

L'ÉLECTRICITÉ

APERÇU DU REGROUPEMENT

Dans le présent regroupement, l'élève approfondit son étude des circuits électriques, amorcée en 9^e année. L'induction d'un courant électrique sera aussi étudiée, ainsi que la production, la transmission et la distribution d'électricité au Manitoba.

CONSEILS D'ORDRE GÉNÉRAL

En 9^e année, les élèves ont conceptualisé la résistance à l'aide du modèle particulaire de l'électricité. Ils ont décrit qualitativement la relation entre le courant, la tension et la résistance dans un circuit électrique simple, sans toutefois effectuer des calculs à partir de la loi d'Ohm. Les élèves ont aussi étudié le concept de différence de potentiel électrique. En physique 12^e, on s'attend que les élèves puissent effectuer des calculs avec la loi d'Ohm.

En 9^e année, les élèves ont construit des circuits simples en parallèle et en série. Ils ont aussi mesuré la différence de potentiel, le courant et la résistance à l'aide d'instruments. En physique 12^e, on s'attend que les élèves puissent construire des circuits plus complexes et faire une analyse quantitative de ces circuits.

En physique 11^e année, les élèves ont tracé des diagrammes de champs magnétiques. Ils ont aussi décrit de façon qualitative le champ magnétique autour d'un conducteur ainsi que le champ magnétique produit par un solénoïde. Au regroupement 2, on a introduit quantitativement le concept de différence de potentiel, qui sera approfondi lors de ce regroupement.



BLOCS D'ENSEIGNEMENT SUGGÉRÉS

Afin de faciliter la présentation des renseignements et des stratégies d'enseignement et d'évaluation, les RAS de ce regroupement ont été disposés en **blocs d'enseignement**. À souligner que, tout comme le regroupement lui-même, les blocs d'enseignement ne sont que des pistes suggérées pour le déroulement du cours de physique. L'enseignant peut choisir de structurer son cours et ses leçons en privilégiant une autre approche. Quoi qu'il en soit, les élèves doivent réussir les RAS prescrits par le Ministère pour la physique 12^e année.

Outre les RAS propres à ce regroupement, plusieurs RAS transversaux de la physique 12^e année ont été rattachés aux blocs afin d'illustrer comment ils peuvent s'enseigner pendant l'année scolaire.

	Titre du bloc	RAS inclus dans le bloc	Durée suggérée
Bloc A	Le courant électrique	P12-3-01, P12-0-2c,	60 à 90 min
Bloc B	La loi d'Ohm	P12-3-02, P12-0-1a, P-12-0-1b, P12-0-1c, P12-0-1d	140 à 160 min
Bloc C	La résistance	P12-3-03, P12-0-2e, P12-0-2g	120 à 140 min
Bloc D	Les circuits électriques	P12-3-04, P12-3-05, P12-3-06, P12-0-2d, P12-0-4a	120 à 140 min
Bloc E	L'induction électromagnétique	P12-3-07, P12-3-08, P12-3-09, P12-3-10, P12-0-2c	120 à 140 min
Bloc F	Les génératrices à courant alternatif	P12-3-11, P12-3-12, P12-0-3b	60 à 90 min
Bloc G	Les transformateurs	P12-3-13, P12-3-14	60 à 90 min
Bloc H	L'électricité au Manitoba	P12-3-15, P12-0-2i, P12-0-3c, P12-0-4d	120 à 140 min
	<i>Récapitulation et objectivation pour le regroupement en entier</i>		100 à 120 min
	Nombre d'heures suggérées pour ce regroupement		24 à 32 h



Ressources éducatives pour l'enseignant

Vous trouverez ci-dessous une liste de ressources éducatives qui se prêtent bien à ce regroupement. Il est possible de se procurer la plupart de ces ressources à la Direction des ressources éducatives françaises (DREF) ou de les commander auprès du Centre des manuels scolaires du Manitoba (CMSM).

[R] indique une ressource recommandée

LIVRES

Éléments de physique: cours d'introduction, de David G. Martindale et Lise Malo, Éd. de la Chenelière/McGraw-Hill (1992). ISBN 2-89310-085-6. DREF 530/M384e.

Éléments de physique: cours d'introduction – Guide d'enseignement, de David G. Martindale, Éd. de la Chenelière/McGraw-Hill (1994). ISBN 2-89310-173-9. DREF 530/M384e.

En quête des phénomènes électriques (Module 2), de Louis Daigle, collection Sciences physiques 416-436, Éd. HRW (1991). ISBN 0-03-926757-1. DREF 530 D827e 02.

En quête – Guide d'enseignement, Module 2, de Louis Daigle, Éd. HRW(1992). ISBN 0-03-926758-X. DREF 530 G827e 02. [beaucoup d'articles et d'activités]

[R] **L'enseignement des sciences de la nature au secondaire : Une ressource didactique**, d'Éducation et Formation professionnelle Manitoba (2000). ISBN 0-7711-2139-3. DREF PD. CMSM 93965. [stratégies de pédagogie différenciée]

Physique 2 – Électricité et magnétisme, de Harris Benson et autres, Éd. du Renouveau pédagogique (1999). ISBN 2-7613-1041-2. DREF 530 B474p 02.

[R] **Physique 11 – Guide d'enseignement (avec réponses sur cédérom)**, d'Igor Nowikow et Brian Heimbecker, Éd. de la Chenelière/McGraw-Hill (2002). ISBN 2-89310-873-3. DREF 530 N948p. CMSM 92898.

[R] **Physique 11 – Manuel de l'élève**, d'Igor Nowikow et Brian Heimbecker, Éd. de la Chenelière/McGraw-Hill (2002). ISBN 2-89310-872-5. DREF 530 N948p. CMSM 92303.

[R] **Physique 11-12 – Banque d'évaluation informatisée**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2009). ISBN 978-2-7650-2451-4. DREF 530 A82p.

[R] **Physique 11-12 – Banque d'images**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2009). ISBN 978-2-7650-2452-1. DREF 530 A82p. CMSM 96138.

[R] **Physique 11-12 – Guide d'enseignement 11^e année**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2007). ISBN 978-2-7650-1702-8. DREF 530 A82p. CMSM 96135.

[R] **Physique 11-12 – Guide d'enseignement 12^e année**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2007). ISBN 978-2-7650-1975-6. DREF 530 A82p. CMSM 96136.



- [R] **Physique 11-12 – Manuel de l'élève**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2008). ISBN 978-2-7650-1703-5. DREF 530 A82p. CMSM 97717.
- [R] **Physique 11-12 – Recueil de solutions**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2009). ISBN 978-2-7650-2453-8. DREF 530 A82p. CMSM 96137.
- [R] **Physique 12 – Guide d'enseignement**, de Hirsch, A. et autres, Éd. Beauchemin (2002). ISBN 9782761615488. DREF 530 H669p 12. CMSM 92899.
- [R] **Physique 12 – Manuel de l'élève**, de Hirsch, A. et autres, Éd. Beauchemin (2002). ISBN 9782761615341. DREF 530 H669p 12. CMSM 92681.
- [R] **Physique 12 – Matériel reproductible**, de Hirsch, A. et autres, Éd. Beauchemin (2002). ISBN 9782761615495. DREF 530 H669p 12. CMSM 92863.
- [R] **Physique 12 – Solutionnaire**, de Hirsch, A. et autres, Éd. Beauchemin (2002). ISBN 9782761615501. DREF 530 H669p 12. CMSM 92864.
- La physique et le monde moderne**, d'Alan Hirsch et Michèle Lemaître, Éd. Guérin (1991). ISBN 2-7601-2400-2. DREF 530.0202/H669p.
- Principes fondamentaux de la physique: un cours avancé**, de Martindale, Heath et Eastman, Éd. Guérin (1992). ISBN 2-7601-2445-2. DREF 530 M384p.
- L'histoire de l'électricité au Manitoba**, de Manitoba Hydro. DREF 354.49097127 E38.
[50 pages illustrées; gratuit]
- [R] **La sécurité en sciences de la nature : Un manuel ressource**, d'Éducation et Formation professionnelle Manitoba (1999). ISBN 0-7711-2136-9. DREF P.D. CMSM 91719.

AUTRES IMPRIMÉS

L'Actualité, Éditions Rogers Media, Montréal (Québec). DREF PÉRIODIQUE. [revue publiée 20 fois l'an; articles d'actualité canadienne et internationale]

Ça m'intéresse, Prisma Presse, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; beaucoup de contenu STSE; excellentes illustrations]

Découvrir : la revue de la recherche, Association francophone pour le savoir, Montréal (Québec). DREF PÉRIODIQUE [revue bimestrielle de vulgarisation scientifique; recherches canadiennes]

Fiches de renseignements sur les centrales de Manitoba Hydro, Manitoba Hydro. [Brandon, Dorsey, Grand Rapids, Great Falls, Jenpeg, Kelsey, Kettle, Limestone, Long Spruce, McArthur, Fleuve Nelson, Pine Falls, Radisson, Seven Sisters, Selkirk, rivière Winnipeg; distribution gratuite]



Pour la science, Éd. Bélin, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE [revue mensuelle; version française de la revue américaine *Scientific American*]

La production de l'électricité, Manitoba Hydro. [brochure gratuite de 12 pages]

La province de l'hydroélectricité, Manitoba Hydro. [brochure au sujet de réseaux de production, de transport et de distribution de l'électricité; distribué gratuitement]

[R] **Québec Science**, La Revue Québec Science, Montréal (Québec). DREF PÉRIODIQUE. [revue publiée 10 fois l'an]

[R] **Science et vie junior**, Excelsior Publications, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; excellente présentation de divers dossiers scientifiques; explications logiques avec beaucoup de diagrammes]

[R] **Science et vie**, Excelsior Publications, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; articles plus techniques]

Sciences et avenir, La Revue Sciences et avenir, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; articles détaillés] <www.sciences-et-avenir.com>

VIDÉOCASSETTES ET DVD

Cas d'urgence à Manitoba Hydro : lignes CCHT, Manitoba Hydro (1996). [35 min; description de la tempête du 5 septembre 1996 dans les environs de Grosse Isle et des dommages encourus par le réseau de transmission en courant continu à haute tension de Manitoba Hydro; comprend des entrevues avec des employés de Manitoba Hydro qui ont su maîtriser la situation]

Électricité, TVOntario (1988). [6 épisodes de 10 min; cette série aborde les principes essentiels de l'électrostatique et de l'électricité dynamique par le biais du dessin animé. Les trois premières émissions sur l'électrostatique examinent les concepts de charge par contact et par induction. Les trois dernières, portant sur l'électricité dynamique, illustrent des notions telles que la charge électrique, le courant, la différence de potentiel et la résistance.]

L'électricité et le magnétisme, collection Science physique (1985). DREF JHCR/V7561. [15 min, applications pratiques de la relation entre l'électricité et le magnétisme]

Électricité courante et statique, collection Science physique, Prod. Coronet (1985). DREF JHDR / V7560. [16 min; charges par induction; applications électrostatiques; comparaisons entre charges statiques et courant électrique]

Énergie, collection In situ (2002). DREF 67248/V0868. [50 min; 13 films de courte durée : Réfrigérateur, Moteur à explosion, Turboréacteur, Four à micro-ondes. Combustion et chaleur, Biocarburant, Transformation d'énergie, Énergie renouvelable, Panneau solaire, Centrale électrique, Fission thermonucléaire, Fusion thermonucléaire, Combustible nucléaire]



L'histoire de Limestone : l'énergie venant du nord, Manitoba Hydro (1993). [18 min; planification et construction de l'un des plus importants projets hydroélectriques entrepris au Manitoba – comprend des illustrations et des séquences animées]

Pour électrons seulement, Prod. Hydro-Québec (1986). ISBN 255017223X. DREF 42890 / V8775. [24 min; nature et production de l'électricité; courant, centrales et turbines, champ magnétique, électroaimants; guide pédagogique]

Pour en savoir plus sur l'hydroélectricité, Hydro-Québec (1993). DREF 42889 / V4111. [17 min; construction d'un barrage, assemblage d'un groupe turbine, alternateur; montre la construction d'un barrage et la production de l'électricité]

La production de l'électricité, Manitoba Hydro (1998). DREF 47072 / V6612. [28 min; 1^{re} partie : la production de l'électricité à partir du monde subatomique jusqu'à la centrale hydro-électrique; 2^e partie : acheminement de l'électricité grâce au réseau de lignes de Manitoba Hydro]

MATÉRIEL DIVERS

Multimètre économique. DREF M.-M. 621.37 M961.

Multimètre de luxe. DREF M.-M. 621.37 M961.

DISQUES NUMÉRISÉS ET LOGICIELS

Physique 12 – Banque de questions informatisées, Éditions Beauchemin (2002). ISBN 9782761615518. DREF 530 H669p 12.

Évalutel Sciences Physiques. Électricité, de Charles Chahine et autres, Prod. Evalutel Multimédia (1997). ISBN 291229102X. DREF CD-ROM 537 E92.

La physique par l'expérience : simulations, Prod. Sciensoft (1998), DREF CD-ROM 530 S416.

SITES WEB

Agence Science-Press. <<http://www.sciencepresse.qc.ca>> (novembre 2000). [excellent répertoire des actualités scientifiques issues de nombreuses sources internationales; dossiers très informatifs]

Analogies sur les circuits électriques. <<http://mendeleiev.cyberscol.qc.ca/carrefour/rescol2000/circuits/alb1-analogies.html>> (juillet 2009). [site qui comprend plusieurs analogies conçues par des élèves]



Animations en sciences physiques – électromagnétisme.

<<http://dmentrard.free.fr/GEOGEBRA/Sciences/accueilsctie.htm>> (juillet 2009). [série d'animation sur les concepts d'électromagnétisme]

Animations en sciences physiques – électrostatique, électricité et électronique.

<<http://dmentrard.free.fr/GEOGEBRA/Sciences/accueilsctie.htm>> (juillet 2009). [série d'animations sur les circuits électriques]

Association canadienne de l'électricité. <<http://www.electricity.ca/accueil.php?lang=fr>> (juillet 2009). [site Web; actualités, technologies, enjeux environnementaux, entreprises membres]

Calculs d'intensité et de tension.

http://www.sciences.univnantes.fr/physique/perso/gtulloue/Elec/Circuits/calcul_circuit.html> (juillet 2009). [exercices - circuits électriques]

Champ magnétique d'un courant électrique. <http://www.walter-fendt.de/ph14f/mfwire_f.htm> (juillet 2009). [animation]

Les circuits électriques. <<http://www.fsg.ulaval.ca/opus/scphys4/module2/obj3.shtml>> (juillet 2009). [information et exercices]

Circuits simples en courant alternatif. <http://www.walter-fendt.de/ph14f/accircuit_f.htm> (juillet 2009). [animation]

Effets macroscopiques de la loi de Lenz. <<http://rleb07.free.fr/culture/lenz.html>> (juillet 2009).

Électromagnétisme.

<http://www.learnalberta.ca/content/sfp30/html/authorware/Web/EM_Web/index.html> (juillet 2009). [animation, règles de la main gauche et de la main droite].

Force agissant sur un fil.

<http://www.learnalberta.ca/content/sfp30/html/authorware/Web/FoW_Web/index.html> (juillet 2009). [force électromagnétique]

Force s'exerçant sur une charge.

<http://www.learnalberta.ca/content/sfp30/html/authorware/Web/FoC_Web/index.html> (juillet 2009). [En utilisant les règles de la main, permet d'explorer la direction de la force qui agit sur une particule chargée lorsqu'elle passe dans un champ magnétique].

Générateur. <http://www.walter-fendt.de/ph14f/generator_f.htm> (juillet 2009). [animation]

[R] **Hydro Manitoba.** <<http://www.hydro.mb.ca/francais/>> (juillet 2009).

L'intensité. <<http://olical.free.fr/intintro.swf>> (juillet 2009). Explication du courant électrique à l'aide d'une analogie. Exercices]



L'intensité du courant électrique. <<http://phys.free.fr/intensi.htm>> (juillet 2009). [animations et exercices]

[R] **Loi d'Ohm.** <http://www.walter-fendt.de/ph14f/ohmslaw_f.htm> (juillet 2009). [animation]

[R] **Loi de Lenz.** <<http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/electri/lenz.html>> (juillet 2009). [animation]

Loi de Lenz : Phénomène d'induction.

<http://www.educnet.education.fr/rnchimie/phys/electros_m/lenz/lenz.htm> (juillet 2009).

Moteur électrique. <http://www.walter-fendt.de/ph14f/electricmotor_f.htm> (juillet 2009). [animation]

La production de l'électricité.

<http://www.hydro.mb.ca/francais/corporate/facilities/gi_producing_electricity.shtml#howdoes> (juillet 2009).

Quelles sont les lampes allumées? <<http://olical.free.fr/allouet.swf>> (juillet 2012). [exercices sur les circuits électriques]

Schématisation. <<http://olical.free.fr/index2.htm>> (juillet 2012). [exercices de schématisation de circuits électriques]

La tension. <<http://olical.free.fr/tenintro.swf>> (juillet 2009). [Explication de la tension (différence de potentiel) à l'aide d'une analogie]

La tension électrique. <<http://phys.free.fr/tension.htm>> (juillet 2009). [animations, analogies et exercices]

Utiliser un multimètre. <<http://www.ideesmaison.com/Bricolage/Electricite/Appareils-de-mesure/Utiliser-un-multimetre.html>> (juillet 2009).

Volta électricité. <<http://www.volta-electricite.info/index.php?lng=fr>> (juillet 2009).

LIEUX ET ÉVÉNEMENTS

Manitoba Hydro, Winnipeg et autres endroits (Manitoba). [société d'état qui produit de l'hydroélectricité; visites guidées à diverses centrales]





RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE SPÉCIFIQUES THÉMATIQUES

L'élève sera apte à :

- P12-3-01 décrire l'origine du courant conventionnel et comparer sa direction à la direction du flux d'électrons dans un conducteur;
RAG : C8
- P12-3-02 décrire des découvertes historiques ayant mené à la loi d'Ohm, entre autres la contribution de Gray, d'Ohm, de Joule et de Kirchhoff;
RAG : A4, B1
- P12-3-03 étudier la relation entre la résistance et la résistivité, la longueur, la coupe transversale et la température,
entre autres $R = \frac{\rho L}{A}$;
RAG : C2, C3, D4
- P12-3-04 construire des circuits électriques à partir de schémas pour des circuits en série, des circuits en parallèle et des circuits combinés,
entre autres le placement correct des ampèremètres et des voltmètres;
RAG : C3, D4, E4
- P12-3-05 calculer la résistance totale de résistances en série et en parallèle;
RAG : C2, D4
- P12-3-06 calculer la résistance, le courant, la tension et la puissance de circuits en série, de circuits en parallèle et de circuits combinés,
entre autres $P = IV$, $P = I^2R$, et $P = \frac{V^2}{R}$;
RAG : C2, D4
- P12-3-07 définir le flux magnétique ($\Phi = \vec{B}A$);
RAG : D4
- P12-3-08 démontrer de quelle façon une variation du flux magnétique induit une différence de potentiel électrique;
RAG : D4
- P12-3-09 calculer l'intensité du potentiel électrique induit dans des bobines au moyen de l'équation $V = \frac{N\Delta\Phi}{\Delta t}$;
RAG : D4
- P12-3-10 énoncer la loi de Lenz et l'appliquer à des problèmes connexes;
RAG : C2, D4



- P12-3-11 décrire le fonctionnement d'une génératrice à courant alternatif;
RAG : D4
- P12-3-12 tracer un graphique du potentiel électrique en fonction de l'angle pour le cycle de courant alternatif;
RAG : C6, D4
- P12-3-13 décrire le fonctionnement d'un transformateur;
RAG : A5, D4
- P12-3-14 résoudre des problèmes au moyen du rapport de transformation de $\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$;
RAG : D4
- P12-3-15 décrire la production, la transmission et la distribution d'électricité au Manitoba, entre autres les transformateurs survolteurs et dévolteurs, le transfert d'alimentation, le courant continu à haute tension.
RAG : A3, D4



Bloc A Le courant électrique

L'élève sera apte à :

P12-3-01 décrire l'origine du courant conventionnel et comparer sa direction à la direction du flux d'électrons dans un conducteur;

RAG : C8

P12-0-2c formuler des définitions opérationnelles de variables ou de concepts importants.

RAG : A2, C8

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Activer les connaissances antérieures des élèves sur le courant électrique en leur posant les questions suivantes:

- *Quel est le modèle du fluide unique de l'électricité?* (Un objet neutre est doté d'une quantité naturelle de fluide électrique. Un objet chargé contient soit trop de fluide ou pas assez.)
- *Quel est le modèle des deux fluides de l'électricité?* (Un objet neutre contient une quantité égale de chaque fluide, l'un étant positif, l'autre étant négatif. Un objet chargé contient plus de l'un ou de l'autre des deux fluides.)
- *Quel est le modèle particulière de l'électricité?* (Il existe deux types de particules : positives et négatives. Un objet chargé contient des particules de plus de l'un ou de l'autre des deux types.)
- *C'est quoi un courant électrique?* (Un courant électrique est un transfert continu de charges électriques.)

En 9^e année, les élèves ont étudié l'électrostatique ainsi que le modèle particulaire de l'électricité. Selon ce modèle, seules les charges négatives se déplacent dans un conducteur.

En quête

Enseignement direct – Le courant conventionnel et le courant électronique

Expliquer aux élèves que lorsque Benjamin Franklin propose son modèle de l'électricité à un fluide, il explique que le « fluide » électrique se déplace d'une région où il y a trop de fluide vers une région où il n'y a pas assez de fluide. Il appelle la région où il y a un excès de fluide la région positive, et celle où il y a un manque de fluide, la région négative. Selon cette théorie, l'électricité se déplace d'une région positive vers une région négative. On appelle ceci le « courant conventionnel ». Ce n'est que plusieurs années plus tard qu'on découvre que ce sont les électrons qui se déplacent dans les conducteurs métalliques. Ce mouvement se nomme « courant électronique » ou « flux d'électrons ». Plusieurs textes de physique utilisent encore le courant conventionnel et un ensemble correspondant de règles de la main droite. Chaque système permet d'expliquer la relation entre l'électricité et le magnétisme.



En fin



Inviter les élèves à consolider leur compréhension des termes suivants au moyen du procédé tripartite (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 10.9, 10.10 et 10.22): *courant électronique, courant conventionnel*.



Stratégies d'évaluation suggérées



Inviter les élèves à relever, à l'aide d'un cadre de comparaison, les ressemblances et les différences entre le courant conventionnel et le courant électrique (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 10.15-10.18 et p. 10.24).



Bloc B La loi d'Ohm

L'élève sera apte à :

- P12-3-02** décrire des découvertes historiques ayant mené à la loi d'Ohm, entre autres la contribution de Gray, d'Ohm, de Joule et de Kirchhoff;
RAG : A4, B1
- P12-0-1a** expliquer le rôle que jouent les théories, les données et les modèles dans l'élaboration de connaissances scientifiques;
RAG : A2
- P12-0-1b** décrire l'importance de la revue par des pairs dans l'évaluation et l'acceptation de théories, de données et d'affirmations;
RAG : A4, B1
- P12-0-1c** rattacher l'historique des idées scientifiques et de la technologie à la forme et à la fonction du savoir scientifique actuel;
RAG : B1
- P12-0-1d** décrire comment des connaissances scientifiques évoluent à la lumière de nouvelles données et à mesure que de nouvelles idées et de nouvelles interprétations sont avancées.
RAG : A1, A2

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Activer les connaissances antérieures des élèves sur la résistance en les invitant à répondre aux questions à choix multiples suivantes :

- a) *Dans un circuit où la résistance est la même, le courant augmente si...*
- la tension augmente*
 - la tension diminue*
 - l'énergie est la même*
- b) *Dans un circuit où la tension est la même, le courant augmente si...*
- la résistance augmente*
 - la résistance diminue*
 - la résistance est la même*

En 9^e année, les élèves ont conceptualisé la résistance à l'aide du modèle particulière de l'électricité. Ils ont décrit qualitativement la relation entre le courant, la tension et la résistance dans un circuit électrique simple, sans toutefois effectuer des calculs à partir de la loi d'Ohm. Les élèves ont aussi étudié le concept de différence de potentiel électrique. En physique 12^e, on s'attend que les élèves puissent effectuer des calculs avec la loi d'Ohm.



- c) Dans un circuit, la luminosité des ampoules est un indice de...
- l'énergie électrique produite par les ampoules qui perdent leurs électrons.
 - l'énergie produite par les ampoules à partir de l'énergie potentielle des électrons
 - l'énergie chimique que les ampoules transforment en énergie électrique

OU

2

Construire des circuits qui contiennent les éléments suivants :

- a) une ampoule et une pile;
- b) une ampoule et deux piles;
- c) deux ampoules et une pile.

Inviter les élèves à formuler des questions ou des énoncés sur ces circuits en utilisant les termes suivants : *intensité du courant, tension, résistance et énergie potentielle.*

En quête

Recherche – Les travaux de Gray et de Cavendish

Inviter les élèves à s'informer sur les contributions de divers scientifiques qui ont contribué à notre compréhension de l'électricité (voir ☞ l'annexe 1). Mener des démonstrations ou inviter les élèves à poursuivre quelques-unes des expériences de Stephen Gray (voir ☞ l'annexe 2).

Expérience – La loi d'Ohm et de Joule

Proposer aux élèves de reprendre les expériences d'Ohm et de Joule (voir ☞ l'annexe 3 et ☞ l'annexe 4). Leur indiquer qu'ils doivent compléter un rapport d'expérience (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 11.28, 11.29, 11.38 et 11.39).

Enseignement direct – les travaux de Kirchhoff

Présenter aux élèves les travaux de Kirchhoff. Des renseignements pour l'enseignant figurent à ☞ l'annexe 5. Inviter les élèves à expliquer le raisonnement de Kirchhoff dans leurs propres mots.

On aborde souvent la loi d'Ohm en effectuant des expériences où l'on trace des graphiques de la différence de potentiel en fonction du courant. La pente de la droite donne la résistance et on peut donc établir la loi d'Ohm. Il s'agit ici d'un raisonnement circulaire puisque le voltmètre est calibré en fonction de la loi d'Ohm. Une représentation plus précise est l'approche historique qui débute avec la démonstration de Gray de la conduction électrique. Elle continue avec la découverte d'Ohm que le courant est inversement proportionnel à la résistance, le lien que fait Joule entre la puissance électrique et le courant et la résistance, et se termine avec la synthèse de Kirchhoff de l'électrostatique et des travaux d'Ohm et de Joule. Une fois que le développement historique de la loi d'Ohm est terminé, on peut effectuer les expériences traditionnelles de la loi d'Ohm, qui ne sont pas une preuve de cette loi, mais qui sont utiles car les élèves pratiquent la construction de circuits et l'utilisation de voltmètres et d'ampèremètres. Il est possible aussi d'utiliser une simulation telle que celle sur le site Internet : http://www.walter-fendt.de/ph14f/ohmslaw_f.htm

Résolution de problèmes – la loi d'Ohm

Inviter les élèves à résoudre des problèmes reliés à la loi d'Ohm (voir *Physique 11*, p. 576). Réviser les problèmes avec les élèves pour vérifier leur compréhension. Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur.



En fin

❶

Inviter les élèves à expliquer la relation entre la différence de potentiel, le courant et la résistance dans leur carnet scientifique.

OU

❷

Inviter les élèves à consacrer une page de leur carnet scientifique aux formules de physique et à y inscrire la formule : $R = \frac{V}{I}$

Stratégies d'évaluation suggérées

❶

Évaluer le rapport d'expérience des élèves à l'aide d'une grille d'évaluation (voir  l'annexe 18 du regroupement 1). Porter une attention particulière à la présentation des données et à l'interprétation des régularités et des tendances dans les données.

❷

Évaluer les habiletés en laboratoire des élèves (voir les  annexes 19 et 20 du regroupement 1).

❸

Inviter les élèves à compléter le tableau de  l'annexe 6.



Bloc C La résistance

L'élève sera apte à :

P12-3-03 étudier la relation entre la résistance et la résistivité, la longueur, la coupe transversale et la température,

$$\text{entre autres } R = \frac{\rho L}{A},$$

RAG : C2, C3, D4

P12-0-2e évaluer la pertinence, la fiabilité et l'adéquation de données et de méthodes de collecte de données,

entre autres les sources d'erreur et l'écart dans les résultats;

RAG : C5, C8

P12-0-2g Inférer et calculer des relations directes, des relations proportionnelles au carré et des relations inversement proportionnelles entre des variables à l'aide de modèles mathématiques.

RAG : C3, C8

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

1

Inviter les élèves à comparer un tuyau d'eau à un circuit électrique. Les questions suivantes peuvent servir de guide :

- *Dans un tuyau, qu'est-ce qui cause le débit de l'eau? Dans un circuit électrique, qu'est-ce qui cause le débit des électrons?*
- *Quel serait l'effet d'une augmentation de la longueur d'un tuyau sur le débit de l'eau? Quel serait l'effet d'une augmentation de la longueur d'un conducteur sur le mouvement des électrons?*
- *Quel serait l'effet d'une augmentation du diamètre du tuyau sur le débit de l'eau? Quel serait l'effet d'une augmentation de la section transversale d'un conducteur sur le mouvement des électrons?*

La résistance d'un conducteur électrique dépend de plusieurs facteurs :

- la résistivité : La résistivité, représentée par la lettre grecque ρ , dépend du type de matière ainsi que de la température. À des températures plus élevées, les atomes se déplacent plus rapidement, donc causent plus d'interférence au mouvement des charges.
La résistivité est une indication de la résistance de la matière au mouvement de charges. On la représente par l'unité $\Omega \cdot m$.
- La longueur : la résistance est directement proportionnelle à la longueur d'un conducteur. Les charges doivent se déplacer à travers une plus grande quantité de matière si le conducteur est plus long. La longueur est mesurée en mètres.
- La section transversale : Un conducteur avec une plus grande section transversale est moins résistant au mouvement de la charge qu'un conducteur avec une section transversale moins grande. Il y a plus d'espace pour permettre aux charges de se déplacer. La section est mesurée en m^2 .

On combine ces facteurs pour déterminer la résistance de tout conducteur: $R = \frac{\rho L}{A}$.



En quête

Expérience – La relation entre la longueur d'un conducteur et sa résistance

Proposer aux élèves de concevoir et mener une expérience de laboratoire afin de déterminer la relation entre la longueur d'un conducteur et sa résistance ou la relation entre la section transversale d'un conducteur et sa résistance (voir  l'annexe 7). Des renseignements pour l'enseignant figurent à  l'annexe 8. On peut déterminer la résistance à l'aide de la loi d'Ohm ($R = \frac{V}{I}$).

En fin

①

Inviter les élèves à inscrire la formule de résistivité dans leur carnet scientifique.

OU

②

Inviter les élèves à essayer les expériences conçues par d'autres élèves afin de vérifier leur démarche, leurs allégations et leurs preuves.

Stratégies d'évaluation suggérées

①

Inviter les élèves à résoudre des problèmes à l'aide de la formule de résistivité (voir *Physique 11*, p. 558).

②

Afin de fournir des observations aux élèves en ce qui concerne leur méthodologie expérimentale, utiliser *l'échelle d'évaluation de la méthodologie expérimentale* (voir  l'annexe 9).

③

Évaluer les habiletés de laboratoire des élèves à l'aide des  annexes 19 et 20 du regroupement 1.



Bloc D Les circuits électriques

L'élève sera apte à :

- P12-3-04** construire des circuits électriques à partir de schémas pour des circuits en série, des circuits en parallèle et des circuits combinés,
entre autres le placement correct des ampèremètres et des voltmètres;
RAG : C3, D4, E4
- P12-3-05** calculer la résistance totale de résistances en série et en parallèle;
RAG : C2, D4
- P12-3-06** calculer la résistance, le courant, la tension et la puissance de circuits en série, de circuits en parallèle et de circuits combinés,
entre autres $P = IV$, $P = I^2R$, et $P = \frac{V^2}{R}$;
RAG : C2, D4
- P12-0-2d** estimer et mesurer avec exactitude, en utilisant les unités du Système international (SI);
RAG : C4, C6
- P12-0-4a** faire preuve d'habitudes de travail qui tiennent compte de la sécurité personnelle et collective, et qui témoignent de son respect pour l'environnement.
RAG : C1, C2

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête



Activer les connaissances antérieures des élèves sur les circuits électriques en les invitant à compléter l'exercice de  l'annexe 10 (le corrigé figure à  l'annexe 11). Réviser les problèmes avec les élèves pour vérifier leur compréhension. Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur.

En 9^e année, les élèves ont construit des circuits simples en parallèle et en série. Ils ont aussi mesuré la différence de potentiel, le courant et la résistance à l'aide d'instruments. La formule pour la puissance ($P = VI$) a été introduite en 9^e année. En physique 12^e, on s'attend que les élèves puissent construire des circuits plus complexes et faire une analyse quantitative de ces circuits.



En quête

Construction de circuits

Inviter les élèves à construire une variété de circuits à partir de schémas. Des renseignements au sujet des appareils de mesure figurent à  l'annexe 12. Lorsqu'ils sont confortables avec la construction de circuits, proposer aux élèves d'effectuer des expériences afin de déterminer les rapports entre le courant, la différence de potentiel et la résistance pour des circuits en série et en parallèle (voir  l'annexe 13 et  l'annexe 14, *Physique 11*, p. 579, *Éléments de physique*, p. 560-563 ou *Omnisciences 9*, p. 366 et 367). Demander aux élèves de préparer un rapport d'expérience qui présente un tableau de données et une analyse de leurs données.

Exercice – analyse de circuits

Inviter les élèves à faire des calculs pour le courant, la différence de potentiel, la résistance et la puissance de circuits en série, de circuits en parallèle et de circuits combinés (voir *Physique 11*, p. 559-569). Un exemple d'analyse de circuit figure à  l'annexe 15. Expliquer aux élèves que la loi de la puissance électrique ($P = VI$) peut être combinée avec la loi d'Ohm pour produire deux autres équations ($P = I^2R$, $P = \frac{V^2}{R}$) qui sont très utiles lorsqu'on fait l'analyse de circuits. Réviser les problèmes avec les élèves pour vérifier leur compréhension. Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur.

En fin

❶

Inviter les élèves à relever, à l'aide d'un cadre de comparaison, les ressemblances et les différences entre les circuits en série et les circuits en parallèle (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 10.15-10.18 et 10.24).

OU

❷

Inviter les élèves à créer leurs propres problèmes pour le courant, la différence de potentiel, la résistance et la puissance de circuits en série, de circuits en parallèle et de circuits combinés. Inviter les élèves à s'échanger leurs problèmes.

Stratégies d'évaluation suggérées

❶

Évaluer le rapport d'expérience des élèves à l'aide d'une grille d'évaluation (voir  l'annexe 18 du regroupement 1). Porter une attention particulière à l'organisation, à la présentation et à l'analyse des données.

❷

Évaluer les habiletés en laboratoire des élèves (voir les  annexes 19 et 20 du regroupement 1).

❸

Inviter les élèves à compléter le test de  l'annexe 16. Le corrigé figure à  l'annexe 17.



Bloc E L'induction électromagnétique

L'élève sera apte à :

- P12-3-07** définir le flux magnétique ($\Phi = \vec{B}A$);
RAG : D4
- P12-3-08** démontrer de quelle façon une variation du flux magnétique induit une différence de potentiel électrique;
RAG : D4
- P12-3-09** calculer l'intensité du potentiel électrique induit dans des bobines au moyen de l'équation
$$V = \frac{N\Delta\Phi}{\Delta t};$$

RAG : D4
- P12-3-10** énoncer la loi de Lenz et l'appliquer à des problèmes connexes;
RAG : C2, D4
- P12-0-2c** formuler des définitions opérationnelles de variables ou de concepts importants.
RAG : A2, C8

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Inviter les élèves à discuter la question suivante :

Nous avons vu en Physique 11^e année qu'un courant électrique produit un champ magnétique et qu'un champ magnétique exerce une force sur un courant électrique ou sur une charge électrique en mouvement. Serait-il donc possible de produire un courant électrique à l'aide d'un champ magnétique? Comment?

En physique 11^e année, les élèves ont tracé des diagrammes de champs magnétiques.

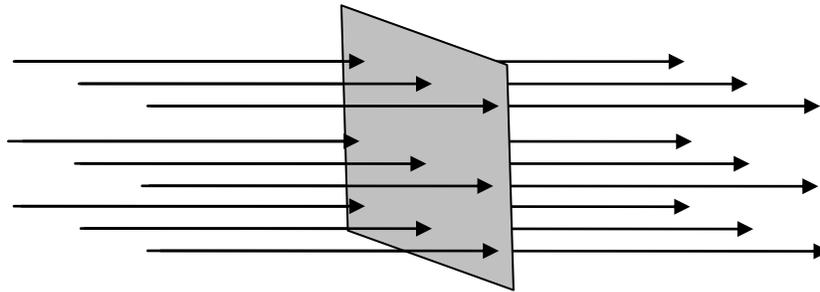


En quête

Enseignement direct – Le flux magnétique

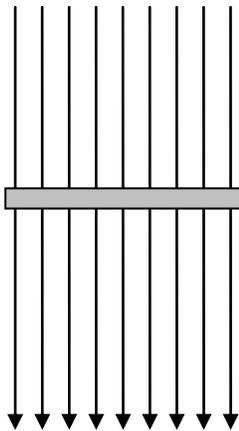
Expliquer aux élèves que le flux magnétique (Φ) représente le nombre de lignes de force magnétique qui traversent une surface donnée. Le nombre de lignes de force augmente si le champ augmente en intensité ou si la surface traversée par les lignes augmente en superficie. En termes mathématiques, on peut dire que $\Phi = B \perp A$ (B est mesuré en tesla et A en mètres carré) lorsque les lignes de champ traversent une surface à un angle de 90° . L'unité du SI pour le flux magnétique est le weber (Wb).

Dans le diagramme suivant, 9 lignes de champ magnétique traversent la surface à un angle de 90° .



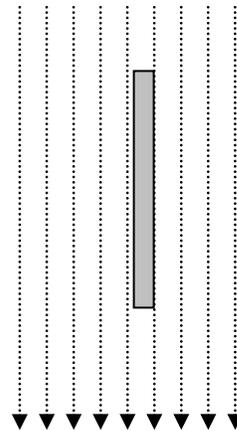
Voyons ce diagramme d'un autre angle. Lorsque le rectangle est perpendiculaire au champ magnétique, on voit clairement les 9 lignes de champ qui le traversent. Lorsqu'il est placé à un angle, le nombre de lignes de champ qui le traversent diminue. Lorsque le rectangle est parallèle au champ magnétique, aucune ligne de champ ne le traverse.

**lignes de force
perpendiculaires
à la surface**

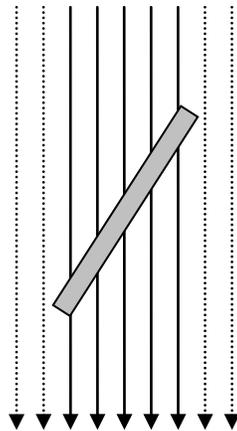


**9 lignes traversent
la surface**

**lignes de force
parallèles
à la surface**

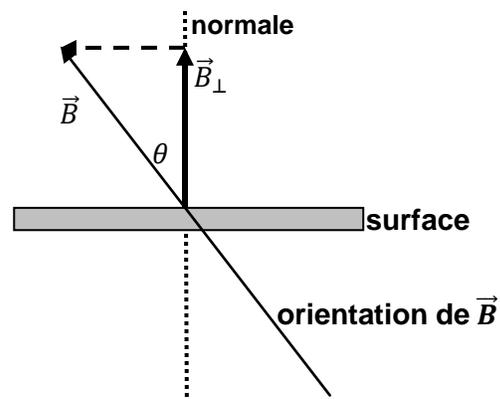
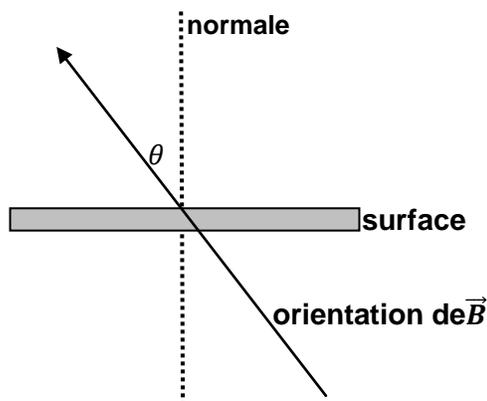


**0 lignes traversent
la surface**



**5 lignes traversent
la surface**

Lorsque les lignes de champ magnétique ne traversent pas une surface à un angle de 90° , seulement une partie du champ magnétique contribue au flux magnétique.



Dans la figure ci-haut, on peut voir la composante du champ magnétique qui est perpendiculaire à la surface. En utilisant la fonction du cosinus, on peut calculer la valeur du champ magnétique qui contribue au flux magnétique. On peut donc utiliser la formule $\Phi = BA \cos \theta$ (θ est l'angle entre le champ magnétique et la normale de la surface) pour calculer le flux magnétique.



Activité – L'induction électromagnétique

Inviter les élèves à brancher un solénoïde à un galvanomètre et à faire glisser un aimant droit à l'intérieur et à l'extérieur du solénoïde. Le potentiel électrique induit crée un courant qui peut être détecté avec le galvanomètre. Inviter les élèves à observer le résultat de différents mouvements avec l'aimant, par exemple déplacer l'aimant plus rapidement, placer le pôle sud en premier dans le solénoïde, sortir l'aimant, faire pénétrer l'aimant, déplacer le solénoïde au lieu de l'aimant, etc. (voir *Physique 11*, p. 629-630 ou *Physique 11-12*, p. 612). Demander aux élèves de noter leurs observations dans leur carnet scientifique. On peut aussi faire des observations à partir de simulations, par exemple celle sur le site *Web Loi de Lenz*:

<<http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/electri/lenz.html>> (Si l'aimant ne bouge pas, aucun courant n'est produit. Plus l'aimant se déplace rapidement, plus le courant induit est élevé. Inverser le pôle de l'aimant inverse aussi la direction du courant induit. Un courant est induit si on déplace l'aimant ou si on déplace le solénoïde.). Expliquer aux élèves qu'un courant est induit lorsqu'il y a une variation du flux magnétique. Il y a trois façons de faire varier le flux magnétique (voir ☺ l'annexe 18 pour des renseignements supplémentaires) :

1. faire varier le champ magnétique;
2. faire varier l'aire de la boucle;
3. changer l'angle entre le champ magnétique et la boucle.

Inviter les élèves à compléter l'exercice de ☺ l'annexe 19 (le corrigé figure à ☺ l'annexe 20). Réviser les problèmes avec les élèves pour vérifier leur compréhension. Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur.

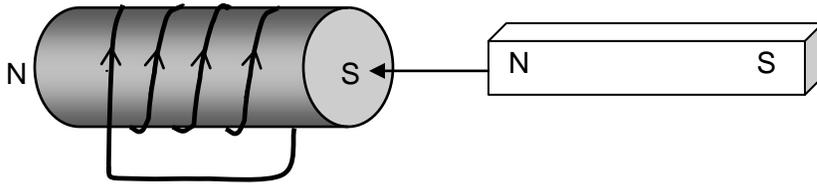
Enseignement direct – La loi de Faraday

Introduire la loi de Faraday aux élèves : *la différence de potentiel induite dans une bobine est directement proportionnelle au taux de variation du flux magnétique*. Pour un tour de bobine, $V = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.

Si la bobine comprend N nombre de tours, $V = \frac{N\Delta\Phi}{\Delta t}$. Si le taux de variation du flux est mesuré en webers/seconde, la différence de potentiel est mesurée en volts.

Expliquer aux élèves que la loi de Faraday permet de calculer la différence de potentiel induite dans une bobine. Cependant, elle ne nous permet pas de déterminer la direction de ce courant induit. La loi de Lenz nous permet de déterminer la direction d'un courant induit : *Le champ magnétique produit par un courant induit s'oppose toujours à la variation de flux qui le produit*. Ce phénomène est dû à la loi de conservation de l'énergie et signifie qu'un travail doit être effectué pour produire de l'énergie électrique dans un circuit. Si le champ magnétique était induit de façon à attirer l'aimant vers l'intérieur du solénoïde (voir l'illustration à la page qui suit), la vitesse de l'aimant augmenterait, ce qui créerait un courant plus intense, ce qui accroîtrait le champ magnétique induit, ce qui augmenterait la vitesse de l'aimant, et ainsi de suite. On pourrait donc produire de l'électricité sans travail, ce qui est impossible.



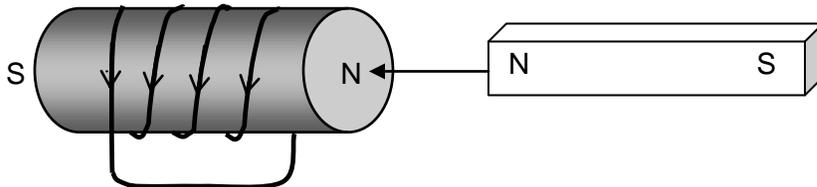


Le courant induit doit donc circuler de façon à créer un champ magnétique qui s'oppose au mouvement de l'aimant. Il faut donc effectuer un travail pour induire un courant. L'aimant perd de l'énergie en s'approchant du solénoïde et cette énergie est gagnée par le courant induit. Il n'y a donc ni perte, ni gain d'énergie.

C'est pour cela que l'on place un signe négatif devant la formule $\mathcal{V} = - \frac{N\Delta\Phi}{\Delta t}$. On

peut ensuite déterminer la direction du courant induit en utilisant la règle de la main gauche (courant électronique) ou de la main droite (courant conventionnel).

Des exemples de problèmes sur la loi de Faraday et de Lenz figurent à l'annexe 21.



Inviter les élèves à compléter l'exercice de l'annexe 22 sur la loi de Faraday et la loi de Lenz (le corrigé figure à l'annexe 23). Réviser les problèmes avec les élèves pour vérifier leur compréhension. Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur.

En fin

1

Inviter les élèves à ajouter les nouvelles formules à leur page consacrée aux formules de physique dans leur carnet scientifique.

OU

2

Inviter les élèves à utiliser le procédé tripartite (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 10.9, 10.10 et p. 10.22) afin de définir le flux magnétique.



Stratégies d'évaluation suggérées

❶

Ramasser les carnets scientifiques des élèves afin de vérifier leur compréhension des facteurs qui ont un effet sur un courant induit.

❷

Inviter les élèves à expliquer, à l'aide des lois de Faraday et de Lenz, leurs observations de l'activité avec le solénoïde et le galvanomètre.

❸

Inviter les élèves à compléter un test semblable aux exercices des  annexes 19 et 22.



Bloc F

Les génératrices à courant alternatif

L'élève sera apte à :

P12-3-11 décrire le fonctionnement d'une génératrice à courant alternatif;
RAG : D4

P12-3-12 tracer un graphique du potentiel électrique en fonction de l'angle pour le cycle de courant alternatif;
RAG : C6, D4

P12-0-3b décrire des exemples d'évolution de la technologie à la suite de progrès dans le savoir scientifique, et des exemples d'évolution du savoir scientifique résultant d'innovations technologiques.
RAG : A2, B2

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête



Faire allumer une ampoule à l'aide d'une génératrice manuelle. Poser les questions suivantes aux élèves :

- *Qu'arrive-t-il à l'ampoule si on tourne la manivelle plus rapidement? (L'intensité de la lumière augmente.)*
- *Quelle sorte d'énergie est convertie en énergie électrique? (L'énergie cinétique est convertie en énergie électrique.)*

S'il y a deux génératrices disponibles, les relier et inviter les élèves à expliquer pourquoi la manivelle d'une des génératrices tourne lorsqu'on tourne la manivelle de l'autre.

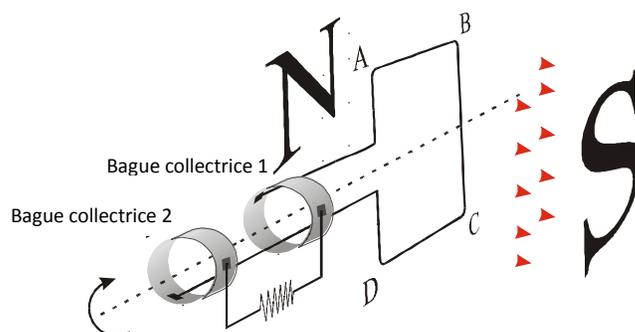


En quête

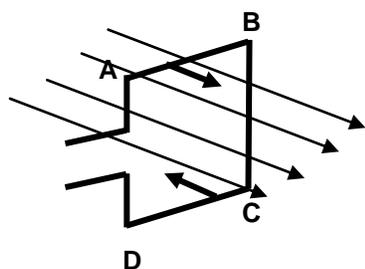
Enseignement direct – la génératrice à courant alternatif

Expliquer aux élèves comment fonctionne une génératrice à courant alternatif. Lorsqu'une bobine est en rotation dans un champ magnétique, elle « coupe » les lignes de champ à des angles différents et donc subit une variation de flux magnétique. Puisque la bobine est en rotation, son mouvement circulaire induit un courant électrique. Dans le diagramme ci-bas, l'armature (bobine de fil avec un noyau de fer doux) d'une génératrice à courant alternatif est représentée par une bobine rectangulaire aux côtés ABCD. Le côté AB est relié à la bague collectrice 1 et le côté CD est relié à la bague collectrice 2. Les bagues collectrices sont en contact avec des balais. Le circuit externe est connecté aux balais.

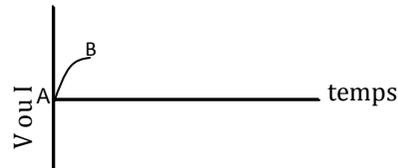
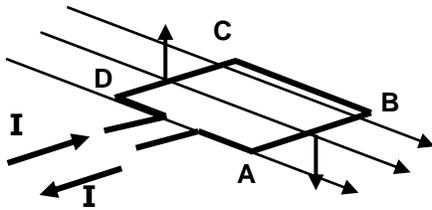
En général, les génératrices modernes tournent grâce à une action mécanique telle qu'une chute d'eau, le vent ou la vapeur.



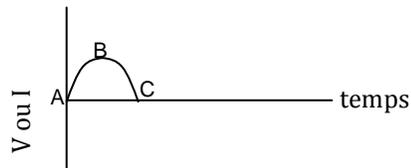
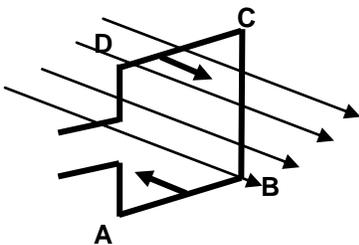
Lorsque la boucle est verticale comme sur l'illustration suivante, le courant est nul car le mouvement de la boucle est parallèle au champ magnétique. Aucune ligne de champ n'est coupée donc il n'y a pas de variation de flux magnétique.



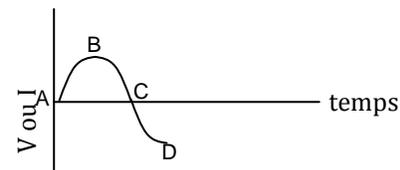
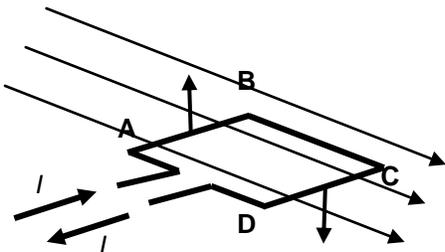
Lorsque la boucle tourne, les segments AB et CD coupent les lignes de champ magnétique et un potentiel est induit dans la boucle. Le courant induit passe d'une bague collectrice au balai puis dans le circuit externe pour revenir à l'autre balai et bague. Un circuit complet est formé. Puisque l'angle avec lequel les segments interagissent avec le champ magnétique varie, le potentiel induit varie aussi. La variation du flux magnétique atteint une intensité maximale lorsque la boucle est en position horizontale. Le potentiel est donc aussi à sa valeur maximum.



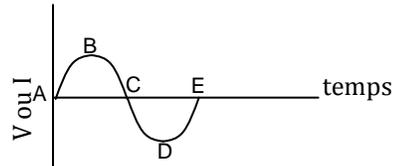
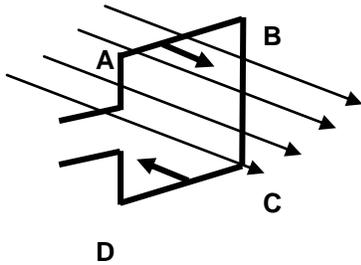
Quand la boucle continue à tourner, le flux diminue graduellement et est nul lorsque la boucle est verticale.



La boucle continue à tourner et le courant recommence à circuler, cette fois dans le sens opposé. Le flux est maximal lorsque la boucle est en position horizontale.

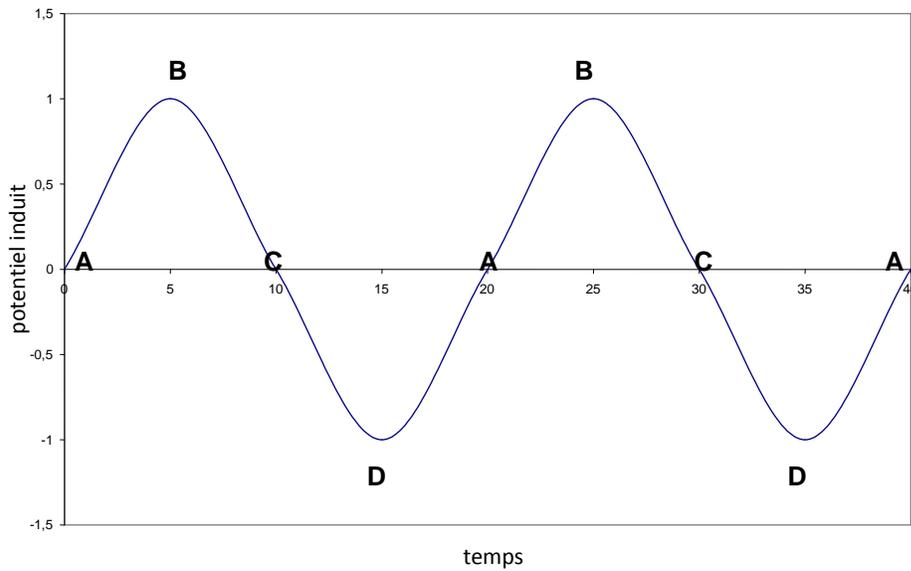


La boucle continue à tourner et le flux diminue graduellement. À la fin du premier tour, la bobine est à nouveau en position verticale et se déplace parallèlement aux lignes de champ magnétique. Le courant est donc nul. La boucle va continuer sa rotation grâce à l'action mécanique causée par le vent, l'eau ou la vapeur d'eau donc le cycle de courant induit se répète.



Un graphique du potentiel en fonction du temps donne une courbe sinusoïdale.

courbe sinusoïdale



En fin

①

Inviter les élèves à relever, à l'aide d'un cadre de comparaison (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p10.15-10.18 et p. 10.24), les ressemblances et les différences entre le moteur et la génératrice à courant alternatif.

OU

②

Inviter les élèves à faire une courte recherche afin d'identifier des technologies qui fonctionnent grâce à l'électromagnétisme (microphone, détecteur de métal, régulateurs automatiques de vitesse, train à sustentation magnétique, feux de circulation automatisés, cuisinière à induction, guitare électrique)

Stratégies d'évaluation suggérées

①

Inviter les élèves à compléter l'exercice de  l'annexe 24. Le corrigé figure à  l'annexe 25.



Bloc G Les transformateurs

L'élève sera apte à :

P12-3-13 décrire le fonctionnement d'un transformateur;

RAG : A5, D4

P12-3-14 résoudre des problèmes au moyen du rapport de transformation de $\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$.

RAG : D4

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Activer les connaissances antérieures des élèves sur l'induction électromagnétique en leur posant la question suivante :

- *Comment peut-on varier l'intensité d'un champ magnétique induit? (On peut augmenter l'intensité du courant ou augmenter le nombre de tours de fil.)*

En 11^e année, les élèves ont décrit de façon qualitative le champ magnétique autour d'un conducteur. Les élèves ont aussi décrit de façon qualitative le champ magnétique produit par un solénoïde.

En quête

Enseignement direct – Le fonctionnement d'un transformateur

Expliquer aux élèves comment fonctionne un transformateur (voir 📄 l'annexe 26 ou *Physique 11*, p. 615 – 620). Les inviter à résoudre des problèmes au moyen du rapport de transformation de $\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$ (voir 📄 l'annexe 27 ou *Physique 11*, p. 620). Le corrigé de 📄 l'annexe 27 figure à 📄 l'annexe 28.



En fin

①

Inviter les élèves à noter cette nouvelle formule dans leur carnet scientifique.

Stratégies d'évaluation suggérées

①

Inviter les élèves à compléter un test semblable à celui de  l'annexe 27.

②

Inviter les élèves à compléter un cadre de concept sur le transformateur (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p.11.20-11.22 et p. 11.36).



Bloc H L'électricité au Manitoba

L'élève sera apte à :

- P12-3-15** décrire la production, la transmission et la distribution d'électricité au Manitoba, entre autres les transformateurs survolteurs et dévolteurs, le transfert d'alimentation, le courant continu à haute tension;
RAG : A3, D4
- P12-0-2i** sélectionner et intégrer de l'information obtenue à partir d'une variété de sources, entre autres imprimées, électroniques, humaines;
RAG : C6, C8
- P12-0-3c** relever des enjeux d'ordre social liés aux sciences et à la technologie, en tenant compte des besoins humains et environnementaux et des considérations éthiques;
RAG : B3, B5
- P12-0-4d** acquérir un sens de responsabilité personnelle et collective au regard de l'impact des êtres humains sur l'environnement, et prendre en considération les conséquences d'actions prévues sur la société et l'environnement.
RAG : B1, B2

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Inviter les élèves à visiter le site Web de Hydro Manitoba <<http://www.hydro.mb.ca/francais/>> afin de répondre aux questions suivantes :

- *Le Manitoba possède combien de centrales électriques? De ces centrales électriques, combien sont des centrales hydroélectriques?*
- *Quels sont les nouveaux projets de production d'électricité envisagés par Hydro Manitoba?*
- *Quelle est la première centrale hydroélectrique construite au Manitoba? Sur quelle rivière a-t-elle été construite?*
- *Quel type de courant est utilisé dans les lignes de transmission électrique d'Hydro Manitoba?*

OU

②

Inviter les élèves à lire le texte de  l'annexe 29. Leur proposer de créer une série de questions au sujet du texte. Inviter les élèves à trouver des images qui appuient le texte.



En quête

Recherche – L'électricité au Manitoba

Inviter les élèves à travailler en groupes afin de préparer un rapport sous forme de vidéo, d'affiche, de page Web, de présentation multimédia, d'article de journal ou de rapport technique pour décrire un aspect de la production, la transmission et la distribution d'électricité au Manitoba. Déterminer les critères d'évaluation avec les élèves. Les critères devraient inclure des éléments touchant le contenu et la présentation. Voici des sujets que les élèves pourraient étudier : les lignes de tension à courant continu, le fonctionnement d'une centrale hydroélectrique, les enjeux environnementaux de la production et la transmission d'électricité au Manitoba. Des renseignements pour l'enseignant sur la production, la transmission et la distribution d'électricité au Manitoba figurent à  l'annexe 29.

En fin

❶

Inviter les élèves à compléter une autoévaluation de leur travail de groupe à l'aide de la grille de  l'annexe 30.

OU

❷

Inviter les élèves à poursuivre une réflexion sur les enjeux reliés à la production de l'électricité au Manitoba en répondant à la question suivante dans leur carnet scientifique :

- *L'étude d'enjeux particuliers t'incitera-t-elle à changer certaines de tes habitudes de vie?*

Stratégies d'évaluation suggérées

❶

Pour vérifier l'acquisition des connaissances par les élèves, utiliser la stratégie des têtes numérotées (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 3.12).

❷

Évaluer les présentations à l'aide des critères élaborés avec les élèves.



Liste des annexes

Annexe 1 :	Les travaux de Gray et de Cavendish – Renseignements pour l'enseignant	3.38
Annexe 2 :	Les expériences de Stephen Gray	3.41
Annexe 3 :	L'expérience d'Ohm	3.44
Annexe 4 :	La puissance, la résistance et le courant.....	3.46
Annexe 5 :	Contribution de Kirchhoff – Renseignements pour l'enseignant	3.52
Annexe 6 :	Le développement historique de la loi d'Ohm	3.54
Annexe 7 :	Expérience – La résistance	3.55
Annexe 8 :	La résistance – Renseignements pour l'enseignant.....	3.56
Annexe 9 :	Échelle d'évaluation de l'expérience	3.57
Annexe 10 :	Exercice – Les circuits électriques simples.....	3.58
Annexe 11 :	Les circuits électriques simples – Corrigé	3.61
Annexe 12 :	Les circuits électriques – Renseignements pour l'enseignant	3.62
Annexe 13 :	Expérience – Les résistances en série	3.63
Annexe 14 :	Expérience – Les résistances en parallèle.....	3.65
Annexe 15 :	Analyse de circuits	3.67
Annexe 16 :	Test – Analyse de circuits électriques	3.74
Annexe 17 :	Analyse de circuits électriques – Corrigé.....	3.77
Annexe 18 :	Les travaux de Faraday et l'induction électromagnétique	3.84
Annexe 19 :	Exercice – L'induction électromagnétique.....	3.89
Annexe 20 :	L'induction électromagnétique – Corrigé	3.90
Annexe 21 :	La loi de Faraday – Renseignements pour l'enseignant	3.92
Annexe 22 :	Exercice - La loi de Faraday et la loi de Lenz	3.93
Annexe 23 :	La loi de Faraday et la loi de Lenz – Corrigé.....	3.96
Annexe 24 :	Exercice – La génératrice à courant alternatif	3.98
Annexe 25 :	La génératrice à courant alternatif – Corrigé.....	3.100
Annexe 26 :	Les transformateurs – Renseignements pour l'enseignant	3.101
Annexe 27 :	Exercice – Les transformateurs.....	3.103
Annexe 28 :	Les transformateurs – Corrigé	3.104
Annexe 29 :	La production, la transmission et la distribution d'électricité au Manitoba – Renseignements pour l'enseignant.....	3.105
Annexe 30 :	Réflexion individuelle sur le travail de groupe	3.109



ANNEXE 1 : Les travaux de Gray et de Cavendish – Renseignements pour l'enseignant

Stephen Gray

Le physicien anglais Stephen Gray (1666-1736) démontre que tous les corps peuvent être électrisés, mais que les *non-électriques* sont en fait des **conducteurs** d'électricité. Il utilise aussi les termes « non-conducteurs » et « isolants ». Les métaux sont des conducteurs, tandis que les substances résineuses ou vitreuses sont des isolants.

Gray démontre qu'un conducteur, s'il est suspendu ou entouré d'un isolant, est capable de conserver une charge électrique. (On croyait avant que les conducteurs, les *non-électriques*, n'étaient pas électrisables, mais c'était parce qu'ils se déchargeaient aussitôt.)

Gray démontre aussi que si un conducteur électrisé entre en contact avec la « terre », il se décharge immédiatement (d'où la **mise à la terre**). La Terre est un objet immense avec lequel un objet peut partager sa charge électrique.

Gray propose que le transfert d'électricité à travers ou le long d'un conducteur est un **courant électrique**. Avec son collègue Granville Wheeler, il réussit à transférer les charges d'un bâton de verre électrisé sur une longueur de 100 m, par l'entremise d'un fil de cuivre suspendu par des boucles de soie. (La soie, un isolant, ne permet pas à l'électricité de « s'écouler » du fil métallique.)

Gray démontre aussi l'attraction électrostatique en suspendant un jeune garçon à l'horizontale à l'aide de fils isolants : lorsqu'on rapproche un bâton électrisé des pieds nus de l'enfant, des petits bouts de feuille métallique sont attirés à son visage et à ses mains.

Gray postule que le **fluide électrique** (*effluvium* ou *vertu électrique*) peut circuler librement dans un conducteur, mais qu'il ne circule pas facilement dans un isolant. Cependant, il ne peut pas comparer la conductivité de différents matériaux car il n'a pas d'instruments adéquats.

Henry Cavendish et le premier compteur d'électricité

En 1799, Cavendish conçoit une méthode de recherche qui lui permet de décrire qualitativement la conductivité de différents métaux. Il utilise une technique très simple qui consiste à décharger un appareil électrique par un fil relié à son propre corps. Cavendish applique un nombre de tours précis à sa machine électrostatique pour produire une charge identique à chaque essai et il parvient à classer correctement la conductivité des métaux en fonction de l'intensité des chocs produits par le générateur. Cavendish, dont les résultats n'ont jamais été publiés de son vivant, établit une comparaison qualitative de la résistance de différents matériaux aux effets du courant.



ANNEXE 1: Les travaux de Gray et de Cavendish – Renseignements pour l'enseignant (suite)

Ce type d'analyse qualitative constitue un passe-temps dans certains salons et cuisines du XVIII^e siècle comme on peut le voir sur des peintures illustrant des petits-enfants et des femmes se transmettant des chocs électriques générés par des machines électrostatiques à travers une résistance en forme de « chaîne humaine ». On a établi, dès le début, la relation existant entre la résistance et la longueur du conducteur. De plus, la distance de décharge et le choc physiologique ont pu être liés à l'intensité de la distribution de la charge. Prenons à titre d'exemple une sphère chargée par un nombre déterminé de tours. Cette sphère peut, lorsque déchargée, produire une étincelle sur une distance mesurable. Si nous utilisons une plus petite sphère chargée par le même nombre de tours, nous observons que l'étincelle parcourt une plus grande distance. En d'autres mots, la même quantité de charge accumulée par un volume moindre a une « intensité » supérieure.

Il serait possible de mesurer plus précisément cette intensité ou « tension » au moyen d'un électroscope, et, après l'invention de la pile électrique par Volta en 1800, on tente d'établir un lien entre l'électricité statique et d'autres types d'électricité. La pile de Volta marque un changement conceptuel significatif dans la compréhension de la nature de l'électricité. La pile demeure inactive jusqu'à ce qu'un conducteur externe fournisse un chemin à travers lequel l'électricité puisse circuler. Il est donc devenu impératif de définir les caractéristiques et le rôle du conducteur externe. Il n'existe cependant à cette époque aucun instrument (hormis les sens humains) permettant de mesurer ou d'établir le phénomène associé au conducteur.

Heureusement, grâce à la découverte d'Oersted de la déviation de l'aiguille d'une boussole par un courant électrique réalisée vers 1820, Cavendish n'a plus à jouer le rôle de compteur humain. Peu après cette découverte, Schweigger utilise une bobine pour faire circuler à répétition un courant sur une boussole en vue de fabriquer un instrument plus sensible permettant de détecter et de comparer les effets électromagnétiques de différents courants.

La boussole des tangentes



La première référence à la boussole des tangentes figure dans un document de 1837 de Claude-Servais-Mathias Pouillet (1790-1868). Pouillet utilise la boussole des tangentes pour étudier la loi d'Ohm, et, plus tard, en 1841, James Joule immerge des fils de différentes longueurs dans des cylindres d'eau pour étudier la relation entre le taux de dissipation de la chaleur et le courant.

En 1849, Hermann von Helmholtz (1821-1994) modifie la boussole des tangentes en proposant l'usage de deux bobines conductrices identiques placées en parallèle de manière à former l'instrument connu aujourd'hui sous le nom de bobine de Helmholtz. Cet instrument produit un champ magnétique essentiellement uniforme. Celui illustré à gauche fait partie de la collection de la Wesleyan University.



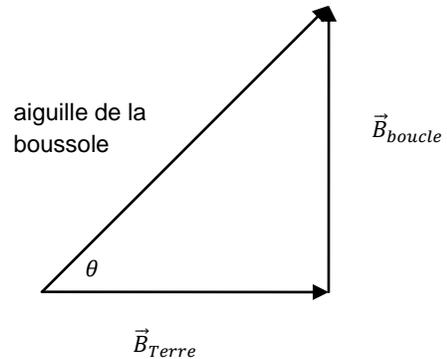
ANNEXE 1: Les travaux de Gray et de Cavendish – Renseignements pour l'enseignant (suite)

Pour mesurer le courant, Joule utilise une boussole des tangentes alignée avec le méridien nord-sud pour que le champ magnétique de la bobine soit perpendiculaire à celui de la Terre. La valeur de la déviation de l'aiguille de la boussole est la somme vectorielle des effets magnétiques de la Terre et du champ de la boucle. Par conséquent,

$$\tan \theta = \frac{\vec{B}_{boucle}}{\vec{B}_{Terre}}$$

Comme \vec{B}_{Terre} est constant, il s'ensuit que $\tan \theta \propto \vec{B}_{boucle}$. En augmentant le nombre de boucles, et donc le courant au-delà de tout point donné, nous pouvons aussi établir que

$I \propto \vec{B}_{boucle}$, et que par conséquent $\tan \theta \propto I$ et $\tan \theta$ peut servir de mesure du courant. La boussole des tangentes de Joule s'est avérée un instrument fiable pour la mesure du courant, instrument que nous pouvons encore utiliser de nos jours. L'utilisation d'une boussole des tangentes présente l'avantage additionnel de servir de fondement au galvanomètre et à l'ampèremètre modernes.



ANNEXE 2 : Les expériences de Stephen Gray

Expérience 1

Matériel nécessaire :

- tube cylindrique, fait d'un matériau isolant, d'une longueur de 60 cm et d'un diamètre de 2 à 3 cm, tel qu'un tube de plastique, un tuyau de drainage ou un tube pour envoi postal (Gray utilisa un cylindre de verre d'une longueur de 1 m et d'un diamètre de 1,5 cm.)
- morceau de tissu de laine, de coton ou de soie

Tiens le tube d'une main et frotte-le avec le morceau de tissu dans l'autre main (ou fais passer le tube dans un mouvement de va-et-vient à travers le tissu). Assure-toi par la suite que le tube et le tissu ne se touchent plus car ils sont tous deux électrisés! Passe le tube tout près de ton oreille et écoute attentivement. Le faible crépitement t'indique que de minuscules étincelles se produisent entre le tube et ta tête. Tes cheveux ont peut-être aussi été électrisés. Si le temps est propice (journées froides et très sèches), tu peux essayer d'observer les étincelles dans l'obscurité, devant un miroir.

Expérience 2

Matériel nécessaire :

- petit piquet de bois ou autre isolant
- morceau de pâte à modeler
- ficelle de nylon
- plume de duvet
- tige de verre ou de plastique

Sur une table, installe le petit piquet de bois à la verticale. Tu peux le faire tenir en place avec de la pâte à modeler. Attache une ficelle de nylon au sommet du piquet, puis attache la plume de duvet à l'autre bout de la ficelle. La ficelle ne doit pas être trop longue car la plume ne doit pas toucher la table. Électrise la tige de verre ou de plastique par frottement, puis rapproche-la de la plume sans toutefois la toucher. Tu pourras la déplacer sans qu'il y ait de contact physique : te voilà adepte de la lévitation des objets!



ANNEXE 2: Les expériences de Stephen Gray (suite)

Expérience 3

Matériel nécessaire :

- bâtonnet d'encens
- tige de verre ou de plastique

Allume un bâtonnet d'encens. Électrise la tige de verre ou de plastique et approche-la de la fumée. Observe ce qui se passe si tu places le bout de la tige plus loin ou même sous le bout incandescent du bâtonnet.

Expérience 4

Matériel nécessaire :

- clou à tête plate d'un diamètre d'au moins 3 mm
- morceau de bois sec
- eau
- tige de verre ou de plastique

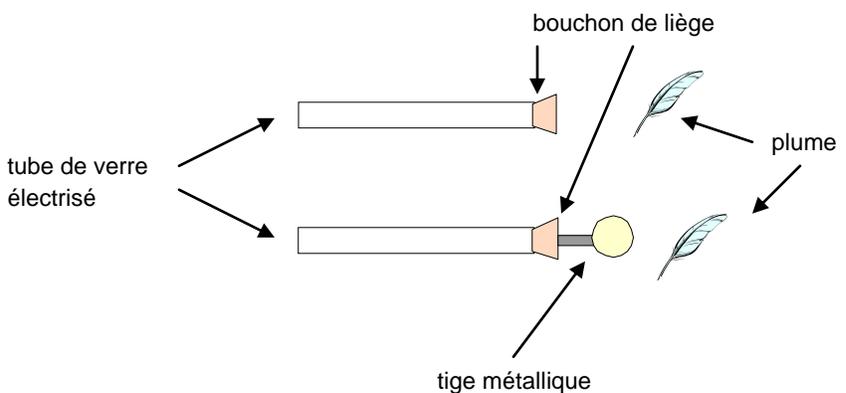
Enfonce suffisamment le clou dans un morceau de bois sec pour qu'il tienne debout, mais sans qu'il transperce complètement le bois. Dépose délicatement une goutte d'eau sur la tête du clou (une tige de verre ou de bois peut t'aider à réussir cette étape). Une goutte sphérique donnera de meilleurs résultats.

Assure-toi de ne pas mouiller le bois, ce qui risquerait de ne plus l'isoler de la terre. Électrise la tige de verre ou de plastique. Rapproche-la de la goutte d'eau, sans y toucher. Tu pourras sans doute observer que la goutte s'étire vers le haut, ou qu'elle s'effrite en gouttelettes si elle est étirée au-delà de la tête du clou. (Ce phénomène est exploité dans les imprimantes à jet d'encre et il explique aussi la formation des orages!)

Expérience 5

Matériel nécessaire :

- bouchon de liège
- tube isolant
- bouts de papier ou confettis
- plumes de duvet
- tige métallique



Approche le bouchon de liège des bouts de papier ou des plumes de duvet. Rien ne se passe. Il en est de même pour le tube isolant. Électrise par frottement le tube isolant et tu observeras qu'il exerce une attirance. Fais une mise à terre.

Insère le bouchon dans le bout du tuyau de sorte qu'au moins 1 cm en ressorte. Électrise à nouveau le tube sans toucher au bouchon. Rapproche ensuite le bouchon des bouts de papier ou des plumes et tu verras qu'il les attire. (Cette expérience de Gray démontre que l'*effluvium* n'est pas le produit du frottement, mais plutôt une « vertu » ou un « fluide » qui a été transféré du tuyau au bouchon de liège : il s'agit de la conduction.)

Mets le tube à terre et insère une tige métallique dans le bouchon. Recommence l'expérience et tu confirmeras que la tige métallique est électrisée elle aussi. Pourtant, si tu essaies de l'électriser par frottement direct, tu ne réussiras pas. C'est parce que les métaux et les corps vivants sont des conducteurs et ils font une mise à terre instantanée s'ils touchent (directement ou indirectement) au sol, tandis que les isolants le font très, très lentement.

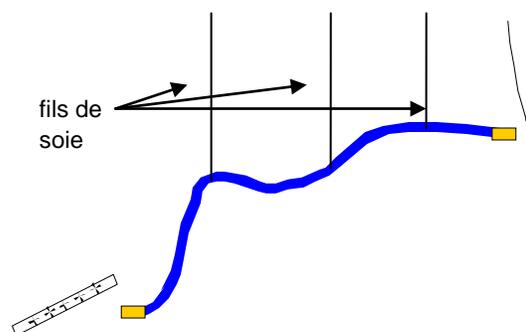
Expérience 6

Matériel nécessaire :

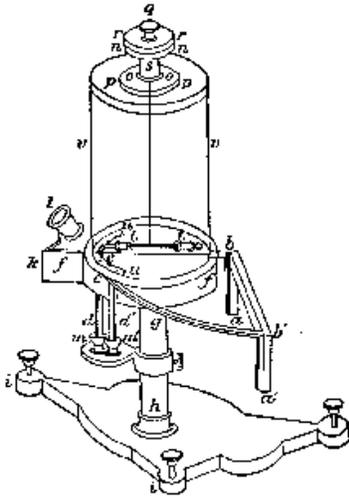
- fil métallique de 5 à 10 m de long
- boucles de soie ou autre matériau isolant
- bouts de papier ou plumes de duvet
- clé ou cuillère
- tige de plastique ou de verre

Suspens un fil métallique dans la classe à l'aide de boucles de soie ou d'un autre tissu isolant. Veille à ce que le fil ne soit pas mis à terre par mégarde. Dispose une extrémité du fil près de morceaux de papiers ou de plumes de duvet. (Tu peux choisir d'accrocher un objet métallique à cette extrémité du fil, par exemple une clé ou une cuillère.) Électrise ensuite une tige de verre ou de plastique et mets-la en contact avec l'autre extrémité du fil. À 5-10 m de toi, les bouts de papiers ou les plumes devraient être attirés par le fil! Lorsqu'on produit de l'électricité, il est important de l'entreposer dans des enceintes isolées, et de la transmettre par fils conducteurs.

Il n'existait pas de fil isolé dans le temps de Gray, mais cette expérience est tout aussi facile si l'on utilise un fil de cuivre revêtu d'un isolant tel qu'on en trouve dans l'installation électrique d'une maison. Il suffit alors de dénuder les deux extrémités du fil.



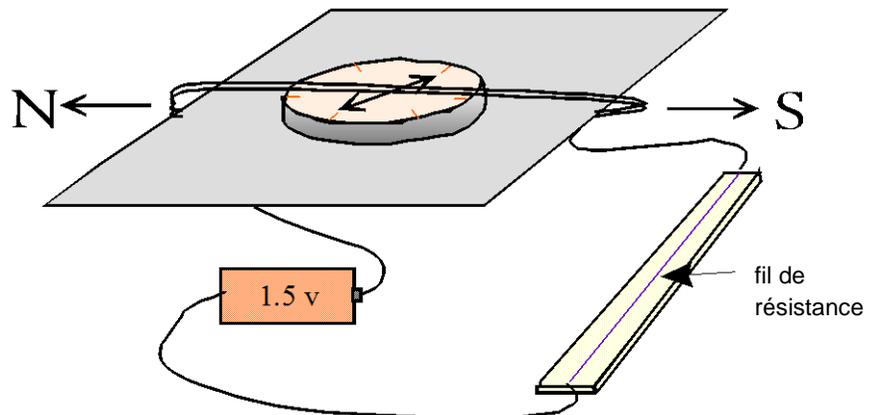
ANNEXE 3 : L'expérience d'Ohm



Il est facile de construire une boussole des tangentes fiable en faisant passer un fil autour d'un support sur lequel repose une boussole. On connecte ensuite des fils de résistance de différentes longueurs à la boussole des tangentes à la manière dont Ohm a procédé au cours de ses expériences. Pour des raisons de commodité, on peut faire courir un fil de résistance en nichrome le long d'un mètre et utiliser un contact glissant pour obtenir facilement différentes longueurs de fil. Le champ magnétique de la boucle suit une orientation nord-sud, et l'on reporte sur un graphique les valeurs des tangentes des déviations de l'aiguille de la boussole (courant) en fonction de la résistance (mesurée par rapport à la longueur du fil) pour confirmer que le courant est inversement proportionnel à la résistance du circuit.

Expérience d'Ohm

1. Effectue le montage illustré ci-dessous. Ne connecte qu'une seule borne de la pile (ou utilise un interrupteur pour brancher ou débrancher le circuit).
2. Prépare des fils de résistance de plusieurs longueurs ou utilise un contact glissant avec un fil de résistance d'un mètre de longueur.
3. Commence l'expérience avec le fil le plus long, branche le circuit et mesure la déviation de la boussole. Assure-toi que l'aiguille de la boussole bouge librement (tu peux toucher légèrement le support pour le vérifier).



Nota : Déconnecte la pile aussitôt après avoir noté la valeur de la déviation. Tu pourrais sinon provoquer l'échauffement du fil et en modifier la résistance.

ANNEXE 3: L'expérience d'Ohm (suite)

Tableau des données

Longueur de la résistance (m)	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
θ (degrés)					
$\tan \theta$					

4. Reporte sur le graphique la valeur du courant ($\tan \theta$) par rapport à la résistance (longueur du fil).
5. « Redresse » la courbe pour déterminer la relation entre le courant et la résistance.
6. À quoi la constante correspond-t-elle?
7. Répète l'expérience avec un ampèremètre plutôt qu'une boussole des tangentes.

Conclusion

Nous avons démontré que $I = \frac{a}{R}$, où I est le courant, R , la résistance totale et a , une constante.

$R_t = b + x$, où x est le fil de résistance, et b , la résistance fixe du circuit. Peux-tu calculer la valeur de b par rapport à la longueur? Quelle est la proportion de la résistance totale?

Ohm a répété l'expérience avec une différence de température différente et a trouvé une nouvelle valeur pour a . La constante a doit être associée à la pile mais sa signification n'a été découverte par Kirchhoff que 25 ans plus tard. Kirchhoff a formulé une théorie mathématique cohérente faisant la synthèse de la loi de Coulomb, du concept d'énergie potentielle électrique entre deux charges et des résultats de l'expérience de Joules et de celles d'Ohm.



ANNEXE 4 : La puissance, la résistance et le courant

INTRODUCTION

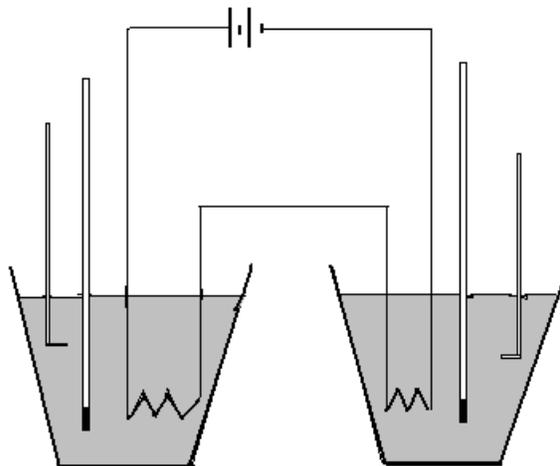
C'est en 1841 que James Prescott Joule s'est penché pour la première fois sur les relations existant entre la puissance, la résistance et le courant électrique. Nous allons tenter de reproduire la démarche adoptée au cours de son expérience.

Le courant qui traverse une bobine de fil génère de la chaleur. La chaleur se transfère à l'eau d'un calorimètre simple (verre de styromousse). Tu vas calculer la quantité de chaleur accumulée par l'eau et la puissance de la bobine thermique. Tu seras alors en mesure de déterminer graphiquement la nature des relations en question.

PARTIE 1 : POUVOIR ET RÉSISTANCE

MATÉRIEL REQUIS

Pile de 6 V ou de 12 V, bobines thermiques en nichrome, verres de styromousse et couvercles, thermomètres, montre, paille de plastique, cylindre gradué d'une capacité de 100 ml, fiches de connexion, ohmmètre.



ANNEXE 4: La puissance, la résistance et le courant (suite)

DÉMARCHE :

1. Avant de commencer l'expérience, laisse une quantité d'eau suffisante atteindre la température de la pièce.
2. Verse exactement 100 ml d'eau dans chaque verre de styromousse. Cela équivaut aux 100 g d'eau à chauffer dans chaque verre.
3. Mesure la résistance de chaque bobine. Inscris le résultat sur le tableau de données.
4. Assemble la pile et les bobines thermiques en série de manière à faire passer un courant identique à travers chacune de bobines. Laisse une borne déconnectée jusqu'à ce que tu sois prêt à commencer l'expérience.
5. Note la température initiale de chacun des échantillons d'eau au dixième de degré Celsius près. Consigne les valeurs sur le tableau.
6. Branche le circuit pour faire circuler le courant dans les bobines. Agite doucement les échantillons d'eau avec la paille à une minute d'intervalle. Observe les températures.
7. Après avoir suffisamment chauffé l'eau, note le temps écoulé et la température finale de chaque échantillon.
8. Calcule la quantité de chaleur produite à partir de la formule suivante :

Chaleur = masse (g) × chaleur massique × écart de température (°C)

$$C = mc\Delta T$$

La chaleur massique de l'eau est de 4,2 J/g·°C

Détermine la puissance :

Puissance = énergie (chaleur) ÷ temps

(Le temps doit être mesuré en secondes.)

9. Représente graphiquement la puissance en fonction de la résistance et détermine la relation qui existe entre ces deux valeurs.



ANNEXE 4: La puissance, la résistance et le courant (suite)

TABLEAU DE DONNÉES : PUISSANCE ET RÉSISTANCE

Résistance (Ω)	Masse de l'eau (g)	Temps (s)	Température ($^{\circ}\text{C}$)			Chaleur (J)	Puissance (W)
			T_i	T_f	ΔT		

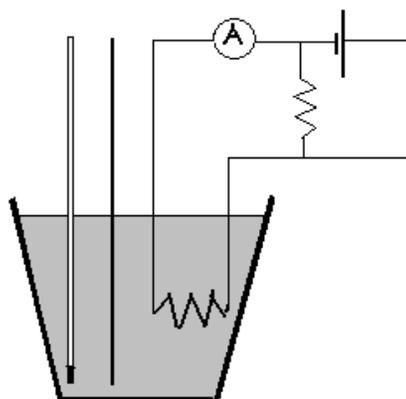


ANNEXE 4: La puissance, la résistance et le courant (suite)

PARTIE 2 : PUISSANCE ET COURANT

MATÉRIEL REQUIS

Pile de 6 V, bobines thermiques de résistance identique, bobine de résistance, fiches de connexion, ampèremètre, montre, thermomètre ou LabPro, cylindre gradué d'une capacité de 100 ml, verres de polystyrène et couvercles.



DÉMARCHE :

1. Avant de commencer l'expérience, laisse environ un litre d'eau atteindre la température de la pièce (à faire à l'avance).
2. Verse exactement 100 ml d'eau dans chacun des verres de polystyrène. Place la bobine thermique et le thermomètre dans l'eau et note la température initiale de l'eau au dixième de degré Celsius près.
3. Dispose le circuit de manière à faire circuler le courant vers la bobine thermique et la bobine de résistance connectées en parallèle. Assure-toi de connecter l'ampèremètre en série avec la bobine thermique seulement.
4. Connecte le circuit en D et commence à noter l'heure, la valeur du courant et la température à toutes les minutes. Agite légèrement l'eau pendant quelques secondes avant de noter la température indiquée par le thermomètre. Procède à la collecte de données jusqu'à ce que tu observes une augmentation de température de quelques degrés. Consigne les valeurs sur le tableau de données.



ANNEXE 4: La puissance, la résistance et le courant (suite)

5. Utilise un échantillon d'eau frais et une autre bobine chauffante. Règle la bobine de résistance à une nouvelle valeur pour faire passer un courant différent dans la bobine chauffante. Répète l'étape précédente. Effectue plusieurs essais différents en faisant circuler des courants très différents dans des bobines thermiques identiques.

6. Calcule la quantité de chaleur produite à partir de la formule suivante :

Chaleur = masse (g) x chaleur massique x différence de degré de température (°C)

$$C = mc\Delta T$$

La chaleur massique de l'eau est de 4,2 J/g°C

7. Détermine la puissance :

Puissance = énergie (chaleur)/temps (le temps doit être mesuré en secondes.)

8. Représente graphiquement les valeurs de la puissance par rapport à celles du courant. Procède aux opérations graphiques nécessaires pour déterminer la relation entre la puissance et le courant.



ANNEXE 4: La puissance, la résistance et le courant (suite)

TABLEAU DES DONNÉES : PUISSANCE ET COURANT

Courant (A)	Masse (g)	Température (°C)			Chaleur (J)	Temps (s)	Puissance (W)
		T_i	T_f	ΔT			



ANNEXE 5 : Contribution de Kirchhoff – Renseignements pour l'enseignant

Au cours de ses expériences, Ohm a observé que dans un circuit électrique $I = \frac{a}{R}$, où a est une constante de proportionnalité. Par la suite, Joule a démontré que $P = I^2 R$. Il s'agit dans les deux cas d'exemples de lois scientifiques formulées par induction à partir d'observations du comportement des circuits électriques. Les deux expériences portent en outre sur des charges en mouvement. Kirchhoff a pris comme point de départ des considérations énergétiques relatives aux charges électrostatiques pour démontrer ce qui suit.

Le potentiel électrique

Le potentiel électrique est l'énergie potentielle électrique **par unité de charge**

$$V = \frac{E_p}{q}$$

Par conséquent,

$$E_p = qV$$

Nous savons aussi que le travail effectué pour déplacer une charge dans un champ équivaut à la variation changement d'énergie.

$$W = \Delta E_p$$

Par conséquent, la variation d'énergie entre les points a et b se calcule comme suit :

$$E_b - E_a = qV_b - qV_a$$

ou

$$\Delta E_p = qV_b - qV_a$$

$$\Delta E_p = q(V_b - V_a)$$

$$\Delta E_p = q\Delta V$$

où ΔV s'appelle **différence de potentiel électrique**. Comme il n'est question ici que de changements énergétiques, il s'agit du terme le plus important. En divisant les deux côtés de l'équation par la variable *temps*, nous obtenons ce qui suit :



ANNEXE 5: Contribution de Kirchhoff – Renseignements pour l'enseignant (suite)

$$\frac{\Delta E_p}{t} = \frac{q}{t} \Delta V$$

$$P = I \Delta V$$

Ce qui signifie que la puissance délivrée (dissipée) dans un circuit équivaut au produit du courant et de la différence de potentiel (du point de vue de la théorie des particules chargées, pourquoi cela a-t-il du sens?) Souvenez-vous de la formule de Joule,

$$P = I^2 R$$

par conséquent,

$$I^2 R = I \Delta V$$

et

$$I = \frac{\Delta V}{R}$$

Kirchhoff a donc démontré que si la constante de la loi d'Ohm était la différence de potentiel, alors tout ce que nous connaissions au sujet de l'électricité statique et dynamique pouvait être intégré à un système théorique et pratique cohérent (en d'autres mots, il s'agissait d'une bonne théorie).



ANNEXE 6 : Le développement historique de la loi d'Ohm

Réponds aux questions de la première colonne et remplis toutes les cases du tableau.

	Stephen Gray	Henry Cavendish	Georg Ohm	James Joule	Gustav Kirchhoff
Comment est-il arrivé à ses conclusions?					
Comment ses découvertes ont-elles contribué au progrès scientifique?					
Comment s'est-il appuyé sur les idées du passé?					
Quelles technologies étaient essentielles à son travail?					



ANNEXE 7 : Expérience – La résistance

Introduction :

Cette investigation de laboratoire présente un problème. Votre tâche consiste à planifier et à réaliser une expérience pour résoudre le problème. Une liste du matériel est disponible mais vous devez déterminer quelles variables vous étudierez, la démarche que vous allez suivre aussi bien que les observations que vous allez enregistrer et comment vous allez les enregistrer.

Problème :

Votre problème consiste à concevoir une expérience pour étudier les effets de la longueur d'un conducteur sur la résistance OU la section transversale d'un conducteur sur la résistance.

Matériel requis :

- Pile de 1,5 V
- Ampèremètre
- voltmètre
- fils électriques de différentes longueurs
- fils électriques de différents diamètres

1. *Idées de départ* : énoncez la question à laquelle vous voulez répondre durant cette investigation. Prédisez ce que seront les effets de la longueur d'un conducteur sur la résistance ou de la section transversale d'un conducteur sur la résistance. Expliquez ce qui justifie votre prédiction. Identifiez la variable indépendante, la variable dépendante et les variables à contrôler.

2. *Tests* : qu'allez-vous faire pour vous aider à répondre à votre question? Dressez une liste ordonnée des étapes que vous utiliserez pour résoudre le problème. Vous pouvez inclure un diagramme pour vous aider à illustrer vos plans pour l'expérience. Ayez recours à des procédures sécuritaires. Réalisez l'expérience en suivant les étapes soulignées dans votre démarche.

3. *Observations* : notez vos observations et vos mesures pour l'expérience. Qu'avez-vous vu lorsque vous réalisiez votre expérience? Utilisez des énoncés écrits, des paragraphes descriptifs, des tableaux de données et/ou des graphiques là où c'est approprié. Assurez-vous d'inclure des observations qualitatives ainsi que quantitatives.

4. *Allégations et preuves* : rédigez une interprétation de vos résultats. Expliquez votre conclusion et appuyez-la de preuves qui vous ont aidé à en arriver à cette conclusion. (Qu'avez-vous allégué? Quelle est la preuve qui appuie votre allégation? Comment le savez-vous? Pourquoi faites-vous cette allégation? Comment vos découvertes se comparent-elles avec votre prédiction?)

5. *Réflexion* : comparez vos résultats et l'interprétation de vos résultats avec les autres groupes. Comment vos idées se comparent-elles avec celles des autres élèves? Comparez vos résultats avec l'information à propos de la résistance dans un manuel de référence. Vos idées ont-elles changé après avoir comparé vos résultats et interprétations? Quelles sont des sources d'erreur possibles dans votre expérience? Que pourriez-vous faire pour améliorer les résultats?



ANNEXE 8 : La résistance – Renseignements pour l'enseignant

Cette étude de laboratoire présente une approche davantage centrée sur l'élève. Une liste du matériel nécessaire sera fournie aux élèves mais ceux-ci devront déterminer quelles variables ils étudieront – l'effet de la longueur d'un conducteur sur la résistance ou l'effet de la section transversale d'un conducteur sur la résistance – aussi bien que la démarche qu'ils suivront.

Les enseignants pourront choisir de donner aux élèves la longueur du conducteur ou la section transversale du conducteur à étudier ou faire étudier une variable par une moitié de la classe et l'autre variable par l'autre moitié. Le rapport de laboratoire suggéré pour cette investigation est différent du format habituel. Il utilise un outil appelé l'heuristique de la science écrite qui met l'accent sur le fait d'aider les élèves à faire des connexions entre les questions, les démarches, les données, les allégations et les preuves (appui pour l'allégation). Les élèves sont aussi encouragés à vérifier leurs explications avec les autres élèves aussi bien qu'avec les manuels ou autres sources d'information afin de développer leur compréhension conceptuelle.

On devrait inciter les élèves à construire des graphiques (s'ils ne le font pas encore) comme élément de cueillette et d'interprétation des données. Le graphique présentera la relation entre la résistance dans un circuit et la longueur d'un conducteur, ou la relation entre la résistance dans un circuit et la section transversale d'un conducteur.

Plusieurs habiletés d'enquête scientifique sont ciblées dans cette enquête. Les élèves doivent élaborer une démarche afin de tester cette hypothèse, contrôler les variables et déterminer comment leurs observations seront notées et mises en vedette. Parce que les élèves élaborent leur propre démarche, les résultats peuvent varier sensiblement d'un groupe à l'autre. La discussion avec les autres groupes est une bonne façon pour les élèves de comprendre qu'il n'y a pas de démarche pré-établie pour réaliser une investigation scientifique et que les idées basées sur des preuves peuvent changer et se raffiner au cours de discussions et débats.

Références

Hand, B., and C.W. Keys. 1999. Inquiry investigation: A new approach to laboratory reports. *The Science Teacher* 66(4): 27-29.

Keys, C.W., B. Hand, V. Prain, and S. Collins. 1999. Using the science heuristic as a tool for learning from laboratory investigations in secondary science. *Journal of Research in Science Teaching* 36(10): 1065-1084.



ANNEXE 9 : Échelle d'évaluation de l'expérience

Nom : _____

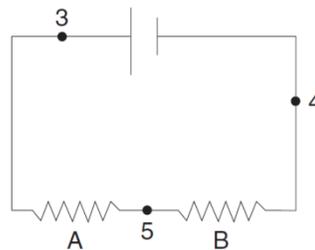
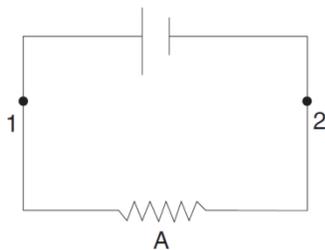
Titre de l'expérience : _____

	1	2	3	4
La méthodologie expérimentale vérifie l'hypothèse.				
L'énoncé du problème justifie la nécessité de l'expérience.				
La démarche est complète, claire et décrite de manière séquentielle.				
Une variable indépendante est clairement identifiée.				
Le plan contrôle et mesure avec exactitude la variable indépendante.				
Une variable dépendante est clairement identifiée.				
Le concept fait en sorte que la variable dépendante est mesurée avec exactitude.				
L'expérience comprend des mesures de contrôle adéquates.				
La marge d'« erreur » est indiquée et on a ajouté un commentaire réfléchi sur la réduction des erreurs.				
Une liste complète du matériel nécessaire est fournie.				
On décrit une stratégie conforme d'utilisation de mesures et d'essais répétés.				
La méthodologie expérimentale tient compte des mesures de sécurité indiquées.				
Le compte rendu est soigné, présentable et bien organisé.				
On utilise une langue et un vocabulaire adéquats et des phrases complètes.				
Des instructions sont données pour le nettoyage et l'élimination des déchets.				



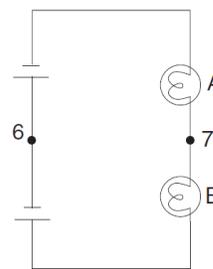
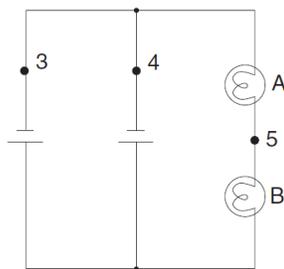
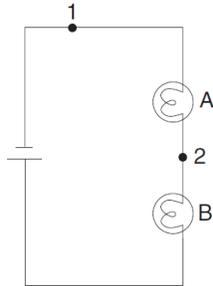
ANNEXE 10 : Exercice – Les circuits électriques simples

1. Est-ce que les charges sont épuisées lors de la production de lumière dans une ampoule?
2. Lorsque tu ouvres le robinet à la maison, l'eau arrive immédiatement, sans que tu n'aies à attendre qu'elle arrive du réservoir d'eau. Explique.
3. Suppose que le courant au point 1 est I . Quelle est l'intensité du courant aux points 2, 3, 4, 5 si les résistances A et B ont la même valeur?



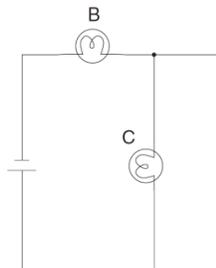
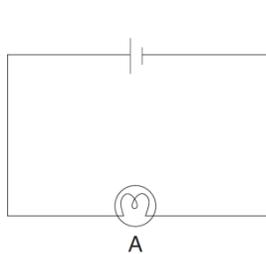
1 =	I
2 =	
3 =	
4 =	
5 =	

4. Suppose que le courant au point 1 est I . Quelle est l'intensité du courant aux points 2, 3, 4, 5, 6, 7 si les ampoules A et B ont la même résistance?



1 =	I
2 =	
3 =	
4 =	
5 =	
6 =	
7 =	

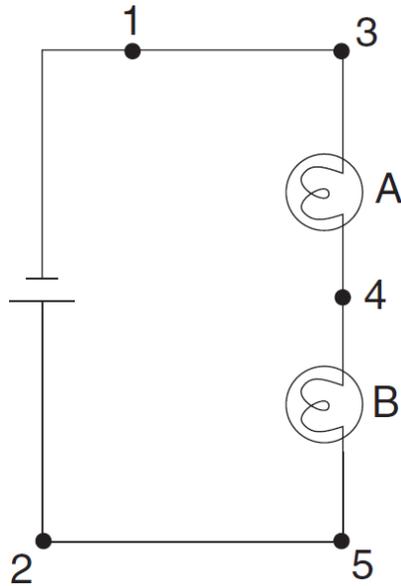
5. Pourquoi les ampoules d'un circuit s'allument-elles instantanément une fois le circuit complet?
6. Compare l'intensité des ampoules A, B et C.



A :	_____
B :	_____
C :	_____

ANNEXE 10: Exercice – Les circuits électriques simples (suite)

7. Si la différence de potentiel (la tension) dans la pile est V , quelle est la différence de potentiel (la tension) entre les points...



a) 1 et 2 : _____

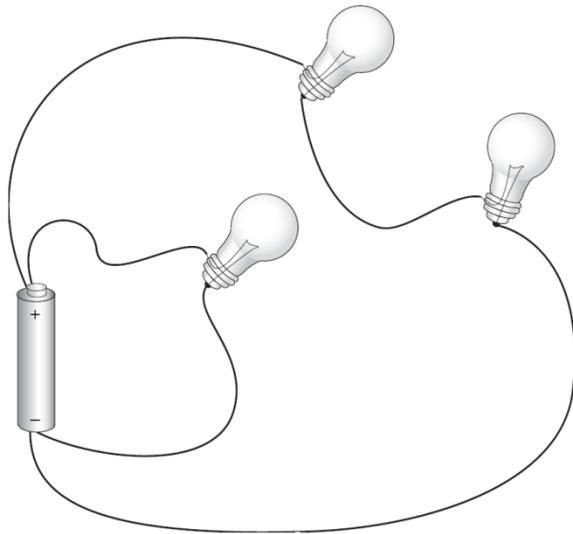
b) 1 et 3 : _____

c) 3 et 4 : _____

d) 4 et 5 : _____

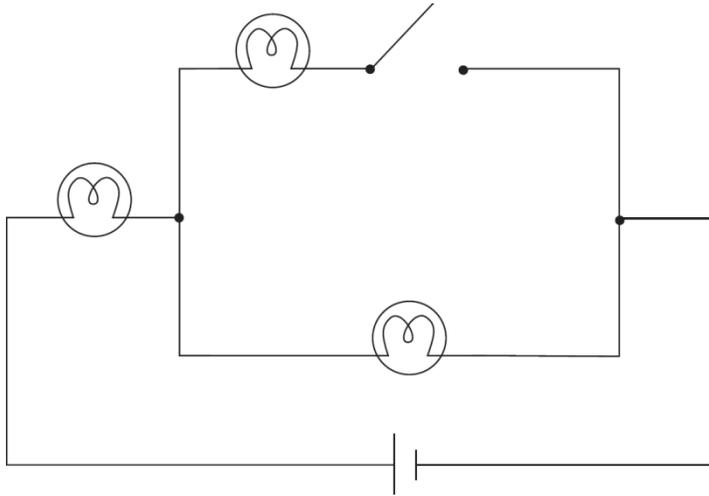
e) 2 et 5 : _____

8. Dessine le schéma du circuit suivant.



ANNEXE 10: Exercice – Les circuits électriques simples (suite)

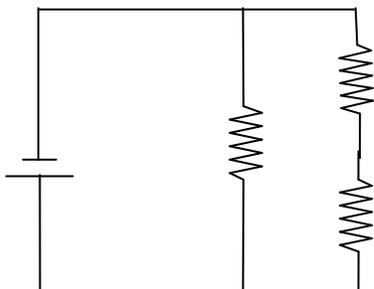
9. Compare l'intensité des ampoules avant et après l'interruption du circuit (chaque ampoule a la même résistance).



ANNEXE 11 : Les circuits électriques simples – Corrigé

1. Non, les charges se conservent. Leur énergie cinétique est toutefois convertie en énergie lumineuse alors que la résistance ralentit les électrons.
2. Le fluide sous pression est déjà partout dans les tuyaux et donc il est disponible immédiatement au robinet. Parce que la pression est distribuée dans tout le fluide, comme c'est le cas de la tension dans un courant, les particules en mouvement sont immédiatement remplacées par d'autres.
3. Point 2: 1; point 3: 0,5 I; point 4: 0,5 I; point 5: 0,5 I
4. Point 2: 1; point 3: 0,5 I; point 4: 0,5 I; point 5: 1; point 6: 2 I; point 7: 2 I
5. Voir la réponse du numéro 2. Le courant d'électrons est instantané aussitôt qu'un circuit fermé leur permet de circuler : si un électron se déplace, il est remplacé immédiatement par un autre. (La différence de potentiel entre les bornes de la source provoque ce mouvement des électrons, mais si le circuit est ouvert, le courant ne peut pas passer.)
6. A et B auront la même intensité, et aucun courant ne traverse l'ampoule C parce qu'elle est court-circuitée. (Il y a un trajet préférentiel qui offre très peu de résistance si on compare cette résistance à la résistance de l'ampoule.)
7.
 - a. 1 et 2 : V
 - b. 1 et 3 : 0 V
 - c. 3 et 4 : 0,5 V
 - d. 4 et 5 : 0,5 V
 - e. 2 et 5 : 0 V

8.



9. Si l'interrupteur est ouvert, les ampoules A et C ont la même intensité de courant qui les traverse et l'ampoule B ne s'allume pas. Si l'interrupteur est fermé, il y a moins de résistance totale dans le circuit et donc plus de courant. L'ampoule A brillera alors plus fort qu'auparavant, tandis que les ampoules B et C auront la même luminosité.



ANNEXE 12 : Les circuits électriques – Renseignements pour l'enseignant

Les circuits en série n'ont qu'un trajet donc toutes les parties du circuit sont connectées de bout en bout. Le même courant circule dans chaque composante du circuit. L'ampèremètre, qui mesure le courant, doit être incorporé en série dans le circuit pour permettre au courant de le traverser. On doit faire attention lorsqu'on utilise des appareils de mesure à affichage analogique (à aiguille). Ces appareils ont une résistance très faible pour éviter d'avoir un effet sur la résistance totale du circuit. Si, par erreur, on place un ampèremètre en parallèle, il produit un court-circuit et pourrait être endommagé. De plus, la borne positive (rouge) de l'ampèremètre devrait être connectée à la borne positive de la source d'énergie. La borne négative (noire) de l'ampèremètre devrait être connectée à la borne négative de la source d'énergie. Finalement, on devrait toujours choisir l'échelle la plus longue lorsqu'on branche un ampèremètre dans un circuit. Si l'aiguille ne dévie pas assez pour permettre une lecture précise, on choisit une échelle moins longue.

Dans un circuit en parallèle, le courant peut emprunter plus d'un trajet. Chaque branche du circuit peut avoir une valeur différente de courant, mais la différence de potentiel est pareille. Le voltmètre permet de mesurer la différence de potentiel. Il a une très forte résistance et est branché en parallèle dans le circuit. Il tire donc très peu de courant comparé au reste du circuit. On doit aussi connecter la borne positive (rouge) du voltmètre à la borne positive de la source d'énergie et la borne négative (noire) à la borne négative de la source d'énergie ainsi que choisir l'échelle la plus longue lorsqu'on branche le voltmètre dans un circuit. Si on branche un voltmètre en série, il réduit le courant à zéro et bloque le circuit, tellement sa résistance est élevée.



ANNEXE 13 : Expérience – Les résistances en série

But

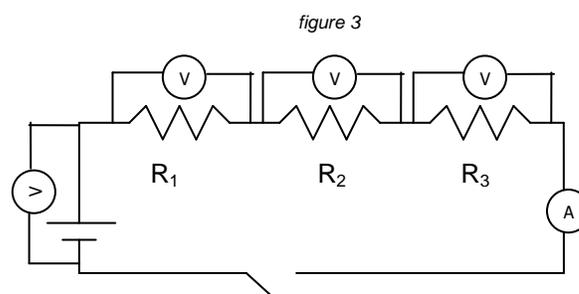
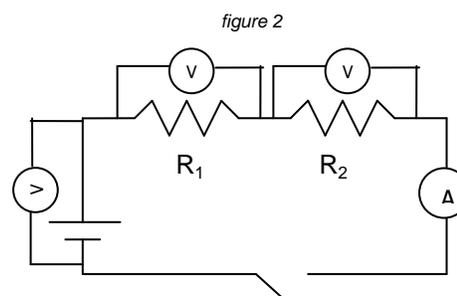
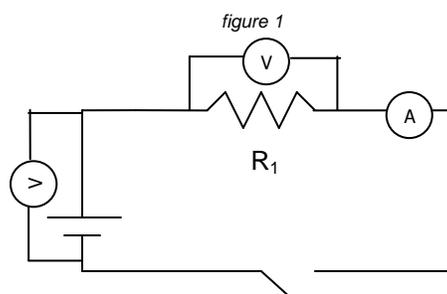
- Déterminer la résistance totale d'un circuit lorsque les résistances sont branchées en série.

Matériel requis

- piles ou autres source de tension
- voltmètre
- ampèremètre
- résistances de valeurs différentes
- fils électriques
- interrupteur

Démarche

1. Place une des résistances en série avec l'ampèremètre, l'interrupteur (ouvert) et la source de tension. Place le voltmètre en parallèle avec la résistance. Note la valeur de la résistance (R_1) dans le tableau (*figure 1*).
2. Ferme l'interrupteur et mesure le courant et la tension dans le circuit. Ouvre l'interrupteur une fois que la lecture est faite. Note tes résultats dans le tableau.
3. Place une seconde résistance en série avec la première. Note la valeur de R_1 et R_2 dans le tableau (*figure 2*).
4. Ferme l'interrupteur et mesure le courant dans le circuit ainsi que la tension aux bornes de la première résistance. Ouvre l'interrupteur et déplace le voltmètre pour le brancher à la deuxième résistance (R_2). Ferme l'interrupteur et mesure la tension aux bornes de R_2 . Ouvre l'interrupteur. Note tes résultats dans le tableau.
5. Place une troisième résistance en série avec les deux autres. Note la valeur de R_1 , R_2 et R_3 dans le tableau (*figure 3*).
6. Ferme l'interrupteur et mesure le courant dans le circuit. Ouvre l'interrupteur. Note ton résultat dans le tableau.



ANNEXE 13 : Expérience – Les résistances en série (suite)

7. Place les fils du voltmètre à chaque bout de la première résistance. Ferme l'interrupteur et mesure la différence de potentiel. Note ton résultat dans le tableau.
8. Répète l'étape 7 pour les deux autres résistances et note les résultats dans le tableau.
9. Compare l'intensité du courant à différents points dans le circuit en ouvrant l'interrupteur et déplaçant l'ampèremètre.

Observations

Nombre de résistances	Valeur de la résistance (Ω)	Courant (A)	Différence de potentiel (V)			
			circuit	résistances		
				1	2	3
1						
2						
3						

Analyse

1. Sers-toi des résultats du courant et du potentiel pour calculer la valeur de chaque résistance. Compare cette valeur à la valeur indiquée sur la résistance. Y a-t-il une différence? Si oui, explique pourquoi.
2. Calcule la résistance totale du circuit. Y a-t-il un lien entre cette valeur et les valeurs de chacune des résistances?
3. Qu'est-ce qui arrive au courant lorsqu'on ajoute des résistances dans un circuit?
4. Qu'est-ce qui arrive à la différence de potentiel de chaque résistance à mesure qu'on ajoute des résistances dans le circuit?
5. Quelle relation y a-t-il entre la différence de potentiel des résistances en série et la différence de potentiel du circuit?



ANNEXE 14 : Expérience – Les résistances en parallèle

But

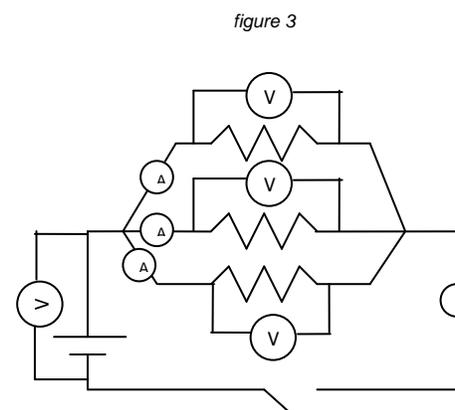
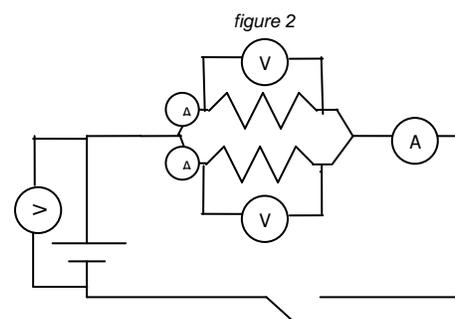
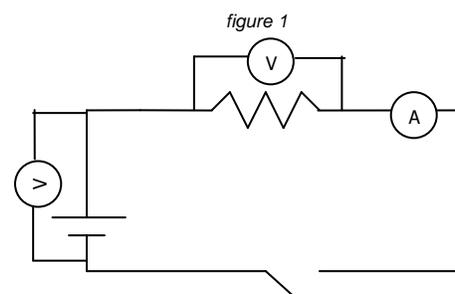
- Déterminer la résistance totale d'un circuit lorsque les résistances sont branchées en parallèle.

Matériel requis

- piles ou autres source de tension
- voltmètre
- ampèremètre
- résistances de valeurs différentes
- fils électriques
- interrupteur

Démarche

1. Place une des résistances en série avec l'ampèremètre, l'interrupteur (ouvert) et la source de potentiel électrique. Place le voltmètre en parallèle avec la résistance. Note la valeur de la résistance (R_1) dans le tableau (*figure 1*).
2. Ferme l'interrupteur et mesure le courant et la différence de potentiel dans le circuit et aux bornes de la résistance. Ouvre l'interrupteur une fois que la lecture est faite. Note tes résultats dans le tableau.
3. Place une seconde résistance en parallèle avec la première. Note la valeur de R_2 dans le tableau (*figure 2*).
4. Mesure le courant dans le circuit ainsi que le courant et la différence de potentiel aux bornes de la première résistance. Ouvre l'interrupteur et déplace le voltmètre et l'ampèremètre pour les brancher à la deuxième résistance (R_2). Ferme l'interrupteur et mesure le courant et la tension aux bornes de R_2 . Ouvre l'interrupteur. Note tes résultats dans le tableau.
5. Place une troisième résistance en parallèle avec les deux autres. Note sa valeur dans le tableau (*figure 3*).
6. Mesure le courant et la différence de potentiel pour chacune des résistances ainsi que pour le circuit. Note tes résultats dans le tableau.



ANNEXE 14: Expérience – Les résistances en parallèle (suite)

Observations

Nombre de résistances	Valeur de la résistance (Ω)	Courant (A)			Différence de potentiel (V)				
		circuit	résistances			circuit	résistances		
			1	2	3		1	2	3
1									
2									
3									

Analyse

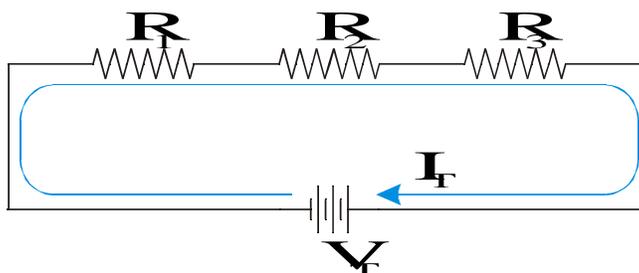
- Sers-toi des résultats du courant et du potentiel pour calculer la valeur de chaque résistance. Compare cette valeur à la valeur indiquée sur la résistance. Y a-t-il une différence? Si oui, explique pourquoi.
- Qu'est-ce qui arrive au courant lorsqu'on ajoute des résistances en parallèle dans un circuit?
- Qu'est-ce qui arrive à la différence de potentiel de chaque résistance à mesure qu'on ajoute des résistances en parallèle dans le circuit?
- Quelle relation y a-t-il entre le courant traversant des résistances en parallèle et le courant total du circuit?



ANNEXE 15 : Analyse de circuits

Résistances en série

Dans le circuit ci bas, les résistances sont en série donc tout le courant traverse chaque résistance ($I_1 = I_2 = I_3 = I$). Chaque résistance libère de l'énergie sous forme de chaleur donc subit une baisse de potentiel. La somme de chaque différence de potentiel doit être égale à la différence de potentiel de la source d'énergie (Il s'agit ici d'un exemple des lois de Kirchhoff et sont vraiment une conséquence de la loi de la conservation d'énergie. Il n'y a aucune perte ni aucun gain d'énergie dans un circuit.).



$$V_t = V_1 + V_2 + V_3$$

$$\text{Puisque } V = IR, IR_t = IR_1 + IR_2 + IR_3.$$

Résistances en parallèle

Ajouter une résistance en parallèle est la même chose qu'augmenter la coupe transversale d'un conducteur. Au bloc A, nous avons établi que la résistance est inversement proportionnelle à la section transversale d'un conducteur. Il y a donc une relation inversement proportionnelle entre la résistance et le nombre de résistances en parallèle dans un circuit.

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

La résistance totale d'un circuit a toujours une valeur moins élevée que la plus petite résistance placée en parallèle. Ceci est utile lorsqu'on analyse un circuit.

Les différences de potentiel pour des résistances en parallèle ont toutes la même valeur et sont aussi égales à la différence de potentiel pour le circuit : $V_t = V_1 = V_2 = V_3$. On détermine le courant total dans le circuit à l'aide de la différence de potentiel à la source et de la résistance totale du circuit. Ce courant se divise dans les différentes branches du circuit mais se recombine pour donner le courant total qui retourne à la source de potentiel. Les charges ne disparaissent pas ni n'apparaissent lorsqu'elles arrivent à un nœud dans le circuit. Elles sont simplement redistribuées, avec différents montants de charges se déplaçant dans chaque branche du circuit. Le montant de courant dans chaque branche dépend de la valeur de la résistance dans cette branche.

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3$$

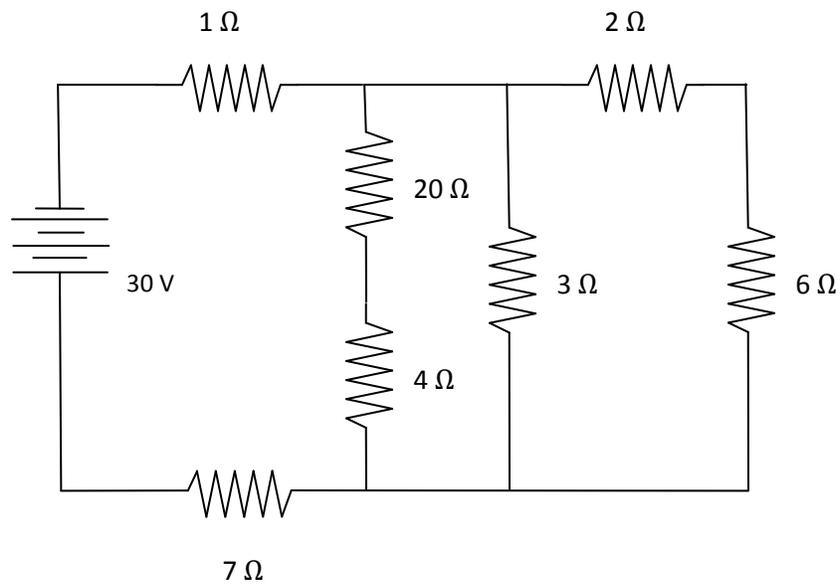
$$\text{Puisque le courant peut être calculé avec la loi d'Ohm, } I = \frac{V}{R}, \frac{V_t}{R_t} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}.$$



ANNEXE 15: Analyse de circuits (suite)

L'analyse des circuits doit commencer par l'analyse de circuits en série simples et de circuits en parallèle simples. Voici un exemple d'analyse de circuit combiné ou complexe.

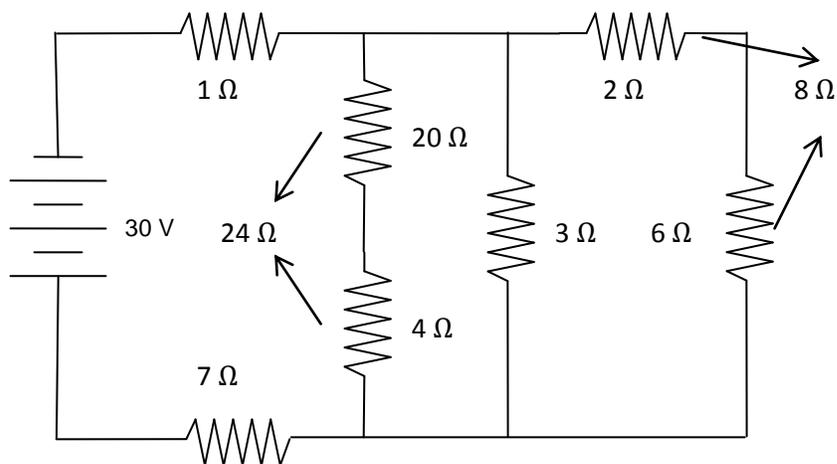
Exemple : Dans le circuit illustré ci-dessous, trouve pour chacune des résistances la valeur du courant, de la chute de potentiel et de la puissance consommée.



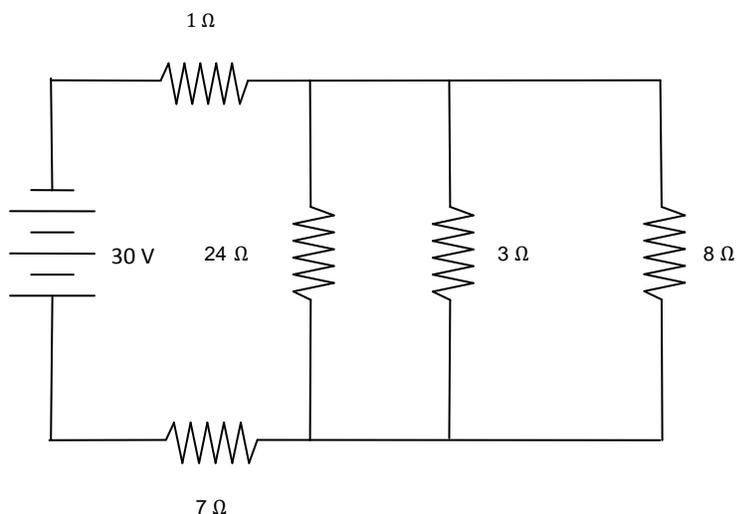
ANNEXE 15: Analyse de circuits (suite)

Il ne s'agit pas ici d'un simple circuit de résistances en série ou en parallèle. Comme il renferme les deux types de circuit, il s'agit d'un exemple de circuit complexe.

De manière générale, il est nécessaire de déterminer la résistance totale ou équivalente du circuit avant de calculer toute autre valeur électrique. Dans un tel circuit complexe il est nécessaire de distinguer les résistances en série de celles en parallèle. On peut ensuite effectuer la somme de chacun de ces deux groupes de résistances pour réduire le nombre de résistances du circuit. L'opération se poursuit jusqu'à ce que le circuit soit réduit à une simple résistance.



On commence généralement par les résistances les plus éloignées de la source. Dans le cas présent, les résistances de $2\ \Omega$ et de $6\ \Omega$ sont connectées en série et on peut combiner les deux valeurs pour obtenir une résistance de $8\ \Omega$. Il en va de même pour les résistances de $20\ \Omega$ et de $4\ \Omega$ dont la valeur totale est de $24\ \Omega$.



On obtient ainsi trois résistances en parallèle, d'une valeur de $24\ \Omega$, $3\ \Omega$, et $8\ \Omega$, respectivement.

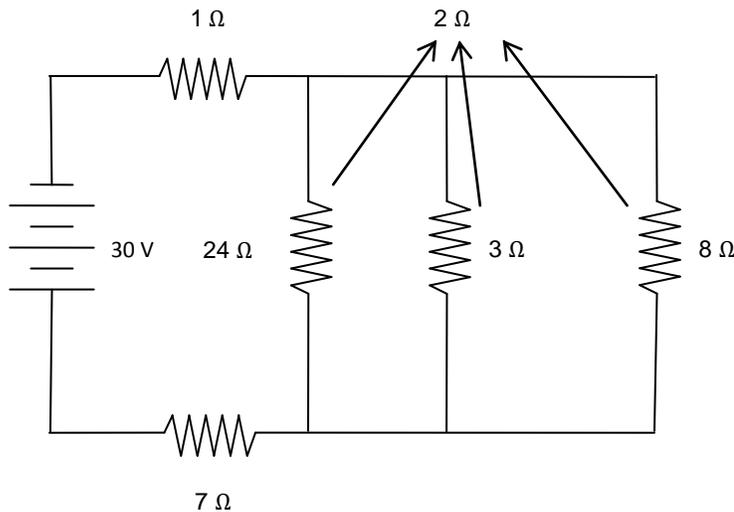


ANNEXE 15: Analyse de circuits (suite)

En combinant ces résistances en parallèle, on obtient :

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{24} + \frac{1}{3} + \frac{1}{8} = \frac{1}{24} + \frac{8}{24} + \frac{3}{24} + \frac{12}{24}$$

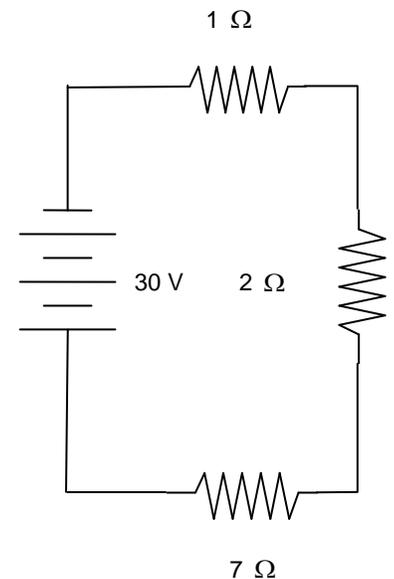
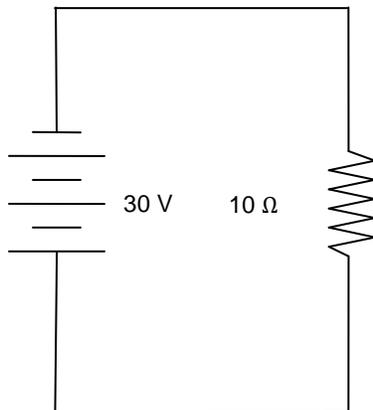
$$R_T = \frac{24}{12} = 2\Omega$$



Le circuit se réduit donc maintenant à trois résistances en série. La résistance totale de l'ensemble du circuit est donc $R_T = 1 + 2 + 7 = 10\Omega$.

C'est ce que l'on appelle souvent la résistance équivalente, et ce circuit simple composé d'une source unique et d'une résistance unique se nomme circuit équivalent.

La résistance équivalente de 10Ω absorbe la même quantité de courant émise par le bloc d'alimentation que les résistances du circuit complexe initial.



ANNEXE 15: Analyse de circuits (suite)

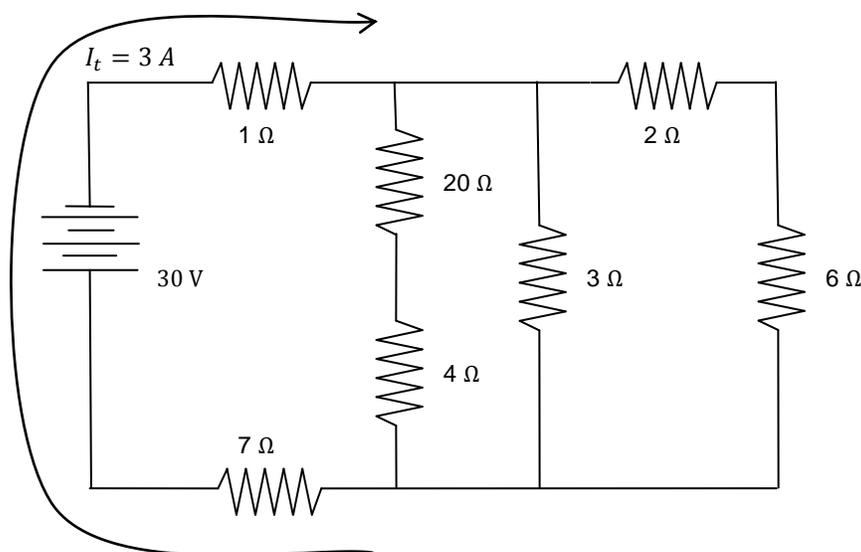
Pour terminer l'analyse, nous reprenons la démarche à rebours afin de recréer le circuit initial en appliquant les lois de Kirchoff :

- première loi de Kirchoff : la somme des courants arrivant à un nœud quelconque d'un circuit est égale à la somme des courants qui en repartent;
- loi des mailles : la somme des chutes de potentiel d'un circuit est égale à la somme des hausses de potentiel du même circuit.

Une fois la résistance totale calculée, trouvez la valeur du courant total qui quitte la source et y retourne.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{30\text{ V}}{10\ \Omega} = 3\text{ A}$$

Cela s'appelle la ligne principale du circuit car le courant total y circule. Il est utile de l'illustrer sur le circuit.



Le courant total passe ensuite par les résistances de $1\ \Omega$ et de $7\ \Omega$. Il en résulte une chute de potentiel dans chacune des résistances.

$$V_{chute} = IR = (3\text{ A})(1\ \Omega) = 3\text{ V}$$

$$\text{et } V_{chute} = (3\text{ A})(7\ \Omega) = 21\text{ V}$$

La chute de potentiel résiduelle pour le reste du circuit est de $30\text{ V} - 24\text{ V} = 6\text{ V}$.



ANNEXE 15: Analyse de circuits (suite)

Comme cette valeur de 6 V est présente dans les trois branches parallèles du circuit, il est possible de déterminer la valeur du courant dans chaque branche. Comme le potentiel est le même pour les résistances en parallèle :

$$I = \frac{V}{R} = \frac{6 V}{24 \Omega} = 0,25 A$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{6 V}{3 \Omega} = 2 A$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{6 V}{8 \Omega} = 0,75 A$$

On peut calculer la valeur de la chute de potentiel aux résistances de 20 Ω et de 4 Ω .

$$V_{chute} = IR = (0,25 A)(20 \Omega) = 5 V \text{ à la résistance de } 20 \Omega.$$

On peut déterminer la valeur de la chute de potentiel à la résistance de 4 Ω de la même manière ou en utilisant la loi des mailles de Kirchhoff. Comme la valeur de 6 V est présente aux deux résistances et que la chute de potentiel à la résistance de 20 Ω est de 5 V, alors la chute de potentiel à la résistance de 4 Ω est de 6 V – 5 V = 1 V.

On peut recourir à une méthode similaire pour déterminer la chute de potentiel aux résistances de 2 Ω et de 6 Ω . À la résistance de 2 Ω : $V_{chute} = IR = (0,75 A)(2 \Omega) = 1,5 V$. La chute de potentiel à la résistance de 6 Ω est de 6 V – 1,5 V = 4,5 V.

On utilise la loi de Watt ou ses deux variantes pour déterminer la puissance absorbée par chacune des résistances :

En ce qui concerne les résistances en série de 1 Ω et de 7 Ω de la ligne principale du circuit :

$$P = IV = (3 A)(1 \Omega) = 3 W$$

$$P = IV = (3 A)(7 \Omega) = 21 W$$



ANNEXE 15: Analyse de circuits (suite)

En ce qui concerne les résistances de $20\ \Omega$ et de $4\ \Omega$ connectées en série entre elles mais faisant partie du groupe en parallèle :

$$P = I^2 R = (0,25\ A)^2 (20\ \Omega) = 1,25\ W$$

$$P = I^2 R = (0,25\ A)^2 (4\ \Omega) = 0,25\ W$$

La chute de potentiel observée à la résistance de $3\ \Omega$ est de $6\ V$.

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{(6\ V)^2}{3\ \Omega} = 12\ W$$

Les résistances de $2\ \Omega$ et de $6\ \Omega$ sont en série et la valeur du courant qui y circule est la même.

$$P = I^2 R = (0,75\ A)^2 (2\ \Omega) = 1,125\ W$$

$$P = I^2 R = (0,75\ A)^2 (6\ \Omega) = 3,375\ W$$

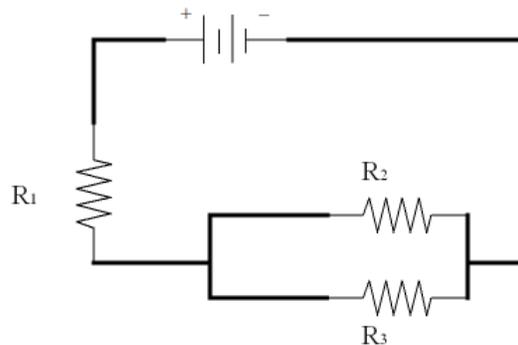
Soulignons qu'il est possible d'obtenir les mêmes valeurs en ayant recours à d'autres variantes des lois de Watt, d'Ohm et de Kirchhoff. Il s'agit pour les étudiants d'un excellent exercice de résolution de problèmes.

Notons aussi que les conventions relatives aux chiffres significatifs n'ont pas été respectées dans l'exemple qui précède. Cela permet aux étudiants de vérifier les résultats par différentes méthodes de calcul.



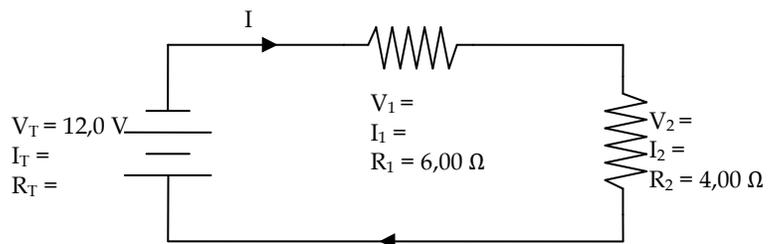
ANNEXE 16 : Test – Analyse de circuits électriques

1. Indique sur le diagramme suivant où tu placerais :
 - a. un ampèremètre pour mesure le courant total.
 - b. Un ampèremètre pour mesurer le courant qui traverse R_2 .
 - c. Un voltmètre pour mesurer la différence de potentiel aux bornes de R_1 .
 - d. Un voltmètre pour mesurer la différence de potentiel aux bornes de R_2 .



2. Un courant de 0,352 A traverse une ampoule connectée à une source de potentiel de 4,65 V.
 - a. Dessine le diagramme du circuit et démontre le placement correct de l'ampèremètre et du voltmètre. Indique la direction du courant dans le circuit.
 - b. Calcule la résistance de l'ampoule.
3. Un chauffe-voiture est branché dans un circuit de 120 V et tire un courant de 7,50 A.
 - a. Quelle est la résistance du chauffe-voiture?
 - b. Quelle est la puissance du chauffe-voiture?
 - c. Si le chauffe-voiture fonctionne pour 3,5 heures, calcule sa consommation d'énergie.

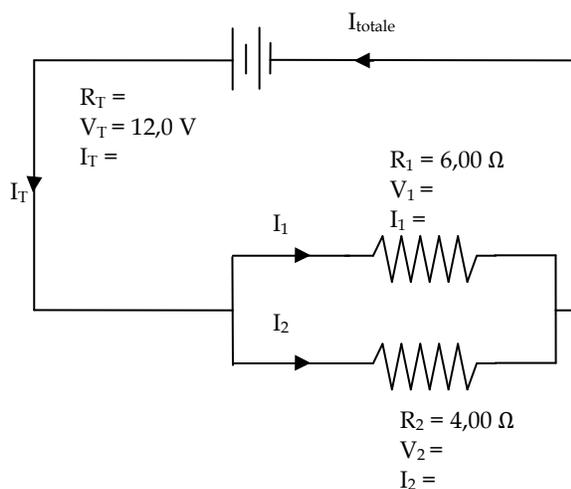
4. Une résistance de $6,00 \Omega$ et une résistance de $4,00 \Omega$ sont connectées en série à une pile de 12,0 V. La pile n'offre aucune résistance dans le circuit.



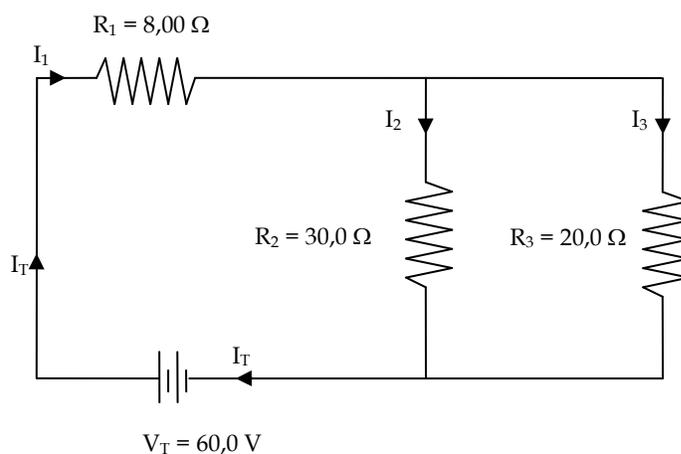
- a. Calcule la résistance totale du circuit.
- b. Calcule le courant qui traverse chaque résistance.
- c. Calcule la puissance dissipée dans chaque résistance.
- d. Calcule la puissance totale du circuit.
- e. Calcule la différence de potentiel aux bornes de chaque résistance.

ANNEXE 16: Analyse de circuits électriques (suite)

5. Une résistance de $6,00 \Omega$ et une résistance de $4,00 \Omega$ sont connectées en parallèle à une pile de $12,0 \text{ V}$. La pile n'offre aucune résistance dans le circuit.
- Calcule la résistance totale du circuit.
 - Calcule la différence de potentiel aux bornes de chaque résistance.
 - Calcule le courant qui traverse chaque résistance.
 - Calcule la puissance dissipée dans chaque résistance.
 - Calcule la puissance totale du circuit.

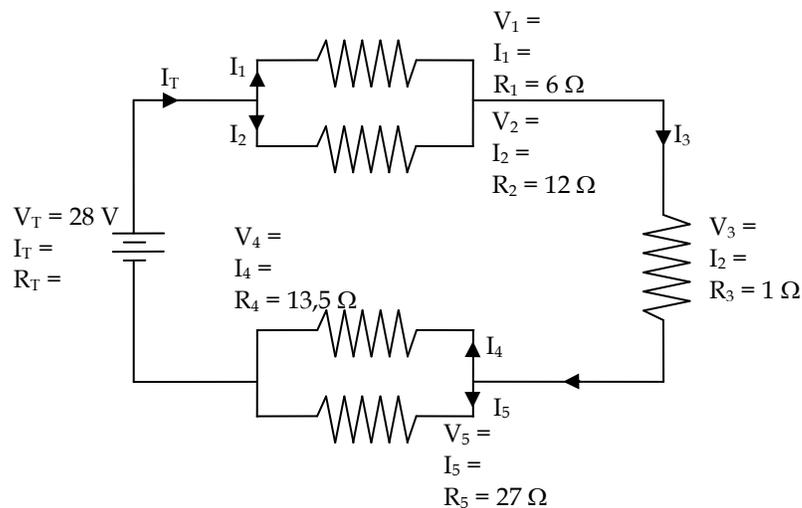


6. Pour le circuit suivant, calcule I_t , I_1 , I_2 , I_3 , R_t , V_1 , V_2 , et V_3 .



ANNEXE 16: Analyse de circuits électriques (suite)

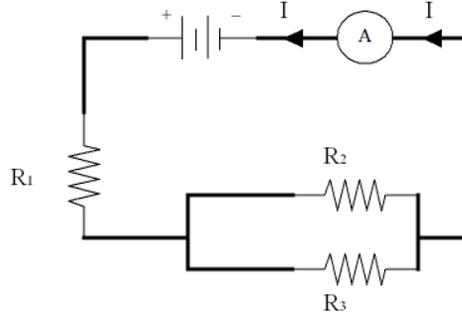
7. Deux résistances de 60Ω sont connectées en parallèle. Cet ensemble parallèle est connecté en série avec une résistance de 30Ω . Le circuit est connecté à une pile de 120 V .
- Dessine un diagramme du circuit. Indique la direction du courant.
 - Calcule la résistance équivalente de la partie parallèle du circuit.
 - Calcule la résistance totale du circuit.
 - Calcule le courant total.
 - Calcule la différence de potentiel aux bornes de la résistance de 30Ω .
 - Calcule la différence de potentiel aux bornes de chaque résistance de 60Ω .
 - Calcule le courant traversant chaque résistance de 60Ω .
 - Démontre l'emplacement d'un ampèremètre mesurant le courant qui traverse la résistance de 30Ω .
 - Démontre le placement d'un voltmètre pour mesurer la différence de potentiel aux bornes d'une des résistances de 60Ω .
 - Calcule la puissance dissipée dans chacune des résistances ainsi que pour tout le circuit.
8. Calcule les données qui manquent dans le diagramme suivant.



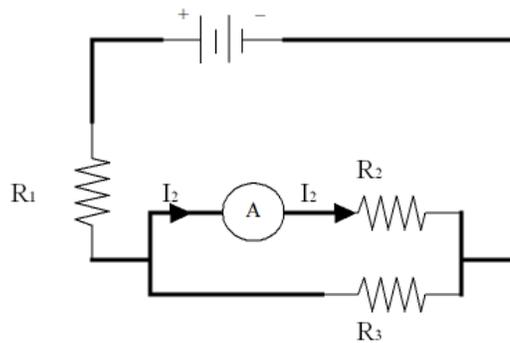
ANNEXE 17 : Analyse de circuits électriques - Corrigé

1.

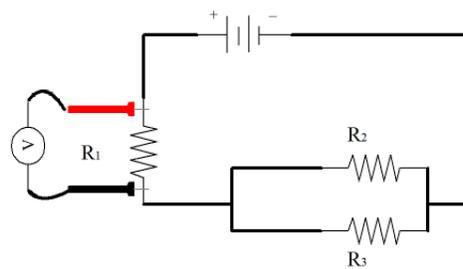
a.



b.

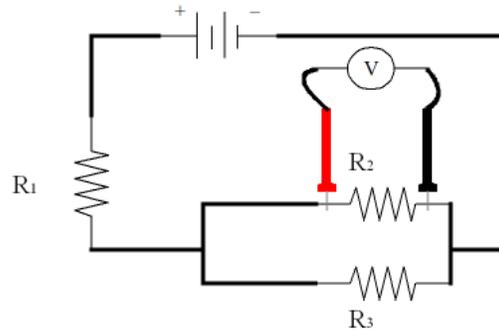


c.



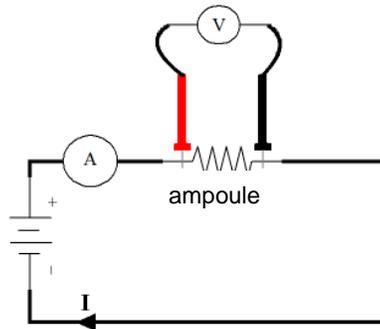
ANNEXE 17: Analyse de circuits électriques - Corrigé (suite)

d.



2.

a.



b. $I = 0,352 \text{ A}$ $V = 4,65 \text{ V}$ $R = ?$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{4,65 \text{ V}}{0,352 \text{ A}} = 13,2 \Omega$$



ANNEXE 17: Analyse de circuits électriques - Corrigé (suite)

3. $I = 7,50 \text{ A}$ $V = 120 \text{ V}$

a. $R = ?$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{120 \text{ V}}{7,50 \text{ A}} = 16 \Omega$$

b. $P = I^2 R = (7,50)^2 (16 \Omega) = 900 \text{ W} = 9,0 \times 10^2 \text{ W}$

c. $\text{Coût} = P \text{ (en KW)} \times \text{temps (en heures)} = 0,90 \text{ KW} \times 3,5 \text{ h} = 3,2 \text{ KWh}$

4.

a. $R_t = R_1 + R_2 = 6,00 \Omega + 4,00 \Omega = 10,00 \Omega$

b. *Le courant qui traverse chaque résistance est égal au courant total du circuit.*

$$I_t = \frac{V_t}{R_t} = \frac{12,0 \text{ V}}{10,0 \Omega} = 1,20 \text{ A, donc } I_1 = 1,20 \text{ A et } I_2 = 1,20 \text{ A}$$

c. $P_1 = I_1^2 R_1 = (1,20 \text{ A})^2 (6,00 \Omega) = 8,64 \text{ W}$

$$P_2 = I_2^2 R_2 = (1,20 \text{ A})^2 (10,00 \Omega) = 5,76 \text{ W}$$

d. $P_t = 8,64 \text{ W} + 5,76 \text{ W} = 14,4 \text{ W}$ ou $P_t = I^2 R_t = (1,20 \text{ A})^2 (10,00 \Omega) = 14,4 \text{ W}$

e. $V_1 = I_1 R_1 = (1,20 \text{ A})(6,00 \Omega) = 7,20 \text{ V}$ $V_2 = I_2 R_2 = (1,20 \text{ A})(4,00 \Omega) = 4,80 \text{ V}$

5.

a. $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{6,00 \Omega} + \frac{1}{4,00 \Omega}$

$$R_t = 2,40 \Omega$$

b. *La différence de potentiel aux bornes de chaque résistance est égale à la différence de potentiel du circuit, donc 12,0 V.*

c. $I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{12,0 \text{ V}}{6,00 \Omega} = 2,00 \text{ A}$ $I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{12,0 \text{ V}}{4,00 \Omega} = 3,00 \text{ A}$

d. $P_1 = I_1^2 R_1 = (2,00 \text{ A})^2 (6,00 \Omega) = 24,0 \text{ W}$ $P_2 = I_2^2 R_2 = (3,00 \text{ A})^2 (4,00 \Omega) = 36,0 \text{ W}$

e. $P_t = 24,0 \text{ W} + 36,0 \text{ W} = 60,0 \text{ W}$



ANNEXE 17: Analyse de circuits électriques - Corrigé (suite)

6. On doit premièrement déterminer la résistance totale du circuit. On peut calculer la résistance équivalente des deux résistances branchées en parallèle.

$$\frac{1}{R_{2,3}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{30,0 \Omega} + \frac{1}{20,0 \Omega}$$

$$R_{2,3} = 12,0 \Omega$$

$R_{2,3}$ et R_1 sont maintenant en série. La résistance totale est donc :

$$R_t = R_1 + R_{2,3} = 8,00 \Omega + 12,00 \Omega = 20,00 \Omega$$

On peut ensuite calculer I_t :

$$I_t = \frac{V_t}{R_t} = \frac{60,0 V}{20,0 \Omega} = 3,00 A$$

I_1 est égal à I_t donc a une valeur de 3,00 A.

La différence de potentiel aux bornes de la première résistance est

$$V_1 = I_1 R_1 = (3,00 A)(8,00 \Omega) = 24,0 V$$

Les différences de potentiel pour des résistances en parallèle ont toutes la même valeur donc

$$V_2 = V_3. V_t = V_1 + V_{2,3}, \text{ donc } V_{2,3} = V_t - V_1 = 60,0 V - 24,0 V = 36,0 V.$$

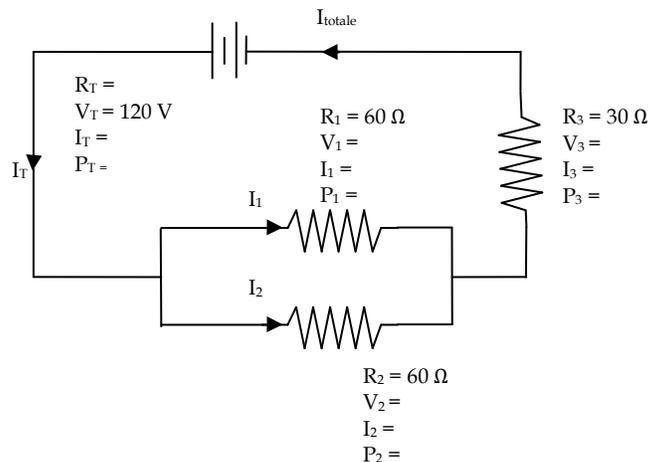
Il nous reste à calculer I_2 et I_3 .

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{36,0 V}{30,0 \Omega} = 1,20 A$$

$$I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{36,0 V}{20,00 \Omega} = 1,80 A$$

7.

a.



ANNEXE 17: Analyse de circuits électriques - Corrigé (suite)

b.

$$\frac{1}{R_{1,2}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{60 \Omega} + \frac{1}{60 \Omega} \quad R_{1,2} = 30 \Omega$$

c.

$$R_t = R_{1,2} + R_3 = 30 \Omega + 30 \Omega = 60 \Omega$$

d.

$$I_t = \frac{V_t}{R_t} = \frac{120 V}{60 \Omega} = 2 A$$

e.

$$V_3 = I_3 R_3 = (2 A)(30 \Omega) = 60 V$$

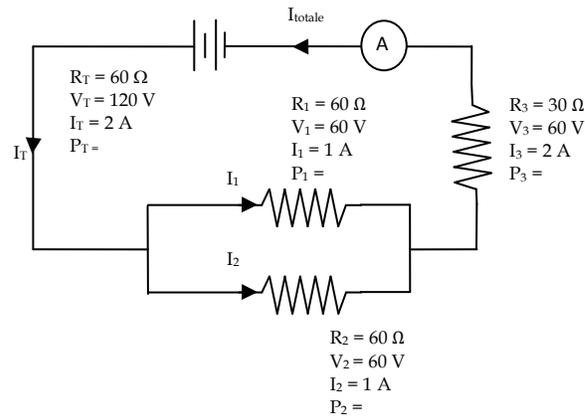
f.

$$V_{1,2} = I_t R_{1,2} = (2 A)(30 \Omega) = 60 V$$

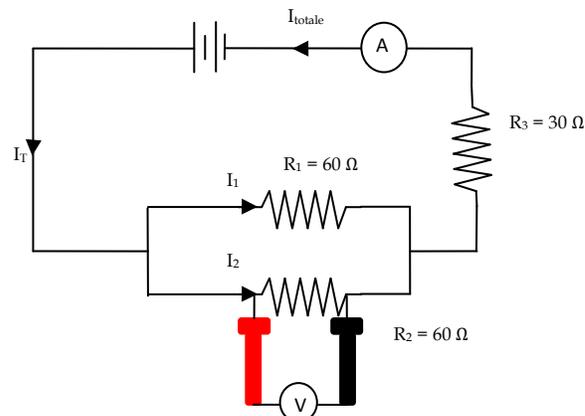
g. *Puisque les deux résistances sont équivalentes, un courant de même intensité va les traverser.*

$$I_{60 \Omega} = \frac{V}{R_{60 \Omega}} = \frac{60 V}{60 \Omega} = 1 A$$

h.



i.



ANNEXE 17: Analyse de circuits électriques - Corrigé (suite)

j.

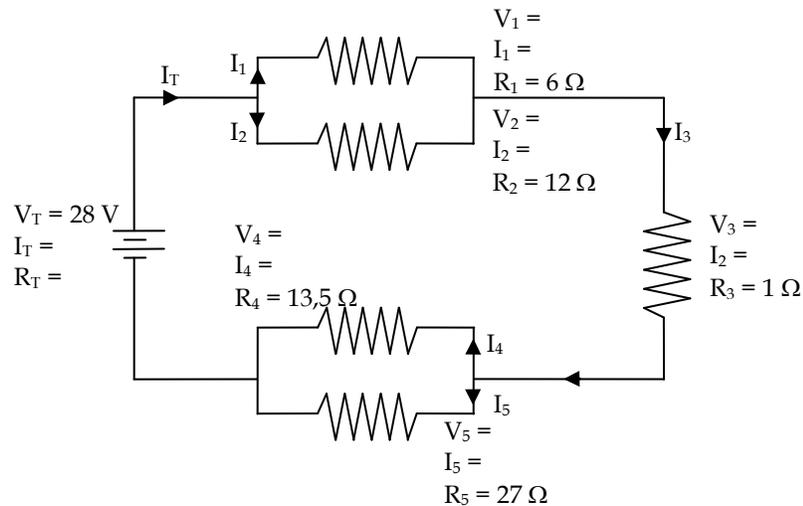
$$P_t = I_t V_t = (2 \text{ A})(120 \text{ V}) = 240 \text{ W}$$

$$P_1 = I_1 V_1 = (1 \text{ A})(60 \text{ V}) = 60 \text{ W}$$

$$P_2 = I_2 V_2 = (1 \text{ A})(60 \text{ V}) = 60 \text{ W}$$

$$P_3 = I_3 V_3 = (2 \text{ A})(60 \text{ V}) = 120 \text{ W}$$

8.



Puisqu'on a les données pour I_3 et R_3 , on peut calculer V_3 .

$$V_3 = R_3 I_3 = (1 \Omega)(2 \text{ A}) = 2 \text{ V}$$

Puisque R_3 est relié en série avec la source de potentiel,

$$I_3 = I_1 = 2 \text{ A}.$$

On peut alors calculer la résistance totale du circuit.

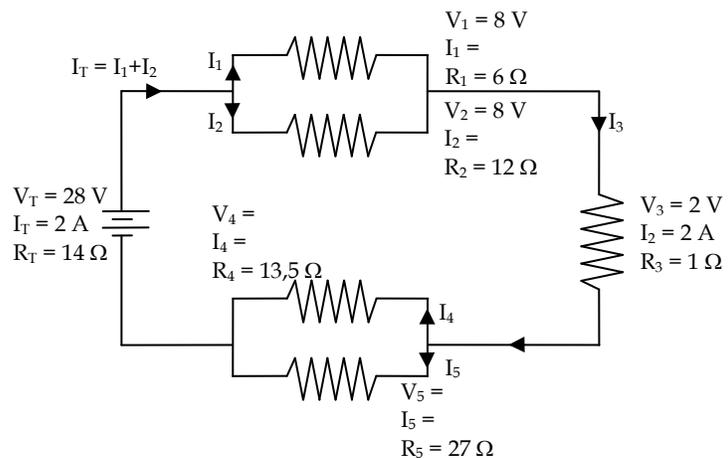
$$R_t = \frac{V_t}{I_t} = \frac{28 \text{ V}}{2 \text{ A}} = 14 \Omega$$

On peut calculer la valeur de $R_{1,2}$.

$$\frac{1}{R_{1,2}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{6 \Omega} + \frac{1}{12 \Omega} \quad R_{1,2} = 4 \Omega$$

Calculons ensuite $V_{1,2}$.

$$V_{1,2} = R_{1,2} I_t = (4 \Omega)(2 \text{ A}) = 8 \text{ V}$$



ANNEXE 17: Analyse de circuits électriques - Corrigé (suite)

On connaît maintenant la valeur de V_1 et R_1 donc on peut calculer I_1 .

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{8 \text{ V}}{6 \Omega} = 1,3 \text{ A}$$

On peut aussi calculer I_2 .

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{8 \text{ V}}{12 \Omega} = 0,7 \text{ A}$$

Selon la loi de Kirchhoff, on sait que :

$$V_t = V_{1,2} + V_3 + V_{4,5}$$

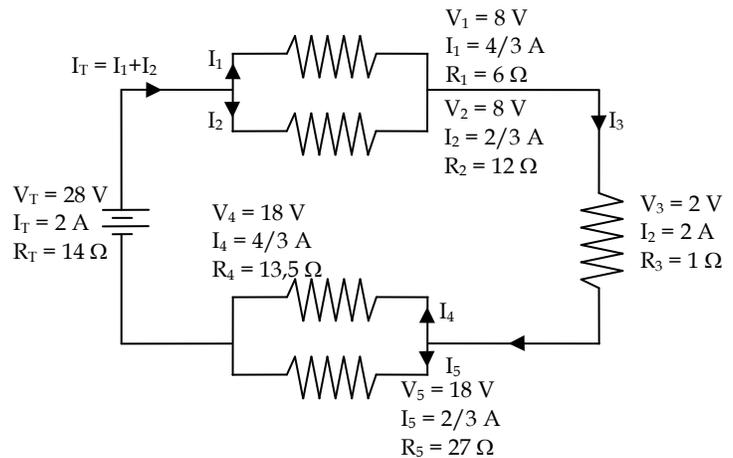
$$28 \text{ V} = 8 \text{ V} + 2 \text{ V} + V_{4,5} \quad V_{4,5} = 18 \text{ V}$$

On peut calculer I_5 .

$$I_5 = \frac{V_5}{R_5} = \frac{18 \text{ V}}{27 \Omega} = 0,7 \text{ A}$$

Finalement, on peut calculer I_4 .

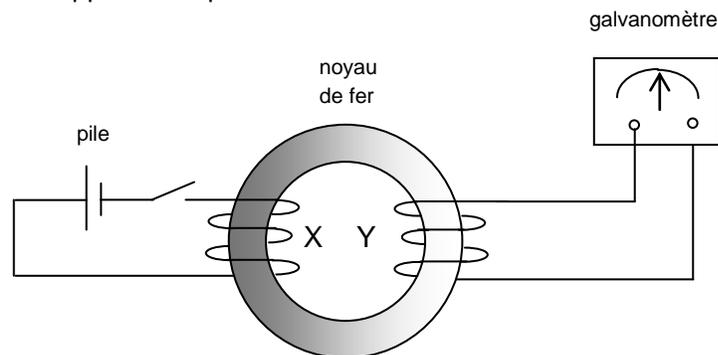
$$I_4 = \frac{V_4}{R_4} = \frac{18 \text{ V}}{13,5 \Omega} = 1,3 \text{ A}$$



ANNEXE 18 : Les travaux de Faraday et l'induction électromagnétique

Au début du 19^e siècle, on découvre qu'un courant électrique produit un champ magnétique et qu'un champ magnétique exerce une force sur un courant électrique ou sur une charge électrique en mouvement. Les scientifiques se demandent alors s'il serait possible de produire un courant électrique à l'aide d'un champ magnétique. Deux scientifiques, l'américain Joseph Henry (1797 – 1878) et l'anglais Michael Faraday (1791 – 1867) découvrent que ceci est possible. Henry fait la découverte avant Faraday, mais Faraday publie ses résultats avant Henry et effectue des expériences plus détaillées.

Faraday a utilisé un appareil tel que celui-ci dessous.



La bobine de fil du circuit X est reliée à une pile. Un courant qui circule dans un conducteur produit un champ magnétique autour du fil. Le courant circulant dans X produit donc un champ magnétique dans la bobine. Le noyau de fer intensifie ce champ magnétique.

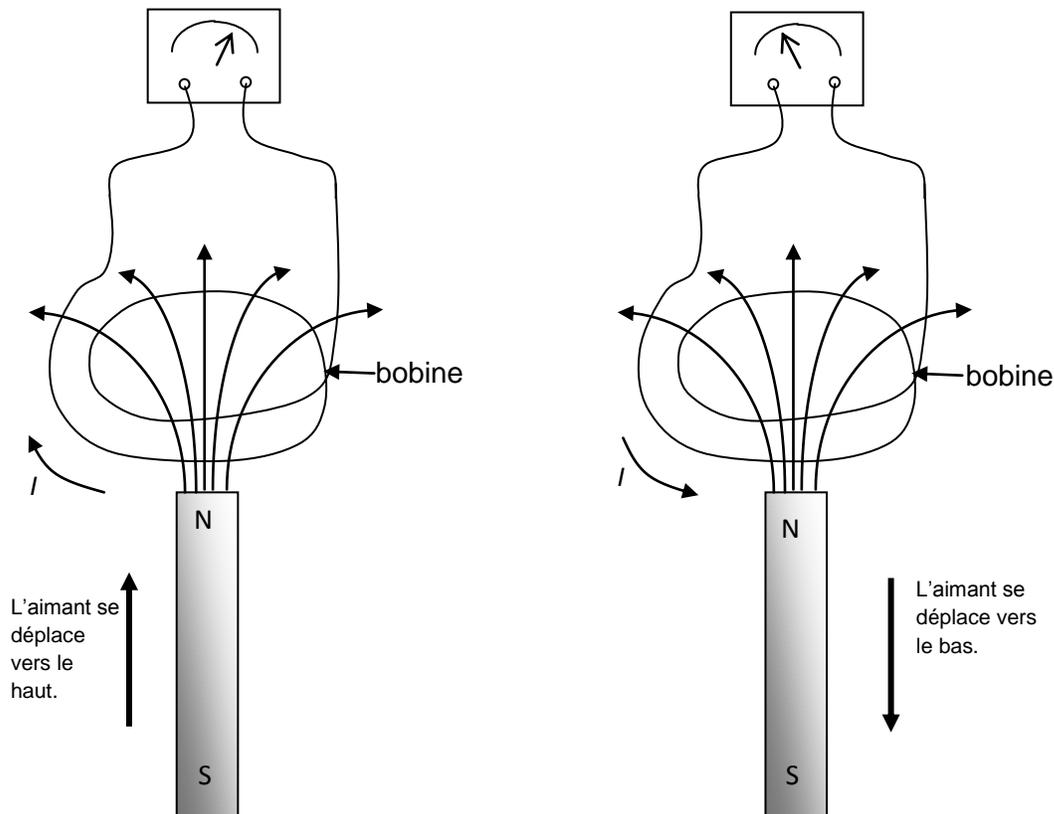
Faraday croit que s'il utilise une pile assez puissante, le courant circulant dans X produira un champ magnétique assez fort pour induire un courant dans le circuit Y. Ce deuxième circuit n'est pas relié à une pile, mais est connecté à un galvanomètre afin de détecter tout courant qui y circule. Lorsque Faraday fait circuler un courant constant, le galvanomètre ne détecte aucun courant.

Cependant, en fermant l'interrupteur, il observe une déviation momentanée de l'aiguille du galvanomètre. En ouvrant l'interrupteur, il observe aussi une déviation momentanée de l'aiguille, mais en direction opposée. Un courant est donc induit seulement lorsque le courant du circuit X s'arrête ou commence à circuler. Lorsque le circuit est fermé, le champ magnétique passe de zéro à sa valeur maximale (pas de lignes de champ traversant la bobine à un nombre maximum de lignes de champ traversant la bobine). Lorsque le circuit est ouvert et que le courant cesse de circuler, le champ magnétique passe de sa valeur maximale à une valeur de zéro. Faraday conclut donc qu'un champ magnétique doit varier afin d'induire un courant électrique.

Faraday continue ses expériences sur l'induction électromagnétique. Ces expériences démontrent d'autres façons d'induire une différence de potentiel dans un circuit.

ANNEXE 18: Les travaux de Faraday et l'induction électromagnétique (suite)

L'induction électromagnétique et la variation du champ magnétique



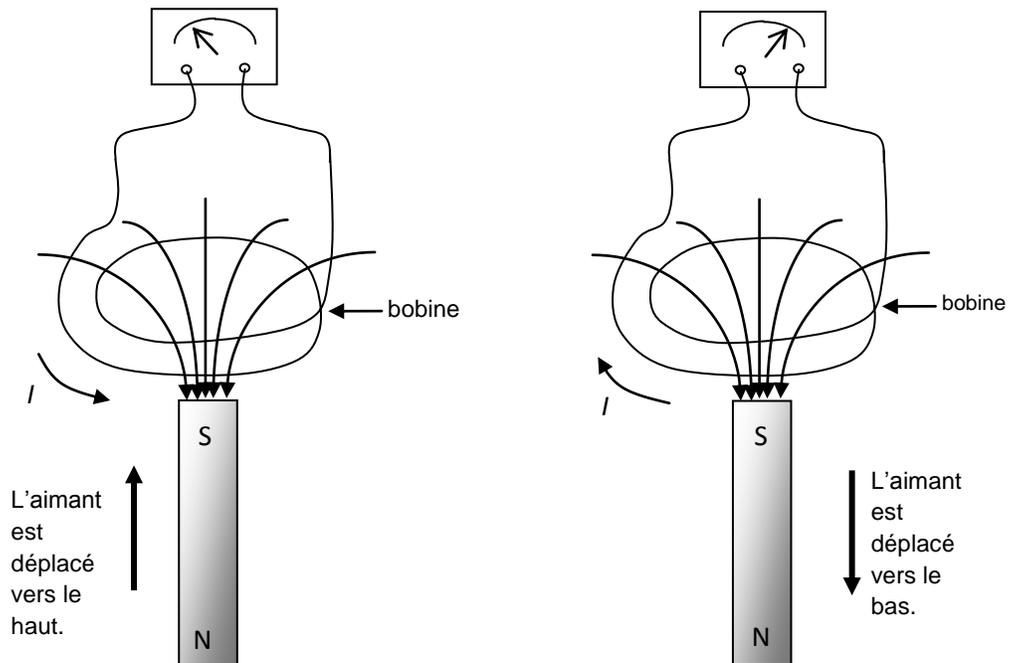
Dans le diagramme à gauche, le pôle nord de l'aimant se déplace vers la bobine de fil reliée à un galvanomètre. Ceci induit un courant et l'aiguille du galvanomètre dévie vers la droite. L'intensité du champ magnétique varie à mesure que l'aimant s'approche de la bobine (un plus grand nombre de lignes de champ magnétique traversent la bobine donc l'intensité du champ augmente).

Dans le diagramme à droite, le pôle nord de l'aimant s'éloigne de la bobine de fil. Ceci induit un courant de direction opposée et l'aiguille du galvanomètre dévie vers la gauche. L'intensité du champ magnétique varie à mesure que l'aimant s'éloigne de la bobine (un nombre décroissant de lignes de champ traversent la bobine donc l'intensité du champ diminue).

Supposons que l'aimant ne se déplaçait pas dans le diagramme à gauche, mais que la bobine était déplacée vers le bas. Un courant serait induit et l'aiguille du galvanomètre dévierait dans la même direction. Un effet semblable serait observé dans le diagramme à droite. Peu importe si la bobine ou si l'aimant se déplace, une différence de potentiel est induite dans les deux cas. Il doit y avoir un mouvement relatif entre l'aimant et la bobine pour induire un courant.



ANNEXE 18: Les travaux de Faraday et l'induction électromagnétique (suite)



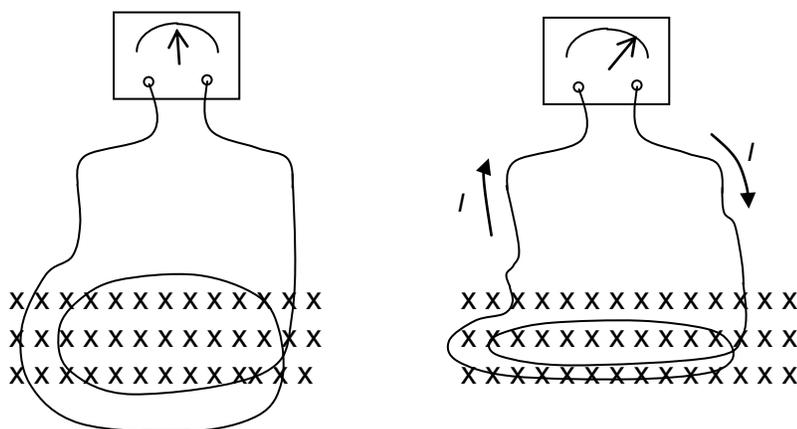
Si on déplace le pôle sud d'un aimant vers la bobine, le courant induit circule dans le sens opposé que lorsqu'on déplace le pôle nord de l'aimant vers la bobine. Si on éloigne le pôle sud de l'aimant de la bobine, le courant induit circule dans le sens opposé que lorsqu'on éloigne le pôle nord de l'aimant.



ANNEXE 18: Les travaux de Faraday et l'induction électromagnétique (suite)

L'induction électromagnétique et l'aire d'une boucle

Une deuxième façon d'induire une différence de potentiel dans un conducteur est de varier la superficie de la bobine. Par exemple, supposons qu'un champ magnétique agit en direction de la page (XXX). Une bobine de fil reliée à un galvanomètre et placée dans de champ magnétique.



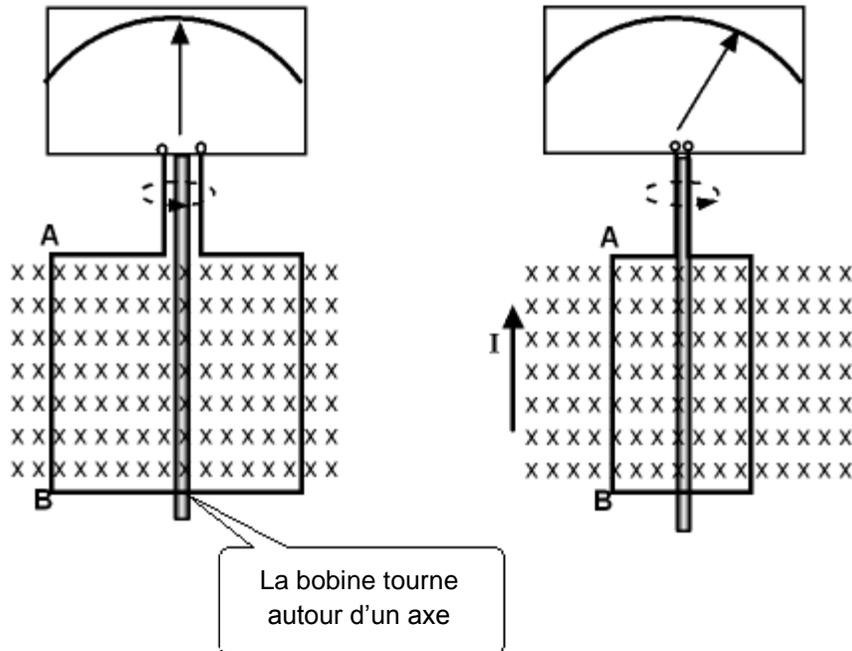
Dans le diagramme à la droite, la bobine est étirée donc une plus petite aire est traversée par les lignes de champ magnétique. Cet étirement fait qu'un courant est induit. Tant que l'aire de la bobine varie, le courant continue à circuler dans le fil.

L'induction électromagnétique et l'orientation d'une boucle

Dans la section précédente, nous avons vu qu'on peut induire un courant dans une bobine en l'étirant afin de réduire son aire. On peut aussi induire un courant sans physiquement changer la forme de la boucle. On la fait tourner dans un champ magnétique, ce qui change l'angle entre la boucle et le champ.



ANNEXE 18: Les travaux de Faraday et l'induction électromagnétique (suite)



Si la bobine tourne en sens inverse des aiguilles d'une montre, on peut voir que le nombre de lignes de champ magnétique traversant la bobine diminue. Ceci induit un courant qui circule du point B au point A.



ANNEXE 19 : Exercice – L'induction électromagnétique

1. Quelles sont les trois façons d'induire un courant dans une bobine de fil?
2. Explique comment la foudre peut produire un courant dans un appareil électrique même si la foudre ne tombe pas directement sur cet appareil.
3. Suppose qu'une bobine de fil reliée à un galvanomètre est déplacée vers la droite à une vitesse de 5,0 m/s. Un aimant droit, le pôle nord orienté vers la boucle, se déplace aussi vers la droite à une vitesse de 5,0 m/s. Un courant sera-t-il induit dans la boucle? Explique ta réponse.
4. Une bobine a une aire de $0,758 \text{ m}^2$ et est placée dans un champ magnétique de 0,0540 T. Calcule le flux magnétique si l'angle entre la normale de la boucle et le champ magnétique a une valeur de :
 - a. $90,0^\circ$
 - b. $45,0^\circ$
 - c. $60,0^\circ$
 - d. $0,0^\circ$
5. Une bobine rectangulaire de 25,0 cm par 18,0 cm est placée dans un champ magnétique de 0,0248 T. Calcule le flux magnétique si la normale de la boucle forme un angle de $35,0^\circ$ avec le champ magnétique.
6. Le flux magnétique d'une bobine de $0,600 \text{ m}^2$ a une valeur de 0,400 Wb. Calcule l'angle entre la boucle et un champ magnétique de 0,052 T.
7. Le plancher d'une maison a une superficie de 112 m^2 . Un de ses murs extérieurs a une superficie de 28 m^2 . Le champ magnétique de la Terre a une composante horizontale de $2,6 \times 10^{-5} \text{ T}$ en direction Nord et une composante verticale de $4,2 \times 10^{-5} \text{ T}$ vers la terre.
 - a. Calcule le flux magnétique à travers le mur externe si ce dernier est orienté vers le nord.
 - b. Calcule le flux magnétique à travers le mur externe si ce dernier est orienté vers l'est.
 - c. Calcule le flux magnétique qui traverse le plancher de la maison.



ANNEXE 20 : L'induction électromagnétique – Corrigé

1. *Trois façons d'induire un courant dans une bobine de fil sont :*
 - a. *faire varier le champ magnétique;*
 - b. *faire varier l'aire de la boucle;*
 - c. *changer l'angle entre le champ magnétique et la boucle.*

2. *On peut comparer l'éclair au courant électrique (des charges en mouvement). Quand l'éclair traverse l'air, un champ magnétique est créé autour de ce courant. Ce champ peut s'étendre et atteindre l'appareil électrique, où se trouve un circuit. Le circuit est comme une bobine de fil. À mesure que le champ magnétique qui traverse cette bobine varie (il augmente ensuite diminue), un courant est induit dans le circuit.*

3. *La bobine de fil et l'aimant se déplacent à la même vitesse vectorielle. Il n'y a donc pas de mouvement relatif entre l'aimant et la bobine, donc aucun courant induit.*

4. $A = 0,758 \text{ m}^2$ $B = 0,0540 \text{ T}$
 - a. $\theta = 90,0^\circ$ $\Phi = ?$
L'angle entre la normale de la boucle et le champ magnétique a une valeur de $90,0^\circ$, donc le champ magnétique est parallèle à la boucle ce qui veut dire qu'aucune ligne de champ ne traverse la boucle. La valeur du flux magnétique est donc 0 Wb .

$$\Phi = BA \cos \theta = (0,0540 \text{ T})(0,758 \text{ m}^2)(\cos 90,0^\circ) = 0 \text{ Wb}$$
 - b. $\Phi = BA \cos \theta = (0,0540 \text{ T})(0,758 \text{ m}^2)(\cos 45,0^\circ) = 0,0298 \text{ Wb}$
 - c. $\Phi = BA \cos \theta = (0,0540 \text{ T})(0,758 \text{ m}^2)(\cos 60,0^\circ) = 0,0205 \text{ Wb}$
 - d. $\Phi = BA \cos \theta = (0,0540 \text{ T})(0,758 \text{ m}^2)(\cos 0^\circ) = 0,0409 \text{ Wb}$

5. *L'aire doit être calculée en mètres carré.*
 $A = L \times l = 0,250 \text{ m} \times 0,180 \text{ m} = 0,0450 \text{ m}^2$

$$\Phi = BA \cos \theta = (0,0248 \text{ T})(0,0450 \text{ m}^2)(\cos 35,0^\circ) = 0,000914 \text{ Wb}$$

6. $\Phi = BA \cos \theta$

$$\cos \theta = \frac{\Phi}{BA}$$

$$\cos \theta = \frac{0,400 \text{ Wb}}{(0,952 \text{ T})(0,600 \text{ m}^2)} = 0,700$$

$$\theta = 45,6^\circ$$



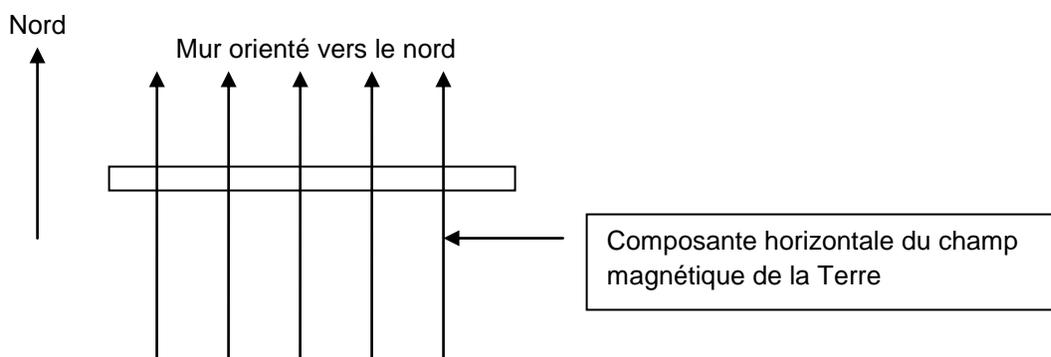
ANNEXE 20: L'induction électromagnétique (suite)

7.

- a. Pour le mur qui est orienté vers le nord, le champ magnétique qui le traverse est aussi orienté vers le nord. L'angle entre la normale du mur et la composante horizontale du champ magnétique est donc 0° .

$$\Phi = BA \cos \theta = (2,6 \times 10^{-5} T)(112 \text{ m}^2)(\cos 0^\circ) = 7,3 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

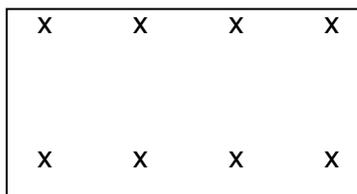
L'angle entre la composante verticale du champ magnétique et la normale du mur est 90° , donc la valeur du flux est 0 Wb.



- b. Il n'y a pas de flux magnétique qui traverse le mur orienté vers l'est. Aucune ligne de champ magnétique ne le traverse.
- c. Le flux magnétique qui traverse le plancher de la maison est causé par la composante verticale du champ magnétique de la Terre. L'angle entre la normale du plancher et les lignes de champ est de 0° .

$$\Phi = BA \cos \theta = (4,2 \times 10^{-5} T)(112 \text{ m}^2)(\cos 0^\circ) = 4,7 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

Vue du haut



ANNEXE 21 : La loi de Faraday – Renseignements pour l'enseignant

Exemple 1 : Le flux magnétique généré autour d'une bobine plate de 20 tours varie de $9 \times 10^{-4} \text{ Wb}$ en 3 millisecondes. Détermine la magnitude du voltage induit dans la bobine.

$$V = \frac{N\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{(20)(9 \times 10^{-4} \text{ Wb})}{3 \times 10^{-3} \text{ s}} = 6 \text{ V}$$

Exemple 2 : Une bobine de 120 tours et d'un rayon de 12 cm tourne dans un champ magnétique de 0,055 T à raison de 3 200 révolutions à la minute. Quelle est la magnitude du voltage induit durant le quart de tour de la bobine compris entre le moment où B est parallèle à la normale de la bobine et celui où B est perpendiculaire à la normale?

Si B est parallèle à la normale, alors $\sin \theta = 1$ et $B_{\perp} = 0,055 \text{ T}$. Si B est perpendiculaire à la normale, $\sin \theta = 0$ et $B_{\perp} = 0 \text{ T}$. Donc, pour ce quart de tour, $|\Delta B_{\perp}| = 0,055 \text{ T}$.

L'aire de la boucle est : $A = \pi r^2 = \pi(0,12 \text{ m})^2 = 0,0452 \text{ m}^2$

Le temps nécessaire pour accomplir un quart de révolution est :

$$\frac{1 \text{ min}}{3200 \text{ rév.}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \times 0,25 \text{ rév.} = 0,00469 \text{ s}$$

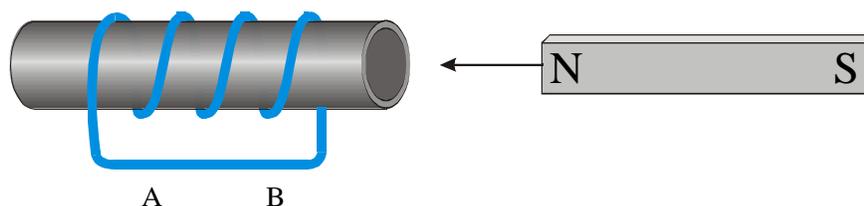
Pour terminer,

$$V = \frac{N\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{N(\Delta B)A}{\Delta t} = \frac{(120)(0,055 \text{ T})(0,0452 \text{ m}^2)}{0,00469 \text{ s}} = 64 \text{ V}$$



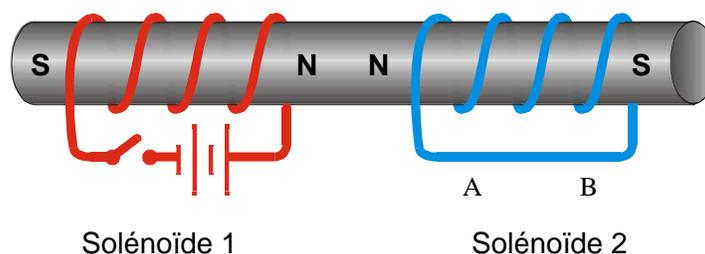
ANNEXE 21: La loi de Faraday – Renseignements pour l'enseignant (suite)

Exemple 3 : Une barre aimantée est insérée dans un solénoïde comme l'illustre la figure ci-dessous. Trouve la direction du courant conventionnel entre les points A et B.



D'après la loi de Lenz, le courant induit dans le solénoïde crée un champ magnétique qui s'oppose au changement de flux initial. Par conséquent, l'aimant induit un pôle nord du côté droit du solénoïde et un pôle sud du côté gauche. En utilisant la règle de la main droite appliquée aux bobines, dirige le pouce de la main droite en direction du champ magnétique (souviens-toi qu'à l'intérieur d'un solénoïde le champ magnétique pointe du sud vers le nord). En pointant correctement le pouce, tes doigts se déposent d'abord sur le dessus de la bobine, s'enroulent autour de la bobine en sortant de la page pour se déposer ensuite sur sa base en revenant dans la page. Par conséquent, le courant conventionnel circule du point B vers le point A.

Exemple 4 : L'interrupteur du circuit du solénoïde 1 est fermé. Trouve la direction du courant entre les points A et B du solénoïde 2.



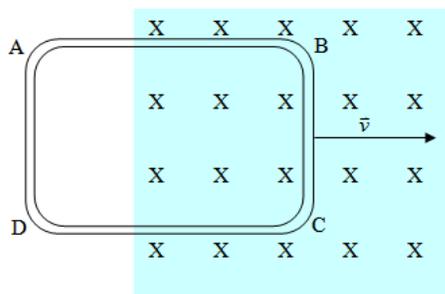
Lorsque l'interrupteur est fermé, le courant du solénoïde 1 induit un champ magnétique dont les lignes de force pointent vers la droite (applique la règle de la main droite). Ce champ (qui change momentanément de 0 à B) induit un courant dans le solénoïde 2 tel que le champ magnétique induit par ce courant s'oppose à celui du solénoïde 1. Par conséquent, les lignes du champ magnétique du solénoïde 2 doivent pointer vers la gauche, et le courant conventionnel du solénoïde 2 doit circuler du point A vers le point B.

Nota : Les exemples présentés sont fondés sur les règles conventionnelles applicables au courant et sur la règle de la main droite. Le courant électronique suit en fait la direction opposée.



ANNEXE 22 : Exercice – La loi de Faraday et la loi de Lenz

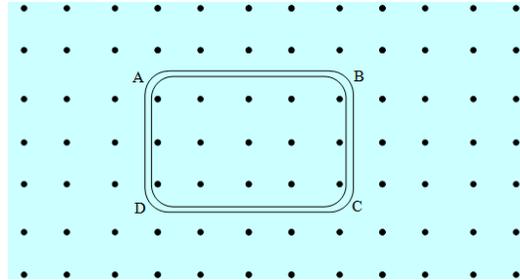
1. Une bobine a 20 tours. Chaque tour a une aire de $0,400 \text{ m}^2$. Le champ magnétique traversant la bobine passe de $0,250 \text{ T}$ à $0,100 \text{ T}$ dans $0,480 \text{ s}$. Calcule la différence de potentiel induite si le champ magnétique est perpendiculaire à la bobine.
2. Une bobine de 25 tours est placée de façon à ce que l'angle entre la normale et le champ magnétique a une valeur de $90,0^\circ$. Chaque tour de la bobine a une aire de $0,600 \text{ m}^2$ et la champ magnétique a une intensité de $0,0850 \text{ T}$. Si la bobine subit une rotation de $40,0^\circ$ en $0,0355 \text{ s}$, quelle est la valeur de la différence de potentiel? Si la bobine a une résistance de $12,0 \Omega$, calcule la valeur du courant induit.
3. Une bobine de 500 tours et d'un rayon de $8,00 \text{ cm}$ subit une rotation dans un champ magnétique uniforme. À $t=0 \text{ s}$, la normale de la bobine est perpendiculaire au champ magnétique. À $t = 0,0150 \text{ s}$, la normale est à un angle de $50,0^\circ$ au champ magnétique. Une différence de potentiel de $0,356 \text{ V}$ est induite dans la bobine. Calcule l'intensité du champ magnétique.
4. La bobine ABCD se déplace vers la droite à une vitesse \vec{v} et traverse un champ magnétique en direction de la page.



- a. Le flux magnétique augmente-t-il ou diminue-t-il? Explique ta réponse.
- b. Quelle est l'orientation du flux magnétique induit? Explique ta réponse.
- c. Le courant induit dans la bobine circule dans quelle direction? Explique ta réponse.

ANNEXE 22: Exercice – La loi de Faraday et la loi de Lenz (suite)

5. Une bobine de 5 tours est longue de 20,0 cm sur les deux côtés et est traversée par un champ magnétique de 0,300 T qui sort de la page. La normale de la bobine est parallèle à la direction du champ magnétique.



- Si rien ne change, quelle est la différence de potentiel induite?
 - Si le champ magnétique passe de 0,300 T à 0,800 T en 0,200 s, quelle est la différence de potentiel induit dans la bobine?
 - Quelle est la direction du courant induit dans la bobine (sens horaire ou antihoraire)?
6. Une bobine de 200 tours a une aire de 100,0 cm². Cette bobine est placée dans un champ magnétique uniforme de 0,500 T qui sort de la page. Le champ magnétique passe à 0 T dans 200,0 ms.
- Quelle est la valeur de la différence de potentiel induit dans la bobine?
 - Quelle est la direction du champ magnétique induit?
 - Quelle est la direction du courant induit?



ANNEXE 23 : La loi de Faraday et la loi de Lenz – Corrigé

1. $N = 20$ $A = 0,400 \text{ m}^2$ $B_1 = 0,250 \text{ T}$ $B_2 = 0,100 \text{ T}$ $\Delta t = 0,480 \text{ s}$ $V = ?$

L'angle entre la normale de la bobine et le champ magnétique est 0° .

L'équation pour calculer le potentiel est $V = -\frac{N\Delta\Phi}{\Delta t}$. Il faut premièrement calculer le flux magnétique à l'aide de $\Delta\Phi = \Delta BA \cos \theta$.

$$\Delta\Phi = (0,100 \text{ T} - 0,250 \text{ T})(0,400 \text{ m}^2)(\cos 0^\circ) = -0,0600 \text{ Wb}$$

$$V = -\frac{N\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{(20 \text{ tours})(-0,0600 \text{ Wb})}{0,480 \text{ s}} = 2,50 \text{ V}$$

2. Ici, l'angle entre le champ magnétique et la normale de la boucle va varier.

$N = 25$ $A = 0,600 \text{ m}^2$ $B = 0,0850 \text{ T}$ $\Delta t = 0,0355 \text{ s}$ $\theta_1 = 90^\circ$ $\theta_2 = 50^\circ$ $R = 12 \Omega$

$$\Delta\Phi = \Delta BA \cos \theta$$

$$\Delta\Phi = \Delta BA \cos \theta = BA(\cos \theta_2 - \cos \theta_1) = (0,0850 \text{ T})(0,600 \text{ m}^2)(\cos 40^\circ - \cos 90^\circ)$$

$$\Delta\Phi = (0,0850 \text{ T})(0,600 \text{ m}^2)(0,766 - 0)$$

$$V = -\frac{N\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{(25 \text{ tours})(0,039 \text{ Wb})}{0,0355 \text{ s}} = -27,5 \text{ V}$$

$$V = IR$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{27,5 \text{ V}}{12,0 \Omega} = 2,3 \text{ A}$$

3. $N = 500$ $r = 8,00 \text{ cm}$ $V = 0,356 \text{ V}$ $\Delta t = 0,0150 \text{ s}$ $\theta_1 = 90^\circ$ $\theta_2 = 50^\circ$ $B = ?$

On calcule premièrement la variation de flux.

$$V = -\frac{N\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$\Delta\Phi = -\frac{V\Delta t}{N} = -\frac{(0,356 \text{ V})(0,0150 \text{ s})}{500} = -1,07 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

Pour calculer le champ magnétique, on utilise l'équation $\Delta\Phi = \Delta BA \cos \theta$. Il faut calculer l'aire de la bobine avec $A = \pi r^2 = \pi(0,0800 \text{ m})^2 = 0,0201 \text{ m}^2$.

$$B = \frac{\Delta\Phi}{\Delta A \cos \theta} = \frac{-1,07 \times 10^{-5} \text{ Wb}}{(0,0201 \text{ m}^2)(\cos 50^\circ - \cos 90^\circ)}$$

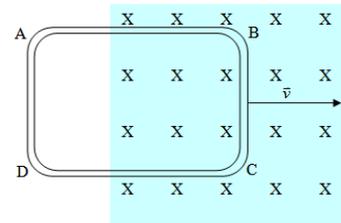
$$B = \frac{-1,07 \times 10^{-5} \text{ Wb}}{(0,0201 \text{ m}^2)(0,6427 - 0)} = -0,00823 \text{ T}$$



ANNEXE 23: La loi de Faraday et la loi de Lenz (suite)

4.

- À mesure que la bobine se déplace vers la droite, le nombre de lignes de champ qui la traversent augmente. Le flux magnétique augmente donc et est dirigé en direction de la page.
- Le flux magnétique induit doit s'opposer à la variation de flux. Puisque le flux augmente, le flux magnétique induit doit être orienté en direction opposée, donc vers l'observateur.
- À l'aide de la première règle de la main droite, on place les doigts courbés dans la direction du champ magnétique, donc vers l'observateur. Le pouce pointe vers la droite, donc le courant circule en sens antihoraire.



5. $N = 5$ L et $l = 20,0 \text{ cm} = 0,200 \text{ m}$ $B_1 = 0,300 \text{ T}$ $B_2 = 0 \text{ T}$

- Un potentiel est seulement induit s'il y a une variation de flux magnétique. Si rien ne change, le potentiel induit est zéro.

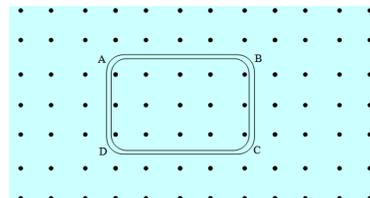
$$b. A = L \times l = (0,200 \text{ m})(0,200 \text{ m}) = 0,0400 \text{ m}^2$$

$$\Delta\Phi = \Delta BA \cos \theta$$

$$\Delta\Phi = (0,800 \text{ T} - 0,300 \text{ T})(0,400 \text{ m}^2)(\cos 0^\circ) = 0,0240 \text{ Wb}$$

$$V = -\frac{N\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{(5)(0,0240 \text{ Wb})}{0,200 \text{ s}} = -0,600 \text{ V}$$

- Le flux magnétique augmente et est orienté vers l'observateur. Selon la loi de Lenz, le flux magnétique induit doit s'opposer à la variation de flux. Puisque le flux augmente, le flux magnétique induit doit être orienté en direction opposée, donc en direction de la page. Avec la première règle de la main droite, on place les doigts courbés dans la direction du champ magnétique donc vers la page. Le courant induit circule donc en sens horaire.



6. $N = 200$ $A = 100,0 \text{ cm}^2 = 0,01 \text{ m}^2$ $B_1 = 0,500 \text{ T}$ $B_2 = 0 \text{ T}$ $\Delta t = 200,0 \text{ ms} = 0,2000 \text{ s}$

- $V = ?$

$$\Delta\Phi = \Delta BA \cos \theta = (0 - 0,500 \text{ T})(0,01000 \text{ m}^2)(\cos 0^\circ) = -5,00 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$V = -\frac{N\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{(200)(-5,00 \times 10^{-3} \text{ Wb})}{0,2000 \text{ s}} = 5,00 \text{ V}$$

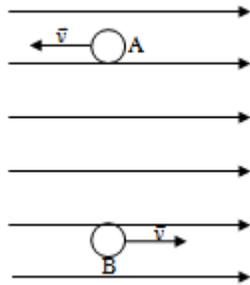
- Selon la loi de Lenz, le flux magnétique induit doit s'opposer à la variation de flux. Puisque le flux diminue, le flux magnétique induit doit être orienté dans la même direction, donc vers l'observateur.
- Avec la première règle de la main droite, on place les doigts courbés dans la direction du champ magnétique donc vers l'observateur. Le courant induit circule donc en sens antihoraire.



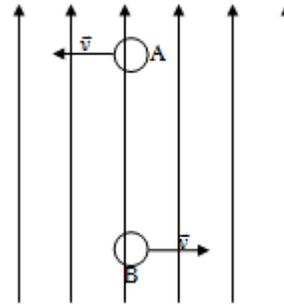
ANNEXE 24 : Exercice – La génératrice à courant alternatif

1. Détermine la direction du courant induit dans chacune des illustrations suivantes (utilise la règle de la main droite). Chaque cercle représente un fil perpendiculaire à la page. La direction du mouvement des fils est indiquée, ainsi que la direction du champ magnétique. Si le courant voyage vers la page, trace un X dans le cercle. Si le courant voyage vers toi, trace un point dans le cercle.

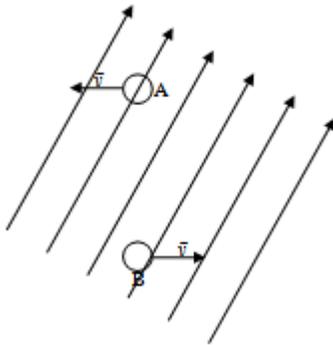
a.



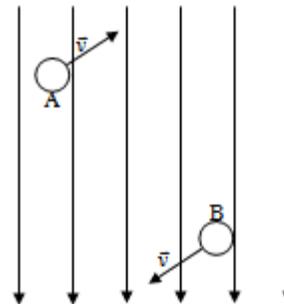
b.



c.

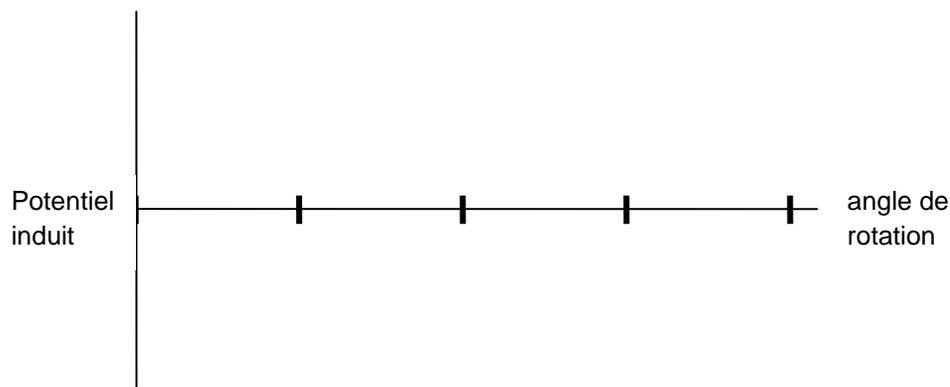
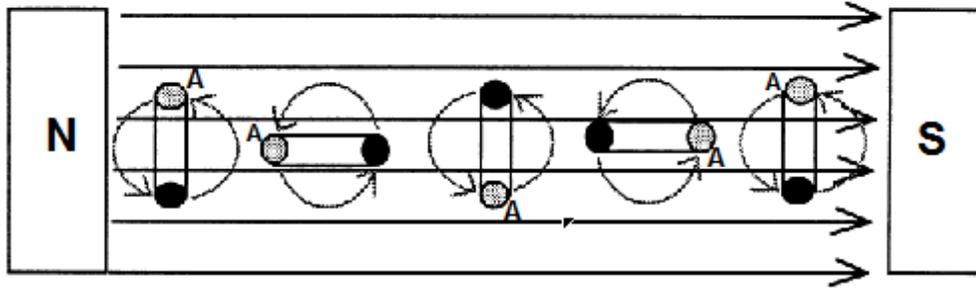


d.



ANNEXE 24: Exercice – La génératrice à courant alternatif (suite)

2. Dans le diagramme suivant, une bobine tourne en sens antihoraire. Trace le graphique de potentiel en fonction de l'angle de rotation pour cette situation.



3. Pour chacune des conditions suivantes, décris ce qui arrive à la différence de potentiel induite dans une génératrice :
- Une augmentation de l'aire de la bobine;
 - Une augmentation de la fréquence de rotation de l'armature;
 - Une augmentation de l'intensité du champ magnétique;
 - Une augmentation du nombre de tours de fil de la bobine.

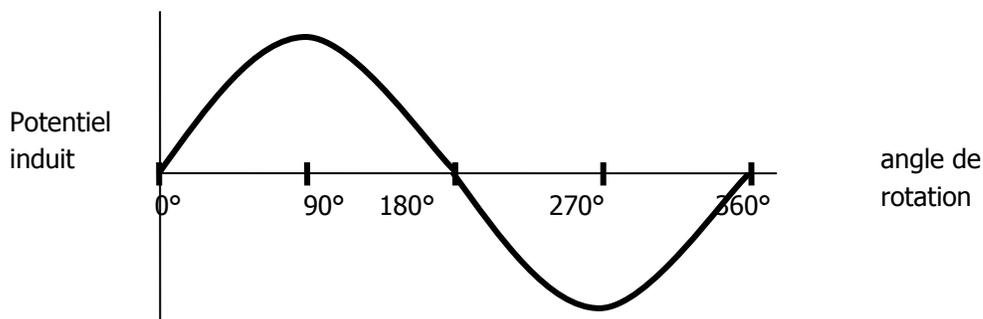


ANNEXE 25 : La génératrice à courant alternatif – Corrigé

1.

- Il n'y a aucun courant induit.*
- Au point A, le courant se dirige vers la page. Avec la troisième loi de la main droite, la paume de la main est dirigée vers la gauche, les doigts pointent vers le bas, donc le pouce se dirige vers la page. Au point B, le courant se dirige vers l'observateur.*
- Au point A, le courant se dirige vers la page. La composante perpendiculaire du champ magnétique se dirige vers le haut. On dirige donc les doigts vers le bas et la paume vers la gauche, donc le pouce se dirige vers la page. Au point B, le courant se dirige vers l'observateur.*
- La composante perpendiculaire du champ magnétique se dirige de A vers B. Au point A, on dirige les doigts vers A et la paume dans la direction de \vec{v} . Le courant se dirige donc vers la page. Au point B, le courant se dirige vers l'observateur.*

2.



3.

- Le potentiel augmente.*
- Le potentiel augmente.*
- Le potentiel augmente.*
- Le potentiel augmente.*

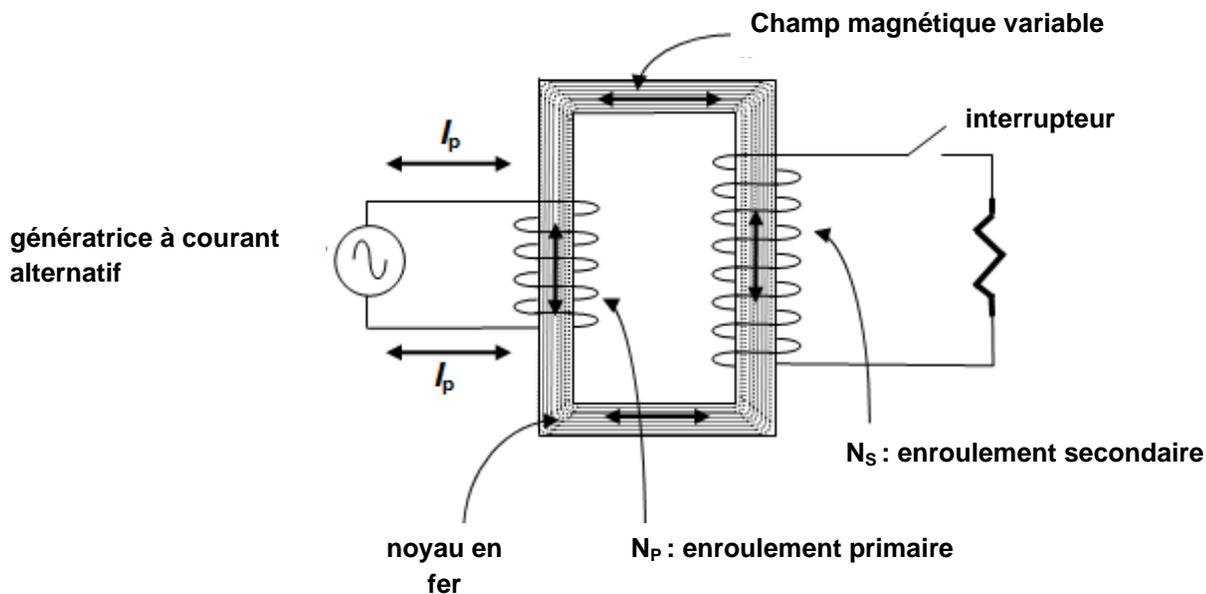


ANNEXE 26 : Les transformateurs – Renseignements pour l'enseignant

Le transformateur est un appareil qui permet de réduire ou d'augmenter le potentiel électrique. Les appareils électriques qu'on utilise ont souvent besoin de différents potentiels électriques et courants pour fonctionner. Il faut donc faire varier le potentiel électrique qui entre dans une maison (généralement d'une valeur de 120 V). Par exemple, 3 à 9 V sont nécessaires pour recharger des piles. Les transformateurs sont aussi importants lors de la distribution d'électricité à partir d'une centrale électrique.

Un transformateur est un appareil formé de deux bobines à plusieurs tours enroulées de chaque côté d'un même noyau en fer doux. Lorsqu'un courant circule dans l'enroulement primaire, il crée un champ magnétique variable dans le noyau de fer. Ce noyau de fer permet au champ magnétique de se rendre à l'enroulement secondaire. Puisque le champ magnétique est variable, le flux magnétique dans les enroulements est aussi variable. Un potentiel électrique est donc induit. Si on branche une résistance à l'enroulement secondaire, un courant induit va y circuler. Selon la loi de Lenz, le courant induit devrait s'opposer au flux magnétique qui l'a induit.

Un transformateur fonctionne avec un courant alternatif et non un courant direct. Un courant direct dans l'enroulement primaire produit un flux, mais ce flux n'est pas variable. Il n'y a donc aucun potentiel électrique induit dans l'enroulement secondaire.



ANNEXE 26: Les transformateurs - Renseignements pour l'enseignant (suite)

Un flux magnétique variable induit un potentiel dans une bobine. La différence de potentiel induite dans une bobine est directement proportionnelle au taux de variation du flux magnétique, selon la loi de Faraday :

$$V = - \frac{N\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Dans l'enroulement primaire, la différence de potentiel est calculée avec : $V = - \frac{N_p\Delta\Phi}{\Delta t}$. N_p est le nombre de tours de fil dans l'enroulement primaire. La différence de potentiel dans l'enroulement secondaire est calculée avec $V = - \frac{N_s\Delta\Phi}{\Delta t}$, où N_s est le nombre de tours de fil dans l'enroulement secondaire. $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ est identique pour les deux équations, donc on peut l'enlever. On peut donc dire que $\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$. Si N_s est plus grand que N_p , le potentiel de l'enroulement secondaire est plus grand que le potentiel de l'enroulement primaire. Il s'agit donc d'un transformateur survolteur. Si N_s est plus petit que N_p , le potentiel électrique secondaire est plus élevé que le potentiel électrique primaire. Il s'agit donc d'un transformateur dévolteur.

Les élèves ont tendance à croire que, puisque le potentiel de sortie peut être plus élevé que le potentiel d'entrée, un transformateur peut augmenter la puissance. Ceci serait semblable à la production d'énergie à partir de rien, ce qui n'est pas possible. Puisque l'énergie est toujours conservée, la puissance de sortie ne peut pas être plus élevée que la puissance d'entrée. En fait, puisqu'un transformateur libère de la chaleur lorsqu'il fonctionne, la puissance de sortie est moins élevée que la puissance d'entrée. Un transformateur n'est jamais efficace à 100 %. Cependant, si l'on considère une situation idéale, la puissance d'entrée devrait être égale à la puissance de sortie.

$$P_p = P_s$$

$$V_p I_p = V_s I_s$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

Selon cette relation, un enroulement à potentiel élevé produira un courant peu élevé (ainsi qu'une résistance élevée). Un enroulement à potentiel peu élevé produira un courant à valeur élevée (et une résistance peu élevée).



ANNEXE 27 : Exercice – Les transformateurs

1. Le transformateur dans un stéréo comprend 325 tours dans l'enroulement primaire et 25 tours dans l'enroulement secondaire. L'appareil est branché à une prise de 120 V. Calcule le potentiel dans l'enroulement secondaire. S'agit-il d'un survolteur ou d'un dévolteur?
2. Un transformateur convertit les 120 V d'une prise murale au potentiel nécessaire pour faire fonctionner un train électrique. L'enroulement primaire du transformateur comprend 160 tours. L'enroulement secondaire comprend 20 tours. Si le courant dans l'enroulement secondaire est de 3,40 A, quel est le courant dans l'enroulement primaire?
3. La puissance nécessaire pour faire fonctionner une télévision est 95 W et est obtenue par l'entremise de l'enroulement secondaire d'un transformateur. Un courant de 5,3 mA circule dans cet enroulement. L'enroulement primaire est relié à un circuit de 120 V. Calcule le rapport de tours (N_s/N_p) du transformateur.
4. $1,0 \times 10^8$ W d'électricité sont produits dans une centrale électrique. Cette électricité est transmise par des fils électriques d'une résistance de 3,00 Ω . On peut la transmettre par l'entremise d'une ligne basse tension ($2,0 \times 10^4$ V) ou d'une ligne haute tension ($4,0 \times 10^5$ V).
 - a. Calcule le courant dans la ligne basse tension et la ligne haute tension.
 - b. Calcule la perte d'énergie due à la chaleur pour les deux fils électriques.
 - c. Quelle méthode est la plus efficace pour la transmission d'électricité?



ANNEXE 28 : Les transformateurs – Corrigé

1. $N_p = 325$ $N_s = 25$ $V_p = 120$ V $V_s = ?$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad \frac{120 \text{ V}}{V_s} = \frac{325}{25} \quad V_s = 9,2 \text{ V}$$

Il s'agit d'un dévolteur puisque le potentiel dans l'enroulement secondaire est moins élevé.

2. $V_p = 120$ V $N_p = 160$ $N_s = 20$ $I_s = 3,40$ A $I_p = ?$

Pour déterminer le courant dans l'enroulement primaire, il faut utiliser l'équation $\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$. Cependant, nous ne connaissons pas le potentiel dans l'enroulement secondaire donc il faut le calculer avec :

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad \frac{120 \text{ V}}{V_s} = \frac{160}{20}$$

$$V_s = 15 \text{ V}$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad \frac{120 \text{ V}}{15 \text{ V}} = \frac{3,4 \text{ A}}{I_p} \quad I_p = 0,425 \text{ A}$$

3. $P_2 = 95$ W $I_2 = 5,3$ mA = 0,0053 A $V_1 = 120$ V $N_s/N_p = ?$

$$P_2 = V_2 I_2 \quad V_2 = \frac{P_2}{I_2} = \frac{95 \text{ W}}{0,0053 \text{ A}} = 17\,924 \text{ V} = 18\,000 \text{ V}$$

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \quad \frac{N_s}{N_p} = \frac{18\,000 \text{ W}}{120 \text{ V}} = \frac{150}{1} \quad 150:1 \text{ est le ratio.}$$

4. $P = 100\,000\,000$ W $R = 3,00$ Ω

a. Ligne basse tension : $P = VI$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1,0 \times 10^8 \text{ W}}{2,0 \times 10^4 \text{ V}} = 5,0 \times 10^3 \text{ A}$$

Ligne haute tension : $P = VI$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1,0 \times 10^8 \text{ W}}{4,0 \times 10^5 \text{ V}} = 250 \text{ A}$$

b. Pour calculer la perte d'énergie, il faut tenir compte de la résistance donc on utilise l'équation $P = I^2 R$.

Ligne basse tension : $P = I^2 R = (5,0 \times 10^3 \text{ A})^2 (3,00 \text{ Ω}) = 7,5 \times 10^7 \text{ W}$

Ligne haute tension : $P = I^2 R = (250 \text{ A})^2 (3,00 \text{ Ω}) = 1,88 \times 10^5 \text{ W}$

c. La ligne haute tension est plus efficace pour la transmission d'électricité car il y a moins de perte d'énergie.



ANNEXE 29 : La production, la transmission et la distribution d'électricité au Manitoba – Renseignements pour l'enseignant

Le Manitoba possède une énorme quantité de ressources renouvelables qui lui permet de produire de l'électricité, soit son potentiel hydroélectrique. On trouve dans la province plusieurs centrales électriques et on étudie la possibilité d'en construire de nouvelles dans les régions du Nord. Le principal avantage de l'hydroélectricité (électricité produite par l'eau en chute) est qu'il s'agit d'une ressource renouvelable. L'eau utilisée pour produire de l'hydroélectricité est naturellement remplacée par la pluie et la neige qui tombe du ciel. Le deuxième avantage important est que la production d'hydroélectricité génère très peu de gaz à effet de serre qui contribue au réchauffement de la planète.

Une centrale hydroélectrique typique

Toutes les centrales hydroélectriques utilisent l'énergie gravitationnelle potentielle de l'eau comme source d'énergie. Lorsque l'eau chute, elle perd son énergie gravitationnelle potentielle et acquiert une énergie cinétique. Cette énergie cinétique est convertie en énergie mécanique par une génératrice. L'eau qui coule à toute vitesse est utilisée pour faire tourner les larges aubes d'une turbine (un peu comme les pales d'un ventilateur). L'arbre de la turbine est connecté à un puissant électroaimant (rotor) qui tourne à l'intérieur d'une enceinte constituée de fils métalliques appelée **stator**. Le champ magnétique variable à l'intérieur des stators produit une force électromotrice par induction et un courant, produisant ainsi de l'électricité.

Jusqu'à une époque récente, une centrale hydroélectrique avait besoin d'un imposant barrage construit sur une rivière. Ce barrage servait à retenir une masse d'eau pour créer un lac. La différence entre le niveau de la nappe d'eau du lac et l'eau au pied du barrage donnait l'énergie gravitationnelle potentielle nécessaire pour créer une source d'énergie. Le barrage assurait aussi une différence suffisante entre les niveaux de l'eau en haut et au pied du barrage pour faire tourner les turbines. Durant les années de sécheresse, le lac créé par le barrage pouvait servir de réservoir d'eau.

Cette méthode avait en outre pour conséquence l'inondation de grandes surfaces et la destruction de terrain ou la détérioration importante des écosystèmes en amont du barrage et de la rivière. De plus, des populations devaient parfois être déplacées. Les inondations empêchaient aussi certaines personnes de chasser et de pêcher pour gagner leur vie.

En raison des problèmes découlant des inondations, des barrages plus modernes ont été construits selon la technique « au fil de l'eau ». Il suffit de trouver des emplacements le long de la rivière où le débit de l'eau est toujours suffisant pour faire tourner les turbines. Les inondations sont ainsi minimales. Plutôt que de créer des lacs artificiels en inondant de larges zones pour assurer une quantité d'eau et un débit adéquats, les sites actuels sont choisis de façon à ce que l'emplacement naturel et la topographie de la région suffisent pour fournir la quantité d'eau nécessaire.



ANNEXE 29: La production, la transmission et la distribution d'électricité au Manitoba Renseignements pour l'enseignant (suite)

Vous trouverez ci-dessous un lien pour accéder à une illustration d'une centrale électrique.

http://www.hydro.mb.ca/francais/corporate/facilities/gi_producing_electricity.shtml#howdoes

La plupart des centrales hydroélectriques sont constituées de barrages qui traversent une rivière afin de créer un plan d'eau appelé **bief d'amont**. Vous pouvez voir que l'eau contenue dans le **bief d'amont** (derrière le barrage) passe par un canal pour se diriger vers la turbine. Lorsque l'eau chute, elle perd son énergie gravitationnelle potentielle qui se convertit en énergie cinétique. L'eau coule à toute vitesse sur les aubes de la **turbine** qui se met à tourner. L'eau passe ensuite par des **aspirateurs** pour se rendre en bas du barrage, où elle constitue l'**eau de fuite**. Le niveau de l'eau chute d'environ 30 mètres lorsqu'elle traverse la centrale électrique. Cette chute est appelée **hauteur de chute**. L'énergie potentielle qui se trouve dans l'eau derrière le barrage est convertie en énergie cinétique contenue dans l'eau en chute libre. L'énergie cinétique est convertie en énergie mécanique dans la turbine et le rotor en mouvement. Cette énergie est à son tour transformée en énergie électrique.

L'eau qui tombe sur les turbines peut être contrôlée avec beaucoup de précision. Pour cette raison, la vitesse de rotation des turbines, et donc de l'arbre et du rotor à l'intérieur de la génératrice, peut être maintenue à un niveau précis. Par exemple, ces turbines tournent généralement à des vitesses de 138,5 tours/minute et 128,6 tours/minute. La vitesse de rotation a un effet sur la vitesse à laquelle le champ magnétique change, ce qui à son tour a une incidence sur la magnitude de la force électromotrice produite. Une seule des dix génératrices de la centrale de Limestone peut produire 133 millions de watts ou 133 mégawatts d'électricité. Il s'agit de suffisamment d'énergie pour alimenter plus de 12 000 maisons.

Les grands barrages sont ancrés dans le substrat rocheux. Durant la construction, l'eau est dérivée par des **batardeaux** afin de créer une zone où le lit de la rivière sera à sec. Une fois les travaux de construction terminés, l'eau est de nouveau dérivée pour la faire passer par la centrale électrique. La construction des barrages demande beaucoup de temps et est très coûteuse. Toutefois, à long terme, les coûts de construction astronomiques peuvent être récupérés et les centrales peuvent être rentables.

Le transport de l'électricité

Les génératrices produisent de l'électricité avec une force électromotrice d'environ 25 000 volts (25 kV) produite par induction. Comme les génératrices font appel à un électroaimant tournant (**rotor**) dans une enceinte constituée de fils (**stators**), l'électricité produite consistera en du courant alternatif. La tension fluctuera et, dans un tel cas, elle fluctuera entre un maximum de +25 kV et un minimum de -25 kV. Le courant change également de direction plusieurs fois par seconde. Au Canada et dans le reste de l'Amérique du Nord, la fréquence du courant alternatif est de 60 Hz.



ANNEXE 29: La production, la transmission et la distribution d'électricité au Manitoba Renseignements pour l'enseignant (suite)

Durant le transport de l'électricité, la perte d'énergie due à la chaleur est moins grande. Par conséquent, il est plus efficace de transmettre l'électricité à des courants faibles et à des tensions élevées. Pour réduire la dissipation de l'énergie dans les lignes de transport, il faut un courant de faible intensité.

Par conséquent, la prochaine étape du transport de l'énergie électrique consiste à faire passer la tension de 25 kV à 250 000 volts (250 kV) à l'aide d'un transformateur élévateur de tension et d'un rapport du nombre de tours de 10/1.

Un deuxième changement doit être apporté avant de transporter l'électricité. La transmission d'un courant continu à haute tension (courant unidirectionnel) est plus efficace sur de grandes distances. Le courant électrique alternatif à haute tension est donc converti en courant continu à haute tension (CCHT) grâce à un dispositif appelé un **redresseur**. Essentiellement, le redresseur n'utilise que les tensions à partir de 0 V jusqu'à la valeur maximale de la tension positive. Comme la tension aura un signal ou une polarité fixe, le courant ne circulera qu'en une seule direction. Cette conversion est faite dans les postes de conversion de Heday et de Radisson situées près de Gillam, au Manitoba.

Le transport du courant continu à haute tension offre aussi d'autres avantages. Le transport du courant alternatif nécessite trois lignes pour chaque circuit. Le transport du courant continu ne demande que deux lignes pour chaque circuit. Par conséquent, on réalise des économies en utilisant une ligne de moins par circuit. De plus, les pylônes nécessaires pour soutenir ces lignes de transport à haute tension n'ont pas besoin d'être aussi solides, ce qui se traduit par des économies dans les coûts de construction et de matériaux. Donc, pour les grandes distances (plus de 300 km), le transport de l'électricité par CCHT est idéal. La conversion du courant alternatif en courant continu pour le transport offre encore un autre avantage. En reconvertissant le courant continu en courant alternatif, les ingénieurs peuvent aussi contrôler la fréquence du courant alternatif produit, c'est-à-dire les 60 Hz utilisés en Amérique du Nord.

La distribution de l'électricité

Une fois l'électricité convertie, elle part vers le sud en traversant la région située entre le lac Winnipeg et le lac Manitoba. À cette étape-ci, l'électricité passe par des câbles de gros calibre accrochés à d'énormes pylônes de métal. Les lignes hydroélectriques doivent être éloignées du sol et des autres objets afin de prévenir la production d'arcs électriques vers le sol (l'électricité passe dans l'air ou par un objet). Le point d'arrivée de cette ligne est le poste de conversion de Dorsey situé à Rosser, à quelque 26 km au nord-ouest de Winnipeg. Au poste de Dorsey, l'électricité est reconvertie en courant alternatif. Cette conversion est nécessaire puisque les appareils, les téléviseurs, les chaînes stéréos, les ventilateurs, les grille-pain, les cafetières, etc. fonctionnent tous avec un courant alternatif de 60 HZ 120 volts. À partir du poste de Dorsey, onze ligne de 230 kV approvisionnent le Sud du Manitoba et sont interconnectées avec la Saskatchewan, l'Ontario et les États-Unis.

Avant que l'électricité n'arrive à nos maisons, la tension doit être réduite à 230 kV. La réduction de la tension est encore une fois faite par des transformateurs dans des endroits appelés des **sous-stations**.



ANNEXE 29: La production, la transmission et la distribution d'électricité au Manitoba Renseignements pour l'enseignant (suite)

Habituellement, une sous-station de district réduit la tension à 115 kV à l'aide d'un transformateur abaisseur de rapport 1/2. Par la suite, un poste local réduit la tension à 44 kV (transformateur abaisseur de rapport 10/26). Finalement, un autre poste réduit la tension à 4 kV (transformateur abaisseur de rapport 1/11). À partir de ce poste, l'électricité emprunte des lignes électriques aériennes ou des câbles souterrains. Pour tous les transformateurs montés sur des poteaux électriques ou installés au sol, la tension est réduite à 240 V et l'électricité est distribuée par groupes de quatre maisons. Dans les maisons, la tension de 240 V est divisée en deux lignes de 120 V chacune reliée à tous les appareils électriques que nous branchons dans les prises ou qui sont connectés par câbles.



ANNEXE 30 : Réflexion individuelle sur le travail de groupe

Nom : _____

Date : _____

Réfléchis au travail que toi et ton groupe avez fait ensemble et évalue-le. Après ta réflexion, discutes de tes réponses avec les membres de ton groupe.

Légende : 1 - peu satisfait(e) 3 - satisfait(e) 5 - très satisfait(e)

<p>J'ai bien participé.</p> <p>1 2 3 4 5</p>	<p>Le groupe s'est bien concentré sur la tâche.</p> <p>1 2 3 4 5</p>
<p>Je me suis consciemment efforcé(e) de collaborer.</p> <p>1 2 3 4 5</p>	<p>Le groupe a bien collaboré.</p> <p>1 2 3 4 5</p>
<p>J'ai écouté les autres et j'ai bien accueilli leurs contributions.</p> <p>1 2 3 4 5</p>	<p>Tout le monde a contribué.</p> <p>1 2 3 4 5</p>
<p>La prochaine fois, je pourrais...</p>	<p>La prochaine fois, le groupe pourrait...</p>

