

FORMATION SUR L'ÉLECTRICITÉ

Jonathan Drouin

Conseiller Accueil – Direction – Affaires régionales et collectivités

16 Mai 2023



PLAN GÉNÉRAL

Retour sur notions de base

- Fonctionnement de base d'une centrale
- L'électricité de la centrale à la maison

Électricité 101

- L'atome et la matière
- Le courant alternatif et le courant continu
- Les conducteurs et les isolants
- Les unités de mesure

Notions fondamentales

- Magnétisme et électromagnétisme
- Induction

PLAN GÉNÉRAL

La production d'électricité

- Le groupe turbine-alternateur
- La régulation fréquence-puissance
- L'équilibrage de la production et de la demande

Transport et distribution

- Fonctionnement d'un transformateur
- Le triphasé c'est quoi, avantage

Gestion des crues

- Centrale au fil de l'eau et centrale à réservoir
- Bassin de drainages et capacité de régulation
- Crues



Électricité 101

Le contexte









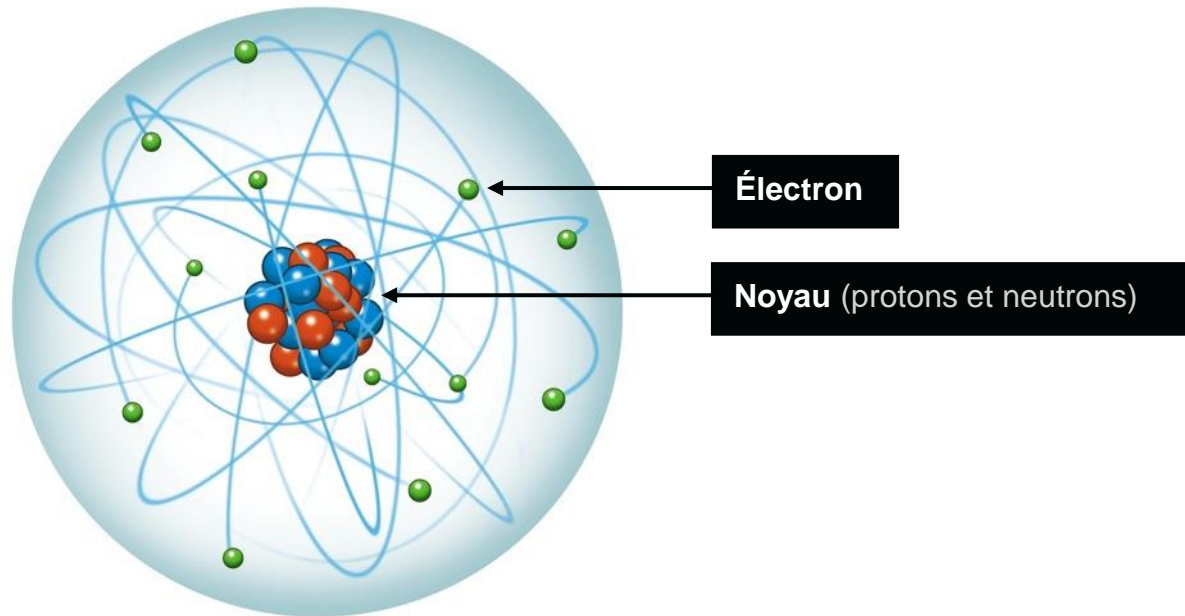
Notions de bases

Électricité 101

Atomes et molécules

La matière est composée de molécules dont les éléments de base sont les atomes.

- L'atome comprend lui-même trois particules élémentaires : les **protons**, les **neutrons** et les **électrons**.



Atomes et molécules

Le tableau périodique des éléments

1 IA	2 IIA	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIIIB	9 VIIIB	10 VIIIB	11 IB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA
1 H Hydrogène 1,01	2 He Hélium 4,00																
3 Li Lithium 6,94	4 Be Béryllium 9,01											5 B Bore 10,81	6 C Carbone 12,01	7 N Azote 14,01	8 O Oxygène 16,00	9 F Fluor 19,00	10 Ne Néon 20,18
11 Na Sodium 22,99	12 Mg Magnésium 24,31											13 Al Aluminium 26,98	14 Si Silicium 28,09	15 P Phosphore 30,97	16 S Soufre 32,07	17 Cl Chlore 35,45	18 Ar Argon 39,95
19 K Potassium 39,10	20 Ca Calcium 40,08	21 Sc Scandium 44,96	22 Ti Titane 47,90	23 V Vanadium 50,94	24 Cr Chrome 52,00	25 Mn Manganèse 54,94	26 Fe Fer 55,85	27 Co Cobalt 58,93	28 Ni Nickel 58,71	29 Cu Cuivre 63,55	30 Zn Zinc 65,39	31 Ga Gallium 69,72	32 Ge Germanium 72,59	33 As Arsenic 74,92	34 Se Sélénium 78,96	35 Br Brome 79,90	36 Kr Krypton 83,80
37 Rb Rubidium 85,47	38 Sr Strontium 87,62	39 Y Yttrium 88,91	40 Zr Zirconium 91,22	41 Nb Niobium 92,91	42 Mo Molybdène 95,94	43 Tc Technétium 98,91	44 Ru Ruthénium 101,07	45 Rh Rhodium 102,91	46 Pd Palladium 106,90	47 Ag Argent 107,87	48 Cd Cadmium 112,41	49 In Indium 114,82	50 Sn Étain 118,71	51 Sb Antimoine 121,76	52 Te Tellure 127,60	53 I Iode 126,90	54 Xe Xénon 131,30
55 Cs Césium 132,91	56 Ba Baryum 137,33	57 La Lanthane 138,91	72 Hf Hafnium 178,49	73 Ta Tantale 180,95	74 W Tungstène 183,85	75 Re Rhénium 186,21	76 Os Osmium 190,20	77 Ir Iridium 192,22	78 Pt Platine 195,09	79 Au Or 196,97	80 Hg Mercure 200,59	81 Tl Thallium 204,37	82 Pb Plomb 207,20	83 Bi Bismuth 208,98	84 Po Polonium (209)	85 At Astaté (210)	86 Rn Radon (222)
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 Ac Actinium (227)	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (268)	106 Sg Seaborgium (271)	107 Bh Bohrium (272)	108 Hs Hassium (277)	109 Mt Meitnerium (276)	110 Ds Darmstadtium (285)	111 Rg Roentgenium (280)	112 Cn Copernicium (285)	113 Nh Nihonium (284)	114 Fl Flerovium (289)	115 Mc Moscovium (288)	116 Lv Livermorium (293)	117 Ts Tennessé (294)	118 Og Oganesson (294)
			58 Ce Cérium 140,12	59 Pr Praséodyme 140,91	60 Nd Néodyme 144,24	61 Pm Prométhium (145)	62 Sm Samarium 150,36	63 Eu Europium 151,96	64 Gd Gadolinium 157,25	65 Tb Terbium 158,93	66 Dy Dysprosium 162,50	67 Ho Holmium 164,93	68 Er Erbium 167,26	69 Tm Thulium 168,93	70 Yb Ytterbium 173,05	71 Lu Lutécium 174,97	
			90 Th Thorium 232,04	91 Pa Protactinium 231,04	92 U Uranium 238,03	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Américium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkélium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendélévium (258)	102 No Nobélium (259)	103 Lr Lawrencium (262)	

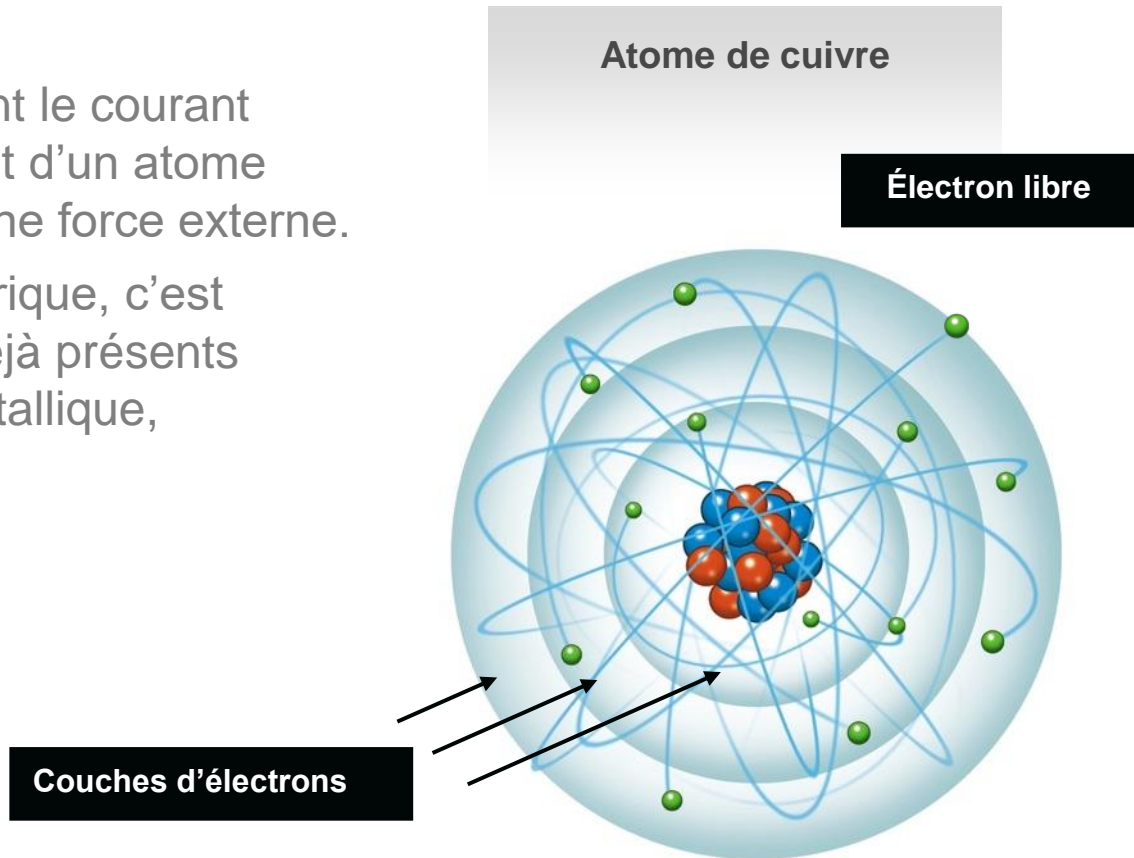
Li Métaux
 B Métalloïdes
 H Non-métaux
 Gazeux
 Liquide
 Solide
 Solide synthétique

alloprof

Électrons libres

Ils sont les plus éloignés du noyau.

- Ils peuvent plus facilement quitter leur orbite.
- Ce sont eux qui produisent le courant électrique en se déplaçant d'un atome à un autre sous l'effet d'une force externe.
- Produire un courant électrique, c'est déplacer des électrons déjà présents dans la matière (un fil métallique, par exemple).



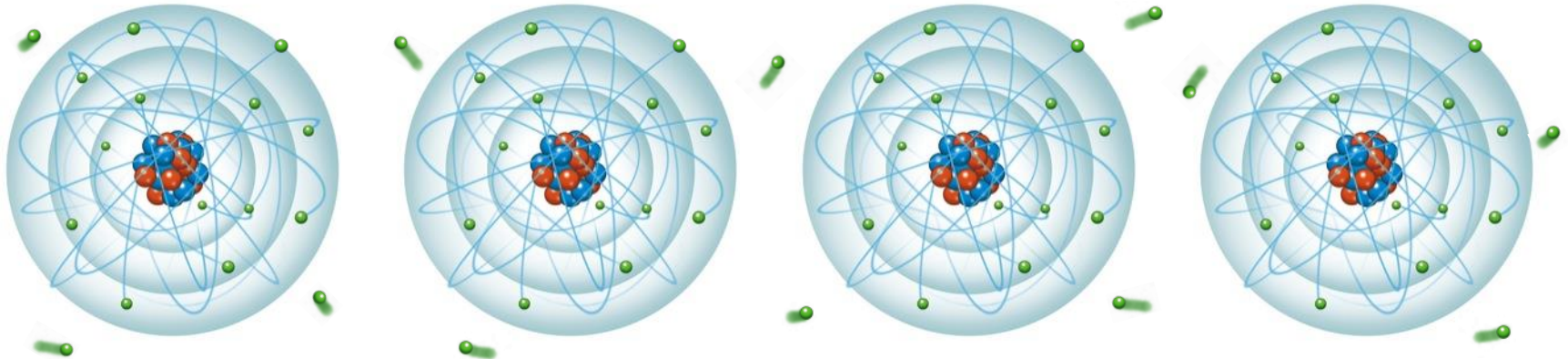
Le courant électrique

Le courant électrique correspond au déplacement d'électrons d'un atome à un autre.

- Le courant se mesure comme un débit d'électrons, soit la quantité d'électrons qui franchissent un point donné en un temps donné.
- Ce déplacement d'électrons commence dans l'alternateur d'une centrale d'Hydro-Québec et se propage par le réseau de lignes jusqu'à la maison.
- Le déplacement des électrons est occasionné par :
 - Différence de potentiel (déséquilibre des charges électriques)
 - Réaction chimique (pile)
 - Variation de champ magnétique (alternateur)



Les atomes et le courant électrique



1^{re} PARTIE : L'ÉLECTRICITÉ

Le courant alternatif et le courant continu



Le courant continu (CC)

En CC, les électrons circulent toujours dans le même sens, comme l'eau dans un tuyau d'arrosage.

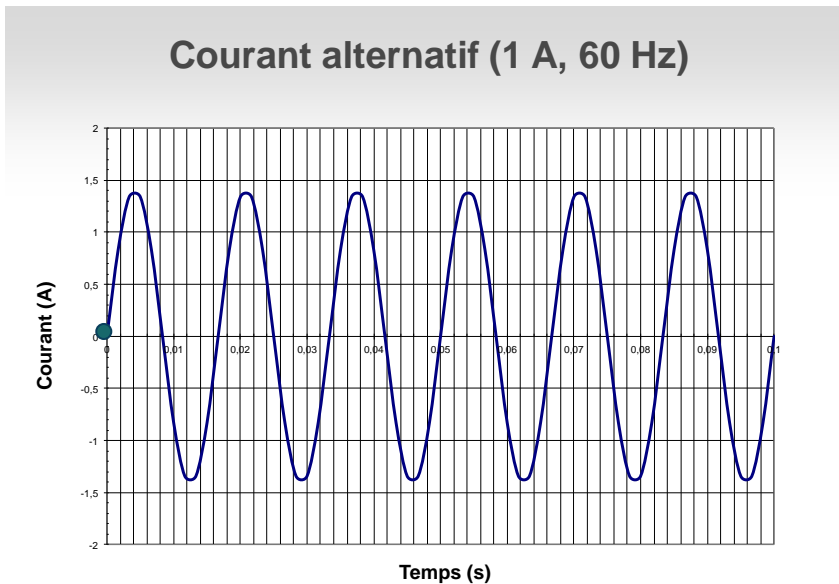
- Les sources de CC les plus familières sont les piles et les accumulateurs.
- On utilise le CC pour les lignes de transport sur de très longues distances, ainsi que pour le métro de Montréal.
- C'est grâce au courant continu qu'on peut synchroniser deux réseaux, et ainsi faire des exportations et des importations d'électricité.



Le courant alternatif (CA)

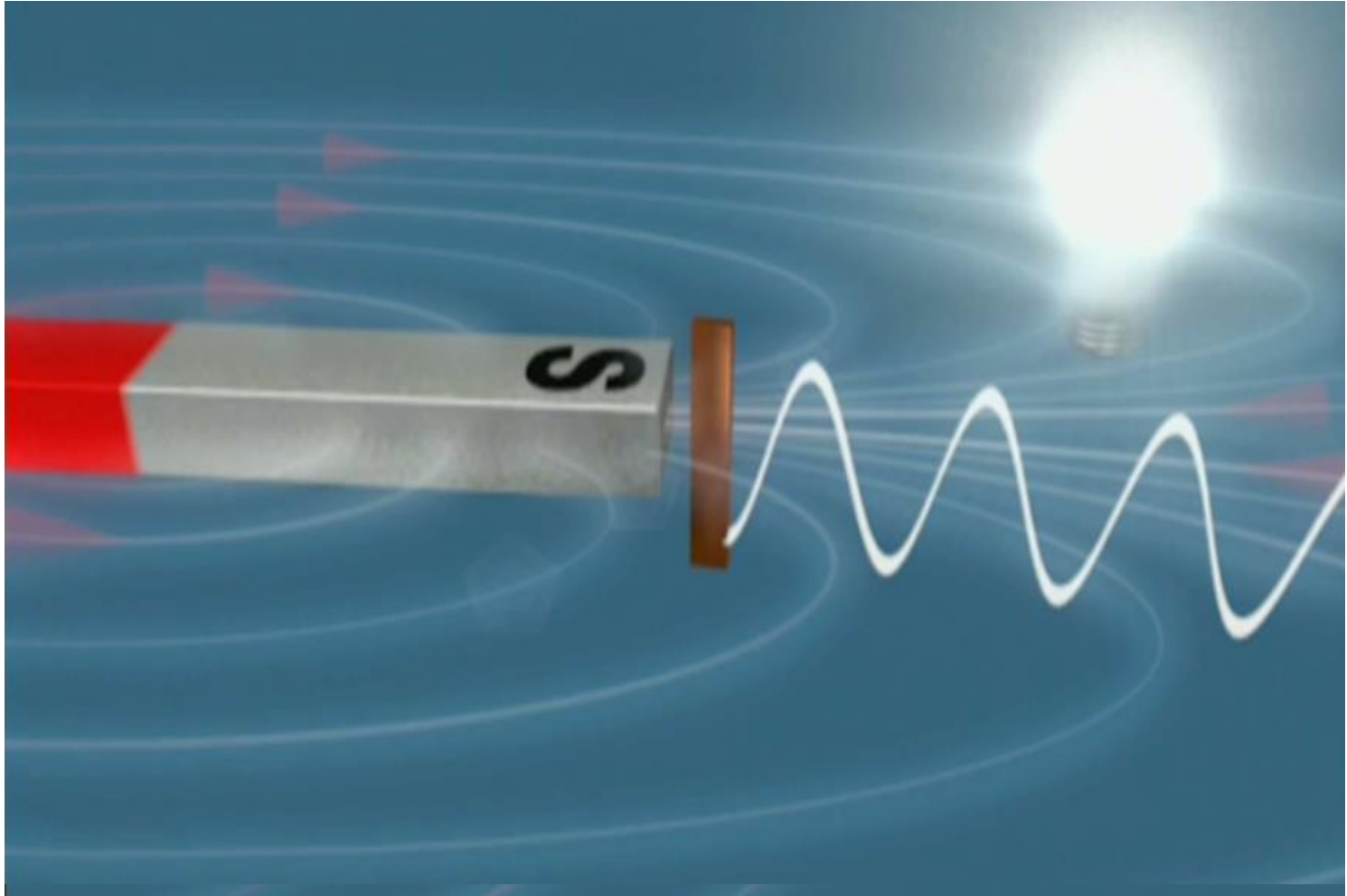
En CA, le sens de déplacement des électrons s'inverse à une cadence régulière.

- C'est en courant alternatif qu'Hydro-Québec produit, transporte et distribue l'électricité.



Le courant alternatif (CA)

Le CA est produit par le mouvement des électroaimants dans les alternateurs



Le courant alternatif (CA)

Quelques applications du courant alternatif :

- Transport et distribution de l'électricité
- Transformation de l'électricité (transformateurs, postes)
- Majorité des moteurs industriels
- Haut-parleurs – Transmission de signaux analogiques
- Télécommunications



1^{re} PARTIE : L'ÉLECTRICITÉ

Les conducteurs et les isolants

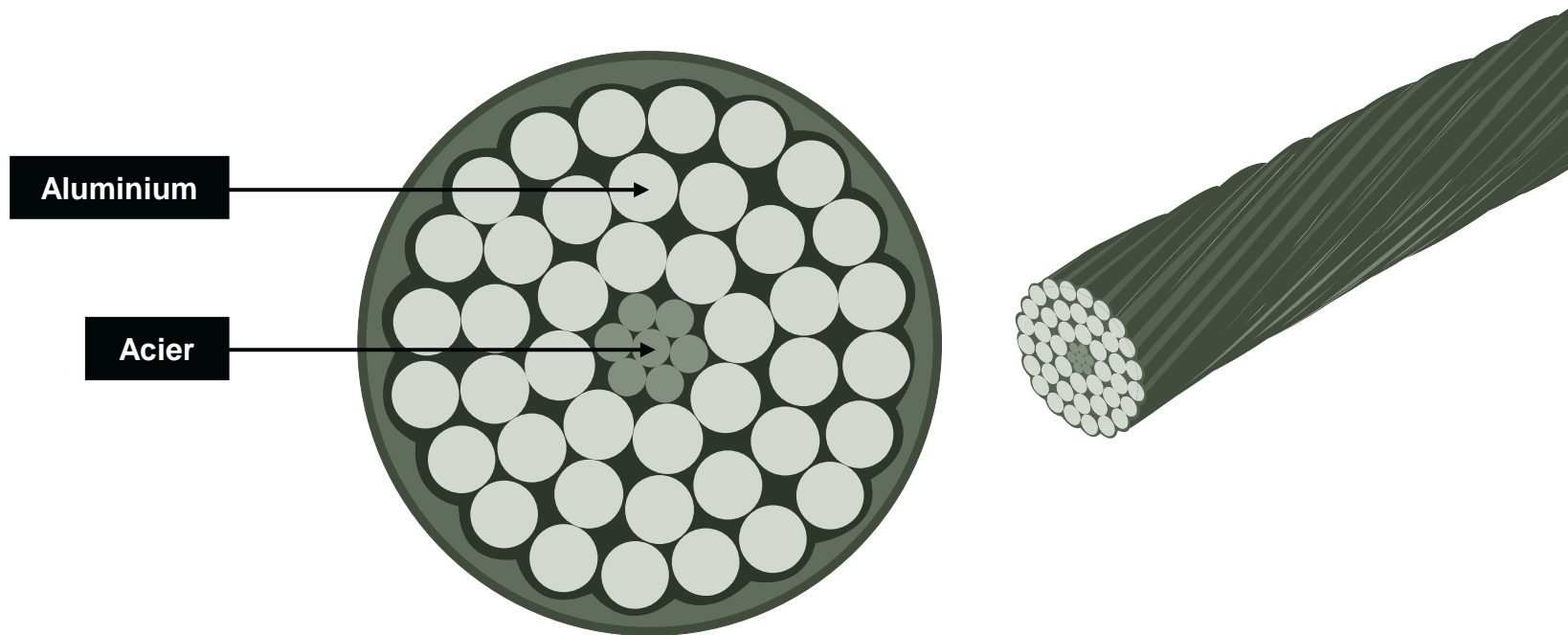
Matériaux conducteurs et isolants

Certains matériaux conduisent mieux l'électricité que d'autres.

- La conductibilité est fonction de la structure atomique du matériau.
- Podium des meilleurs conducteurs
 - Argent
 - Cuivre (Utilisé dans les centrales)
 - Or
 - Aluminium (Lignes de transmission)
- Les isolants sont formés de molécules dont les électrons sont stables.
 - Exemples : la porcelaine des isolateurs, l'huile, le verre et le plastique.

Les conducteurs

- Conducteurs en aluminium-acier pour les lignes de transport
- Conducteurs en cuivre dans les alternateurs et les mises à la terre



Matériaux conducteurs et isolants

Classification des matériaux :

Bon conducteurs	Conducteurs résistifs	Isolants
Aluminium	Carbone	Air sec
Argent	Eau salée	Amiante
Bronze	Fer	Caoutchouc
Carbone	Fonte	Coton
Cuivre	Manganine	Huile
Laiton	Molybdène	Mica
Mercure	Nichrome	Papier
Or	Tungstène	Plastique
Tungstène	Zinc	Porcelaine

A black and white portrait of a man with long, wavy hair, wearing a dark coat and a white cravat. The image is slightly blurred and has a vintage feel.

1^{re} PARTIE : L'ÉLECTRICITÉ

Les unités et les formules

Le système international (SI)

Préfixes

Kilo (k)	X	1 000
Méga (M)	X	1 000 000
Giga (G)	X	1 000 000 000
Téra (T)	X	1 000 000 000 000

Exemples d'équivalence

1000 MW = 1 000 000 kW

11,5 TWh = 11,5 milliards de kWh

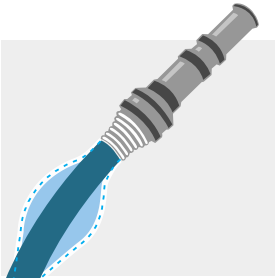
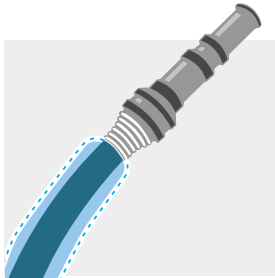
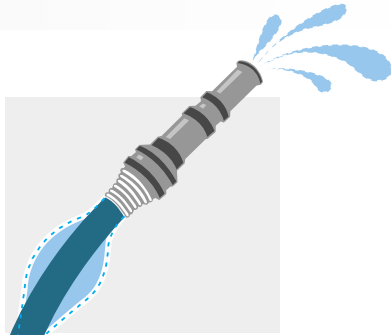
Le système international (SI)

Exemple

- Exemple : En considérant que la centrale Robert-Bourassa est à production nominale depuis sa mise en service en 1979, combien a-t-elle produit d'énergie jusqu'à aujourd'hui?
 - 37.2 TWh / année
 - 43 années de service
 - $37.2 \text{ TWh / années} \times 43 \text{ années} = 1\,600 \text{ TWh}$
 - Ou encore :
 - 1 600 000 000 000 000 wattheures
 - 1 600 000 000 000 kilowattheures
 - 1 600 000 000 mégawattheures
 - 1 600 000 gigawattheures
 - Ou encore:
 - 1 600 millions de mégawattheures

Pression, débit et puissance

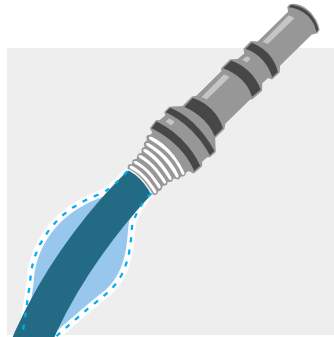
L'analogie avec le tuyau d'arrosage illustre les relations entre les différentes unités de mesure.

Eau	Pression	Débit	Pression x Débit
			
Électricité	Tension (V)	Courant (A)	Tension x Courant = Puissance (W)

La tension

Elle est mesurée en **volts (V)**.

- C'est la force qui provoque le déplacement des électrons présents dans les conducteurs.
- Dans l'exemple du tuyau d'arrosage, la tension correspond à la pression de l'eau.



La tension

3,7V



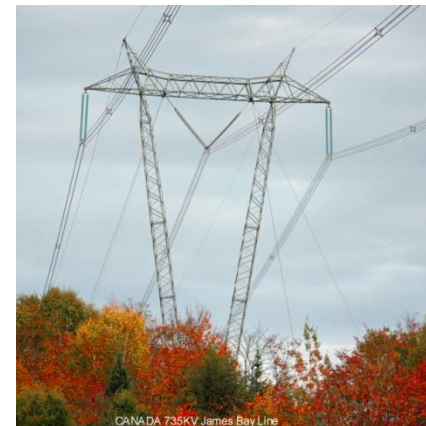
12V



120V



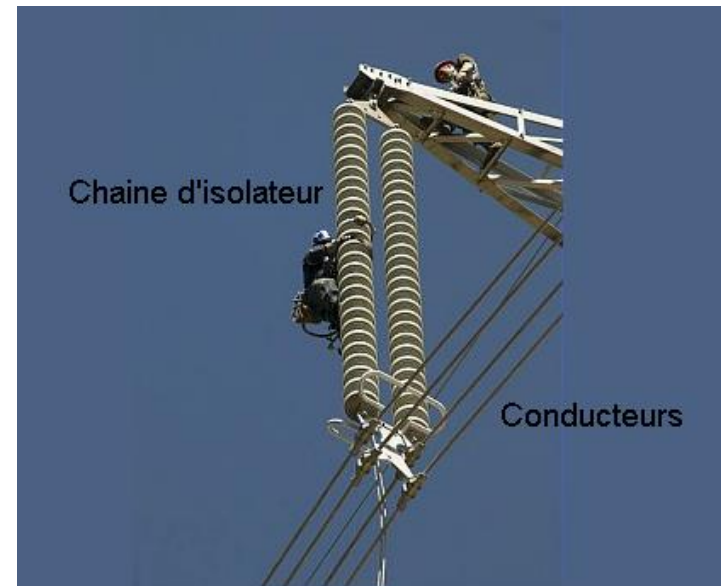
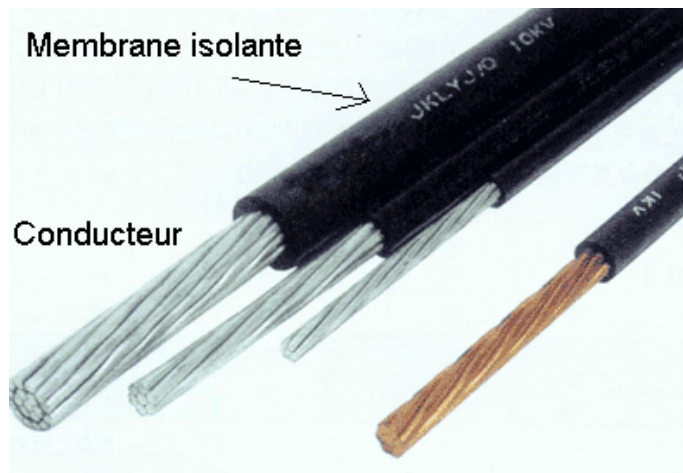
735 000V



La tension

La tension justifie l'isolation

- Si l'isolation du conducteur n'est pas suffisante, la tension fera claquer l'isolant, et un arc électrique pourrait se produire.
- Par analogie, si la pression est trop grande et que le tuyau est trop mince, il se brisera et il y aura une fuite d'eau.



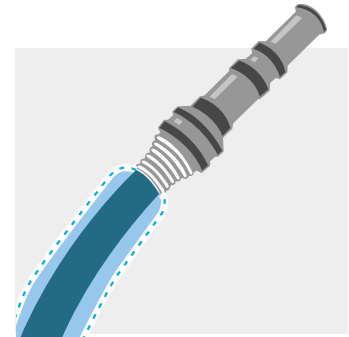
La tension

Claquage d'un isolant (l'air)



Il est mesuré en ampères (A).

- C'est la quantité d'électrons franchissant un point donné d'un conducteur en un temps donné.
- Dans l'exemple du tuyau d'arrosage, le courant correspond au débit.
- Un courant d'un ampère équivaut au déplacement d'un Coulomb (unité de charge) par seconde.
- Un Coulomb (C) correspond à 6.2×10^{18} électrons! C'est énorme! C'est 6 200 000 000 000 000 000 électrons!! Si chacun de ces électrons correspondait à un grain de riz, et sachant qu'on peut mettre 200 grains de riz dans 5 mL, un Coulomb correspondait à un convoi de 14 000 000 camions, soit 9.6 fois le tour de la terre!!! Et on parle ici d'un seul Coulomb!



La section des conducteurs

Le courant détermine la section (grosueur) du conducteur.

En règle générale, plus le **courant** est élevé, plus le conducteur doit être gros (penser au tuyau d'arrosage ou d'incendie).

Tuyau d'arrosage



Tuyau d'incendie



La puissance

Elle est mesurée en watts (W).

C'est la quantité d'énergie produite, consommée ou transportée à un instant donné.

- Puissance = Tension x Intensité

- $P = U \times I$

- $W = V \times A$

- Exemple : $100\text{ W} = \begin{array}{l} 1\text{ V} \\ 10\text{ V} \\ 20\text{ V} \end{array} \times \begin{array}{l} 100\text{ A} \\ 10\text{ A} \\ 5\text{ A} \end{array}$

...

La puissance – Analogie

La puissance électrique expliquée par analogie avec le tuyau d'arrosage

- Peu de **pression** et peu de **débit** : peu de **puissance**
- Beaucoup de **pression** et peu de **débit** : **puissance** moyenne
- Peu de **pression** et beaucoup de **débit** : **puissance** moyenne
- Beaucoup de **pression** et beaucoup de **débit** : beaucoup de **puissance**

La puissance – Analogie

Pendant ce temps, à Oppin:



Le courant – Équivalences

$$P = U \times I \Rightarrow I = P/U$$



$$13 \text{ W à } 120 \text{ V} = 0,11 \text{ A}$$



$$100 \text{ W à } 120 \text{ V} = 0,83 \text{ A}$$



$$1\,600 \text{ W à } 120 \text{ V} = 13,33 \text{ A}$$

L'énergie

Elle est mesurée en **wattheures (Wh)**. D'autres unités sont aussi utilisées.

Elle correspond à une puissance consommée pendant un temps donné.

• Exemple : $1\ 000\ \text{Wh} = 1\ \text{kWh} = 1\ 000\ \text{W} \times 1\ \text{h}$

$100\ \text{W} \times 10\ \text{h}$

$50\ \text{W} \times 20\ \text{h}$

$E = P \times t$

• Exemple : L'aménagement Robert-Bourassa, à la Baie-James, produit annuellement **37.2 milliards de kilowattheures**. Cela veut dire, pour un micro-ondes de **1000 W** :

$37\ 200\ 000\ 000\ \text{kWh} / 1\ \text{kW} = 37\ 200\ 000\ 000\ \text{heures} = 1\ 550\ 000\ 000\ \text{jours} = 4\ 250\ 000\ \text{années}$

En une année, l'aménagement Robert-Bourassa produit donc assez d'énergie pour faire fonctionner un micro-ondes de **1000 W** pendant **4,2 millions d'années!**

L'énergie – Équivalences

$$P \quad \times \quad t = E$$



13 W pendant 77 h = 1 001 Wh = 1 kWh



100 W pendant 10 h = 1 000 Wh = 1 kWh



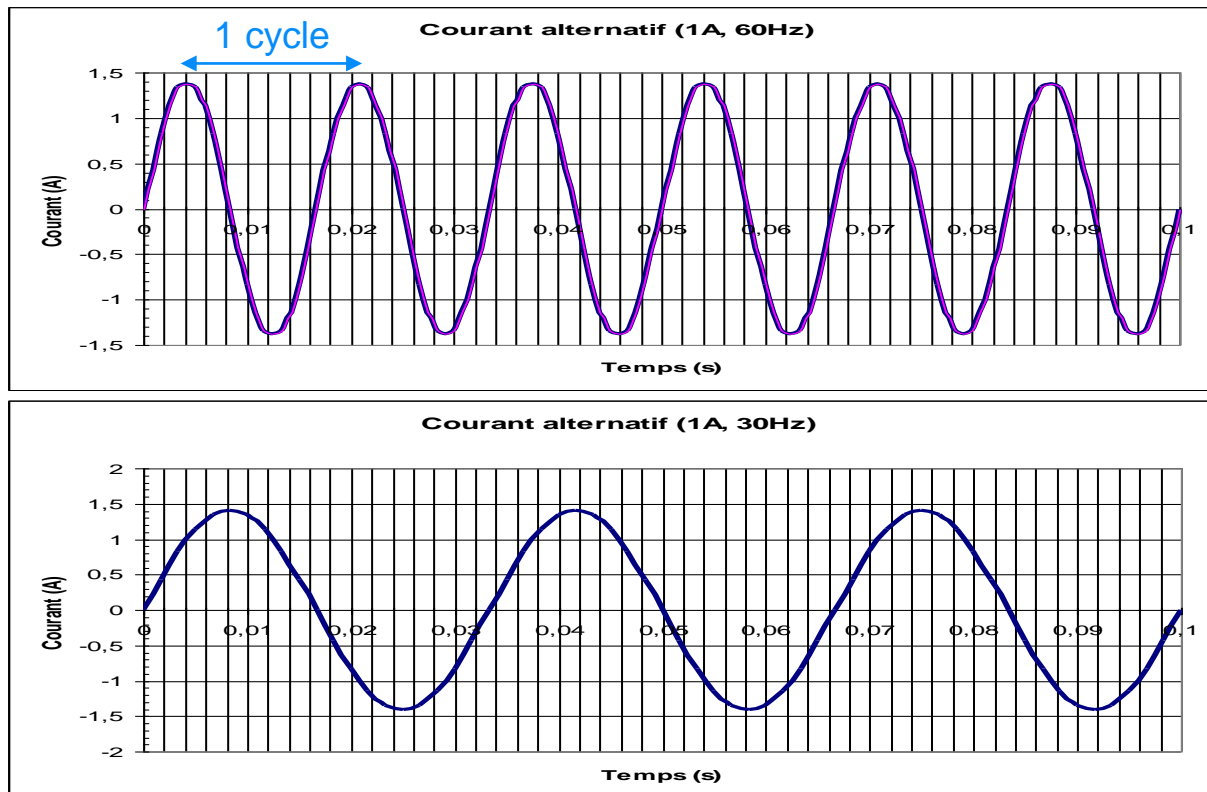
ou 0,625 h

1 600 W pendant 37,5 min = 1 000 Wh = 1 kWh

La fréquence

Elle est mesurée en hertz (Hz).

- Caractéristique du courant alternatif, elle correspond à la cadence d'oscillation du courant.
- 1 Hz = une oscillation par seconde.



La résistance

On peut assimiler la résistance d'un conducteur à la facilité avec laquelle le courant circule dans celui-ci.

La résistance d'un conducteur est fonction de trois paramètres :

- Sa longueur (L) ;
- Sa section (S) ;
- Sa résistivité (r).
- $R = rL / s$



- Pour le cuivre: $r = 0,000000017 \Omega\text{m}$

- Pour l'aluminium: $r = 0,000000027 \Omega\text{m}$

Si: $S = 0,0004 \text{ m}^2$ (fil de 2,25 cm de diamètre)

$l = 100 \text{ km}$

Pour le fil de cuivre: $R = 4,25 \Omega$

Pour le fil d'aluminium: $R = 6,75 \Omega$

Les pertes

Comment calculer les ampères sur une ligne de transport:

- Ligne 735kV, 2200MW
- $P = U \times I$
- Donc $I = P / U$
- Donc $2\,200\,000\,000\text{ W} / 735\,000\text{ V} = 2293\text{ Ampères}$
- Pour avoir le courant par phase on doit diviser par racine carré de 3
- 1728 ampère.

- Les pertes en joules (échauffement)
- Puissance perdues = Résistance X intensité du courant au carré.
- $P = R \times I \times I$
- Si la résistance par phase sur 1000km de ligne est de 50 ohms
- $P = 50 \times 1728 \times 1728 = 150\text{ MW}$ ou environ 7%



QUESTION :

**Pourquoi élève-t-on la tension
à la sortie des centrales ?**

Les pertes

Pertes en joules:

- Ce qu'il faut retenir, c'est que les pertes sont équivalentes au carré du nombre d'ampères ou de l'intensité du courant électrique.
- Règle générale, si double les ampères, on multiplie par 4 les pertes.
- Si on augmente la tension de 315 kV à 735 kV
 - $2\,200\text{ MW} / 315\text{ kV} / \sqrt{3} = 4\,032\text{ A} \longrightarrow \text{Pertes de } 50\ \Omega \times (4\,032\text{ A})^2 = 812\text{ MW}$
 - $2\,200\text{ MW} / 735\text{ kV} / \sqrt{3} = 1\,728\text{ A} \longrightarrow \text{Pertes de } 50\ \Omega \times (1\,728\text{ A})^2 = 150\text{ MW}$
- Si on diminue de moitié la puissance transitée par la ligne
 - $1\,100\text{ MW} / 735\text{ kV} / \sqrt{3} = 785\text{ A} = \text{la moitié des ampères.}$
 - Les pertes seront maintenant de:
 - $50\ \Omega \times 785\text{ A} \times 785\text{ A} = 30\text{ MW}$ au lieu de 150.

Mesure de l'électricité

L'électricité peut être caractérisée et mesurée.

Grandeurs et unités usuelles :

- La tension : mesurée en volts (V)
- Le courant : mesuré en ampères (A)
- La puissance : mesurée en watts (W)
- L'énergie : mesurée en wattheures (Wh)
- La fréquence : mesurée en hertz (Hz)
- La résistance : mesurée en Ohm (Ω)

Mesure de l'électricité

Plusieurs lois et formules décrivent l'électricité :

La plus utilisée : La loi d'Ohm

- La loi d'Ohm stipule que la chute de tension entre deux points d'un circuit correspond au produit du courant circulant dans cette branche du circuit et de la résistance totale de cette même branche.
- $U=RI$

Par exemple, si dans une branche d'un circuit circule un courant de 10 A, et que la résistance est de 24 Ω , alors la chute de tension aux bornes de cette branche est de $10 \times 24 = 240$ V.

En d'autres mots, si ce circuit est en fait un élément chauffant (calorifère), et qu'il a besoin d'un courant de 10 A pour chauffer, on doit le connecter à une source de 240 V.

Mesure de l'électricité

Plusieurs lois et formules décrivent l'électricité :

Résumé des lois et équations :

$$\text{TENSION} = \text{RÉSISTANCE} \times \text{COURANT}$$
$$U = R \times I$$

$$\text{PUISSANCE} = \text{TENSION} \times \text{COURANT}$$
$$P = U \times I$$

$$\text{ÉNERGIE} = \text{PUISSANCE} \times \text{TEMPS}$$
$$E = P \times t$$

The background of the slide is a grayscale image of a fingerprint. The ridges and valleys of the fingerprint are clearly visible, creating a complex, swirling pattern. Overlaid on this pattern is the text 'NOTIONS FONDAMENTALES' in a large, white, sans-serif font. Below this, there is a white rectangular box containing the text 'Électromagnétisme et induction' in a smaller, black, sans-serif font. The overall composition is centered and visually striking due to the contrast between the organic fingerprint pattern and the geometric text elements.

NOTIONS FONDAMENTALES

Électromagnétisme et induction

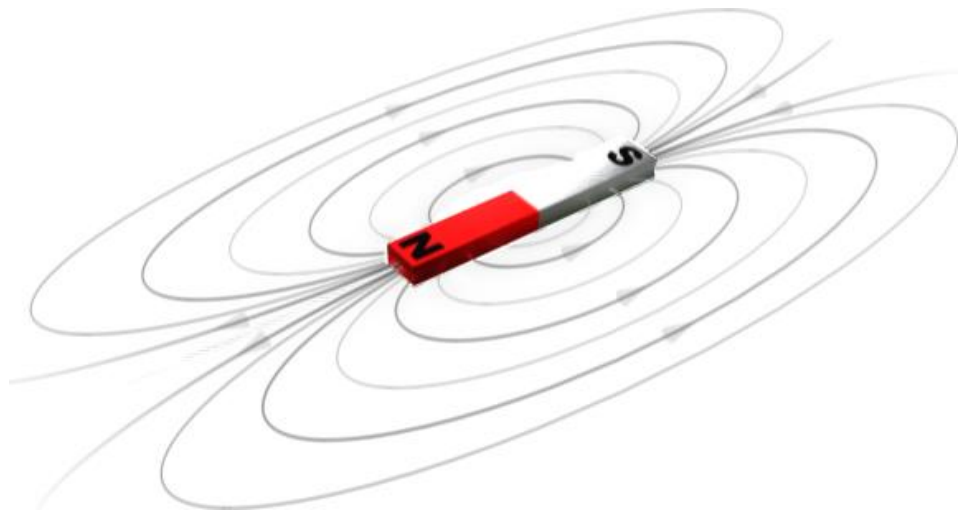
Électromagnétisme

Deux grandes lois (Ampère et Faraday) décrivent 4 principes en magnétisme (Nous nous intéressons plus à trois d'entre eux) :

- Principe 1: Création d'un champ magnétique par un courant
 - Principe 2: Force exercée sur un courant placé dans un champ magnétique
 - Principe 3: Déplacement d'un conducteur dans un champ magnétique, induction d'une tension
 - Principe 4: Variation du champ magnétique à l'intérieur d'une boucle, induction d'une tension
-
- **A retenir: pour avoir induction de courant, un conducteur doit être soumis à une variation de l'intensité de champ magnétique**

Magnétisme

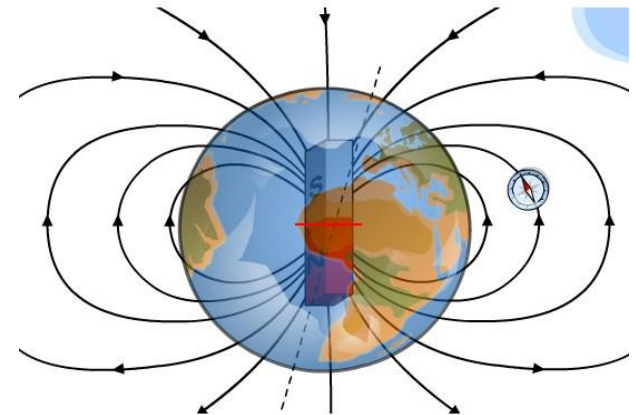
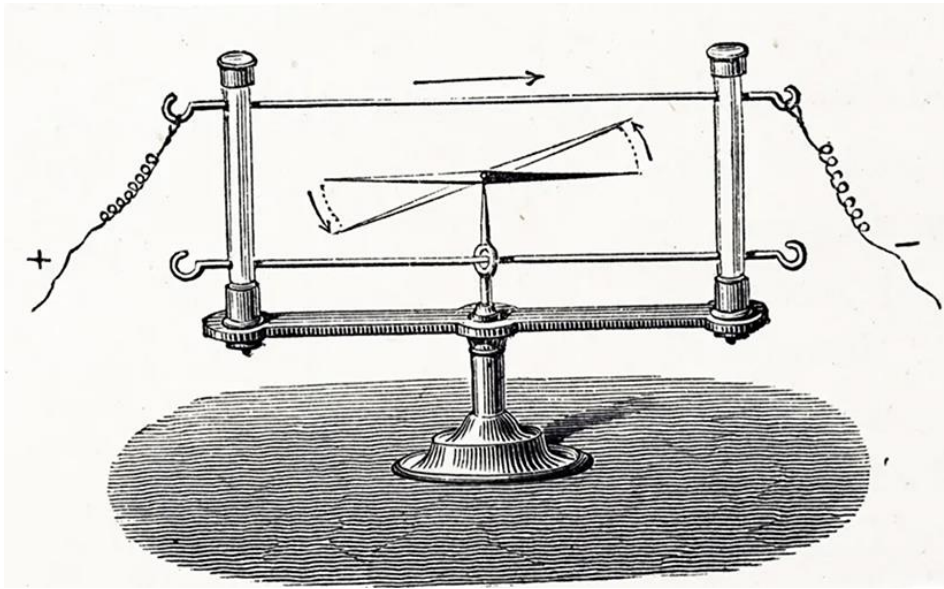
- Aimant naturel : Minéral qui interagit avec les matériaux l'entourant, en les repoussant ou les attirant.



- On peut recréer l'effet d'un aimant naturel grâce à l'électricité

Magnétisme

Observation: Si on déplace une boussole le long d'un fil parcouru par un courant, on observe que l'aiguille s'oriente toujours perpendiculairement à celui-ci, tout comme une boussole s'oriente toujours perpendiculairement aux lignes du champ magnétique terrestre.



Électromagnétisme

Électromagnétisme : Un courant circulant dans un conducteur induit un champ magnétique autour de celui-ci

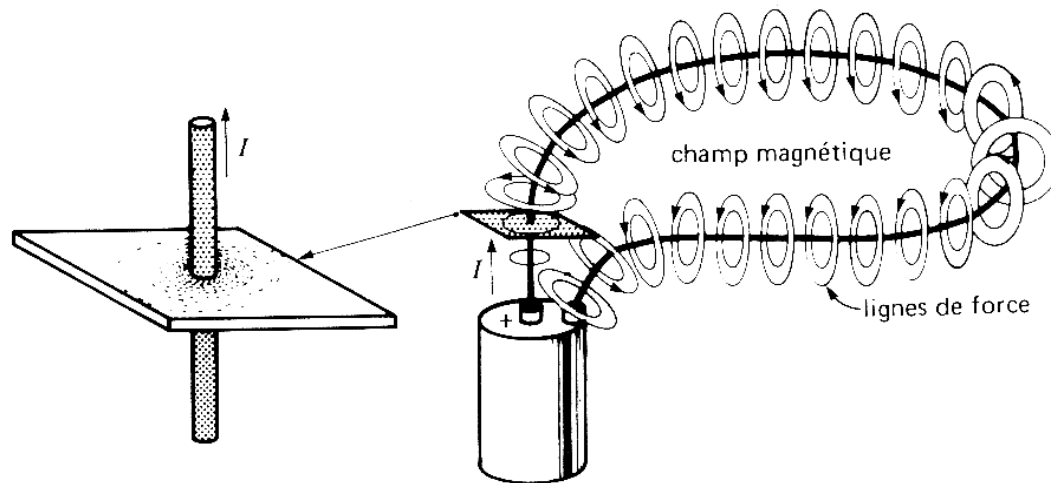
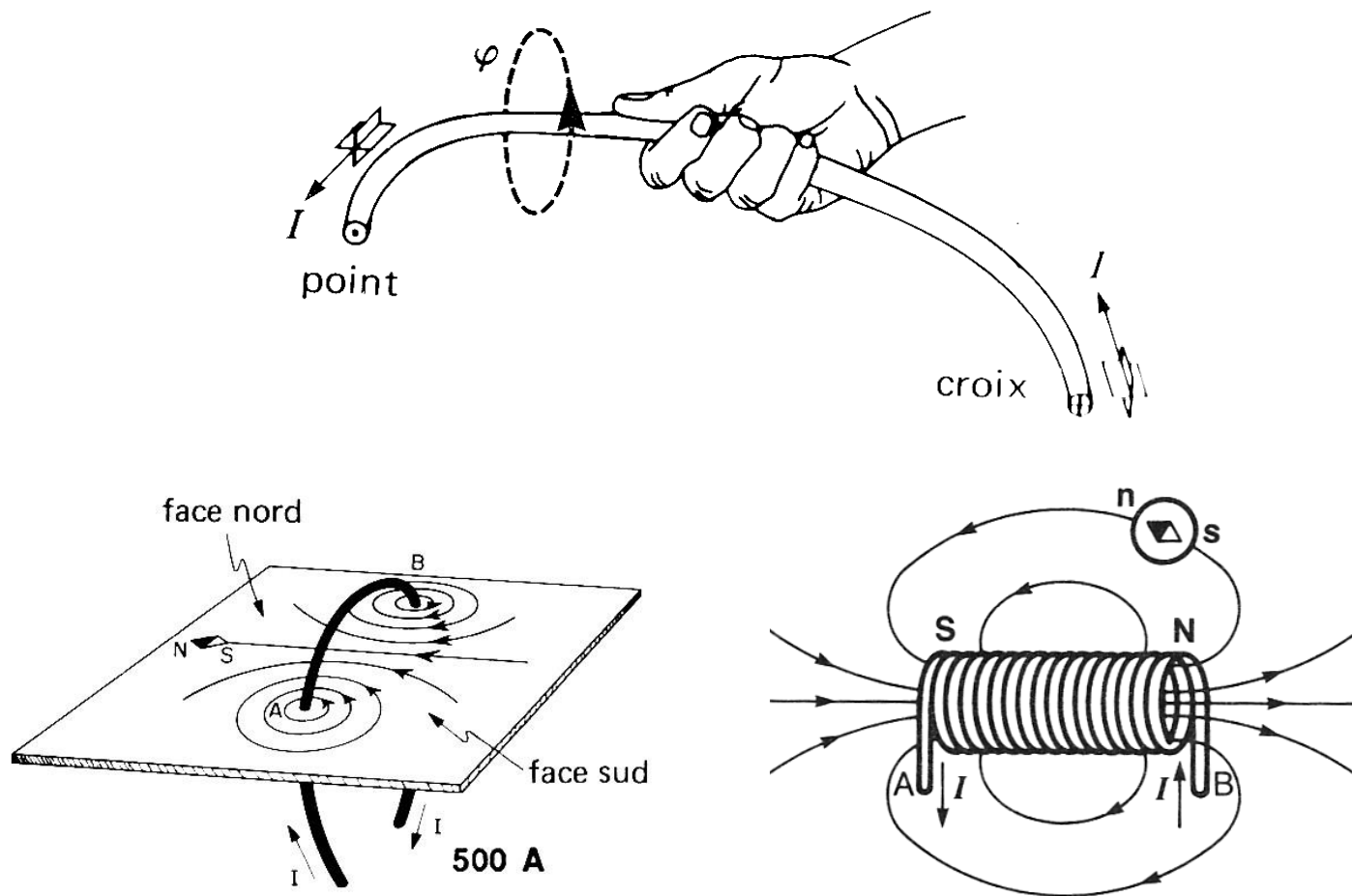


Figure 13-2

Les lignes de force autour d'un conducteur forment des cercles fermés. La nature de ce champ magnétique est révélée par la limaille de fer.

Électromagnétisme

On peut diriger et concentrer ce champ magnétique :



Solénoïde

On appelle solénoïde un enroulement de fils en hélice formant une bobine longue.

- Tout comme pour l'aimant naturel, on appelle pôle Nord l'extrémité du solénoïde par laquelle les lignes de force du champ magnétique sortent, et pôle Sud l'extrémité par laquelle elles entrent

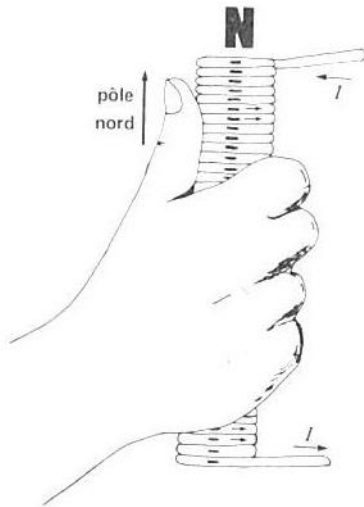


Figure 13-14
Méthode simple pour trouver le pôle nord d'un solénoïde.

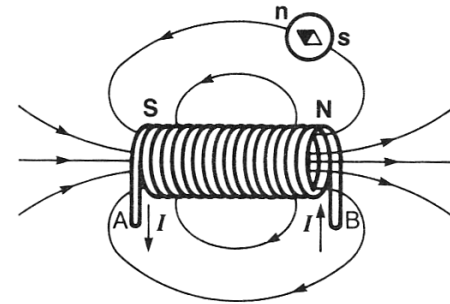
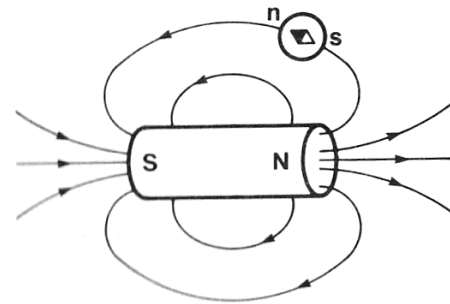


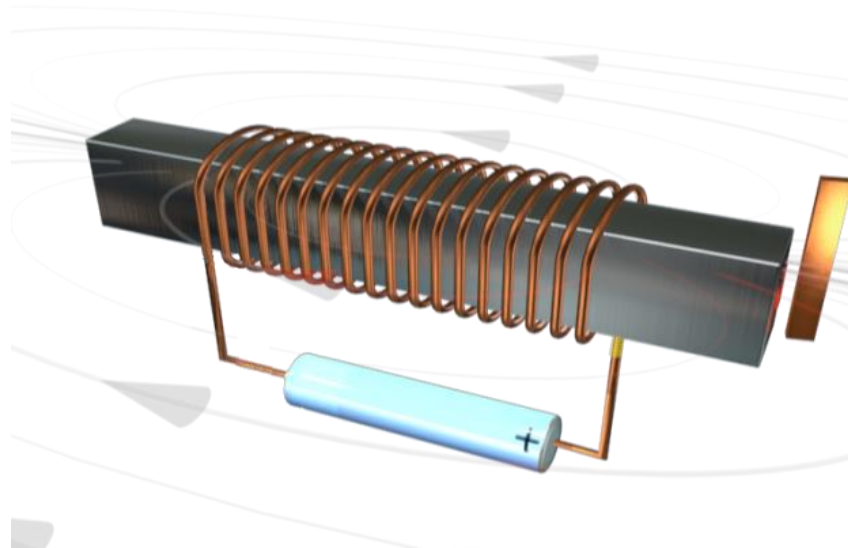
Figure 13-12
Champ magnétique créé par un solénoïde.



Électroaimant

L'électroaimant agit de la même façon qu'un aimant naturel, mais on peut la contrôler.

- Enroulement de fils, généralement autour d'un noyau ferromagnétique
- Courant circulant dans le bobinage

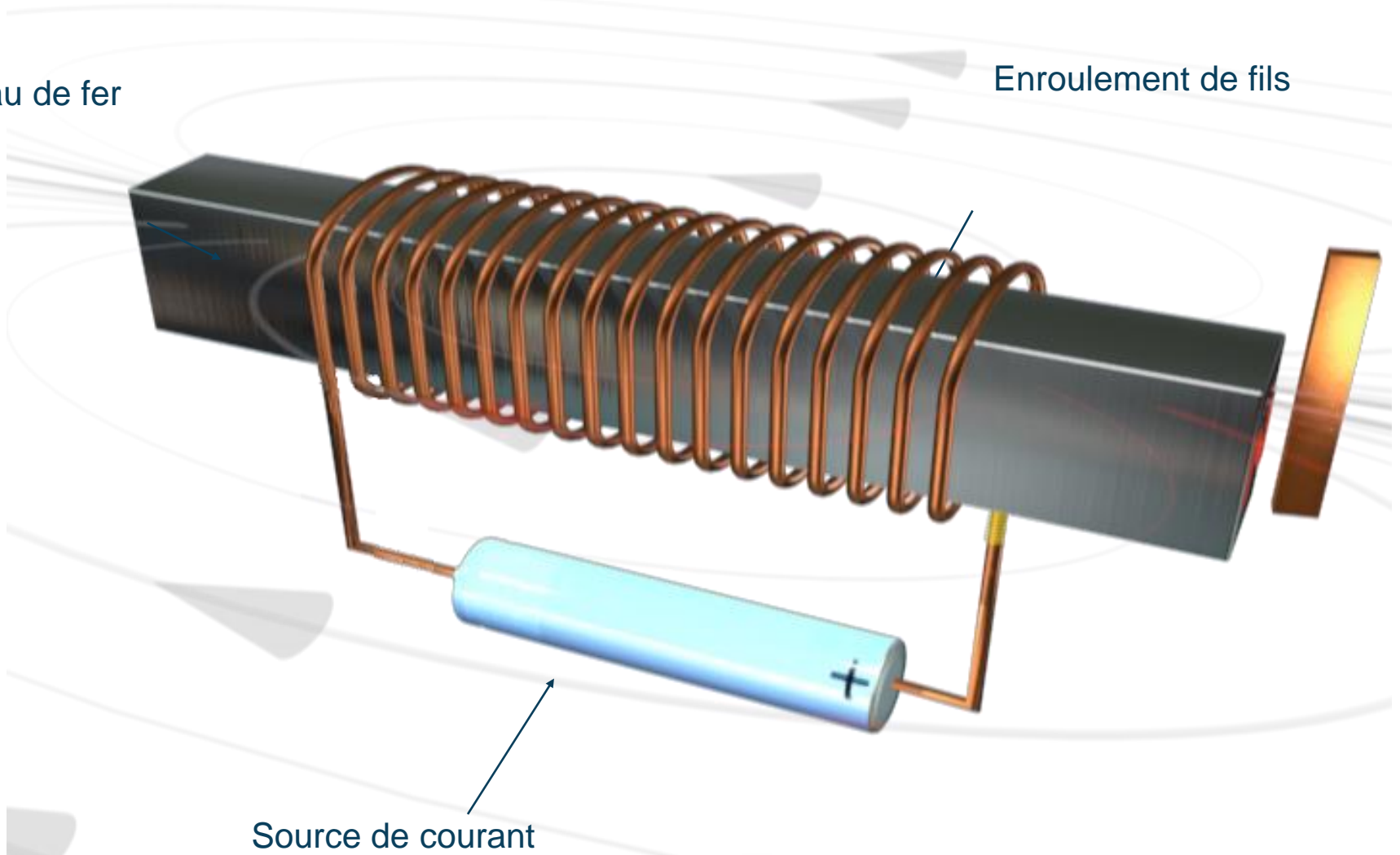


Électroaimant

Noyau de fer

Enroulement de fils

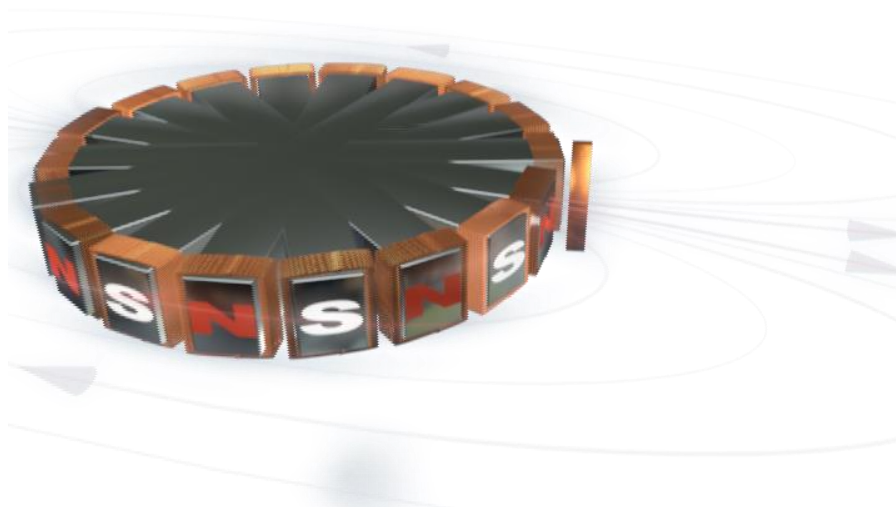
Source de courant



Induction

Lorsqu'on déplace un aimant

- Les principes de base 3 et 4 mentionnent :
 - Déplacement d'un conducteur dans un champ magnétique, induction d'une tension
 - Variation du champ magnétique à l'intérieur d'une boucle, induction d'une tension
- Dans un alternateur, les aimants se déplacent

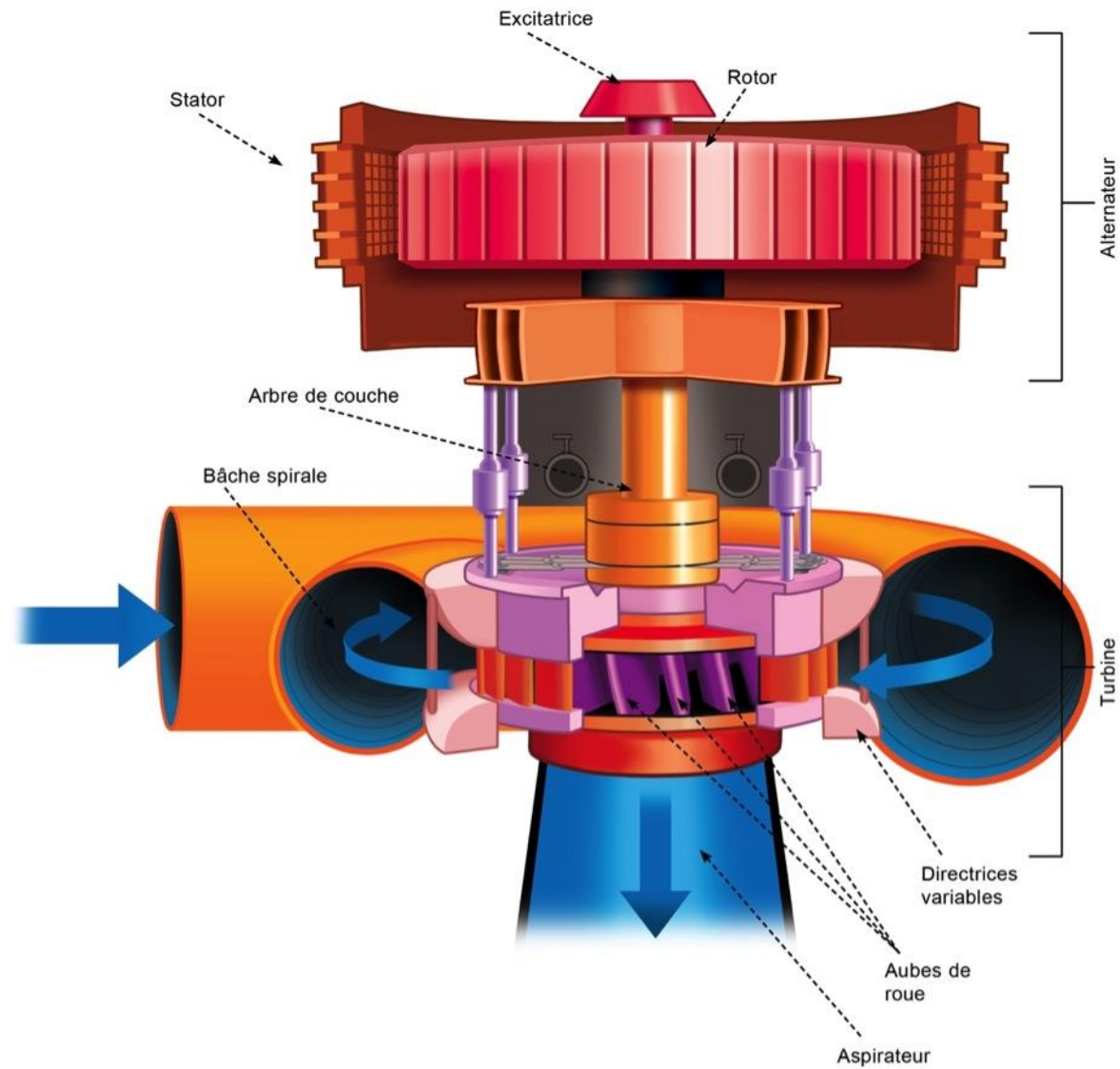




APPLICATION DES NOTIONS

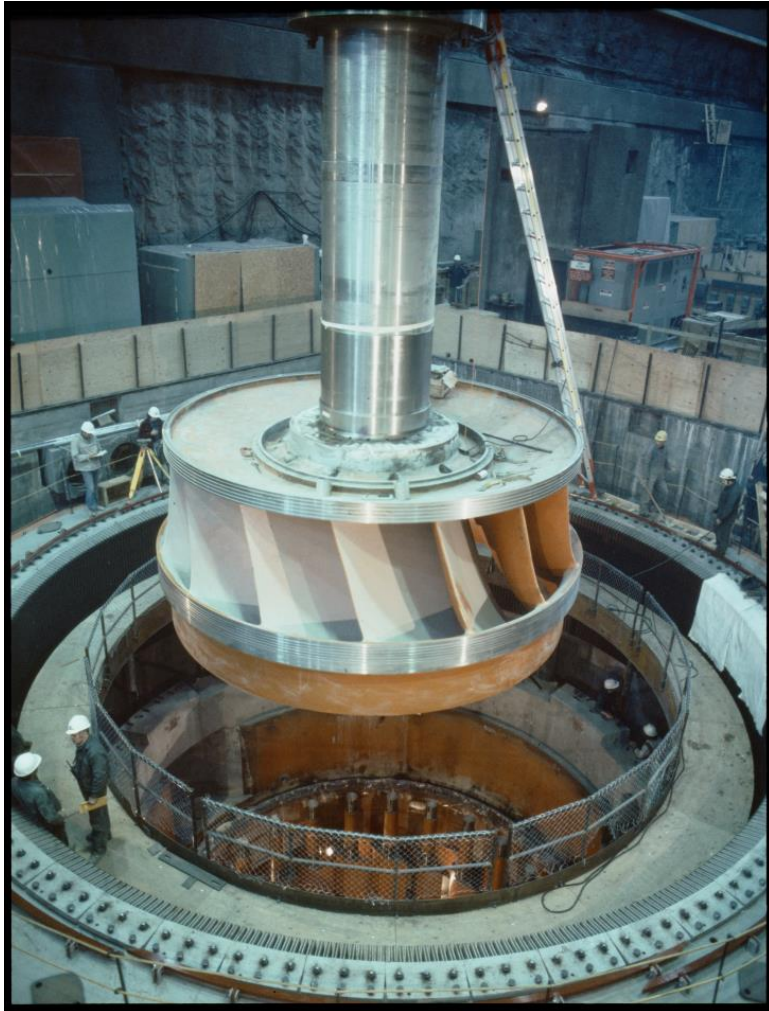
La production d'électricité

Le groupe turbine-alternateur



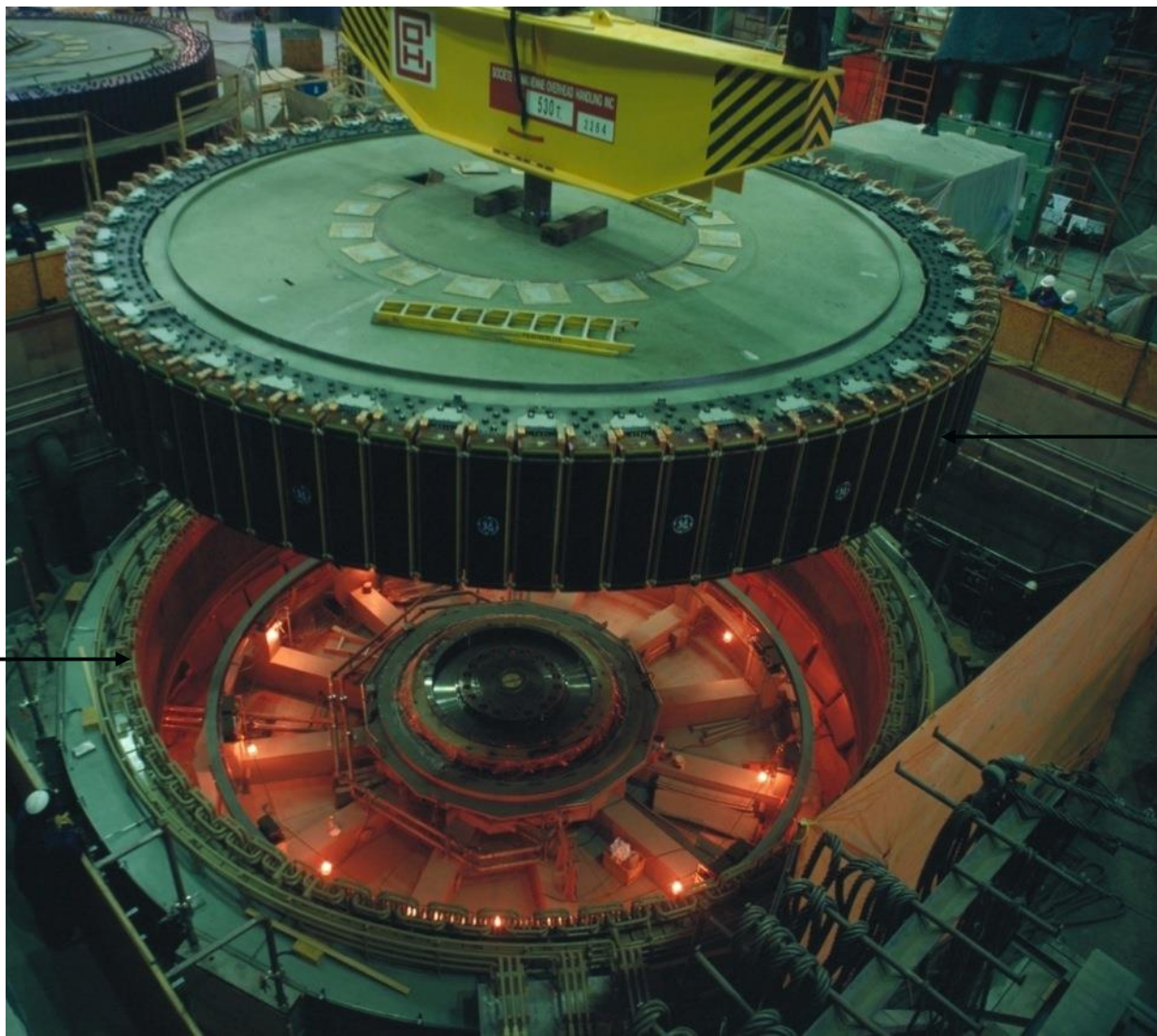
Les roues d'eau

Francis



Kaplan

L'alternateur

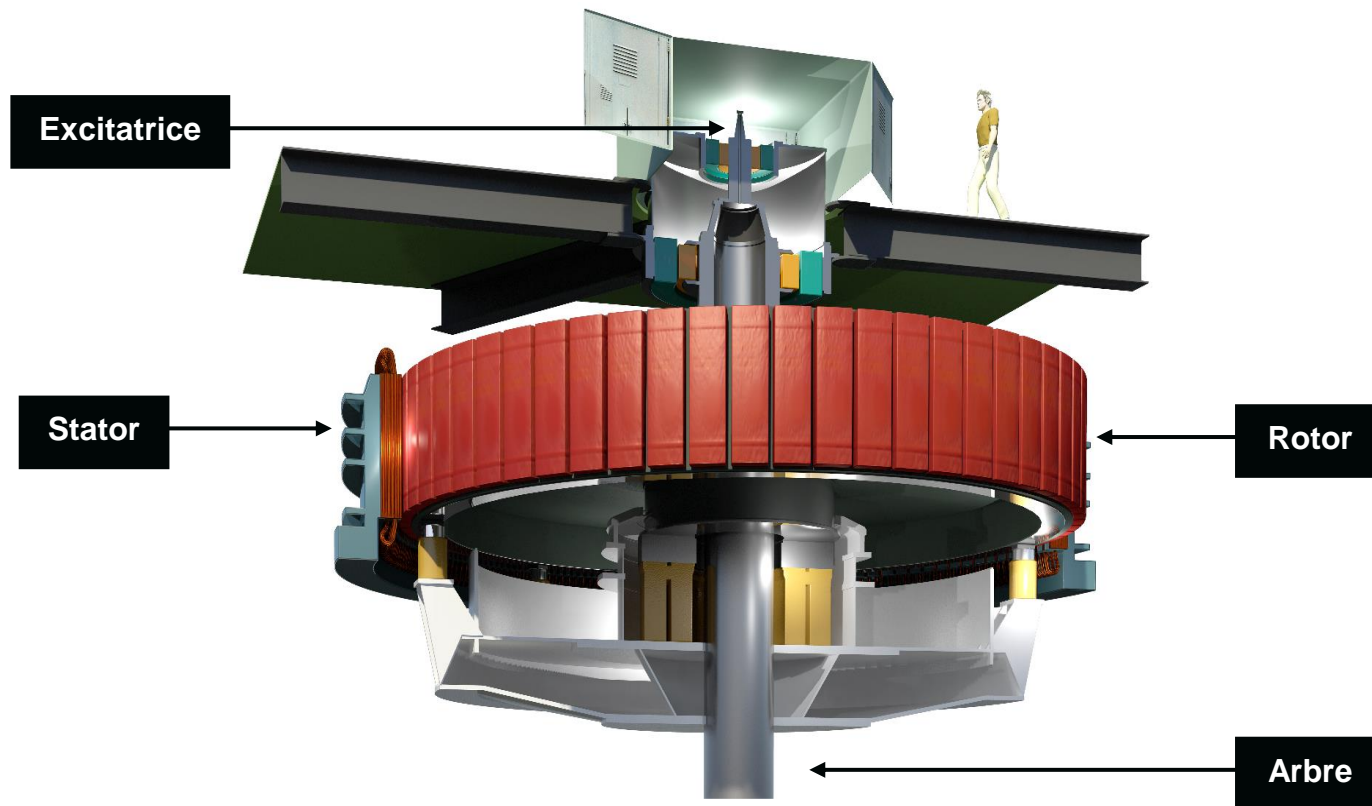


Stator

Rotor

L'alternateur

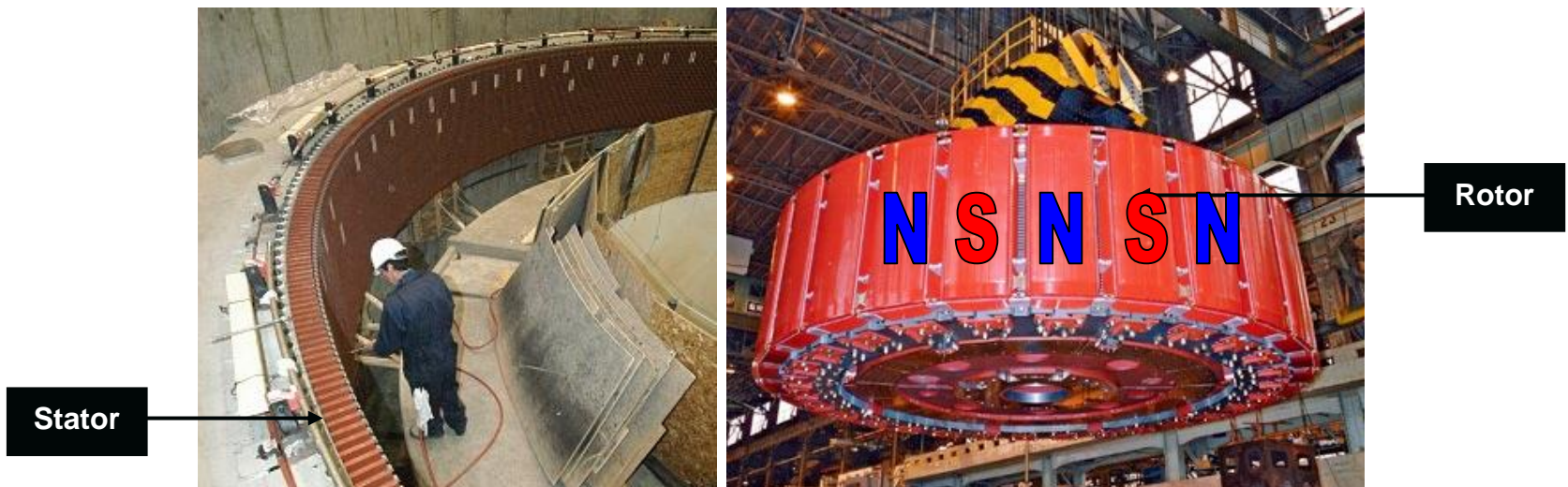
Le rotor, composé de paires de pôles, tourne à l'intérieur du stator, composé de barres de cuivre, faisant varier le champ magnétique dans celui-ci.



L'alternateur

Principe de fonctionnement

- Les électroaimants sont disposés sur le rotor avec leurs pôles alternés.
- Le champ magnétique de ces électroaimants crée la force qui fait bouger les électrons dans le stator, et la rotation du rotor crée la variation du champ magnétique nécessaire à la production d'électricité.
- Il faut deux pôles, un nord et un sud, pour chaque cycle. Il y a donc 120 pôles d'aimants qui doivent passer devant chaque barre de cuivre, à chaque seconde, pour que le courant respecte la fréquence de 60 Hz



L'alternateur

La puissance de l'alternateur

- Deux facteurs influencent la puissance d'une centrale
 - La hauteur de chute
 - Le débit de l'eau
- La hauteur de chute influence directement la vitesse de rotation, et par le fait même le nombre de pôle sur le rotor.

Centrale	Hauteur de chute	Vitesse de rotation	Nombre de pôle
SM3	330 m	257,1 RPM	28
Toulnostouc	164 m	200 RPM	36
Manic-5	150 m	180 RPM	40
Robert- Bourassa	137.5 m	133,33 RPM	54
Manic-2	70 m	120 RPM	60
EM-1	63 m	105,9 RPM	68
EM-1-A	63 m	100 RPM	72
LG-1	27 m	85,7 RPM	84
Beauharnois	24 m	75 RPM	96

La vitesse de rotation

60 Hz, tout le temps

- Afin de garder une fréquence de 60 Hz dans toutes ses installations, et d'ainsi garder le réseau synchronisé, Hydro-Québec doit s'assurer que la vitesse de rotation des rotors assure le passage de 120 pôles devant chaque barre de cuivre, à chaque seconde.
- Le calcul est toutefois très simple : La fréquence (f) correspond au produit du nombre de pôles par la vitesse de rotation, exprimée en tours par secondes.

$$f = n \times v$$

- Ainsi, si on prend l'exemple de la centrale Jean-Lesage :
60 pôles sur le rotor X 2 tours/secondes = 120 pôles/secondes = 60 Hz
- De la même façon, avec la centrale Manic-5 :
40 pôles sur le rotor X 3 tours/secondes = 120 pôles/secondes = 60 Hz
- Et avec la centrale Robert-Bourassa :
54 pôles sur le rotor X 2.2221 tours/secondes = 120 pôles/secondes = 60 Hz

La vitesse de rotation

Tableau des vitesses possibles

Nb de pôles	Vitesse (rpm)		Nb de pôles	Vitesse (rpm)		Nb de pôles	Vitesse (rpm)
2	3600		42	171,4		82	87,8
4	1800		44	163,6		84	85,7
6	1200		46	156,5		86	83,7
8	900		48	150		88	81,8
10	720		50	144		90	80
12	600		52	138,5		92	78,3
14	514,3		54	133,3		94	76,6
16	450		56	128,6		96	75
18	400		58	124,1		98	73,5
20	360		60	120		100	72
22	327,3		62	116,1		102	70,6
24	300		64	112,5		104	69,2
26	276,9		66	109,1		106	67,9
28	257,1		68	105,9		108	66,7
30	240		70	102,9		110	65,5
32	225		72	100		112	64,3
34	211,8		74	97,3		114	63,2
36	200		76	94,7		116	62,1
38	189,5		78	92,3		118	61,0
40	180		80	90		120	60

La vitesse de rotation

Tous les alternateurs doivent tourner à la même vitesse

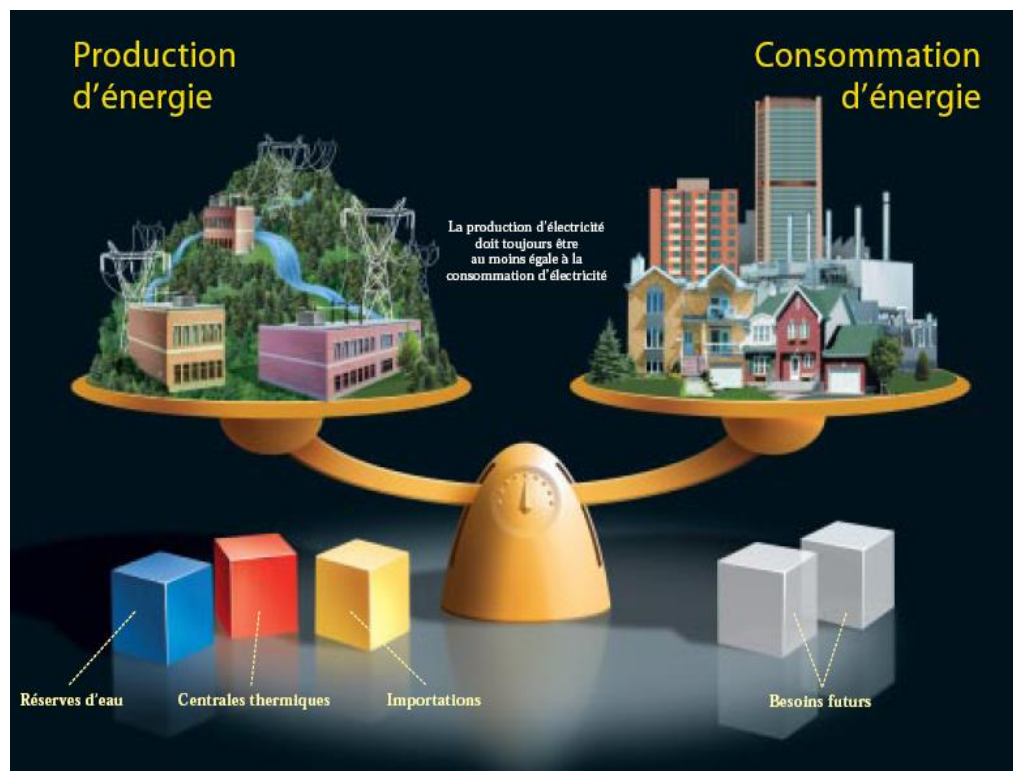
- Les alternateurs du réseau ne peuvent pas tourner plus ou moins vite.
- En d'autres mots, l'alternateur est « barré » sur la fréquence de 60 Hz. Cette fréquence est imposée par les autres alternateurs connectés sur le réseau.
- Analogie : Imaginez qu'un train utilise 3 locomotives. Toutes les locomotives doivent rouler à la même vitesse. Si une locomotive roule moins vite, elle devient une charge pour les deux autres, et si elle roule plus vite, elle est freinée par les deux autres. Dans le même sens, si un alternateur ralentit, il devient une charge sur le réseau.



Une question d'équilibre

RFP – Régulation Fréquence Puissance.

- On ne peut pas consommer plus ou moins d'électricité que ce qui est produit au même moment. L'inverse est aussi vrai. En d'autres mots, les lignes électriques ne permettent pas d'accumuler d'électricité.



Une question d'équilibre

Dans le réseau, la consommation varie ponctuellement au cours de la journée.



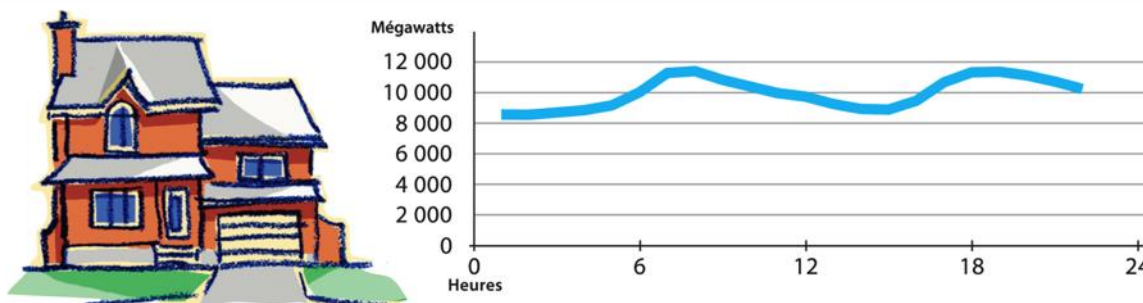
Une question d'équilibre



Une question d'équilibre

Dans le réseau, la consommation varie ponctuellement au cours de la journée.

Les fluctuations quotidiennes de la demande d'électricité en 2008
Clientèles résidentielles – consommation moyenne en hiver

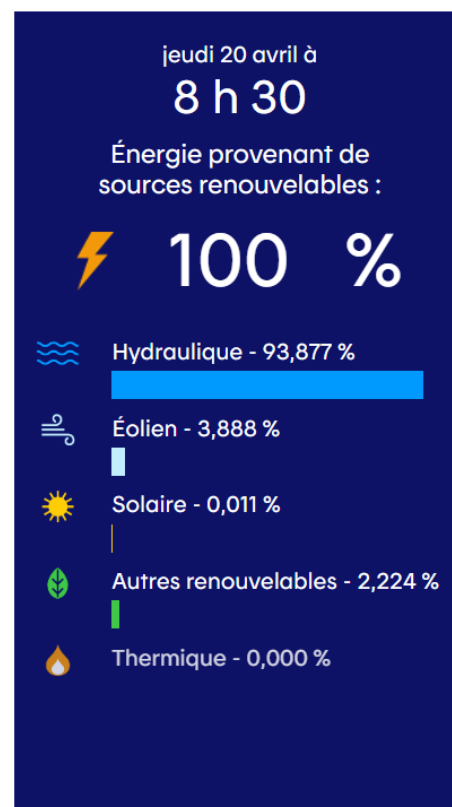
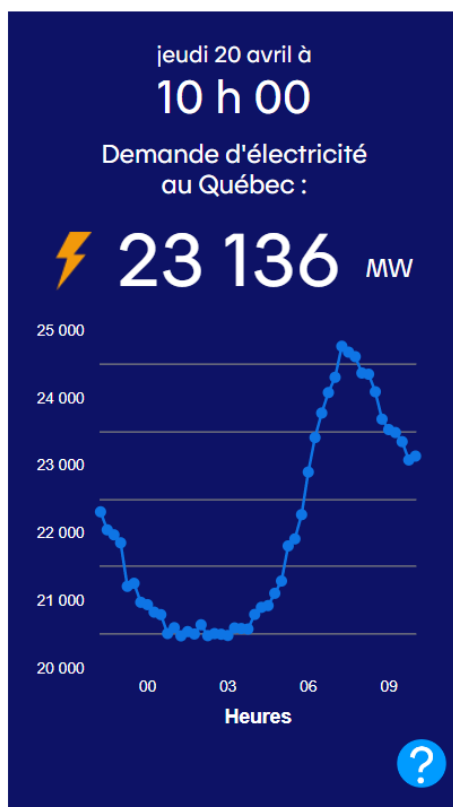


- La puissance fournie par les centrales varie instantanément en fonction de la demande.

Une question d'équilibre

Dans le réseau, la consommation varie ponctuellement au cours de la journée.

L'approvisionnement du réseau principal en temps réel



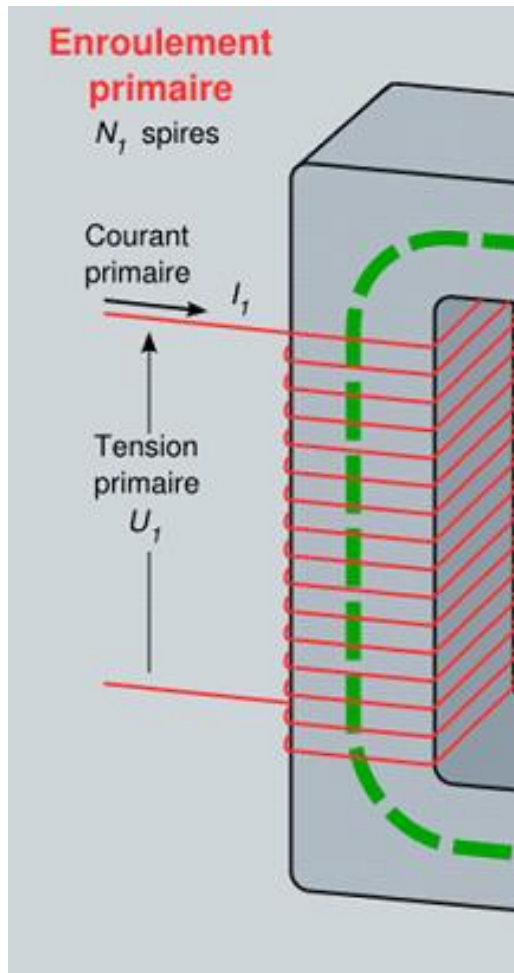
Transport de l'électricité

Le transformateur



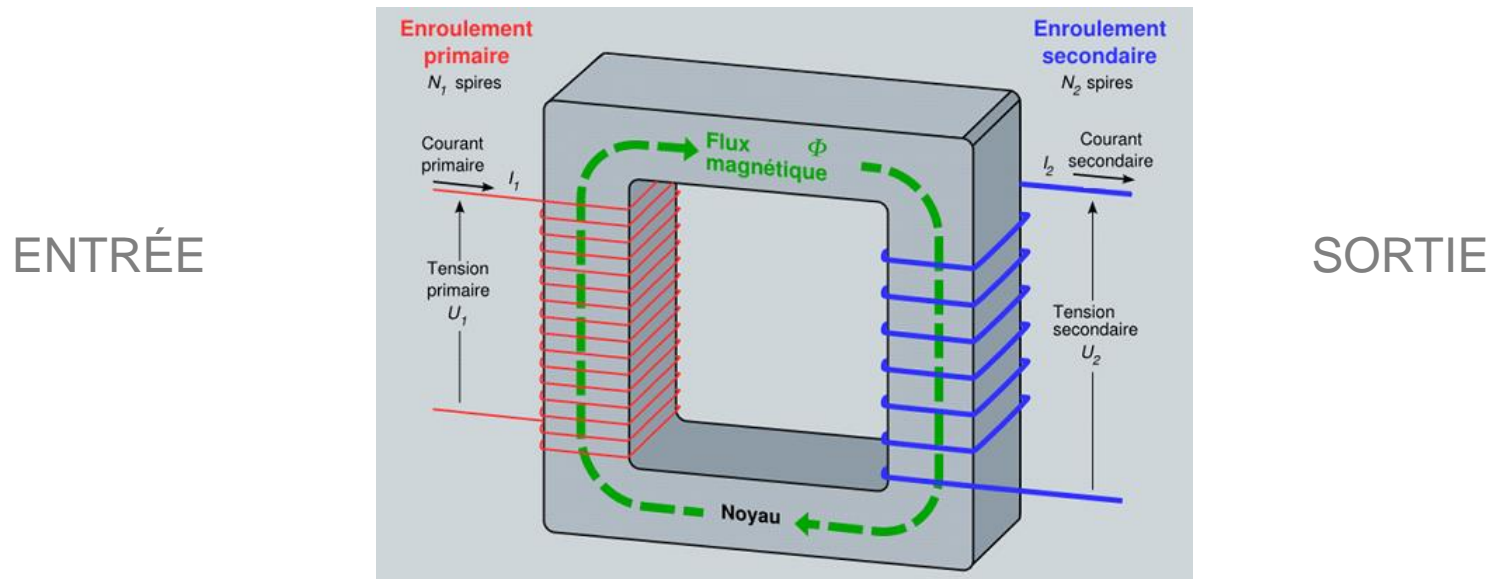
Le transformateur

Le fonctionnement du transformateur – Flux magnétique



Le transformateur

60 Hz, tout le temps



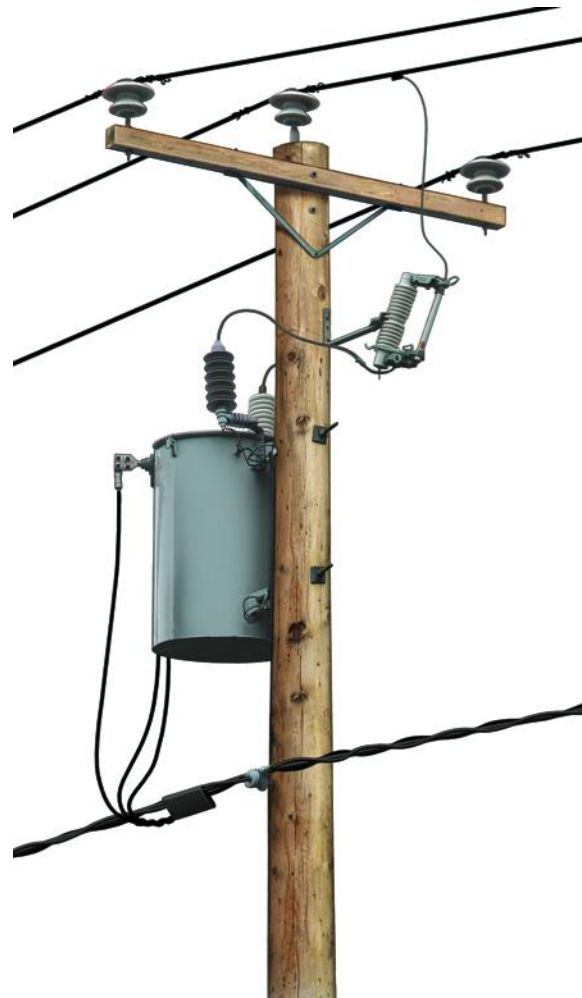
- N corresponds au nombre de tours des enroulements
 - Si $N_{\text{primaire}} > N_{\text{secondaire}}$, la tension au secondaire sera plus petite que la tension au primaire
 - Si $N_{\text{primaire}} < N_{\text{secondaire}}$, la tension au secondaire sera plus grande que la tension au primaire

Le transformateur

Ancien transformateur auxiliaire
à Beauharnois



Transformateur de distribution



Transport de l'électricité



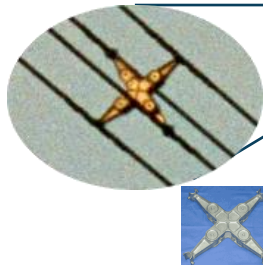
Le courant triphasé

Le courant triphasé

Le transport

- Le courant triphasé circule sur trois lignes. C'est donc pourquoi chaque ligne comporte trois faisceaux de conducteurs.

- Lignes de transport



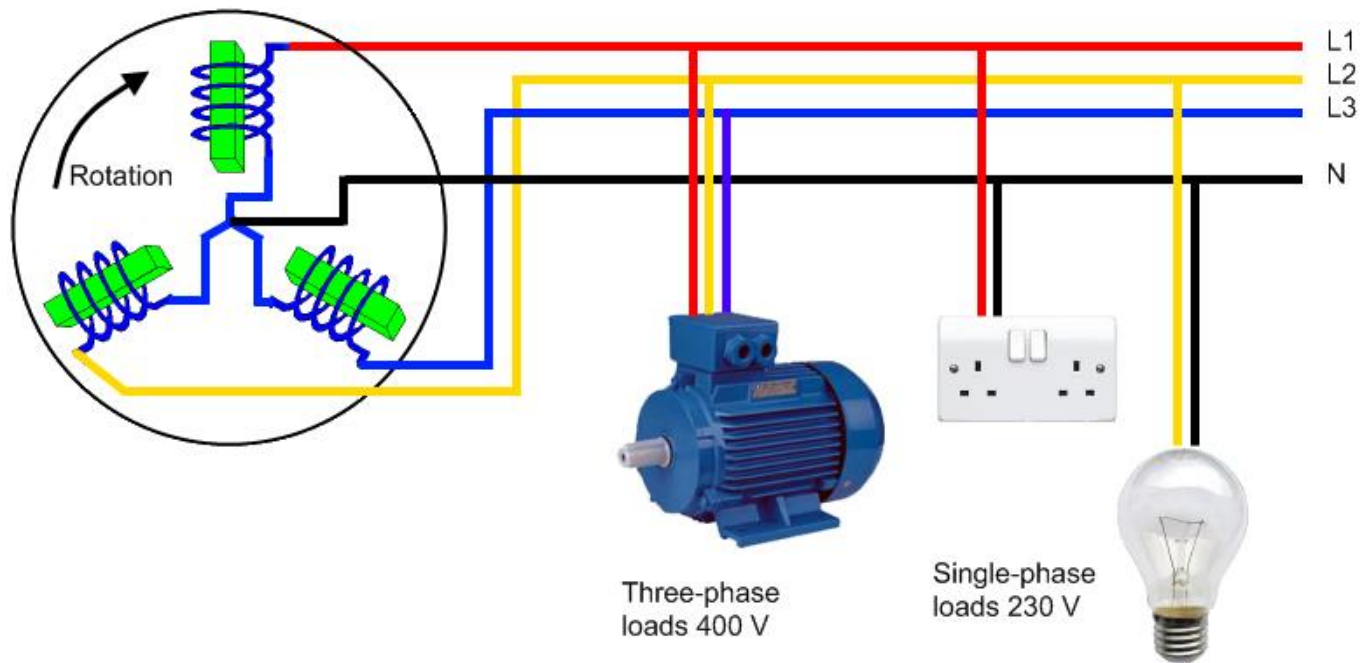
- Lignes de distribution



Le courant triphasé

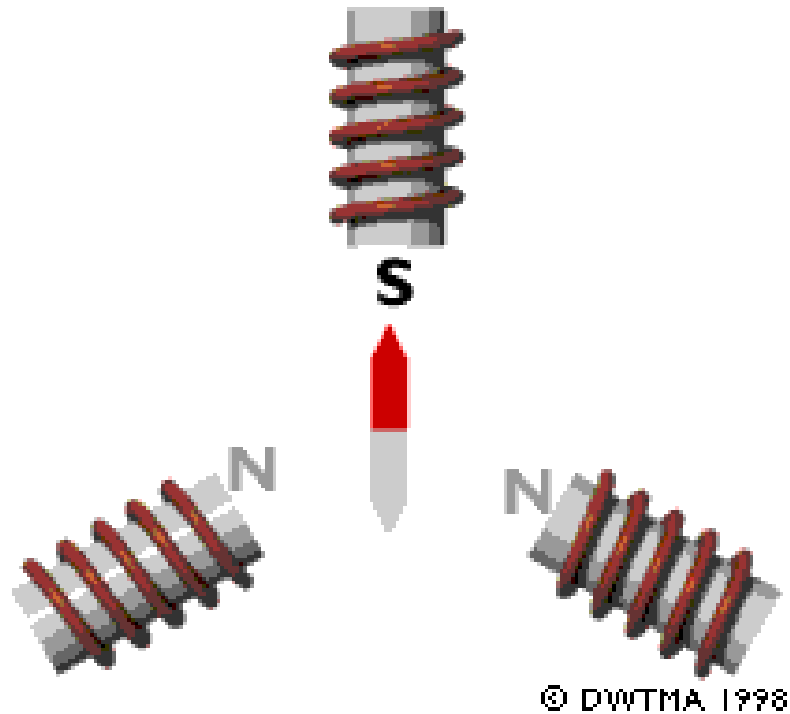
Un standard

- Au Québec, tout comme dans le monde, le courant triphasé est un standard.
- En effet, pour une même puissance, les appareils triphasés sont moins coûteux et plus petits que les monophasés.



Le courant triphasé

La production

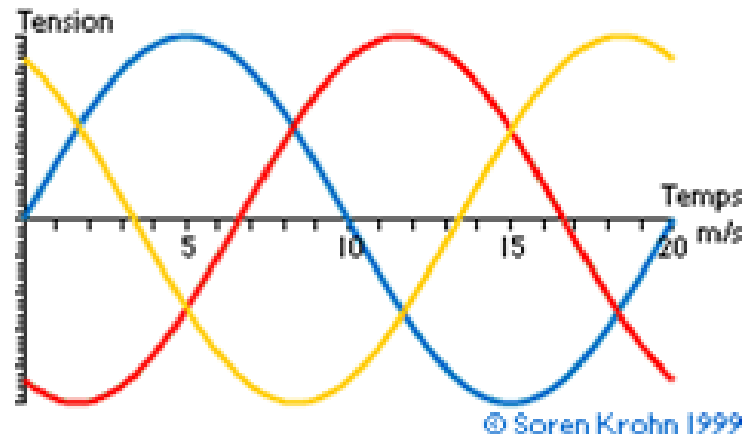


Le courant triphasé

Le fonctionnement

- Le courant triphasé circule sur trois lignes, ayant toutes la même tension maximale et la même fréquence.
- Les ondes des trois lignes sont toutefois décalées de 120° . En d'autres mots, à 60 Hz, le pic du signal B est atteint 5 ms après celui de la ligne A, et celui de la ligne C est atteint 5 ms après celui de la ligne B.

**3 phases = 3 fils qui
ne se touchent pas**



- Avantages :
 - Pour une même puissance, nécessite deux fois moins de conducteurs qu'en monophasé
 - Diminution des CÉM

An aerial photograph of a large, deep blue reservoir. In the foreground, a long, narrow dam or levee stretches across the water, separating it from a smaller body of water. The surrounding landscape is green and hilly. The sky is blue with some light clouds.

Centrale à réservoir vs fil de l'eau

Stockage d'énergie









Source : Ministère de l'Environnement du Québec, 2001

Gestion des bassins versants

- La **rivière des Outaouais** est le principal tributaire du fleuve Saint-Laurent. Son **bassin versant** s'étend en amont du lac des Deux Montagnes sur une superficie de 146 334 km², dont 92 203 km² (65 %) se trouvent au Québec et le reste (35 %) en Ontario

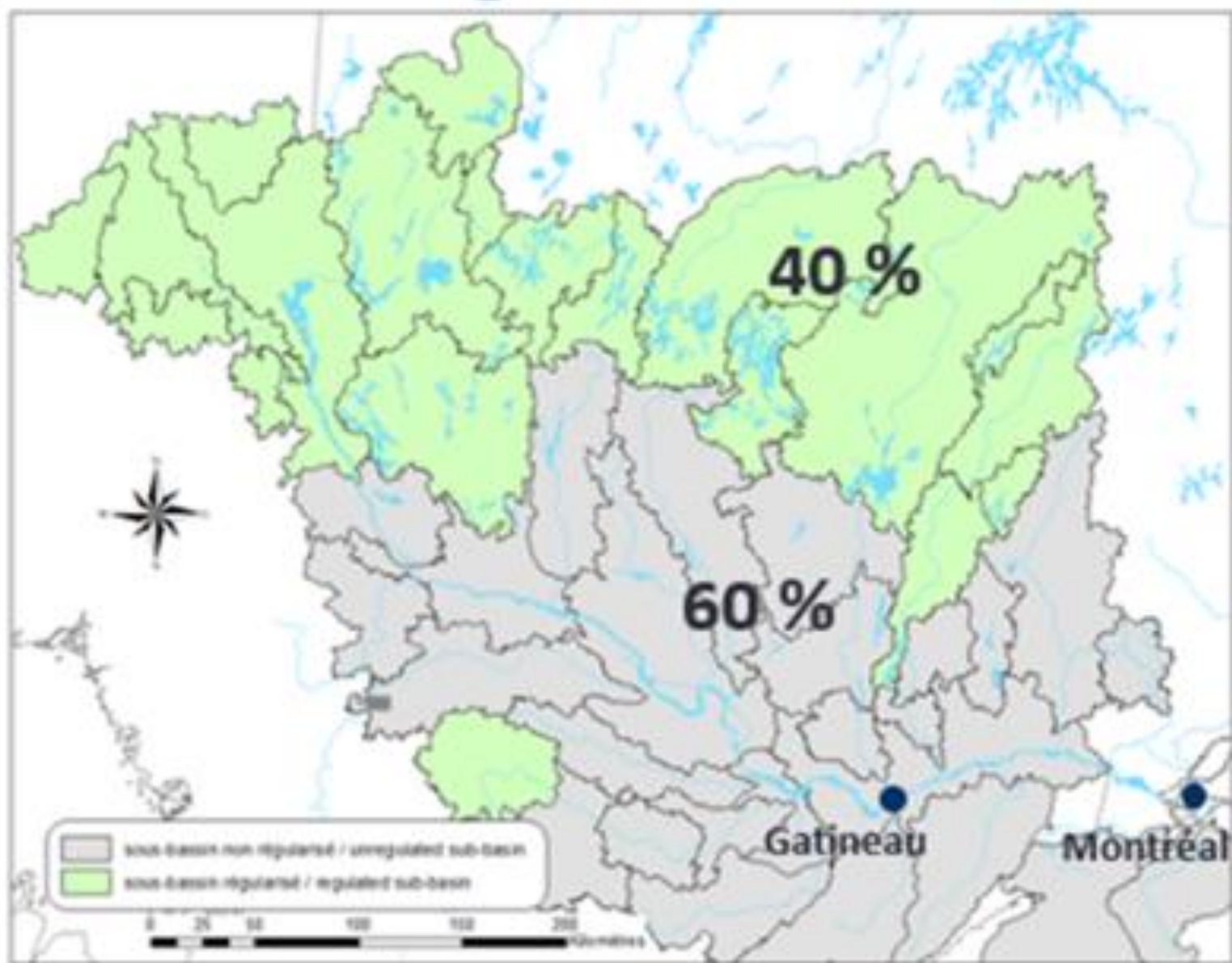
- Angleterre: 130 279 km²

- Gestion des crues

- Site intéressant

https://fr.wikipedia.org/wiki/Crue_centennale





An aerial photograph of a large industrial or utility site. In the foreground, there are several large, dark-roofed buildings, possibly storage or processing units. A blue container is visible near a road. The site is surrounded by green trees and grass. In the background, a large body of water (likely a lake or reservoir) stretches across the horizon, with distant hills visible under a clear sky.

Des questions ?

Jonathan Drouin

Drouin.jonathan3@hydroquebec.com