MAIRIE DE PARIS

PRICEWATERHOUSECOOPERS

PwC - ECOBILAN

Bilan environnemental du système d'alimentation en eau non potable de Paris

Selon la méthode de l'analyse du cycle de vie

Rapport post-revue critique préparé pour

la Mairie de Paris

Revue critique organisée par Prolog-Ingénierie, Cabinet Gingko21, et M Henri Lecouls

février 2010

Préparé par PwC - ECOBILAN

SOMMAIRE

SOMMAIRE 2

RESUME DE L'ETUDE 8

1 Contexte de l'étude et approche utilisée 8

2 Résultats 8

3 Organisation du rapport 10

SECTION I - INTRODUCTION GÉNÉRALE 11

4 Contexte de l'étude 11

5 Objectifs de l'étude 13

6 Destinataires de l'étude 13

SECTION II - DÉFINITION DU CHAMP DE L'ÉTUDE 14

7 Méthodologie utilisée 14

8 Unité fonctionnelle et produits étudiés 14

8.1 Unité fonctionnelle 14
8.2 Quantités d'eau se rapportant à l'unité fonctionnelle 14

9 Frontières des systèmes étudiés 19

9.1 Présentation des systèmes correspondant aux scénarios étudiés 19
9.2 Délimitation des frontières des systèmes 21
9.3 Procédure d'allocation pour les coproduits 22
9.4 Prise en compte de la valorisation énergétique et de la valorisation matière 22

10 Flux et impacts environnementaux étudiés 23

10.1 Flux environnementaux et indicateurs énergétiques 23
10.2 Indicateurs d'impacts environnementaux 23
10.3 Indicateurs utilisés pour l'évaluation des scénarios étudiés 25
10.4 Normation 25

11 Exigences relatives à la qualité des données 25

12 Revue critique 27

SECTION III - CALCUL DE L'INVENTAIRE : RECUEIL DES DONNÉES ET HYPOTHÈSES DE CALCUL 28

13 Mode de collecte des informations 28

14 Modélisation des systèmes et outil de calcul des inventaires 28

15 Données communes aux différents scénarios 29

15.1 Production et distribution 29
15.2 Travaux 29
15.3 Assainissement 30

16 Données spécifiques aux différents scénarios 32

16.1 Scénario 1 32
16.2 Scénario 2 33

17 Modélisation des transports 33

18 Modélisation de la fin de vie des boues de traitement 34

18.1 Valorisation en cimenterie 34
18.2 Mise en décharge de classe II 35

19 Modélisation de la fin de vie des canalisations 35

20 Hypothèses et sources des données sur le transport et la production d'électricité 36

20.1 Modèle de transport 36
20.2 Modèles de production de l'électricité 37

SECTION IV - LIMITATIONS DE L'ÉTUDE 38

21 Limitations liées aux choix de périmètre et de modélisation 38

21.1 Diminution des consommations entre scénarios 1 et 2 38
21.2 Non prise en compte des réactifs à l'étape d'assainissement 38

22 Limitations liées à la disponibilité des données 38

SECTION V : RÉSULTATS 39

23 Présentation des impacts par étape pour le scénario actuel 39

23.1 Consommation d'énergie primaire totale 39
23.2 Épuisement des ressources non renouvelables 40
23.3 Emissions gaz à effet de serre 41
23.4 Eutrophisation 42
23.5 Synthèse des impacts 42

24 Comparaison des performances environnementales des différents scénarios étudiés 44

24.1 Consommation d'énergie primaire totale 44
24.2 Epuisement des ressources non renouvelables 46
24.3 Consommation d'eau 47
24.4 Emissions de gaz à effet de serre 49
24.5 Acidification atmosphérique 51
24.6 Formation d'oxydants photochimiques 52
24.7 Eutrophisation des eaux 53
24.8 Rejets de matières en suspension 55
24.9 Emissions de poussières 56
24.10 Emissions de métaux lourds dans l'air 57
24.11 Production de déchets 58

SECTION V - ANALYSES DE SENSIBILITÉ 59

25 Analyses de sensibilité effectuées 59

26 Résultats 59

26.1 Diminution de la consommation EP ou transfert d'usage de l'EP vers l'ENP 59
26.2 Recherche de point de basculement entre scénario 1 et 2 suivant le paramètre du rendement du réseau ENP 61
26.3 Consommation EP pour des usages ENP de 35 000 m^3/j au lieu de 25 900 m^3/j pour le scénario 2 après report sur l'EP 62
26.4 Recherche de point de basculement entre scénario 1 et 2 suivant le paramètre du ratio énergétique de production d'ENP 63

SECTION VI - NORMATION 65

27 Hypothèses de normation 65

28 Résultats 66

ANNEXE I - MODÉLISATION DE LA MISE EN DÉCHARGE 67

ANNEXE II – DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES 72

29 Données secondaires 72

30 Part des consommables dont la production est exclue des systèmes 74

ANNEXE III – COMMENTAIRES DE LA REVUE CRITIQUE 75

31 Commentaires concernant la partie méthodologique de l'étude 76

32 Commentaires concernant les résultats de l'étude 87

32.1 Contribution de M Henri Lecouls 87
32.2 Contribution de Gingko 21 (Mme Hélène Teulon) 91

ANNEXE IV – DÉFINITIONS 95

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Synthèse des écarts entre les deux principaux scénarios étudiés 10
Tableau 2 - Hypothèses de dimensionnement ENP : scénario actuel 15
Tableau 3 - Hypothèses de dimensionnement ENP : scénario 1 16
Tableau 4 - Hypothèses de dimensionnement EP : scénario actuel et scénario 1 17
Tableau 5 - Hypothèses de dimensionnement EP : scénario 2 18
Tableau 6 : Indicateurs d'impacts environnementaux analysés 24
Tableau 7 - Relèvement total en assainissement par destination 31
Tableau 8 – Répartition des eaux d'assainissement par destination 31
Tableau 9 – Scénario 1 / Hypothèse basse : linéaire remplacé par diamètre 32
Tableau 10 – Scénario 1 / Hypothèse haute : linéaire remplacé par diamètre 32
Tableau 11 - Transport des réactifs et consommables principaux pour la production et la distribution 34
Tableau 12 - Transport des boues 34
Tableau 13 - Taux de piégeage et taux de destruction des polluants présents dans les boues lors de la combustion en cimenterie 35
Tableau 14 - Origine de l'électricité dans les pays concernés par l'étude 37
Tableau 15 - Résultats par impact pour le scénario actuel 43
Tableau 16 - Consommation d'énergie primaire totale 45
Tableau 17 - Epuisement des ressources non renouvelables 46
Tableau 18 - Répartition de la consommation entre eau superficielle et eau souterraine 47
Tableau 19 - Consommation d'eau 48
Tableau 20 - Emissions de gaz à effet de serre 50
Tableau 21 - Acidification de l'air 51
Tableau 22 - Formation d'oxydants photochimiques 53
Tableau 23 - Eutrophisation des eaux 54
Tableau 24 - Rejets de matières en suspension 55
Tableau 25 - Emissions de poussières 56
Tableau 27 - Emissions de métaux lourds dans l'air 57
Tableau 26 - Production de déchets 58
Tableau 28 - Diminution de la consommation EP ou transfert d'usage de l'EP vers l'ENP 60
Tableau 29 - Energie primaire totale : recherche d'un point de basculement suivant le paramètre du rendement du réseau ENP 61
Tableau 30 - Consommation d'eau : recherche d'un point de basculement suivant le paramètre du rendement du réseau ENP 61
Tableau 31 - Emissions de gaz à effet de serre : recherche d'un point de basculement suivant le paramètre du rendement du réseau ENP 62
Tableau 32 - Consommation EP pour des usages de 35 000 m^3/j au lieu de 25 900 m^3/j pour le scénario 2 après report sur l'EP 63
Tableau 33 - Energie primaire totale : recherche d'un point de basculement suivant le paramètre du ratio énergétique de production d'ENP 64
Tableau 34 - Emissions de gaz à effet de serre : recherche d'un point de basculement suivant le paramètre du ratio énergétique de production d'ENP 64
Tableau 35 - Tableau de normation (impacts annuels d'un Français moyen) 65
Tableau 36 - Impacts normalisés par scénario 66
Tableau 37: Part des consommables dont la production est exclue des systèmes 74

Liste des figures

Figure 1 - Carte du réseau structurant ENP 12
Figure 2 - Frontières des systèmes étudiés 20
Figure 3 - Sc actuel - Consommation d'énergie primaire totale 39
Figure 4 - Sc actuel - Épuisement des ressources non renouvelables 40
Figure 5 - Sc actuel - Emissions de gaz à effet de serre 41
Figure 6 - Sc actuel – Eutrophisation 42
Figure 7 - Consommation d'énergie primaire totale 44
Figure 8 – Epuisement des ressources non renouvelables 46
Figure 9 - Consommation d'eau 47
Figure 10 - Emissions de gaz à effet de serre 49
Figure 11 - Emissions de gaz acidifiants 51
Figure 12 - Formation d'oxydants photochimiques 52
Figure 13 - Eutrophisation des eaux 53
Figure 14 - Rejets de matières en suspension 55
Figure 15 - Emissions de poussières 56
Figure 17 – Emissions de métaux lourds dans l'air 57
Figure 16 - Déchets totaux 58

Distribution et utilisation du présent rapport

Notre rapport est adressé à l'attention de la Mairie de Paris dans le cadre de l'accord du 30 avril 2009. La Mairie de Paris nous a fait de part de son intention de le diffuser à une large audience. Nous n'accepterons aucune responsabilité vis-à-vis de tout tiers à qui le rapport aurait été montré ou dans les mains desquels il serait parvenu, l'utilisation du rapport par leurs soins relevant de leur seule responsabilité.

Nous vous rappelons que cette étude est fondée seulement sur les faits, circonstances et hypothèses qui nous ont été soumis et qui sont précisés dans le rapport. Si ces faits, circonstances ou hypothèses diffèrent, nos conclusions sont susceptibles de changer.

De plus, il convient de considérer les résultats de l'étude dans leur ensemble au regard des hypothèses, et non pas pris isolément.

Suite aux observations faites lors de la revue critique et aux corrections proposées, ce rapport définitif fait apparaître, pour le scénario 2, des valeurs d'impacts légèrement différentes de celles qui figuraient dans le pré-rapport diffusé en novembre 2009, sur lequel s'est appuyée la présentation faite lors de la conférence de consensus sur l'eau non potable du 3/12/2009. Il est précisé que ces corrections ne modifient pas la hiérarchie des deux scénarios comparés, ni les conclusions que l'on peut tirer de cette étude.

Nous rappelons donc que seule la version papier avec les commentaires du panel de la revue critique fait foi.

RESUME DE L'ETUDE

1 Contexte de l'étude et approche utilisée

La Mairie de Paris a sollicité le département Développement Durable de PwC Advisory (« PwC-Ecobilan ») pour quantifier et comparer les impacts environnementaux de deux scénarios prospectifs pour le réseau d'eau non potable (ENP) de la ville de Paris : le scénario 1 correspond à la remise à niveau du réseau ENP, tandis que le scénario 2 consiste à transférer les usages actuels de l'ENP sur le réseau d'eau potable (EP) ou sur des ressources en eau brute spécifiques et à abandonner progressivement le réseau ENP.

L'étude a été menée en utilisant la méthodologie de l'analyse du cycle de vie à l'aide de données recueillies auprès des différents acteurs du marché de l'eau à Paris complétées par la base de données de la société PwC-Ecobilan.

L'analyse du cycle de vie est une méthode normalisée qui permet d'évaluer les impacts potentiels d'un produit ou d'un service sur l'environnement durant l'ensemble des étapes de sa vie, de l'extraction des ressources naturelles jusqu'au traitement final des déchets. L'étude a été réalisée conformément à la série des normes ISO 14040 et ISO 14044 (Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Exigences et lignes directrices, 2006).

Signalons enfin que l'analyse des performances environnementales des deux scénarios comparés ne peut suffire à documenter la prise de décision sur un sujet de ce type, et qu'à ce titre une étude de réflexion sur les usages de l'ENP conjointe à la présente Analyse du cycle de vie est en cours à la date de rédaction de ce rapport.

Pour évaluer les impacts des deux scénarios étudiés sur l'environnement, l'étude propose les indicateurs suivants :

- Consommation d'énergie primaire totale
- Épuisement des ressources non renouvelables
- Consommation d'eau par origine
- Émissions de gaz à effet de serre
- Acidification atmosphérique
- Formation d'oxydants photochimiques
- Eutrophisation des eaux
- Rejets de matières en suspension (MES)
- Emissions de poussières
- Emissions de métaux lourds dans l'air
- Production de déchets

À l'issue de la phase méthodologique, une revue critique des hypothèses et des résultats a été menée par Prolog Ingénierie, le cabinet Gingko 21, et M. Henri Lecouls.

À l'issue de la phase de calcul des résultats, une seconde revue critique est également menée par Prolog Ingénierie, le cabinet Gingko 21, et M. Henri Lecouls.

2 Résultats

Les résultats qui ressortent de notre étude montrent que les impacts des systèmes étudiés sont surtout liés à la consommation d'électricité aux étapes de production et d'assainissement et à la production de

produits chimiques lors de la phase de production d'eau potable. En particulier les étapes de travaux de renouvellement ou de rénovation ne sont pas significativement impactantes.

On distingue alors deux effets opposés qui orientent l'impact global des solutions comparées :

- « Effet **volumes** » : dans le scénario 1 (remise à niveau du réseau ENP), les quantités d'eau produites sont plus importantes que dans le scénario 2 en raison de l'effet cumulé du rendement (plus faible sur le réseau ENP que sur le réseau EP) et des modifications de comportement liées à la substitution par de l'eau potable dans le cas du scénario 2. Cet effet est donc en faveur du scénario 2 (transfert des usages actuels de l'ENP sur le réseau EP)
- « Effet **consommation d'électricité rapportée au m^3 d'eau distribué** » : sur la base de la collecte réalisée, l'énergie électrique consommée par m^3 d'EP distribué est plus importante que pour l'ENP. Ceci signifie que les volumes reportés sur l'EP demandent un pompage plus important pour un volume donné. De manière plus marginale au regard de l'analyse réalisée sur la contribution des réactifs à l'étape de production de l'EP, les volumes reportés sur l'EP demandent une quantité de réactifs plus importante, d'où des impacts plus importants. Cet effet est en faveur du scénario 1

Les résultats de la modélisation montrent que l'effet « volumes » compense l' « effet consommation d'électricité ». Cela peut s'expliquer par ces deux constats :

- Le ratio énergétique (inclut la production de l'eau, la production des réactifs dans le cas de l'EP, la surpression de l'eau, l'assainissement de l'eau) de l'EP est de 511 Wh élec/m^3 soit un peu moins du double de celui de l'ENP (278 Wh élec/m^3)
- L'abandon du réseau ENP permet de réduire d'un facteur 2 la consommation d'eau initialement nécessaire à la satisfaction des utilisateurs du réseau d'ENP, (117 500 m^3 dans le cas du scénario 1, 58 500 m^3 dans le cas du scénario 2), principalement grâce à la suppression des fuites sur le réseau (bouches de lavage et fuites primaires).

Au regard des impacts moyens des Français dans leur vie quotidienne :

- L'impact prioritaire et discriminant de l'étude est la consommation d'eau, en faveur du scénario 2 (abandon du réseau ENP) qui représente un gain de 7%, soit la consommation de 150 000 parisiens environ
- Dans une moindre mesure : la consommation d'énergie et l'épuisement des ressources non renouvelables ainsi que la production de déchets

Au final les différences constatées entre les deux scénarios principaux étudiés sont peu marquées, mais elles sont en général en faveur du scénario 2 (-18% à +3% de différence entre les scénarios selon les indicateurs), comme montré dans le tableau de synthèse suivant, pour lequel les impacts sont exprimés en relatif d'un scénario à l'autre sur une base 100 :

Tableau 1 - Synthèse des écarts entre les deux principaux scénarios étudiés

	Maintien du réseau ENP		Abandon du réseau ENP	
Nom de l'impact	Sc1 (hyp 1)	Sc1 (hyp 2)	Sc2	Sc2 - Sc1
Énergie primaire totale	100%	102%	98%	-2% à -4%
Épuisement des ressources non renouvelables	100%	101%	99%	-1% à -2%
Consommation d'eau	100%	102%	93%	-7% à -9%
Effet de serre	100%	101%	97%	-3% à -4%
Acidification de l'air	100%	101%	99%	-1% à -2%
Production d'oxydants photochimiques	100%	101%	100%	0% à -1%
Eutrophisation de l'eau	100%	101%	95%	-5% à -6%
Rejets de MES	100%	101%	102%	+1% à +2%
Émissions de poussières (non spécifiées)	100%	101%	100%	0% à -1%
Production de déchets totaux	100%	100%	103%	+2% à +3%
Émissions de métaux lourds	100%	101%	83%	-17% à -18%

La hiérarchie constatée entre les scénarios 1 et 2 n'est pas remise en cause par les différente analyses de sensibilité réalisées sur :

- Les hypothèses de rendement du réseau ENP après remise à niveau, ou les hypothèses de ratio énergétique de production d'ENP
- Les consommations d'EP utilisée pour des usages ENP
- Les évolutions globales de la consommation d'EP dans le cas des scénarios 1 ou 2
- Le transfert des usages de l'EP vers l'ENP dans le cas du scénario 1.

Remarquons cependant qu'il est possible qu'une combinaison des hypothèses servant aux différentes analyses de sensibilité amène à une inversion de la hiérarchie constatée. Cette inversion se ferait cependant avec des différences peu marquées entre scénarios 1 et 2.

3 Organisation du rapport

Ce rapport est organisé de la manière suivante :

- La section I donne une introduction générale de l'étude
- La section II décrit le champ de l'étude (méthodologie ACV, définition de l'unité fonctionnelle, frontières du système, flux et impacts étudiés)
- La section III précise les modalités de la collecte et les hypothèses de calcul retenues
- La section IV présente les limitations de l'étude
- La section V rassemble les résultats de l'étude
- La section VI présente les analyses de sensibilité réalisées
- La section VII présente une synthèse des commentaires de la revue critique

SECTION I - Introduction Générale

4 Contexte de l'étude

La consommation journalière de Paris est aujourd'hui d'environ 550 000 m^3 par jour en eau potable[1] (EP) et de 77 000 m^3 par jour en eau non potable (ENP). Cette eau est produite par la Régie Eau de Paris (anciennement par la société d'économie mixte Société Anonyme de Gestion des Eaux de Paris – SAGEP), à partir d'eaux superficielles dans le cas de l'ENP et d'eaux superficielles et souterraines dans le cas de l'EP. Elle est ensuite distribuée par deux sociétés délégataires : Eau de Force (filiale de la Lyonnaise des Eaux) sur la rive gauche et la Compagnie des Eaux de Paris (filiale de Veolia Eau) sur la rive droite. Fin 2009, la Régie Eau de Paris sera en charge de toute la chaîne de l'eau, de la production à la distribution.

Le réseau EP représente 1 910 km de conduites dans Paris. Un linéaire comparable (1 689 km[2]) double ce premier réseau d'un réseau ENP, dont l'existence est une spécificité de Paris, la plupart des autres grandes villes dans le monde étant entièrement alimentées en EP.

Les conduites sont essentiellement en égout ou en galerie (seulement environ 10% des conduites sont enterrées, ce qui rend le réseau parisien unique par rapport aux autres grands réseaux dans le monde, où en général la plupart des conduites sont enterrées, donc en particulier plus difficiles d'accès qu'à Paris). Le réseau ENP se répartit en cinq sous-réseaux principaux, théoriquement isolés hydrauliquement (voir carte du structurant ENP, page suivante) :

- Réseau « Bas-Ourcq » alimenté par le bassin de la Villette en Rive Droite et par l'usine d'Austerlitz via le réservoir de Villejuif et le réservoir de Grenelle en Rive Gauche
- Réseau « Passy » en rive droite, alimenté par les usines de la Villette et d'Auteuil
- Réseau « Ménilmontant » en rive droite, dont la pression est donnée par le réservoir de Ménilmontant, dans lequel refoule l'usine de la Villette
- Réseau « Villejuif » en Rive gauche, alimenté par l'usine d'Austerlitz
- Réseau « Charonne » en rive Droite, alimenté par l'usine d'Austerlitz

À l'image du réseau EP, les zones élevées de Paris bénéficient de leurs propres sous-réseaux ENP : sous-réseau Montmartre (réservoir de 5 000 m^3 alimenté à partir du réseau « Passy » par l'usine de Saint-Pierre) et sous-réseau Belleville (réservoir de 11 000 m^3 alimenté à partir du réseau « Ménilmontant » par l'usine d'Haxo).

La somme des volumes des réservoirs ENP correspond à plus de 180 000 m^3, soit une fois la production journalière d'ENP (à comparer à un volume total des réservoirs EP égal à environ deux fois la production journalière).

L'ENP est essentiellement consommée pour :

- L'alimentation des lacs et rivières, des bois et des parcs et l'arrosage de certains squares par l'intermédiaire de bouches d'arrosage (BA)
- Le nettoyage de la voie publique par l'intermédiaire de bouches de lavage (BL)
- L'alimentation de réservoirs de chasse servant au curage des égouts

[1] Le volume total mis en distribution s'établit à environ 200 Mm^3 en 2008, tableau de bord de décembre 2008, service de l'eau

[2] Données 2008

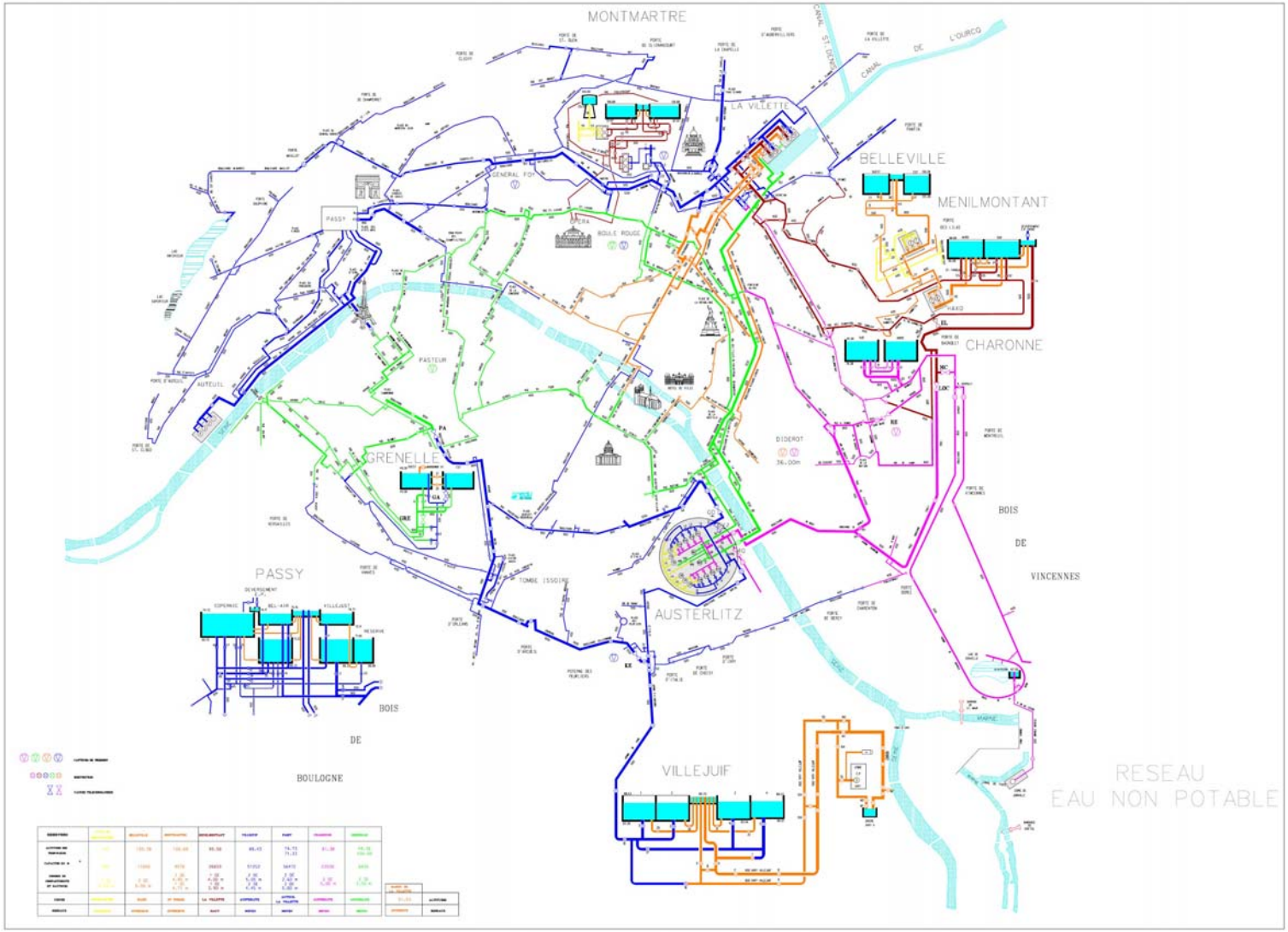


Figure 1 - Carte du réseau structurant ENP

5 Objectifs de l'étude

Le rendement du réseau ENP est de l'ordre de 50%[3] à 65%, à comparer à un rendement proche de 97% pour le réseau EP. Ce chiffre est expliqué notamment par des fuites au niveau des conduites et au niveau des équipements de type BL et BA. Le rendement du réseau ENP est également bas en raison d'un entretien limité (pas de programme de renouvellement). Il sera encore amené à diminuer avec la baisse prévue des consommations d'ENP dans les prochaines années (modernisation des équipements et des pratiques d'arrosage, développement du nettoyage mécanisé de la voie publique).

Dans ce contexte, la Mairie de Paris souhaite comparer les performances environnementales de deux scénarios :

- Scénario 1 : le réseau ENP est maintenu en service et remis en état
- Scénario 2 : le réseau ENP est abandonné, les usages étant reportés vers l'eau potable (EP) ou des ressources spécifiques pour l'alimentation des bois. Dans ce cas, les usines de production d'EP augmentent leur production et le réseau ENP est progressivement abandonné puis déposé à l'occasion d'autres projets

6 Destinataires de l'étude

Le travail réalisé constitue une étude comparative destinée à être divulguée. Le présent rapport sera destiné aux élus et aux services qui participeront à la décision sur le choix d'évolution du réseau. La prise en compte des facteurs économiques est réalisée par ailleurs, en dehors du champ de la présente étude.

[3] Source : Schéma Directeur « Eau 2010-2025 » réalisé par SAFEGE

SECTION II - Définition du champ de l'étude

7 Méthodologie utilisée

Le présent rapport a été réalisé conformément aux prescriptions méthodologiques développées dans les normes ISO 14040 et ISO 14044.

Notamment, conformément à la norme ISO 14044, des analyses de sensibilité ont été effectuées afin d'étudier l'influence de certaines hypothèses sur les résultats de l'étude.

8 Unité fonctionnelle et produits étudiés

8.1 Unité fonctionnelle

Chaque scénario est étudié pour un même service rendu. Les résultats présentés le sont ainsi pour des hypothèses correspondant à un périmètre fixe en termes de service rendu.

L'unité fonctionnelle est donc la suivante : **« Produire et transporter de l'eau potable et de l'eau non potable jusqu'aux points de consommation, pour satisfaire les besoins annuels des utilisateurs actuels d'eau potable et non potable de la ville de Paris ».**

8.2 Quantités d'eau se rapportant à l'unité fonctionnelle

La quantité d'eau transitant dans le réseau dans chaque scénario a été déterminée en fonction d'une lecture critique de l'étude prospective SAFEGE sur l'eau non potable[4] et d'une analyse prospective de dimensionnement par Prolog Ingénierie.

8.2.1 Eau non potable

8.2.1.1 Scénario actuel

Les paramètres du réseau ENP sont moins bien connus que ceux de l'EP faute de mesures précises (cette situation est due en particulier à l'absence de compteurs sur chaque branchement exploité par les différents usagers, sauf ceux soumis à la facturation). Le suivi de la consommation est donc réalisé par suivi des volumes en sortie des usines de pompage. Ces volumes incluent les pertes, qui ont elles-mêmes été estimées sur la base des débits de nuit (étude SAFEGE, section 5).

[4] Etude prospective sur l'évolution des moyens de production et de distribution de l'eau à Paris, partie « Diagnostic des installations et des réseaux, Etat des lieux et réflexions prospectives », 2008

Tableau 2 - Hypothèses de dimensionnement ENP : scénario actuel[5]

Réseau ENP – Sc. Actuel	Commentaire	U	Moyenne annuelle
Production		m^3/j	**168 000**
DEVE	Bois de Boulogne	m^3/j	**17 500**
	Bois de Vincennes	m^3/j	**8 500**
	Parcs intra-muros	m^3/j	**5 400**
Propreté		m^3/j	**40 000**
SAP[6]	Réservoir de chasse	m^3/j	**3 500**
	Décharges	m^3/j	**550**
Industriels		m^3/j	**1 250**
Volumes non identifiés		m^3/j	**91 300**
Pertes de surface		m^3/j	**35 000**
Pertes de réseau		m^3/j	**56 300**
Rendement du réseau		**%**	**66%**
Indice linéaire de perte		**$m^3/j.km$**	**33**

Les volumes moyens produits sont aujourd'hui de 168 000 m^3, dont 77 000 m^3 de volumes identifiés et 91 000 m^3 de volumes non identifiés (voir Tableau 2 - Hypothèses de dimensionnement ENP : scénario actuel). Ces hypothèses correspondent à un rendement du réseau de 66 % (hors pertes de surface) et à un indice linéaire de perte linéaire (ILP) de 33 $m^3/j.km$

8.2.1.2 Scénario 1 : remise à niveau du réseau ENP

En raison de l'incertitude liée aux chiffres disponibles sur le dimensionnement ENP, deux hypothèses sont retenues pour le scénario prospectif 1, permettant de travailler sur une fourchette relativement large, et dont on sait qu'elle inclut la valeur de l'indice après mise à niveau du réseau ENP.

La première hypothèse est basée sur un ILP de 15 $m^3/j.km$. Cet indice est légèrement supérieur à l'ILP du réseau EP actuel (environ 10 $m^3/j.km$) : selon le STEA, il serait très difficile d'obtenir un ILP plus bas que 15 $m^3/j.km$, notamment en raison de l'état actuel du réseau, et du fait qu'il n'est pas envisageable de déployer pour un réseau ENP des efforts de remise à niveau comparables à ceux qui pourraient être déployés pour un réseau EP.

La seconde hypothèse est basée sur un ILP 25 $m^3/j.km$ correspondant à une hypothèse haute après remise en état.

[5] Données 2008

[6] Section de l'assainissement de Paris

Tableau 3 - Hypothèses de dimensionnement ENP : scénario 1

		U	Hypothèse 1	Hypothèse 2
Indice de perte linéaire		**m^3/j.km**	**15**	**25**
Linéaire		km	1 689	1 689
Production		**m^3/j**	**117 335**	**134 375**
DEVE	Bois de Boulogne	m^3/j	17 500	17 500
	Bois de Vincennes	m^3/j	8 500	8 500
	Parcs intra-muros	m^3/j	6 700	6 700
Propreté		m^3/j	24 000	24 000
SAP	Réservoir de chasse	m^3/j	13 500	13 500
	Décharges	m^3/j	550	550
Industriels		m^3/j	1 250	1 250
Pertes de surface		m^3/j	20 000	20 000
Pertes de réseau		m^3/j	25 335	42 375
Rendement du réseau		%	78.4	68.5

Les explications des évolutions par rapport au tableau précédent sont les suivantes :

- L'augmentation des volumes au niveau des parcs intra-muros est due au raccordement des parcs identifiés dans l'étude SAFEGE[7], 476 000 m^3/an
- La diminution des besoins des services du nettoiement (ligne « Propreté ») est due à une anticipation d'une baisse de 40% suite aux mesures de réduction de consommation (mécanisation du nettoyage des biefs non stationnés, mise en place de bouches à clé prisonnière, utilisation raisonnée)
- L'augmentation de 10 000 m^3/j de la ligne SAP/Réservoirs de chasse traduit le fait qu'à terme, tous les réservoirs de chasse (RC) du réseau d'égouts parisien actuellement défectueux devraient être remis à niveau portant le total à 2 700 RC en fonctionnement au lieu d'environ 600 aujourd'hui
- L'hypothèse d'une diminution de 20 000 m^3/j des fuites de surface correspond à un travail de réhabilitation des équipements (bouches de lavage) suite à la remise à niveau du réseau ENP. Il s'agit d'un premier résultat de la modernisation des bouches de lavage (clé prisonnière) et de l'amélioration des pratiques de nettoiement
- Les fuites de réseau sont calculées sur la base des hypothèses des indices linéaires de perte

8.2.1.3 Scénario 2 : transfert de l'ENP sur le réseau EP, dépose du réseau ENP

Dans le scénario 2 le réseau ENP est déposé et l'usage ENP, hormis les alimentations des bois de Vincennes et de Boulogne (dont les volumes restent les mêmes que dans le scénario actuel et qui sont reportées vers des ressources en eau brute spécifique), est reporté sur le réseau EP avec des hypothèses d'évolution des volumes consommés exposées plus loin.

[7] Etude relative à l'utilisation de l'eau non potable pour l'arrosage des jardins, SAFEGE 2007

8.2.2 Eau potable

Les paramètres du réseau EP sont très bien connus par le producteur Eau de Paris (EDP), les distributeurs et la Mairie de Paris, grâce à des mesures de volumes distribués au niveau de débitmètres situés en sortie d'usines et sortie de réservoirs, et à une connaissance des volumes consommés au travers des services clients (facturation).

Les volumes mis en distribution sont d'environ 550 000 m^3 dans le **scénario actuel**, correspondant à une consommation d'environ 530 000 m^3 et à un rendement de près de 97 % (Tableau 4 - Hypothèses de dimensionnement EP : scénario actuel et scénario 1).

Les consommations en eau potable dans le périmètre des utilisations actuelles (c'est-à-dire sans considérer les volumes reportés du réseau ENP vers le réseau EP dans le cas du scénario 2) sont supposées être identiques dans les deux **scénarios prospectifs** et dans le scénario actuel. L'hypothèse d'une consommation constante correspond à l'hypothèse centrale/haute parmi les projections envisagées dans l'étude SAFEGE (« fuseau » de projections de besoins moyens, section 5 de l'étude). Ce choix vient du fait qu'il existe aujourd'hui deux effets influant les besoins qui s'équilibrent :

- Augmentation de l'efficacité des équipements (machines, toilettes, baisse du nombre de climatisations à eau perdue, etc.)
- Augmentation de la quantité d'équipement par habitant

Dans un souci de choisir une hypothèse conservative (même choix dans les deux scénarios), on suppose donc dans cette étude que les consommations en eau potable dans le périmètre des utilisations actuelles restent constantes.

En réalité, on constate cependant sur ces dernières années une baisse tendancielle de 1 à 2 % par an. Une analyse de sensibilité sera donc faite pour une diminution de ces volumes de 5-10 %, sans changement attendu en termes de comparaison entre scénarios 1 et 2.

De plus une analyse de sensibilité supplémentaire sera faite dans le cas du scénario 1 avec un report de 10% de des consommations EP vers les consommations ENP.

Tableau 4 - Hypothèses de dimensionnement EP : scénario actuel et scénario 1

Réseau EP	U	**Moyenne sur l'année**
Volume mis en distribution	m^3/j	**546 550**
Consommation	m^3/j	**528 470**
Pertes de réseau	m^3/j	**18 080**
Rendement	%	**96.7 %**
Indice linéaire de perte	$m^3/j.km$	**10**

Dans le cas du scénario 2 (report des consommations ENP sur le réseau EP), les besoins actuels en EP restent inchangés, mais les volumes consommés et mis en distribution augmentent en raison de la substitution d'une partie de l'ENP par l'EP (Tableau 5 - Hypothèses de dimensionnement EP : scénario 2). Cette substitution se fait :

- À ILP constant (le réseau EP est supposé garder les mêmes caractéristiques que dans le scénario actuel)
- En anticipant une modification des comportements par les utilisateurs actuels d'ENP, qui auront tendance à réduire leur consommation sachant qu'il s'agira d'eau potable

Tableau 5 - Hypothèses de dimensionnement EP : scénario 2

Réseau EP	U	Moyenne sur l'année	Variation par rapport au scénario actuel
Production	m^3/j	**582 400**	+ 35 850
Consommation	m^3/j	**528 470**	-
Parcs intra-muros	m^3/j	**2 100**	-4 600
Propreté	m^3/j	**14 000**	-26 000
SAP	m^3/j	**8 500**	+ 3 950
Industriels	m^3/j	**1 250**	-
Pertes de surface	m^3/j	**10 000**	+ 10 000
Pertes de réseau	m^3/j	**18 080**	-
Rendement	%	**96.8%**	+ 0.15%
Indice linéaire de perte	$m^3/j.km$	**10**	-

Les évolutions engendrées par une utilisation plus raisonnée de l'EP par rapport à l'ENP sont ainsi supposées être les suivantes :

- Parcs intra-muros : diminution de 4 600 m^3 par rapport au scénario actuel, correspondant à une alimentation des Buttes Chaumont en ENP à partir du Bassin de la Villette et à une irrigation plus raisonnée liée à l'utilisation d'EP à la place de l'ENP pour les autres parcs
- Propreté : baisse de 65% suite à la réduction du nombre de bouches de lavage et à l'amélioration des bouches conservées (bouches à clé). En effet, selon les réflexions menées avec le service du nettoiement, les BL pourraient être supprimées le long de tous les caniveaux sans stationnement, ce qui représente 30 % du linéaire total. Sur les 70 % restant, la modernisation des BL (bouches à clé) permettrait, selon les premières estimations, de diviser par 2 la consommation d'eau. In fine, la consommation d'eau serait égale à 35 % de la consommation actuelle, soit une réduction totale de 65 %
- SAP : passage de 3 500 m^3 à 8 500 m^3, dont 8 000 m^3 pour les réservoirs de chasse soit une augmentation de plus de 100 % par rapport au scénario actuel, correspondant à une réhabilitation des réservoirs de chasse conjointe à une diminution du nombre de ces réservoirs de chasse. Par rapport au scénario 1, l'usage d'EP incitera à réduire le nombre de réservoirs d'où une consommation en baisse de 40 % (8 500 m^3 par rapport à 13 500 m^3)
- Industriels : pas d'évolution par rapport au scénario 1

Quelques bouches de lavage resteront ouvertes ou seront défectueuses, d'où l'hypothèse d'un volume de fuites de surface dans le tableau EP (scénario 2). Il est choisi égal à 10 000 m^3 car s'agissant d'EP, on peut supposer que les services du nettoiement seront plus attentifs que dans le scénario 1.

Enfin, rappelons que dans le cas du scénario 2, les bois de Vincennes et de Boulogne, ainsi que le parc des Buttes Chaumont sont alimentés en ENP de manière autonome (volumes journaliers respectifs correspondants de 8 500 m^3, 17 500 m^3 et 3 300 m^3).

9 Frontières des systèmes étudiés

9.1 Présentation des systèmes correspondant aux scénarios étudiés

L'objectif du paragraphe suivant est de présenter, pour chaque scénario étudié, le système considéré pour décrire le cycle de vie sur lequel porte l'étude. Les étapes suivantes sont prises en compte :

1. Production de l'eau (consommations énergétiques pour le pompage et le refoulement vers les réservoirs, et consommation de réactifs pour le traitement),
2. Stockage (consommations énergétiques et consommation de réactifs pour la rechloration et la déchloration),
3. Distribution de l'eau (consommations énergétiques et de réactifs, y compris au niveau des usines de surpression et des postes de traitement),
4. Assainissement EP, ENP et eaux de fuite (consommations énergétiques)

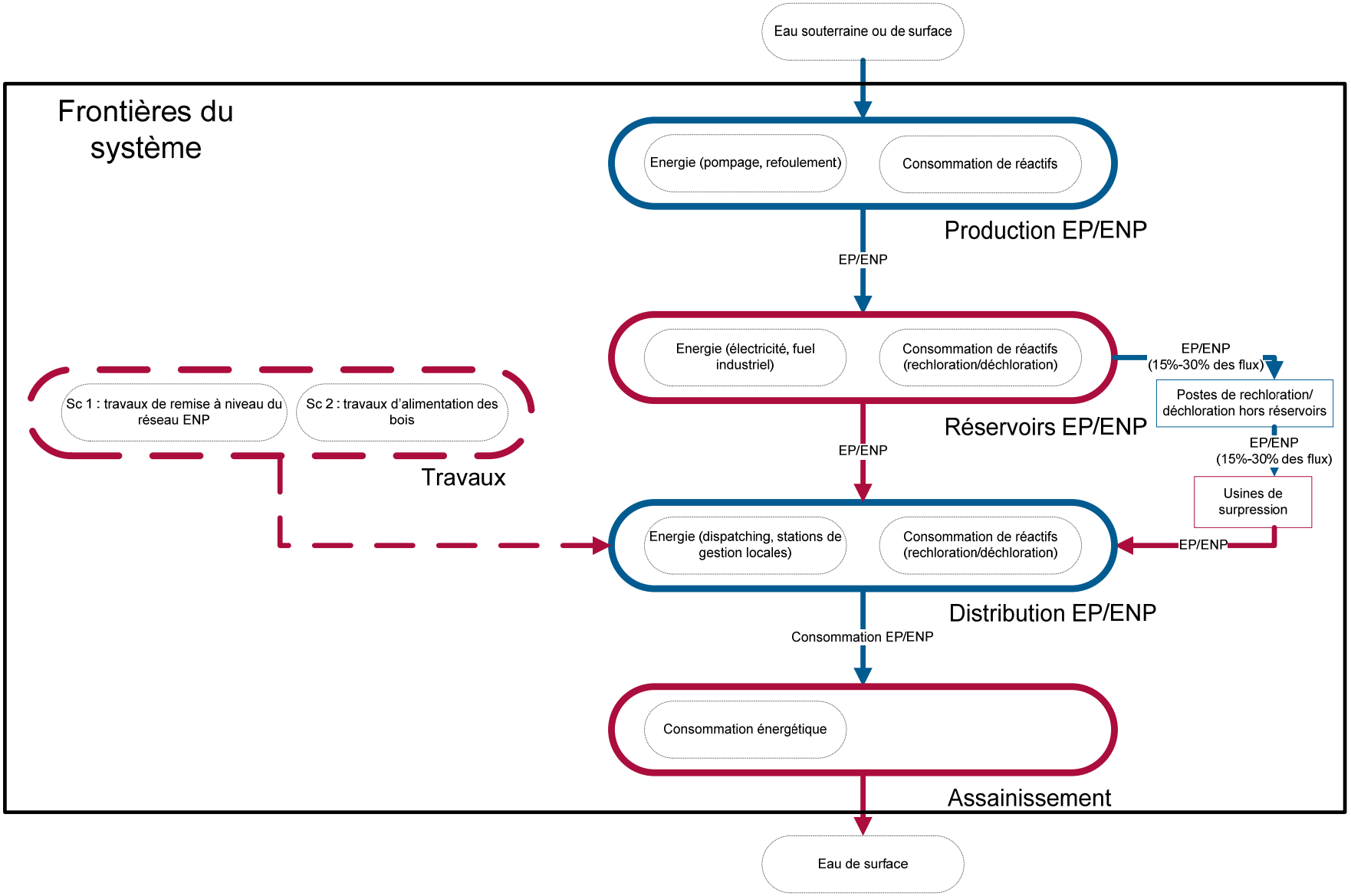


Figure 2 - Frontières des systèmes étudiés

9.2 Délimitation des frontières des systèmes

9.2.1 Règles de délimitation

Pour délimiter précisément les systèmes, c'est à dire pour décider si la production ou le devenir d'un réactif ou d'un matériau doit être pris en compte, une règle systématique a été utilisée dans ce projet :

Pour la production d'un consommable :

- Le critère d'inclusion retenu par rapport à ceux proposés dans la norme ISO 14041 est la masse. Le seuil d'inclusion a été fixé à 5 %. Cela signifie que la somme des entrants dont la production n'est pas incluse dans le système représente moins de 5 % de la masse totale des entrants du système
- De plus, si les données sont disponibles chez PwC - Ecobilan, la production et le transport vers le site d'utilisation dudit consommable sont systématiquement pris en compte, même si la quantité consommée est faible
- La liste des flux non pris en compte et le pourcentage correspondant seront précisés en annexe. On vérifiera également que la liste correspondante ne comprenne pas de substances dangereuses ou toxiques

Pour le devenir d'un déchet ou d'un coproduit :

- Si les données sont disponibles, elles sont prises en compte
- Sinon, la fin de vie est supposée être une mise en décharge

9.2.2 Liste des étapes du cycle de vie exclues

Selon la norme ISO 14 040, certaines catégories d'opérations peuvent être exclues des systèmes à condition que ceci soit explicite. Les paragraphes suivants précisent les étapes secondaires qui n'ont pas été prises en compte dans le cadre de ce projet.

1. Les systèmes étudiés excluent la construction des bâtiments des sites (usines de production, réservoirs, aqueducs…) de même que la fabrication des machines (camions, …) et des outils.

   Etant donné que le service rendu ne correspond pas à un produit manufacturé mais consiste à produire et distribuer de l'eau (sans contenu énergétique), il n'est pas envisageable de négliger a priori l'amortissement des équipements de production (usines, aqueducs, réservoirs surpresseurs, etc.)

   Ces installations sont donc sorties du périmètre de l'étude (sauf installations supplémentaires spécifiquement nécessaires à un scénario particulier, par exemple pour l'alimentation des bois dans le scénario 2).

   Ainsi l'installation de canalisations dans le cadre des scénarios 1 (travaux de remise à niveau du réseau ENP) et 2 (travaux permettant l'alimentation autonome des bois de Boulogne et Vincennes d'une part, et démantèlement du réseau non potable d'autre part) est prise en compte car dans ce cas l'amortissement des canalisations n'a pas été réalisé (fonctionnement non stabilisé). Dans le cas du scénario 2 la pose des nouveaux branchements pour permettre la substitution de l'EP à l'ENP est négligée devant les autres contributions de l'étape de travaux, ces branchements se faisant de manière progressive et représentant des impacts faibles puisque les conduites sont toutes accessibles (plus de 90% des canalisations se situent en égout ou en galerie).

2. Les consommations de réactifs au cours de l'étape d'assainissement ne sont prises en compte dans aucun scénario (seules les consommations énergétiques sont prises en compte à ce niveau).

   Ceci est justifié par le fait que ces consommations de réactifs servent à traiter la charge totale du système, qui est la même dans le scénario actuel et dans les deux scénarios prospectifs étudiés : il s'agit en effet de la pollution générée par la ville de Paris pendant un an, qui est supposée rester constante (en cohérence avec l'hypothèse d'une consommation d'EP constante, voir 8.2.2). Remarquons de plus que la pollution étant produite par la population, elle est constante même si la consommation d'eau évolue.

3. La pose des branchements n'est pas prise en compte dans le cas de la remise à niveau du réseau ENP (scénario 1). Cependant la possibilité d'une analyse de sensibilité pour estimer l'impact correspondant n'est pas éliminée a priori.

9.3 Procédure d'allocation pour les coproduits

Les travaux réalisés dans le cadre des scénarios étudiés pouvant se faire conjointement à d'autres travaux (par exemple pose de fibres optiques), une partie des impacts générés par cette phase pourrait être allouée à ces derniers. Ainsi, la Mairie de Paris envisage de démanteler le réseau progressivement, lors d'autres interventions sur les galeries souterraines où passent les réseaux d'eau. Dans ce cas, les dépenses environnementales correspondantes seront à répartir entre les différentes tâches à effectuer.

Cet aspect est traité a priori par une analyse de sensibilité consistant à comparer les impacts de ces travaux (hors production des conduites) par rapport au total du cycle de vie étudié.

9.4 Prise en compte de la valorisation énergétique et de la valorisation matière

Les boues produites au cours des phases de traitement amont et aval peuvent être incinérées en cimenterie ou mises en décharge de classe 2. Les modalités de ces différentes possibilités sont précisées dans la suite.

10 Flux et impacts environnementaux étudiés

10.1 Flux environnementaux et indicateurs énergétiques

L'ensemble des flux environnementaux (ex : consommation d'eau, émissions de polluants dans l'air, dans l'eau et dans le sol) est évalué dans le cadre de ce projet. Les résultats relatifs à tous les flux environnementaux sont présentés dans les inventaires d'ACV en annexe. Les flux identifiés comme importants et pour lesquels des indicateurs d'impact potentiels sont plus précisément analysés dans ce rapport sont les suivants :

- Ressources naturelles (pétrole, gaz naturel, charbon, fer, aluminium, …)
- Emissions dans l'air : CO_2, CH_4, N_2O, NO_X, SO_X, hydrocarbures et composés organiques volatils, oxydants photochimiques
- Rejets dans l'eau (DCO, DBO_5, MES, N, P),
- Production de déchets (classe I, classe II)
- Consommation d'eau totale : somme des consommations d'eau prélevées dans le milieu naturel (surface, souterrain)
- Emissions de poussières (de 1 µm à 100 µm, provenant principalement des émissions de combustion)
- Emissions dans l'air de substances toxiques (métaux lourds). Ces émissions dans l'air de substances toxiques sont la somme des métaux lourds suivants : arsenic, cadmium, chrome, cobalt, cuivre, plomb, mercure, molybdène, nickel, sélénium, étain, vanadium, zinc

En plus de ces flux environnementaux élémentaires, la consommation d'énergie primaire a été calculée. Celle-ci se décompose en consommation d'énergie non renouvelable (toutes les sources d'énergie directement puisées dans les réserves naturelles, telles que le gaz naturel, le pétrole, le charbon, le minerai d'uranium) et consommation d'énergie renouvelable (toutes les autres sources d'énergies, comme l'énergie hydraulique et l'énergie biomasse).

10.2 Indicateurs d'impacts environnementaux

À partir des flux de consommations de ressources et des flux environnementaux, les indicateurs d'impacts suivants sont calculés et analysés (voir tableau en page suivante) :

Indicateur	Milieu concerné	Méthode de calcul
Effet de serre à 100 ans Cet indicateur prend en compte les émissions de CO_2 "fossile", de N_2O (ces émissions provenant par exemple de la combustion du fuel et du gaz naturel) et les émissions de CH_4 (provenant par exemple de la fermentation du papier en décharge). Par contre l'indicateur ne prend pas en compte les émissions de CO_2 "biomasse", résultant par exemple de la combustion du papier en incinérateur. L'effet de serre est exprimé en kg éq. CO_2.	**AIR**	**IPCC[8], 2008**
Acidification atmosphérique Cet indicateur caractérise à partir des émissions notamment de NOx, SOx, HCl l'augmentation de la quantité de substances acides dans la basse atmosphère, à l'origine des "pluies acides" et notamment du dépérissement de certaines forêts. L'acidification atmosphérique est exprimée en g. éq. H+.	**AIR**	**CML[9], 2000**
Formation d'oxydants photochimiques Sous certaines conditions climatiques, les émissions atmosphériques des industries et des transports peuvent réagir avec les photons solaires et produisent un smog photochimique. Une succession de réactions impliquant des composés organiques volatiles et des NOx, conduit à la formation d'ozone, un composé super oxydant. Le potentiel de formation d'oxydants photochimiques, exprimé en g. éq. éthylène.	**AIR**	**WMO[10], 1991**
Eutrophisation des eaux L'eutrophisation d'un milieu aqueux se caractérise par l'introduction de nutriments, sous la forme de composés azotés et phosphatés par exemple, qui conduit à la prolifération d'algues. L'eutrophisation est exprimée en g éq. phosphates.	**EAU**	**CML, 2000**
Epuisement des ressources non renouvelables Il s'agit de l'appauvrissement de l'environnement en ressource minérale et fossile. Sont exclues ici les ressources vivantes et leurs impacts associés tels que la disparition d'espèces ou la perte de biodiversité. Cet indicateur renseigne plus sur l'appauvrissement différentes matières que sur l'impact causé par leur extraction du milieu naturel. Le calcul se fait par rapport aux stocks estimés restant et au taux de consommation de l'économie actuelle. Cet indicateur est exprimé en kg éq antimoine.	**RESSOURCES**	**CML, 2000**

Tableau 6 : Indicateurs d'impacts environnementaux analysés

Les indicateurs d'impact retenus correspondent à des indicateurs environnementaux reconnus en matière d'analyse de cycle de vie.

[8] IPCC : International Panel on Climate Change.

[9] CML : Université de Leiden (Pays-Bas).

[10] WMO : World Meteorological Organization.

10.3 Indicateurs utilisés pour l'évaluation des scénarios étudiés

Au total les indicateurs suivants, regroupant des flux environnementaux, des indicateurs énergétiques, et des indicateurs d'impacts environnementaux, ont été utilisés pour caractériser les scénarios étudiés :

- Consommation d'énergie primaire totale (décomposée en renouvelable / non renouvelable)
- Epuisement des ressources non renouvelables
- Consommation d'eau par origine
- Emissions de gaz à effet de serre
- Acidification atmosphérique
- Formation d'oxydants photochimiques
- Eutrophisation des eaux
- Rejets de matières en suspension (MES)
- Emissions de poussières
- Emissions de substances toxiques (métaux lourds)
- Production de déchets

10.4 Normation

La norme ISO 14044 sur les ACV interdit qu'une comparaison de scénarios soit basée uniquement sur un indicateur global unique et précise que les regroupements sont subjectifs :

« Il n'existe pas de base scientifique pour la réduction des résultats d'analyse du cycle de vie à un résultat unique ou à une note globale » (ISO 14044, §4.4.1)

« L'ISO 14044 ne spécifie pas de méthodologie spécifique ni n'appuie les choix de valeurs sous-jacents utilisés pour regrouper les catégories d'impact […] Les choix de valeurs et les jugements utilisés dans les méthodes de regroupement sont de la seule responsabilité du commanditaire de l'étude (par exemple, le gouvernement, la communauté, l'entreprise, etc.). » (ISO 14044, § 5.3).

Afin de se donner une notion normalisée des impacts des scénarios considérés, il est cependant possible de les ramener à une échelle où les interprétations sont plus aisées, par comparaison aux impacts globaux de la ville de Paris sur un an (ces derniers étant estimés comme le produit des impacts par habitant en France et du nombre d'habitants de la ville).

Cette approche ne correspond pas à un indicateur unique, mais permet de formuler une base de comparaison correctement dimensionnée pour les impacts calculés.

11 Exigences relatives à la qualité des données

Cette étude vise à analyser le bilan environnemental du cycle de vie du système de distribution de l'eau à Paris selon deux scénarios prospectifs d'évolution : remise à niveau du réseau ENP, ou transfert de l'ENP vers le réseau EP. Conformément à la norme ISO 14040, les exigences relatives à la qualité des données couvrent notamment les critères suivants :

- Le facteur temporel :
  - Les données d'exploitation utilisées sont représentatives de la situation actuelle (années 2007 ou 2008) pour ce qui est des ratios de consommation d'énergie et de réactifs par m^3 traités ou distribués (usines, réservoirs). Ces données ont été fournies par Eau de Paris, les délégataires du service de l'eau à Paris, ou par le Service Technique de l'Eau et de l'Assainissement (STEA)
  - Les données de distribution (volumes distribués) ont fait l'objet d'un certain nombre d'hypothèses sur la base du scénario actuel de façon à être représentatives d'un

fonctionnement à court terme. Ces hypothèses sont décrites dans le paragraphe 8.2

- La géographie : l'étude est représentative du service de l'eau à Paris à ce jour. En particulier la répartition moyenne par usine des volumes produits chaque jour est la même pour les deux scénarios prospectifs et correspond à la répartition actuelle. Cela signifie que dans les deux cas les variations des volumes distribués sont reportées de manière uniforme sur toutes les usines par rapport à la situation de ce jour. Ce choix par défaut a été retenu parce que la distribution géographique moyenne actuelle de la production répond aux besoins tels qu'ils sont répartis actuellement dans Paris. Il est donc raisonnable de faire l'hypothèse que les diminutions ou augmentations des volumes, lissées sur une année, se reportent sur l'existant en conservant cette répartition
- La technologie : les données reflètent la technologie moyenne actuelle
- La fidélité (précision) : les données utilisées peuvent être retrouvées de manière cohérente et sans variabilité majeure dans plusieurs études citées dans le présent rapport et auprès du STEA
- La complétude : les flux estimés portent notamment sur les volumes distribués et les volumes de fuite sur le réseau d'eau non potable, qui ne peuvent pas être mesurés. Cette problématique est traitée par l'étude des résultats selon une fourchette sur les paramètres clés donnant lieu à ces estimations
- Représentativité : les données sont représentatives de la situation réelle en termes géographiques, temporels et technologiques
- La cohérence : conformément à la norme, la méthodologie de l'étude s'applique uniformément aux différents composants de l'analyse
- La reproductibilité : les informations concernant la méthodologie et les valeurs de données permettraient à un réalisateur indépendant de reproduire les résultats signalés dans l'étude
- L'incertitude : les incertitudes portant sur les données du modèle concernent notamment les volumes distribués et les volumes de fuite sur le réseau d'eau non potable, qui ne peuvent pas être mesurés. Cette problématique est notamment traitée par l'étude, dans le cas du scénario 1 (conservation et remise à niveau du réseau ENP) de deux hypothèses de dimensionnement des fuites sur la base de deux indices linéaires de pertes.

12 Revue critique

Cette étude a été menée pour le compte de la Mairie de Paris. À l'issue d'une première phase de collecte des données et de rédaction du rapport méthodologique, une revue critique permettant de valider les hypothèses prises en compte a été réalisé par les experts de Prolog Ingénierie, qui a récemment travaillé pour la Mairie de Paris sur un audit technico-financier de la société Eau de Paris en 2005 et qui assiste actuellement Eau de Paris pour la réalisation d'études ACV concernant la production d'eau potable et d'eau non potable.

En fin d'étude (à l'issue de la seconde phase), les résultats ont également été soumis pour validation à la revue critique d'experts regroupant les connaissances en méthodologie ACV et du métier de la production de l'eau potable / non potable :

- Société Prolog Ingénierie, représentée par Nicolas Hesse, ingénieur expert
- Mme Hélène Teulon, société Ginko21, experte en ACV et éco-conception
- M Henry Lecouls, ancien ingénieur de l'industrie chimique, expert ACV

Une synthèse des commentaires de la revue critique figure en Annexe III.

SECTION III - Calcul de l'inventaire : recueil des données et hypothèses de calcul

Ce chapitre présente les sources de données spécifiques à l'étude et les hypothèses retenues pour le calcul des inventaires d'analyse de cycle de vie. Seules sont exposées les données et hypothèses relatives aux étapes primaires telles que la production de l'eau ou les travaux de mise à niveau du réseau ENP (scénario 1) ou d'alimentation des bois de Vincennes et de Boulogne.

13 Mode de collecte des informations

Le STEA s'est chargé de la collecte des données détenues par les différents opérateurs du service de l'eau :

- Producteur : Eau de Paris
- Distributeur : Compagnie des Eaux de Paris (rive droite), Eau et Force (rive gauche)

Une partie des données a également été directement fournie par le STEA à partir de questionnaires préparés PwC – Ecobilan et validés par Prolog Ingénierie et sur la base de discussions entre le STEA, Prolog Ingénierie et PwC-Ecobilan.

14 Modélisation des systèmes et outil de calcul des inventaires

Pour modéliser les systèmes et calculer les inventaires de cycle de vie et les impacts environnementaux, nous avons utilisé le logiciel TEAM™ (*Tool for Environmental Assessment and Management*). TEAM™ est l'outil d'Analyse de Cycle de Vie de produits de PwC-Ecobilan. TEAM™ permet à l'utilisateur de construire et de gérer de larges bases de données et de modéliser tout système représentant les différentes opérations industrielles relatives aux produits, aux procédés et aux activités d'une entreprise.

15 Données communes aux différents scénarios

15.1 Production et distribution

Les principaux changements qui interviennent entre les différents scénarios étudiés proviennent des variations des volumes mis en distribution et des chantiers réalisés (mise à niveau du réseau ENP dans le scénario 1, dépose du réseau ENP et travaux pour l'alimentation autonome des bois de Boulogne et Vincennes dans le scénario 2).

En revanche les ratios de consommations énergétiques et de réactifs des installations sont les mêmes quel que soit le scénario considéré. Celles-ci sont présentées dans les tableaux ci-dessous.

La collecte sur site pour ces données communes a été réalisée sur la liste exhaustive des installations qui participent au service de l'eau à Paris :

- Production EP : Ivry, Joinville, Orly (eau de surface), Sorques, Longueville, Saint-Cloud (Aqueduc de l'Avre). Les consommations des usines élévatoires du sud et de l'Ouest sont incluses dans les données collectées. L'usine de l'Haÿ les Roses n'est pas prise en compte pour le calcul des ratios de consommation (électricité, réactifs) car elle n'était entrée en service que récemment à la date de réalisation de l'étude. Sa consommation a été estimée à partir de la consommation actuelle des autres usines EP
- Production ENP : Auteuil, Villette, Austerlitz
- Usines de surpression EP : Haxo, Surmelin, Télégraphe, Saint-Pierre, Christiani, Montmartre, Montsouris, Boulogne, Passy, Réservoir Lilas
- Usines de surpression ENP : Haxo, Télégraphe, Saint-Pierre, Montmartre réservoir

Ces usines permettent de relever l'eau distribuée vers les points élevés de Paris

- Réservoirs EP : L'Hay-les-Roses, Saint-Cloud, Lilas, Ménilmontant, Montsouris, Montmartre (niveaux réservoir et cuve), Belleville (niveaux réservoir et cuve)
- Réservoirs ENP : Passy, Villejuif, Grenelle, Charonne, Ménilmontant, Montmartre (niveaux réservoir et cuve), Belleville

Ces réservoirs ont des consommations énergétiques et de réactifs de chloration/déchloration (réseau EP uniquement). L'eau des usines est en effet envoyée dans les réservoirs avec un taux de chlore élevé et doit donc être déchlorée juste avant la mise en distribution en sortie de réservoir, mais en raison de temps de séjour relativement importants, une rechloration peut éventuellement être nécessaire pour garder le taux au-dessus du minimum préconisé (0.3 mg/L au point de mise en distribution et 0.1 mg/L en réseau de distribution). Des points de chloration/déchloration permettent de réaliser des ajustements du taux de chlore au niveau du réseau en injectant du bisulfite ou du dioxyde de soufre (neutralisation du chlore) ou en injectant du chlore.

- Postes de chloration/déchloration : Arcueil, Fernand Foureau, Saint-Pierre

- Consommation électrique des stations de gestion locales (SGL)

15.2 Travaux

La quasi-totalité des conduites du réseau parisien d'ENP est située en égout ou en galerie, ce qui rend les canalisations assez accessibles en général. Les travaux de renouvellement ou de rénovation sont donc très différents de ceux qui sont pratiqués pour les réseaux enterrés (où il est nécessaire de creuser des tranchées).

La collecte de données a donc été réalisée spécifiquement au cours d'un entretien réalisé avec l'agence travaux d'un des distributeurs[11]. Les données considérées correspondent à un chantier typique conforme aux règlements de voirie et couvrent :

- Les consommations énergétiques : consommation des compresseurs nécessaires au fonctionnement de l'éclairage, des marteaux-piqueurs, consommation des grues (camion ou engin de levage)
- L'utilisation de consommables (production et transport) : plancher (récupéré en bois de chauffage après utilisation), graisse alimentaire, supports (consoles, agrafes, colliers)
- La production de gravats (déchets de classe I mis en décharge)
- La récupération à 99% de la fonte récupérée (cassée, et vendue aux ferrailleurs). Les amarrages ne sont pas réutilisés et sont donc également récupérés à 99% en ferraille
- Les puits de service

Les déplacements des personnes, ainsi que les équipements (engins, base vie, balisage, marquage), sont supposés être suffisamment amortis et ont été négligés par rapport aux consommations listées ci-dessus.

Les données utilisées prennent en compte le diamètre des conduites posées en compte. Ainsi :

- Pour les diamètres inférieurs à 300 mm, le plancher en bois n'est nécessaire que dans 30% des cas, alors qu'il est systématiquement utilisé dans le cas des diamètres supérieurs à 300 mm
- Pour les diamètres supérieurs à 300 mm, le puits de service n'est nécessaire que dans 50% des cas

L'hypothèse de transport pour les tuyaux correspond au modèle de transport par défaut avec les distances et taux de remplissage spécifiques suivants :

- Pour les diamètres de plus de 300 mm, taux de remplissage de 2.5% et distance de 350 km
- Pour les diamètres de moins de 300 mm, taux de remplissage de 1.5% et distance de 350 km

L'hypothèse de transport pour les consommables sont celles d'un transport par défaut (voir en annexe) sur une distance de 300 km.

Enfin, notons que le scénario 2 nécessiterait des travaux supplémentaires pour assurer le fonctionnement du canal de l'Ourcq en l'absence de pompage au niveau de l'usine de la Villette. À défaut de données et parce que selon le rapport SAFEGE[12] précise qu'il s'agit de moindres modifications structurelles (automatisation des vannes), ces travaux ne sont pas pris en compte ici.

15.3 Assainissement

L'hypothèse retenue dans cette étude est de ne prendre en compte que les consommations énergétiques liées au transport des effluents vers les stations d'épuration et aux pompages rendus nécessaires par les pertes de charge au niveau des stations d'épuration (les consommations de réactifs sont négligées). Les données de relèvement par destination ont été fournies par Prolog sur la base de sa connaissance du fonctionnement actuel des réseaux et usines du SIAAP et sont regroupées dans le tableau ci-dessous (mise à jour du scénario C par Prolog pour le SIAAP en 2005).

[11] Eau et Force, Nicolas Julien, chef d'agence travaux

[12] Etude prospective sur l'évolution des moyens de production et de distribution de l'eau à Paris, partie « Etude des scénarios d'évolution du réseau d'eau non potable », 2008

Tableau 7 - Relèvement total en assainissement par destination

Destination	Relèvement total (m)
Usine Seine Aval direct	18
Usine Seine Aval via Clichy	18
Usine Seine Centre via Clichy	26.5
Usine Seine Grésillons via Clichy et pompage au niveau de l'usine Seine Centre	55.5

La prise en compte des énergies dédiées au relèvement de l'eau uniquement revient à supposer que les autres consommations (servant aux procédés de traitement physique) sont négligeables en comparaison de celles-ci, ce qui est très bien vérifié dans la pratique.

Pour chaque scénario, les volumes qui passent en égout correspondent à des consommations énergétiques calculées sur la base de la formule suivante :

$$E = \frac{\rho g \Delta h}{\mu} V$$

Où E est l'énergie électrique consommée, ρ la densité de l'eau (1000 kg/m^3), g l'accélération de la pesanteur (9.8 m/s), Δh la perte de charge (valeurs fournies par Prolog), V le volume transité, et μ le rendement global des pompes choisi égal à 65 %. Ce dernier paramètre comprend à la fois le rendement mécanique (conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique) et le rendement hydraulique (conversion de l'énergie mécanique en énergie hydraulique).

La répartition des effluents du réseau d'assainissement à l'échelle de la ville est donnée dans le tableau suivant (mise à jour du scénario C par Prolog pour le SIAAP en 2005 : en particulier la répartition des volumes par usine correspond d'une part à la connaissance des volumes destinés à l'usine de Seine aval, et d'autre part à la répartition des volumes arrivant à Clichy vers les usines de Colombes, Grésillon, et Seine Aval) :

Tableau 8 – Répartition des eaux d'assainissement par destination

Destination	Pourcentage des volumes
Usine Seine Aval direct	37%
Usine Seine Aval via Clichy	31%
Usine Seine Centre via Clichy	24%
Usine Seine Grésillons via Clichy et pompage au niveau de l'usine Seine Centre	8%
Total	100%

16 Données spécifiques aux différents scénarios

Les données de dimensionnement des volumes présentées dans le paragraphe 8.2 décrivent les principales hypothèses qui changent d'un scénario à l'autre. Les autres éléments qui différencient ces scénarios sont les travaux nécessaires à la réalisation des adaptations nécessaires dans chaque cas :

Scénario 1 : travaux de remise à niveau du réseau ENP

Scénario 2 : travaux de dépose du réseau ENP et travaux permettant l'alimentation autonome des bois de Boulogne et Vincennes

16.1 Scénario 1

Selon l'étude des scénarios d'évolution du réseau d'eau non potable de SAFEGE[13], l'état du réseau d'eau non potable est assez mal connu. Ainsi les connaissances actuelles ne permettent que de définir une estimation des linéaires problématiques. Une définition des linéaires minimaux nécessitant des actions en cas du maintien de ce réseau a donc été établie dans l'étude et fournit une fourchette de 340 à 490 km en mauvais état.

Une répartition de ce linéaire par diamètre a été fournie par le STEA pour l'hypothèse basse (remplacement de 340 km de conduites) et pour l'hypothèse haute (remplacement de 490 km de conduites). Les chiffres correspondants sont présentés ci-dessous :

Tableau 9 – Scénario 1 / Hypothèse basse : linéaire remplacé par diamètre

Diamètre (mm)	Linéaire (km)
DN < 300	244
300 < DN < 600	87
DN > 600	9
Total	340

Tableau 10 – Scénario 1 / Hypothèse haute : linéaire remplacé par diamètre

Diamètre (mm)	Linéaire (km)
DN < 300	352
300 < DN < 600	125
DN > 600	13
Total	490

À partir de ces données un diamètre équivalent moyen de 225 mm a été calculé pour chaque hypothèse (sections équivalentes). Le diamètre équivalent ainsi calculé correspond à la moyenne des diamètres pondérés par les linéaires, où on fait l'hypothèse des diamètres suivants pour chaque catégorie :

- DN < 300 : 140 mm
- 300 < DN < 600 : 400 mm
- DN > 600 : 880 mm

Ces diamètres moyens par catégorie ont été obtenus eux-mêmes grâce au tableau fournis en section 4-18 de l'étude SAFEGE comme la moyenne des diamètres de chaque catégorie considérée

[13] Etude prospective sur l'évolution des moyens de production et de distribution de l'eau à Paris, partie « Etude des scénarios d'évolution du réseau d'eau non potable », 2008

pondérés par les linéaires correspondants, ce qui revient à faire l'hypothèse d'une répartition par catégorie des linéaires remplacés similaire à celles des linéaires existants.

Le diamètre équivalent de 225 mm ainsi calculé est à comparer avec le diamètre équivalent du réseau ENP qui est de l'ordre de 300 mm selon l'étude SAFEGE, sachant qu'environ 80 % des conduites du réseau ont un diamètre inférieur à 250 mm.

Signalons que cette approche par diamètre équivalent se base sur l'existence d'une relation linéaire bien vérifiée dans la pratique entre diamètre et masse des tuyaux : en effet il a été constaté, au cours de l'étude ayant donné lieu à la caractérisation des données de production des tuyaux en fonte qui sont utilisées dans la présente analyse de cycle de vie, que pour un linéaire donné, le diamètre est effectivement proportionnel à la masse des tuyaux produits, et également aux impacts générés. Un effet de bord existe sur les petits diamètres (pour assurer les caractéristiques de résistance et d'élasticité, un léger surplus de matériau est nécessaire par rapport au poids qu'on calculerait en proportion de ceux des tuyaux de diamètre important), mais celui-ci est négligeable par rapport aux ordres de grandeur mis en jeu.

La durée de vie des conduites ainsi posées est supposée être de 100 ans, ce qui constitue une valeur a priori inférieure à la durée de vie réelle, puisque certaines conduites du réseau actuel ont largement dépassé cette durée de vie et sont toujours en fonctionnement.

Les travaux de remise à niveau du réseau sont supposés être étalés sur 20 ans (correspondant ainsi à un amortissement des impacts sur 20 ans) : cette durée a été fournie par le STEA et correspond à un renouvellement du linéaire de 20 km par an, qui est une hypothèse réaliste pour un tel chantier.

Sur les linéaires indiqués ci-dessus, 75% correspondent à du renouvellement (remplacement des conduites) et 25% à de la rénovation.

16.2 Scénario 2

Dans le scénario 2 les travaux nécessaires consistent à déposer le réseau ENP et à assurer l'alimentation autonome des bois de Boulogne et Vincennes (dans les diagrammes présentés par la suite, le poste « Bois » correspond aux travaux et à la consommation électrique nécessaires à cette alimentation autonome).

Les données relatives à cette partie ont été obtenues via le STEA sur la base notamment de l'étude SAFEGE[14]. Elles incluent les éléments suivants :

- Consommation électrique des installations de pompage, sur la base des hypothèses des débits indiqués plus haut et des pertes de charge données dans l'étude
- Linéaire des canalisations à mettre en place

Les autres installations (bassins de stockage tampon) sont supposées être amorties et donc avec des impacts supposés négligeables devant ceux des consommations énergétiques.

17 Modélisation des transports

Les phases de transport prises en compte dans l'étude sont les suivantes :

- Transport par défaut des réactifs et consommables principaux pour la production et la distribution,
- Transport par défaut des boues,
- Transport des canalisations pour le linéaire de conduites remplacées,

Les distances de transport considérées dans la modélisation sont présentées dans les tableaux ci-dessous.

[14] « Etude relative à l'utilisation de l'eau non potable pour l'arrosage des jardins », 2007

Tableau 11 - Transport des réactifs et consommables principaux pour la production et la distribution

Réactifs	Distance (km)
$FeCl_3$	300
Floculant	300
Charbon Actif en Poudre (CAP)	300
Charbon Actif en Grain (CAG)	300
$NaHSO_3$	100
NaClO	300
H_3PO_4	300
O_2 liquide	300
N_2 liquide	300
H_2SO_4	300
Acide citrique	300
Sel	300
NaOH	300
Acide (autre)	300
CaO	200
SO_2 (déchloration)	300
Cl_2 (rechloration)	300
Fioul industriel	300

Tableau 12 - Transport des boues

Fin de vie des boues	Distance
Cimenterie	300
Mise en décharge (par défaut)	50

Les distances choisies correspondent à une hypothèse majorante (300 km sauf dans le cas de matières premières produites en carrière, pour lesquelles le choix est de 200 km).

Les tuyaux sont supposés être transportés à Paris par camion depuis le site de production de Pont-à-Mousson, soit une distance de 360 km. Ceci est justifié par le choix de tuyaux en fonte pour le remplacement des conduites dans les projets de renouvellement (aujourd'hui environ 99% du linéaire du réseau est en fonte).

18 Modélisation de la fin de vie des boues de traitement

18.1 Valorisation en cimenterie

La modélisation de l'incinération en cimenterie est basée sur l'étude ADEME sur la fin de vie des huiles usagées[15].

[15] Etude des filières de recyclage et de valorisation des huiles usagées, Ecobilan, ADEME 1998

Les impacts liés à la construction de la cimenterie, sa démolition ainsi que les impacts liés à l'exploitation du site sont considérés comme équivalent quel que soit le combustible utilisé dans la cimenterie.

Les taux de piégeage du chlore, du soufre et des métaux ont été fournis par la profession cimentière lors de l'étude ADEME sur l'étude de fin de vie des huiles usagées. Les mêmes taux ont été considérés pour les boues.

Tableau 13 - Taux de piégeage et taux de destruction des polluants présents dans les boues lors de la combustion en cimenterie

Polluants	Taux de piégeage ou de destruction
Soufre	99,80
Chlore	99,80
Chrome	99,98
Cobalt	99,99
Cuivre	99,97
Nickel	99,97
Plomb	99,95
Vanadium	99,98
Zinc	99,98

Pour les polluants pour lesquels l'information n'était pas disponible, le taux de piégeage le plus faible (99,80 %) a été choisi par défaut.

Pour les COV et les poussières, étant donné que les facteurs d'émissions considérés dans l'étude ADEME pour les huiles usagées n'existent pas pour les boues, la différence a été supposée négligeable entre l'incinération des combustibles fossiles et l'incinération des boues. Pour les oxydes d'azote, étant donné que les émissions peuvent être corrélées au pouvoir calorifique des combustibles, les émissions des boues sont égales (à énergie dégagées constante) aux émissions des combustibles fossiles.

On considère de plus que l'efficacité de la combustion est de 99,9 % (source étude ADEME), une faible partie du carbone contenue dans les combustibles ne se transformant pas. Il n'y a pas de production de déchets dans la mesure où les poussières récupérées au niveau de l'électro filtre sont réinjectées et s'intègrent dans le clinker.

18.2 Mise en décharge de classe II

Une partie des boues est envoyée en CET de classe II.

Les modèles de mises en décharge ont été obtenus en utilisant le logiciel WISARD™. La modélisation des impacts liés à la mise en décharge des boues prennent en compte la composition des boues.

Le détail de la modélisation de la mise en décharge est présenté en annexe.

19 Modélisation de la fin de vie des canalisations

Dans les scénarios 1 et 2, le démantèlement du réseau permet de recycler de la fonte, ce qui permet de fournir des matières premières nécessaires pour la production de fonte secondaire. Le bénéfice environnemental de cette opération est crédité au système étudié, en partie à la production de fonte recyclée.

Notons que dans le cas du scénario 2, le réseau ENP est progressivement abandonné. L'hypothèse du scénario est donc que les canalisations ne sont pas récupérées. Cependant une analyse de sensibilité peut être faite a priori pour déterminer l'impact d'une hypothèse de récupération progressive de ces canalisations en ferrailles dans le cadre d'autres projets.

Les recommandations de la plateforme ADEME/AFNOR sur l'affichage environnemental (2009) indiquent à cet égard la nécessité d'une cohérence entre le modèle de production des canalisations utilisé et le choix des modalités de fin de vie des canalisations récupérées. En l'occurrence, comme les modèles de production des tuyaux en fonte adoptent une approche selon la méthode des stocks (pas de séparation entre fonte primaire et fonte secondaire, modélisation du cycle de la fonte en boucle fermée), c'est le même choix qui doit être retenu pour la partie des canalisations qui sont récupérées.

Les conduites valorisées sont donc considérées comme un stock de matière à valoriser : seul leur transport vers le site de valorisation est pris en compte, celui-ci n'étant pas considéré dans les modules de production des canalisations.

Cette approche peut être complétée a priori par une analyse de sensibilité portant sur l'incrément de fonte récupérée par rapport au contenu initial en ferrailles récupérées utilisées pour la production de la fonte.

La partie des canalisations déposées et non valorisées est comptabilisée en tant que déchets inertes.

20 Hypothèses et sources des données sur le transport et la production d'électricité

20.1 Modèle de transport

20.1.1 Calcul général de la consommation de gasoil liée aux transports

La consommation standard d'un camion de 24 t de charge utile est généralement estimée à 38 litres de diesel au 100 km à pleine charge.

Pour calculer la consommation réelle, on considère qu'une partie (2/3) est fixe et qu'une partie (1/3) dépend de la masse transportée par le camion.

Dans cette étude, la formule suivante a été utilisée :

Consommation réelle (en litres) =

Nombre de km parcourus * 38/100 * [2/3 + 1/3 * charge réelle/charge utile + taux de retour à vide * 2/3]

20.1.2 Source des données

Les données utilisées pour modéliser la combustion de gasoil dans un moteur de camion sont issues de la base de données du laboratoire Systèmes Energétiques, ETH (Eidgenössische Technische Hochschule) Zurich, (1996).

20.2 Modèles de production de l'électricité

Cette étude porte sur des consommations localisées en France. Par conséquent, le modèle de production de l'électricité qui a été choisi est représentatif de la situation de ce pays. Toutefois, notamment pour les sous-systèmes relatifs à la production des réactifs, les données choisies étant représentatives de la moyenne européenne, le modèle d'électricité correspond à la situation moyenne en Europe. Les caractéristiques de chaque modèle sont détaillées dans le tableau suivant. Les modules de production sont représentatifs de l'année 2005 et correspondent à des données 2007.

Tableau 14 - Origine de l'électricité dans les pays concernés par l'étude

Source d'énergie	Situation française (en %) - 2007	Situation européenne (en %) - 2007
Charbon	4.79	29.16
Fuel lourd	1.25	4.18
Gaz naturel	3.99	20.05
Energie nucléaire	78.46	30.13
Energie hydraulique	10.06	10.29
Gaz process	0.52	1.06
Divers[16]	0.88	5.13
TOTAL	100	100
Perte de distribution	5.52	6.39

Les données utilisées pour la répartition entre filières électriques et les rendements sont issues de statistiques représentatives pour la plupart de l'année 2005 et établies par l'Agence Internationale de l'Energie (AIE). Les données utilisées pour modéliser chaque filière sont issues de l'Ecole Polytechnique de Zurich : « Ökoinventare von Energiesystemen – Teil 2 », Laboratorium für Energiesysteme, ETH (Eidgenössische Technische Hochschule) Zurich, 1996.

[16] Energie renouvelable (éolienne, solaire, biomasse, géothermique…)

SECTION IV - Limitations de l'étude

21 Limitations liées aux choix de périmètre et de modélisation

21.1 Diminution des consommations entre scénarios 1 et 2

On voit dans le paragraphe 8.2 que la somme des volumes des consommations DEVE/Parcs intra-muros + SAP + Propreté + Industriels est de :

- 46 000 m^3/j pour le scénario 1
- 25 900 m^3/j pour le scénario 2 après report sur l'EP. Cette diminution est commentée en 8.2.2 et provient pour la plus grande partie d'une hypothèse d'utilisation raisonnée, les utilisateurs étant supposés porter une attention plus particulière à leur consommation sachant qu'il s'agit d'eau potable.

Cette hypothèse de diminution est une limitation dans la mesure où elle est entièrement prospective et basée sur l'appréciation anticipée par les spécialistes du réseau.

Une analyse de sensibilité sera faite pour savoir si une faible variation de la valeur retenue peut faire basculer le résultat du bilan.

21.2 Non prise en compte des réactifs à l'étape d'assainissement

L'hypothèse retenue dans cette étude est de ne prendre en compte que les consommations énergétiques liées au transport des effluents vers les stations d'épuration et aux pompages rendus nécessaires par les pertes de charge au niveau des stations d'épuration : ainsi, les consommations de réactifs au cours de l'étape d'assainissement sont négligées.

Ce choix méthodologique expliqué en 9.2.2 constitue une limitation de l'étude puisqu'il découle d'une hypothèse prise sur la base de l'hypothèse que les réactifs considérés servent à traiter une charge constante quel que soit le scénario que l'on étudie (en lien avec l'hypothèse d'une population constante).

22 Limitations liées à la disponibilité des données

Comme développé en 8.2.1, les caractéristiques du réseau ENP sont mal connues : ainsi on est amené dans cette étude à étudier deux possibilités d'indice linéaire de perte (et donc deux possibilités de rendement) pour le scénario 1 (mise à niveau du réseau ENP). Le choix des bornes de l'intervalle ainsi exploré (15 à 25 m^3/j.km) est basé, comme dans le cas des hypothèses de consommation, sur une appréciation anticipée par les spécialistes du réseau et constitue donc une limitation partielle de l'étude, même si le choix de la fourchette est basé sur la connaissance de l'indice linéaire de perte actuel (33 m^3/j.km), qui constitue un plafond lié à la gestion actuelle non optimisée.

Cette question est notamment traitée dans le cadre d'une analyse de sensibilité présentée dans la section V en 26.2.

SECTION V : Résultats

Sauf mention contraire les résultats présentés dans cette section sont pour une unité fonctionnelle, c'est-à-dire :

« Produire et transporter de l'eau potable et de l'eau non potable jusqu'aux points de consommation, pour satisfaire les besoins annuels des utilisateurs actuels d'eau potable et non potable de la ville de Paris »

23 Présentation des impacts par étape pour le scénario actuel

Dans cette partie, nous présentons successivement les résultats obtenus pour des indicateurs représentatifs de chaque type d'impact (consommation d'énergie primaire, épuisement des ressources, émissions dans l'air, rejets dans l'eau) en recherchant les étapes du cycle de vie contribuant le plus au résultat global.

Nous justifions également le choix des indicateurs d'émissions dans l'air retenus (étude de l'importance des émissions de substances toxiques, cf section III, paragraphe 10.1).

23.1 Consommation d'énergie primaire totale

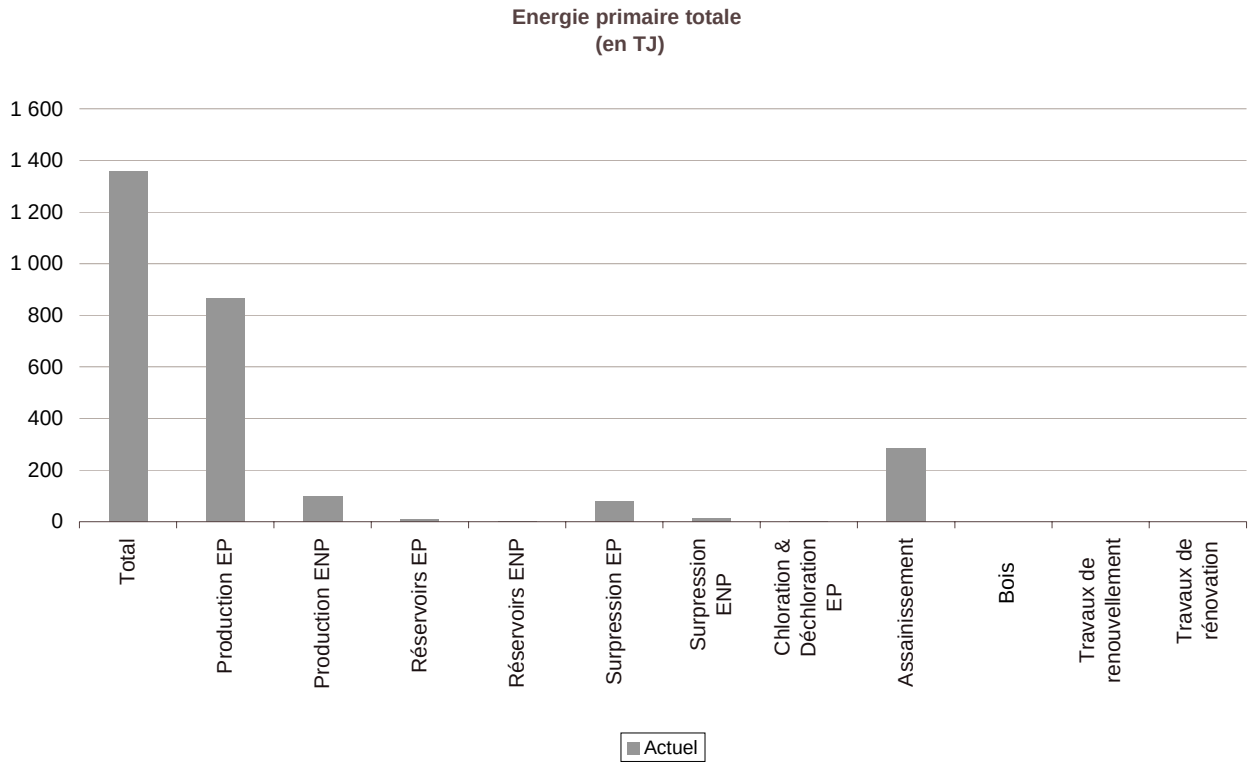


Figure 3 - Sc actuel - Consommation d'énergie primaire totale

La consommation d'énergie primaire totale est liée à environ 70% à l'étape de production de l'eau. Au sein de cette étape **c'est la consommation d'électricité qui est majoritairement responsable des impacts** : à titre d'exemple pour la production d'eau potable, les impacts proviennent à 90% de la production d'électricité et à environ 10% de la production et du transport des réactifs. Les autres étapes qui ressortent pour cet indicateur sont l'assainissement et la consommation des usines de surpression à travers leur consommation électrique.

En particulier, on voit que les réservoirs ou les postes de chloration/déchloration ne ressortent pas dans le bilan. Ceci s'explique par une faible consommation électrique et de réactifs : pour l'eau potable, le ratio de la consommation électrique sur les volumes distribués en sortie des réservoirs est en moyenne deux ordres de grandeur en dessous de celui de la production d'eau, et de même la quantité en masse totale de réactifs pour un même volume d'eau mis en distribution est un ordre de grandeur en dessous pour les réservoirs par rapport aux unités de production.

L'alimentation autonome des bois et les travaux sont à des valeurs nulles pour ce scénario, puisque ces étapes ne s'appliquent qu'aux scénarios prospectifs 1 et 2. Cependant on voit dans la suite que dans les scénarios où ils s'appliquent, leur contribution au bilan est faible pour l'ensemble des indicateurs étudiés.

23.2 Épuisement des ressources non renouvelables

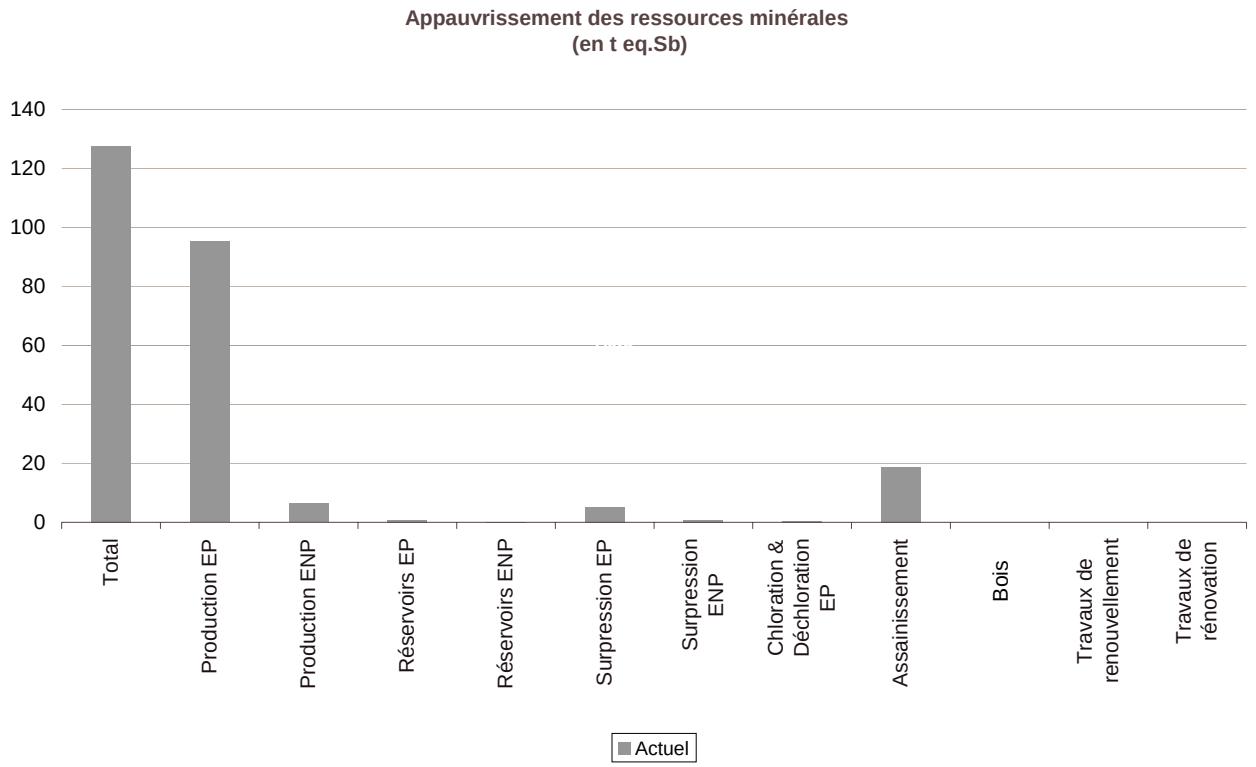


Figure 4 - Sc actuel - Épuisement des ressources non renouvelables

L'épuisement des ressources non renouvelables a un profil similaire à celui de la consommation d'énergie primaire totale, puisque le facteur largement dominant est celui de la consommation d'électricité nécessaire au fonctionnement des installations : ainsi les flux contribuant à l'indicateur calculé sont ceux qui rentrent dans le bouquet de la production d'électricité française (essentiellement uranium, charbon, et gaz naturel).

Remarquons que le rapport entre les contributions de la production d'EP et de la production d'ENP est différent du rapport des volumes produits. Ceci est lié à une différence importante entre les quantités d'électricité nécessaires pour distribuer un volume donné : en effet l'énergie consommée par le pompage et le refoulement de 1 m^3 d'EP est de 350 Wh environ, contre environ 160 Wh pour l'ENP (ces chiffres ne concernent que la production et n'incluent donc pas la surpression ou l'assainissement). Signalons de plus que l'assainissement de 1 m^3 d'eau usée nécessite environ 95 Wh avec les hypothèses prises plus haut, voir paragraphe 15.3).

23.3 Emissions gaz à effet de serre

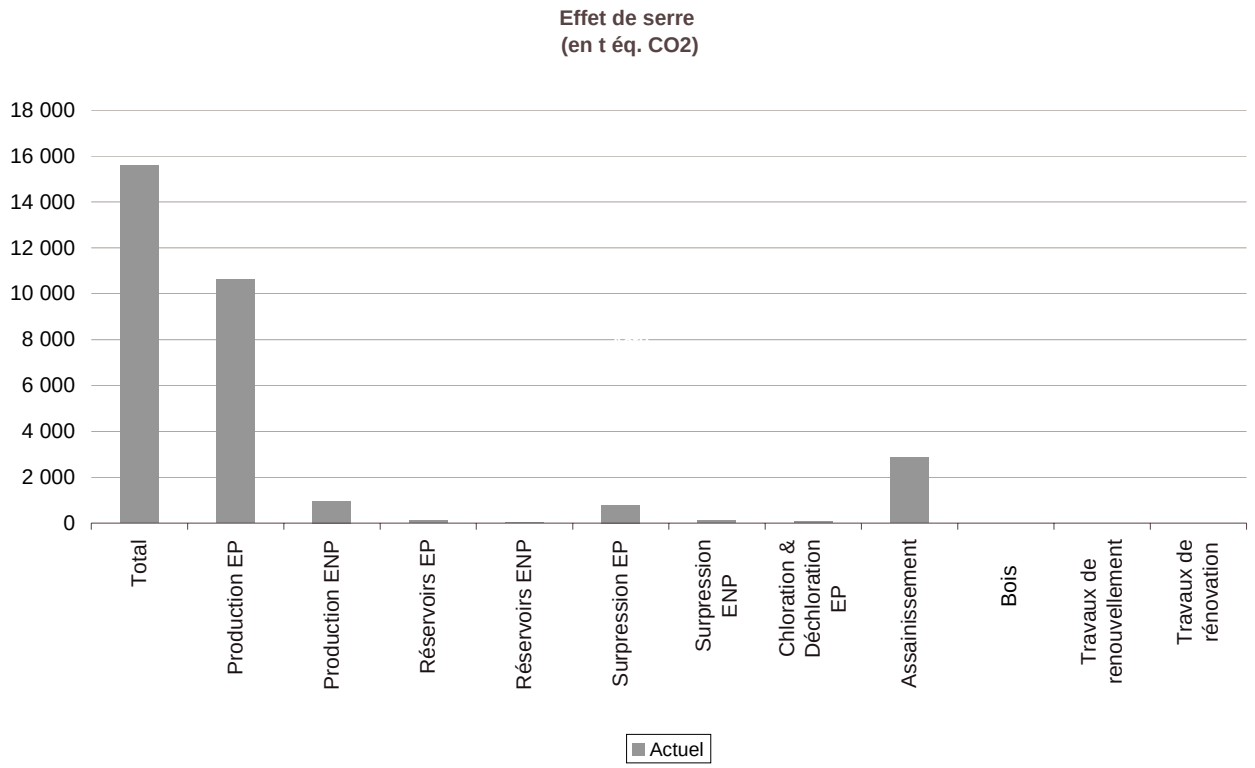


Figure 5 - Sc actuel - Émissions de gaz à effet de serre

Comme pour les indicateurs précédents, c'est l'électricité qui domine le bilan des émissions de gaz à effet de serre. La production de l'eau est donc logiquement l'étape qui apporte la principale contribution au total des impacts.

Remarquons cependant que l'importance relative de l'étape de production d'eau par rapport au total et aux autres étapes est plus importante que dans le cas de l'indicateur de consommation d'énergie primaire (75% contre 70% environ). Ceci est dû à :

- La part réduite des émissions de gaz à effet de serre dans la production d'électricité[17]
- L'importance des consommations de produits chimiques dans la production d'EP et d'ENP par rapport aux autres étapes, pour lesquelles l'électricité est quasiment le seul facteur dominant (pour cette raison les réactifs dans l'étape de production représentent environ 20% des impacts de la production, ce qui fait augmenter le ratio entre les impacts de la production et ceux des autres étapes contributrices).

[17] En raison de la présence importante du nucléaire dans le bouquet énergétique français, la production de 1 kWh d'électricité émet en ordre de grandeur 100 g éq CO_2, contre 500 g g éq CO_2 pour l'électricité européenne

23.4 Eutrophisation

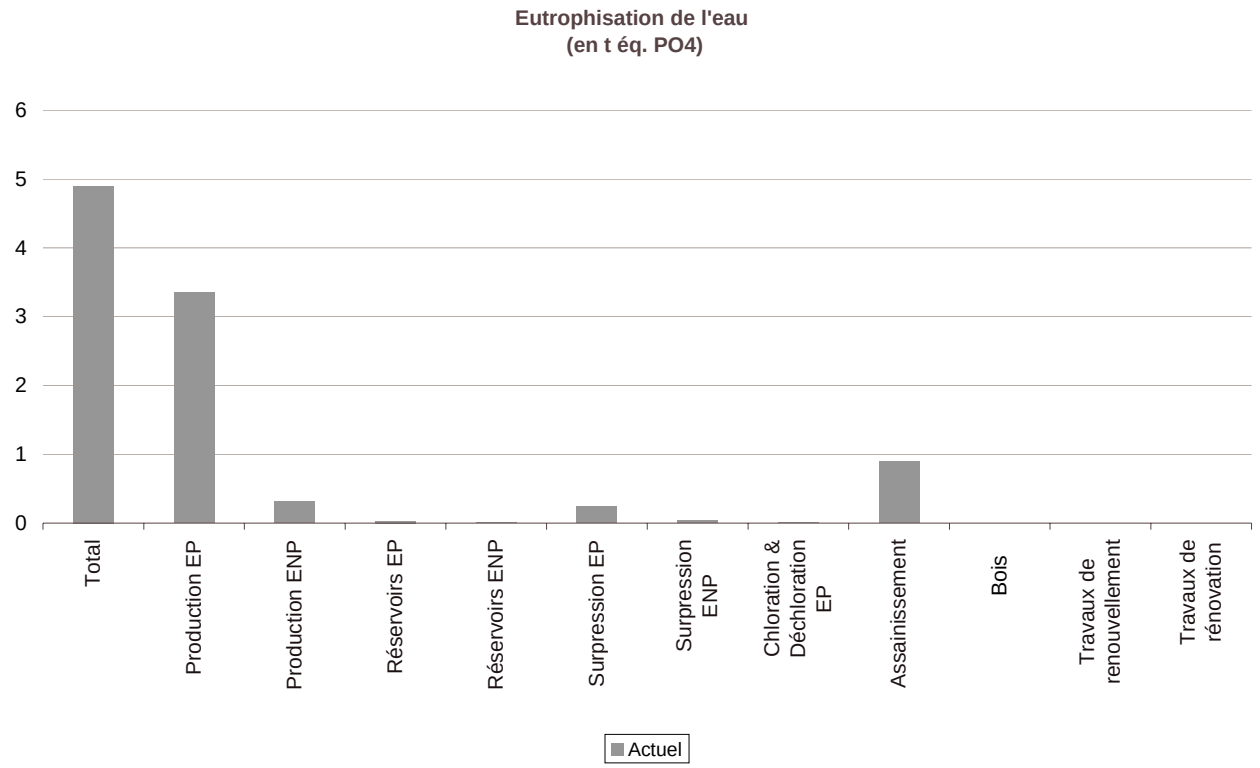


Figure 6 - Sc actuel – Eutrophisation

Les rejets de matières eutrophisantes correspondent essentiellement à la production d'électricité (production et transport amont des matières premières) et ont donc un profil similaire à celui de la consommation d'énergie primaire totale.

Signalons cependant que les valeurs calculées sont faibles par rapport à l'unité fonctionnelle proposée : en effet les impacts annuels d'un habitant en termes d'eutrophisation sont de l'ordre de 10 kg éq PO_4. Les impacts du système retenu dans le cadre de notre étude sont donc équivalents à ceux de moins de 500 habitants, alors que ce système permet l'alimentation en eau d'une ville de 2 millions de personnes.

23.5 Synthèse des impacts

Nous présentons dans le tableau suivant, à titre d'information et pour comparaison avec les résultats fournis dans la suite, l'ensemble des impacts calculés pour le scénario actuel.

Tableau 15 - Résultats par impact pour le scénario actuel

Impact	Sc actuel
Energie primaire totale (en TJ)	1 360
Epuisement des ressources non renouvelables (t éq. Sb)	128
Consommation d'eau (en millions de m^3)	281
Effet de serre (en t éq. CO_2)	15 579
Acidification de l'air (en t éq. SO_2)	108
Production d'oxydants photochimiques (en t éq.C_2H_4)	11
Eutrophisation de l'eau (en t éq. PO_4)	5
Rejets de MES (en t)	13
Emissions de poussières (en t)	15
Production de déchets totaux (en t)	4 960

24 Comparaison des performances environnementales des différents scénarios étudiés

Nous comparons ici successivement les résultats des scénarios pour chaque indicateur étudié.

Nous rappelons ici les caractéristiques des scénarios comparés :

- Scénario 1 : le réseau ENP est maintenu en service et remis en état (avec un indice de perte linéaire de 15 m^3/j.km pour l'hypothèse 1 et de 25 m^3/j.km pour l'hypothèse 2)
- Scénario 2 : le réseau ENP est abandonné, les usages étant reportés vers l'eau potable (EP) ou des ressources spécifiques pour l'alimentation des bois. Dans ce cas, les usines de production d'EP augmentent leur production et le réseau ENP est progressivement abandonné puis déposé à l'occasion d'autres projets

24.1 Consommation d'énergie primaire totale

24.1.1 Interprétation

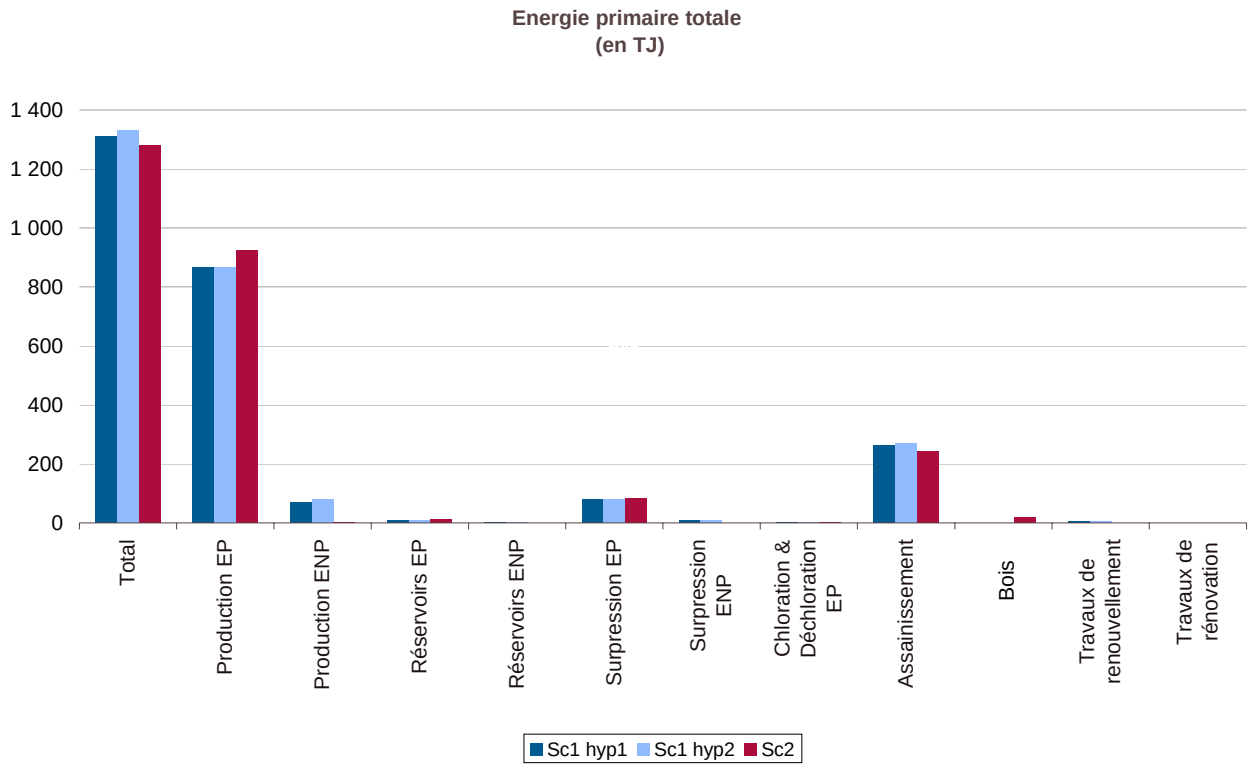


Figure 7 - Consommation d'énergie primaire totale

Rappelons que l'indicateur de consommation d'énergie primaire totale est conditionné dans une mesure très large par les consommations électriques des équipements, et dans une moindre mesure par la production et le transport des réactifs. Dans cette perspective la comparaison entre les deux scénarios étudiés se fait en considérant essentiellement deux effets opposés :

- « Effet **volumes** » : dans le scénario 1, les quantités d'eau produites sont plus importantes que dans le scénario 2 en raison de l'effet cumulé du rendement (plus faible sur le réseau ENP que sur le réseau EP) et des modifications de comportement liées à la substitution par de l'eau potable dans le cas du scénario 2. Les efforts de pompage et les consommations

d'électricité correspondant à ces volumes plus importants résultent en une consommation énergétique plus importante dans le scénario 1 que dans le scénario 2

- « Effet **consommation d'électricité rapportée au m^3 d'eau distribué** » : comme expliqué précédemment, l'énergie électrique consommée par m^3 d'EP distribué est de 350 Wh environ, contre environ 160 Wh pour l'ENP. Ceci signifie que les volumes reportés sur l'EP demandent un pompage plus important pour un volume donné. De manière plus marginale au regard de l'analyse réalisée sur la contribution des réactifs à l'étape de production de l'EP, les volumes reportés sur l'EP demandent une quantité de réactifs plus importante, d'où des impacts plus importants

24.1.2 Tableau de résultats

Tableau 16 - Consommation d'énergie primaire totale

Consommation d'énergie primaire totale (TJ)	Sc1 hyp1	Sc1 hyp2	Sc2
Production EP	867	867	924
Production ENP	71	81	2
Réservoirs EP	10	10	11
Réservoirs ENP	1	1	0
Surpression EP	78	78	84
Surpression ENP	9	10	0
Chloration & Déchloration EP	2	2	2
Assainissement	264	271	243
Parcs	0	0	19
Travaux de renouvellement	6	6	0
Travaux de rénovation	0	0	0
Total	**1 310**	**1 330**	**1 280**

Remarque : les totaux des tableaux ne bouclent pas nécessairement à l'unité près en raison des erreurs d'arrondis.

Au total, le scénario 2 est plus favorable que le scénario 1 avec une différence de l'ordre de 3% entre scénario 1 et scénario 2 selon l'hypothèse retenue pour le scénario 1.

.

24.2 Épuisement des ressources non renouvelables

24.2.1 Interprétation

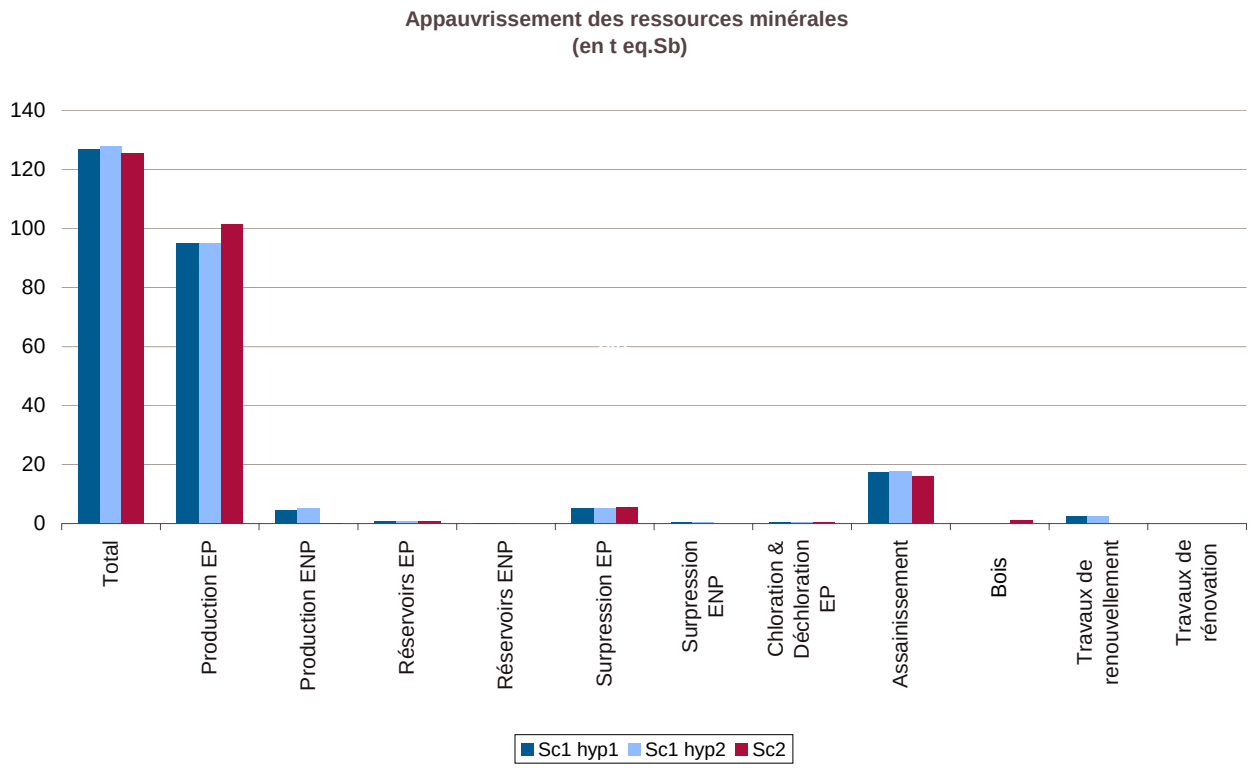


Figure 8 – Épuisement des ressources non renouvelables

L'interprétation que nous donnons aux résultats calculés sur l'épuisement des ressources non renouvelables est essentiellement la même que pour la consommation d'énergie primaire totale : en effet, comme expliqué plus haut, le profil résultant est quasiment uniquement lié à la consommation d'électricité (consommation d'uranium, de charbon, et de gaz naturel).

24.2.2 Tableau de résultats

Tableau 17 - Épuisement des ressources non renouvelables

Epuisement des ressources non renouvelables (t éq Sb)	Sc1 hyp1	Sc1 hyp2	Sc2
Production EP	95	95	101
Production ENP	4	5	0
Réservoirs EP	1	1	1
Réservoirs ENP	0	0	0
Surpression EP	5	5	6
Surpression ENP	1	1	0
Chloration & Déchloration EP	0	0	0
Assainissement	17	18	16
Bois	0	0	1
Travaux de renouvellement	3	3	0
Travaux de rénovation	0	0	0
Total	**127**	**128**	**126**

Remarque : les totaux des tableaux ne bouclent pas nécessairement à l'unité près en raison des erreurs d'arrondis.

Le scénario 2 est plus favorable que le scénario 1 avec une différence de l'ordre de 1% entre les deux. Cet écart ne peut pas être considéré comme différenciant.

24.3 Consommation d'eau

24.3.1 Interprétation

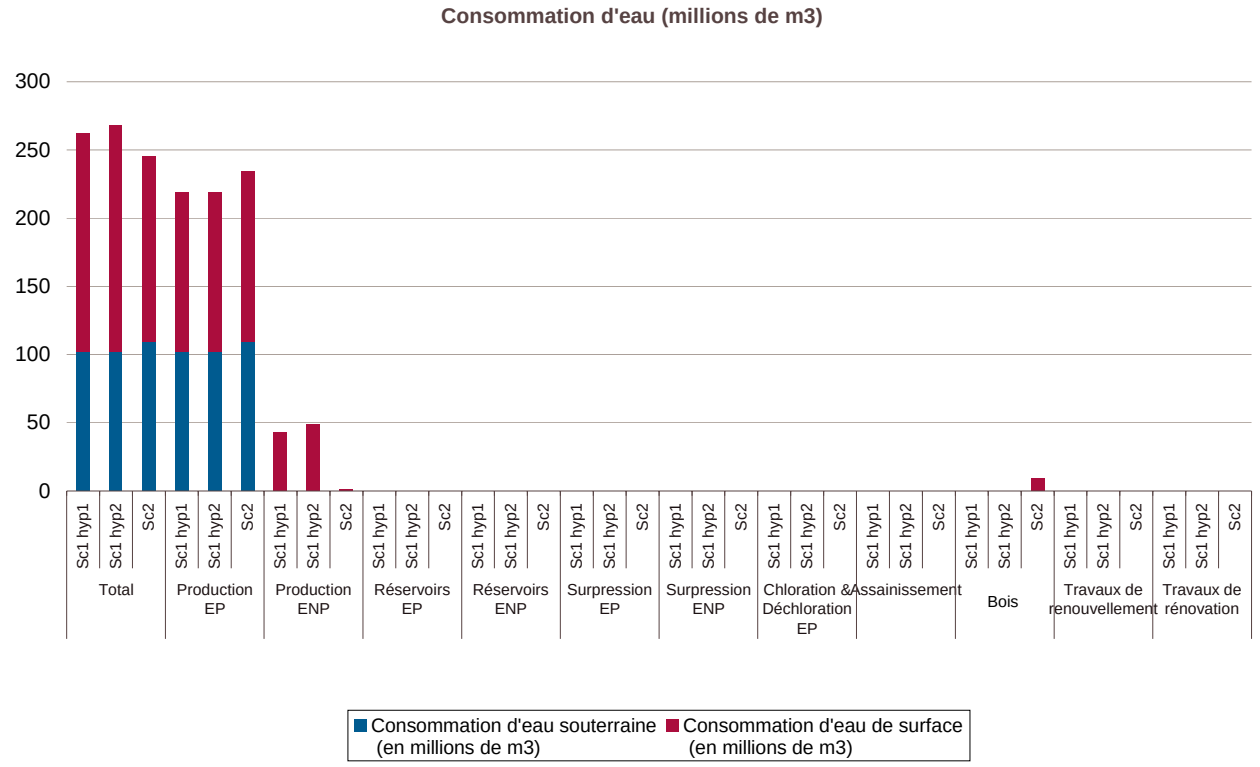


Figure 9 - Consommation d'eau

L'interprétation de la consommation d'eau se fait directement à partir des hypothèses prises pour les consommations respectives des différents scénarios.

En effet, même si la consommation d'eau pour les autres facteurs inclus dans le système sont pris en compte, c'est la consommation d'eau qui domine très largement le bilan (à plus de 99%).

L'économie réalisée en consommation d'eau dans le cadre du scénario 2 est de l'ordre de 8% par rapport au scénario 1 (7% pour le scénario 1 dans son hypothèse 1, 9% pour le scénario 1 dans son hypothèse 2). Cette économie est due au meilleur rendement du réseau EP cumulé à la modification des usagers au niveau de l'EP remplaçant les usages ENP.

La distinction entre eau de surface et eau souterraine est réalisée car la seconde est considérée comme une ressource plus fragile, dont la gestion doit faire l'objet d'une attention spéciale. Le tableau suivant montre la comparaison par source des consommations d'eau des différents scénarios :

Tableau 18 - Répartition de la consommation entre eau superficielle et eau souterraine

Scénario	Eau souterraine (millions de m^3)	Eau de surface (millions de m^3)
Sc1 hyp1	**102**	**160**
Sc1 hyp2	**102**	**166**
Sc2	**109**	**136**

En l'occurrence, dans l'état actuel de gestion de la ressource le scénario 2 est le plus défavorable en termes de consommation d'eau souterraine : en effet l'EP est produite sur une base de 47% d'eau souterraine contre 53% d'eau superficielle et l'ENP est produite sur une base de 100% d'eau superficielle. Comme il y a davantage de consommation EP dans le scénario 2, celui-ci est donc moins favorable que le scénario 1 du point de vue du critère de la consommation d'eau souterraine.

Signalons cependant que si nécessaire dans le scénario 2, la gestion de la ressource pourra être adaptée de manière à moduler la proportion d'eau superficielle et d'eau souterraine.

24.3.2 Tableau de résultats

Tableau 19 - Consommation d'eau

Consommation d'eau (millions de m^3)	Sc1 hyp1	Sc1 hyp2	Sc2
Production EP	220	220	234
Production ENP	43	49	1
Réservoirs EP	0	0	0
Réservoirs ENP	0	0	0
Surpression EP	0	0	0
Surpression ENP	0	0	0
Chloration & Déchloration EP	0	0	0
Assainissement	0	0	0
Bois	0	0	9
Travaux de renouvellement	0	0	0
Travaux de rénovation	0	0	0
Total	**263**	**269**	**245**

Remarque : les totaux des tableaux ne bouclent pas nécessairement à l'unité près en raison des erreurs d'arrondis.

24.4 Émissions de gaz à effet de serre

24.4.1 Interprétation

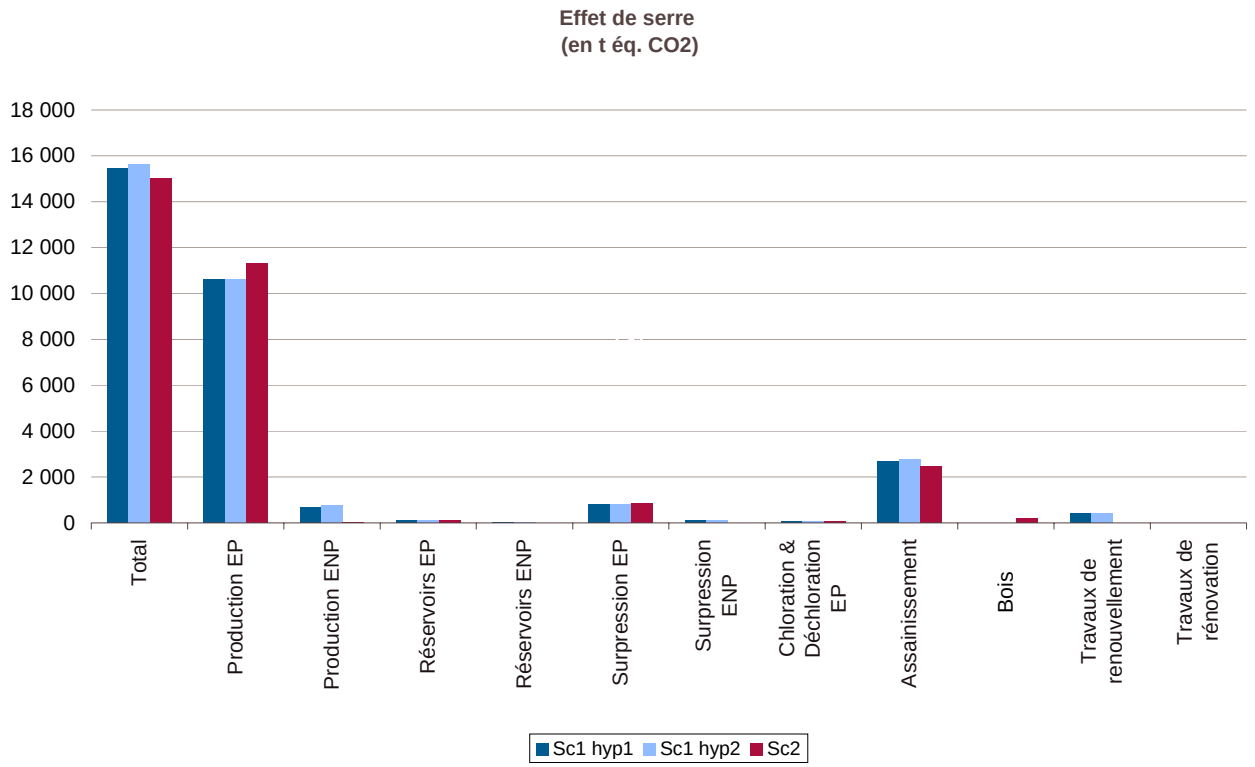


Figure 10 - Emissions de gaz à effet de serre

La comparaison des scénarios sur le critère des émissions de gaz à effet de serre se fait selon une logique similaire à celle portant sur le critère de l'énergie primaire. Ainsi le scénario 2 est davantage favorable que le scénario 1 en raison de l'écart de volumes d'eau à traiter et distribuer. Cependant ceci est partiellement compensé par le fait que la consommation d'électricité pour le pompage de l'ENP est plus faible que celle nécessaire au pompage de l'EP pour un même volume.

De plus dans le cas des émissions de gaz à effet de serre, l'électricité française est relativement peu émettrice, donnant ainsi une contribution plus importante des réactifs au total des impacts, ce qui joue en défaveur du scénario 2 puisque davantage de réactifs sont nécessaires pour traiter l'EP par rapport à l'ENP.

24.4.2 Tableau de résultats

Tableau 20 - Émissions de gaz à effet de serre

Emissions de gaz à effet de serre (t éq CO_2)	Sc1 hyp1	Sc1 hyp2	Sc2
Production EP	10 625	10 625	11 323
Production ENP	677	776	19
Réservoirs EP	110	110	117
Réservoirs ENP	13	15	0
Surpression EP	794	794	846
Surpression ENP	89	102	0
Chloration & Déchloration EP	59	59	63
Assainissement	2 673	2 742	2 463
Bois	0	0	196
Travaux de renouvellement	415	415	0
Travaux de rénovation	2	2	0
Total	**15 456**	**15 638**	**15 026**

Remarque : les totaux des tableaux ne bouclent pas nécessairement à l'unité près en raison des erreurs d'arrondis.

Au final l'écart total entre scénario 1 et 2 est de l'ordre de 3% sur le critère des émissions de gaz à effet de serre. Cet écart ne peut pas être considéré comme différenciant.

24.5 Acidification atmosphérique

24.5.1 Interprétation

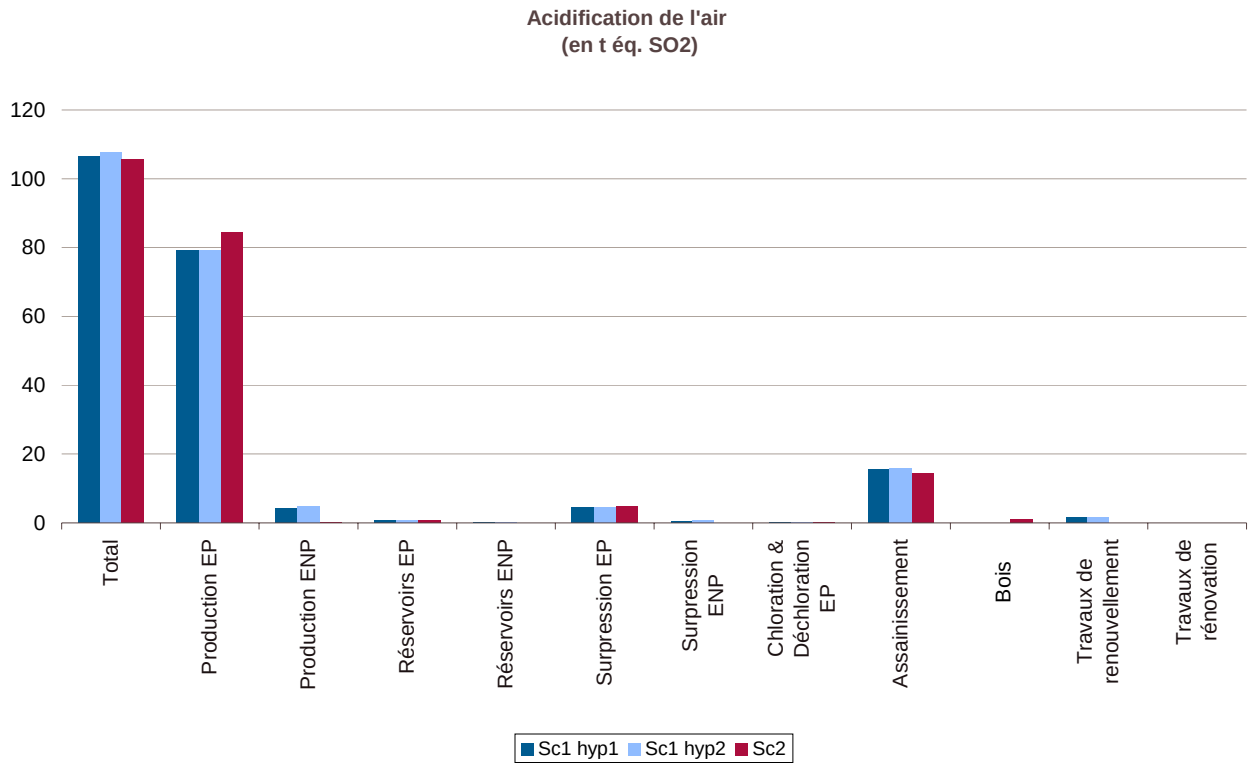


Figure 11 - Emissions de gaz acidifiants

Le profil et l'interprétation des résultats sur les émissions de gaz acidifiants sont similaires à ceux portant sur les émissions de gaz à effet de serre.

24.5.2 Tableau de résultats

Tableau 21 - Acidification de l'air

Emissions de gaz acidifiants (t éq SO_2)	Sc1 hyp1	Sc1 hyp2	Sc2
Production EP	79	79	84
Production ENP	4	5	0
Réservoirs EP	1	1	1
Réservoirs ENP	0	0	0
Surpression EP	5	5	5
Surpression ENP	1	1	0
Chloration & Déchloration EP	0	0	0
Assainissement	15	16	14
Bois	0	0	1
Travaux de renouvellement	2	2	0
Travaux de rénovation	0	0	0
Total	107	108	106

Remarque : les totaux des tableaux ne bouclent pas nécessairement à l'unité près en raison des erreurs d'arrondis.

Au final l'écart total entre scénario 1 et 2 est de l'ordre de 1% : ceci n'est pas différenciant dans le cadre de notre étude.

24.6 Formation d'oxydants photochimiques

24.6.1 Interprétation

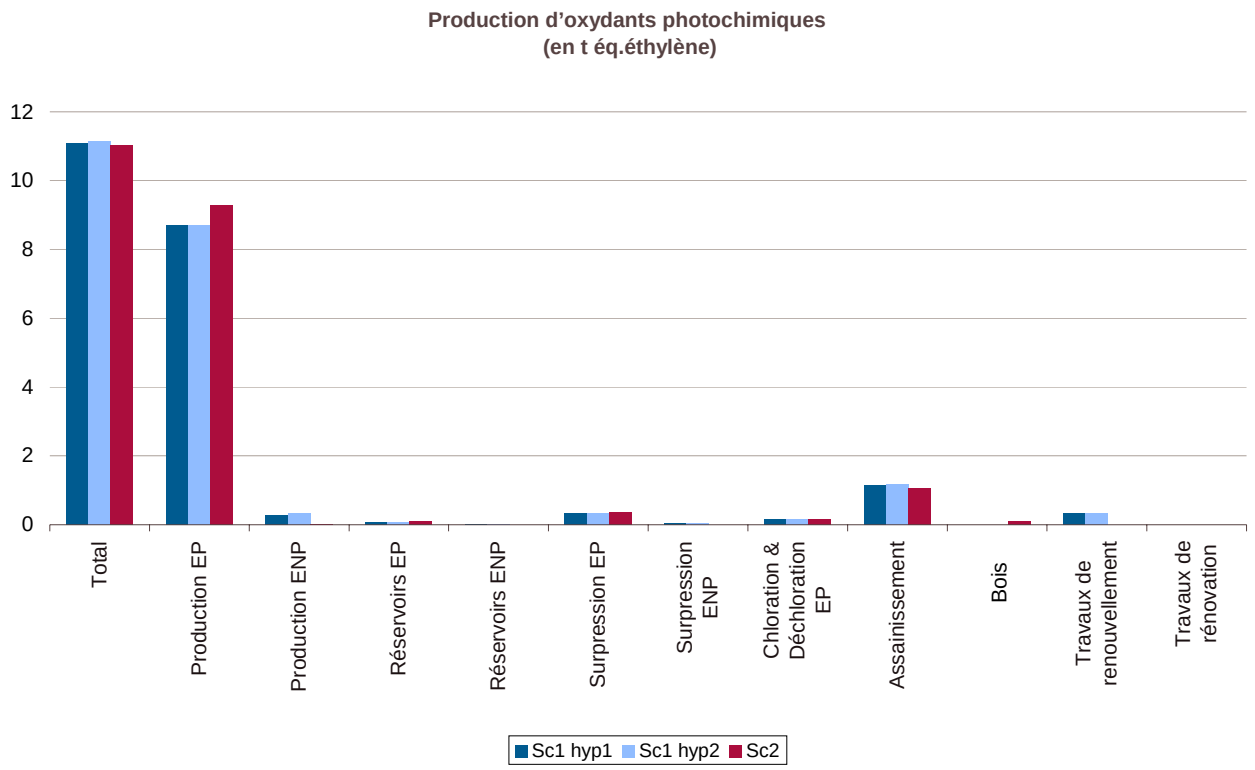


Figure 12 - Formation d'oxydants photochimiques

L'écart total entre scénario 1 et 2 est quasiment nul. Cet écart très faible est dû comme dans le cas des émissions de gaz à effet de serre à des contributions importantes des réactifs à l'indicateur de production d'oxydants photochimiques, compensant ainsi les écarts de volumes d'eau à produire entre différents scénarios. L'écart calculé ne permet pas de différencier les deux scénarios dans le cadre de notre étude d'ACV.

24.6.2 Tableau de résultats

Tableau 22 - Formation d'oxydants photochimiques

Formation d'oxydants photochimiques (t éq éthylène)	Sc1 hyp1	Sc1 hyp2	Sc2
Production EP	9	9	9
Production ENP	0	0	0
Réservoirs EP	0	0	0
Réservoirs ENP	0	0	0
Surpression EP	0	0	0
Surpression ENP	0	0	0
Chloration & Déchloration EP	0	0	0
Assainissement	1	1	1
Bois	0	0	0
Travaux de renouvellement	0	0	0
Travaux de rénovation	0	0	0
Total	11	11	11

Remarque : les totaux des tableaux ne bouclent pas nécessairement à l'unité près en raison des erreurs d'arrondis.

24.7 Eutrophisation des eaux

24.7.1 Interprétation

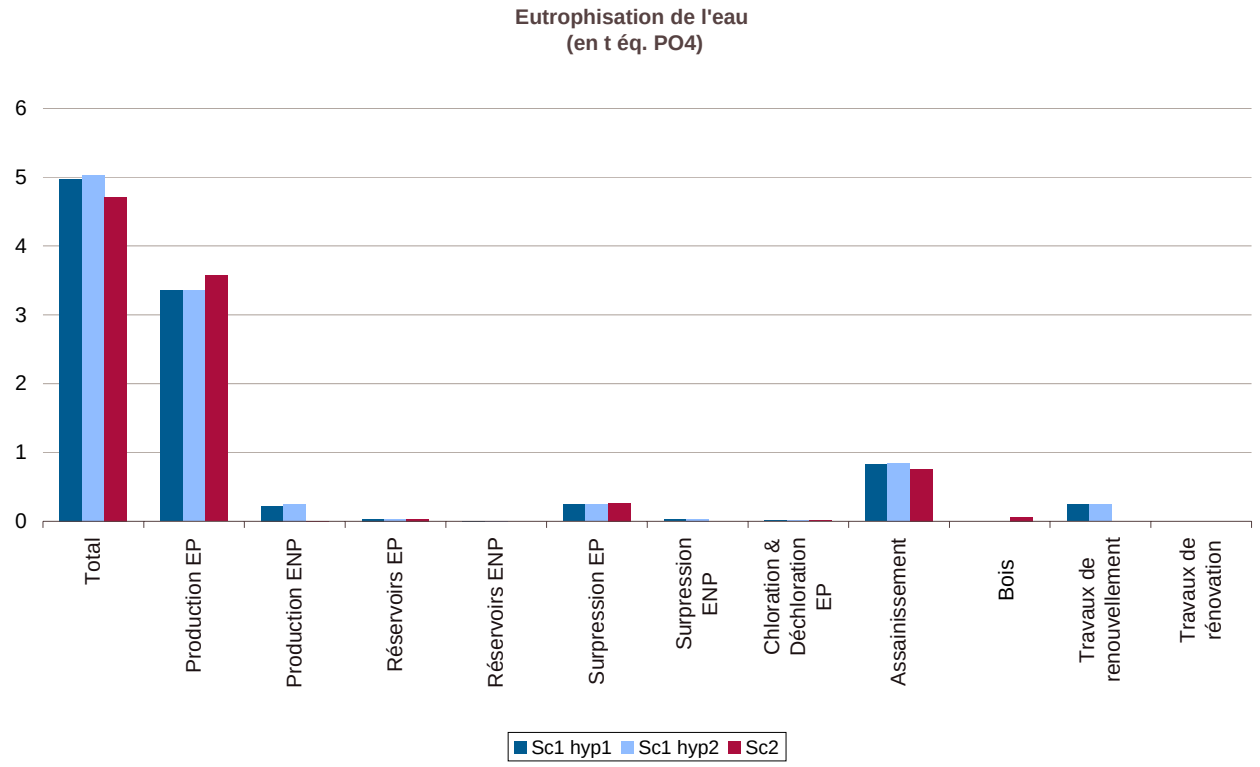


Figure 13 - Eutrophisation des eaux

L'écart entre scénario 1 et scénario 2 est de l'ordre de 5% selon les hypothèses considérées pour le scénario 1, ce qui n'est pas conclusif dans le cadre de notre étude, notamment au regard des quantités

totales calculées, qui sont faibles par rapport au service fourni (voir notre commentaire au niveau de l'analyse du scénario actuel en 23.4 de la section *Résultats*).

24.7.2 Tableau de résultats

Tableau 23 - Eutrophisation des eaux

Eutrophisation des eaux (t éq PO_4)	Sc1 hyp1	Sc1 hyp2	Sc2
Production EP	3.4	3.4	3.6
Production ENP	0.2	0.3	0.0
Réservoirs EP	0.0	0.0	0.0
Réservoirs ENP	0.0	0.0	0.0
Surpression EP	0.2	0.2	0.3
Surpression ENP	0.0	0.0	0.0
Chloration & Déchloration EP	0.0	0.0	0.0
Assainissement	0.8	0.8	0.7
Bois	0.0	0.0	0.1
Travaux de renouvellement	0.2	0.2	0.0
Travaux de rénovation	0.0	0.0	0.0
Total	5.0	5.0	4.7

Remarque : les totaux des tableaux ne bouclent pas nécessairement à l'unité près en raison des erreurs d'arrondis.

24.8 Rejets de matières en suspension

24.8.1 Interprétation

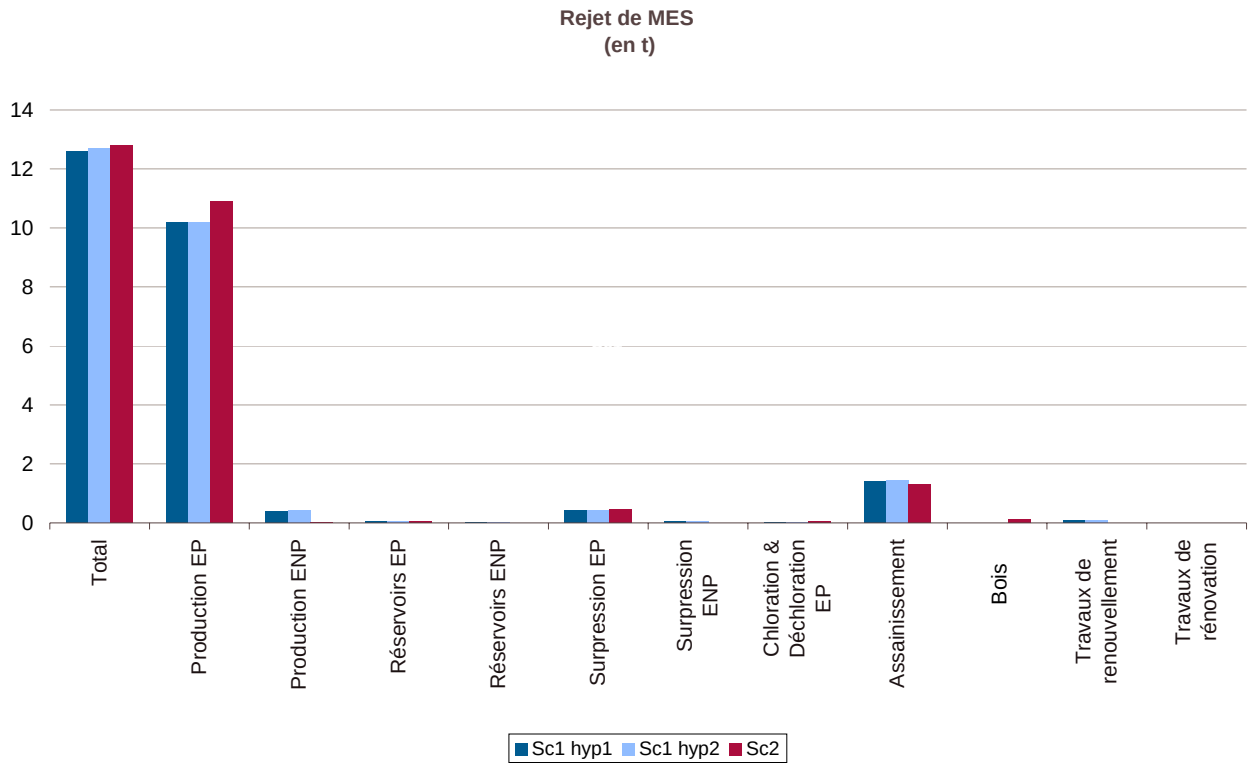


Figure 14 - Rejets de matières en suspension

L'écart entre scénarios 1 et 2 est inférieur à 1% quelles que soient les hypothèses choisies pour le rendement du réseau ENP. Ceci ne permet pas de différencier les deux scénarios compte tenu des incertitudes qui existent dans la présente étude.

24.8.2 Tableau de résultats

Tableau 24 - Rejets de matières en suspension

Rejet de matières en suspension (t)	Sc1 hyp1	Sc1 hyp2	Sc2
Production EP	10	10	11
Production ENP	0	0	0
Réservoirs EP	0	0	0
Réservoirs ENP	0	0	0
Surpression EP	0	0	0
Surpression ENP	0	0	0
Chloration & Déchloration EP	0	0	0
Assainissement	1	1	1
Bois	0	0	0
Travaux de renouvellement	0	0	0
Travaux de rénovation	0	0	0
Total	13	13	13

Remarque : les totaux des tableaux ne bouclent pas nécessairement à l'unité près en raison des erreurs d'arrondis.

24.9 Émissions de poussières

24.9.1 Interprétation

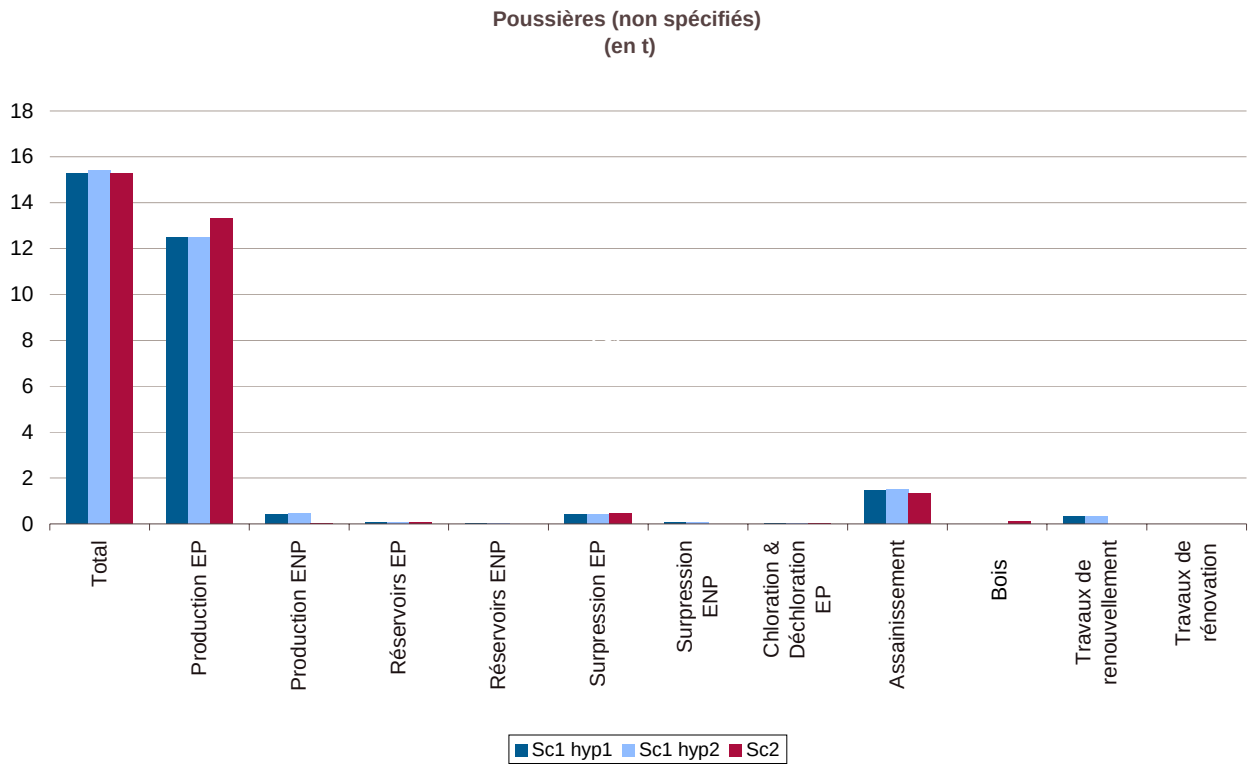


Figure 15 - Émissions de poussières

De même que pour l'indicateur précédent, l'écart entre scénarios 1 et 2 est inférieur à 1% quelles que soient les hypothèses choisies pour le rendement du réseau ENP. Ceci ne permet pas de différencier les deux scénarios compte tenu des incertitudes qui existent dans la présente étude.

24.9.2 Tableau de résultats

Tableau 25 - Émissions de poussières

Emissions de poussières (t)	Sc1 hyp1	Sc1 hyp2	Sc2
Production EP	13	13	13
Production ENP	0	0	0
Réservoirs EP	0	0	0
Réservoirs ENP	0	0	0
Surpression EP	0	0	0
Surpression ENP	0	0	0
Chloration & Déchloration EP	0	0	0
Assainissement	1	1	1
Bois	0	0	0
Travaux de renouvellement	0	0	0
Travaux de rénovation	0	0	0
Total	15	15	15

Remarque : les totaux des tableaux ne bouclent pas nécessairement à l'unité près en raison des erreurs d'arrondis.

24.10 Émissions de métaux lourds dans l'air

24.10.1 Interprétation

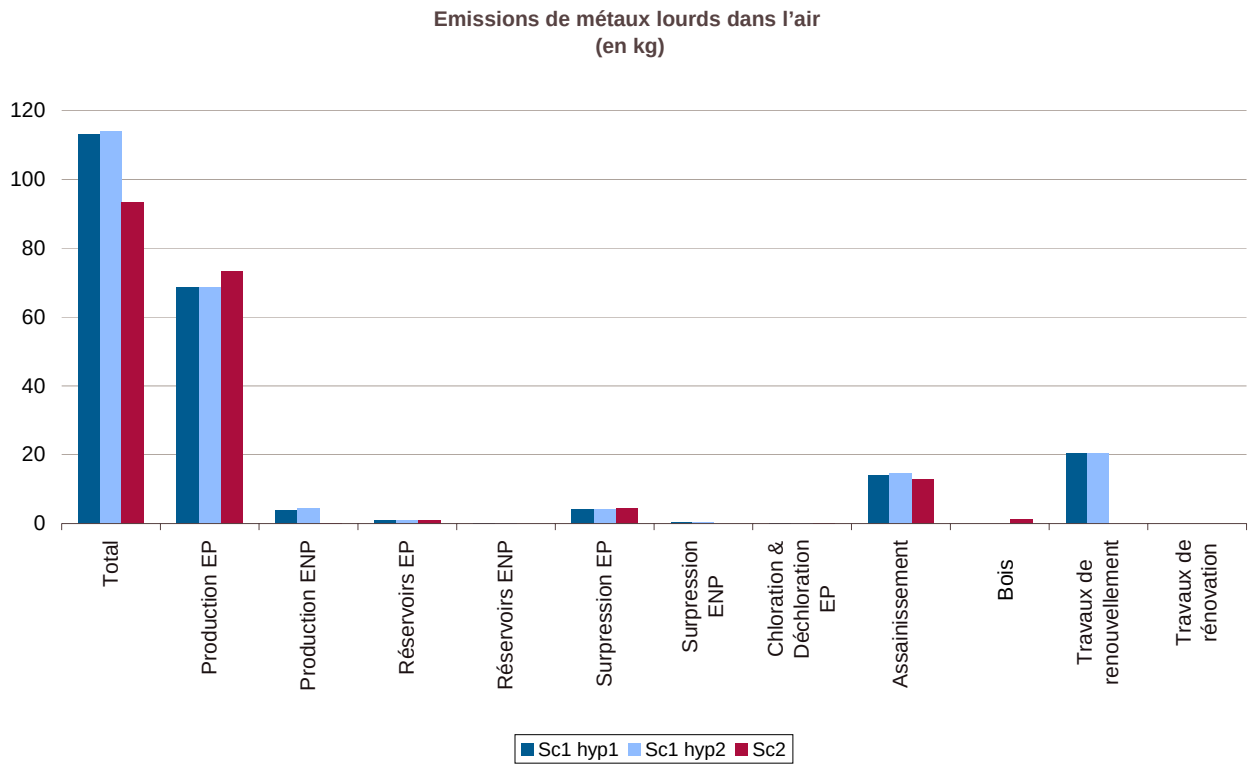


Figure 16 – Émissions de métaux lourds dans l'air

Les résultats sont plus favorables pour le scénario 2 (différence de l'ordre de 20% en faveur du scénario 2). Ceci est dû en grande partie à l'absence de travaux majeurs dans le cas du scénario 2. Cette conclusion doit cependant être modérée par le fait que les travaux de renouvellement (21 kg émis) dans le cas du scénario 1 ne sont pas nécessairement imputables entièrement à la modification du réseau, notamment si les travaux sont réalisés à l'occasion d'autres modifications du réseau.

24.10.2 Tableau de résultats

Tableau 26 - Émissions de métaux lourds dans l'air

Production de métaux lourds (kg)	Sc1 hyp1	Sc1 hyp2	Sc2
Production EP	69	69	73
Production ENP	4	4	0
Réservoirs EP	1	1	1
Réservoirs ENP	0	0	0
Surpression EP	4	4	4
Surpression ENP	0	1	0
Chloration & Déchloration EP	0	0	0
Assainissement	14	15	13
Bois	0	0	1
Travaux de renouvellement	21	21	0
Travaux de rénovation	0	0	0
Total	113	114	93

Remarque : les totaux des tableaux ne bouclent pas nécessairement à l'unité près en raison des erreurs d'arrondis.

24.11 Production de déchets

24.11.1 Interprétation

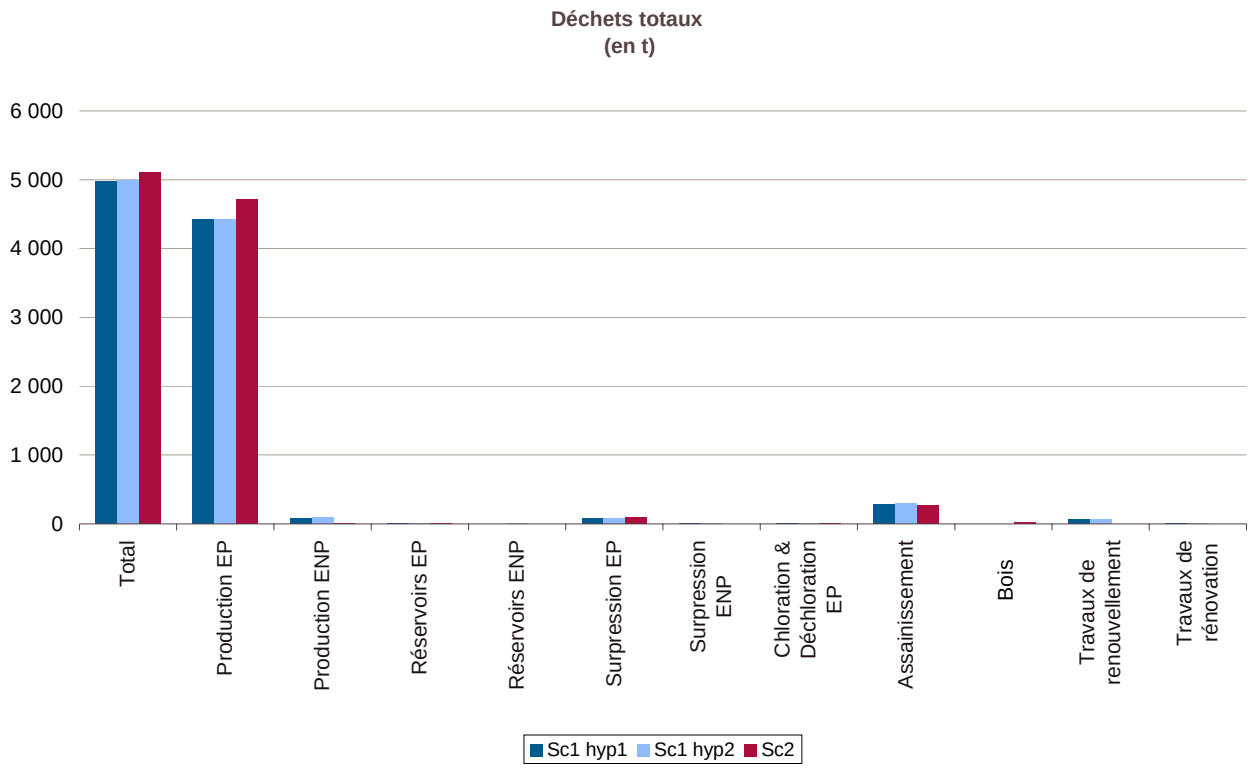


Figure 17 - Déchets totaux

Les résultats sont quasiment identiques quel que soit le scénario considéré (différences de l'ordre de 2% en faveur du scénario 1). Même pour le cas des déchets, l'électricité est le facteur largement prédominant alors qu'on aurait pu s'attendre à une contribution relative plus importante des étapes de travaux. Les résultats des scénarios étudiés ne sont en conséquence pas différenciants.

24.11.2 Tableau de résultats

Tableau 27 - Production de déchets

Production de déchets (t)	Sc1 hyp1	Sc1 hyp2	Sc2
Production EP	4 430	4 430	4 720
Production ENP	77	88	2
Réservoirs EP	11	11	12
Réservoirs ENP	1	2	0
Surpression EP	86	86	92
Surpression ENP	10	11	0
Chloration & Déchloration EP	2	2	2
Assainissement	289	297	267
Bois	0	0	22
Travaux de renouvellement	58	58	0
Travaux de rénovation	9	9	0
Total	4 970	4 990	5 110

Remarque : les totaux des tableaux ne bouclent pas nécessairement à l'unité près en raison des erreurs d'arrondis.

SECTION V - Analyses de sensibilité

25 Analyses de sensibilité effectuées

Le principe de l'analyse de sensibilité en analyse de cycle de vie est de réaliser une procédure systématique pour estimer les effets sur les résultats des choix concernant les méthodes et les données.

Même si aucun type d'analyse de sensibilité n'est éliminé a priori, le choix des paramètres retenus est fait selon l'importance de leur contribution aux impacts totaux calculés : ainsi nous n'avons pas réalisé d'analyse de sensibilité pour les paramètres correspondant à des étapes non contributrices, ceci se justifiant par l'impossibilité que le bilan soit changé dans ses conclusions suite à une modification, même importante, de la valeur de ces paramètres.

Ainsi, à la lumière des résultats calculés (partie précédente), il apparaît que les analyses de sensibilité envisagées a priori pour les étapes de travaux ne sont par conséquent pas nécessaires, ces étapes n'étant pas déterminantes dans le bilan[18] : les analyses de sensibilité portant sur la méthodologie d'allocation de la fonte récupérée et sur l'impact des branchements ne sont donc pas présentées ici.

Le reste des analyses de sensibilité envisagées dans la partie méthodologique de ce rapport est présenté ici :

- Changement de la consommation EP à moyen terme :
  - Diminution des volumes EP de 10% pour les scénarios 1 et 2
  - Transfert de 10% de la consommation EP vers le réseau ENP dans le cas du scénario 1
- Recherche de point de basculement entre scénario 1 et 2 suivant le paramètre du rendement du réseau ENP
- Diminution de l'utilisation de l'EP pour des usages ENP moins importante qu'anticipée dans le scénario 2 principal : consommation EP pour des usages ENP *DEVE/Parcs intra-muros* + *SAP* + *Propreté* + *Industriels* de 35 000 m^3/j au lieu de 25 900 m^3/j pour le scénario 2 après report sur l'EP.

26 Résultats

26.1 Diminution de la consommation EP ou transfert d'usage de l'EP vers l'ENP

26.1.1 Hypothèses

L'horizon temporel de l'étude est de 5-10 ans. Au-delà les tendances sont plus difficiles à évaluer (notons qu'à la date de rédaction de ce rapport, une étude est en cours sur les usages de l'eau non potable). Dans cette perspective nous présentons dans cette section une analyse de sensibilité pour prendre en compte une diminution de 10% des consommations EP ou dans le cas du scénario 1 un report de 10% l'EP vers l'ENP, ce qui correspond à des scénarios d'évolution envisageables compte tenu des tendances actuelles.

[18] Ces étapes représentent moins de 5% du total pour tous les indicateurs calculés, essentiellement car les impacts correspondants sont amortis sur la durée de vie

Nous étudions dans le cadre de cette analyse de sensibilité une variation du volume EP distribué :

- De -10% sur le scénario 1 (« Sc1 -10% ») : ce scénario correspond à une réduction de la consommation d'eau par habitant
- De -10% sur le scénario 2 (« Sc2 -10% ») : ce scénario correspond à une réduction de la consommation d'eau par habitant
- De -10% sur l'EP avec report de ce volume sur l'ENP sur le scénario 1 (« Sc1 10% EP => ENP ») : ce scénario correspond à un développement des usages de l'ENP au détriment de l'EP

26.1.2 Résultats et conclusions

Tableau 28 - Diminution de la consommation EP ou transfert d'usage de l'EP vers l'ENP

Nom de l'impact	Sc1 hyp1	Sc2	Sc1 10% EP => ENP	Sc1 - 10%	Sc2 - 10%
Énergie primaire totale (en TJ)	1 310	1 280	1 250	1 190	1 160
Épuisement des ressources non renouvelables (en t éq.Sb)	127	126	119	116	114
Consommation d'eau (en millions de m_3)	263	245	261	242	222
Effet de serre (en t éq. CO_2)	15 456	15 026	14 686	14 123	13 594
Acidification de l'air (en t éq. SO_2)	107	106	101	97	96
Production d'oxydants photochimiques (en t éq.C_2H_4)	11	11	10	10	10
Eutrophisation de l'eau (en t éq. PO_4)	6	5	5	5	4
Rejets de MES (en t)	13	13	12	12	12
Émissions de poussières (en kg)	15 300	15 300	14 200	13 900	13 900
Production de déchets totaux (en t)	4 970	5 110	4 570	4 510	4 630
Émissions de métaux lourds dans l'air (en kg)	113	93	108	105	84

Ici deux comparaisons sont pertinentes :

- « Sc1 -10% » par rapport à « Sc2 -10% » : on voit que les écarts entre les deux scénarios varient de 0% à 10% selon les impacts et que la hiérarchie entre scénarios n'est pas modifiée. Si la consommation d'EP diminue à Paris, cela ne changera donc pas le positionnement des scénarios 1 et 2
- « Sc1 10% EP => ENP » (ici dans son hypothèse 1) par rapport à « Sc2 » : dans ce cas les écarts sur les principaux indicateurs sont atténués ou inversés par rapport aux scénarios calculés sur les hypothèses de base en raison de l'amélioration du rendement du réseau ENP d'une part et de l'amélioration du rendement du réseau EP d'autre part. La hiérarchie entre scénarios est cependant maintenue sur l'indicateur prioritaire de consommation d'eau. Notons toutefois que sur les indicateurs impacts secondaires, le scénario « Sc2 » a des impacts légèrement supérieurs au scénario « Sc1 10% EP => ENP » en raison de la contribution des réactifs dans le cas du scénario « Sc2 ». Comme évoqué dans la suite, il ne s'agit cependant pas des indicateurs a priori les plus pertinents compte tenu des ordres de grandeur mis en jeu (voir section normation plus loin). Si les usages de l'ENP se développent au profit de

l'EP, cela ne changera donc pas le positionnement relatif des scénarios 1 et 2 sur l'indicateur principal de consommation d'eau.

26.2 Recherche de point de basculement entre scénario 1 et 2 suivant le paramètre du rendement du réseau ENP

26.2.1 Hypothèses

Nous cherchons ici à voir si une amélioration du rendement du réseau ENP peut inverser les résultats constatés jusqu'à présent, à savoir une meilleure performance du scénario 2. Nous étudions l'existence d'un point de basculement entre le scénario 1 et le scénario 2 pour les indicateurs consommation d'énergie primaire totale, de consommation d'eau, et d'émissions de gaz à effet de serre en fonction des hypothèses prises pour le rendement du réseau ENP, dont on rappelle qu'il vaut environ 60% dans le scénario principal.

26.2.2 Résultats

26.2.2.1 Consommation d'énergie primaire totale

Tableau 29 - Énergie primaire totale : recherche d'un point de basculement suivant le paramètre du rendement du réseau ENP

	Sc1 (60%)	Sc1 (70%)	Sc1 (80%)	Sc1 (90%)	Sc2
Consommation d'énergie primaire totale (TJ)	1 310	1 290	1 280	1 270	1 280

Dans le tableau ci-dessus, on explore une gamme élargie d'hypothèses de rendement pour le réseau ENP dans le cas du scénario 1. Le scénario 2 est présenté en rouge, et le scénario 1 est présenté en bleu avec des hypothèses de rendement croissantes : 60%, 70%, 80% et 90% (ces valeurs correspondent au rendement global prenant en compte les fuites de surface et les fuites réseau, sachant que le rendement global de 90% est en fait une hypothèse non réalisable compte tenu des pertes de surface qui plafonnent le rendement global à 85% environ).

On voit que le scénario 1 reste moins favorable que le scénario 2 pour des valeurs de rendement inférieures à 80%, notamment en raison de la plus grande production d'eau dans le scénario 1 (« effet volumes », voir en 24.1 l'interprétation du profil de l'indicateur d'énergie primaire totale), qui provient des hypothèses choisies sur les volumes mis en jeu pour les différents scénarios.

Compte tenu du fait que l'hypothèse d'un rendement de 80% correspondrait à un indice de perte linéaire de 2 m^3/j.km (non réalisable), les résultats comparatifs constatés précédemment entre scénarios 1 et 2 sont donc maintenus en cas d'amélioration du rendement du réseau ENP.

26.2.2.2 Consommation d'eau

Tableau 30 - Consommation d'eau : recherche d'un point de basculement suivant le paramètre du rendement du réseau ENP

	Sc1 (60%)	Sc1 (70%)	Sc1 (80%)	Sc1 (90%)	Sc2
Consommation d'eau (millions de m^3)	264	258	253	249	245

De même que précédemment, on a reporté dans le tableau ci-dessus la consommation d'eau totale sur la base d'une gamme plus élargie de rendement pour le réseau ENP.

On voit que le point de basculement ne se situe pas dans la gamme de rendements explorée.

De même que pour l'impact précédent les résultats constatés entre scénarios 1 et 2 sont donc maintenus en cas d'amélioration du rendement du réseau ENP.

26.2.2.3 Émissions de gaz à effet de serre

Tableau 31 - Émissions de gaz à effet de serre : recherche d'un point de basculement suivant le paramètre du rendement du réseau ENP

	Sc1 (60%)	Sc1 (70%)	Sc1 (80%)	Sc1 (90%)	Sc2
Émissions de gaz à effet de serre (t éq CO_2)	15 484	15 302	15 164	15 058	15 026

De manière similaire que pour la consommation d'énergie primaire et la consommation d'eau dans le cas des émissions de gaz à effet de serre, le point de basculement n'est pas compris dans une fourchette réaliste de rendement pour le réseau ENP.

On peut conclure de cette étude de sensibilité que les hypothèses prises pour le rendement du réseau ENP dans le cas du scénario 1 ne sont pas de nature à faire basculer le bilan sur les principaux indicateurs.

26.3 Consommation EP pour des usages ENP de 35 000 m^3/j au lieu de 25 900 m^3/j pour le scénario 2 après report sur l'EP

26.3.1 Hypothèses

Nous faisons ici une hypothèse consistant à estimer à la hausse les volumes EP utilisés pour des usages ENP dans le cas du scénario 2 (voir 21.1 de la section portant sur les limitations de l'étude) en passant de 25 900 m^3/j à 35 000 m^3/j (soit une augmentation de 40% du volume supposé) pour les usages *DEVE/Parcs intra-muros* + *SAP* + *Propreté* + *Industriels*.

26.3.2 Résultats

Tableau 32 - Consommation EP pour des usages de 35 000 m³/j au lieu de 25 900 m³/j pour le scénario 2 après report sur l'EP

Nom de l'impact	Sc1 hyp1	Sc2	Sc2 - sensibilité
Énergie primaire totale (en TJ)	1 310	1 280	1 300
Épuisement des ressources non renouvelables (t éq. Sb)	127	126	128
Consommation d'eau (en millions de m^3)	263	245	249
Effet de serre (en t éq. CO_2)	15 456	15 026	15 256
Acidification de l'air (en t éq. SO_2)	107	106	107
Production d'oxydants photochimiques (en t éq.C_2H_4)	11	11	11
Eutrophisation de l'eau (en t éq. PO_4)	5	5	5
Rejets de MES (en t)	13	13	13
Émissions de poussières (en t)	15	15 300	15
Production de déchets totaux (en t)	4 970	5 110	5 190
Émissions de métaux lourds dans l'air (en kg)	113	93	95

Les résultats calculés sont ainsi moins favorables au scénario 2 puisque davantage d'eau a besoin d'être pompée pour réaliser ce scénario : ainsi, les différences entre scénarios perdent 3% ou 4% selon les indicateurs par rapport au cas où l'on adopte les hypothèses initiales. Toutefois dans le cas des indicateurs principaux (à l'exception de la production de déchets pour laquelle le scénario 2 est le plus défavorable avec une différence de l'ordre de 3%), même si les écarts entre scénarios concurrents sont ainsi réduits, la hiérarchie n'est modifiée pour aucun indicateur dans le cadre de cette analyse.

26.4 Recherche de point de basculement entre scénario 1 et 2 suivant le paramètre du ratio énergétique de production d'ENP

26.4.1 Hypothèses

Nous cherchons ici à voir si une amélioration du ratio de production d'ENP (au travers d'une répartition différente des volumes produits entre les usines, d'améliorations techniques, etc.) peut inverser les résultats constatés jusqu'à présent, à savoir une meilleure performance du scénario 2. Nous étudions l'existence d'un point de basculement entre le scénario 1 et le scénario 2 pour les indicateurs de consommation d'énergie primaire totale et d'émissions de gaz à effet de serre en fonction des hypothèses prises pour ce ratio, dont on rappelle qu'il est d'environ 160 Wh par m^3 d'ENP produit dans le scénario principal.

Qualitativement, signalons que cette analyse de sensibilité pourrait suggérer l'analyse d'un scénario intermédiaire (qui n'a pas été envisagé ici) consistant à maintenir une partie du réseau ENP, dont l'alimentation se ferait par l'usine de la Villette (qui possède le ratio énergétique de production le plus intéressant) et à déposer le reste du réseau ENP.

26.4.2 Résultats

26.4.2.1 Consommation d'énergie primaire totale

Tableau 33 - Énergie primaire totale : recherche d'un point de basculement suivant le paramètre du ratio énergétique de production d'ENP

	Sc1 (140 Wh)	Sc1 (120 Wh)	Sc1 (100 Wh)	Sc2
Consommation d'énergie primaire totale (TJ)	1 300	1 290	1 280	1 280

Dans le tableau ci-dessus, on explore une gamme élargie d'hypothèses de rendement pour le réseau ENP dans le cas du scénario 1. Le scénario 2 est présenté en rouge, et le scénario 1 est présenté en bleu avec des hypothèses de ratios énergétiques décroissants de 140 Wh/m^3 à 100 Wh/m^3 (correspondant à une valeur légèrement supérieure à celle de l'usine la moins consommatrice parmi les usines de production ENP).

On voit que sur le critère de consommation d'énergie primaire totale, quelle que soit l'hypothèse choisie, le scénario 1 reste moins favorable que le scénario 2. Les résultats comparatifs constatés précédemment entre scénarios 1 et 2 sont donc maintenus en cas d'amélioration du ratio énergétique de production ENP.

26.4.2.2 Émissions de gaz à effet de serre

Tableau 34 - Émissions de gaz à effet de serre : recherche d'un point de basculement suivant le paramètre du ratio énergétique de production d'ENP

	Sc1 (140 Wh)	Sc1 (120 Wh)	Sc1 (100 Wh)	Sc2
Émissions de gaz à effet de serre (t éq CO_2)	15 356	15 268	15 179	15 026

De manière similaire que pour la consommation d'énergie primaire, le scénario 1 reste moins favorable que le scénario 2 quelle que soit l'hypothèse retenue pour le ratio énergétique de production d'ENP.

On peut conclure de cette étude de sensibilité que les hypothèses prises pour le ratio énergétique de production d'ENP dans le cas du scénario 1 ne sont pas de nature à faire basculer le bilan sur les principaux indicateurs.

SECTION VI - Normation

27 Hypothèses de normation

Comme annoncé plus haut, nous proposons dans la suite une normation afin de se donner une notion normalisée des impacts des scénarios considérés : il est ainsi possible de les ramener à une échelle où les interprétations sont plus aisées, par comparaison aux impacts globaux de la ville de Paris sur un an, ces derniers étant estimés comme le produit des impacts par habitant en France et du nombre d'habitants de la ville.

Le tableau de normation est présenté ci-dessous :

Tableau 35 - Tableau de normation (impacts annuels d'un Français moyen)

Impact	Valeur	Unité	Source
Consommation d'énergie	107	GJ	MEDAD, 2007 moyenne française
Epuisement des ressources non renouvelables	9.56	kg éq Sb	Calculé sur la base de la consommation du secteur résidentiel et tertiaire français
Consommation d'eau	55	m^3	Calculé sur la base de la consommation du secteur résidentiel et tertiaire français
Augmentation de l'effet de serre (100 ans)	8.5	t/ éq. CO_2	MEDAD, 2007 moyenne française
Acidification de l'air	44	kg éq. SO_2	CITEPA moyenne française
Formation d'oxydants photochimiques	698	kg éq. C_2H_4	CITEPA moyenne française
Eutrophisation	13.05	kg éq. PO_4	MEDAD, 2000 moyenne française
Rejets de MES	45	kg	MEDAD, 2000 moyenne française
Emissions de poussières	23.5	kg	CITEPA, 2009 moyenne française
Production de déchets résiduels (hors valorisation)	330	kg	ADEME, 2008 sur la base de la consommation du secteur résidentiel et tertiaire
Emissions de métaux lourds	0.018	kg	CITEPA/CORALIE/format SECTEN 2006

28 Résultats

Tableau 36 - Impacts normalisés par scénario

Impact	Sc actuel (éq hab)	Sc1 hyp 1 (éq hab)	Sc 1 hyp 2 (éq hab)	Sc2 (éq hab)	Sc2 - Sc1 (éq hab)
Consommation d'énergie primaire totale	12 700	12 200	12 400	12 000	-200 à -400
Épuisement des ressources non renouvelables	13 400	13 300	13 400	13 200	-100 à -200
Consommation d'eau[19]	5 109 000	4 782 000	4 891 000	4 455 000	-327 000 à -436 000
Consommation d'eau[20]	2 181 000	2 041 000	2 088 000	1 902 000	-139 000 à -186 000
Augmentation de l'effet de serre (100 ans)	1 830	1 820	1 840	1 770	-50 à -70
Acidification de l'air	2 480	2 450	2 470	2 430	-20 à -40
Formation d'oxydants photochimiques	16	16	16	16	-
Eutrophisation	380	380	390	360	-20 à -30
Rejets de MES	280	280	280	280	-
Émissions de poussières	650	650	650	650	-
Émissions de métaux lourds	5 310	6 280	6 340	5 190	-1 090 à -1 150
Production de déchets	15 030	15 060	15 120	15 490	+ 370 à + 430

Les scénarios étudiés permettent de réaliser le service considéré pour la ville de Paris, soit environ 2 000 000 d'habitants : ainsi, une fois ramenés en équivalents habitants, tous les incréments entre les scénarios 1 et 2 sont inférieurs à 0.1% (soit 2 000 éq hab) des impacts générés par les habitants à qui le service est destiné, à l'exception de l'indicateur de consommation d'eau.

C'est donc logiquement cet indicateur qui peut être considéré en premier comme déterminant dans la discrimination entre les scénarios comparés. Dans un deuxième temps les autres indicateurs pour lesquels la contribution de la production et de la distribution d'eau à Paris est relativement significative sont la consommation d'énergie primaire totale et l'épuisement des ressources non renouvelables ainsi que la production de déchets.

Tous ces indicateurs exprimés en équivalents habitants indiquent que le scénario 2 est légèrement plus favorable que le scénario 1, à l'exception de l'indicateur de production de déchets.

[19] Le ratio moyen de 55 m^3/an est à considérer avec précaution à Paris compte tenu d'une double consommation (EP + ENP) et d'un rapport entre nombre d'emplois et population résidente bien supérieur à la moyenne française ; si ce n'était pas le cas, on retrouverait une population de l'ordre de 2 millions d'habitants

[20] Sur la base d'une population parisienne de 2 181 371 habitants

Annexe I - Modélisation de la mise en décharge

Enfouissement technique des boues avec traitement des lixiviats et du biogaz

A- Description du procédé

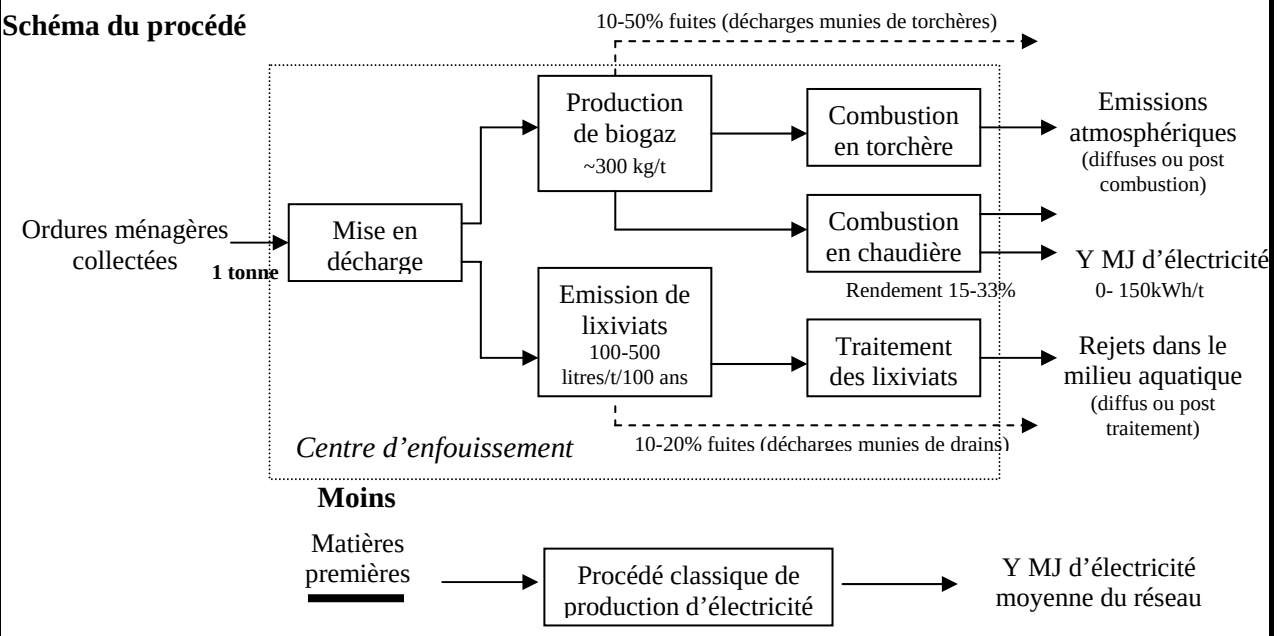
Modélisation paramétrique de l'enfouissement technique des ordures ménagères. Les opérations suivantes peuvent être prises en compte :

- Préparation des casiers par dépôt d'argile contrainte et de membranes
- Placement des déchets dans les casiers.
- Recouvrement périodique par de l'argile et/ou du sable.
- Collecte et combustion du biogaz en torchères et/ou en chaudière en vue de récupérer de l'électricité.
- Collecte et traitement des lixiviats (voies physico-chimique ou évapo-incinération).

Commentaires

L'unité fonctionnelle est « stocker en centre d'enfouissement technique des déchets ménagers dont la quantité et la composition sont fixées par d'autres parties du logiciel ». Les données concernant la production de biogaz et de lixiviats prennent en compte une période d'environ 100 ans. Ceci rend délicate la collecte des données relatives à la production de biogaz et de lixiviats.

Schéma du procédé



Note : Les chiffres ci-dessus sont indicatifs.

B- Définition du système

Inclus :

- La construction et la couverture du site.
- Les opérations de mise en décharge (consommation huile et fuel des engins, …).

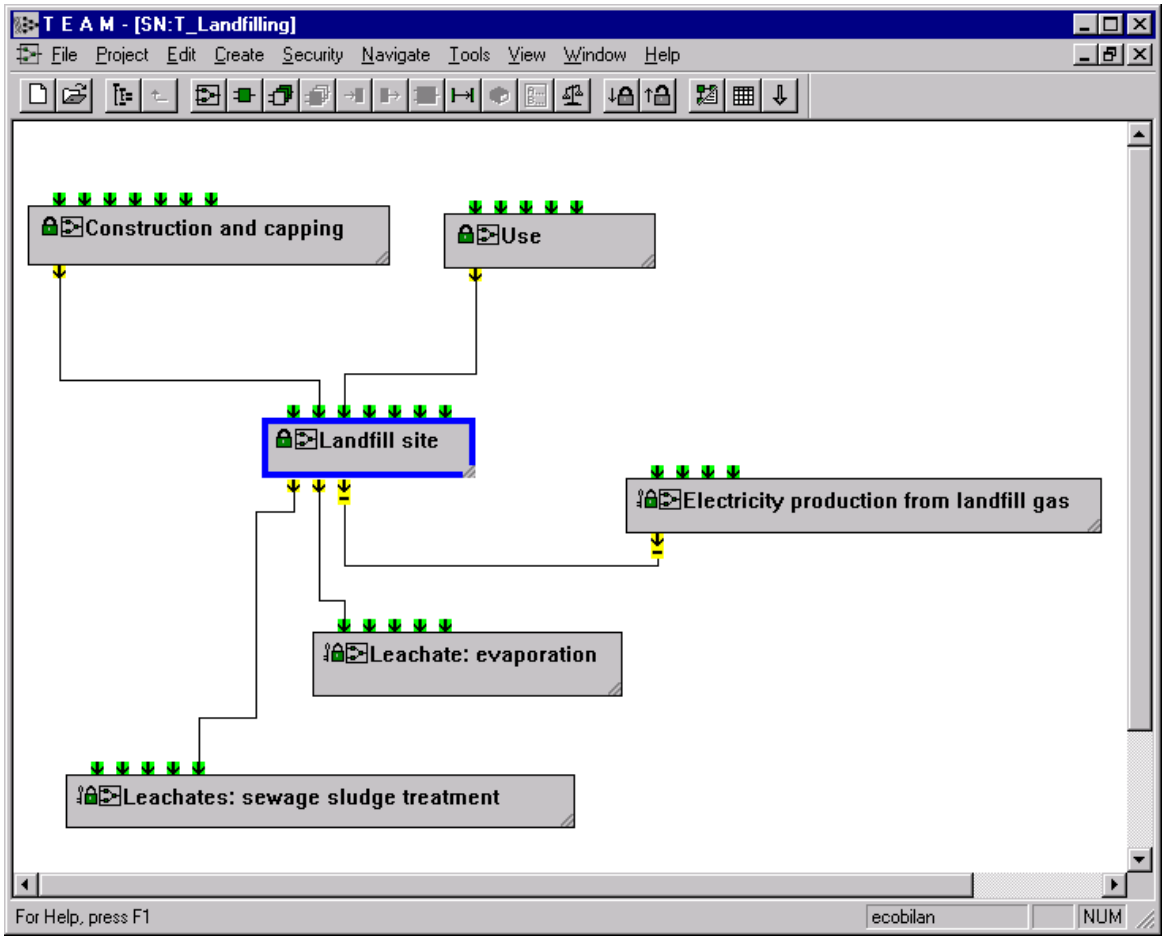
- La lixiviation due au passage d'eau sur les ordures ménagères.
- La décomposition des ordures fermentescibles avec production de biogaz.
- Le traitement des lixiviats en station d'épuration (y compris la production de boues).
- La combustion du biogaz capté.
- Les émissions diffuses de biogaz non capté.
- Les émissions diffuses de lixiviats non captés.

Exclus :

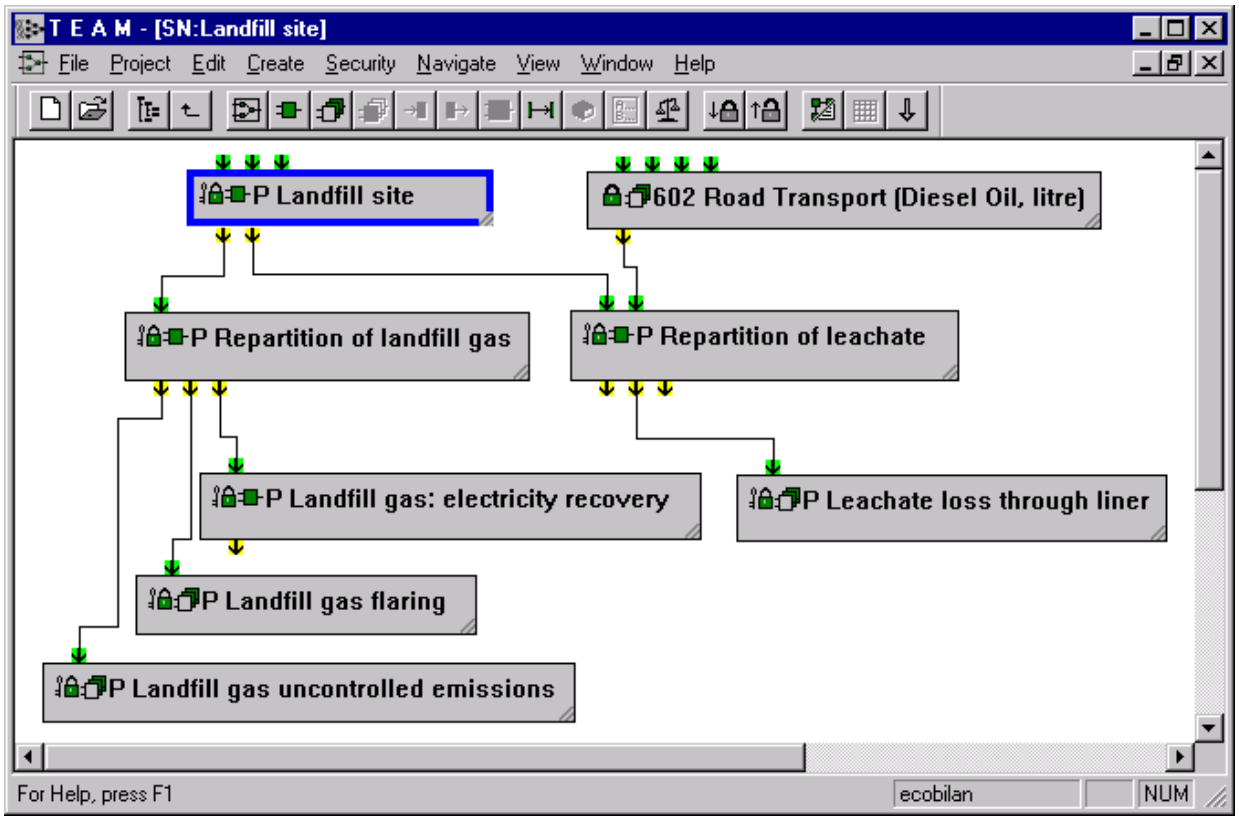
- La collecte et le transport des ordures ménagères vers le centre d'enfouissement technique (pris en compte ailleurs dans l'outil).
- Le transport des matières premières vers le site.
- Le traitement des lixiviats par certaines voies : physiques (osmose inverse, ultrafiltration), thermique (incinération).
- Le devenir des boues de station d'épuration (elles représentent moins de 0.6% de la masse d'ordures ménagères entrantes).

Copie du système TEAM™

Système général relatif à l'enfouissement technique



Sous-système relatif au site d'enfouissement technique



Résultats dans Wisard™

Les colonnes de l'inventaire sont les suivantes :

Colonne de l'inventaire	Commentaires
Construction du site	Correspond à la production et à l'utilisation des matériaux et énergies décrits dans l'onglet « Matériaux de construction et d'entretien » de la base de données générale
Fermeture	Correspond à la production et à l'utilisation des matériaux et énergies décrits dans l'onglet « Matériaux de fermeture » de la base de données générale
Consommations	Correspond à la production et à l'utilisation des différents consommables du site décrits dans l'onglet « Exploitation » de la base de données générale
Décharges : Emissions directes	Correspond aux impacts directs du site décrits dans les onglets « biogaz » et « Lixiviats » de la base de données générale, hors traitement des lixiviats
Traitement des lixiviats	Correspond aux impacts du traitement des lixiviats (production de consommables, émissions en sortie de station)
Récupération d'électricité	Correspond aux impacts évités grâce à production d'électricité du site grâce au biogaz (économie de production de combustion d'électricité selon le réseau français en 2000, voir fiche qualité Electricité)

C- Caractérisation des données principales

Type des données :

- Paramétrage relatif à la gestion du site : Sources [1], [2], [4], [5]

Traitement des données :

- **Nature :** bilans massiques
- **Règles d'allocation utilisées** :

Type de flux	Règle d'allocation
Consommation sur le site : construction et démolition	Allocation massique : Conso.(kg/kg déchet) = Conso. totale (kg) / Capacité (site) /Durée vie (site)
Exploitation	Allocation massique Remarque : la quantité d'argile ou de sable utilisée pour le recouvrement périodique est comptabilisée dans le total des déchets résiduels. En revanche, les matériaux de construction et de couverture finale ne sont pas considérés comme des déchets.
Production de biogaz	Allocation suivant le potentiel de formation de biogaz des déchets, paramètre figurant dans la base de données « Déchets » (qi en kg/kg pour la fraction i). La quantité de biogaz Q_{tot} produite est alors pour un déchet composé de n fractions de masse mi chacune : $Q_{tot}=\Sigma\ m_i\ (kg)*q_i$, pour i = {1, .. n}
Production de lixiviats	Allocation massique

Représentativité :

- **Année :**
- **Zone géographique :** Europe
- **Capacité du site** : Variable
- **Part du marché** :

Caractérisation du module :

- **Fiabilité** : Modélisation réalisée à partir du fonctionnement de plus de 15 sites en Europe.
- **Complétude** : Elevée

D- Sources des données

- **Identification :**

Source [1] : « Bilan environnemental du traitement des ordures ménagères par incinération, mise en décharge, compostage et méthanisation », étude Ecobilan pour l'Ademe, 1994-1997.

Source [2] : « Inventory Development for Waste Management Operations: Landfill », WS Atkins Environment, 1997, rapport pour l'Environment Agency of England and Wales.

Source [3] : « Mémento Technique de l'eau », Sequaris, 9e édition, 1998, p.1301.

Source [4] : Données anglaises collectées pour le logiciel Wisard en Grande Bretagne en 1996. Technologie moderne.

Source [5] : « Life Cycle Inventory of a modern municipal solid waste landfill », étude sponsorisée par

l'Environmental Research and Education Foundation sur 37 décharges (13 US, 24 France), 1996

Contact :

Date de transmission des données principales : 1998

Sources principales, détaillées par compartiment :

- **matières premières** : paramétrage selon données issues de [1], [2], [4] et [5]
- **énergies** : paramétrage selon données issues de [1], [2], [4] et [5]
- **émissions dans l'air** : paramétrage selon données issues de [1], [2], [4] et [5]. Voir aussi tableaux modules à la fin de cette fiche.
- **émissions dans l'eau** : paramétrage selon données issues de [1], [2], [3], [4] et [5] pour les rendements de station : 95% DBO_5, 96% MES, 90% DCO, 20% P, 20% NH_4, 15% métaux lourds. Voir aussi tableaux modules à la fin de cette fiche.
- **émissions dans les sols** :

Les métaux lourds entrants dans la composition des déchets sont comptabilisés en tant que métaux confinés dans les sols. De ces métaux contenus dans les déchets a été déduite la part de métaux lixiviée.

Les métaux lourds contenus dans les boues provenant du traitement des lixiviats sont quant à eux considérés comme des métaux non confinés dans les sols.

- **déchets et coproduits** : paramétrage selon données issues de [1], [2], [4] et [5]

E- Aspect de Confidentialité

Données concernées : données du procédé

Accord de confidentialité: non

F- Traçabilité au sein d'Ecobilan

Création du module : Estelle Vial, Christèle Wojewodka

Validation du module : Olivier Muller

Modification du module : métaux lourds confinés dans les sols – I. Spiegel (sept 2002)

Annexe II – Données bibliographiques

29 Données secondaires

Nom du module	Etape	Source
Production de fuel lourd	Production EP	Laboratorium fur Energiesysteme ETH, Zurich, 1996 Teil 1, Erdol Page 219-220
Production de fuel léger	Production EP Travaux	Laboratorium fur Energiesysteme ETH, Zurich, 1996 Teil 1, Erdol Page 219-220
Production et combustion de gaz naturel	Réservoirs EP Chloration/Déchloration EP	Laboratorium fur Energiesysteme ETH, Zurich, 1996 Teil 1, Erdgas Page 66-67
Production de $FeCl_3$ (trichlorure de fer)	Production EP	Ecobilan 2000, données site confidentielles
Production de $NaHSO_3$ (bisulfite de sodium)	Production EP Chloration/Déchloration EP	Ecobilan 2008
Production de H_2SO_4 (acide sulfurique)	Production EP	BUWAL n°232 Comparative environmental evaluation of construction paints and varnishes Volume 2: data Bern , 1994 Page: 56-57
Production de NaOH (soude)	Production EP	Eco-profiles of the European plastics industry (APME) Polyvinyl Chloride I.Boustead Brussels, September 2002 Page: 50 à 55
Production de NaClO (hypochlorite de sodium)	Production EP	Ecobilan 2000, données site confidentielles
Production de H_3PO_4 (acide phosphorique)	Production EP	Laboratorium für Energiesysteme ETH (Eidgenössische Technische Hochschule Zurich) Zurich, 1996 Teil 3: Anhang A: Basismaterialieren Page 78-79
Production de charbon actif	Production EP	Ecobilan 2008

Production de chaux	Production EP	Ecobilan 1992, données site confidentielles
Production d'acide citrique	Production EP	Ecobilan 2008
Production de NaCl (chlorure de sodium)	Production EP	Eco-profiles of the European polymer industry (APME) Report 6: Polyvinyl Chloride I.Boustead Brussels, May 1998 Page: 22 to 24
Production de $Al_2(SO_4)_3$ (sulfate d'aluminium)	Production EP	BUWAL 250 (office federal de l'environnement des forets et du paysage) Volume II: inventaires ecologiques relatifs aux emballages page 441 Dr Nann, Chemische fabrick, Uetikon 1995
Production d'azote liquide	Production EP	Swiss Federal Office of Environment, Forests and Landscape (FOEFL or BUWAL) Environmental Series No. 132 Bern, February 1991 page A59
Production d'oxygène liquide	Production EP	Swiss Federal Office of Environment, Forests and Landscape (FOEFL or BUWAL) Environmental Series No. 132 Bern, February 1991 page A59
Production de SO_2 (dioxyde de soufre)	Réservoirs EP Chloration/Déchloration EP	Ecobilan, données site confidentielles
Production de Cl_2 (dichlore)	Réservoirs EP Chloration/Déchloration EP	Eco-profiles of the European plastics industry Polyvinyl Chloride I.Boustead Brussels, September 2002 Page: 44 to 49
Mise en décharge	Travaux	Ecobilan
Production de graisse	Travaux	Ecobilan, données site confidentielles
Production d'acier	Travaux	ISII 2005
Production de tuyaux fonte	Travaux	Saint-Gobain – PAM
Production de plancher en bois	Travaux	"LCA of pallet", 1997 (Ecobilan/ADEME)
Remplacement de la route	Travaux	Ecobilan, données confidentielles
Incinération du bois des planchers	Travaux	Laboratorium für Energisystem ETH, Zurich 1996 Anhang F: Entsorgungsprozesse page 46

30 Part des consommables dont la production est exclue des systèmes

La part des consommables dont la production est exclue des systèmes est présentée ci-dessous.

Dans le total des flux non remonté est comptabilisé les entrants non dangereux dont la modélisation n'est pas disponible et dont on montre a posteriori qu'ils constituent moins de 5% en masse des entrants.

Tableau 37: Part des consommables dont la production est exclue des systèmes

Flux non remontés hors eau consommée (total en kg)	33 503
Total entrants hors eau consommée (en kg)	14 324 285
Pourcentage des flux non remontés	0.23%

Annexe III – Commentaires de la revue critique

Revue Critique de l'étude PwC Ecobilan pour la Mairie de Paris

Bilan environnemental du système d'alimentation en eau non potable de Paris

Synthèse de la revue critique réalisée par le cabinet Ginko21, M. Henri LECOULS et PROLOG INGENIERIE

L'objectif de cette revue critique est d'améliorer la qualité du rapport final qui sera remis par PwC Ecobilan à la Mairie de Paris, et de renforcer la crédibilité des résultats. Elle assure en particulier la conformité avec les normes de la série ISO 14040, qui exigent une revue critique en cas de publication d'analyse de cycle de vie comparée.

La revue critique comprend :

- une validation de la méthodologie de l'analyse de cycle de vie et une vérification de la conformité de l'étude avec les normes ISO14040 et ISO 14044,

- une vérification de la cohérence interne du rapport, notamment de la cohérence entre les résultats des calculs et les conclusions de l'étude, en regard des objectifs.

Ces deux points sont réalisés par Gingko 21 et Henry Lecouls.

La revue critique des données utilisées est réalisée par la société PROLOG INGENIERIE.

La revue des calculs d'analyse de cycle de vie reste la responsabilité de la société Ecobilan. Elle doit être réalisée en interne par un expert indépendant de l'étude.

Les questions et commentaires sont présentés dans un tableau, de telle sorte que les réponses ont pu être apportées par PwC Ecobilan sous le même format.

Les thèmes sont classés dans l'ordre des pages du rapport. Les questions sont numérotées, les thèmes considérés comme prioritaires sont identifiés par une astérisque (*).

31 Commentaires concernant la partie méthodologique de l'étude

N°	Emetteur	Page	Thème	Question/Commentaire	Réponse/Correction
1	Gk21	5	Indicateurs d'impacts	Peut-on justifier le choix des indicateurs d'émissions dans l'air ? N'y a-t-il pas d'autres rejets significatifs que les poussières et ceux contribuant aux trois impacts mentionnés ? En particulier pas d'émission dans l'air de substances toxiques, ou pas significativement par rapport aux émissions dans l'eau ?	Le système étudié ne correspond pas à un processus industriel spécifique (production d'eau uniquement). Les émissions dans l'air de substances toxiques ne sont donc pas exclues a priori, mais elles ne seront pas systématiquement mentionnées si elles s'avèrent d'amplitude faible. Paragraphe rajouté p 21
2	Gk21	5	Indicateurs d'impacts	La consommation d'eau est-elle spécifiée par origine ?	La consommation d'eau est spécifiée par origine sur la base de la consommation globale et du ratio moyen entre eaux souterraines et eaux superficielles depuis 2000. Schématiquement, l'eau des usines correspond à des eaux de surface (Marne et Seine) et l'eau des aqueducs correspond à des eaux souterraines. Pour mémoire, cet indicateur est aujourd'hui évalué en tenant compte de l'ensemble des prélèvements d'eau utilisée pour les process : il ne s'agit pas systématiquement d'une consommation à proprement parler puisque cette eau peut être, selon les cas, rejetée telle quelle dans le milieu naturel. La distinction entre eau de surface et souterraine est introduite en 12.3
3	HL	5	Liste des indicateurs	La liste des flux et indicateurs qui seront utilisés pour évaluer les scénarios devrait être identique et présentée de la même façon à la page 5 et aux pages 18 et 19, où ils sont définis. Cette liste de 12 indicateurs semble suffisante par rapport à l'objectif de l'étude.	Traité en page 8, 20 et 21, avec notamment l'organisation en paragraphes 8.1, 8.2, 8.3 pour expliquer le choix des indicateurs retenus : Consommation d'énergie primaire totale (décomposée en renouvelable / non renouvelable), Consommation de ressources non renouvelables, Consommation d'eau par origine, Emissions de gaz à effet de serre, Acidification atmosphérique, Formation d'oxydants photochimiques, Eutrophisation des eaux, Rejet de matières en suspension (MES), Emissions de poussières, Production de déchets

N°	Emetteur	Page	Thème	Question/Commentaire	Réponse/Correction
6	Gk21	7	Objectifs de l'étude	Quel est l'horizon temporel de l'étude ? La durée de vie de ces canalisations est d'une centaine d'années ou plus. Dans un contexte de changement climatique, la question de l'approvisionnement en eau potable et non potable peut prendre une importance croissante.	L'horizon temporel est de 5-10 ans. Au-delà les tendances sont plus difficiles à évaluer (cf étude en cours sur les usages de l'eau). La question de l'approvisionnement en eau de Paris est complexe et relève du SDAEP et notamment du bilan Besoins-Ressource. Celui-ci propose des solutions d'alimentation pérennes pour les deux hypothèses : conservation et abandon du réseau ENP. Le chapitre 1.1.1 du volet 8 du SDAEP fait référence au changement climatique. L'hypothèse retenue par le SDAEP est que les besoins en eau de surface pourront être satisfaits. En ce qui concerne les eaux souterraines, le programme PIREN-Seine estime que sur un plan quantitatif, l'impact du changement climatique sera faible. En plus de l'analyse de sensibilité à -5-10% de l'EP, une analyse supplémentaire est faite dans le cas du scénario 1 avec un report de 10% de l'EP vers l'ENP. Ceci correspond à des scénarios possibles d'évolution des consommations à Paris
7	Gk21	7	Objectifs de l'étude	L'analyse des performances environnementales ne peut suffire à documenter la prise de décision sur un sujet de ce type. La prise en compte des facteurs économiques est probablement évaluée par ailleurs. De plus, une réflexion sur les usages, esquissée dans le premier paragraphe, est certainement centrale. Il pourrait être intéressant ici d'indiquer comment l'ACV sera complétée par d'autres études et analyses pour la prise de décision.	On peut indiquer les points suivants : • Le SDAEP « eau 2010-2525 » a étudié les facteurs économiques. • Une étude de réflexion sur les usages de l'ENP est actuellement en cours. Paragraphe rajouté en p 8
8	HL	8	Objectifs de l'étude	Il n'est pas assez clairement fait mention du fait qu'il s'agit d'une étude comparative destinée à être divulguée, ni du public destinataire des résultats.	Ce rapport sera destiné aux élus et aux services qui participeront à la décision sur le choix d'évolution du réseau. Rajouté en p 8

N°	Emetteur	Page	Thème	Question/Commentaire	Réponse/Correction
9	HL	8	Scénario 2	« les conduites ENP devront être déposées ». La dépose est-elle économiquement viable ? Il n'est pas raisonnable d'envisager de traîner en galerie des tonnes de vieux tuyaux dans le seul but de récupérer de la fonte. Proposer en variante une hypothèse 2 du scénario 2, de non dépose ou de dépose partielle des sections qui ont une vraie justification à court terme (besoin de place pour un autre projet).	Modifié p11 : « Dans ce cas, les usines de production d'EP augmentent leur production et le réseau ENP est progressivement abandonné et déposé à l'occasion d'autres projets » Modifié p 33 et 34.
10	HL	9	Unité fonctionnelle	D'accord sur la définition proposée	Sans objet
	HL	6 à 12	Cohérence des chiffres	Il est souhaitable, pour la bonne compréhension, qu'on retrouve les mêmes valeurs tout au long du rapport. La consommation ENP est donnée à 80000 m^3/j page 6 et à 77000 page 10. Le rendement du réseau ENP est donné à 50% page 8 et à 66,5% page 10. Idem pour l'EP. Même si les valeurs arrondies sont précédées du mot « environ » le lecteur non averti se perd entre les tableaux et le texte.	Consommation ENP corrigée page 9 (77 000 m^3). Corrigé page 11 : Le Schéma Directeur « Eau 2010-2025 » réalisé par SAFEGE estime que le rendement du réseau d'eau non potable est compris entre 50 et 65%. Corrigé page 11 : « rendement supérieur à 97% pour le réseau EP »
11	HL	9 à 13	Hypothèses	Les hypothèses de dimensionnement des scénarios 1 et 2 pour EP et ENP, ainsi que l'hypothèse de baisse tendancielle me semblent acceptables.	Sans objet

N°	Emetteur	Page	Thème	Question/Commentaire	Réponse/Correction
12	PROLOG	10	Hypothèses ILP	Il serait préférable de prendre les hypothèses d'ILP suivantes : Hypothèse 1 : ILP de 10 m^3/j.km. Ceci pour deux raisons : • Cet indice est identique à l'ILP du réseau d'eau potable. Si le réseau d'eau non potable bénéficiait, suite à une remise à niveau, du même type de programme de renouvellement que le réseau d'eau potable, son ILP devrait tendre à vers l'ILP du réseau d'eau potable actuel. • Cet ILP correspond à la limite supérieure de l'ILP acceptable pour un réseau d'eau potable urbain selon le classement de l'Agence de l'Eau Seine Normandie Hypothèse 2 : ILP de 25 m^3/j.km correspondant à une remise en état partielle du réseau.	Discuté avec le STEA, la valeur de 15 à été confirmée pour l'ILP pour les raisons citées en page 15 (insertion d'un paragraphe détaillant la justification correspondante).
13	Gk21	10-12	Valeur des pertes de surface	Dans le scénario 1, les pertes de surface sont le double de celles du scénario 2, en raison de la mobilisation des services de nettoiement. Ne peut-on imaginer de les mobiliser également dans le scénario 1 ?	Cette différence prend en compte le fait qu'il sera plus facile de sensibiliser et d'investir sur le réseau si le nettoyage utilise de l'eau potable (efforts et sensibilisation considérés notamment comme plus efficaces en raison des coûts). Également traité l'explication sur le choix des ILP p 15.
14	Gk21	10-12	Consommation d'eau Propreté	Les efforts de réduction de la consommation d'eau Propreté imaginés en scénario 2 ne peuvent-ils être mis en place dans le scénario 1 (14 000 m^3 au lieu de 24 000 m^3) ?	Cette différence prend en compte le fait qu'il sera plus facile de sensibiliser et d'investir sur le réseau si le nettoyage utilise de l'eau potable. Également traité dans le paragraphe portant sur les limitations et analyse de sensibilité section V, paragraphe 2.3.

N°	Emetteur	Page	Thème	Question/Commentaire	Réponse/Correction
15	Gk21	12	Valeur du rendement	Il est curieux que le rendement du réseau augmente, très légèrement il est vrai, dans le scénario 2.	Sans modification du réseau, le rendement augmente lorsque les volumes distribués augmentent car les fuites ne dépendent pas du volume distribué mais de l'état du réseau. En l'occurrence pour le réseau EP, le passage du scénario actuel ou du scénario 1 vers le 2 se fait à pertes linéaires constantes et avec des volumes distribués qui augmentent : les pertes restent donc les mêmes, mais le ratio entre volumes distribués et volumes perdus augmente.
16	Gk21	14-16	Frontières des systèmes	Il manque l'étape d'utilisation de l'eau. Il est probablement légitime de l'exclure du système en faisant l'hypothèse que cet usage est indépendant du scénario considéré. Cela dit, les hypothèses faites sur les pertes de surface en page 13 montrent justement que l'usage n'est probablement pas indépendant du scénario. Quoi qu'il en soit, il semble cependant important de mentionner cette étape sur le schéma et dans le texte, et de justifier le cas échéant son exclusion en 5.2.2.	Dans le cas de l'abandon du réseau d'eau non potable, la mécanisation du nettoyage des rues sera plus importante. Cependant, on peut noter que : • Quelle que soit la méthode de nettoyage, la quantité de pollution collectée est sensiblement la même. • Le procédé de nettoyage mécanique utilise de l'eau qui est ensuite rejetée à l'égout. La pollution dissoute doit donc également être traitée par une station comme dans le cas de l'ENP. La seule différence se situe au niveau de la pollution non dissoute (sable et flottants) mais il faut noter que le traitement de ces flottants n'utilise pas de réactif et très peu d'énergie et peut donc être négligé. Comme l'impact est sensiblement le même dans les deux cas mais qu'il est difficile de le quantifier, on choisit de l'exclure du périmètre de l'étude (insertion du paragraphe page 19).

N°	Emetteur	Page	Thème	Question/Commentaire	Réponse/Correction
18	Gk21	16	Frontières des systèmes	Le fait que le traitement de la pollution générée par l'utilisation de l'eau ne fasse pas partie du champ de l'étude est discutable : si les choix réalisés en amont devaient modifier significativement ces impacts, alors ils devraient être intégrés dans l'étude. Cependant, on peut se demander si les consommations de réactifs pour l'assainissement sont identiques dans les deux scénarios. Il y a probablement plus de volume d'ENP usagée, mais moins de concentration de charge. Si c'est bien le cas, alors cela justifie de façon convaincante leur exclusion du système d'étude.	Cf réponse à la remarque 16
19	HL	16	Liste des étapes exclues 2.	Le fait de ne pas prendre en compte les réactifs et les boues de l'assainissement semble acceptable parce qu'on peut admettre que la quantité de pollution à traiter est constante à population constante : cet argument me semble plus décisif que celui de l'UF. OK pour la consommation électrique.	Cf réponse à la remarque 16
20	HL	16	Liste des étapes exclues 1. 1°§	Il n'est pas certain (sauf preuve du contraire) que les impacts liés à la construction des bâtiments, équipements et machines soient négligeables devant ceux liés au fonctionnement. Ce qui est vrai pour des produits à contenu énergétique élevé (matières plastiques par ex.) n'est pas forcément vrai pour de l'eau. Il vaudrait mieux indiquer que les équipements existants sont mis par hypothèse hors du champ de l'étude.	Le passage d'un scénario à l'autre ne nécessite pas la construction de bâtiments ou d'équipements nouveaux à l'exception de ceux qui sont effectivement pris en compte dans l'analyse (précisé en p 19 où on indique que les équipements existants sont mis par hypothèse hors du champ de l'étude)

N°	Emetteur	Page	Thème	Question/Commentaire	Réponse/Correction
21	HL	16	Liste des étapes exclues 1. 2§	Pour le démantèlement du réseau ENP, voir ci-dessus remarque 9. Serait-il possible d'introduire une analyse de sensibilité, même approximative, pour la pose des nouveaux branchements du scénario 2 afin de bien vérifier que l'impact de cette pose sera faible ? De toute façon, tous les travaux, et pas seulement les branchements, se feront de manière progressive.	Introduit dans le rapport en p 19 : non pris en compte, mais envisagé en analyse de sensibilité a priori
22	PROLOG	16	Liste des étapes exclues	Les réactifs ne sont pas pris en compte car on ne prend en compte que les impacts dus à la production et à la distribution de l'eau non potable. Les volumes d'ENP collectés par le réseau d'assainissement au stade de la distribution correspondent aux fuites primaires du réseau. Cette eau, de qualité très proche de la Seine ou du canal de l'Ourcq, n'apporte pas de pollution supplémentaire aux stations de traitement. Il n'y a donc en conséquence pas de consommation de réactifs supplémentaire (utilisés pour traiter la pollution) mais simplement une consommation énergétique supplémentaire correspondant au transport des effluents vers les stations d'épuration et aux pompages rendus nécessaires par les pertes de charges au niveau des stations d'épuration.	Cf réponse à la remarque 16
23	HL	18	Flux et indicateurs	Donner une définition de chaque flux et indicateur de la liste retenue, et pas seulement des énergies. Eviter le double emploi « Rejets dans l'eau » et « Eutrophisation »	Modifié p 20
24	Gk21	20	Normalisation	Le titre du paragraphe est maladroit, et semble en décalage avec le contenu du paragraphe. Les valeurs normalisées par impacts seront-elles considérées séparément, ce qui semble plus pertinent, ou sommées, ce qui tendrait à se rapprocher d'un indicateur unique ?	Modifié p 23 Les valeurs sont considérées séparément

N°	Emetteur	Page	Thème	Question/Commentaire	Réponse/Correction
25	Gk21	20	Exigences relatives à la qualité des données	La norme ISO 14044 précise ce qui doit être renseigné à ce sujet en cas de comparaison destinée à être communiquée au public, au delà des trois critères présentés ici : « précision, complétude, cohérence, reproductibilité et incertitude »	Complété p 24
26	PROLOG	23	Assainissement	L'hypothèse retenue dans cette étude est de ne prendre en compte que les consommations énergétiques liées au transport des effluents vers les stations d'épuration et aux pompages rendus nécessaires par les pertes de charge au niveau des stations d'épuration. Les données de relèvement par destination ont été estimées par PROLOG sur la base de sa connaissance du fonctionnement actuel des réseaux et usines du SIAAP.	Cf réponse à la remarque 16
27	HL	24	Assainissement	OK pour le rendement de 65% des pompes. Tableau 7, ce serait mieux d'écrire en bas le total = 100.	Modifié p 29
28	Gk21	29	Modèle d'électricité	Des modèles plus à jour ne sont-ils pas disponibles (France 2005 et Europe 2002) ?	Valeurs 2005 (mais données publiées en 2007) pour la France et pour l'Europe
29	Gk21	21	Limitation 17.2	Voir commentaire 9 plus haut.	Les consommations de réactifs sont prises dans le scope, mais on considère que la différence entre scénarios correspond à des impacts négligeables devant les impacts totaux des scénarios étudiés Il s'agit effectivement d'une limitation, qui a été rajoutée

N°	Emetteur	Page	Thème	Question/Commentaire	Réponse/Correction
31	HL	27	Tuyaux	« Le choix des tuyaux en fonte … » La fonte semble être le seul matériau envisagé. Alors qu'il existe d'autres possibilités : PE réticulé, acier revêtu de bitume ou de mortier … Si on peut admettre que le choix de la fonte est acceptable pour le scénario 1, il convient d'étendre aux autres matériaux le choix pour les nouvelles canalisations du scénario 2 (alimentations autonomes des bois).	Point rapporté au STEA Ce choix correspond à la politique habituelle du service de l'eau et se justifie essentiellement par la durée de vie de 100 ans (à comparer à 30-50 ans pour les tuyaux en plastique)
32	HL	27	Cimenterie	Ecrire « une faible partie du carbone contenu ne se transforme pas. » au lieu de « … se transforme donc en monoxyde de carbone. »	Modifié
33	HL	28	Modèle de production de fonte	Le modèle proposé au chap 15 n'est pas acceptable sans discussion parce qu'il dissimule l'émission de CO_2 dans la production des canalisations. En effet, dans le modèle de boucle fermée sans séparation entre fonte primaire et fonte secondaire, on suppose que toute la fonte est produite à partir de ferrailles avec une émission faible de CO2. Par contre, la fonte primaire est produite à partir de minerai de fer que l'on réduit à l'aide de coke, avec une émission forte de CO_2 (haut fourneau). Proposition : il faut simuler en variante l'utilisation de fonte primaire seule, pour voir si cela modifie le classement des deux scénarios. Le modèle à retenir devrait être celui de la situation actuelle en Europe, autour de 50/50 primaire/secondaire.	Le modèle de production de fonte utilisé provient d'une réalisé pour Saint-Gobain – PAM en 2008. L'hypothèse retenue est celle d'une situation 50/50 primaire/secondaire.

N°	Emetteur	Page	Thème	Question/Commentaire	Réponse/Correction
34	PROLOG	30	Non prise en compte des réactifs à l'étape d'assainissement	L'hypothèse retenue dans cette étude est de ne prendre en compte que les consommations énergétiques liées au transport des effluents vers les stations d'épuration et aux pompages rendus nécessaires par les pertes de charge au niveau des stations d'épuration.	Cf réponse à la remarque 16
35	PROLOG	30	Limitation liées à la disponibilité des données		Cf remarque 12.
36	HL	31	Annexe 1	Il est un peu surprenant de lire « enfouissement des ordures ménagères » alors qu'il s'agit de boues. Un § introductif est à écrire pour expliquer comment les données des ordures ménagères sont adaptées aux boues.	Corrigé en p 32

32 Commentaires concernant les résultats de l'étude

32.1 Contribution de M Henri Lecouls

Revue critique définitive ENP

H Lecouls

Consultant, expert en ACV 13 novembre 2009

Contribution à la revue critique de l'étude PwC Ecobilan pour la Mairie de Paris : « Bilan environnemental du système d'alimentation en eau non potable de Paris », édition définitive datée de novembre 2009

1 Introduction

L'objectif de la présente revue critique est d'apporter un élément d'appréciation externe sur le rapport d'ACV, édition définitive, cité en titre.

Le processus de revue critique s'est déroulé en deux temps :

Premier temps, commentaires d'un rapport méthodologique initial daté de juillet 2009. Les questions-réponses de cette première série de commentaires figurent au chapitre 1 de l'annexe III du rapport définitif.

Dans un deuxième temps, revue critique du rapport d'ACV définitif, établi en tenant compte des premiers commentaires.

Compte tenu de la composition du panel de trois vérificateurs, dont un bureau d'ingénierie spécialiste des réseaux, la présente contribution est principalement dédiée aux aspects méthodologiques de l'étude et à la conformité du rapport d'ACV aux normes des ACV ISO 14040 - 44 : 2006

2 Aspects méthodologiques

Il est bien précisé dans le rapport d'ACV que l'étude a été réalisée en conformité avec les exigences des normes des ACV.

Objectif de l'étude

L'objectif est énoncé au chapitre 5 section I, le public concerné est identifié au chapitre 6, conformément à ISO 14044 : 2006 , 5.2.b. Il s'agit de l'étude comparative de deux scénarios prospectifs d'amélioration des réseaux, destinée à être communiquée. La revue critique est donc réalisée par « un comité de parties intéressées » (ISO 14044 : 2006, 6.1 dernier alinéa).

Unité fonctionnelle

Elle est définie sans ambigüité au chapitre 8, en cohérence avec l'objectif de l'étude.

Frontières du système

Les frontières des deux systèmes étudiés sont illustrées sur la figure 2 et développées dans le chapitre 9 section II.

Les omissions d'étapes ou de flux communs aux deux systèmes sont énoncées et justifiées au sous-chapitre 9.2.2 pour l'omission des équipements de production permanents et pour l'omission des réactifs de l'assainissement.

L'omission des poses de branchements est justifiée en préambule des analyses de sensibilité, en section V chapitre 1.

Le vérificateur admet donc que les trois catégories d'omissions déclarées n'affectent pas la comparaison.

L'exigence énoncée en ISO 14044 : 2006, 4.2.3.7. « … le champ de l'étude doit être défini de manière à ce que les systèmes puissent être comparés. » cette exigence est correctement réalisée.

Par ailleurs, le seuil d'inclusion initial est fixé à 5%. A postériori, en annexe II, le réalisateur montre que le pourcentage des flux non remontés vaut 0,23% du total des entrants hors eau.

Choix des indicateurs

La liste et les définitions des indicateurs ont été reprécisés au chapitre 10, conformément à la demande du vérificateur.

Une évaluation des impacts utilisée dans les affirmations comparatives destinées à être publiées « doit faire usage d'un jeu d'indicateurs de catégorie suffisamment complet » (ISO 14044 : 2006 , 4.4.5) : cette exigence est remplie de façon satisfaisante avec les dix indicateurs énoncés au sous chapitre 10.3 section II et qui comprennent cinq impacts classiques reconnus et cinq flux d'inventaire significatifs au point de vue environnemental.

Par ailleurs le réalisateur rappelle avec raison que la norme n'autorise pas la réduction d'un scénario d'ACV comparative à une note unique.

Il propose en section VI une « normation », en référence aux impacts par habitants, que le vérificateur juge acceptable.

Qualité des données

Le vérificateur approuve le chapitre 11 section II relatif à la qualité des données.

Il accepte le choix de la fonte comme matériau, compte tenu des « habitudes » du service de l'eau, et l'hypothèse d'une production 50/50 primaire/secondaire pour ce métal.

Les données génériques relatives aux transports, à la production d'électricité, à l'enfouissement des boues, et à la production des consommables sont issues de modèles acceptables ou de bases de données reconnues.

Analyses de sensibilité

Compte tenu de la faible différence entre les deux scénarios étudiés, les analyses de sensibilité sont des éléments clés pour apprécier la robustesse de la comparaison (section V).

On voit que les quatre études de sensibilité faites sur des points déterminants ne modifient pas le sens de la comparaison.

Interprétation et conclusions

ISO 14044 : 2006 , 4.4.5 « La comparaison doit s'opérer indicateur de catégorie par indicateur de catégorie » : cette exigence est respectée dans la présentation des résultats (section V et résumé).

On relève sur le tableau de synthèse des résultats (tableau 1) que les écarts entre les indicateurs des deux scénarios étudiés sont compris entre 0 et 8%. Bien que la précision absolue des ACV soit rarement inférieure à 10%, on peut admettre cependant que les faibles écarts du tableau 1 sont significatifs, parce que :

Les imprécisions absolues sont les mêmes dans les deux scénarios

Le taux de flux non remontés est faible : 0,23%

Les études de sensibilité ne modifient pas le sens de la comparaison.

Les résultats exprimés en indicateurs (tableau 1) ne permettent cependant pas de conclure à une supériorité environnementale complète du scénario 2 puisque la production de déchets est en faveur du scénario 1.

La « normation » proposée en section VI éclaire cependant la comparaison en montrant l'importance relative majeure de l'l'indicateur de consommation d'eau, l'écart sur la consommation de déchets ne venant qu'en quatrième position.

Divers

En dehors des sujets évoqués dans les chapitres précédents de la revue critique, diverses remarques du vérificateur ont été prises en compte par le réalisateur en apportant des corrections ou des commentaires dans le rapport d'ACV.

3 Conclusion de la revue critique

Pour la part méthodologique qui le concerne, le vérificateur :

- Approuve l'essentiel de la conclusion de l'étude comparative, à savoir un avantage environnemental de faible amplitude en faveur du scénario de transfert partiel de l'eau non potable sur le réseau d'eau potable (scénario 2), par rapport à la remise à niveau du réseau d'eau non potable (scénario 1)
- Considère que le rapport d'ACV final, daté de novembre 2009, répond correctement aux objectifs de l'étude et qu'il est conforme, d'une façon acceptable, aux exigences de la méthode d'ACV selon les normes ISO 14040 et 14044 :2006.

32.2 Contribution de Gingko 21 (Mme Hélène Teulon)

14*	18	Calcul	Le total de production d'EP devrait être de 582 400 et non de 572 400 m3/j. Cela représente un écart de 1,7%. S'agit-il d'une simple erreur d'affichage ? Les calculs sont-ils réalisés avec cette valeur ?	Les résultats présentés dans la version finale du rapport prennent bien le chiffre de 582 400 m3 pour le volume EP du scénario 2.
15*	18	Frontières du système	Dans le scénario 2, les bois de Vincennes, Boulogne et le parc des Buttes Chaumont sont alimentés de manière autonome en ENP. L'alimentation de ces parcs est-elle prise en compte dans le système du scénario 2 ? Cela représente 29 300 m3/j.	Cette alimentation est prise en compte en termes de consommation d'eau et d'énergie sur la base de la formule présentée en 15.3
-	26	Formulation	Reformuler la dernière phrase, pas claire, et la terminer par un point.	ok
-	40	Formulation	Remplacer « n'est pas sensiblement le même… » par « est sensiblement différent… » par exemple.	ok, remplacé par « est différent de »
16*	44	Interprétation : émissions de métaux lourds dans l'air	L'argumentation s'appuyant sur la comparaison entre le nombre d'équivalents habitants que représentent les émissions dans l'air de métaux lourds et le nombre de personnes desservies par le réseau d'eau est-elle logique ? Il serait plus pertinent de comparer entre eux les différents impacts : ainsi, l'eutrophisation représente moins de 1000 habitants, et est affichée, alors que les émissions de métaux lourds représentent 1 800 éq habitants. Pourquoi ramener les émissions au niveau de 1990 ce qui réduit considérablement le nombre d'équivalents habitants ?	Les émissions dans l'air de métaux lourds ont été rajoutées à l'interprétation des résultats.
17	45	Résultats	Les écarts entre scénarios sont minimes, ne serait il pas plus éclairant de raisonner en différentiel, c'est à dire de présenter des graphes où seules les différences entre le scénario 1 et 2 sont affichées ?	Le choix de la présentation des impacts totaux (sans raisonnement en différentiel) provient du choix de l'unité fonctionnelle (couvre toutes les consommations EP + ENP). Il permet notamment de mettre en évidence dans la conclusion que la seule différence claire entre les scénarios comparés est la consommation d'eau. Enfin, signalons que la présentation en équivalent habitants est en

				elle-même un raisonnement en différentiel, complémentaire du premier type de présentation où l'on montre les impacts totaux.
-	46	Formulation	Dans le remarque répétée sous les tableaux, il s'agit plus d'approximations que d'erreurs d'arrondis.	La remarque vise à préciser que pour un nombre de chiffres significatifs donné, la somme des arrondis peut différer de l'arrondi de la somme. En revanche chaque ligne du tableau correspond bien à l'arrondi de la valeur provenant du calcul exact.
18*	46	Résultats	Qu'est-ce qui permet d'affirmer qu'un écart de 4% est significatif, alors qu'un écart de 2 à 3% n'est pas considéré comme différenciant en page 48 ? Est-ce qu'une présentation en différentiel telle que suggérée en 17 permettrait de répondre à cette question ?	Au final le seul écart significatif est celui de la consommation d'eau. Les remarques portant sur le caractère significatif ou non des écarts ont été modifiées en ce sens dans les différentes conclusions.
19	54	Résultats	La justification du caractère « non conclusif » de l'écart de 7 à 9% sur l'eutrophisation, qui s'appuie sur la comparaison au nombre de personnes desservies par le réseau, ne semble pas convaincante.	idem ci-dessus
20	61	Analyse de sensibilité	Il serait intéressant de distinguer, au niveau des résultats de l'analyse de sensibilité, les consommations d'eau souterraine et de surface, comme cela a été fait page 48. Cela pourrait conduire à nuancer la conclusion.	Cette distinction a été faite dans le corps du texte sur la base d'un ratio entre eaux souterraines et de surface inchangé par rapport au ratio utilisé dans le scénario principal
21	62	Analyse de sensibilité	Les analyses de sensibilité ne conduisent pas à inverser les conclusions, mais les écarts sont extrêmement réduits, ce qui fragilise les conclusions.	cf. remarque 18
22*	63	Analyse de sensibilité	Il est judicieux d'envisager une moindre réduction de la consommation d'eau liée au remplacement d'ENP par de l'EP. Cependant, comment se fait-il que la consommation de référence soit de 25 900 et non de 35 900 m3/j? Les pertes de surface de 10 000 m3/j ont-elles été bien comptées ?	idem remarque 14 (dans le texte les fuites de surface ne sont pas considérées comme des consommations mais sont incluses dans les calculs via le paramètre de rendement)
23*	63	Analyse de sensibilité	Par rapport du scénario 1, la consommation passe de 62 700 à 35 900 m3/j. Une variation de 10 000 m3/j paraît faible pour tester	Ce point a été signalé dans la partie limitations de l'étude, qui doivent nuancer les conclusions de l'étude et font partie

<table>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>la sensibilité d’une telle hypothèse, d’autant que l’argument fonctionne dans les deux sens : la réduction sera peut-être moins élevée qu’attendue, et une réduction pourrait également être acquise par un travail de sensibilisation en conservant l’usage d’ENP.
<table>
<tr><th></th><th colspan="2">Actuel</th><th colspan="2">Scénario 1 - Hyp 1</th><th colspan="2">Scénario 2</th></tr>
<tr><th></th><th>ENP</th><th>EP</th><th>ENP</th><th>EP</th><th>ENP</th><th>EP</th></tr>
<tr><td>Consommation EP</td><td></td><td>521470</td><td></td><td>521470</td><td></td><td>521470</td></tr>
<tr><td>Boulogne</td><td>17500</td><td></td><td>17500</td><td></td><td>17500</td><td></td></tr>
<tr><td>Vincennes</td><td>9500</td><td></td><td>9500</td><td></td><td>9500</td><td></td></tr>
<tr><td>Buttes Chaumont</td><td>3300</td><td></td><td>3300</td><td></td><td>3300</td><td></td></tr>
<tr><td>Autres parcs</td><td>2100</td><td></td><td>2400</td><td></td><td></td><td>2100</td></tr>
<tr><td>Propreté</td><td>40000</td><td></td><td>24000</td><td></td><td></td><td>14000</td></tr>
<tr><td>SAP</td><td>4050</td><td></td><td>14050</td><td></td><td></td><td>9500</td></tr>
<tr><td>Industriels</td><td>1250</td><td></td><td>1250</td><td></td><td></td><td>1250</td></tr>
<tr><td>Purtas surface</td><td>35000</td><td></td><td>20000</td><td></td><td></td><td>10000</td></tr>
<tr><td>Purtas réseau</td><td>56300</td><td>18980</td><td>25335</td><td>18980</td><td></td><td>18980</td></tr>
<tr><td>Sous Total Usages ENP*</td><td>92400</td><td></td><td>62700</td><td></td><td></td><td>35950</td></tr>
<tr><td>Total</td><td>168000</td><td>540350</td><td>117335</td><td>540350</td><td>29300</td><td>557420</td></tr>
<tr><td colspan="7">*hors 3 parcs et purtas réseau</td></tr>
</table>
</td>
<td>intégrante du rapport.

Rappelons que le chiffre de 62 700 inclut les bois, tandis que celui de 35 900 n’inclut pas les bois : la comparaison à périmètre égal se fait donc sur le chiffre Parcs intra-muros/SAP/Propreté/Industriels, et porte donc sur 46 000 versus 36 000 pour l’analyse de sensibilité.

Rappelons également que ces chiffres s’appuient sur les hypothèses fournies par le STEA, validées par Prolog, auxquelles nous accordons donc une bonne fiabilité.</td>
</tr>
<tr>
<td>24</td>
<td>67</td>
<td>Normation</td>
<td>Vérifier la valeur du calcul pour les émissions de poussières.</td>
<td>La version finale du rapport prend en compte la modification apportée</td>
</tr>
<tr>
<td>-</td>
<td>67</td>
<td>Normation</td>
<td>L’écart entre les scénarios 1 et 2 en dernière colonne serait plus avantageusement exprimé en % pour faciliter l’exploitation du tableau.</td>
<td>L’écart en % serait directement égal à celui présenté dans la partie conclusion en p 9 : (Sc2 – Sc1)/Sc1</td>
</tr>
</table>

Conclusion de la revue critique

Méthodologie

La méthodologie mise en œuvre par Ecobilan pour réaliser l'étude « Bilan environnemental du systèmes d'alimentation en eau non potable de Paris » pour la Mairie de Paris répond aux exigences des normes ISO 14040 et 14044 relatives aux analyses de cycle de vie.

- Le rapport est clair, les hypothèses sont bien précisées,
- La définition de l'unité fonctionnelle est acceptable,
- La définition des frontières du système également. Une précision est toutefois demandée sur ce point en question 15,
- La qualité des données est correctement renseignée,
- Le choix des indicateurs est argumenté et semble pertinent,
- Des analyses de sensibilité enrichissent l'interprétation des résultats.

Résultats et conclusions

L'analyse des résultats montre des écarts peu significatifs entre les deux scénarios : quelques pourcents seulement, ce qui semble faible pour asseoir des conclusions robustes.

L'écart le plus significatif est observé sur la consommation d'eau : le fait de substituer de l'eau potable à l'eau non potable permet notamment d'éviter les pertes de réseau relatives à un second réseau.

L'écart de consommation d'eau repose également sur des hypothèses fortes quant à la réduction de la consommation lors du transfert éventuel de l'eau non potable vers l'eau potable en scénario 2 – - 40% sur SAP, -50% sur les pertes de surface – et, symétriquement, la faible prise en compte de mesures de réduction de consommation d'eau non potable dans le scénario 1. Les experts de l'exploitation des réseaux sont les seuls capables de juger de la pertinence de ces hypothèses, l'analyse ACV permet d'identifier leur caractère déterminant.

La conclusion de l'étude comparative des impacts environnementaux des solutions envisagées serait donc que les écarts entre solutions ne sont pas significatifs. Par conséquent, la décision de réhabiliter ou non le réseau d'eau non potable devrait s'appuyer sur d'autres critères, soit directement accessibles comme la consommation d'eau, soit des critères techniques, économiques ou sociaux.

Annexe IV – Définitions

Nous regroupons ci-dessous les définitions selon la norme ISO 14 044 de certains termes utilisés de manière récurrente dans le présent rapport :

- Affectation : imputation des flux entrant ou sortant d'un processus ou d'un système de produits entre le système de produits étudié et un ou plusieurs autres systèmes de produits

- Analyse de sensibilité : procédure systématique pour estimer les effets sur les résultats d'une étude des choix concernant les méthodes et les données

- Co-produit : l'un quelconque de deux produits ou plus issus d'un processus élémentaire ou d'un système de produits

- Frontières du système : ensemble de critères qui spécifient quels processus élémentaires font partie du système de produits

- Revue critique : processus destiné à s'assurer de la cohérence entre une étude d'analyse du cycle de vie et les principes et exigences spécifiés par les Normes internationales traitant de l'analyse du cycle de vie

- Unité fonctionnelle : performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence dans une analyse du cycle de vie