

Aide à l'étude

Problèmes actuels de la gestion de l'énergie

GEOL-F-103

e1. Energie fossile : leçon 1

1g U^{235} = 1 tep (ou 1 T = 10000 tep) **à vérifier**

1h soleil déverse notre énergie de 365 j

1 tep = 42 GJ = 11600 kWh

1 kal = 4,18 J

1000 m³ gaz = 0,9 tep

1 t charbon = 0,7 tep

Chiffre de 2007 :

Renouvelable : 17 %

Solaire , vent, géothermique: 1 %

Biocarburant: 1 %

Hydro-électricité : 6 %

Biomasse : 9 %

Nucléaire : 5 %

Combustible fossile : 78 %

Gaz conventionnel : 20 %

Charbon : 25 %

Pétrole conventionnel : 33 %

consommation mondiale d'énergie primaire en 2010 : + 5,6 %

Pétrole : +3,1 %

Gaz naturel : + 7,4 %

Charbon : 7,6 %

Les combustibles fossiles représentent **80%** de l'énergie primaire

Et **65 %** de la production d'électricité (Hydraulique : **16 %** et nucléaire **15%**)

Dans le scénario 2006 de négawatt, l'énergie renouvelable représente 50% de l'énergie en 2050.

Le production d'énergie fossile de 1999 à 2009 a baissé en Amérique du Nord et en Europe de 1 et 2 %. Dans le reste du monde, la production a augmenté (+ 67% en Asie Pacifique).

Consommation de 1000 bbl/sec.

Dans sa vie un Américain né en 2008 va consommer 1950 bbl.

Le transport représente 1/3 de l'énergie mondiale.

=> Grande augmentation du prix 1973:3\$ le bbl, 2008:98.50\$ le bbl.

Energie secondaire : Energie fabriquée à partir des énergies primaires.

Les sources d'énergies :

Energie TRES concentrées:

Fission 1g U^{235} => 22.000 kWh

fusion 1 g H => 180.000 kWh

Energie moins concentrée:

Pour 1kWh :

combustion 0.1kg charbon,gaz ou pétrole

condensation de 1.6kg de vapeur d'eau

Captage énergie solaire sur 1m²

Energie pas concentrée:

Pour 1 kWh:

Chute de 3t d'eau de 100m de haut

éolienne 20.000m³ d'air à 60 km/h

Géopolitique: Etude des rapports qui unissent les états, leurs politiques et les lois de la nature, ces dernières déterminant les autres.

L'accroissement de la population a été maximale dans les années 60, et ensuite elle n'a fait que diminué. (2.2% dans les 60' et maintenant <1.5%)

2008 : 190.000 humains/j

La démographie est freinée par le développement (éducation, augmentation de l'age moyen de mariage,...)

Il a fallu plus de 2M d'année pour passer à 5 milliards d'individu et il en faudra 40 pour passer de 5 à 10.

Pourquoi toujours le pétrole ? Bon marché, assez concentré et économique lorsqu' associé avec une machine.

Aucune énergie renouvelable ne peut remplacer le pétrole à court et moyen terme donc casse-tête énergétique.

Alternative => Sobriété : diminution de 70% de la consommation d'E dans nos pays.

Top consommateur pétrole :

1/USA

2/Chine + HK

3/Japon

La production mondiale de pétrole ne cesse de diminuer.

Nous consomons plus que la découverte (3 à 4 bbl pour 1) => Augmentation prix.

=> 2000 réacteur pour remplacer 1/4 production de pétrole.

2008 : 448 réacteurs

Pétrole bon marché est fini => Monde encore plus dépendant du moyen-orient

1 BBL = 159 L

Raffinage du pétrole:

Pétrole brut -> Epuration->Distillation

Gaz = +/- 180°

Essence solvant léger = +/- 250°

Kérosène = 360°

Résidus = > 500 ° (craquage)

1 bbl = Gasoline 73,8

L

Fuel Oil =34,8

Jet fuel = 15,5
asphalte = 8,7
kérosène = 0,8
Lubrifiant = 1,9
pétrochimie et autres produits = 23,5

Manque d'entretien et refus d'investir car l'argent rentre de toute façon.

Problème de piraterie

Explosion démographique de 20e s. => Pays du tier monde (Beaucoup d'enfant)
=> Diminution mortalité infantine.

2010 : gaz,pétrole,charbon = 80/90%

Les réserves :

Pétrole = 40/50 ans

Gaz = 50/70 ans

Charbon = 200 ans

Nucléaire neutron lent = 40/50 ans

Nucléaire neutron rapide = 200/250 ans

Fusion Thermonucléaire D-T = 10^3 ans

Fusion Thermonucléaire D-D = 10^9 ans

Energie renouvelable = 10^9 ans (mais rendement énergétique trop faible)

Scénarion 2100 :

Energie fossile épuisée

Nucléaire neutron lent épuisé

Nucléaire neutron rapide : 10.000 réacteur

Eoliennes = 10 M

Chauffage solaire , cellule photovoltaïque = tech. maitrisée

Panneau dans l'espace non maitrisée

Inconvéniant/avantage ER :

L'hydraulique: Potentiel important dans pays en voie de dév. Mais gd barages critiqués (bouleversement écosystème, dépl pop, modification climatique locale,...)

La biomasse: Utilisé depuis des millénaires Mais conflit entre besoin énergétique et alimentaire.

Eolien: Intermitant et problème de stockage de l'énergie

Photovoltaïque: kWh 4x plus cher que kWh nucléaire.

Equivalence unités:

1t Essence = 1,048 tep

1t GPL = 1,095 tep

1fioul lourd = 0,952 tep

1 tec = 0,697 tep

TEP = 10^{10} Cal

Pic production max de gaz décallé par rapport au pétrole

2002 : 14 % ER

2100: réchauffement anthropique

Montée de niveau de la mer de 15-95 cm

Apparition maladie tropicale

disparition glacier

font calotte

perturbation météo, ...

CONSTAT VALIDE EN 2007 :

Augmentation T° de 0,6+/-0,2

Elevation 10-20cm

Décennie 1990 la plus chaude depuis les relevé météo

Disparition 10% couverture neigeuse depuis les 60'

D'ici 2100 = entre 1,4 et 5,8 ° de variation (3° de moyenne

Effet de serre:

CO₂: 385 ppm (Dissolution des calcaires, combustion des forêts, Respiration animale et végétale, émission volcanique, combustible fossile), 200 ans dans l'atm

CH₄: 40 x plus actif, 1,8 ppm, 20% de l'effet de serre, (marais, rizière, flatulences des ruminants, décharge d'ordure ménagère, fuites gaz naturel), risque de déstockage à partir des clathrates, temps résidence atm très court. **30 X PLUS ABSORBANT.**

Accord de Kyoto : Réduire émission de 5,2% en 2012 par rapport a 1990

Même si on arrivait à passer aujourd'hui les émissions de CO₂ à ZERO, sa concentration dans l'atmosphère ne diminuerait que de 40% d'ici à l'an 3000....!

Variation de la température moyenne de la terre de 5 à 6° au total(+ et -)

Cycle de MILANKOVITCH : Période glaciaire et interglaciaire

La différence de température moyenne entre les période GL et IGL = +/- 5 °

On est dans une IGL pour encore 50.000 ans

Lors du changement Gl/Igl, variation T° +/- 1° en 1000 ans et ici 0.6° en 50 ans

Augmentation du méthane : ANTHROPIQUE => Exploitation gaz naturel, décharge, zone agricole irriguées, bétail et plantes.

Mais aussi les clathrate : Molécule d'eau ayant piégé du méthane solide. Dans eau froide, pression élevé et matière organique suffisante pour bactérie méthanogène.

TRES INSTABLE ! Peut céder si changement de pression ou T°

=> 1 m³ clathrate = 170m³ méthane gazeux

Originie ? Décomposition anaérobie de bactéries

Réchauffement de qq °C => Fusion clathrates => Gigantesques glissements sous-marins

On connaît 17 cycles de 100.000 ans

Depuis la fonte des calottes polaires et glacier (-18 à -15.000 ans) Niveau mer + 120m

Si toute la calottes fond dans 500 ans => NM +6m

LE RECHAUFFEMENT EST BIEN LIE A L'HOMME

La nature ne peut absorber que 12 Gt de CO₂

Emission de CO₂ en g/kWh:

Nucléaire=6

Hydro = 4 à 7

Eolien = 3 à 22 (suivant techno)

Solaire (photovoltaïque) = 50 à 150 (selon le lieu de fabrication)

Gaz = 400

Petrole = 850

Charbon = 750 à 1100 (suivant techno)

Biomasse = 0 à 1500 (si replantation ou pas)

Plus un combustible contient d'hydrogène, moins il rejette de gaz carbonique.

Voiture = 100 à 200g/km

FIN LECON 1

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

LECON 10 :Géothermie/Hydrolique/Biomasse

Surface nécessaire pour produire 10 TWh d'électricité à partir d'énergie renouvelable

(= production annuelle d'un réacteur thermique moderne)

Centrale thermique classique et nucléaire = 1-10 km²

Solaire = 100km²

Eolien = 500 km²

Solaire photovoltaïque = 5000 km²

Biodiesel(tournesol ou colza) = 30 000 km²

Géothermie(pompe à chaleur) = 50 000 km²

Géothermie 'géologie' = très faible surface

Hydrolique = faible surface

Ces énergies sont diluées mais ne dégage presque pas de CO₂

L'énergie éolienne:

Lancé après le premier choc pétrolier de 1973

+/- 1 à 2 % de l'électricité mondiale (2 % en Belgique => +/- 500 éoliennes)

L'europe est la pionnière (5% en 2010 ?10% en 2012) => Surtout ALLEMAGNE

L'énergie solaire:

L'énergie de la lumière éclairant un carré de 25 km²/an => Energie consommée en france pendant 1 an

(550 milliard de kWh)

Rendement 2010 = 10 à 20 %

Labo = 41 %

=> 4 % élec en 2020?

Part de production d'électricité en 2008:

Charbon 42,3%

Gaz Naturel 19,5%

Hydrolique 16,1%

Nucléaire 13,5%

Fioul 5,8%

Biomasse 1,1%

Eolien 1,1%

Géothermie 0,3%

Déchets urbains 0,2%

Solaire 0,06%

2008 :

Consommation énergie primaire = -1,-1%

Pétrole = -1,7%

Gaz = -2,1%

Charbon = stable

Nucléaire = -1,3%

Hydrolique = 1,5%

Attention(Haut taux de croissance car faible contribution au départ)

Eolien = +34%

Solaire = +47%

Ethanol = + 8,1%

2010:

Consommation énergie primaire = +5,6%

Charbon = +3,1%

Gaz naturel = +7,4%

Les ER ne décollent pas dans la prod d'élec

Hydraulique = 85% des ER

65 à 70% de la production mondiale d'électricité = Combustibles fossiles, 20% ER, ensuite

Nucléaire

La géothermie

2004 : Troisième position des énergies renouvelables

Chaleur interne de la terre = radioactivité

Les roches conduisent mal la chaleur

T° faible => Production de chaleur

T° Haute => Production électricité

Capacité électrique géothermale mondiale est de 10 GW

Il y a 10 > E Eolien => Mtn 10x moindre

5 pays plus de 15% => Costa Rica, El Salvador, Islande, Kenya, Philippines

4 Pays produisent 5 à 10 % => Nv zélande, Indonésie, Nicaragua, Guadeloupe

ENORME POTENTIEL => USA contient 125.000 X leurs consommation annuelle dans les roches chaudes.

Un seul forage à 3km = 5 millions \$

Taux de croissance le plus faible

Cette production de chaleur a pour origine la radioactivité naturelle dans le manteau

GRADIENT GEOTHERMIQUE = Augmentation T° en fonction de la profondeur

=> 3,3°/ 100m (ou 1 ° tout les 30-40 m)

Les ressources potentielles sont énormes (700 Gtep) mais flux trop faible pour être exploitable => Forage qui pompe l'eau chauffée en sous sol

Première production électrique géothermale en Italie 1904

Terre solide est une planète dynamique, produit chaleur et reçoit du soleil

Le flux géothermique varie de 20 à 100 mW/m²

Flux de chaleur dissipé à la surface de la terre :

Continents : 109, 3 * 10⁶ km² - 58,6 mW/m² - 8,8 * 10¹² W

Plates-formes continentales: 52,2 * 10⁶ km² - 54,4 mW/m² - 2,8 * 10¹² W

Océans: 308,652,2 * 10⁶ km² - 67 mW/m² - 30,42 * 10¹² W

Total : 42 * 10¹² W

Origine de cette chaleur ? Energie d'accrétion, énergie de différenciation, énergie radioactive.

Chaleur interne :

Radioactive = 38 TW

Différenciation+Mouvement+Accrétion = 7,3 TW

Total = 42,3 TW / Flux moyen = 70 mW/m²

Chaleur externe:

Soleil = 7*10⁵ TW

Flux moyen (après dissipation) = 1400 W/m² (85 à 290 au sol)

La source la plus importante est la désintégration radioactive

Element dont la désintégration génère une chaleur importante:

²³⁵U -> ²⁰⁷Pb - 5,69 * 10⁻⁴ J/Kg/°K - 0,7 Ga

²³⁸U -> ²⁰⁶Pb - 9,37 * 10⁻⁵ J/Kg/°K - 4,47 Ga

$^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb} - 2,69 * 10^{-5} \text{ J/Kg/}^{\circ}\text{K} - 14,0 \text{ Ga}$

$^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ar} - 2,79 * 10^{-5} \text{ J/Kg/}^{\circ}\text{K} - 1,35 \text{ Ga}$

Modes de transport de l'énergie thermique:

Transport conductif (i.e:La casserole chauffe , ce qui chauffe l'eau)

Transport convectif (i.e:La chaleur se déplace dans l'eau)

Transport par rayonnement

La chaleur s'écoule des parties les plus chaudes vers les parties les plus froides

Le flux de chaleur est la qtté de chaleur en J traversant une unité de surface par unité de temps ($\text{J}/(\text{s} * \text{m}^2) = \text{W}/\text{m}^2$)

Que se passera t'il quand la terre sera en état isotherme ?

Fin de la convection

=> Fin Volcanisme

=> Absence de scéisme

=> Fin mouvement des plaques

=> Plus de formation de montagne

=> Disparition progressive des reliefs

=> Champ géomagnétique presque totalement disparu

=> Rayonnement solaire beaucoup plus important à la surface terrestre

=> Vie sur terre modifié

Un flux géothermique provoque un échauffement de l'eau contenue dans les roches

Champ à basse T° ($T^{\circ} < 150^{\circ}\text{C}$ à 1000m)

Champ à haute T° ($T^{\circ} > 200^{\circ}\text{C}$ à 1000 m)

Exploration et forage:

Premier forage d'exploration de petit diamètre avec un camion entre 200 et 1500 m de profondeur

Puits de prod = profondeur jusqu'a 3/4 km => +1 Millions de \$

Production d'élec:

Vapeur naturelle alimente une turbine, vapeur condensée par évaporation dans une colonne de refroidissement et renvoyé par un puits d'injection.

2 puits : Production et injection

Différents types d'usines:

Vapeur sèche : Vapeur à la place de l'eau. Production électricité via une turbine., Les champs de vapeur sèche sont rares. Gisement 1 à 3 km

Vapeur flash: Réservoir à eau chaude. Champ les plus communs

Cycle binaire:Chaleur géothermale de l'eau chaude est utilisée pour faire travailler un autre fluide qui alimente la turbine.

Avantage:Les réservoirs peuvent travailler à plus basse T°

Avantage de l'énergie géothermale :

-Fournit une énergie propre et de sécurité, utilisant peu de surface

- Renouvelable
- Fournit une puissance continue et contrôlable
- N'utilise aucun hydrocarbure
- Contribue à la diversité des sources d'énergie
- Evite les importations et bénéficie aux économies locales
- Permet des installations modulaires dans des villages ou villes éloignées

Désavantages :

- Zones TRES chaudes rares
- Zones normales irrégulièrement distribuées
- Probabilité de ramener des éléments indésirables (i.e : CO₂)

=> Solutions globales et locales

Croissance exponentielle de 1980 à 1990 USA.

En 2005 25 pays on fournis 8912 MWe à 60 Mhab et 71 pays ony produit de la chaleur géothermale.

Seule géothermie HT utilisée pour produire de l'électricité, le reste sert à la production de chaleur. kWh reste cher.

Utilisation : Balnéaires(stations thermales), Agricultures(serres et réchauffement des sols), Aquaculture (poissons, crevettes, ...), Usage industriel et chauffage résidentiel.

L'énergie géothermale permet chaque année de ne pas rejeter 22 M CO₂.

Géothermie de basse énergie (50-90 °C):

Si eau peu corrosive => Chauffage

Durée de vie de 30 ans

Réserve mondiale considérable

Géothermie de moyenne énergie (90-150 °C):

T° Trop faible pour produire électricité avec cycle ouvert => cycle fermé binaire avec échangeur de chaleur.

Durée de vie de 30 à 50 ans.

Tech maîtrisée depuis 1980 => FLuide passe dans un échangeur de chaleur qui actionne une turbine.

Géothermie de Haute énergie (> 150 °C)

Reserve > 1.000.000 MW

Prospection moins couteuse que prospection pétrolière.

L'émission de CO₂ dans l'atm est comprise entre 15 et 380 g/kWh (Uniquement haute énergie) alors que en. fossile => 1kg/kWh

Trois filières :

1. La filière électrique: La vapeur d'eau surchauffée pressurisée directement utilisée dans une turbine qui produit de l'énergie mécanique transformée ensuite en électricité.

2. La filière de production de chaleur : alimente des réseaux de chaleur pour le chauffage des locaux

3. La filière des pompes à chaleur géothermale: Utilise chaleur à basse t° (de 12 à 30 $^{\circ}\text{C}$) =>
Chaleur du soleil stocké dans les premiers mètres du sol

EN CONCLUSION :

Pour :

- Sa concentration : Forte production sur petite surface au sol.
- Le secteur progresse mais largement dépassé par d'autres ER.

Contre :

- Entraîne la remontée de polluant qui pourrait polluer lac et rivière.

Pour ou contre:

Rejette CO_2 mais beaucoup moins que en fossile

HYDRAULIQUE :

1^{ere} énergie renouvelable 2004-2012

18% prod élec mondiale années 2000'

2008 : 13.000 grands barrages

L'énergie de l'eau est diluée => Concentration avec les barrages.

Capacité totales des barrages = 4 Tm^3

Amélioration du cycle naturel de 16 %

La gestion de l'eau est en équilibre lorsque les prélèvements sont < 20 % des apports moyens annuels.

En EUROPE : > 20% => Politique à court terme et dégradation en 2070 avec consommation > offre.
(Voir même avant car pollution)

Energie = mgh

Barrage :

Dénivelé des plus grands = 200 m => Débit faible suffisant

Des plus petits => (qq m) requiert grand débit.

Energie couteuse en investissement mais économique en fonctionnement.

Grande hydraulique très rentable.

=> Nécessite de gros prêts => Enferme les pays pauvres dans le cercle vicieux de la dette.

CONCLUSION :

Pour :

- Concentration
- Stockage facile (Pompage pendant heures creuses et turbinages heures de pointe.
- Pas d'utilisation hydraulique ... Mais construction ?

Contre:

- Impact environnemental sur les climats et écosystème locaux
- Déplacement des populations.
- Déforestation => Dégagement CH_4 et CO_2

Usines utilisant la puissance des marées.

LA BIOMASSE :

C'est l'énergie stockée dans la matière vivante comme la végétation.

Utilisation massive a conduit à une déforestation entre le 17 et 18e siècle chez nous.

A l'échelle de la culture => Rendement théorique max < 6 %

Pollution : bilan globale plus intéressant que énergie fossile.
C'est le bois qui domine

Valorisation énergétique de la biomasse :
produits humides (transfo biochimique) => lentes
produits sec (thermochimiques) => rapides

Pouvoir énergétique 1/3 pétrole.

1. Le bois:

1/2 utilisé à des fin énergétiques
1T = 0,25 TEP

2. biocarburant:

3x plus cher que ceux tirés du pétrole.

Pour 1T biocarburant remplaçant 1 T de pétrole il faut 1 ha.

Pose le problème des surfaces disponibles.

En 2030-2050 si tous véhicules économes, les biocarburant devrait suffire. Pour cela défiscaliser les biocarburant et subventionner les cultures énergétiques.

Effet positif sur la pollution.

On pourrait lutter contre l'effet de serre MAIS il faut replanter avant d'exploiter.

Dilemme : Biocarburant Vs Nourriture.

2008-2009:

Utilisation des microAlgues

Contiennet Beaucoup d'énergie, peuvent être cultivées en mer, biodégradables.

13 / 26

Accumulateur et piles.

H₂:

Element le plus abondant dans l'univers.

Densité d'énergie : 120 MJ/Kg (essence = 45 MJ/Kg)

Densité d'énergie volumique 1 l essence = 4,6l H₂ à 700 bars.

Non polluant mais explosif.

S'imposera quand il sera produit sans combustible fossile. (reformage produit du CO₂)

Trois grandes filière de production:

- oxydation de gaz ou produit d'origine fossile
- électrolyse de l'eau
- production directe à partir de biomasse ou par utilisation de bactérie

Quatres formes de stockage:

- transformation en produit hydrogénée (alcool)
- liquéfié (20°K) => Isolation thermique
- comprimé (700 bars) => Réservoir (naturel ou artificiel)
- Absorbé dans des matériaux comme les hydrures ou les nanotubes (prix élevé)

Utilisation optimisée

TRANSPORT - COMBUSTIBLES - POLLUTION:

Le carburant n'est pas tout, il faut aussi le produire et disposer des moteurs adéquats

Cela a aussi un coût.

ECONOMIE D'ENERGIE: NEGA-WAT

Isolation thermique, électronique intégrée, lampe à faible consommation, moteur plus efficace, ...

Intensité énergétique: La quantité d'énergie nécessaire pour constitué une unité de PIB.

France : Transport > Résidentiel > Agriculture > Autre industrie > sidérurgie.

Les économies technologiques (isolations, progrès des véhicules, ...) et comportementales ne vont pas toujours dans le même sens.

Technologique: Plus difficile mais irréversible.

Comportementales: Consommation à nouveau en hausse.

CONCLUSION : AUCUNE SOURCE D'ENERGIE N'EST PARFAITE !

-Faire des économies

En utilisant la technologie et l'éducation

-Trouver le meilleur panachage énergétique

Il dépend de chaque pays.

-Utiliser toutes les sources d'énergies

Ce sera nécessaire pour satisfaire les besoins (déclin du pétrole bon marché)

-La recherche est importante

Diminuer les coûts de l'énergie. Augmenter les rendements. Stocker l'énergie efficacement et à faible coût.

////////////////////////////////////

GAZ à Effet de serre :

CO ₂	> 100 ans	60 %
CH ₄	10 ans	25 %
O ₃	50 jours	20 %
N ₂ O	> 100 ans	5%

Plus grand réservoir de CO₂ : Océan 40.000 Gt (dégage 90 Gt/an et en absorbe 93)

Déchet végétaux et sol: 2200 Gt (Dégage 101 Gt/an et en absorbe 100)

Combustible fossile et production de ciment : dégage 7 Gt/an

+ 3 Gt par an dans l'atmosphère

Emission anthropique : 9 Gt/an

Si CO₂ x 2 => +5 °C

Si CO₂ / 2 => -5°C

=> Plus grand que différence GI-IgI

Si les émissions de CO₂ continue à augmenter de >1% chaque année, en 2054 x2 !

Sources de CO₂ anthropique :(1998)

Energie 43%

Transport 24%

Industrie 19 %

Autres 14 %

CH₄:

Bétail : 30 %

Rizière : 22 %

SLIDE 20

A REPRENDRE APRES

////////////////////////////////////

NUCLEAIRE:

GENERALITE:

Unités:

Joule (j)

kilowattheure (kWh) = 3,6 x 10⁶ J

tonne équivalent pétrole (tep) = 11 MWh

Kilocalorie (kCal) = 4,18 kJ = 1, Wh

Electron - volt (eV) = 1,6 x 10¹⁹ J

Quatres interaction fondamentales:

Forte : 1 à 10 MeV

- fusion, fission nucléaire

Electromagnétique 0,1 à 5 eV

- pile 1 à 3 v
- Rayonnement: 2 eV
- chimie: liaison des molécules
- Thermique: liaison des solides, chaleur spécifiques

Faible: 10^{-2} plus faible que force magnétique.

- Radioactivité.

Gravitationnelle 10^{-36} fois plus faible pour deux protons que la force de coulomb

Equivalence de différente énergie primaire:

1 tep = 1,7 tec = 3,3 t de bois = 0,5g de matière fissile

Consommation d'énergie de l'humanité = 10 Gtep

Energie renouvelable = Ressource inépuisable à notre échelle ou renouvelable dans un temps court.

Le nucléaire:

Noyau : Assemblage stable ou instable de nucléons

Nucléon: constituant d'un noyau (proton, neutron)

Elément: définition chimique : Caractérisé par son nombre atomique (nombre de protons du noyau ou d'électron de l'atome.)

Nombre de masse A: somme des nombres de protons et neutrons dans un noyau

Radioactivité:

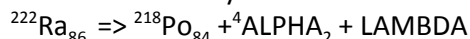
Modification spontanée de la structure interne de certain noyaux pour atteindre un niveau d'énergie interne plus faible.

Cette transformation s'accompagne de l'émission de particules et/ou de rayon électromagnétique GAMMA.

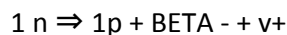
Cette désintégration est purement aléatoire. On ne peut donner qu'une proba de désintégration par unité de seconde. $\Lambda = S^{-1}$

3 types principaux:

ALPHA : émission d'un noyau d' ^4He .



BETA : - ou + émission de e^- ou e^+



Λ : émission de rayonnement électromagnétique.

$N(t)$ = Qtité d'un isotope radioactif au temps t.

$N(t)$ diminue de $-\Lambda N(t)$

$T_{1/2}$ = période ou demi-vie. = $\ln(2)/\Lambda$

FUSION NUCLEAIRE:

Watt = 1 J/s

$$dE = dM c^2$$

si $dm < 0$ système fournit de l'énergie

si $dm > 0$, système absorbe de l'énergie

$$c = 3 * 10^8 \text{ km/s}$$

défaut de masse:

Pour $^4\text{He}_2$:

$$M_{\text{noyau}} = 6,6647 * 10^{-27} \text{ kg}$$

$$M_{\text{consti}} = 6,6952 * 10^{-27} \text{ kg}$$

$$dM = M_{\text{consti}} - M_{\text{noyau}} = 0,0305 * 10^{-27} \text{ kg}$$

$$dM = M_{\text{Noyau}} - Z M_p - N M_n$$

$$E_b = dM * c^2$$

énergie de liaison : $dM c^2$

$$\text{fusion} = 3,38 * 10^{14} \text{ J/Kg}$$

$$\text{fission} = 8,8 * 10^{13} \text{ J/Kg}$$

Fusion:

Réaction la plus favorable : fusion des deux isotopes lourds de l'hydrogène.

Problème: Rapprocher deux noyaux chargés positivement => Très haute T°

Réaction en 3 étapes: (dans soleil)

-Fusion de deux ^1H qui donne un ^2H

-Fusion d'un ^1H avec un ^2H qui donne un ^3H

- Fusion de deux ^3H qui donne un ^4He en rejetant deux ^1H

Sur terre: Réaction $d+t$ ($^2\text{H} + ^3\text{H}$) plus favorable (plus probable)

Il faut: - haute température ($10^8 \text{ }^\circ\text{K}$)

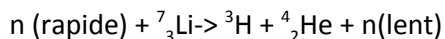
-haute pression: distance entre les H de $\sim 10^{-15} \text{ m}$

Deutérium très abondant (dans l'eau 1 molécule/5000)

Durée de vie du tritium : 10 ans -> Pas disponible naturellement sur terre.

=> Mais peut être produit dans le réacteur grâce à une couverture de ^6Li qui entoure le plasma.

Ou :



Condition: Produire plus d'énergie que celle requise pour la création du plasma.

Critère de lawson : valeur minimale pour le produit: temps de confinement * densité du plasma

$$d+t \Rightarrow 10^{14} \text{ s/cm}^3$$

$$d+d \Rightarrow 10^{16} \text{ s/cm}^3$$

Couverture tritigène:

Triple fonction:

-Protéger les aimants et la chambre à vide contre les neutrons et les radiations GAMMA.

-Produire le tritium

-Convertir l'énergie du n et l'évacuer.

Un gaz hydrogène est chauffé pour former le plasma qui est confiné dans un champ magnétique toroïdal.

Pourquoi tore ? Car pas de perte aux extrémités.

Pour produire réaction, besoin d'un volume limité.

Le plus efficace : les lignes de champs hélicoïdales (moins de fuites)

ITER: but: fournir 10x l'énergie induite

6G€

1- injection des réactifs dans le plasma

2-Production de cendres (^4He) et d'énergie (particules chargées et neutrons)

3- récupération d'énergie dans première parois

4-Couverture: récup énergie

5-Production élec.

AVANTAGES :

- Combustible abondant et géographiquement répartis
- Si D-T (Li) 2000 ans; voir qq 10^6 ans avec Li dans l'eau
si D-D 10^9 ans
- Emballement impossible
- Pas de GES
- Pas de déchet radioactif direct.

INCONVENIENT:

irradiation n => choix des matériaux constitutif important car risque de radioactivité
défis techno.

duite de tritium

ITER: debut opération 2018

PROTO: prototype en 2050

FISSION :

Les réacteurs se différencient par:

- Le combustible: U naturel ou enrichi ? Pu ?
- Le modérateur: H_2O , D_2O ou C (graphite) ou neutron rapide
- Le fluide caloporteur: H_2O , D_2O sous pression ou bouillant
gaz carbonique
Na liquide

Autres composantes:

- Barres de contrôle absorbant des neutrons
- Le coeur est formé par le combustible et la structure nécessaire à le maintenir
- réflecteur (souvent le réfrigérant) pour optimiser la réaction entoure le coeur.
- Coeur et réflecteur plongé dans un conteneur en acier (cuve du réacteur) protégé des rayonnements par un bouclier.
- Instruments de mesure pour contrôler le fonctionnement

Exemple:

Réacteur à eau sous pression (REP) (le plus commun dans le monde occidental, aussi en URSS)

Combustible: Uranium enrichi à 3% ^{235}U

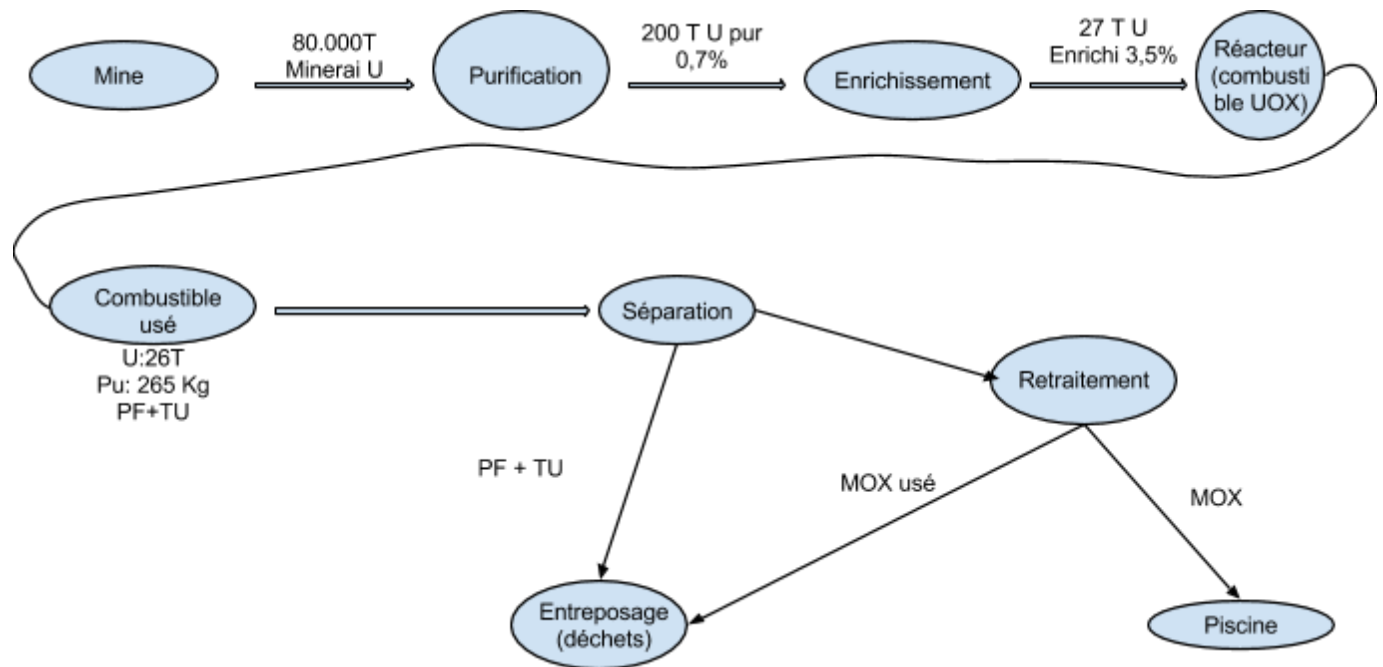
Principe d'un réacteur nucléaire:

Réacteur à eau sous pression

Eau sous pression circule dans la partie confinée pour éviter qu'elle ne bout ($T^\circ = 300^\circ\text{C}$)

L'eau chaude est pompée dans le générateur de vapeur où l'eau de refroidissement se vaporise et passe dans une turbine conventionnelle.

Cycle du combustible nucléaire pour un REP de 1000 MWe.



L'extraction:

Extraction en mine par des tech. traditionnelles

Réduction du volume par élimination des déchets

Traitement chimique de purification et conversion en U_3O_8 ("Yellow cake")

=> Première production de déchets (10 à 100 T pour 1 T de U selon la pureté du minerai)

Enrichissement de l'U:

-Transformation de l' U_3O_8 en UF_6 : Solide à température ambiante mais volatile à $t^\circ < \text{eau bouillante}$.

-Enrichissement effectué à un petit nombre d'endroit au monde (en principe)

-Déchets: principalement U appauvri en ^{235}U .

But: augmenter la proportion d' ^{235}U par rapport au ^{238}U . (0,7 à 3,5%)

Un des deux procédés actuels: diffusion gazeuse.

UF_6 forcé de diffuser sous pression à travers des parois poreuses.

La diffusion de l' ^{235}U légèrement plus rapide que ^{238}U .

1000 étapes nécessaires pour passer de 3 à 4 %.

UF_6 solide à T° ambiante. mais devient gazeux vers 60°C

Équipement lourd et consommant beaucoup d'énergie.

UF₆ corrosif => Pas de fuite.

difficulté: matériaux pour centrifugeuse (Ti ou acier spécial)

Perte d'1,1 T de noyaux lourds => Perte ²³⁵U.

Plus d'²³⁵U quand dans U naturel

L'aval du cycle:

-Retrait des combustibles usés => Refroidissement 5-6 ans dans piscine.

Ensuite: stockage à long terme ou retraitement

Les déchets:

3 catégories:

- Faiblement radioactifs: des gants en caoutchouc suffisent pour se protéger.

- Moyennement radioactifs: Objets industriels => Protection par écran

-Fortement radioactifs: Produits de fission ou actinides mineurs

Rejets par an et par habitant en Belgique:

Industriel=2,5t dont 100kg toxique

Ménagers=0,8 T

CO₂ = 6T

Nucléaire = 1kg dont 100g moy. et fort. radioactif

Quels choix pour déchets:

Actuellement: Stockage direct (USA,Suède) ou retraitement (France,Japon,Russie,...)

D'autres voies à l'étude:

-Transmutation ou incinération

-Réacteurs 4ème gen.

Stockage:

-Entreposage

-Stockage géologique (Solution la plus probable pour déchets très radioactifs)

Accident tchernobyl

- Mise à l'arrêt du réacteur 4 et décision de tester aptitude de fournir assez de puissance élec. en cas de non fonctionnement de la centrale élec principale et avant démarrage unité de secours.

-Pas d'échange d'info entre équipe test et équipe sécu.

- Réacteur mal conçu

- Niveau de culture de sécurité insuffisant.

=> Soudain et incontrôlable pic de puissance

Problème: médiocre usage de l'uranium car seul l' ^{235}U (0,7%) fissionne dans les REP.

Solutions:

- On exploite tout l'uranium:
 - RNR (réacteur à neutron rapide)
 - 100 x moins de déchets que dans les réacteurs actuels.
- On utilise du thorium:
 - Réacteurs sels fondus (neutrons lents)
 - 1000 x moins de déchets que actuellement

=> Reserve > 2000 ans.

Quelques éléments sur les dangers:

Plusieurs éléments à prendre en compte:

- Type de rayonn.
- intensité
- type de tissu irradié
- total des doses reçues
- normalité

Qq unités:

1 désintégration/s = 1 Bq

Dose absorbée par unité de masse : gray = Gy = 1J/Kg

Absorption radiation:

ALPHA: Papier

BETA: Plastic

GAMA et rayonX: Plomb

Neutron: Béton

Facteurs de pondération radiologique:

- Photons : $Q=1$
- Electrons et muons : $Q = 1$
- Neutrons:
 - Energie < 10 KeV ou energie > 20MeV $Q = 5$
 - 10KeV < energie < 100 KeV ou 2 MeV < energie < 20MeV $Q = 10$
 - 100KeV < energie < 2MeV $Q = 20$
- Protons: $Q=5$
- Particule alpha et autres noyaux atomiques: $Q= 20$

Facteurs de pondérations (tissu):

- Gonades: $N=0,20$
- Estomac, Gros intestin, moelle osseuse, poumon: $N =0,12$
- Cerveau, oesophage, foie, muscles, pancréas, petit intestin, rate, rein, sein, thyroïde, utérus, vessie: $N=0,05$
- Peau, surface des os: $N= 0,01$

Effets des irradiations:

- doses les plus élevées : effets immédiats apparaissant après qq heures ou jours.
- Doses plus faibles: Effets aléatoires, proba uniquement déterminés par des études épidémiologiques à long termes
- Difficultés: pas de cancer spécifiques aux irradiations
- Comparaison nécessaire avec une population "saine"
- Impossibilité de mettre en évidence les effets des faibles doses.

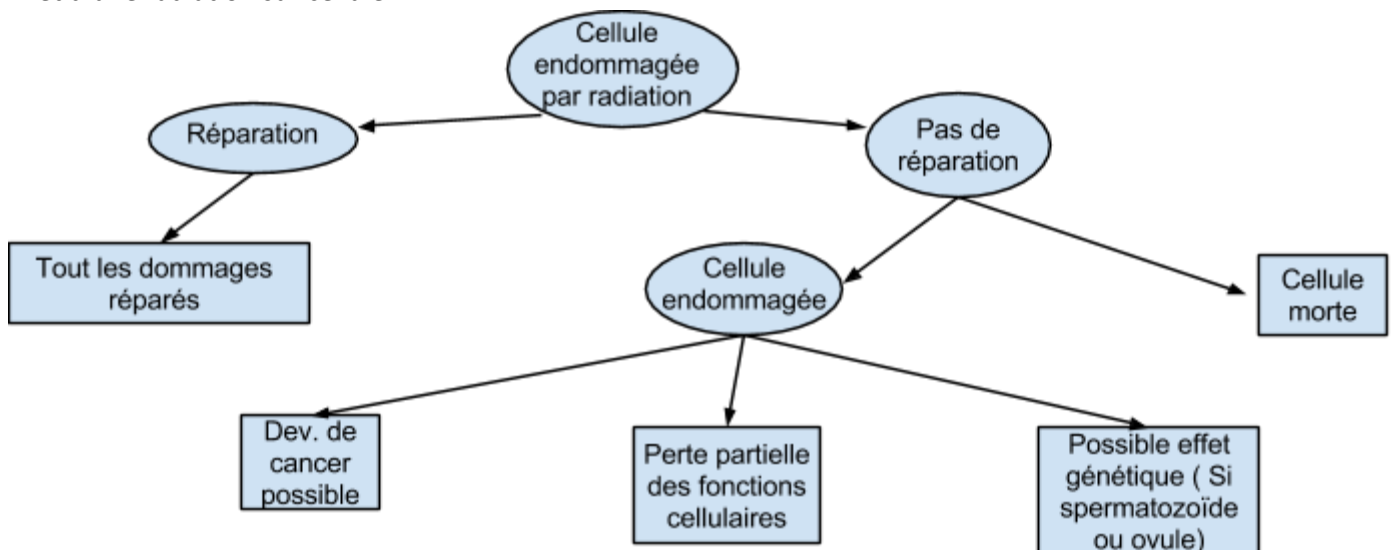
Danger d'une exposition(photon):

- < 200 mGy: Rien
- < 1500 mGy: lésions cutanées, rougeurs, jusqu'à la nécrose
- >1500 mGy:début syndrome irradiation aiguë: fatigue, anorexie, chute de numérotation sanguine
- >5000mGy:céphalée, diarrhées,(1/2 chance de survivre)
- > 8000mGy:fièvre, prostration, dose mortelle.

Principaux radioéléments toxiques:

- ¹³¹I: 8j de vie
 - Migre dans lait, légume vert
 - Cancer de la thyroïde
 - remède: saturer thyroïde en iode stable
- ¹²⁹I: durée de vie longue, pas de danger pour thyroïde mais déchet important.
- ¹³⁷Cs: 30 ans, transmis a l'homme par animaux et végétaux dans masse musc.
 - période bio:30j
- ⁹⁰Sr: 30 ans , transmis par voie animale et végétale (lait)
 - squelette et cancer des os
 - période bio:2500j
- ²²⁵Rn: Pas toxique directement mais par ses descendants
 - inhalation et cancer du poumons.
- ³H: 12 ans
 - Exposition interne par eau tritié
 - Elimination apres une dizaine de jours
 - Boire pour accélérer elimination.

Effet d'une radiation sur cellule:



Le nucléaire a de nombreuses autres application:

- Physique fondamentale
- Médecine
- Analyse des surfaces
- Tracage
- Datation
- Militaire...

REACTEUR DE FISSION:

Noyaux impairs moins liés que noyaux pairs

$$dE = E(A-1) - E(A)$$

Trois éléments naturels lourds seulement en qité importantes sur terre: ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U

Pourquoi ?

Tout les noyaux lourds sont instables

Ces éléments ont les plus grosses demi-vies parmi les noyaux lourds:

^{232}Th : 14 Gannée

^{238}U : 4,5 Gannée

^{235}U : 700 Mannée

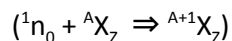
Composition actuelle de l'U ajd: $^{238}\text{U} = 99,3\%$ et $^{235}\text{U} = 0,7\%$

Définitions:

Noyaux fissiles: **Fissionne si ils absorbent un neutron de basse énergie**

Noyaux lourds impair(N) - pair(Z) (ex: $^{235}\text{U}_{92}$)

Noyaux fertiles: **qui après absorption d'un neutron(capture) et décroissance BETA fournissent un noyau fissile.**



Noyaux lourds pair(N) - pair(Z) (ex $^{238}\text{U}_{92}$)

Réaction de diffusion: Ralentissement du n

D'autant plus efficace si X est léger => Modération

Seul le ^{235}U NATUREL (!!!!!) est fissile.

^{232}Th et ^{238}U sont fertiles et produisent deux autres noyaux fissiles: ^{233}U et ^{239}Pu

Fission de l'U:

Un neutron est capturé par ^{235}U : Formation ^{236}U qui fissionne.

Les produits de la fission (PF) sont radioactifs émetteurs BETA et/ou GAMMA.

Absorption = capture ^{238}U

Réaction en chaîne: Après fission, ^{235}U libère 2 à 3 neutrons qui peuvent à leurs tours diviser d'autres noyaux.

Dans réacteur: contrôler de telle façon qu'un seul des 3 neutrons provoque une réaction.

=> Modérateur

Neutrons:

Energie cinétique	Classification
0,025 eV	thermiques
de 0,025 eV à 100 eV	lents
de 100 eV à 10 keV	intermédiaires

10 keV à 10 MeV	rapides
> 10 MeV	haute énergie

Choix: Garder les neutrons à l'énergie de fission (rapides) OU ralentir jusqu'à obtenir un neutron thermique.

Vie d'un neutron dans un réacteur:

- Neutron utile: capturé par ^{235}U et produit une fission.
- Neutrons inefficaces:
 - Capturé par ^{238}U
 - Capturé par les matériaux du réacteur.
 - sort de la zone de réaction.
 - Capturé par ^{235}U et ne produit pas de fission.

Bilan doit être : Un neutron produisant une fission résulte en un neutron en produisant une autre.

Multiplicité des neutrons de fissions:

neutrons sont:

- négligeable du point de vue énergétique
- essentiels pour l'organisation de la réaction en chaîne

ν' = Nombre moyen de n émis par fission

ν' = nombre moyen de n émis par n absorbé

Si $\nu' < \nu$ et $\nu' > 1 \Rightarrow$ Réac en chaîne possible

$k = \text{cst de multi} = \text{fissions}(t+1)/\text{fission}(t)$

Si $k < 1 \Rightarrow$ Système sous critique

si $k = 1 \Rightarrow$ Système critique

si $k > 1 \Rightarrow$ Système sur critique

4 facteurs : réacteurs infini

1 n_{th} provoque une fission qui produit η neutrons rapides

ces neutrons rapides provoque des fissions rapides (^{238}U) qui multiplie le nombre de neutron par ϵ

Avec la modération: p = proba de survie

f = proba d'absorb menant a fission.

$$k_{\text{infini}} = \eta \epsilon p f$$

réacteur réel $k_{\text{eff}} = 1$

modération:

Transparance: diffuser sans absorber

minimiser les captures sans fission dans combustible

Les choix:

D₂O: compromis transparence-efficacité;

H₂O: Le plus compact et bon caloporteur

C: ne peut être caloporteur

Stabilité et pilotage du réacteur

ρ = réactivité = $(k_{\text{eff}} - 1) / k_{\text{eff}}$

Stabilité: $\rho = 0$

Temps entre deux générations de fission = de qq μ s à qq ms.

Qq neutrons retardé(0,65% pour ²³⁵U)

Le fonctionnement d'un réacteur n'atteint la criticité qu'avec l'aide des neutrons retardés.

ρ évolue lentement: 1%/mois

-> Usure du combustible et sa conversion en d'autres isotopes

-> Apparition de produit de fission et d'actinide non fissile qui absorbent les neutrons.

EOLIENNE:

Triplement de la puissance installée en 5 ans (2004-2009) => 158.000 MW en 2009

Allemagne et Espagne => +/- 20 % de la puissance UE chacun.

Deux principes:

-Eolienne synchrone et asynchrone

La physique de l'éolienne:

Puissance = $\frac{1}{2} \rho A v^3$

Masse traversant l'éolienne prop à la vitesse du vent = $\rho A v$

=> Puissance prop à v^3

Loi d'Albert Betz => Limite théorique à 59 % de la limite max.

Ajd => 50% du max

Gains de 1% augm. de 10m de la hauteur

hélice de 60m avec vent de 10m/s => Puiss thé de 1MW

Limite mécanique de 2MW (atteint à 50 km/h => 13.9 m/s)

Protection anti orage => 0MW si > 90km/h => 25 m/s

Conception des éoliennes:

- En général tripales

- axe des pales incliné de 4 à 5° pour compenser gradient de vitesse du vent en fonction de l'altitude

-Régulation de puissance par calage variable

-Hauteur mat égal au diamètre des pales

- mat tubulaire(EU) où a treillis(USA)

-Utilisation de matériaux composite et d'élec de puissance.

Peu d'émission de CO₂

Intermittence

variabilité quotidienne

Remplacer 12 réacteur REP en France

=> 12 réac = 12 GWe

12.000 éolienne * 1 MWe = 12 GWe

LE SOLAIRE :

-Energie abondante et inépuisable

178 Millions de milliard de W arrive sur terre sur sa surface éclairée (350W/m² équateur)

-Utilisation la plus directe: Production domestique d'eau chaude et chauffage

-Production d'élec

rendement max = 15%

coût 5 à 10 x sup aux sources conventionnelles

surface nécess. pour produire l'élec d'une centrale de 1000 MWe: 50 à 100 km²

Coût énergétique: 7 ans

L'énergie solaire est compétitive dans les endroits isolés ou dans les pays à faible densité de population où il n'est pas rentable d'établir un réseau.

Si l'on mettait assez de panneaux solaires dans le Sahara pour donner de l'énergie au monde entier, l'aire couverte ferait la taille de l'Autriche.

Solaire photovoltaïque: deux modes

-Mode économie d'énergie, associé à du stockage

-Mode production d'énergie

Solaire thermodynamique:

tech à fluide caloporteur

=>N'exploite que le rayonnement solaire direct.

CONCLUSION:

- Les seuls systèmes énergétiques sans inconvénients sont ceux qui n'ont pas encore produit d'énergie.

-Les performances écologiques d'un système énergétique ne doivent pas relever de l'incantation, il faut les prouver. Ces performances sont rarement universelles.