

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



**Présentation SFEN Bourgogne
Franche Comté du 11/02/2016:
première partie : Comparaison des
problèmes environnementaux
posés par les différentes sources
d'énergie.**

Joel GUIDEZ

C E A International expert

- Les énergies fossiles : charbon, lignite, pétrole, gaz, pétrole et gaz de schiste, etc...
- Les énergies renouvelables : hydraulique, éolien, solaire de différents type, biomasse .
- L'énergie nucléaire.

LES CRITÈRES DE COMPARAISON.

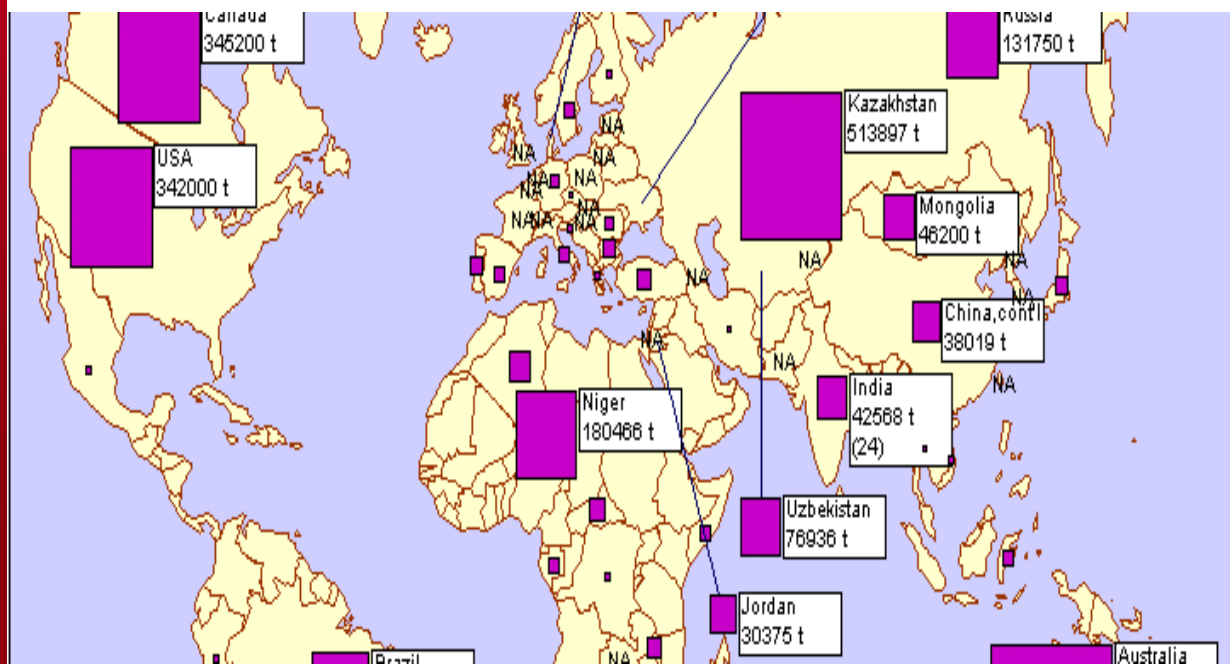
- Disponibilité des ressources
- Emissions en fonctionnement
- Déchets
- Surface nécessaire
- Santé
- Biodiversité
- Eroi

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



DISPONIBILITÉ DES RESSOURCES

www.cea.fr



DISPONIBILITÉ

- Pas de problèmes avec le vent et le soleil ? Encore faut il que les ressources nécessaires à la construction et remplacement des installations soient disponibles(terres rares, etc..). L'envasement des barrages est aussi un problème.
- Raréfaction et augmentation des couts d'extraction programmés, pour toutes les énergies fossiles, dans le siècle à venir. Problèmes environnementaux prévisibles dus à des extractions de plus en plus difficiles (sables bitumineux, arctique, ..)
- Problèmes possibles d'augmentation des coûts d'uranium dans le siècle à venir, pour les réacteurs GEN II et GEN III. Mais production illimitée avec les réacteurs GENIV.

L'uranium Un problème de coût plus que de disponibilité.

- Dans l'eau de mer , avec une concentration moyenne de 3 mg/M³, il y a environ 4.5 billion tonnes d'uranium.
- Dans le sol, avec une moyenne de 3g/tonne , un jardin de 20 mètres/carrés contient, sur dix mètres de profondeur, déjà quelques kilogrammes d'uranium.
- Les mines sont situées dans des zones à forte concentration d'uranium, pour diminuer les coûts d'extraction et les rendre admissibles.

Identified resources (2011)

≤ \$260/kgU	7.097 Mt
≤ \$130/kgU	5.327 Mt
≤ \$80/kgU	3.079 Mt
≤ \$40/kgU	0.681 Mt

Estimated additional resources

≤ \$260/kgU	6.703 Mt
≤ \$130/kgU	6.242 Mt
≤ \$80/kgU	1.624 Mt

Consommation annuelle mondiale environ 64,000 tonnes

A moins de \$130/kg, environ un siècle pour les réacteurs actuels

Plus de 10,000 ans avec des réacteurs rapides

CONCLUSION SUR LES RESSOURCES D'URANIUM

- Pour les réacteurs de deuxième et troisième génération.

Le coût actuel de l'uranium a peu d'effet sur le coût final de l'électricité (5% du coût de la production nucléaire en 2015). Une comparaison des ressources connues et de la consommation actuelle donne une estimation d'une centaine d'années aux coûts actuels. On notera que le retraitement du combustible permet d'économiser environ 25% d'uranium naturel. Enfin la reprise des recherches minières, actuellement peu active vu les faibles coûts, conduirait certainement à de nouvelles possibilités.

- Pour les réacteurs de quatrième génération

Des milliers d'années de production sont déjà possibles avec les stocks d'uranium appauvri déjà disponibles. Puis la diminution d'un facteur 100, de la consommation d'uranium, conduit à des possibilités d'extraction à des coûts élevés, sans incidence notable sur le coût final. Dans la pratique, on est en situation de production quasi illimitée.

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea

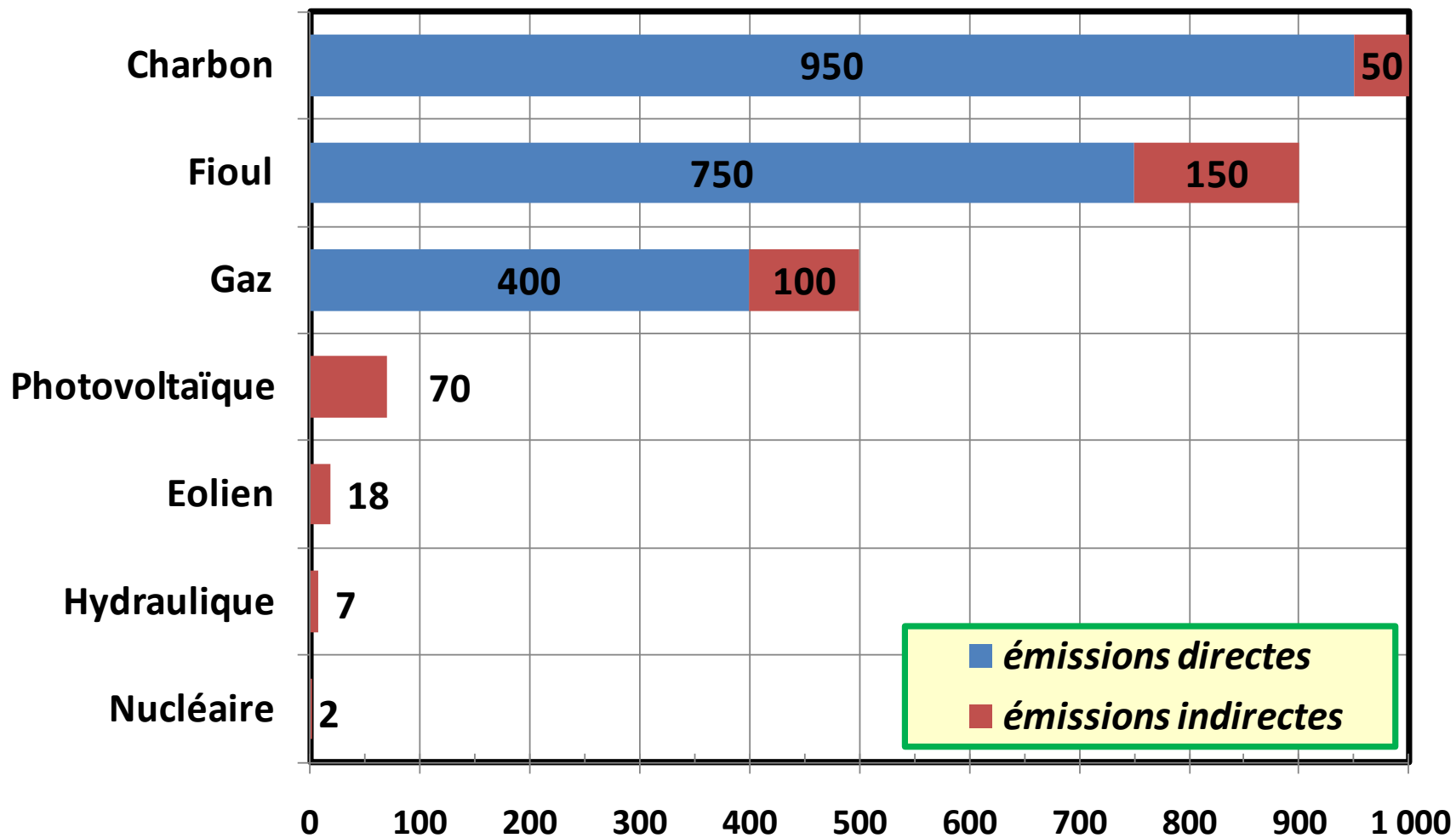
EMISSIONS EN FONCTIONNEMENT



www.cea.fr

EMISSIONS DE CO₂

Production d'électricité: émissions de CO₂ (en g/kWhe)



RESPONSABILITÉS DANS LES ÉMISSIONS DE CO₂

Très clairement l'ensemble des énergies fossiles , est le principal responsable , avec différents niveaux, des émissions de CO₂.

L'éolien et le photovoltaïque n' émettent pas de CO₂ en fonctionnement, mais leur bilan CO₂ n'est pas nul , à cause des énergies importantes nécessaires pour leurs construction.

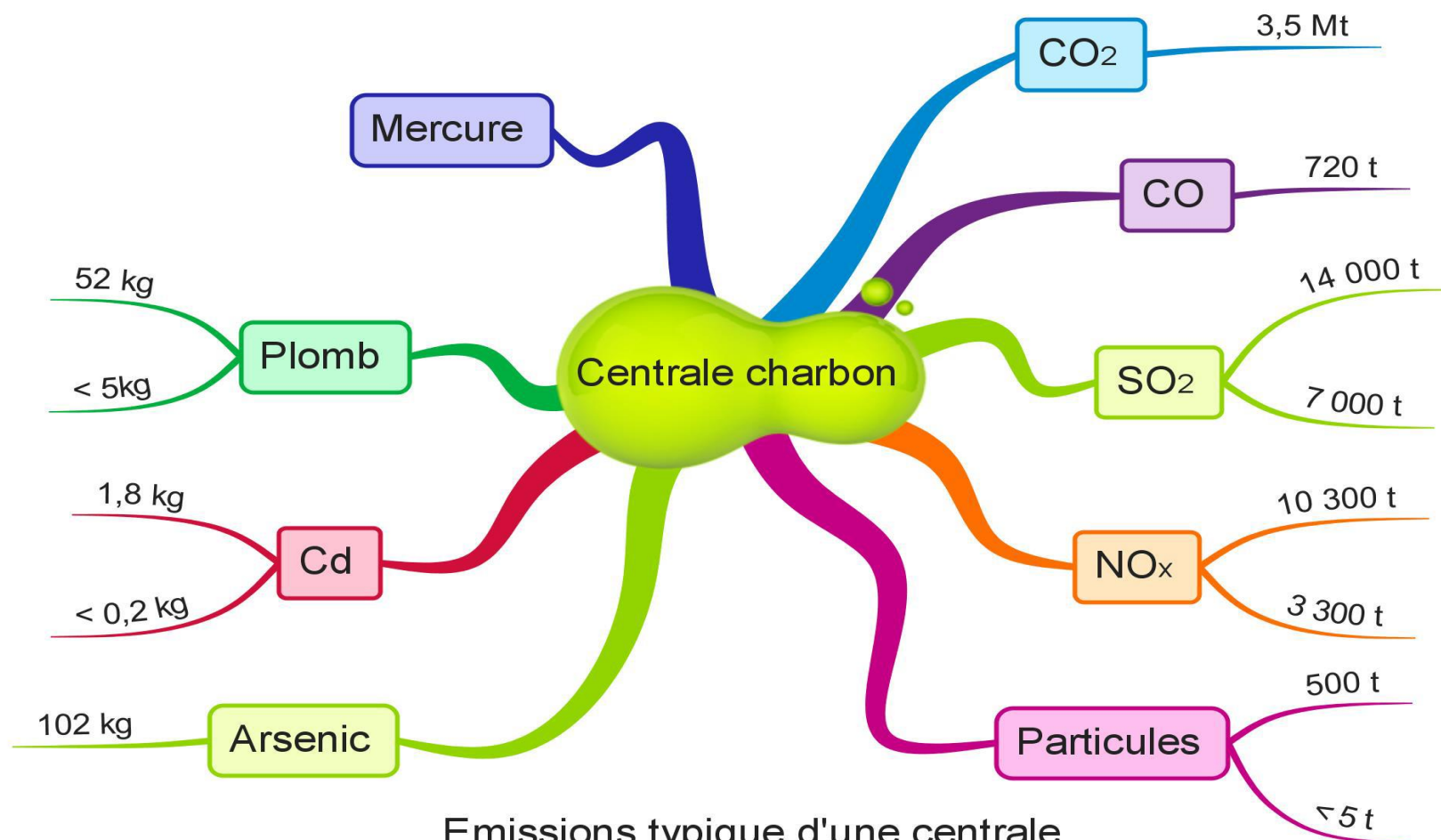
L'hydraulique et le nucléaire n' émettent pas de CO₂ en fonctionnement. Leurs bilans CO₂ , liés à la construction, sont plus faibles grâce à une densité de puissance plus importante.

CONSÉQUENCES DES ÉMISSIONS DE CO2

- Cette augmentation de la teneur en CO2 dans l'air mesuré sur toute la planète est clairement à l'origine du réchauffement climatique. Avec toutes les conséquences connues: diminution des glaciers et des pôles, montée des températures et niveau de la mer, acidification de la mer, variations climatiques, etc..
- La limitation de ces émissions est le principal sujet de la COP21
- Le captage/stockage du CO2 semble pour le moment plus un leurre qu'une réalité industrielle.

- Négligeables avec les ENR
- Rejets des centrales nucléaires négligeables en quantités (on compte en kilos) et sans incidence. Les valeurs de ces rejets sont comptabilisées et disponibles (loi sur la transparence). Aucune fumée.
- Les rejets chimiques (et poussières) sont le fait des énergies fossiles , avec une palme pour le charbon et la lignite.

EXEMPLE D'EMISSIONS CHIMIQUES DE CENTRALE À CHARBON



Emissions typique d'une centrale à charbon aux USA (puissance 600 MW). Source www.ucsusa.org

EMISSIONS RADIOACTIVES

- Les produits radioactifs créés dans l'industrie nucléaire sont gérés dans un cycle de stockage pour éviter toute dilution. Seule une partie du tritium est rejeté (environ 3g/an pour l'ensemble du parc français)
- Uranium, thorium, potassium, et leurs descendants sont présents dans le charbon à des doses variables(de moins de 1 à plus de 20 ppm pour l'uranium ou le thorium). Ils sont relâchés sous forme de fumée ou cendres. La dose collective de 1,6 à 2,6 Hsievert/GW/an pour les réacteurs nucléaires atteint 4 à 20 Hsievert/GW/an pour un réacteur au charbon. Les cendres contiennent plusieurs centaines de Bq/kg d'uranium, thorium et potassium

(Ref "Natural radionuclides from coal fired thermal plants-
estimation of atmospheric release and inhalation risk."
Radioprotection vol46 N°6(2011) S173-S179)

Tant pour le CO₂ que pour les produits chimiques et les poussières, les énergies fossiles sont les principales responsables de ces émissions. En particulier le charbon et la lignite. Le gaz est le moins polluant pour les énergies fossiles.

Le recours à l'énergie nucléaire et aux renouvelables, permet donc de considérablement réduire les émissions en fonctionnement et la pollution associée. On estime que depuis 1971, l'énergie nucléaire a permis d'éviter l'équivalent de deux années d'émission de CO₂.

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea

DÉCHETS

www.cea.fr



COMPARAISON DES QUANTITES DE DECHETS

Pour produire un gigawatt durant une année.

- Un réacteur nucléaire produit approximativement 100m³ de déchets vie courte/faible activité, 5 m³ of de déchets vie longue ou moyenne activité et, 2.5 m³ de verres a forte activité et longue durée de vie (environ 40 m³ de combustible usé si il n'y a pas de retraitement).
- Un réacteur fonctionnant au charbon produirait approximativement 350,000 m³ de cendres, 6,000 tonnes de poussières et 8 millions de tonnes de CO₂. Et des tonnes de SO₂, NO, et métaux lourds divers (mercure, cadmium, etc..).

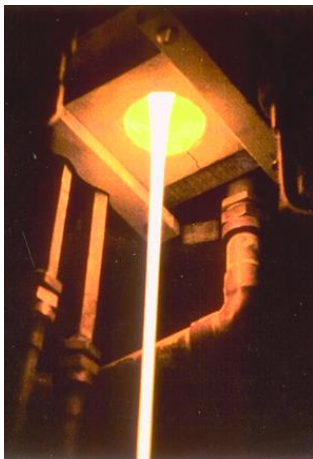
C'est essentiellement cette différence de volume, qui permet à l'industrie nucléaire de stocker ces déchets

Dechets : un ordre de grandeur

Par tête et année en France

Déchets inertes et ménagers	2 200 kg
Déchets industriels	800 kg (100 kg de haut niveau de toxicité)
Déchets nucléaires	2 kg (10 g de haute activité)

DEUX TYPES DE DECHETS NUCLEAIRES



- Les déchets correspondant au combustible sont en petite quantité: 40 tonnes/an pour tout le parc après retraitement. Par contre ils concentrent presque 99% de la radioactivité.

- La grande majorité des autres déchets obtenus soit en fonctionnement soit en démantèlement, représente le plus gros volume (environ 99%) pour moins de 1% de la radioactivité. Ce sont essentiellement des produits liés à des phénomènes d'activation ou de contamination. Ces produits généralement de basse ou moyenne activité et à décroissance plus rapide, sont gérés, tracés, triés et stockés jusqu'à fin de décroissance.



*Vitrified waste
(CSD-V)*

CONCLUSION SUR LES DECHETS

- L'industrie nucléaire est la seule qui gère ses déchets dans un cycle fermé avec stockage et sans dilution vers l'extérieur. Ceci est valable aussi pour le démantèlement. Ceci n'est possible qu'à cause des faibles quantités produites. De plus la plus grande partie de ces déchets a une décroissance très rapide de sa radioactivité.
- Les énergies fossiles produisent des quantités énormes (des millions de tonnes) qu'elles ne gèrent que sur le principe de la dilution non contrôlée. D'où les gaz, fumées, cendres, produits chimiques divers, aux conséquences aussi diverses sur la santé, la biodiversité ou le réchauffement climatique.
- Les ENR (hors biomasse) n'ont pas de déchets en fonctionnement, mais ont des quantités importantes de déchets en fin de vie, visiblement peu gérées. (démantèlement des éoliennes, gestion des panneaux solaires obsolètes, lacs artificiels envasés,...)

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea



SURFACE

www.cea.fr



ORDRE DE GRANDEUR DES SURFACES NÉCESSAIRES POUR DIFFÉRENTES ÉNERGIES.

Hydraulique □ 14 W/m² □ 72 km²/GWe

Eolien terrestre □ 1,2 W/m² □ 770 km²/GWe

Solaire photovoltaïque □ 7-10 W/m² □ 100-150 km²/GWe

Biomasse □ 0,4 W/m² □ 2500 km²/GWe

Nucléaire □ 1250 W/m² □ 0,8 km²/GWe

LA SURFACE EST UNE DIFFICULTÉ ÉCOLOGIQUE POUR LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Avec une population mondiale en augmentation , la faible densité de puissance des énergies renouvelables conduit à des besoins de grandes surfaces non disponibles. En France , avec moins de 3% de production éolienne, il y a déjà des difficultés d'implantation (pollutions visuelle et sonore).



DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea



SANTÉ

www.cea.fr



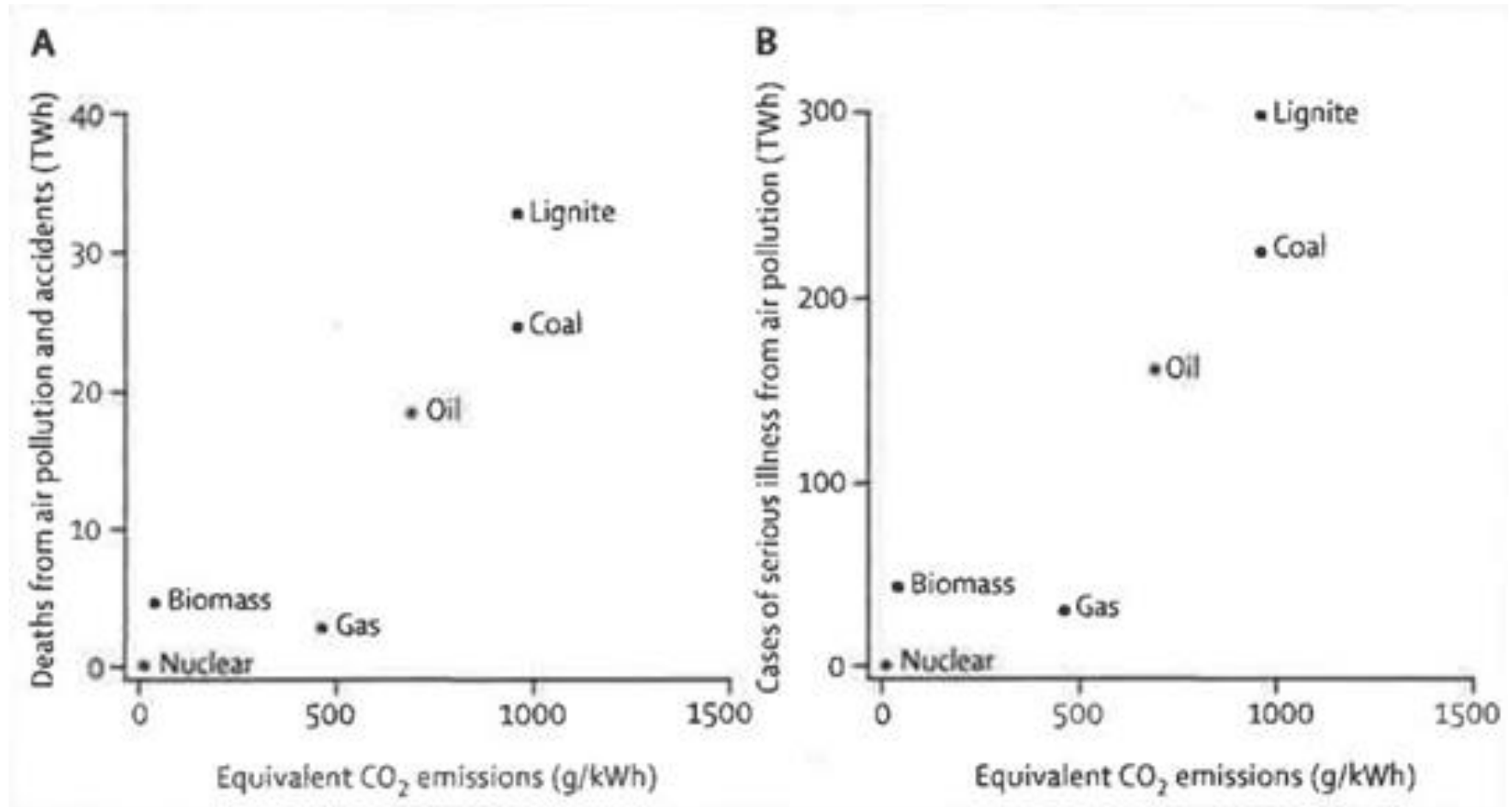
IMPLICATIONS SUR LA SANTÉ

L'utilisation d'énergies fossiles conduit à l'émission de grandes quantités de polluants divers : métaux lourds (mercure, plomb, etc.), SO₂, oxydes nitreux, particules fines, ... L'accumulation dans l'air de ces produits chimiques et de ces particules conduit à des problèmes de santé divers pour la population : asthme, maladies cardio vasculaires, problèmes pulmonaires, etc. L'OMS estime que la pollution de l'air entraîne 7 millions de décès prématurés par an.

Un rapport de 2013, financé par la commission européenne, estime que, chaque année en Europe, cette pollution spécifique est à l'origine de 18,200 décès prématurés, de 8,500 nouveaux cas de bronchite chronique et de la perte de 4 millions de jours de travail. (ref1 "The unpaid health bill. How coal power plants make us sick" » A 2013 report from the Health and environmental alliance.)

En termes accidentels l'addition est lourde aussi pour les énergies fossiles. On estime qu'en France il y a eu 40 000 morts de 1910 à 1945 dans les mines. Des milliers de morts continuent à y être décomptés chaque année, dans le monde.

BILAN CUMULÉ ACCIDENTS+ MALADIES (RÉF 3)



CONCLUSION

- La lignite et le charbon sont les pires : environ 30 morts et 300 maladies sérieuses par TWh produit. Ces valeurs incluent les accidents (spécialement dans les mines) , et les problèmes de santé liés à la pollution.
- Pétrole : environ 20 and 200
- Gaz et biomasse : environ 2 and 30
- Nucléaire et ENR : très faible.

Réf 3 : « Electricity generation and health » LANCET
2007 370

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea



BIODIVERSITÉ

www.cea.fr



Plusieurs paramètres peuvent concerner la biodiversité.

- 1) La réduction de la surface disponible pour les animaux et les oiseaux.
- 2) Les émissions de produits chimiques avec leurs conséquences sur les organismes.
- 3) Les variations d'acidité et de température de l'eau de mer pour les espèces marines.
- 4) Les agressions physiques par les éoliennes pour les oiseaux.

BIODIVERSITÉ MARINE

- Environ un tiers du CO₂ produit est re-dissous dans la mer par les pluies et les vagues .L' acidité de la mer a ainsi commencé à augmenter (PH passé de 8,2 à 8,1)
- Les conséquences pour les coraux du réchauffement et de l'acidification sont fortes. En trente ans la moitié des récifs coralliens a disparu et avec eux des centaines de milliers d'espèces.
- Les conséquences sont aussi fortes pour le plancton ce qui peut entrainer des perturbations dans toute la chaine alimentaire.
- A la fin du Permien , il y a 250 millions d' années, d'importantes émissions de CO₂, dues à une forte activité volcanique, avaient acidifié les océans et conduit à la disparition d'environ 95% des espèces sous marines.

Ref 7 : « La sixième extinction. Comment l'homme détruit la vie. » par Elizabeth Colbert (ed Vuibert)

LES ÉOLIENNES ENNEMIES DES OISEAUX .

En Allemagne (39 GW d'éolien installé) certaines études estiment qu'il y a 2 à 4 millions d'oiseaux tués chaque année. Les chauve souris sont en particulier très concernées.



Pas de rejets chimiques

Pas de grande surface au sol accaparée

Pas de bruit , pas de chasseurs, ..

Parfois, des animaux protégés trouve refuge sur les sites.
A Phénix , deux animaux avaient trouvé protection :
l'alouette Lulu et le lézard Ocellé.

Ref 6:« Key role for nuclear energy in global
biodiversity conservation » Conservation biology
Volume 00

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



EROI COMPARAISON



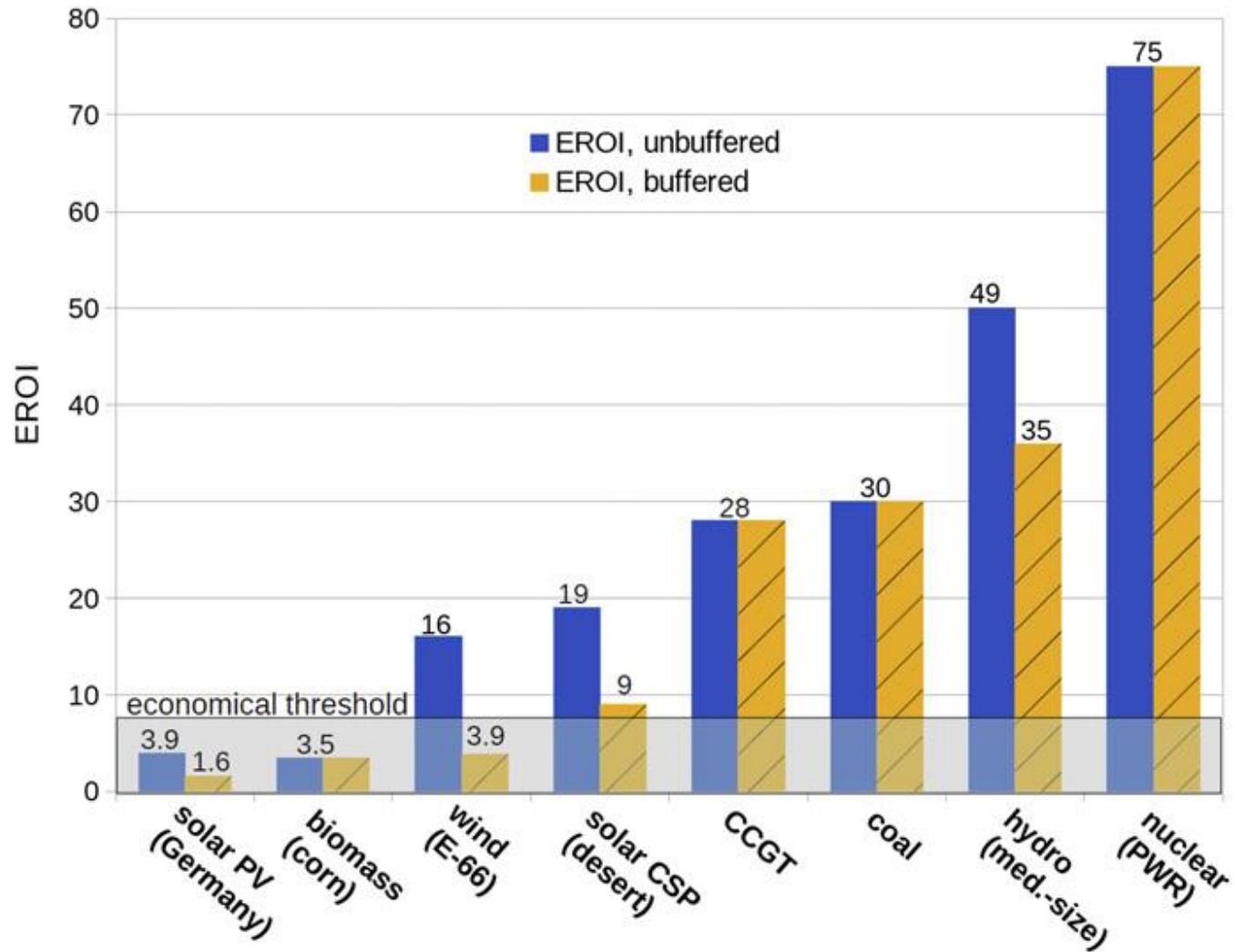
www.cea.fr

EROI is the « Energy Returned On Invested ».

C'est le rapport entre l'énergie utilisable produite par l'installation durant sa durée de fonctionnement, et l'énergie qui a été nécessaire pour sa construction.

Donc plus l'EROI est grand et mieux c'est !

COMPARAISON DES EROI (REFERENCE 2)



EROI CONCLUSION

Le meilleur EROI est pour le nucléaire. Après quelques mois (2 à 4 , suivant la puissance et le type du réacteur) , toute l' énergie utilisée pour sa construction a été récupérée et il reste ensuite 60 ans de fonctionnement.

Le pire EROI est pour le photovoltaïque : il faut entre deux ans et 18 mois pour récupérer l'énergie nécessaire à la construction, et pour un temps de vie restant de l'ordre de 20 ans.

Réf 2 :“Energy intensities, EROIs and energy payback times of electricity generating power plants” ELSEVIER Energy 52 2013

CONCLUSION : LE NUCLÉAIRE EST UNE SOURCE D'ÉNERGIE QUI A DE SÉRIEUX ATOUTS VIS-À-VIS DES PROBLÈMES ENVIRONNEMENTAUX.

- Pas de rejets de fumées ou de CO₂ (même meilleur que le photovoltaïque) Rejets chimiques négligeables .Pas de pollution en fonctionnement. Permet d' éviter le dérèglement climatique.
- Les faibles quantités de déchets produites permettent d'avoir un cycle fermé, sans dilution vers l'extérieur tant que la décroissance radioactive n'a pas fait son œuvre. Les autres sources d'énergie fonctionnent sur le principe de dilution non contrôlée.
- Faible surface occupée , sans émission chimique: un must pour la biodiversité . Une sauvegarde des paysages.
- Le meilleur résultat (avec les ENR) en termes de morts ou de malades par TWh produit, en incluant les accidents et les conséquences de la pollution.
- Le meilleur EROI (retour sur énergie investie)
- Pas de problème de disponibilités des ressources pour le futur.

RAPPEL DES RÉFÉRENCES UTILISÉES

- 1) "The unpaid health bill. How coal power plants make us sick" » A 2013 report from the Health and environmental alliance.
- 2) "Energy intensities, EROIs and energy payback times of electricity generating power plants" ELSEVIER Energy 52 2013
- 3) « Electricity generation and health » LANCET 2007 370
- 4) Red book AIEA AEN 2011 on the availability of uranium.
- 5) "Natural radionuclides from coal fired thermal plants-estimation of atmospheric release and inhalation risk." Radioprotection vol46 N°6(2011) S173-S179
- 6) « Key role for nuclear energy in global biodiversity conservation » Conservation biology Volume 00
- 7) « La sixième extinction. Comment l'homme détruit la vie. » Elisabeth Kolbert Ed Vuibert.