ni du temps de retour sur investissement.

Nota : Ne sont plus considérés ici les annuités P4 correspondant au remboursement de l'emprunt.

La solution présentant le coût annuel d'exploitation le plus faible est la solution de chauffage par RCU couplé à une pompe à chaleur eau/eau de récupération sur eaux grises.

4.4 Bilan économique

Il est nécessaire d'évaluer la pertinence des solutions envisagées pour le projet d'un point de vue financier. De ce fait sont calculés ici les indicateurs économiques suivants :

- > Temps de retour brut sur investissement ;
- > Temps de retour brut actualisé.

4.4.1 Temps de retour sur investissement brut

Le temps de retour brut sur investissement est calculé comme étant le surinvestissement divisé par les économies générées sur les coûts annuels P1 et P2 de la solution comparée par rapport à la solution de référence qui présente le coût d'investissement le plus faible.

Ce calcul est effectué sans évolution du prix des énergies et services.

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
	RCU	RCU + Photovoltaïque	RCU + PAC air/eau	RCU + PAC eau/eau sur EU	RCU + Chaudière biomasse
Investissement initial	0,00 €	47 250,00 €	50 000,00 €	70 000,00 €	60 000,00 €
Surinvestissement	-	47 250,00 €	50 000,00 €	70 000,00 €	60 000,00 €
Coût Consommation P1 (€ HT/an)	29 180,72 €	24 402,43 €	26 073,81 €	21 588,34 €	27 879,89 €
Entretien Equipements P2 (€ HT/an)	1 980,00 €	2 112,00 €	2 904,00 €	2 904,00 €	4 290,00 €
Economies annuelles générées (€ HT/an)	-	4 646,30 €	2 182,91 €	6 668,38 €	-1 009,17 €
TRB (années)	-	10 année(s)	23 année(s)	10 année(s)	Pas de TRB

Dans le cas de l'étude, en dehors de la solution de référence, les solutions avec les TRIB les plus rapides sont la mise en place de panneaux photovoltaïques, et d'une pompe à chaleur eau/eau avec récupération sur eaux grises.

4.4.2 Temps de retour sur investissement actualisé

Dans le cas du temps de retour actualisé sur investissement, l'évolution des prix de l'énergie est prise en compte, selon les taux suivants :

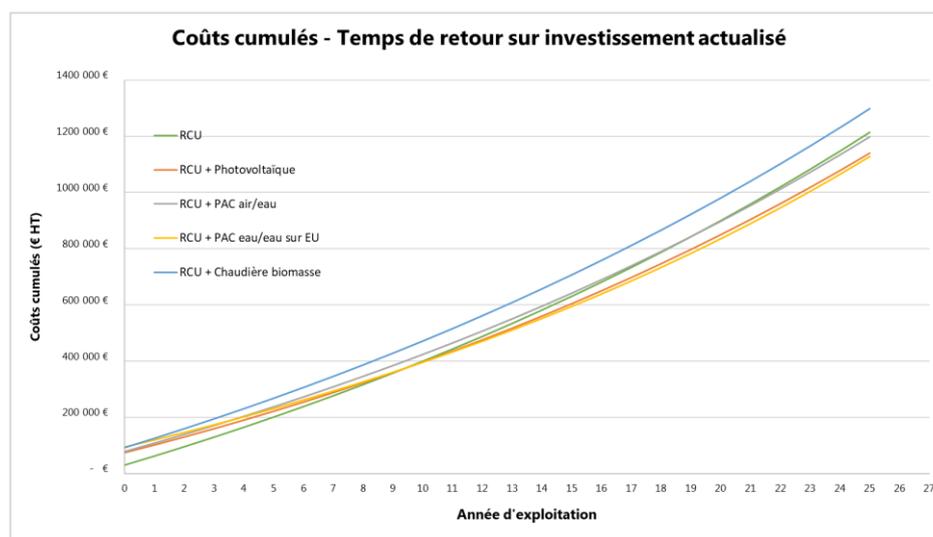
- > 5% pour l'électricité ;
- > 3% pour le bois.
- > 3% pour le RCU

De plus, une inflation de 1,5% est ajoutée sur les services (maintenance, grosses réparations) conformément à une inflation générale moyenne sur les 5 dernières années.

Ces valeurs sont issues d'une moyenne observée sur les 10 dernières années (base de données PEGASE).

Le graphique ci-dessous indique sur 25 ans les montants cumulés par année intégrant :

- > Investissement à l'année 0 ;
- > Coût d'exploitation annuel actualisé selon l'évolution des prix de l'énergie et de l'inflation (abonnement) ;
- > Coût de maintenance annuel actualisé selon l'inflation.



Coûts cumulés après 25 ans d'exploitation :

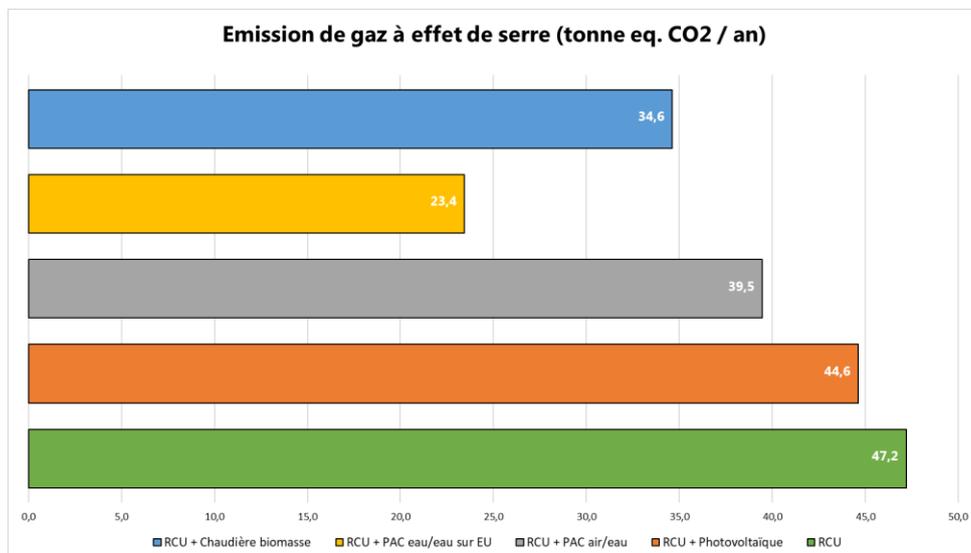
- > **RCU : 1 215 000 €**
- > **RCU + PV : 1 140 000 €**
- > **RCU + PAC air/eau : 1 200 000 €**
- > **RCU + PAC eau/eau sur EU : 1 130 000 €**
- > **RCU + Chaudière biomasse : 1 300 000 €**

En considérant l'actualisation et les hypothèses évoquées précédemment, le scénario le plus rentable sur la durée de vie des équipements est le raccordement au **RCU couplé à la mise en place d'une PAC eau/eau avec récupération sur eaux grises**, avec un TRIA de 8 ans.

4.5 Émissions de gaz à effet de serre

Le graphique ci-dessous indique les émissions de gaz à effet de serre sur 1 an pour chacune des solutions étudiées. Les valeurs d'émissions selon le type d'énergie suivantes ont été considérées :

- > 65 g CO₂/kWhEF pour l'électricité ;
- > 27 g CO₂/kWhEF pour le bois.
- > 188 g CO₂/kWhEF pour le RCU.



Le scénario avec les émissions de GES les plus basses est le raccordement au RCU avec la mise en place d'une pompe à chaleur eau/eau avec récupération sur eaux grises.

5. Conclusion

Voici un tableau récapitulatif des performances de chaque scénario pour les deux tranches, selon les différents critères présentés précédemment :

TRANCHE 1	Scénario 0	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
Critères	RCU	RCU + PV	RCU + PAC air/eau	RCU + PAC eau/eau sur EU	RCU + Chaudière biomasse
Cep	66,5	66,3	64,0	63,4	65,6
Classes DPE	B	B	B	A	B
Coût d'investissement	- €	5 000 €	25 000 €	35 000 €	30 000 €
Coût d'exploitation	23 607 €	23 656 €	21 953 €	18 555 €	24 371 €
TRIB	-	Pas de TRB	15 ans	7 ans	Pas de TRB
Coûts cumulés sur 25 ans (TRIA)	919 736 €	925 320 €	894 348 €	836 428 €	967 523 €
Émissions GES	35,8	35,7	29,9	17,8	26,2

TRANCHE 2	Scénario 0	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
Critères	RCU	RCU + PV	RCU + PAC air/eau	RCU + PAC eau/eau sur EU	RCU + Chaudière biomasse
Cep	66,0	64,6	63,5	62,9	65,1
Classes DPE	B	B	B	A	B
Coût d'investissement	- €	47 250 €	50 000 €	70 000 €	60 000 €
Coût d'exploitation	31 161 €	26 514 €	28 978 €	24 492 €	32 170 €
TRIB	-	10 ans	23 ans	10 ans	Pas de TRB
Coûts cumulés sur 25 ans (TRIA)	1 214 051 €	1 139 560 €	1 197 539 €	1 127 884 €	1 297 530 €
Émissions GES	47,2	44,6	39,5	23,4	34,6

Hormis un coût d'investissement plus élevé que les autres solutions à l'origine, la solution la plus performante sur l'ensemble des critères est le raccordement au RCU + la mise en place d'une pompe à chaleur eau/eau avec récupération d'énergie sur eaux grises.

Pour la Tranche 2, le potentiel photovoltaïque est suffisamment intéressant économiquement pour concurrencer la pompe à chaleur sur eaux grises. En revanche, sur l'aspect environnemental, la pompe à chaleur reste la solution la plus intéressante.