

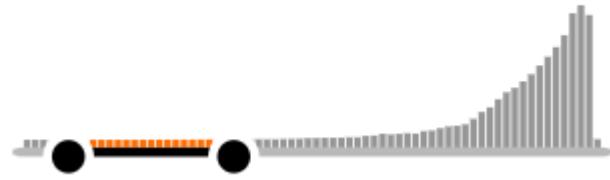


ACV, ACV kWh nucléaire EDF

EDF R&D, Département TREE
Denis Le Boulch (denis.le-boulch@edf.fr)



1. Analyse du Cycle de Vie (ACV)



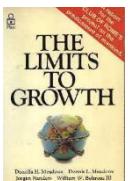
ACV : historique d'une méthode (1/3)



Premiers
bilans

1969

Crises
Environnementales



1960 - 80
Pionniers

ACV : historique (2/3)



2004



1997
Normalisation
1996



1993
Bonnes
pratiques



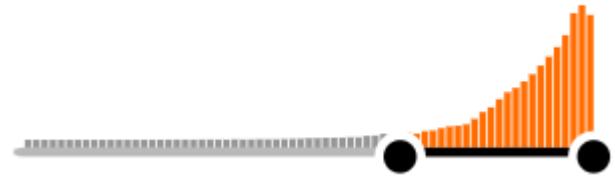
Reconnaissance
scientifique



1960 - 80
Pionniers

1980 - 2000
Premiers
développements
méthodologiques

ACV : historique (3/3)



1960 - 80
Pionniers



1980 - 2000
Premiers
développements
méthodologiques



2010 : Bilan GES
réglementaires



2006 : Etiquetage
environnemental fondé
sur l'ACV (EPD)



2006
14040&44



2013-2014 :
normalisation de
l'empreinte eau



Logiciels, bases de données,
méthodes indicateurs etc.

2000 -

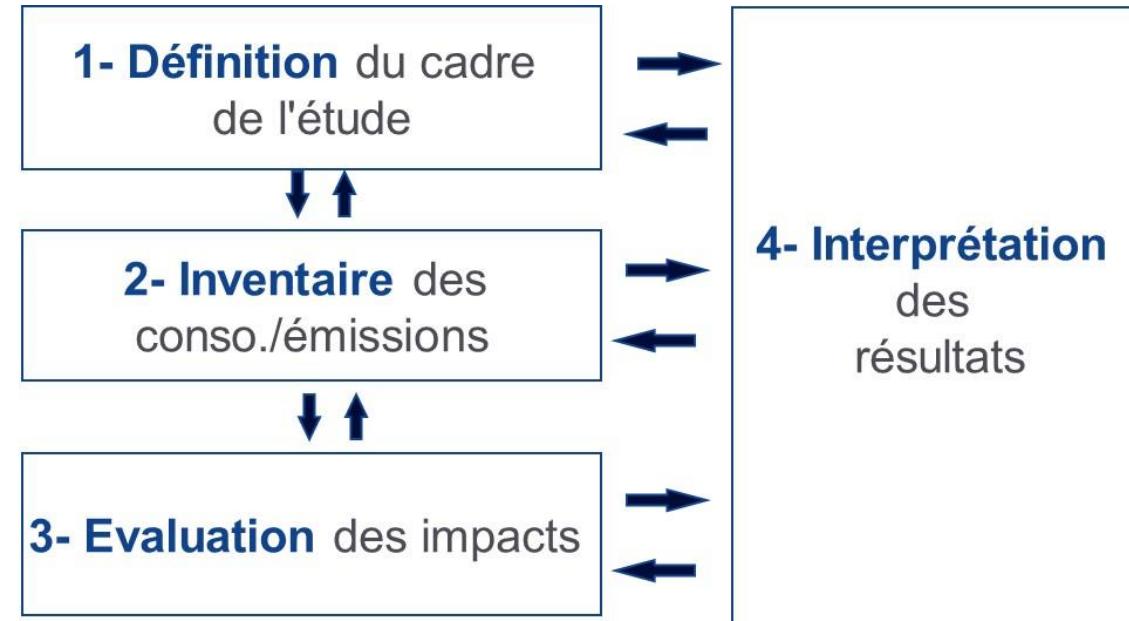
Développements &
diffusion

Analyse du Cycle de Vie



L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est la méthode d'évaluation environnementale des systèmes (produit, service, entreprise ou procédé). Elle permet de réaliser un bilan environnemental quantifié multicritère sur l'ensemble du cycle de vie du produit analysé, de l'extraction des matières premières à la fin de vie.

*Une méthode dite
« intégrée » en 4
étapes*



ISO 14040-44



Trois caractéristiques majeures



1. CYCLE DE VIE

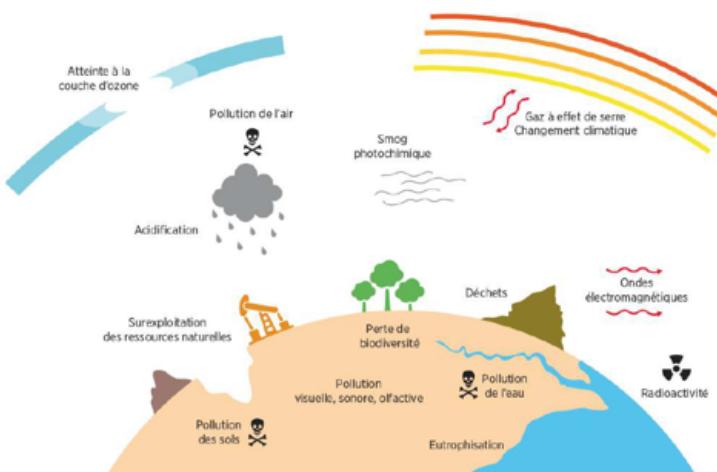
Approche systémique : échelle produit/système



« Du berceau à la tombe »

2. MULTICRITÈRE

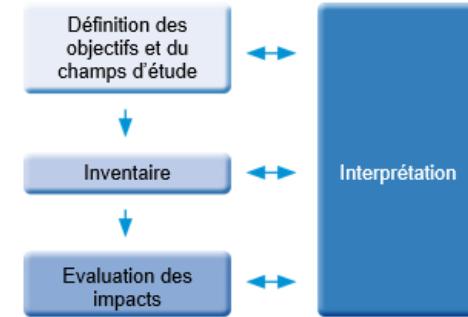
Effet de serre, et plus ...



Via des « Indicateurs ACV »

3. INTÉGRÉE ET NORMALISÉE

Les quatre étapes d'une Analyse du Cycle de vie

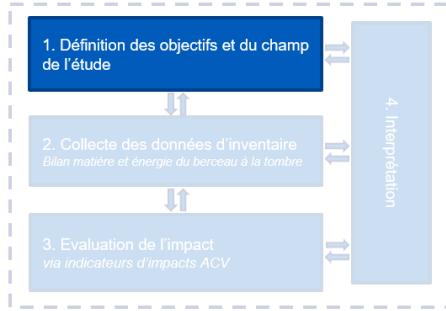


Résultats quantifiés et opposables



2. ACV du kWh nucléaire EDF

2.1. Présentation générale



Objectifs de l'étude



- L'ACV du kWh nucléaire EDF SA porte sur le parc actuel (année de référence : 2019)
- L'étude s'inscrit dans un objectif de management environnemental. Elle vise à une meilleure compréhension du bilan environnemental du kWh, permettant ainsi d'identifier les meilleures actions à initier et réaliser sur la chaîne de valeur
- *L'étude a fait l'objet d'une revue critique par un panel d'experts indépendants*



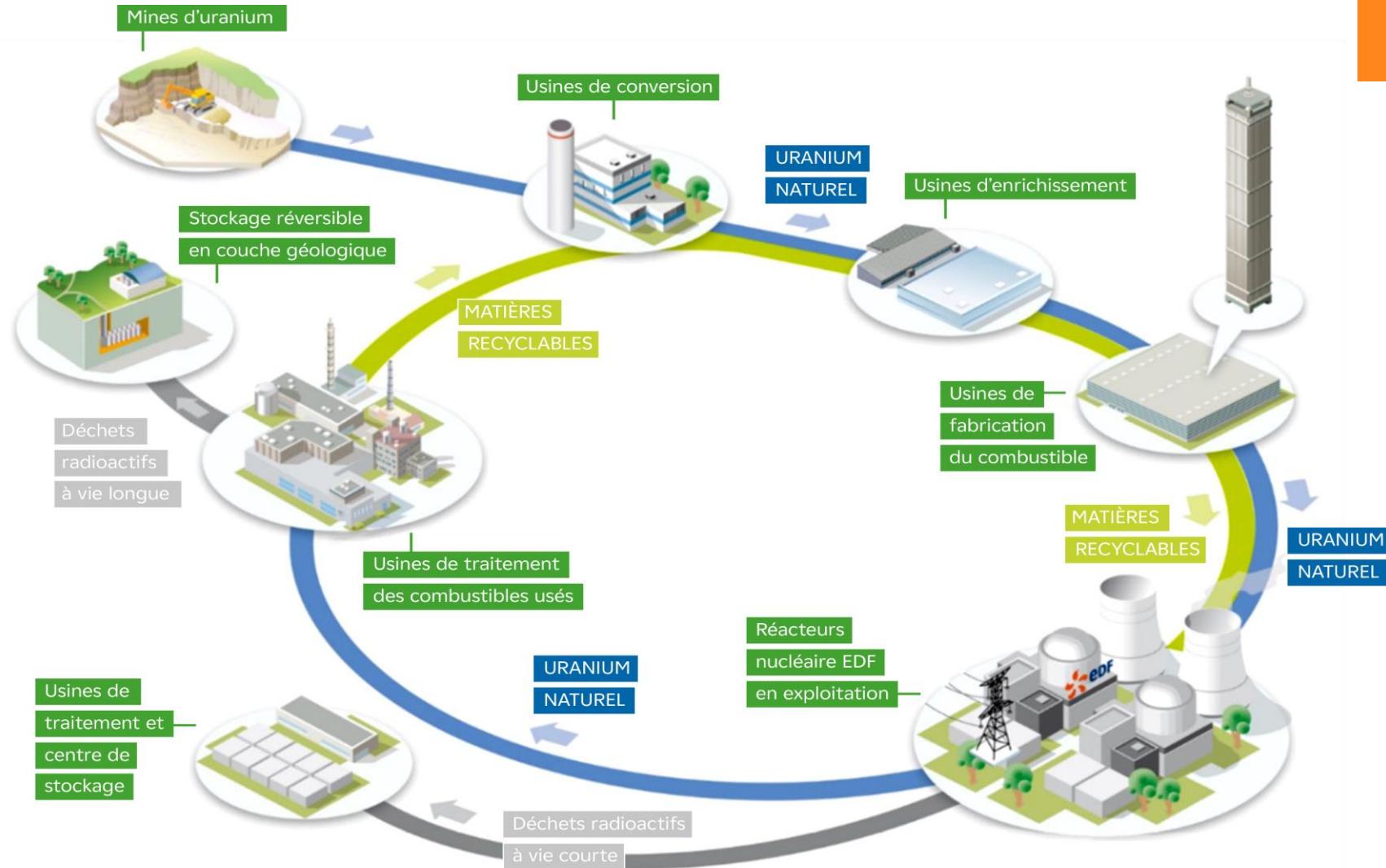
Champ de l'étude



« Produire un kWh à partir du parc nucléaire français EDF »

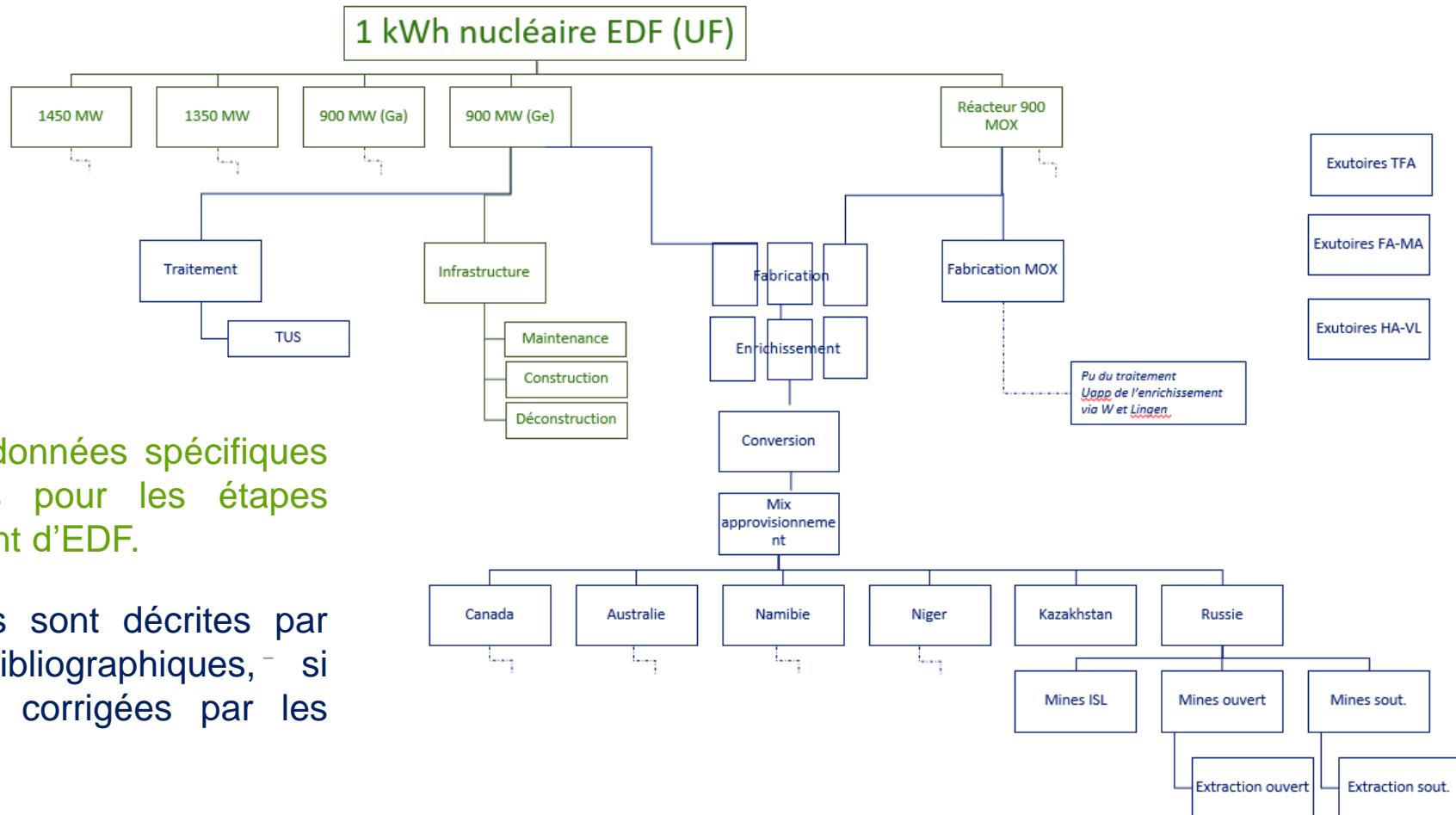
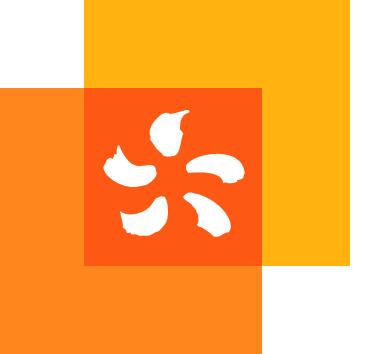
- Les données retenues sont celles de 2019, soit l'ensemble des moyens du parc de production nucléaire d'EDF SA en France en 2019 :
 - 34 réacteurs 900 MW (dont 22 « moxés »),
 - 20 réacteurs 1300 MW,
 - 4 réacteurs de 1450 MW.
 - (elle prend donc en compte les 2 tranches de Fessenheim arrêtées en 2019)
- Le kWh est destiné à alimenter un réseau de production centralisé. L'étude ne prend pas en compte le transport d'électricité

Le cycle de vie du kWh EDF





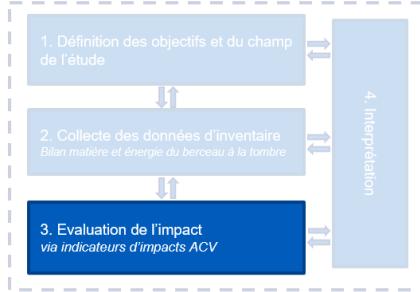
Modélisation du cycle de vie



Des collectes de données spécifiques ont été réalisées pour les étapes relevant directement d'EDF.

Les autres étapes sont décrites par des données bibliographiques, si besoin revues et corrigées par les experts EDF





Evaluation de l'impact



L'inventaire ACV obtenu a été interprété par 10 indicateurs de catégorie d'impact, de la méthode PEF.



Les thématiques « eau » et « déchets » seront intégrées dans une prochaine version

Résultat : rapport respectant le formalisme ISO

Présentation du cycle
Rappels sur la méthode
Objectifs de l'étude
Applications envisagées
Unité fonctionnelle, périmètre
Données
Choix des indicateurs
Description du modèle
Résultats
Analyse des résultats
Fiabilité des résultats
Etudes de sensibilité
Complétude
Revue critique



Sommaire / Summary

AVERTISSEMENT / CAUTION	1
SYNTHÈSE	2
SOMMAIRE / SUMMARY	3
1. INTRODUCTION	3
2. PRÉSENTATION DE LA FUELLE ÉLECTRONUCLEAIRE EDF	3
2.1. GÉNÉRALITÉS SUR LA FUELLE	3
2.2. L'EXTRACTION DU MINERAU D'URANIUM	3
2.3. LA CONCENTRATION (APRÈS AUSSI TRAITEMENT)	3
2.4. LA CONSIDÉRATION	10
2.5. L'ENRICHISSEMENT	11
2.6. LA FABRICATION DU COMBUSTIBLE	12
2.7. LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ	13
2.8. LE RETIREMENT DU COMBUSTIBLE USE	15
2.9. LA FUELLE MOX	16
2.10. LE STOCKAGE DES DÉCHETS NUCLÉAIRES	16
3. RAPPELS SUR L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE (ACV)	17
3.1. PRINCIPE ET GÉNÉRALITÉS	17
3.2. MÉTHODE	17
4. DEFINITION DE L'OBJECTIF	19
4.1. OBJECTIF DE L'ÉTUDE	19
4.2. APPLICATION ENVISAGÉE DE L'ÉTUDE ET PUBLIC CONCERNÉ	19
5. CHAMP DE L'ÉTUDE	19
5.1.1. Fonction et unité fonctionnelle	19
5.1.2. Frontières du système	19
6. INVENTAIRE DU CYCLE DE VIE ET ANALYSE DE L'INVENTAIRE	24
6.1.1. Sources de données et hypothèses pour les données primaires et secondaires	24
6.1.2. Généralités sur les données	24
6.1.3. Données cycle	25
6.1.4. Exigences en matière de qualité des données et méthode d'évaluation	25
7. ÉVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	32
7.1.1. Méthodologie de caractérisation des impacts environnementaux (indicateurs ACV/LCD)	32
7.1.2. Autres indicateurs et thématiques environnementales	32
7.1.3. Description du modèle utilisé	32
7.1.4. Analyses de contribution	32
7.1.5. Analyses de sensibilité	32
7.1.6. Revue critique	32
8. RÉSULTATS	34
8.1. ÉVALUATION DE L'IMPACT DU CYCLE DE VIE – SYNTHÈSE DES RÉSULTATS	34
9. ANALYSE DES RÉSULTATS	35
9.1. ANALYSE DES FLUX	35
9.1.1. ANALYSE DES INDICATEURS D'IMPACT POTENTIEL	35
9.2. SYNTHÈSE	55
9.3. ÉTUDES DE SENSITIVITÉ	59
9.3.1. Fiabilité des résultats GES	59
9.3.2. Étude de sensibilité	59
9.4. VÉRIFICATION	61
9.4.1. Contrôle de complétude	61
9.4.2. Incertitudes et limites de l'étude	62
10. CONCLUSION - PERSPECTIVES	63
11. ANNEXES	65
12. BIBLIOGRAPHIE	73
13. FIGURES ET TABLEAUX	74
14. ABBREVIATIONS	78

EDF SA	TYPE DE DOCUMENT : DOCUMENT DE TRAVAIL	VERSION : VERSION 1.0
--------	--	-----------------------

9.4. VÉRIFICATION	61
9.4.1. Contrôle de complétude	61
9.4.2. Incertitudes et limites de l'étude	62
10. CONCLUSION - PERSPECTIVES	63
11. ANNEXES	65
12. BIBLIOGRAPHIE	73
13. FIGURES ET TABLEAUX	74
14. ABBREVIATIONS	78



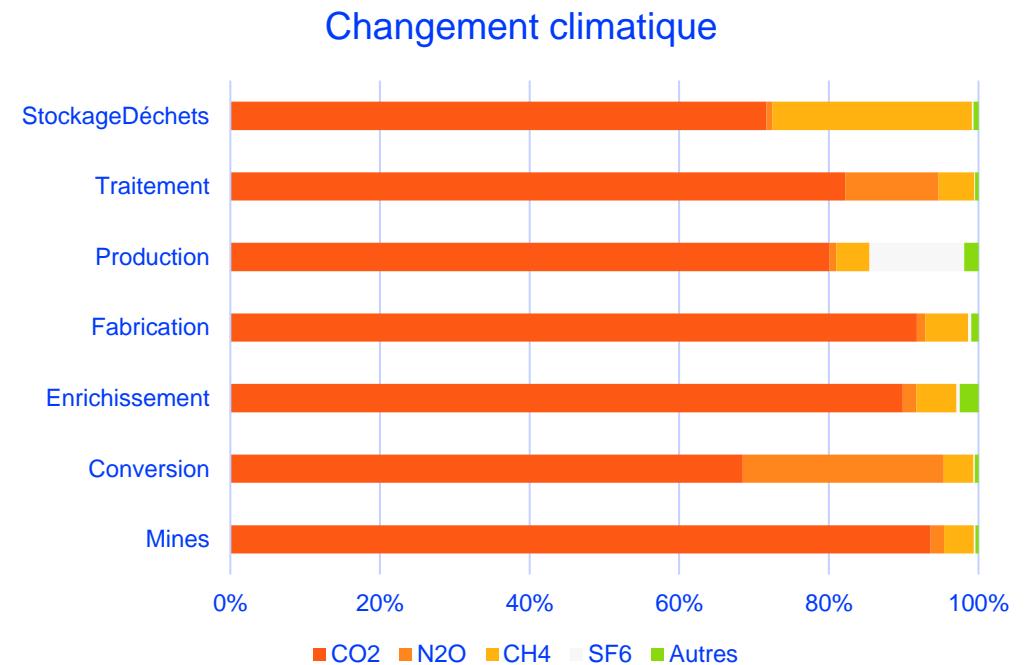
2. ACV du kWh nucléaire EDF

2.1. Résultats



Résultat indicateur changement climatique : 4 g eq CO₂/kWh

Etape	G éq CO ₂ /kWh
Mines - traitement	1,3
Conversion	0,3
Enrichissement	0,4
Fabrication	0,1
Production - construction	0,6
Production - exploitation	0,3
Production - déconstruction	0,1
Traitements CU	0,5
Stockage déchets	0,1
TOTAL	3,7

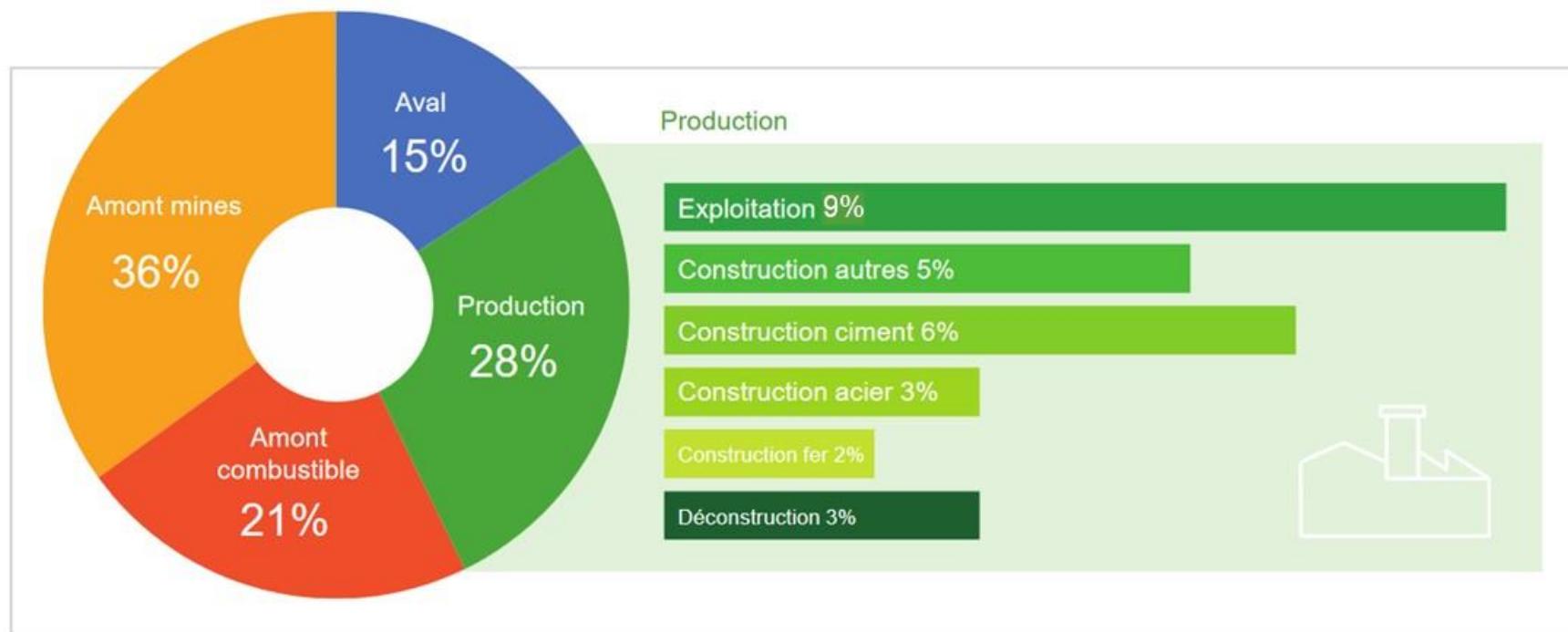


Zoom « production »



La réalisation d'une ACV interne permet :

- De disposer d'un référentiel d'analyse quantifié, identifiant les étapes et flux les plus contributeurs au bilan global ...
- ... qui sera largement diffusé ...
- ... et permettra l'amélioration.





Etudes de sensibilité



Consommation diesel mine => < 13 %



Origine	g éq CO ₂ /kWh
Cas actuel	3,7
Consommation diesel optimisée	3,5
Consommation diesel dégradée	3,95



Production annuelle	g eq CO ₂ /kWh
Baisse 10 % (342 148 844 MWh)	3,8
Cette étude (380 165 383 MWh)	3,7
Augmentation 10 % (418 181 921 MWh)	3,6

DF de 40 à 60 ans => - 8 %



Durée de fonctionnement	g eq CO ₂ /kWh
40 ans	3,7
60 ans	3,4

Variation de production de 10 % => 3 %

Paramètre	A	Cette étude	B
Consommation de diesel	Optimisé	Cette étude	Degrade
Électricité enrichissement	0,0864 kg eq CO ₂ /kWh	Mix EDF 2019	0,71 kg eq CO ₂ /kWh
Durée de fonctionnement centrale	60 ans	40 ans	40 ans
Bilan GES (g eq CO ₂ /kWh)	3.2	3.7	4.0

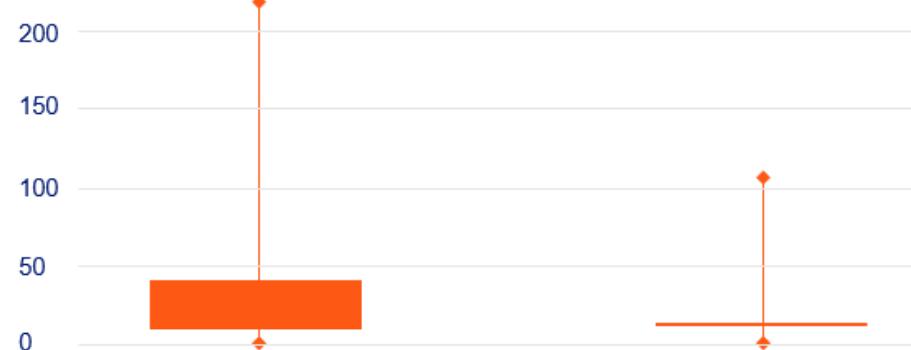
SENSIBILITE GLOBALE => de 2,9 à 4,6 g eq CO₂/kWh

Contrôle de fiabilité : des résultats convergents sur l'indicateur C.C.



Résultats GIEC (échelle monde)

IPCC 2012



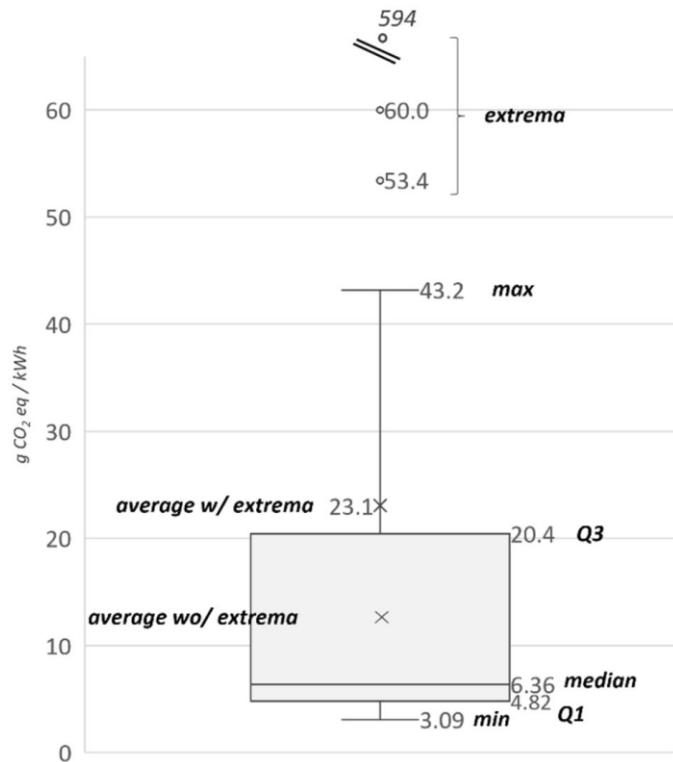
IPCC 2015

12 g eq CO₂/kWh

« Meta analyse »



114 publications,
22 « études primaires »,
63 « estimations »



The International Journal of Life Cycle Assessment
<https://doi.org/10.1007/s11367-024-02293-y>

LCA FOR ENERGY SYSTEMS AND FOOD PRODUCTS



Meta-analysis of the greenhouse gases emissions of nuclear electricity generation: learnings for process-based LCA

Denis Le Boulch¹ · Mickael Buronfosse¹ · Yannick Le Guern² · Pierre-Alexis Duvernols² · Noémie Payen¹

Received: 10 October 2023 / Accepted: 29 February 2024
© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2024

Médiane : 6 g eq CO₂/kWh ;
Average without extrema : 12 g eq CO₂/kWh

Paramètres clés :

- (disparition de l'enrichissement gazeux)
- contenu GES élec enrichissement
- consommations énergétiques de l'extraction

Echantillon d'analyse suffisant, de nouvelles études et données (mines) permettraient de renforcer encore ces conclusions

Revue critique par « panel »



Les experts ont été choisis pour leur complémentarité afin de constituer un panel approprié aux exigences d'ISO 14044 et ISO/TS 14071.



Philippe Osset et Delphine Bauchot sont associés de Solinnen et ont animé le panel. Ils possèdent une grande expertise de la pratique de l'ACV des filières énergétiques, et de l'animation de RC. Philippe Osset représente la France à l'ISO sur les problématiques d'ACV, et a notamment animé le groupe de travail qui a produit ISO/TS 14071



Alain Grandjean et Aurélien Schuller respectivement associé et manager au sein de de Carbone 4, sont des experts de la comptabilité carbone appliquée à des entreprises ou à des produits, dans une logique de cycle de vie, et tout particulièrement dans le secteur de l'énergie.



Christophe Poinsot est Directeur Général Délégué et Directeur Scientifique du BRGM. Il a précédemment travaillé durant 25 ans au CEA où outre ses responsabilités, il a développé une solide expertise dans le domaine du cycle électronucléaire (mines, traitement/recyclage, conditionnement, entreposage et stockage des déchets) le conduisant à être nommé Expert International CEA et Professeur INSTN dans le domaine du cycle. Il a notamment mené des études ACV sur l'empreinte environnementale du nucléaire actuel et futur.



Les membres du panel ne représentent pas leurs organisations.
Ils ont agi en tant qu'experts indépendants.

Revue critique



L'étude a fait l'objet de 252 commentaires détaillés

Tous les commentaires ont été pris en compte par EDF.

La pertinence des modifications proposées a été discutée lors de plusieurs réunions.

Au vu du rapport final d'ACV, **les experts considèrent que les résultats apportés répondent de façon adéquate et crédible aux objectifs mentionnés, et qu'ils ont été établis dans le respect des normes mentionnées.** Ces conclusions sont mesurées dans le cadre explicitement mentionné au chapitre 9.5.2 du rapport d'ACV d'EDF. Ces conclusions s'inscrivent dans le cadre des limitations mentionnées au sein des commentaires détaillés précisés au chapitre suivant.

Le rapport d'ACV d'EDF s'inscrit ainsi bien dans le cadre général des exigences d'ISO 14044 et plus précisément celles concernant les rapports d'ACV tierce partie de son chapitre 5.2. Les experts du panel de la revue critique précisent que la lecture du rapport d'ACV demande une expertise que n'aura pas forcément une audience peu aguerrie concernant la filière électronucléaire.

