



Lignes de transfert d 'Energie Electrique

Plan général du cours

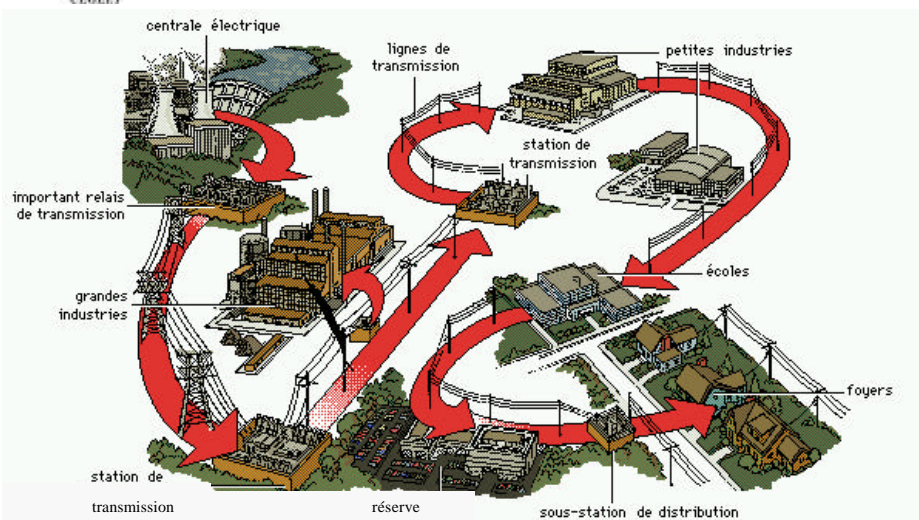
- Introduction
- Les sources d 'énergie
- Les vecteurs d 'énergie
- Les consommateurs
- Les systèmes de tension

Généralités - durée 1h30 - G. Clerc

1



Lignes de transfert d 'Energie Electrique



Source : Microsoft

Généralités - durée 1h30 - G. Clerc

2



Lignes de transfert d 'Energie Electrique

Source → Vecteur d 'énergie → Consommateur

Renouvelable
(limites exprimées en W)
ou
non renouvelables
(limites exprimées en J)

Le vecteur d 'énergie caractérise la forme sous laquelle est transportée ou stockée l 'énergie : solide, liquide, gazeux, électrique, mécanique, thermique, pneumatique

Généralités - durée 1h30 - G. Clerc

3



Lignes de transfert d 'Energie Electrique

Les sources d 'énergie

Les sources d 'énergie

- ↳ Source primaire d 'origine fossile : bois, charbon, pétrole, gaz naturel - *épuisable*
- ↳ Hydraulique, éolienne, solaire - *non épuisable*
- ↳ Marées : remplissage et vidange d 'un bassin avec la marée - *non épuisable*
- ↳ Géothermique - *non épuisable*
- ↳ Fission nucléaire - *épuisable* et bientôt fusion nucléaire ? - *non épuisable*

Une source d 'énergie est primaire est une forme d 'énergie soit directement captée soit apprêtée sans modifier sa nature fondamentale. L 'électricité n 'est pas une forme primaire !

Généralités - durée 1h30 - G. Clerc

4



Lignes de transfert d 'Energie Electrique

Combustibles	Réserves prouvées récupérables		Production 1990		Durée de vie statique ⁽¹⁾
	Gtep	%	Mtep	%	Années
Minéraux solides	584	65,4	2 781	33,4	210
dont : houille	474	53,1	2 406	28,9	197
autres	110	12,3	375	4,5	293
Gaz	108	12,1	1 902	22,8	57
Pétrole conventionnel	137	15,3	3 129	37,6	44
Schistes bitumineux ⁽²⁾	13	1,5	0	0	-
Bitume naturel ⁽²⁾	1	0,1	20	0,2	-
Uranium ⁽³⁾	50	5,6	498	6	100
Total	893	100	8 330	100	107

Réserves d'énergie non renouvelables dans le monde (fin 1990)

Définition : tep = tonne équivalent pétrole et tec = tonne équivalent charbon

Généralités - durée 1h30 - G. Clerc

5



Lignes de transfert d 'Energie Electrique

Réserves et production de combustibles solides⁽¹⁾ dans le monde

Zones géographiques	Réserves prouvées récupérables (fin 1993)		Production 1993		Durée de vie statique ⁽²⁾
	Gtep	%	Mtep	%	Années
Afrique et Proche-Orient	41,1	7,9	102,7	4,8	400
Amérique du Nord	122,1	23,5	550	25,8	222
Amérique latine	6,1	1,2	30,9	1,4	197
Europe OCDE	42,1	8,1	176	8,3	239
Europe hors OCDE	150,5	28,9	400,3	18,8	376
Asie et Océanie	158,3	30,4	873,2	40,9	181
Total monde	520,2	100	2 133,1	100	244

(1) Charbon, lignite et tourbe.

(2) Ratio réserves sur production 1993.

Source : CEA/DSE d'après BP Statistical Review, 1994

Généralités - durée 1h30 - G. Clerc

6



Lignes de transfert d 'Energie Electrique

Réerves et production de gaz dans le monde

Zones géographiques	Réerves prouvées récupérables (fin 1993)		Production 1993		Durée de vie statique ⁽¹⁾ Années
	Gtep	%	Mtep	%	
Afrique	8,7	6,8	69,1	3,7	126
Amérique du Nord	6,7	5,2	592,6	31,4	11
Amérique latine	6,8	5,3	91	4,8	75
Europe OCDE	4,8	3,8	189,3	10	25
Europe hors OCDE	51,4	40,2	665,5	35,2	77
Asie et Océanie	9	7,1	170,5	9	53
Proche-Orient	40,4	31,6	110,4	5,9	366
Total monde	127,8	100	1 888,4	100	68

(1) Ratio réserves sur production 1993.

Source : CEA/DSE d'après BP Statistical Review, 1994.

Généralités - durée 1h30 - G. Clerc

7



Lignes de transfert d 'Energie Electrique

Réerves et production de pétrole dans le monde

Zones géographiques	Réerves prouvées récupérables (fin 1993)		Production 1993		Durée de vie statique ⁽¹⁾ Années
	Gtep	%	Mtep	%	
Afrique	8,2	6	330,7	10,4	25
Amérique du Nord	4,9	3,6	504,1	15,9	10
Amérique latine	17,7	12,9	406,5	12,8	44
Europe OCDE	2,2	1,6	243,5	7,7	9
Europe hors OCDE	8,1	5,9	406,1	12,8	20
Asie et Océanie	6	4,4	329,3	10,4	18
Proche-Orient	89,6	65,5	944,7	29,9	95
(dont Arabie Saoudite)	(35,5)	(26)	(424,7)	(13,4)	(84)
OPEP ⁽²⁾	104,9	76,7	1 300,4	41,1	81
Total monde	136,7	100	3 164,8	100	43

(1) Ratio réserves sur production 1993.

(2) Organisation des pays exportateurs de pétrole.

Source : CEA/DSE d'après BP Statistical Review, 1994.

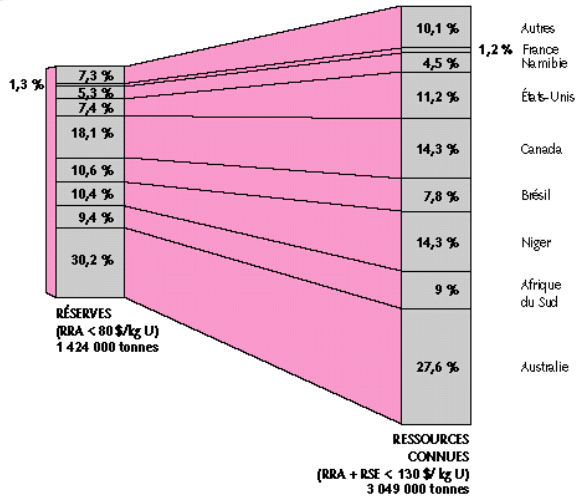
Généralités - durée 1h30 - G. Clerc

8



Ressources et réserves en uranium du monde (hors CEI) au 1er janvier 1993

Lignes de transfert d'Énergie Electrique



RRA : Ressources raisonnablement assurées.
 RSE : Ressources supplémentaires estimées.
 Source : CEA/DSE d'après le "Livre rouge" OCDE, 1993

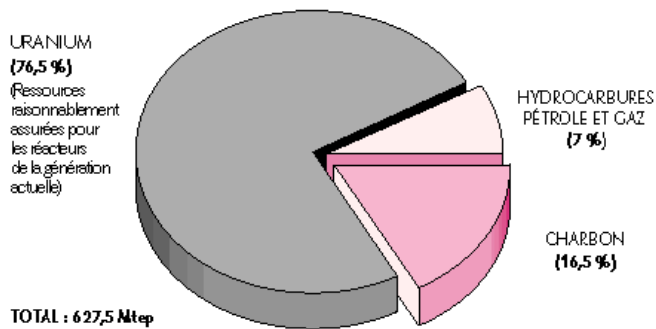
Généralités - durée 1h30 - G. Clerc

9



Lignes de transfert d'Énergie Electrique

Réserves françaises d'énergie au 1er janvier 1993



Généralités - durée 1h30 - G. Clerc

10



Lignes de transfert d 'Energie Electrique

Equivalence énergétique

PCS ou pouvoirs calorifiques supérieurs :

⇒ quantité d 'énergie thermique dégagée lorsqu'on brûle un kg de combustible en condensant les vapeurs d 'eau dégagée

PCI ou pouvoirs calorifiques inférieurs :

⇒ quantité d 'énergie thermique dégagée lorsqu'on brûle un kg de combustible sans condenser les vapeurs d 'eau dégagée

<i>Combustible</i>	<i>PCI</i>	<i>PCS</i>
Charbon	23 MJ/kg	34 MJ/kg
Gaz naturel	33 MJ/kg	47 MJ/kg
Pétrole	33 MJ/kg	47 MJ /kg
Hydraulique	9,8 kJ/m ³	
Uranium	0.6 TJ/kg	40 TJ/kg

Généralités - durée 1h30 - G. Clerc

11



Lignes de transfert d 'Energie Electrique

Les vecteurs d 'énergie

Vecteur d 'énergie solide : charbon, bois, combustibles artificiels .. /

Vecteur d 'énergie liquide : huiles lourdes ou légères, mazout, fuel, pétrole, essence ...

Vecteur d 'énergie gazeux : gaz naturel, hydrogène ...

Rayonnement : lumière, ultraviolet, infrarouge ...

Mécanique : arbre ou courroie de transition

Pneumatique : par compression ou décompression d 'un fluide gazeux

Thermique : par eau chaude ou surchauffée, par vapeur

Electrique ;; par l intermédiaire de lignes

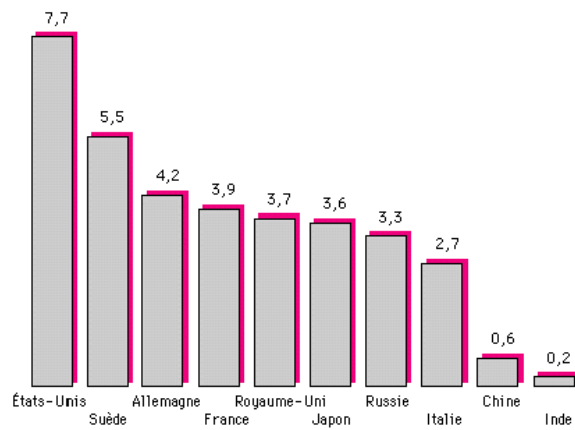
Généralités - durée 1h30 - G. Clerc

12



Lignes de transfert d 'Energie Electrique

Consommation d'énergie commerciale dans le monde en 1992 (en tep/habitant)



Généralités - durée 1h30 - G. Clerc

15

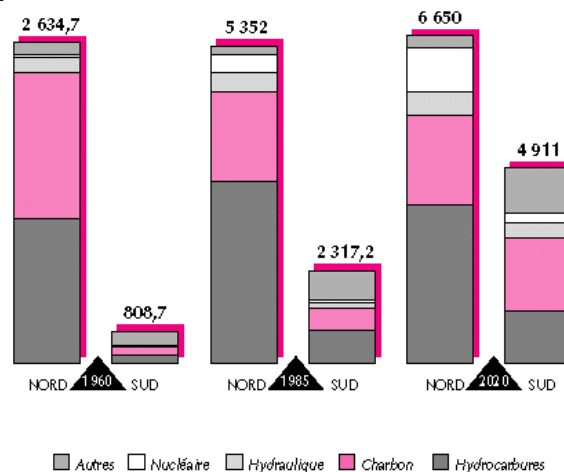


Lignes de transfert d 'Energie Electrique

Prévision Consommation mondiale d'énergie en 2020

Comparaison Nord Sud (en Mtep)

Source : CEA/DSE
d'après la Conférence
mondiale de l'énergie -
1989.



Généralités - durée 1h30 - G. Clerc

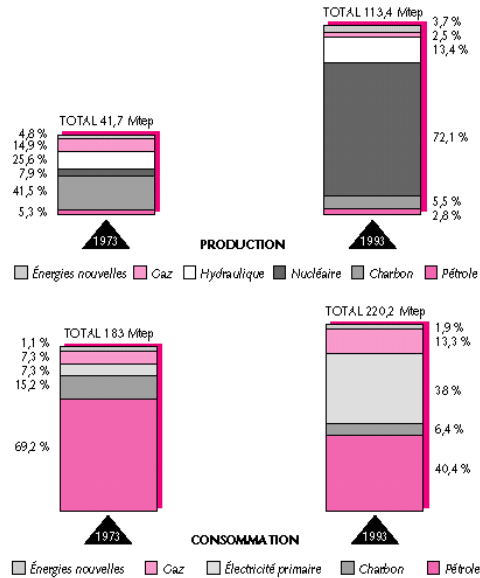
16



Lignes de transfert d 'Energie Electrique

Bilan Energétique Français

Source : CEA/DSE - Juin 1994.



Généralités - durée 1h30 - G. Clerc

17



Lignes de transfert d 'Energie Electrique

On appelle **énergies utiles** les dernières formes d 'énergie que prend l 'énergie domestiquée avant d 'être rendue à la nature sous forme de déchets.

- Energie thermique à 20°C : chauffage des locaux habités
- Energie thermique à 50°C : production d 'eau sanitaire
- Energie thermique de 100°C à 1000°C : procédés de fabrication (cuisson, fusion ...)
- Energie mécanique : la traction, la fabrication ...
- Energie pour les réactions chimiques endothermiques : fabrication aluminium, hydrogène ...
- Energie lumineuse

↳ Un bilan énergétique ordinaire fait intervenir le premier principe de la thermodynamique

La **puissance exergétique** utile est la puissance mécanique minimale théorique qui serait absorbée par une pompe à chaleur idéale pour fournir le flux de chaleur demandé à la température désirée compte tenu de la température extérieure à l 'instant considéré

↳ Bilan plus difficile à obtenir qui prend en compte la destination finale de l 'énergie et fait intervenir les deux principes de la thermodynamiques

Généralités - durée 1h30 - G. Clerc

18



Lignes de transfert d 'Energie Electrique

Variation de la demande avec le temps.

Les installations de production, transport, distribution doivent être dimensionnées pour la puissance de pointe P_p demandée quelques heures dans une période donnée de l 'année.

Durée fictive annuelle d 'utilisation de la puissance de pointe (en h/an)

$$D_{fu} = \frac{W_{an}}{P_p}$$

Durée fictive d 'utilisation de pointe (h/an)

Energie consommée en une année (kWh/an)

Puissance de pointe (kW)

Facteur de pointe

$$F_u = \frac{P_m}{P_p}$$

Facteur de pointe

Puissance moyenne annuelle

Puissance de de pointe

Généralités - durée 1h30 - G. Clerc

19



Lignes de transfert d 'Energie Electrique

Les systèmes de tension

Systeme	Avantages	Inconvénients
Tension continue	<ul style="list-style-type: none"> • Distribution avec un seul conducteur (retour par la terre) ou deux conducteurs • Souplesse de fonctionnement de machines à courant continu • Stockage énergie dans accumulateur • Meilleure utilisation des câbles • Transport de l'énergie à grande distance 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de transformateur • Les courants continus sont difficiles à couper • La circulation dans le sol provoque une corrosion galvanique des objets

Généralités - durée 1h30 - G. Clerc

20



Lignes de transfert d 'Energie Electrique

Système	Avantages	Inconvénients
Tension alternative monophasée	<ul style="list-style-type: none">• Distribution avec un seul conducteur (retour par la terre) ou deux conducteurs• Transformateurs peu coûteux• Coupure plus facile des courants alternatifs	<ul style="list-style-type: none">• Les actionneurs monophasés ont une forte ondulation de couple• Nécessité d'intercaler un redresseur pour utiliser les accumulateurs• Pas de champ tournant• Variation de vitesse difficile
Tension alternative triphasée	<ul style="list-style-type: none">• Création de champs tournants• Pas de composante alternative du couple dans les actionneurs• Actionneurs triphasés mieux dimensionné à couple égal• Transformateur triphasé avec nombreux couplages	<ul style="list-style-type: none">• 3 conducteurs ou 4 (avec neutre) ou 5 (avec terre)• Variation de vitesse plus compliquée• Interrupteurs tripolaires

Généralités - durée 1h30 - G. Clerc

21



Lignes de transfert d 'Energie Electrique

Fin du chapitre

Généralités - durée 1h30 - G. Clerc

22



Lignes de transfert d 'Energie Electrique

Premier principe de la thermodynamique

Dans un système fermé : $dU = dQ + dW$ avec Q chaleur, W travail et U énergie interne (accumulée dans la matière sous forme d 'énergie de vibration, calorifique, cinétique ...)

Définition de l 'entropie

$$\Delta S = \sum_{\text{Transformation}} \frac{Q}{T}$$

Deuxième principe de la thermodynamique

La variation d 'entropie constituée par le système et le milieu extérieur est positif ou nulle (dans le cas d 'un système réversible)