

Le Sommer Environnement  
39 Boulevard Beaumarchais  
75003 paris

--

T +33 1 77 45 36 50

F +33 1 40 29 43 85

--

contact@lesommer.fr

www.lesommer.fr

# ZAC Gare Ardoines – EPA ORSA

Etude des scénarios énergétiques



| Version | Date       | Modification  | Etabli par            | Vérifié par   |
|---------|------------|---|-----------------------|---------------|
| 00      | 20/06/2014 | -   | Mohammed Ben- Youssef | Victor Pichon |
| 01      | 13/08/2014 | Mise à jour suite à la réunion "stratégie énergétique" du 17 juillet 2014 | Mohammed Ben- Youssef | Victor Pichon |

## SOMMAIRE

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introduction</b> .....  | <b>3</b>  |
| 1.1      | Rappel des objectifs du SRCAE .....                                | 3         |
| <b>2</b> | <b>Hypothèses</b> .....  | <b>4</b>  |
| 2.1      | Surfaces .....   | 4         |
| 2.2      | Besoins énergétiques .....   | 4         |
| 2.3      | Rendements .....   | 4         |
| 2.4      | Emissions de CO <sub>2</sub> .....                                 | 5         |
| 2.5      | Coûts .....  | 5         |
| <b>3</b> | <b>Etude « chaud » : chauffage et ECS</b> .....                    | <b>6</b>  |
| 3.1      | Scénarios .....  | 6         |
| 3.2      | Impacts environnementaux .....                                     | 6         |
| 3.3      | Résultats .....  | 6         |
| 3.3.1    | Consommation en Energie Finale .....                               | 8         |
| 3.3.2    | Consommation en Energie Primaire .....                             | 9         |
| 3.3.3    | Emissions de CO <sub>2</sub> .....                                 | 10        |
| 3.3.4    | Déchets radioactifs .....  | 11        |
| 3.4      | Approche économique .....  | 12        |
| 3.4.1    | Coûts .....  | 12        |
| 3.4.2    | Estimation des temps de retour par rapport à la solution gaz ..... | 14        |
| <b>4</b> | <b>Etude « froid » : rafraichissement</b> .....                    | <b>15</b> |
| 4.1      | Scénarios .....  | 15        |
| 4.1.1    | Consommation en Energie Finale .....                               | 15        |
| 4.1.2    | Consommation en Energie Primaire .....                             | 15        |
| 4.1.3    | Emissions de CO <sub>2</sub> .....                                 | 16        |
| 4.1.4    | Déchets radioactifs .....  | 16        |
| <b>5</b> | <b>Conclusion</b> .....  | <b>17</b> |

# 1 Introduction

La présente étude a pour objet d'analyser l'intensité énergétique des différents scénarios énergétiques envisagés à l'échelle de la ZAC Gare Ardoines ainsi que leur pertinence environnementale.

## 1.1 Rappel des objectifs du SRCAE

Le SRCAE (Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie) de l'Île-de-France fixe des objectifs énergétiques au domaine du bâtiment, visant ainsi à contribuer aux ambitions nationales du 3x20 et du facteur 4.

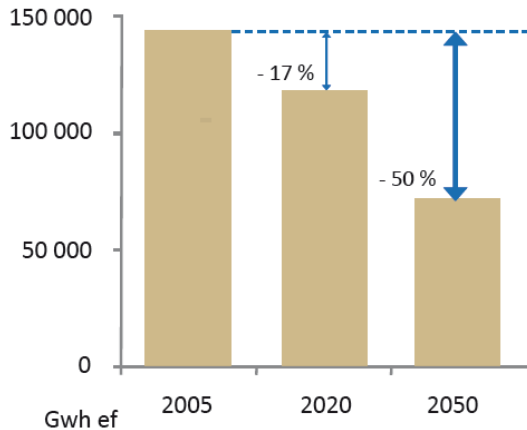


Figure 1 : Objectifs d'évolution des consommations d'énergie finale dans le bâtiment

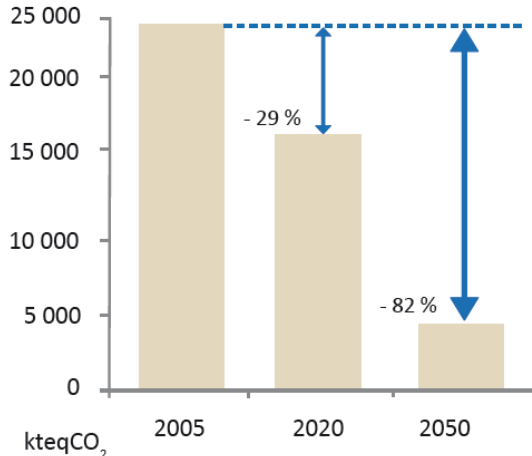


Figure 2 : Objectifs d'évolution des consommations d'émissions de gaz à effet de serre dans le bâtiment

Le développement du chauffage urbain est l'enjeu prioritaire et stratégique pour permettre une valorisation à grande échelle des énergies renouvelables et de récupération sur les territoires (géothermie notamment).

## 2 Hypothèses

Les hypothèses retenues pour l'étude décrites ci-après

### 2.1 Surfaces

| UNITÉ          |           |          |           |             |           | TOTAL   |
|----------------|-----------|----------|-----------|-------------|-----------|---------|
|                | logements | activité | tertiaire | équipements | commerces |         |
| m <sup>2</sup> | 224 330   | 80 900   | 303 839   | 33 976      | 16 756    | 659 801 |

Source : EGIS

Nota 1 : les ratios de besoins sont exprimés en kWh/m<sup>2</sup>SHON. Les surfaces de la programmation prévisionnelle étant indiquées en m<sup>2</sup> SDP, celles-ci doivent être majorées selon les ratios suivants :

- logement : 1 m<sup>2</sup> SHON = 1,1 m<sup>2</sup> SP
- commerce : 1 m<sup>2</sup> SHON = 1,03 m<sup>2</sup> SP
- tertiaire : 1 m<sup>2</sup> SHON = 1,06 m<sup>2</sup> SP
- équipement : 1 m<sup>2</sup> SHON = 1,06 SP
- activité : 1 m<sup>2</sup> SHON = 1,06 SP

### 2.2 Besoins énergétiques

|                 |           | logements             | activité              | tertiaire             | équipements           | commerces             |
|-----------------|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Besoins RT 2012 | Chauffage | 25 kWh/m <sup>2</sup> | 45 kWh/m <sup>2</sup> | 30 kWh/m <sup>2</sup> | 30 kWh/m <sup>2</sup> | 45 kWh/m <sup>2</sup> |
|                 | ECS       | 26 kWh/m <sup>2</sup> | 2 kWh/m <sup>2</sup>  | 5 kWh/m <sup>2</sup>  | 5 kWh/m <sup>2</sup>  | 2 kWh/m <sup>2</sup>  |

|               |           | logements             | activité              | tertiaire             | équipements           | commerces             |
|---------------|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Besoins BEPOS | Chauffage | 25 kWh/m <sup>2</sup> | 30 kWh/m <sup>2</sup> | 30 kWh/m <sup>2</sup> | 45 kWh/m <sup>2</sup> | 25 kWh/m <sup>2</sup> |
|               | ECS       | 26 kWh/m <sup>2</sup> | 5 kWh/m <sup>2</sup>  | 5 kWh/m <sup>2</sup>  | 2 kWh/m <sup>2</sup>  | 7 kWh/m <sup>2</sup>  |

Source : Note de cadrage des études de desserte énergétique (Mars 2014, UAV)

### 2.3 Rendements

|  | Production |
|--|------------|
| Chaudière Gaz                          | 1,04       |
| PAC sur Air                            | 2          |
| Géothermie Superficielle               | 3,5        |
| PAC Gaz sur géothermie superficielle   | 3          |
| PAC sur Géothermie profonde sur Albien | 5          |

Dogger : Les pompes des puits géothermiques au Dogger présentent une consommation de 1 kWh pour 15 kWh injectés dans le réseau.

Consommations d'électricité liées aux pompes de circulation du réseau de chaleur : 1,2% de la chaleur livrée.

**Source : Compléments ED – Note cadrage desserte énergie V2 (UAV/EnR/LSE).**

## 2.4 Emissions de CO<sub>2</sub>

|                     | CO2                       | Coef de conversion Cef - Cep |
|---------------------|---------------------------|------------------------------|
| Gaz                 | 234 gCO <sub>2</sub> /kWh | 1 kWh/m <sup>2</sup>         |
| Elec Chauffage      | 180 gCO <sub>2</sub> /kWh | 2,58 kWh/m <sup>2</sup>      |
| Elec ECS            | 40 gCO <sub>2</sub> /kWh  |                              |
| Géothermie profonde | 40 gCO <sub>2</sub> /kWh  | 1 kWh/m <sup>2</sup>         |

**Source : Compléments ED – Note cadrage desserte énergie V2 (UAV/EnR/LSE).**

## 2.5 Coûts

|                   | Installation | Maintenances P2+<br>P3 |
|-------------------|--------------|------------------------|
| Gaz               | 140 €/kW     | 8 €/kW                 |
| PAC Air           | 422 €/kW     | 36 €/kW                |
| PAC Sonde         | 2 316 €/kW   | 71 €/kW                |
| Géothermie Albien | 1 229 €/kW   | 42 €/kW                |
| Géothermie Dogger | 1 066 €/kW   | 39 €/kW                |

|                   | Energie P1   | Abonnement |
|-------------------|--------------|------------|
| Gaz               | 57,60 €/MWh  | 2,89 €/kW  |
| Electricité       | 104,20 €/MWh | 16,50 €/kW |
| SICUCV            | 88,30 €/MWh  |            |
| Géothermie Albien | 19 €/kW      |            |
| Géothermie Dogger | 2,89 €/MWh   |            |

### 3 Etude « chaud » : chauffage et ECS

#### 3.1 Scénarios

Sept scénarios ont été étudiés pour la ZAC Gare Ardoines :

1. Gaz à l'immeuble (**scénario de référence**)
2. Gaz à l'immeuble + ECS solaire couvrant 50% des besoins des logements.
3. PAC Air à l'immeuble, hors logements (pour les logements : gaz à l'immeuble)
4. Géothermie superficielle à l'immeuble
5. PAC Gaz à l'immeuble.
6. Scénario géothermie profonde sur Albien
7. Scénario géothermie profonde au Dogger + + 20% appoint PAC Géothermie superficiel

#### 3.2 Impacts environnementaux

Pour mesurer les impacts environnementaux des différents scénarios, deux indicateurs ont été choisis : l'émission de CO<sub>2</sub> et la quantité de déchets radioactifs produits.

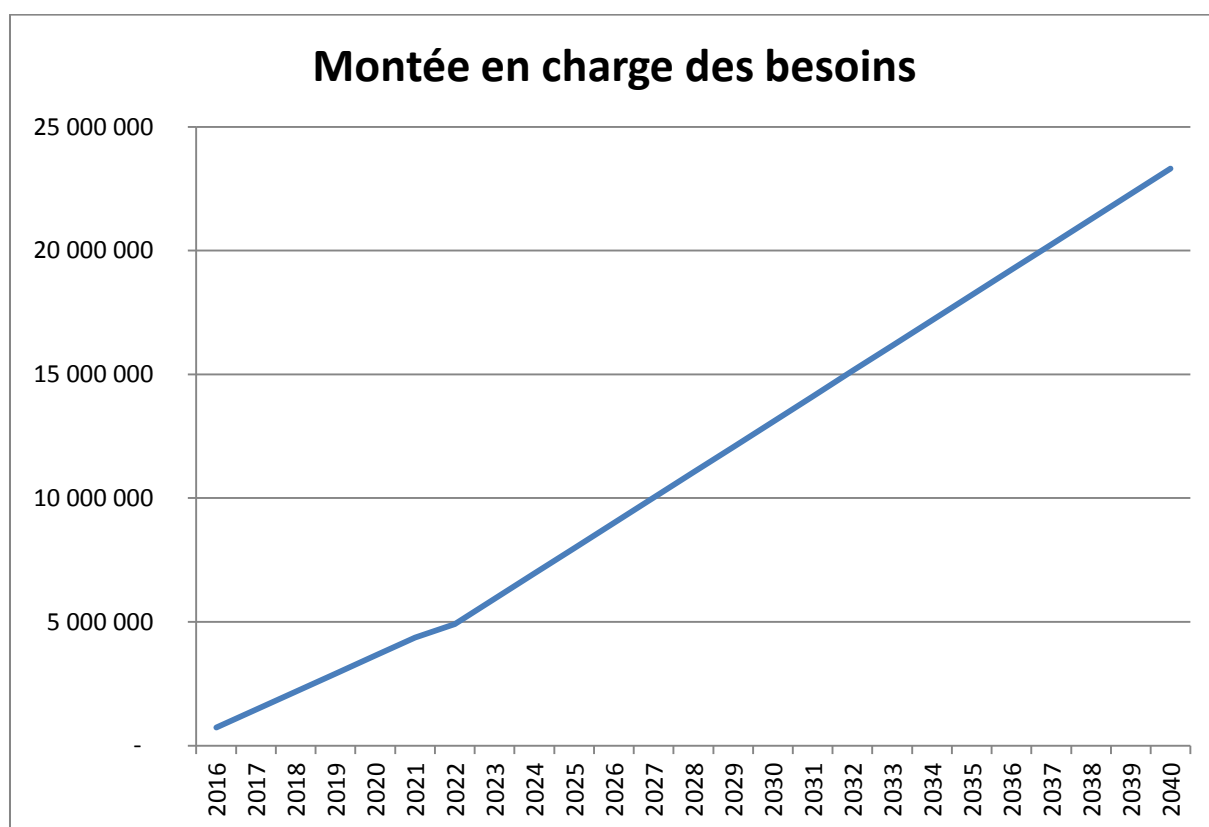
#### 3.3 Résultats

Une hypothèse de montée en charge de la puissance a été établie à partir de la programmation.

Pour le calcul des besoins énergétiques, nous considérons que la transition RT2012/2020 se fait en 2022 compte-tenu des délais de rentrée en vigueur de la réglementation et de dépôt de PC.

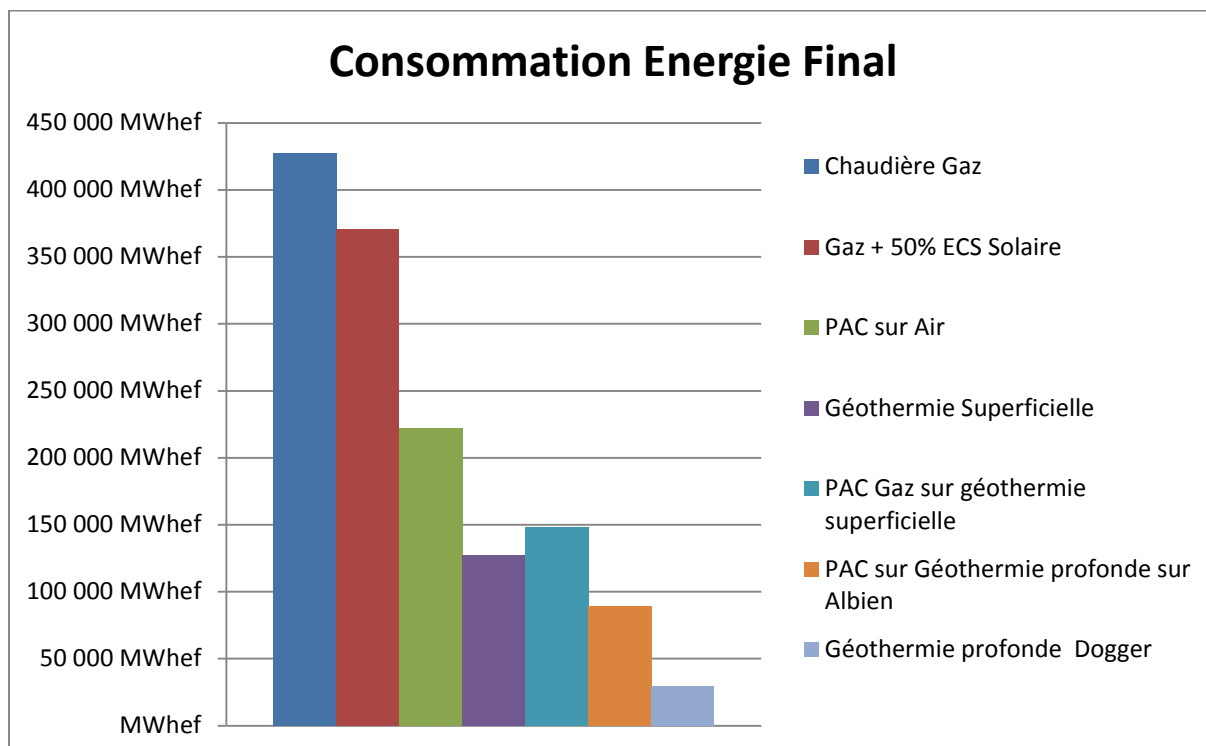
| Année | Montée en puissance | Puissance | Besoins    |
|-------|---------------------|-----------|------------|
|       | %                   | kW        | kWh        |
| 2016  | 2%                  | 589       | 727 587    |
| 2017  | 5%                  | 1 178     | 1 455 173  |
| 2018  | 7%                  | 1 767     | 2 182 760  |
| 2019  | 10%                 | 2 356     | 2 910 346  |
| 2020  | 12%                 | 2 945     | 3 637 933  |
| 2021  | 15%                 | 3 533     | 4 365 519  |
| 2022  | 17%                 | 5 008     | 4 904 315  |
| 2023  | 22%                 | 6 228     | 5 927 323  |
| 2024  | 26%                 | 7 448     | 6 950 331  |
| 2025  | 31%                 | 8 669     | 7 973 339  |
| 2026  | 35%                 | 9 889     | 8 996 347  |
| 2027  | 40%                 | 11 109    | 10 019 355 |
| 2028  | 45%                 | 12 329    | 11 042 362 |
| 2029  | 49%                 | 13 549    | 12 065 370 |
| 2030  | 54%                 | 14 769    | 13 088 378 |

|             |      |        |            |
|-------------|------|--------|------------|
| <b>2031</b> | 59%  | 15 989 | 14 111 386 |
| <b>2032</b> | 63%  | 17 209 | 15 134 394 |
| <b>2033</b> | 68%  | 18 430 | 16 157 402 |
| <b>2034</b> | 72%  | 19 650 | 17 180 410 |
| <b>2035</b> | 77%  | 20 870 | 18 203 418 |
| <b>2036</b> | 82%  | 22 090 | 19 226 426 |
| <b>2037</b> | 86%  | 23 310 | 20 249 434 |
| <b>2038</b> | 91%  | 24 530 | 21 272 441 |
| <b>2039</b> | 95%  | 25 750 | 22 295 449 |
| <b>2040</b> | 100% | 26 971 | 23 318 457 |
| <b>2041</b> | 100% | 26 971 | 23 318 457 |
| <b>2042</b> | 100% | 26 971 | 23 318 457 |
| <b>2043</b> | 100% | 26 971 | 23 318 457 |
| <b>2044</b> | 100% | 26 971 | 23 318 457 |
| <b>2045</b> | 100% | 26 971 | 23 318 457 |



D'après la programmation établie, la montée en charge des besoins énergétique de la ZAC se fera progressivement avec une croissance moins importante sur les premières années et un redressement en 2022.

### 3.3.1 Consommation en Energie Finale



|  | Consommation Energie Final | Gain |
|--|----------------------------|------|
| Chaudière Gaz                          | 427 338 MWh                | 0%   |
| Gaz + 50% ECS Solaire                  | 370 359 MWh                | 13%  |
| PAC sur Air                            | 222 216 MWh                | 48%  |
| Géothermie Superficielle               | 126 980 MWh                | 70%  |
| PAC Gaz sur géothermie superficielle   | 148 144 MWh                | 65%  |
| PAC sur Géothermie profonde sur Albien | 88 886 MWh                 | 79%  |
| Géothermie profonde Dogger             | 29 629 MWh                 | 93%  |

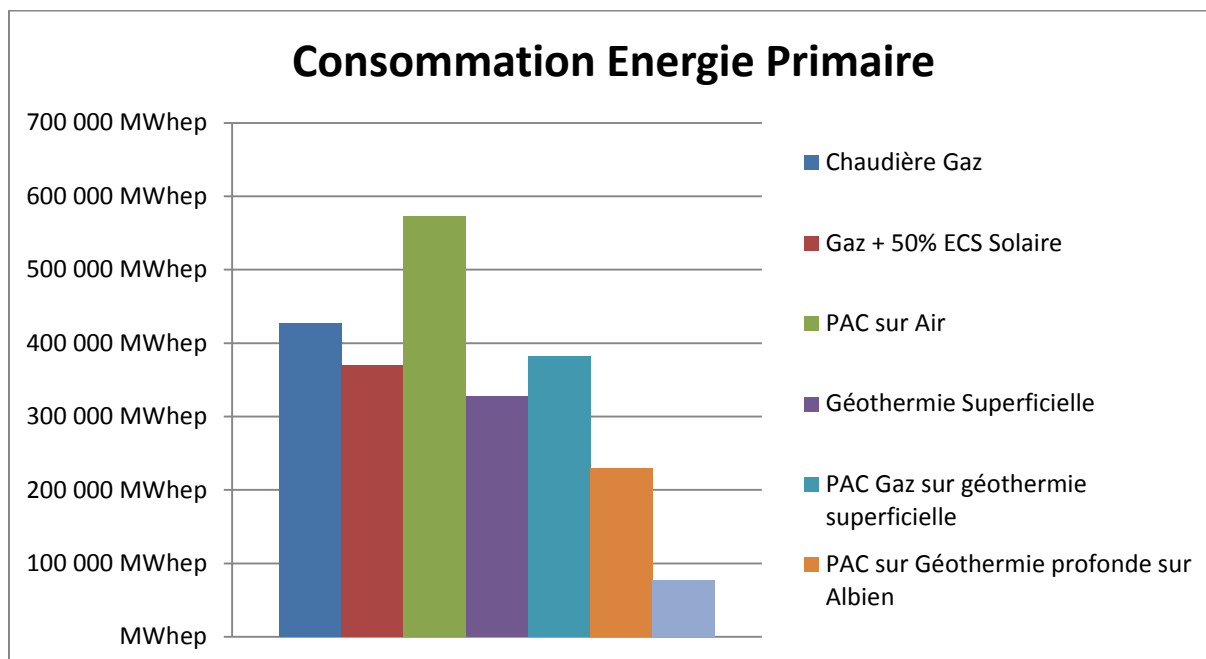
La solution Gaz + 50% de couverture d'ECS solaire pour les logements n'engendre que 12% de gains sur l'ensemble de la ZAC.

**La solution géothermie profonde sur Dogger réduit considérablement les consommations énergétique grâce à la température élevée de la nappe.** Néanmoins, des mesures régulières des températures des eaux devront être réalisées, pour évaluer l'impact du procédé sur la nappe et ne pas impacter l'équilibre de celle-ci.

Les solutions géothermiques sont les plus performantes et permettent un gain de 70% au minimum sur les consommations par rapport au scénario de référence. Cette performance est obtenue grâce aux PACs pour les scénarios géothermie superficielle et Albien, mais il faudra cependant mesurer leur performance de consommation en énergie primaire pour une comparaison plus pertinente.



### 3.3.2 Consommation en Energie Primaire

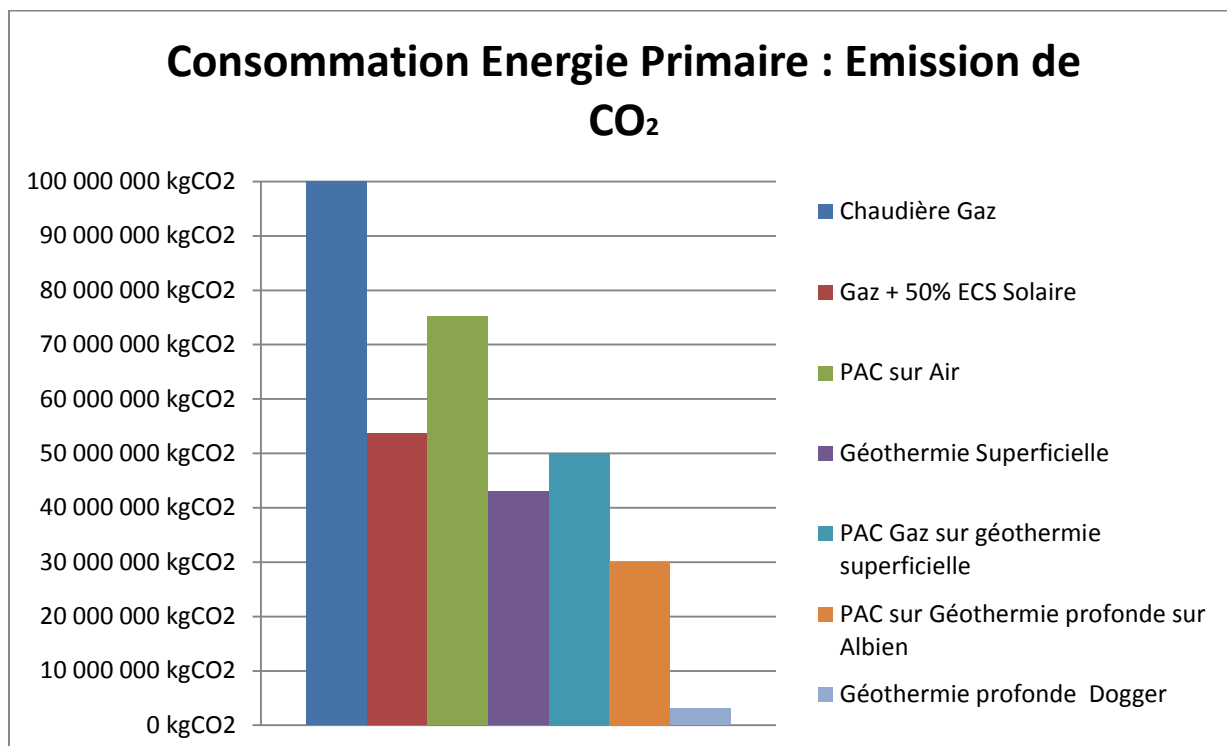


|  | Consommation Energie Primaire | Gain |
|--|-------------------------------|------|
| Chaudière Gaz                          | 427 338 MWhef                 | 0%   |
| Gaz + 50% ECS Solaire                  | 370 359 MWhef                 | 13%  |
| PAC sur Air                            | 573 316 MWhef                 | -34% |
| Géothermie Superficielle               | 327 609 MWhef                 | 23%  |
| PAC Gaz sur géothermie superficielle   | 382 211 MWhef                 | 11%  |
| PAC sur Géothermie profonde sur Albien | 229 326 MWhef                 | 46%  |
| Géothermie profonde Dogger             | 76 442 MWhef                  | 82%  |

La comparaison en énergie primaire réduit les écarts avec la solution gaz et montre que la solution PAC sur Air est moins performante que n'importe quel autre scénario.

**Les solutions de géothermie profonde restent les plus performantes** avec des gains importants (46% pour la solution Albien et **82% pour la solution Dogger par rapport au scénario de référence**).

### 3.3.3 Emissions de CO<sub>2</sub>

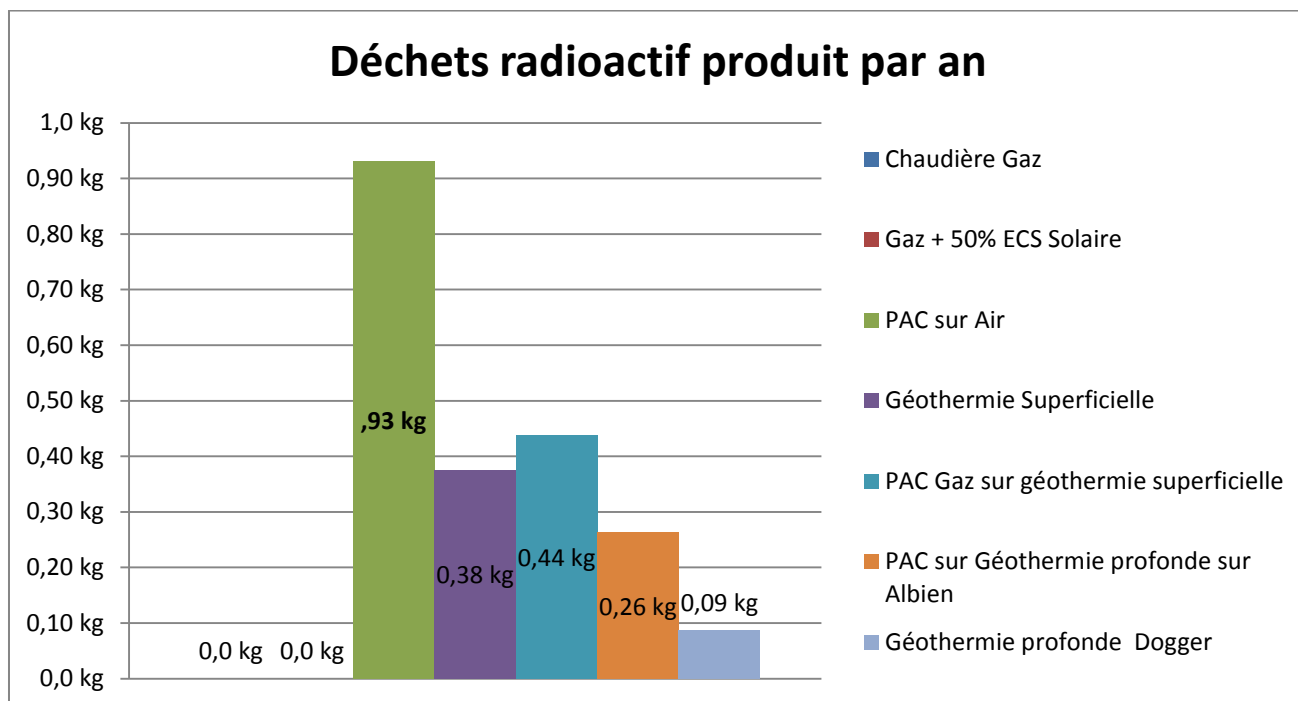


|  | Emission de CO <sub>2</sub>  | Gain |
|--|------------------------------|------|
| Chaudière Gaz                          | 99 996 985 kgCO <sub>2</sub> | 0%   |
| Gaz + 50% ECS Solaire                  | 53 723 264 kgCO <sub>2</sub> | 46%  |
| PAC sur Air                            | 75 132 812 kgCO <sub>2</sub> | 25%  |
| Géothermie Superficielle               | 42 933 035 kgCO <sub>2</sub> | 57%  |
| PAC Gaz sur géothermie superficielle   | 50 088 541 kgCO <sub>2</sub> | 50%  |
| PAC sur Géothermie profonde sur Albien | 30 053 125 kgCO <sub>2</sub> | 70%  |
| Géothermie profonde Dogger             | 3 057 686 kgCO <sub>2</sub>  | 97%  |

Les solutions géothermiques restent les plus performantes, avec une réduction d'au moins 50% des émissions de CO<sub>2</sub> par rapport au scénario de référence. Ces solutions ont donc l'impact le plus faible sur le réchauffement climatique.

**La solution géothermie profonde sur Dogger est la solution la plus performante avec une réduction de 97% des émissions de CO<sub>2</sub>.**

### 3.3.4 Déchets radioactifs



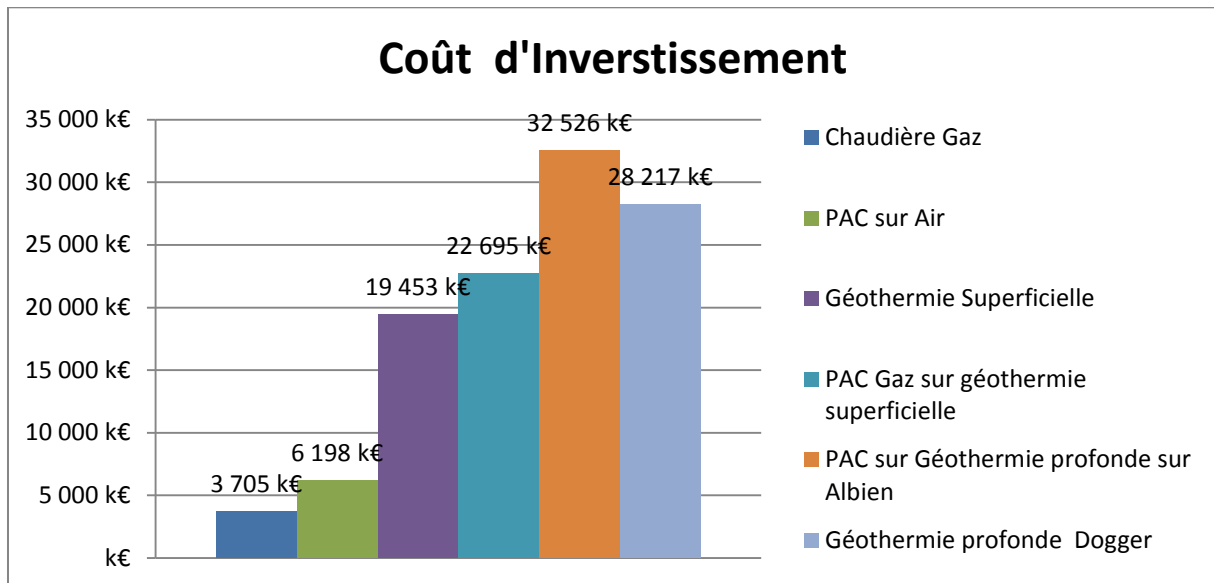
Une grande partie de notre électricité est produite par des centrales nucléaires, qui produisent des déchets radioactifs. Certains de ces déchets sont hautement radioactifs (particulièrement les déchets de haute activité), et même s'ils représentent une très faible quantité ils ne peuvent être négligés du fait de leur impact sur l'environnement.

La solution gaz produit une quantité de déchet radioactif négligeable par rapport aux autres solutions, qui sont consommatrices d'électricité.

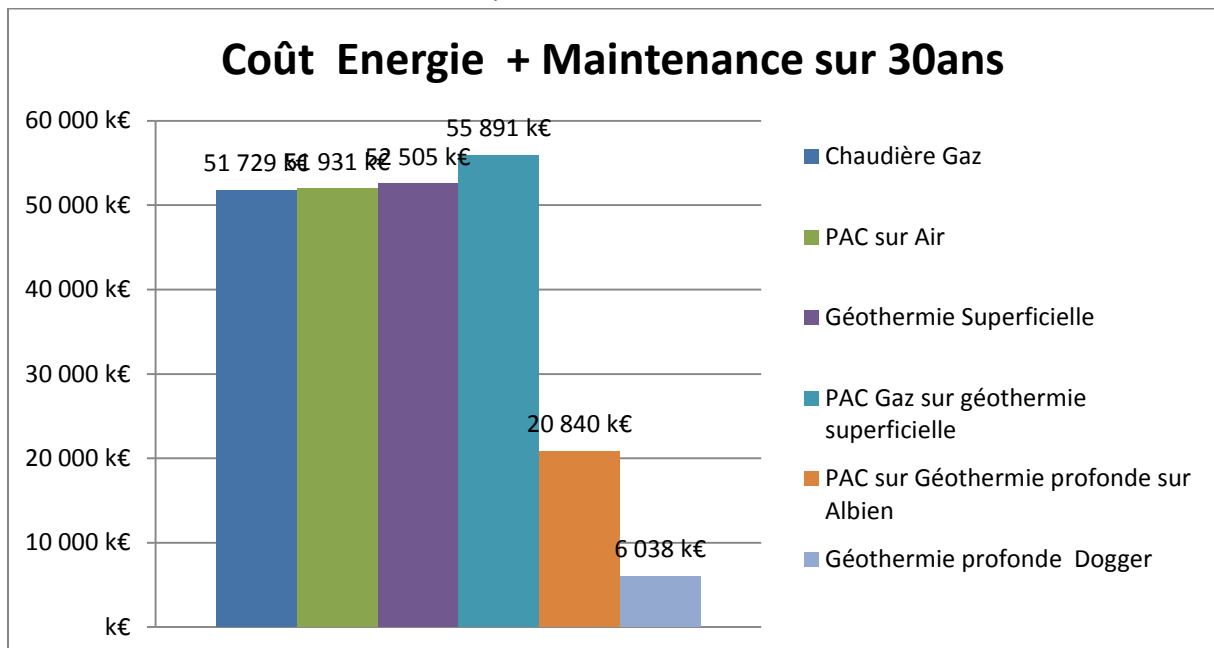
**Parmi les solutions consommatrices d'électricité, la Géothermie profonde sur Dogger est la plus performante et elle produit entre 3 à 7 fois moins de déchet radioactif que les autres solutions.**

### 3.4 Approche économique

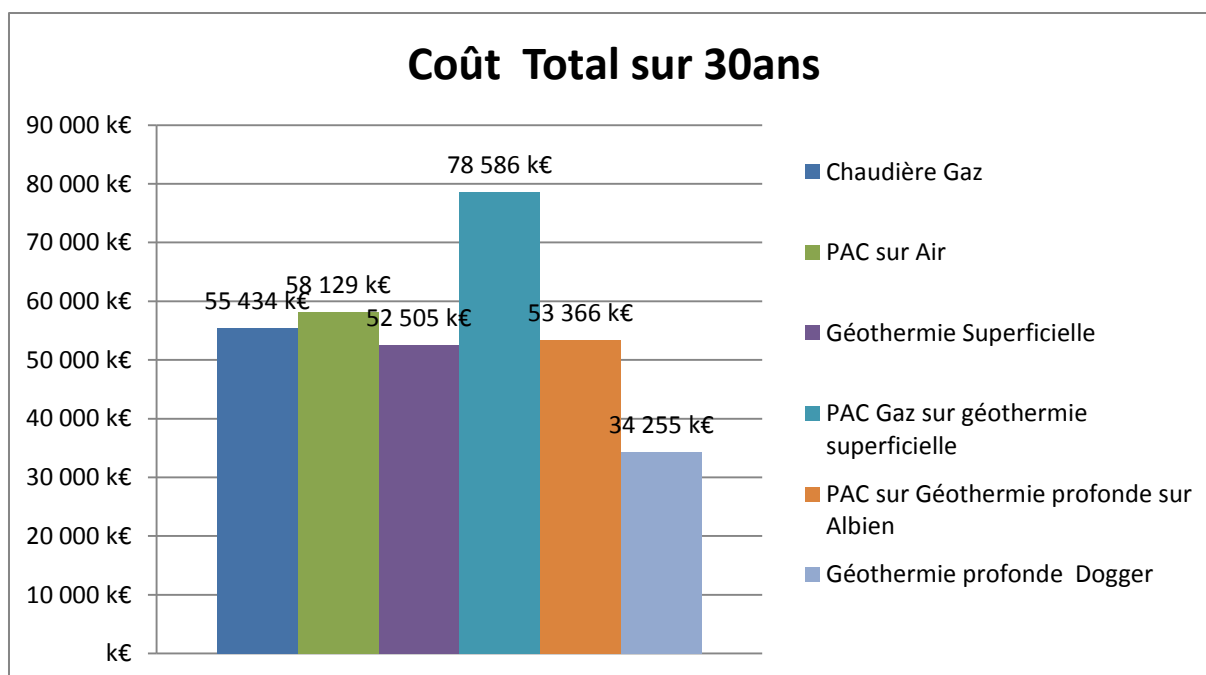
#### 3.4.1 Coûts



Les solutions géothermiques demandent le plus gros effort d'investissement, avec des investissements de 5 à 9 fois supérieurs au scénario de référence.



Les scénarios de géothermie profonde sont peu sensibles à l'évolution de l'énergie et présentent de très bons rendements. Leurs coûts de maintenance sont mutualisés et donc avantageux. Ils présentent ainsi des coûts énergétiques et de maintenance beaucoup plus faibles que les autres scénarios.

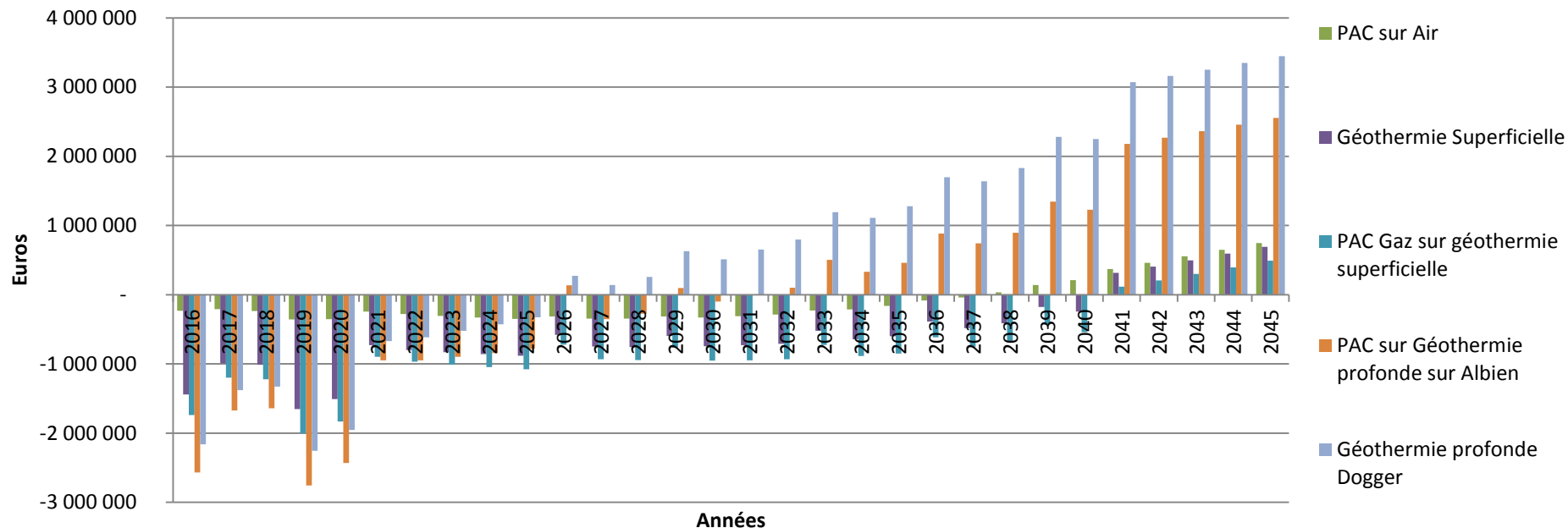


La géothermie profonde au Dogger est la seule solution réellement rentable sur 30ans. Malgré un coût d'investissement initial beaucoup plus élevé, cette solution permet des économies d'énergie importante induisant un gain économique de près de 20 millions d'euros.

Les autres solutions ont des gains annuels énergétiques qui ne sont pas suffisamment important pour amortir leurs investissements avec la montée en charge sur 30 de 2016 à 2045.

### 3.4.2 Estimation des temps de retour par rapport à la solution gaz

#### Différence de coût par rapport à la solution gaz par année



Ce graphique nous montre le gain économique annuel de chaque solution par rapport à la solution de référence. Dans ce cas nous avons un coût d'investissement dynamique dans le temps qui dépend de la montée en charge.

D'après ce graphique, la géothermie profonde commence à être rentable par rapport à la solution de référence au bout de 23ans.

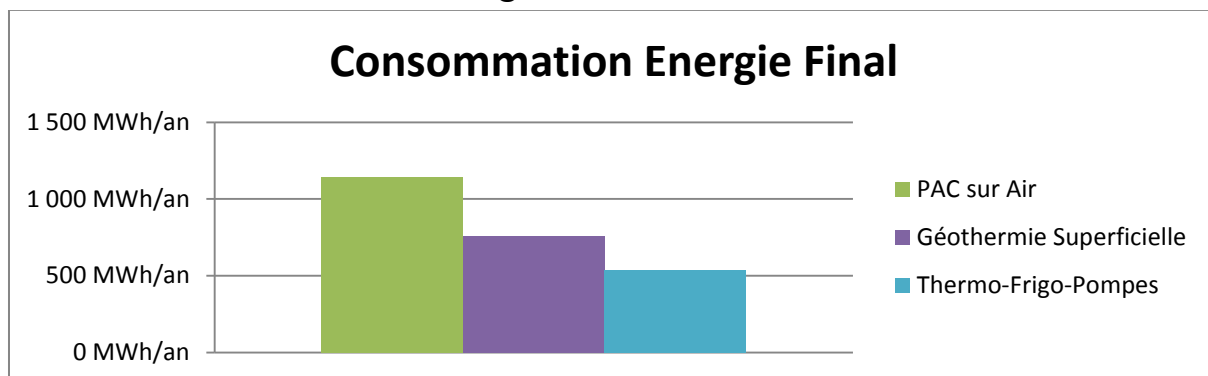
## 4 Etude « froid » : rafraichissement

### 4.1 Scénarios

Pour l'étude énergétique du froid la comparaison à été réalisé sur 3 types de système de production :

- Groupe froid sur air indépendant
- Géothermie superficielle sur sonde
- Thermo-frigo-pompes

#### 4.1.1 Consommation en Energie Finale

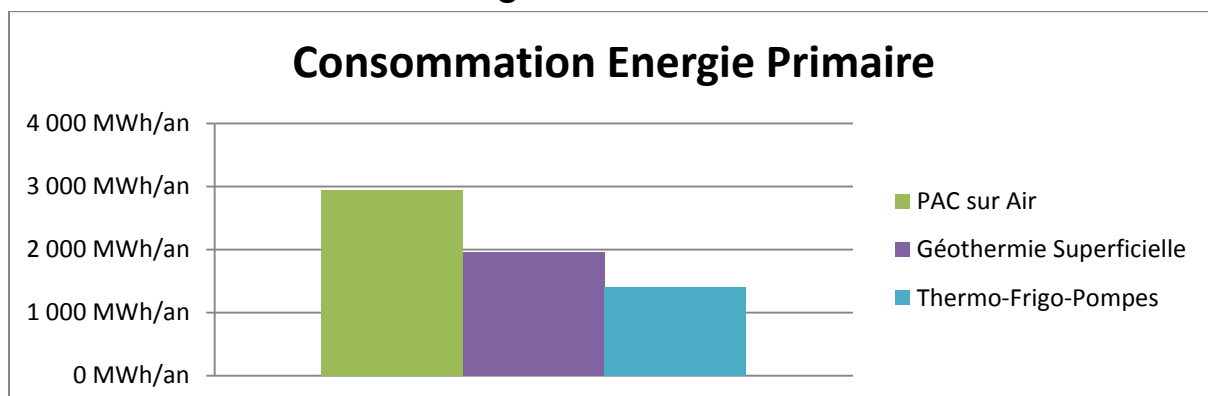


|                          | Consommation Energie final | Gain |
|--------------------------|----------------------------|------|
| PAC sur Air              | 1 141 MWh/an               | 0%   |
| Géothermie Superficielle | 761 MWh/an                 | 33%  |
| Thermo-Frigo-Pompes      | 540 MWh/an                 | 53%  |

Les consommations de froid sont beaucoup moins importantes que les consommations de chaud, elles représentent que quelque % des consommations.

**La solution Thermo-Frigo-Pompes permet un gain très important sur la solution PAC sur air (53%) et géothermie superficielle de (20%).**

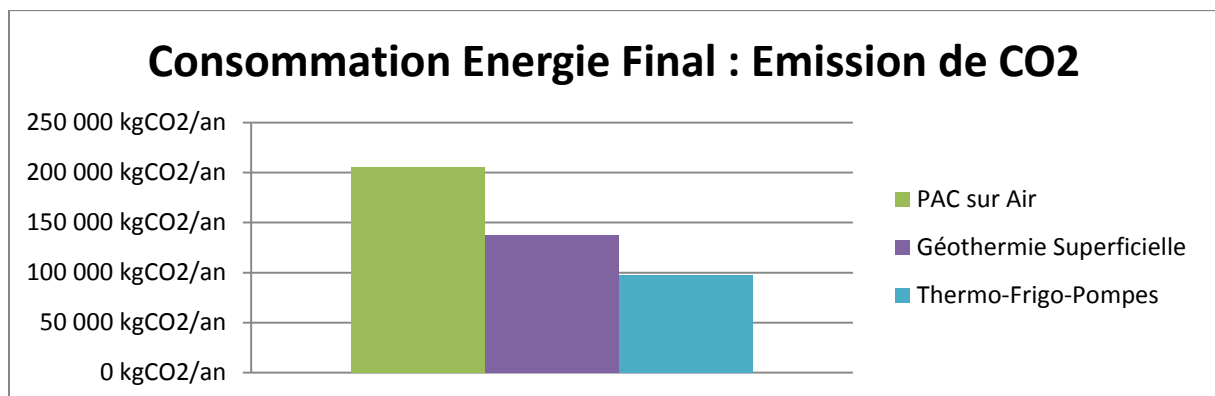
#### 4.1.2 Consommation en Energie Primaire



|                          | Consommation Energie Primaire | Gain |
|--------------------------|-------------------------------|------|
| PAC sur Air              | 2 943 MWh/an                  | 0%   |
| Géothermie Superficielle | 1 962 MWh/an                  | 33%  |
| Thermo-Frigo-Pompes      | 1 394 MWh/an                  | 53%  |

Pour la consommation en énergie primaire les gains sont identiques que pour la consommation en énergie final.

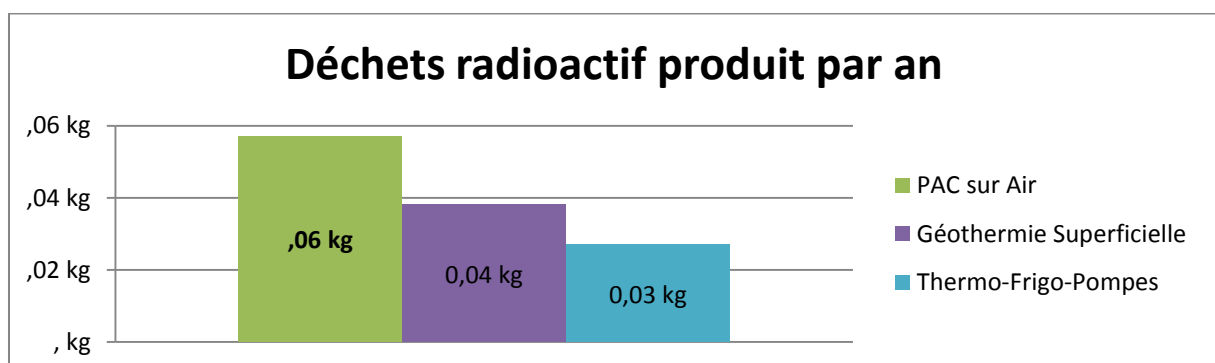
#### 4.1.3 Emissions de CO2



|                          | Emission de CO2 Energie Primaire | Gain |
|--------------------------|----------------------------------|------|
| PAC sur Air              | 529 780 kgCO2/an                 | 0%   |
| Géothermie Superficielle | 353 187 kgCO2/an                 | 33%  |
| Thermo-Frigo-Pompes      | 250 949 kgCO2/an                 | 53%  |

Les émissions de CO<sub>2</sub> ne sont pas négligeable il faudra favoriser la solution la plus performante pour réduire les impacts sur l'effet de serre et le réchauffement climatique de la planète.

#### 4.1.4 Déchets radioactifs



Les déchets radioactifs sont faibles mais sont à pondérer par rapport à la leurs durées de vie.



## 5 Conclusion

D'un point de vue environnemental il faudra favoriser la solution de production énergétique qui aura le plus faible impact. Ainsi, la solution PAC sur Air est à écarter d'emblée, mauvais élève sur l'ensemble des indicateurs étudiés.

Les solutions de géothermie sont indéniablement les plus performantes sur le plan environnemental que ce soit sur le réchauffement climatique ou la production de déchets radioactifs.

La solution qui permettra au mieux de nous approcher des objectifs du SRCAE est la solution géothermie profonde sur Dogger, avec un gain de 93% sur la consommation d'énergie finale et de 97% sur les émissions de CO<sub>2</sub> par rapport au scénario de référence.

D'un point de vu économique, seul le scénario au Dogger permet une rentabilité significative sur 30ans, malgré un coût d'investissement élevé.

Pour le froid et du fait de leur excellent rendement, les thermo-frigo-pompes sont à privilégier devant les autres solutions.