



Allée de von Karman derrière un cylindre-Image équipe ITD-IMFS

LICENCE LPAI L3S5 2001-2011
Mécanique des Fluides

CC1

Dany Huilier – 3 novembre 2010

Perte de charges régulières (linéaires) dans les conduites

Rappels théoriques

Equation de Darcy-Weisbach (1854,1845)

Loi générale de la perte de charge Δh , Δp est :

$$\Delta p = \rho_{eau} g \Delta h = \lambda \cdot \frac{\rho_f L U^2}{2 \cdot D}$$

$$\Delta h = \lambda \cdot \frac{L U^2}{D \cdot 2g} \text{ exprimé en mCE (mètre de Colonne d'Eau) si le fluide est de l'eau } (\rho_f = \rho_{eau})$$

$$\text{Sinon : } \Delta h = \lambda \cdot \frac{L U^2}{D \cdot 2g} \cdot \frac{\rho_f}{\rho_{eau}}$$

avec :

avec :

λ : coefficient de perte de charge

U : vitesse moyenne de débit (=Q/S)

Q : débit volumique

S : section de la conduite

D : diamètre de la conduite

L : longueur du tronçon de la conduite

λ est fonction du nombre de Reynolds et du coefficient de rugosité relative ε/D :

- pour $Re < 2400$, régime de Poiseuille : $\lambda = 64 \cdot Re^{-1}$

- pour $Re > 2400$, régime de Blasius (conduite lisse) : $\lambda = 0.3164 \cdot Re^{-1/4}$

Nombre de Reynolds $Re = U \cdot D / \nu$ avec ν : viscosité cinématique du fluide

Dans le système représenté dans la figure ci-dessous, la pompe BC doit amener de l'eau d'un réservoir A vers le réservoir D d'un chalet situé plus haut. On désire assurer un débit de 0,2 l/s de l'eau à une température de 5° Celsius du réservoir A au réservoir D. Le tronçon AB est réalisé en béton rugueux.; on est libre de choisir le matériau du tronçon CD (on opte pour du béton rugueux également par défaut).

Les calculs à effectuer doivent tenir compte des données du tableau 1 (rugosité moyenne de conduites commerciales), de l'évolution de la viscosité de l'eau en fonction de la température, du diagramme de Moody-Nikuradse et de la relation

$$\text{de Haaland (1983) } \frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log_{10} \left[\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} \right)^{1.11} \right]$$

Questions

- Calculer la perte de charge linéaire Δp du tronçon de conduite AB. Calculez la hauteur de colonne d'eau équivalente.
- Calculer la perte de charge linéaire Δp du tronçon de conduite CD. Calculez la hauteur de colonne d'eau équivalente.
- En considérant les pertes de charge singulières comme négligeables devant les pertes de charge linéaires, quelle est la hauteur manométrique totale que doit avoir la pompe pour faire fonctionner cette installation.
- Calculer la puissance minimale théorique à fournir par la pompe, sachant que son rendement est de 80 %.
- En admettant que cette pompe tourne toute l'année et que le tarif EDF est de 0,1 euros pour un kW.h, calculez le montant dépensé pour une année.
- Calculez le volume d'alimentation journalière et annuelle du chalet par la pompe. Cela vous semble-t-il cohérent sachant que la consommation moyenne des ménages français est de 150 litres par personne et par jour, soit $55 \text{ m}^3/\text{an}$ par personne.
- Considérez les résultats, commentez en fonction des hypothèses faites et analysez la pertinence de l'installation primaire d'alimentation en eau de ce chalet, et tâchez de proposer des alternatives.

Solution :**Calcul des pertes de charges linéaires****Tronçon AB (le diamètre est de 4 cm)**

La vitesse moyenne est donnée par $U = 4Q/\pi D^2 = 4 \times 0,20 \cdot 10^{-3}/(\pi \times 0,04^2) = 0,159 \text{ m/s}$. Le nombre de Reynolds $Re = \rho U D / \mu = 0,159 \times 0,04 / 1,52 \cdot 10^{-6} = 4184$ (régime turbulent)

Le coefficient de perte de charge en régime turbulent de Blasius serait de : $\lambda = 0,3164 \cdot Re^{-1/4}$

Soit : $\lambda = 0,3164 \cdot Re^{-1/4} = 0,3164 (4184)^{-1/4} = 0,039$

En tenant compte de la rugosité relative : $\varepsilon / D = 1,6 / 40 = 0,04$, le graphique de Moody-Nikuradse nous fournit un coefficient approximatif de :

$$\lambda = 0,07$$

L'équation de Haaland (1983) $\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log_{10} \left[\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{\varepsilon / D}{3,7} \right)^{1,11} \right] = 3,753$ nous donnerait :

$$\lambda = 0,071$$

La perte de charge linéaire dans AB sur un tronçon de 50 m est de :

$$\Delta p = \rho g \Delta h = \lambda \cdot \frac{\rho U^2 L}{2D} = 0,071 \times 1000 \times (0,159)^2 \times 50 / (2 \times 0,04) = \mathbf{1122 \text{ Pa}}$$
 ,

$$\text{soit } \Delta h = \frac{\Delta p}{\rho_f g} = \mathbf{0,114 \text{ mCE} = 114 \text{ mmCE}}$$

Tronçon CD (le diamètre est de 16 cm)

La vitesse moyenne est donnée par $U = 4Q/\pi D^2 = 4 \times 0,20 \cdot 10^{-3}/(\pi \times 0,16^2) = 0,01 \text{ m/s}$. Le nombre de Reynolds $Re = \rho U D / \mu = 0,01 \times 0,16 / 1,52 \cdot 10^{-6} = 1053$ (régime laminaire)

Le coefficient de perte de charge en régime laminaire est celui de Poiseuille : $\lambda = 64/Re$

$$\text{Soit : } \lambda = 64/\text{Re} = 0.0608$$

La rugosité n'intervient pas en écoulement laminaire :

$$\lambda = 0.0608$$

La perte de charge linéaire dans AB sur un tronçon de 100 m est de :

$$\Delta p = \rho g \Delta h = \lambda \cdot \frac{\rho U^2 L}{2D} = 0,0608 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times (0.01 \text{ m/s})^2 \times 100 \text{ m} / (2 \times 0,16 \text{ m}) = 1.9 \text{ Pa} ,$$

$$\text{soit } \Delta h = \frac{\Delta p}{\rho_f g} = 0.194 \text{ mmCE}$$

Hauteur totale :

Contribution des conduites rectilignes :

Sur le tronçon AB : $\Delta h = 114 \text{ mmCE}$

Sur le tronçon CD : $\Delta h = 0,194 \text{ mmCE}$

La perte de charge linéaire totale est de 114 mm CE

Comme la pompe doit amener l'huile de 15 m de haut à 60 m de haut (soit 45 m), la hauteur manométrique de la pompe doit être de :

$$H = 45 \text{ m} + \text{quelques millimètres} \sim 45 \text{ mCE}$$

Puissance théorique de la pompe, le rendement étant de :

$$P = \rho g H \cdot Q = \rho g H \cdot (\pi R^2) \cdot U = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 45 \text{ m} \times 0.0002 \text{ m}^3/\text{s} = 88,28 \text{ W}$$

Puissance minimale effective : 110 Watt (88,28/0,8)

Energie dépensée sur une année : $110 \times 3600 \times 24 \times 365 = 3469 \text{ MégaJoules} =$, soit 963,6 kw.h

Soit environ 100. Euros

Tarifs edf : 1 kW.h = 10 cts

Un appareil électrique d'une puissance d'un watt (1 W) utilise en un an 8,76 kW·h (1 watt \times 24 heures \times 365 jours = 8 760 W·h), soit $8,76 \times 3600 = 31536 \text{ kJoules}$.

Par exemple, un ordinateur allumé douze heures par jour coûte près de 100 euros par an en électricité (1,5 cts par heure, soit 150 Watts en moyenne, source <http://www.01net.com/article/238150.html>).

Le premier intéressé, EDF, estime à 12,74 euros par an le coût moyen en électricité d'un micro-ordinateur..

Une centrale nucléaire est constituée d'un ou plusieurs réacteurs nucléaires dont la puissance électrique varie de quelques mégawatts à plus de 1 500 mégawatts pour le réacteur soviétique de grande puissance RBMK. Selon les promoteurs du futur réacteur européen EPR, il devrait atteindre une puissance record de 1 600 mégawatts.

Maison individuelle : 60 euros/mois, + de 7000 kWh, sans chauffage (1800 euros :an en Alsace)

Alimentation du chalet sur une année : $A_1 = 0,2 \text{ l/s} \times 3600 \times 24 \times 365 = 6\,307\,200 \text{ l/an}$, $6307 \text{ m}^3/\text{an}$,
Soit $17,3 \text{ m}^3/\text{jour}$

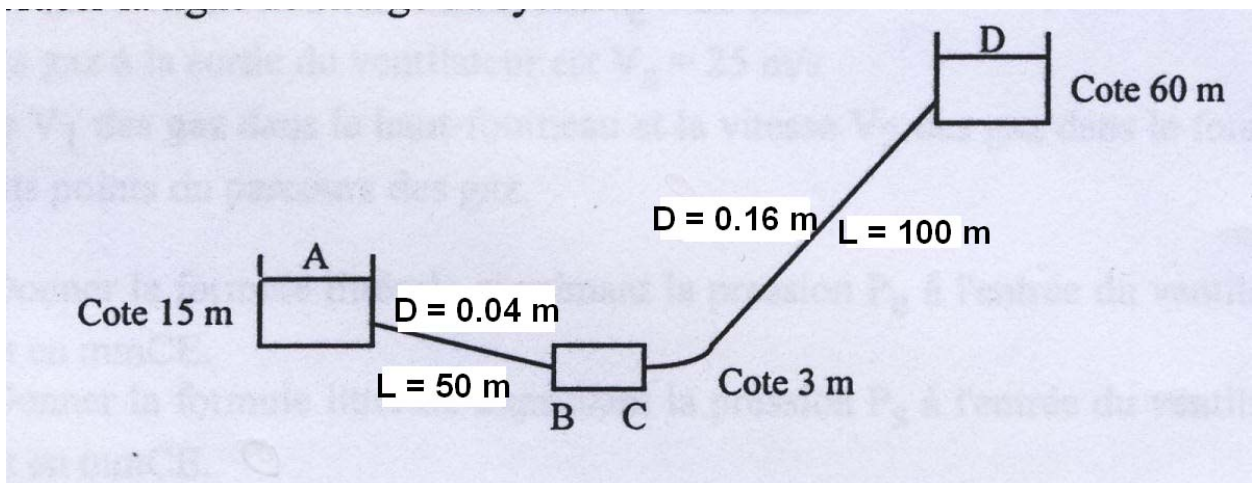
Cela suffit pour 100 personnes.

Économiser l'eau

- en prévoyant un système de récupération de l'eau de pluie,
- en envisageant un double réseau d'alimentation en eau (eau potable pour cuisine et salle de bains, eau de pluie pour toilettes, lave-linge et extérieur)

Consommation classique d'une habitation particulière : $150 \text{ à } 300 \text{ m}^3/\text{an}$ (150 litres par personne et par jour, soit $55 \text{ m}^3/\text{an}$ par personne)

Schéma de l'installation



Evolution de la viscosité de l'eau en fonction de la température
($\times 10^{-6}$ sur la figure, soit $\nu = 1,005 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ à 20°C)

Temp °C	Viscosité cinématique (x 10 ⁻⁶)
5	1,520
10	1,308
11	1,275
12	1,241
13	1,208
14	1,174
15	1,141
16	1,115
17	1,088
18	1,061
19	1,034
20	1,005
21	0,985
22	0,963
23	0,941
24	0,919
25	0,896
26	0,878
27	0,856
28	0,841
29	0,823
30	0,804
35	0,727
40	0,661
50	0,556
65	0,442

Variation de la viscosité cinématique de l'eau avec la température

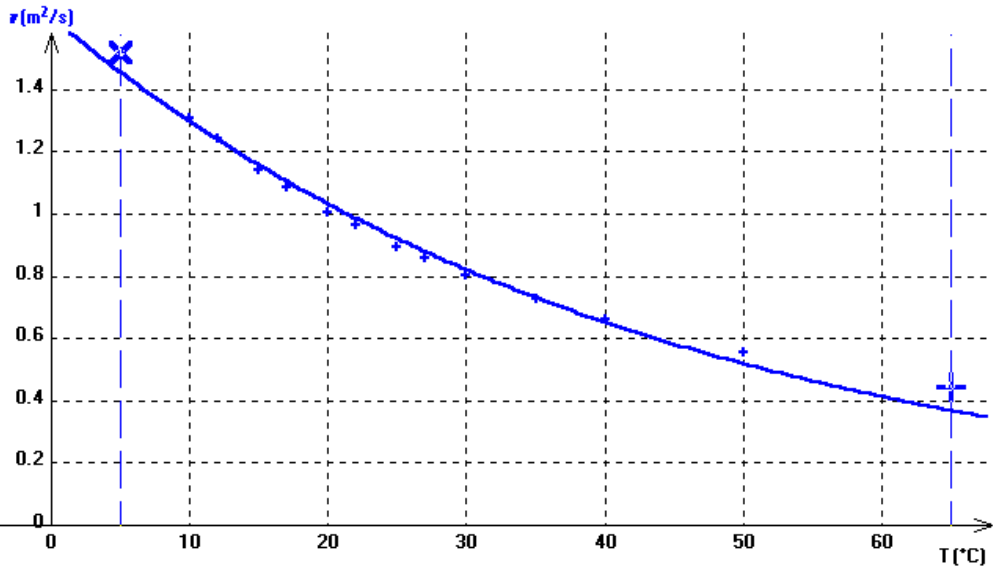


Tableau 1: Rugosité moyenne de conduites commerciales

Matériau	Condition	Rugosité absolue en mm
Acier	Feuille de métal neuve	0.05
	Acier inoxydable Commercial, neuf	0.002
	Rivé	0.046
	Rouillé	3.0
		2.0
Fer	Fonte, neuve	0.26
	Forgé, nouveau	0.046
	Galvanisé, nouveau	0.15
	Fonte asphaltée	0.12
Cuivre	Tube étiré	0.002
Plastique	Tube étiré	0.0015
Verre		Lisse
Béton	Lisse	0.04
	Rugueux	1.6
Caoutchouc	Lisse	0.01
Bois	Défoncé	0.5

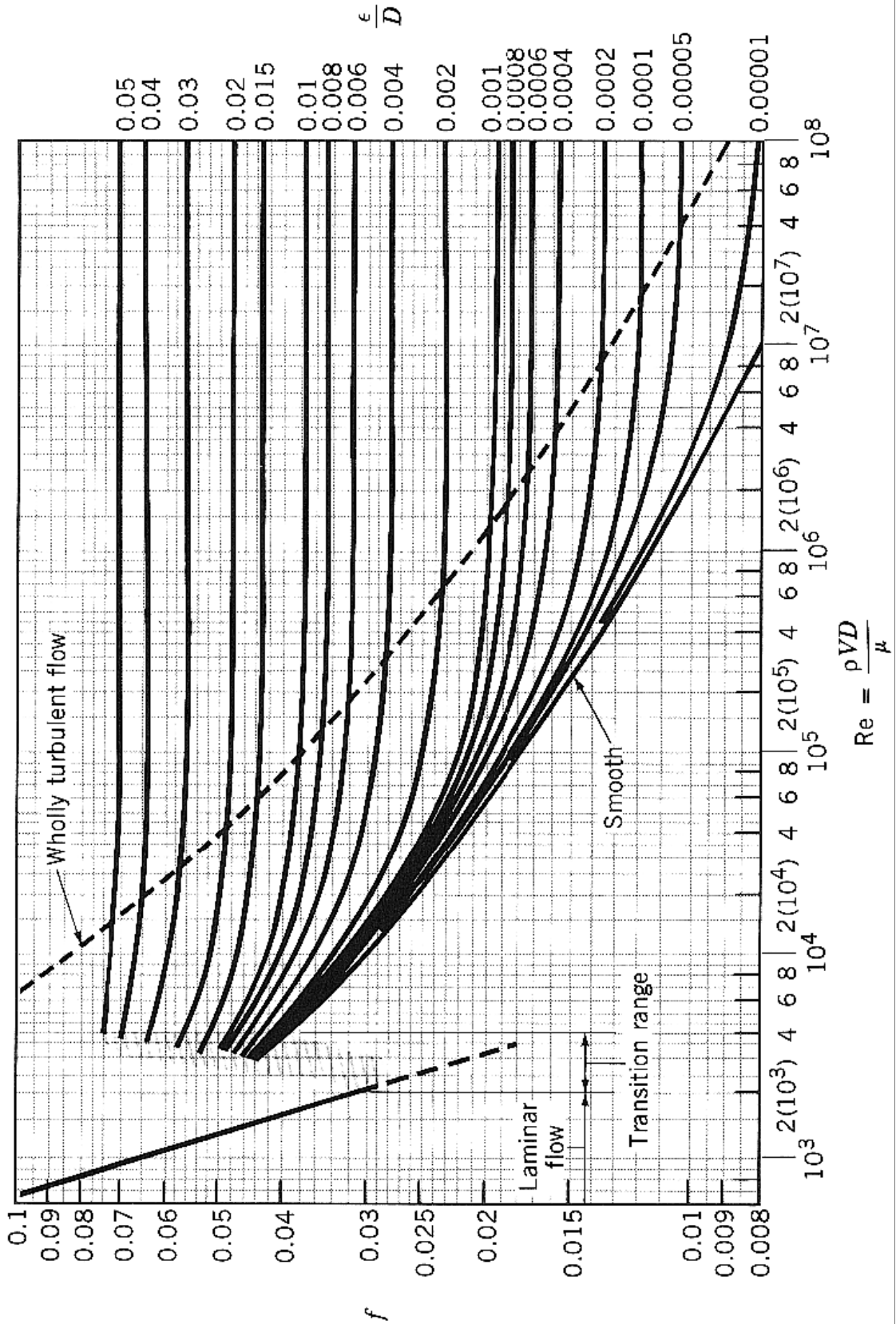


Diagramme de Moody - Nikuradse

Ordre de grandeur de puissances :

Milliwatt (10^{-3} watt)

- 5 mW - *Tech* : le laser dans un lecteur de [CD-ROM](#).
- 36 mW - *Tech* : Une [Diode électroluminescente](#) témoin, rouge standard (1,8V 20mA).
- 100 mW - *Tech* : le laser dans un graveur de [CD-R](#).

De l'ordre du [watt](#)

- 5 W - *Légal* : la puissance de sortie maximale d'un émetteur-récepteur [CB](#) ou d'un radio-transmetteur portable.
- 20-40 W - *BioMed* : la puissance consommée approximative du cerveau humain.
- 30-40 W - *Tech* : la puissance typique d'un [tube fluorescent](#).
- 60 W - *Tech* : la puissance typique d'une [lampe à incandescence](#) de type plafonnier.
- 82 W - *Tech* : la puissance de crête consommée d'un microprocesseur [Pentium 4](#).
- 100 W - *BioMed* : la puissance moyenne approximative utilisée par un corps humain.
- 120 W - *Tech* : la puissance de sortie d'un [panneau solaire](#) photovoltaïque d'un 1 m^2 en plein soleil.
- 253 W (2,215 [kWh/année](#)) - *Géo* : la puissance moyenne par habitant utilisée dans le monde en [2001](#).
- 290 W - *Unités* : approximativement 1 000 [BTU](#)/heure.
- 300 W - *Astro* : la quantité de rayonnement solaire tombant sur 1 m^2 de la surface de la Terre, en Europe, à midi solaire, en hiver et en l'absence de nuage.
- 300-400 W - *Tech* : la puissance typique d'un [PC](#).
- 400 W - *Tech* : la limite légale de la puissance de sortie d'une station [radioamateur](#) dans le [Royaume-Uni](#).
- 500 W - *BioMed* : la puissance de sortie d'une personne travaillant dur physiquement.
- 736 W - *Unités* : 1 [cheval-vapeur](#).
- 750 W - *Astro* : la quantité de rayonnement solaire tombant sur 1 m^2 de la surface de la Terre, en Europe, à midi solaire, en été et en l'absence de nuages.
- 900 W - *BioMed* : la puissance de sortie d'un humain en bonne santé (non-athlétique) moyenne sur les 6 premières secondes d'un sprint de 30 secondes².

A partir du kilowatt

Kilowatt (10^3 watt)

- 1,4 kW - *Astronomie* : puissance reçue au-dessus de l'atmosphère terrestre par un 1 m^2 de surface³.
- 1,5 kW - *Tech* : la limite légale de puissance de sortie d'une station de [radioamateur](#) aux [États-Unis](#).
- jusqu'à 2 kW - *BioMed* : puissance de sortie approximative sur un temps court des sprinters cyclistes professionnels.
- 1 kW à 2 kW - *Tech* : puissance d'une [bouilloire](#) électrique domestique.
- 3,3-6,6 kW - *Eco* : la puissance de sortie moyenne de la [photosynthèse](#) pour 1 km^2 d'[océan](#)⁴.
- 12 kW - La puissance du [flash d'un appareil photo amateur](#) (12 joules délivrés en 1 [Milliseconde](#))

- 30 kW - la puissance engendrée par les quatre moteurs du GEN H-4, un hélicoptère à un passager.
- 16-32 kW - *Eco* : la puissance de sortie moyenne de la [photosynthèse](#) pour 1 km² de terre⁴.
- 50 kW à 100 kW - *Tech* : l'ERP d'un canal clair [AM](#).
- 40 kW à 200 kW - *Tech* : intervalle de puissance de sortie approximative des automobiles.
- 167 kW - *Tech* : la consommation de puissance de l'ordinateur [UNIVAC I](#).
- 300 kW - *Tech* : puissance moyenne d'un camion type semi-remorque (410 cv).
- 500 kW - *Tech* : puissance nominale d'une [éolienne](#) avec un rotor de 40m de diamètre, et un vent de 43 km/h (12m/s).

Mégawatt (10⁶ watt)

- 0,7 MW - *Tech* : la puissance du moteur de la [Bugatti Veyron 16.4](#).
- 1,3 MW - *Tech* : la puissance du moteur du [Mustang P-51 Mustang](#), un avion de combat.
- 2,5 MW - *BioMed* : la puissance de sortie (en crête ?) d'une [baleine bleue](#).^[réf. souhaitée]
- 3 MW - *Tech* : puissance de sortie mécanique d'une [locomotive](#) diesel.
- 9,1 MW - *Tech* : puissance de sortie mécanique d'un [TGV duplex](#) alimenté en 25 kV alternatif.
- 10 MW - *Tech* : Puissance électrique de la première [Centrale solaire thermodynamique](#) (Solar One) aux Etats Unis.
- 10,3 MW - *Géo* : la puissance électrique du [Togo](#).
- 117 MW - *Tech* : puissance totale (propulsion et besoins divers) du paquebot [Queen Mary 2](#) (lancé en 2004)
- 240 MW - *Tech* : puissance de l'[usine marémotrice de la Rance](#).
- 900 MW - *Tech* : la puissance électrique d'un réacteur nucléaire [CANDU](#).

La capacité productive des générateurs électriques commandés par les entreprises de service public est souvent mesurée en MW. Environ 10 000 ampoules de 100 watts ou 5000 systèmes informatiques seraient nécessaires pour représenter 1 mégawatt. Ainsi, 1 MW est égal approximativement à 1360 chevaux-vapeur. Les locomotives à haute puissance [diesel-électrique](#) ont typiquement une puissance de sortie de 3–5 MW, une [centrale nucléaire](#) moderne a une puissance électrique de l'ordre de 500–1650 MW.

Gigawatt (10⁹ watt)

- 1 GW - *Tech* : la puissance électrique d'un réacteur nucléaire d'une tranche de centrale nucléaire moderne.
- 1,3 GW - *Tech* : la puissance électrique de sortie de la station hydroélectrique [Manitoba Hydro Limestone](#).
- 2,074 GW - *Tech* : la puissance générée par le [barrage Hoover](#).
- 2,1 GW - *Tech* : la puissance générée par le [barrage d'Assouan](#).
- 2.21 GW - *Film*: la puissance nécessaire pour un voyage temporel dans [Retour vers le futur](#) ("Gigo Watt" en VF) (1.21 GW en VO).
- 3 GW - *Tech* : la puissance thermique générée approximative du plus grand [réacteur nucléaire](#) du monde.
- 12,6 GW - *Tech* : la puissance électrique générée par le [barrage d'Itaipu](#) au [Brésil/Paraguay](#).
- 12,7 GW - *Géo* : la puissance moyenne électrique consommée de la [Norvège](#) en [1998](#).
- 18,2 GW - *Tech* : la puissance électrique générée du [barrage des Trois Gorges](#) en [Chine](#).

- 34,1 GW - - *Tech* : la puissance électrique générée par l'ensemble des 59 barrages hydroélectriques d'[Hydro-Québec](#)

Térawatt (10^{12} watt)

- 1,7 TW - *Géo* : la puissance moyenne électrique consommée du monde en [2001](#).
- 3,327 TW - *Géo* : la puissance moyenne totale consommée (gaz, électricité, fioul, bois, etc.) des [États-Unis](#) en [2001](#).
- 13,5 TW - *Géo* : la puissance moyenne totale consommée par l'ensemble des activités humaines en [2001](#).
- 44 TW - *Géo* : flux de chaleur total moyen de l'intérieur de la Terre^s.
- 75 TW - *Eco* : basé sur la [production primaire nette](#) (= production de [biomasse](#)) via la [photosynthèse](#).
- 50 à 200 TW - *Climat* : taux de dégagement d'énergie calorifique d'un [cyclone tropical](#) (ouragan et typhon localement).

Pétawatt (10^{15} watt) [\[modifier\]](#)

- 1,25 PW - *Tech* : les pulsations [laser](#) les plus puissantes du monde (revendiqué le [23 mai 1996](#) par le [Laboratoire national de Lawrence Livermore](#)).
- 1,4 PW - *Géo* : le flux de chaleur estimé transporté par le [Gulf Stream](#).
- 4 PW - *Géo* : le flux de chaleur estimé transporté par l'[atmosphère](#) terrestre et les océans depuis l'équateur jusqu'aux pôles.
- 174,0 PW - *Astro* : la puissance totale reçue par la [Terre](#) du [Soleil](#).