

L'EAU, SOURCE D'ÉNERGIE

La Centrale hydraulique des Clées
présentée au jeune public

BIENVENUE

Nous sommes heureux de te compter parmi les curieux de l'énergie hydraulique. Ton exploration commence dès maintenant et nous te souhaitons beaucoup de plaisir ! Pour t'orienter dans le dossier et trouver à tout moment l'information que tu recherches, utilise le menu ci-dessous. Au clic, tu seras directement renvoyé à la bonne page.

MENU

1. NOUS SOMMES TOUS SOURCE D'ÉNERGIE	3	5. SOUVIENS-TOI DE TA VISITE	24
Les Explorateurs de l'Énergie	4	De l'eau à l'électricité	24
2. LA CENTRALE HYDRAULIQUE DES CLÉES... EN BREF	5	L'arrivée d'eau	26
3. PRÉPARE TA VISITE DE LA CENTRALE DES CLÉES	7	Les turbines	27
Les énergies, sources de vie	7	La salle des machines	28
Qu'est-ce que l'énergie ?	8	Les transformateurs	29
Les énergies fossiles	9	L'eau, source d'expériences !	32
Les énergies renouvelables	10	L'éternel cycle de l'eau	32
L'énergie hydraulique, comment ça marche ?	18	Le moulin à eau	33
C'est quoi l'électricité ?	21	La dénivellation, c'est puissant !	34
4. BONNE VISITE !	23	Ta mini centrale hydraulique	35
		6. POURSUIS L'AVENTURE ÉNERGÉTIQUE	37
		7. TON PETIT DICTIONNAIRE	38
		8. POUR DEVENIR UN EXPERT	39
		9. CORRIGÉ DES EXERCICES	40

À TOI DE JOUER !

Tout au long de ce dossier tu trouveras des jeux pour apprendre en t'amusant. Les réponses se trouvent en pages 40-42.

Tout au long du dossier, tu peux cliquer sur la turbine pour revenir au sommaire.





NOUS SOMMES TOUS SOURCE D'ÉNERGIE



L'énergie est partout. Dans le vent qui emmêle tes cheveux et fait tomber les feuilles d'automne, la nourriture que tu manges chaque jour, le Soleil qui bronze ta peau en été, les rivières qu'il t'arrive de traverser et... en toi!

En parcourant ce dossier pédagogique, tu apprendras tout ce qu'il faut savoir sur les différentes énergies, leurs particularités et comment la Centrale des Clées participe à leur production. Nos Explorateurs de l'Énergie t'accompagneront dans cette découverte et te transmettront leur savoir. Tu pourras réaliser des expériences en classe ou à la maison, qui te permettront de comprendre, en t'amusant, le fonctionnement de l'énergie hydraulique. Et comme énergie rime avec écologie, tu apprendras comment faire des économies d'énergie par de petits gestes simples au quotidien.

Que l'aventure énergétique commence!



Les Explorateurs de l'Énergie



En 2004, Romande Energie a créé le programme des Explorateurs de l'Énergie. Son objectif: accompagner les élèves, comme toi, dans la découverte du monde fascinant des énergies!

En visitant la Centrale des Clées, tu feras la connaissance de nos deux Explorateurs passionnés des énergies. Hydraulique, biomasse, géothermie, éolien, solaire, ils connaissent leur fonctionnement et leurs particularités.

Si tu souhaites devenir toi aussi un Explorateur de l'Énergie, rends-toi sur leur site: www.explorateurs-energie.ch

Au programme: jeux, animations, fiches et dossiers thématiques... ou autant d'activités qui te permettront de t'informer sur les énergies tout en t'amusant! Et si tu souhaites tester tes connaissances, **Romande Energie organise chaque année, pour les cantons romands, un grand concours intercollèges adressé aux classes de 8^e année (HarmoS): le Challenge des Explorateurs de l'Énergie.** Inscris-toi avec ta classe via le site internet des Explorateurs et tu auras peut-être la chance de participer à la grande finale qui te réservera de nombreuses surprises!



La classe gagnante du Challenge des Explorateurs de l'Énergie 2016





LA CENTRALE HYDRAULIQUE DES CLÉES... EN BREF

Située entre les villages de Ballaigues et de Lignerolle (VD), la Centrale des Clées de Romande Energie a été construite en 1955 sur le cours de l'Orbe.

L'électricité de la Centrale des Clées fait partie de l'énergie produite et distribuée par Romande Energie. Créée en 1997, Romande Energie possède d'autres centrales hydrauliques, mais aussi des centrales solaires, de biomasse et, en France, des parcs éoliens. D'ailleurs, environ 15% de l'énergie distribuée par l'entreprise vient de sa propre production, représentant environ 545 millions de kilowattheures (kWh) en moyenne par an.

Une installation puissante

La Centrale des Clées est la plus puissante des installations hydroélectriques de Romande Energie. Le bâtiment principal abrite le poste de transformation et de couplage, que nous te

présenterons un peu plus loin. **La plus grande partie de la centrale de production est souterraine.**

La visite te permettra de comprendre le parcours de l'eau depuis le barrage du Day, qui a créé le lac du Miroir, situé en amont de la Centrale des Clées, jusqu'au canal de fuite.

Tu sauras tout sur l'utilisation de la force de l'eau pour produire l'électricité et sur les différentes énergies en poursuivant ta lecture !





103

C'est en GWh* la quantité d'électricité produite chaque année par la Centrale des Clées

Le funiculaire qui t'emmènera au cœur de la centrale (sous-terre)

LE SAVAIS-TU ?

La pente du funiculaire des Clées est de 75%. Plus raide qu'une piste de ski des Jeux olympiques. Tu t'en rendras compte durant ta visite!



Pour en savoir plus sur Romande
Energie, ses missions et ses valeurs :
romande-energie.ch/qui-sommes-nous



*gigawattheures





PRÉPARE TA VISITE DE LA CENTRALE DES CLÉES



La Centrale des Clées

LES ÉNERGIES, SOURCES DE VIE

Avant de venir visiter la Centrale des Clées, nous te proposons une plongée dans le monde fascinant des énergies. Tu découvriras l'utilisation par l'homme des différentes sources d'énergie pour assurer la production d'électricité.





Qu'est-ce que l'énergie ?

L'énergie est le moteur du monde ! Si elle est la plupart du temps invisible, ses effets sont partout.

Comme tu le sais, les sources d'énergie sont multiples. Le Soleil fait pousser les plantes, le vent permet au voilier d'avancer, le bois brûle dans la cheminée et nous réchauffe, la force de l'eau retenue par le barrage produit de l'électricité. Les actions, les mouvements, la chaleur, l'électricité et même le petit-déjeuner que tu prends chaque matin... tout cela, c'est de l'énergie.

L'énergie est essentielle à toute activité humaine. Aujourd'hui, la population augmente rapidement et les besoins en énergie sont de plus en plus grands. Les énergies les plus utilisées dans le monde sont polluantes et finiront par être épuisées. C'est le cas du pétrole, du charbon et du gaz naturel (qui est principalement issu du pétrole). Il faut donc développer d'autres sources d'énergie : les énergies renouvelables.

L'énergie se mesure

L'unité de mesure de l'énergie est le joule (J). Le wattheure (Wh) permet quant à lui de mesurer la puissance. On parle de kilowattheures (kWh) ou de mégawattheures (MWh) lorsque l'on mesure la consommation d'une maison ou d'une entreprise. Par exemple, en Suisse, la consommation moyenne d'un ménage est d'environ 4'000 kWh par an. La Centrale hydraulique des Clées produit, elle, 103 millions de kWh en moyenne par année. Et en Suisse, nous importons 80% de l'énergie, car nous n'en produisons pas suffisamment pour satisfaire les besoins de la population, en particulier en hiver, lorsque les radiateurs sont grand ouverts.

LE SAVAIS-TU ?

Le réseau de Romande Energie, fait de câbles et de lignes en majorité souterrains, mesure environ 10'000 km (mis bout à bout). L'équivalent de la distance entre la Suisse et le Japon !





Puits de pétrole

76

C'est le nombre de kilos de CO_2 capturés chaque seconde par les forêts dans le monde

Les énergies fossiles

Le pétrole, le gaz naturel et le charbon sont les trois principales sources d'énergie utilisées dans le monde. Ensemble, elles représentent 80% des énergies consommées. Or, ce sont aussi les plus polluantes !

Le pétrole, le gaz naturel et le charbon sont des matières qui ont mis plusieurs centaines de millions d'années à se former dans le sous-sol de la Terre. On les appelle les énergies fossiles, car elles sont issues de roches situées dans les grandes profondeurs terrestres. Leur particularité, c'est qu'elles brûlent très bien : ce sont d'excellents carburants. Elles ont aussi l'avantage de pouvoir être facilement stockées et transportées, ce qui en fait la source d'énergie la plus pratique à utiliser. Mais elles présentent deux très gros inconvénients : le premier, c'est qu'en brûlant, elles dégagent beaucoup de particules qui polluent l'atmosphère, dont le fameux dioxyde de carbone (CO_2). Le second, c'est que leur quantité sur Terre est limitée.

Au rythme où l'Humanité les utilise, le stock d'énergies fossiles finira par s'épuiser. **Les énergies renouvelables sont notre avenir !**

LE SAVAIS-TU ?

Le mot « pétrole » vient du latin *petra*, qui signifie « pierre », et *oleum*, « huile ». *Petroleum* signifie donc « huile de pierre ».





Provenant du lac de Joux, la rivière l'Orbe passe par la Centrale des Clées.

Les énergies renouvelables

Eau, Soleil, bois et déchets organiques, vent, chaleur de la terre: des sources d'énergie, disponibles et renouvelables, permettent de produire chaleur et électricité. Des atouts pour l'avenir!

Les énergies renouvelables sont produites à partir d'une source d'énergie que la nature renouvelle sans cesse et dont l'utilisation est peu ou non polluante. Tout le contraire des énergies fossiles. L'électricité produite en Suisse provient principalement de l'hydraulique (58%) et du nucléaire (36%)! La petite part de production restante (6%) est partagée entre les installations thermiques traditionnelles (gaz ou mazout) et les énergies renouvelables (biomasse, solaire, éolien).*

LE SAVAIS-TU ?

Dans une famille en Suisse, l'énergie est consommée en moyenne ainsi :

- 55% pour se chauffer (chauffage, bain, cuisine, etc.)
- 35% pour se déplacer (voiture, moto, scooter, etc.)
- 10% pour faire fonctionner les appareils et installations électriques (éclairage, frigo, ordinateur, téléphone, lave-linge, etc.)



* Office fédéral de la statistique (OFS), 2017



La biomasse

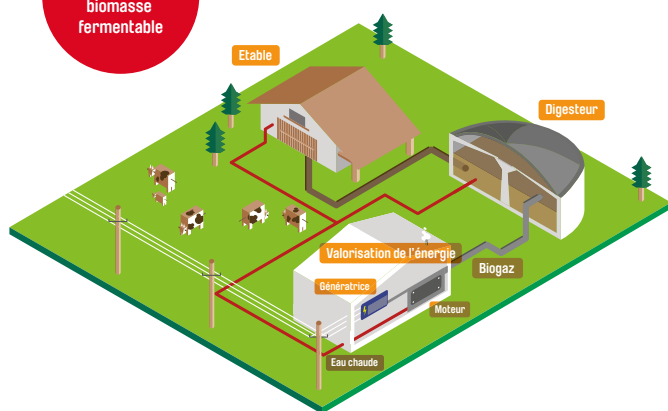
On distingue la biomasse sèche de la biomasse humide. La biomasse sèche, comme le bois, est brûlée, et la biomasse humide, comme le compost ou le fumier, produit du gaz (méthane) par fermentation. À partir de la biomasse, il est possible de produire de la chaleur, de l'électricité et du carburant.

LE SAVAIS-TU ?

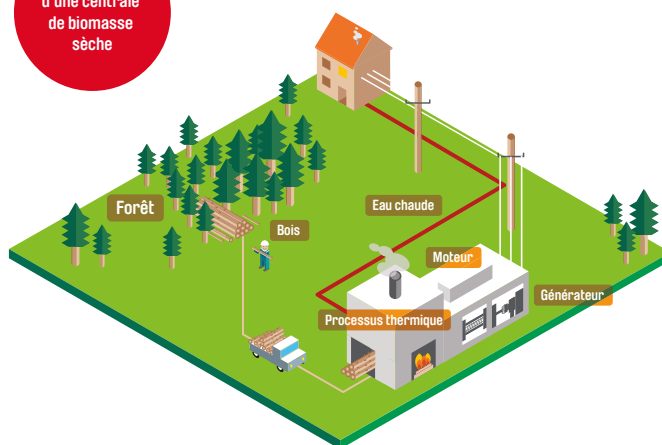
En Suisse, la biomasse est la troisième source d'énergie renouvelable utilisée pour la production d'électricité. Romande Energie propose un parcours de visite de la plus grande centrale de biomasse de Suisse romande, Enerbois (dès 15 ans), pour mieux comprendre son fonctionnement.



Fonctionnement
d'une centrale de
biomasse
fermentable



Fonctionnement
d'une centrale
de biomasse
sèche



Centrale de biomasse Enerbois, à Rueyres (VD)



La salle des machines

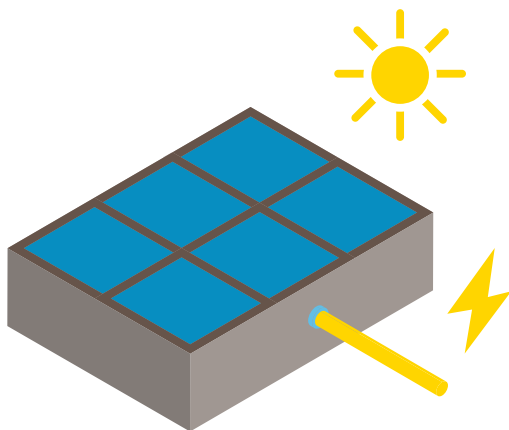


L'énergie solaire

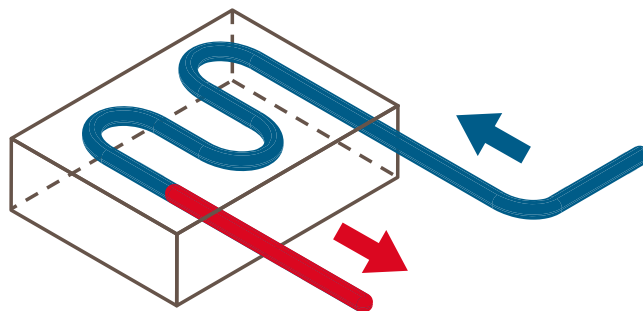
Les panneaux thermiques permettent, grâce au rayonnement du Soleil, de chauffer de l'eau sanitaire, comme l'eau de ta douche par exemple. Les panneaux photovoltaïques permettent, quant à eux, de produire de l'électricité. Le plus souvent, les panneaux solaires sont installés sur le toit d'un bâtiment.

LE SAVAIS-TU ?

L'énergie fournie par le Soleil est 11'000 fois supérieure aux besoins énergétiques mondiaux. C'est la plus grande source d'énergie renouvelable !



Fonctionnement d'un panneau solaire photovoltaïque



Fonctionnement d'un panneau solaire thermique



Parc solaire de l'EPFL (École polytechnique fédérale de Lausanne)



L'énergie éolienne

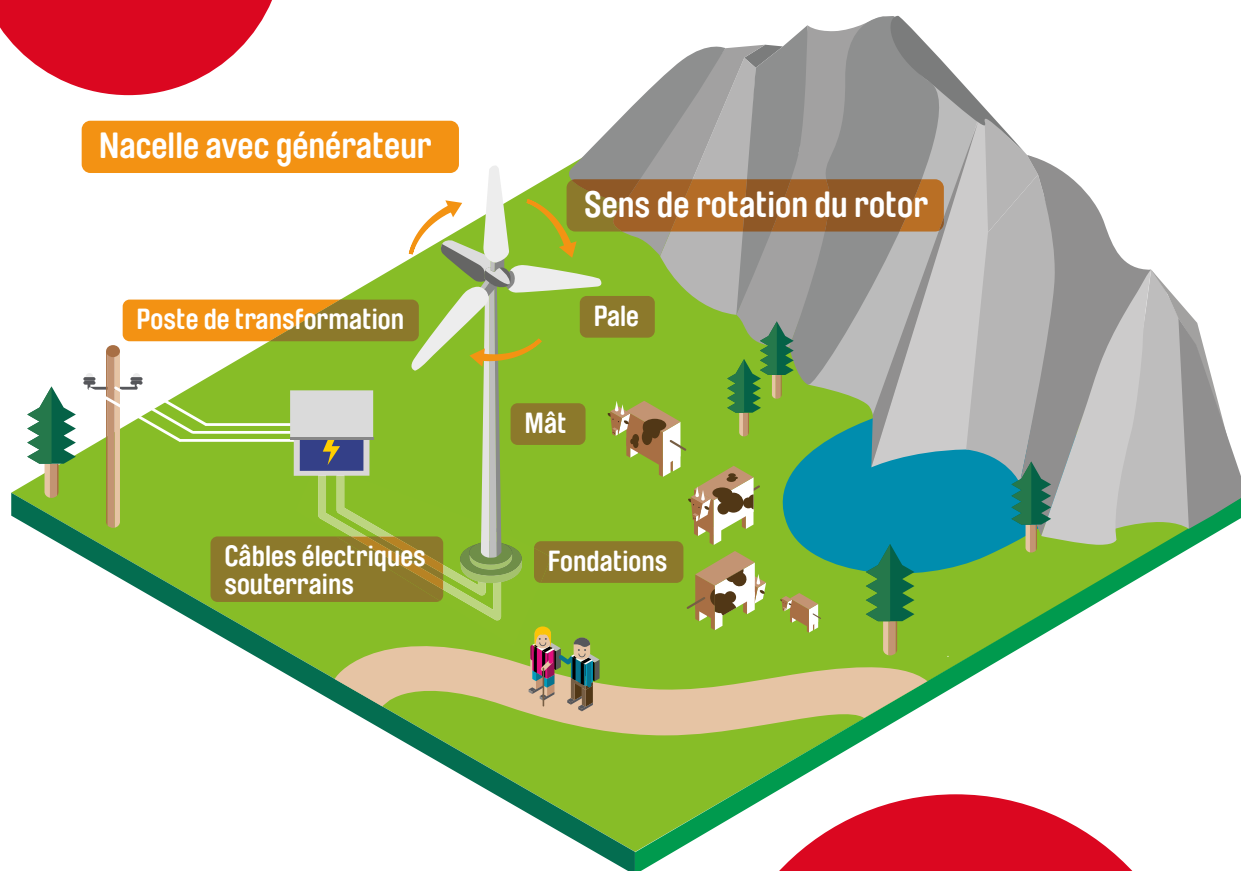
Le vent permet aux voiliers d'avancer, aux anciens moulins à vent de moudre des céréales et aux éoliennes de produire de l'électricité. En effet, l'énergie mécanique, créée par la rotation des pales de l'éolienne poussées par le vent, est fournie à un rotor puis convertie en électricité grâce à un générateur.

LE SAVAIS-TU ?

Parmi les énergies renouvelables, l'éolien est l'une des plus abouties du point de vue technique et celle qui offre la plus forte productivité après l'hydraulique.



Fonctionnement d'une éolienne



1'000

C'est le nombre de ménages, en moyenne, qu'une éolienne permet d'alimenter en électricité.



L'énergie géothermique

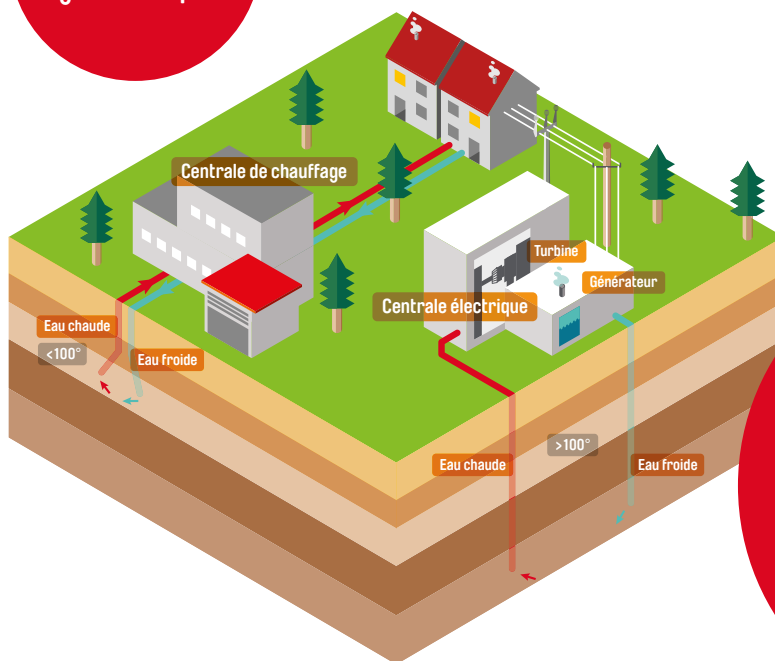
La géothermie utilise l'énergie qui se trouve sous la terre pour la production de chaleur, d'eau chaude ou d'électricité. Si l'on peut installer pratiquement partout des centrales de géothermie de surface ou des pompes à chaleur (à moins de 30 mètres de profondeur), il faut des conditions favorables pour accueillir les centrales de moyenne profondeur et de géothermie profonde (à plus de 80 mètres de profondeur).

LE SAVAIS-TU ?

Les forages de géothermie se limitent à l'écorce terrestre et atteignent des profondeurs maximales de 5 km. La température qui y règne peut atteindre jusqu'à 200°C.



Fonctionnement d'une centrale géothermique



4'000°C

C'est la température estimée au centre du globe terrestre (noyau). Cette source de chaleur est située environ 3'000 km sous nos pieds. Et lorsqu'un volcan entre en éruption, c'est cette source de chaleur qui remonte à la surface !



Source d'eau chaude (geyser) jaillissant à la surface de la terre en Islande



Pompe à chaleur



L'énergie hydraulique

Différentes installations hydrauliques, au fil de l'eau ou à accumulation, permettent de produire de l'électricité. Le concept reste le même: le mouvement de l'eau canalisé par ces installations entraîne une turbine liée à un alternateur (ou générateur électrique).

LE SAVAIS-TU ?

L'énergie hydraulique couvre de nos jours 58% de la consommation d'électricité en Suisse. En 1970, avant l'arrivée des centrales nucléaires, c'était 90% !



Barrage de Bourg-St-Pierre (VS)



Centrale au fil de l'eau de Sembrancher (VS)



Petite centrale hydraulique de Rivaz, au fil de la rivière du Forestay (VD)





À TOI DE JOUER !

Exploration visuelle



Le Collège du Marais à Gimel assure la consommation électrique moyenne de 20 familles grâce à son installation de :

- ☐ **Panneaux solaires thermiques**
- ☐ **Panneaux solaires photovoltaïques**



Quelles installations utilise-t-on pour que la biomasse sèche (le bois) alimente un réseau de chauffage à distance ?

- ☐ **De grandes chaudières**
- ☐ **Des silos de fermentation**



Les éoliennes sont généralement placées dans des zones dégagées et venteuses. Un site regroupant plusieurs éoliennes c'est :

- ☐ **Un « parc éolien »**
- ☐ **Un « champs éolien »**





En Suisse, les installations de géothermie les plus courantes sont :

- ☐ **Les pompes à chaleur**
- ☐ **Les centrales géothermiques**



Les centrales « empruntent » de l'eau à la rivière en la faisant passer par une conduite pour l'amener jusqu'à une turbine qui va produire de l'électricité. Puis l'eau est rendue, intacte, à la rivière. Ces ouvrages sont qualifiés d'installations :

- ☐ **Au fil de l'eau**
- ☐ **Au fil du courant**

Vrai ou faux ?

Les énergies renouvelables proviennent de sources d'énergie qui ne s'épuisent pas.

- ☐ **VRAI**
- ☐ **FAUX**

La Centrale des Clées utilise de l'énergie hydraulique, renouvelable et non polluante, pour produire de l'électricité.

- ☐ **VRAI**
- ☐ **FAUX**

Naturellement présent dans le sous-sol terrestre, le pétrole est une source d'énergie non polluante.

- ☐ **VRAI**
- ☐ **FAUX**





Le barrage du Day, sur le lac du Miroir, situé en amont de la Centrale des Clées (VD)

L'énergie hydraulique, comment ça marche ?

Il existe plusieurs techniques permettant d'utiliser la force de l'eau pour produire de l'électricité.

Les barrages

Un barrage est un mur construit dans la vallée d'une rivière. L'eau s'accumule derrière ce mur et forme un lac. Les barrages sont donc qualifiés d'ouvrages à accumulation. Lorsque l'on veut produire de l'électricité, on ouvre une vanne (un gros robinet), et l'eau entraîne les turbines. **La hauteur entre la surface du lac et les turbines crée une pression dans la conduite.** Plus on descend dans l'installation, plus la pression dans la conduite augmente. C'est la pression multipliée par la quantité d'eau qui nous donne la puissance de la turbine. Cette puissance correspond à la quantité d'électricité que l'on peut produire.



Barrage de l'Hongrin (VD)



Dans les installations à accumulation, comme les barrages, la pression est grande, mais le débit d'eau est peu élevé puisque l'eau est accumulée (retenue) et ne circule pas naturellement. Cela signifie que la quantité d'eau qui circule chaque seconde n'est pas très grande. C'est le contraire des centrales au fil de l'eau où la pression est faible (pas d'accumulation) et le débit d'eau élevé. La quantité d'énergie dépend de la pression et de la quantité d'eau à disposition.

Sur le Rhône, le Rhin ou l'Aar, ces installations hydrauliques peuvent aussi être des ponts qui permettent de traverser le fleuve. Elles ont ainsi une double utilité !



Le Barrage de Bourg-Saint-Pierre (VS) fait aussi office de pont

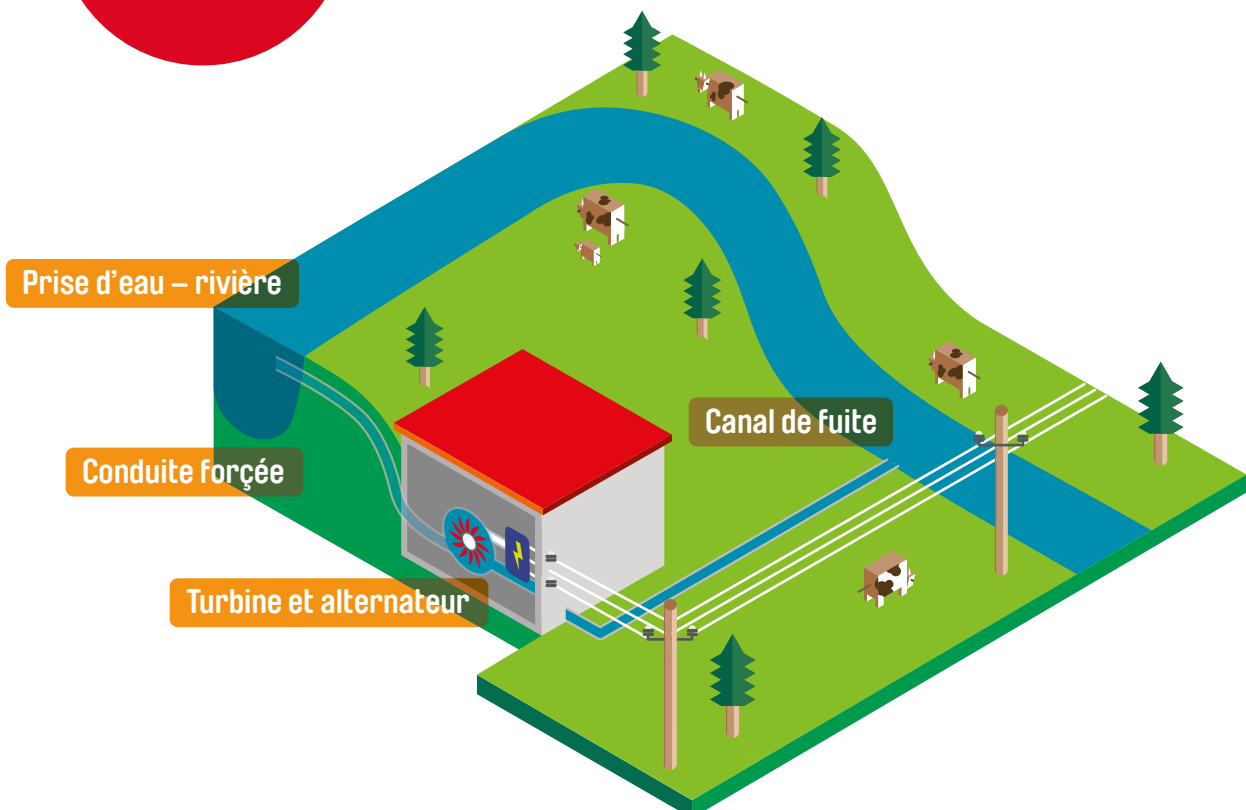
La Centrale des Clées est alimentée par un barrage à accumulation. Elle est située dans les gorges de l'Orbe, à un endroit où la dénivellation est importante (c'est une pente raide). La différence d'altitude entre la surface du lac et les turbines est de 175 mètres. **La pression de l'eau y est 5 fois plus importante que dans le robinet de ta salle de bain !** Une conduite forcée (des tuyaux qui transportent de l'eau) alimente les turbines et entraîne les générateurs électriques, qui peuvent ainsi produire de l'électricité. Tu comprendras encore mieux ce phénomène lors de ta visite à la Centrale des Clées et au chapitre suivant !

LE SAVAIS-TU ?

Un barrage et une centrale au fil de l'eau peuvent produire la même quantité d'électricité. La capacité de production dépend uniquement de la pression de l'eau et de son volume (quantité d'eau qui passe dans les turbines).



Fonctionnement d'une centrale hydraulique



Les centrales au fil de l'eau...

Les centrales au fil de l'eau sont installées sur le cours d'une rivière ou d'un fleuve. Il n'y a pas de retenue d'eau et pas de possibilité de la stocker. On ne peut donc pas ouvrir ou fermer un robinet. C'est le débit d'eau qui détermine la quantité d'énergie générée. L'eau, en circulant, actionne les turbines. Les centrales au fil de l'eau ont une production maximale au printemps lors de la fonte des neiges, et une production faible en été, à cause de la sécheresse.



Centrale FMS Sembrancher (VS)

Souviens-toi !

Pression x quantité d'eau =
puissance = quantité d'électricité
que l'on peut produire



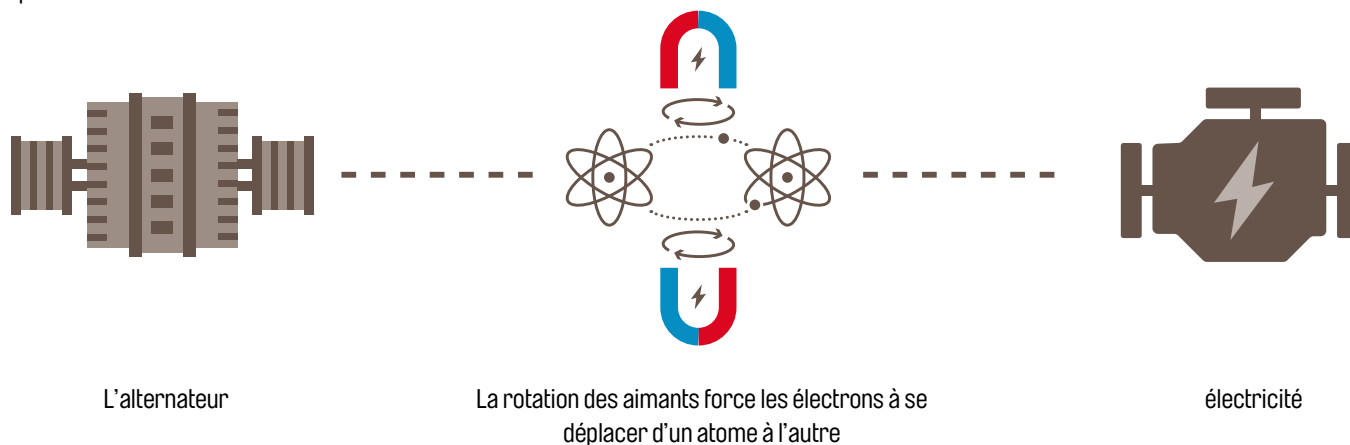


Pylône électrique haute tension (HT) >40'000 volts

C'est quoi l'électricité ?

L'électricité est un phénomène physique qui existe dans la nature. Pour le comprendre, il faut se plonger dans le monde de l'infiniment petit.

La matière est composée d'atomes. Les atomes sont eux-mêmes composés d'un noyau central autour duquel gravitent des électrons. Quand les électrons se déplacent d'un atome à un autre, ils produisent de l'électricité ! L'électricité est un déplacement d'électrons à l'intérieur d'un conducteur. C'est donc une question de mouvement.





À TOI DE JOUER !

Ça coule de source

Observe bien cette image.
Sauras-tu dire de quoi il s'agit ?

- ☐ Barrage à accumulation
- ☐ Centrale au fil de l'eau



Pont-de-la-Tine (VS)

De l'électricité dans l'air

Choisis la bonne image.
Lequel de ces phénomènes naturels est-il un phénomène électrique ?





BONNE VISITE!



Maintenant que tu as acquis de bonnes connaissances sur les différentes énergies et sur la force hydraulique en particulier, profite de ta visite ! N'hésite pas à poser des questions au guide qui t'accompagnera et suis bien les consignes de sécurité.

Tu es curieux de savoir ce qui t'attend ? Fais déjà connaissance avec André, l'un des guides de la Centrale des Clées !



Vidéo explicative de la visite

<https://www.youtube.com/watch?v=PZwhNSwayWM>





SOUVIENS-TOI DE TA VISITE



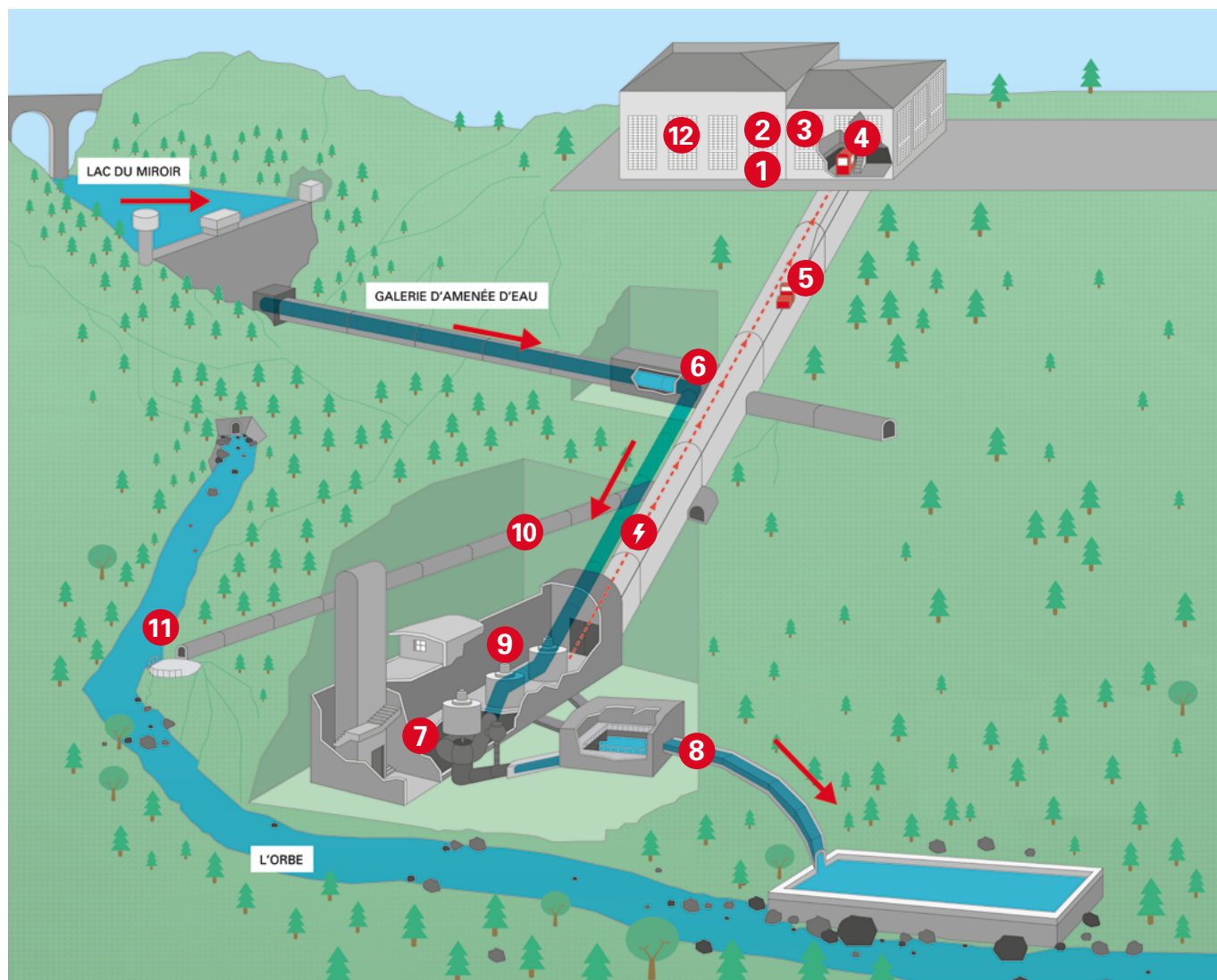
DE L'EAU À L'ÉLECTRICITÉ

Tu as maintenant visité la Centrale hydraulique des Clées avec le guide et reçu des explications sur le fonctionnement de ce site de production électrique. Reprenons ces informations ensemble pour mieux les comprendre!



PLAN DE LA VISITE

Observe bien le schéma pour mieux saisir les explications qui vont suivre. Tu comprendras comment le parcours de l'eau à l'intérieur de la centrale conduit à la production d'électricité.



- | | | |
|----------------------------|--|-------------------------------|
| 1 L'accueil | 6 L'arrivée de l'eau (conduite forcée) | 11 Le balcon dur l'Orbe |
| 2 La salle d'orientation | 7 Les vannes et turbines | 12 Le poste de transformation |
| 3 La salle Romande Energie | 8 Le canal de fuite | |
| 4 La gare | 9 La salle des machines | ⚡ Électricité |
| 5 Le funiculaire | 10 Le tunnel d'exploration | |





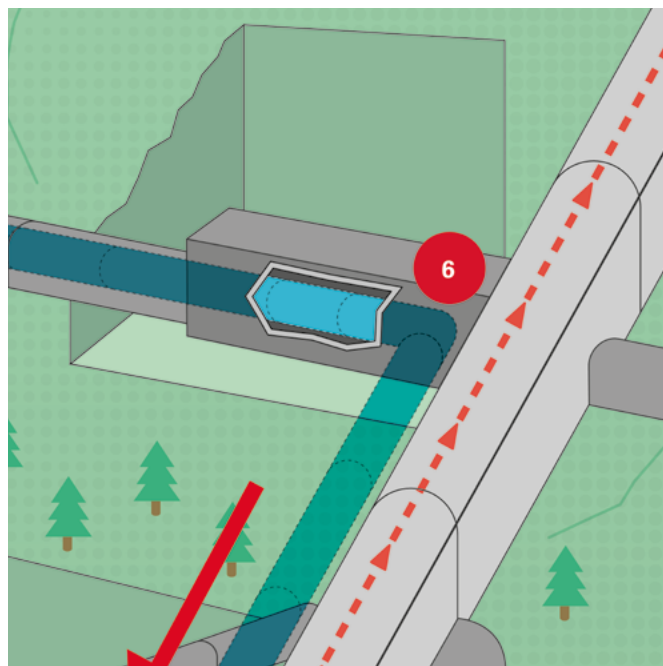
La conduite forcée, au milieu du tunnel du funiculaire 6

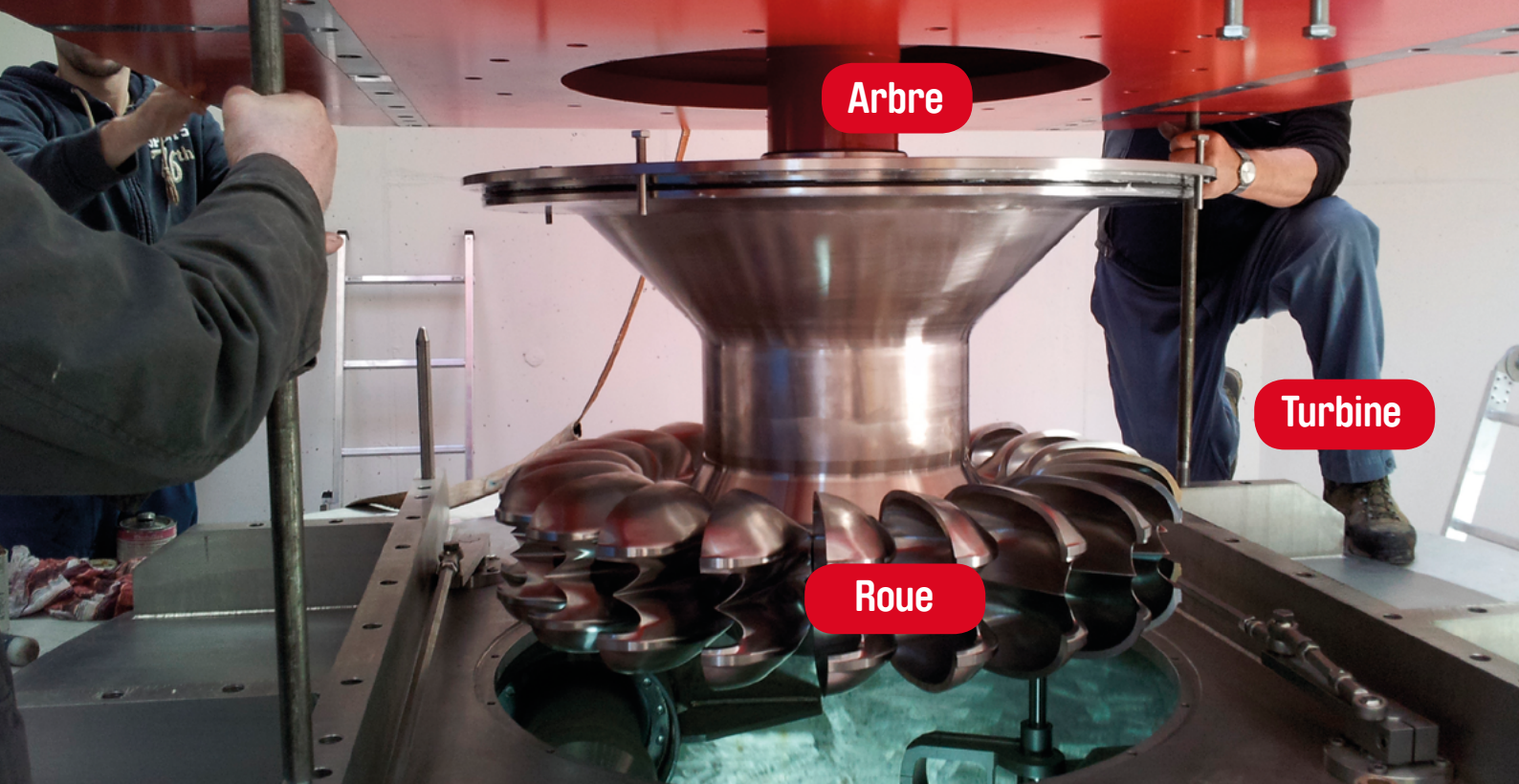
L'arrivée d'eau

Comme tu l'as appris durant ta visite, l'eau de l'Orbe quitte le lac du Miroir par la galerie d'amenée d'eau, un grand tuyau de 2,65 m de diamètre. La galerie mesure 3,5 km et sa pente est très faible (pression de 3 bar, comme la pression du robinet de ta salle de bain). L'eau descend ensuite par la conduite forcée 6, en pente raide, jusqu'aux turbines de la centrale. La pression augmente et passe de 3 à 17 bar!

Souviens-toi!

La pression dépend de la dénivellation de l'eau. Plus elle est importante, plus la pression est forte. Et qui dit forte pression dit plus de potentiel d'électricité!





Mise en place d'une turbine à la centrale hydraulique de Forestay (VD)

Les turbines

Après la conduite forcée **6**, l'eau traverse la turbine et fait tourner la roue à aubes. C'est dans les turbines que l'eau accomplit sa mission. La Centrale des Clées en possède trois. Ce sont elles qui transforment la force de l'eau en énergie mécanique. La roue entraîne un arbre (une pièce en acier), reliée au rotor de l'alternateur. C'est ensuite l'alternateur qui va permettre de créer l'électricité! Quant à l'eau, elle poursuit son chemin via le canal de fuite **8** et coule en direction de la centrale suivante, située à Montcherand.



Une turbine de la Centrale des Clées





La salle des machines de la Centrale des Clées **9**

La salle des machines

On passe de l'eau à l'électricité dans la salle des machines **9**. Trois alternateurs, reliés aux turbines - situées en dessous - vont produire du courant électrique.

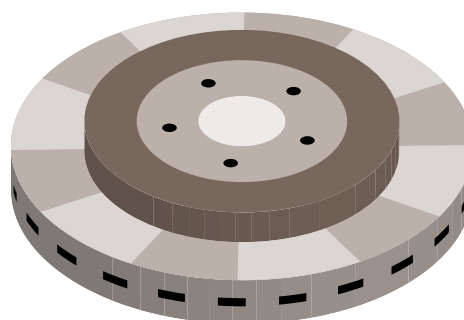
Qu'est-ce qu'un alternateur ?

Expliqué simplement, il s'agit d'une machine électrique composée d'éléments qui, actionnés par une turbine, vont produire l'électricité.

Comment est créé le courant ?

Un gros électro-aimant, le rotor, que nous avons évoqué précédemment, est entraîné par le mouvement de la turbine. Sa vitesse est de 750 tours/minute ! Ce mouvement très rapide provoque une variation de champ magnétique qui, à son tour, crée une tension autour de l'aimant. Les électrons se mettent alors en mouvement... et donnent naissance au courant électrique ! Ce phénomène est appelé « induction ».

Maintenant que tu connais tous les secrets de fabrication de l'électricité, nous allons t'expliquer comment l'électricité arrive jusqu'à ta maison.



Le rotor, en acier, joue le rôle d'aimant et entre en mouvement rotatif (d'où son nom !)





Le poste de couplage de la Centrale des Clées **12**

Les transformateurs

Une fois produite par les alternateurs dans la salle des machines, l'électricité se déplace à l'intérieur de gros câbles dans la Centrale (un peu comme l'eau est transportée dans les tuyaux, en fait!). Rappelle-toi, lorsque tu as pris le funiculaire pour descendre vers la salle des machines, le guide t'a montré ces gros câbles situés le long de la paroi. **C'est dans ces câbles que circule l'électricité produite à la Centrale des Clées!**

L'électricité se déplace ainsi jusqu'au poste de transformation situé dans le bâtiment principal **12**.

Comme son nom l'indique, le rôle du poste de transformation est de transformer. Ainsi, à l'aide des transformateurs, nous allons augmenter la tension électrique de 13'500 volts à 40'000 volts. En effet, plus la tension électrique est élevée lors de son transport, moins il y a de pertes par échauffement des lignes électriques. C'est pour cela que l'on augmente la tension!

L'électricité est transportée vers les habitants (villes et villages) et vers les zones industrielles par 5 lignes électriques de moyenne tension (40'000 V). Qui sait, tu as peut-être chez toi de l'électricité qui provient de la Centrale hydraulique des Clées!



Deux transformateurs du poste électrique de Moudon

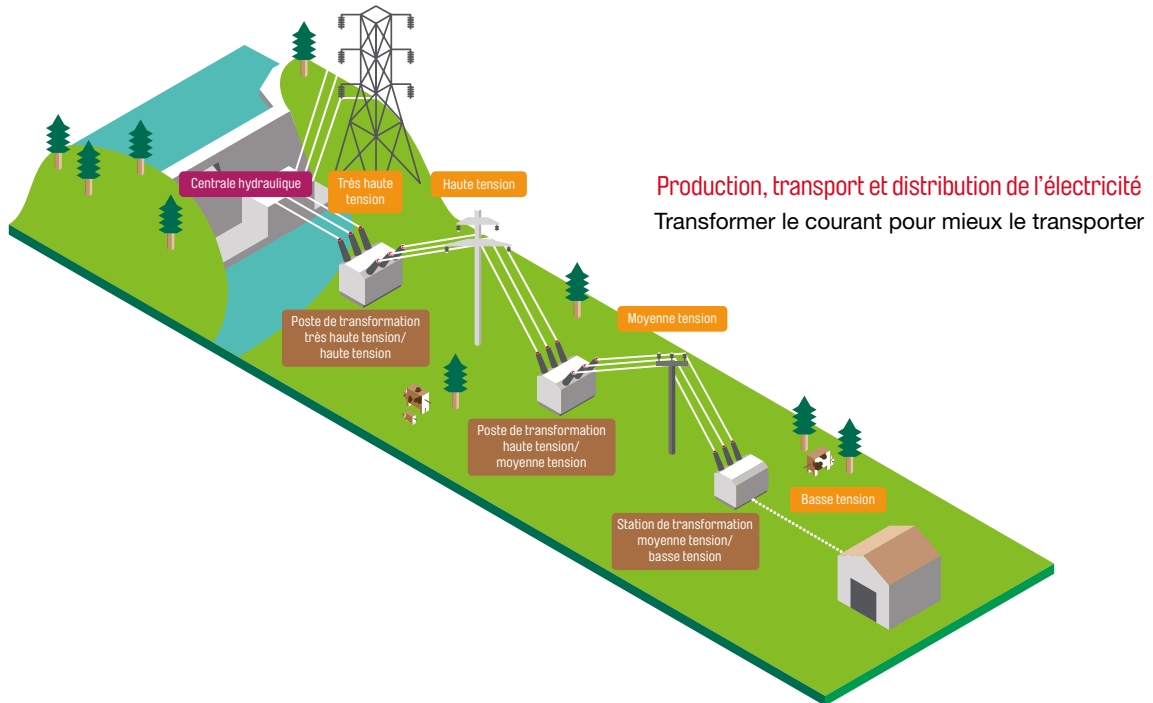
LE SAVAIS-TU?

En une seconde, la Centrale des Clées produit suffisamment d'électricité pour éclairer ta chambre plus de 100 heures (ampoules LED)!



Le réseau électrique

Le réseau électrique est un ensemble d'infrastructures acheminant l'électricité des centrales de production, comme la Centrale hydraulique des Clées, vers les consommateurs. Les postes électriques permettent de répartir l'électricité et de la convertir d'un niveau de tension à un autre grâce aux transformateurs.



À TOI DE JOUER !

Carte d'identité hydraulique

L'énergie hydraulique est une énergie ...

- | | |
|--|---|
| ☐ renouvelable | ☐ qui a un très bon rendement (90%) |
| ☐ dont les installations sont les mêmes sur chaque site | ☐ très présente en Suisse |
| ☐ disponible toute l'année | ☐ qui n'a pas d'impact sur le paysage |
| ☐ dont la technologie est bien maîtrisée | ☐ qui est indépendante des conditions météo |
| ☐ toujours conciliable avec l'écosystème | ☐ dont les installations sont de très longue durée |

Une définition à sa mesure

Relie chaque unité à sa définition

- | | |
|-----------|-----------------------------|
| Volts • | • La puissance de l'énergie |
| Ampères • | • La tension électrique |
| Watts • | • L'intensité du courant |



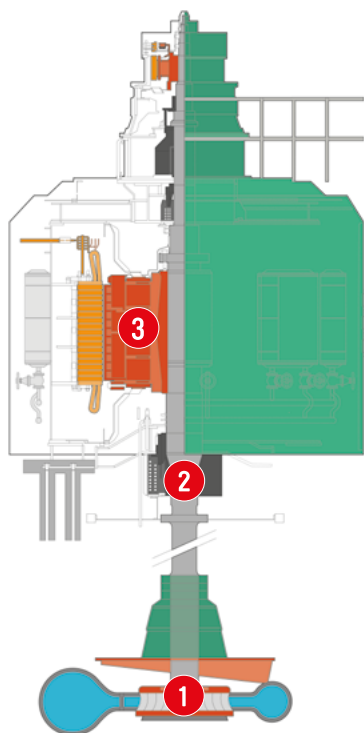


À TOI DE JOUER !

Entre dans la légende

La photo et le schéma ci-dessous ont perdu leur légende. À toi de les compléter à l'aide des mots suivants :

- ALTERNATEUR
- TURBINE
- ROTOR
- ARBRE

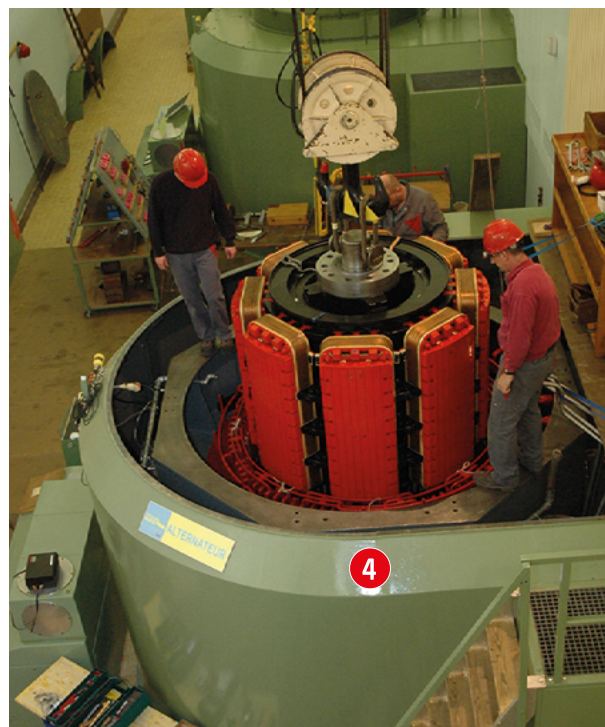


1 _____

2 _____

3 _____

4 _____



Pêle-mêle

Le lac du Miroir est un lac naturel.

☐ Vrai ☐ Faux

Quel est le diamètre de la galerie d'amenée d'eau ?

☐ 1,45 mètres ☐ 2,65 mètres

Quel est le type de turbine utilisé à la Centrale des Clées ?

- ☐ Turbine Francis
- ☐ Turbine Pelton
- ☐ Turbine Kaplan

Durant ta visite, le guide t'a montré une turbine qui tournait. Quelle était sa position ?

☐ Horizontale ☐ Verticale



L'EAU, SOURCE D'EXPÉRIENCE !

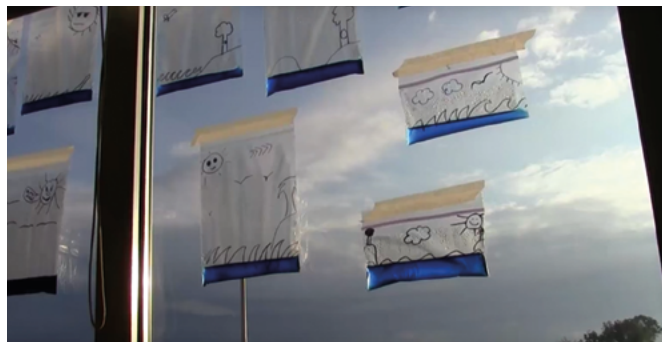
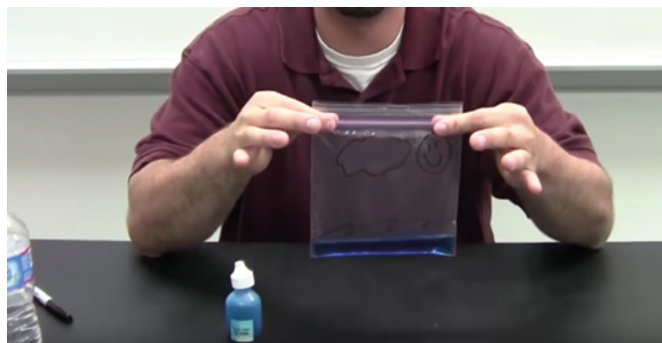
La visite à la Centrale des Clées t'a permis de comprendre comment l'eau en mouvement peut être transformée en électricité. Il y a énormément d'eau sur notre planète, les rivières et les fleuves représentent notamment une source illimitée d'énergie propre. Ce chapitre te fournit des informations complémentaires, ainsi que trois expériences, qui feront de toi un expert de l'énergie hydraulique !

L'éternel cycle de l'eau

L'eau recouvre 70% de la surface de la Terre, sous forme d'océans, de rivières, de fleuves mais aussi de pluie ou de nuages. Si l'énergie hydraulique peut être utilisée indéfiniment, c'est que l'eau est sans cesse renouvelée. Ce phénomène naturel s'appelle le cycle de l'eau.

Les quatre étapes du cycle de l'eau :

- 1. L'évaporation :** chauffée par le Soleil, l'eau des océans, des rivières et des lacs s'évapore, monte dans l'atmosphère et forme les nuages.
- 2. La condensation :** au contact des couches d'air froid de l'atmosphère, la vapeur d'eau se condense en particules solides ou liquides.
- 3. Les précipitations :** les nuages répandent leur contenu sur la terre, sous forme de pluie, neige ou grêle.
- 4. Le ruissellement :** la plus grande partie de l'eau tombe directement dans les océans. Le reste s'infiltre dans le sol (pour former des nappes souterraines qui donnent naissance à des sources) ou ruisselle pour aller grossir les rivières qui, à leur tour, vont alimenter les océans... Et le cycle recommence !



À TOI DE TESTER !

L'expérience n°1
te permet de reproduire
ce phénomène.
[https://www.youtube.com/
watch?v=4WQBtAJxMbY](https://www.youtube.com/watch?v=4WQBtAJxMbY)



Le moulin à eau

Depuis plus de 2'000 ans, l'Humanité utilise la force de l'eau pour faire fonctionner des outils. Ainsi, le principe du moulin à eau est connu depuis l'Antiquité. Il consiste à poser une roue sur une rivière. En tournant, cette roue actionne un mécanisme qui produit un mouvement régulier. Pratique pour moudre des céréales, pomper de l'eau, scier du bois, et bien d'autres usages encore! **C'est l'ancêtre de la roue à aubes qui permet aujourd'hui de produire de l'électricité, à l'intérieur de l'alternateur (p.21)!**



À TOI DE TESTER!

L'expérience n°2 te permet de reproduire ce phénomène. Fais-toi accompagner d'un adulte pour la réaliser!

<https://www.youtube.com/watch?v=Os75LSA1stM>



La dénivellation, c'est puissant !

La puissance de production d'une installation hydroélectrique dépend de la différence de niveau entre le lac et la turbine, et de la quantité d'eau à disposition. À la Centrale des Clées, la dénivellation est de 174 mètres.

Comme la Suisse est un pays de montagnes, elle peut profiter de l'important dénivelé de ses paysages. **Notre pays compte une quarantaine de grands barrages, situés surtout dans les Alpes.** D'ailleurs, le plus haut barrage du monde est celui de la Grande-Dixence, en Valais. Situé à 2'365 mètres d'altitude, il forme un lac de plus de 200 mètres de profondeur. Le mur du barrage lui-même mesure 285 mètres de haut, tel un immeuble de plus de 70 étages ! La dénivellation est de 1'883 mètres, car les turbines sont dans la vallée, à Biendron, Nendaz.



À TOI DE TESTER !

L'expérience n°3
te permet de reproduire
ce phénomène.
[https://www.youtube.com/
watch?v=kL25EdOcUZE](https://www.youtube.com/watch?v=kL25EdOcUZE)



Ta mini centrale hydraulique

Notre pays compte 600 installations à accumulation et plus de 1'000 installations au fil de l'eau. Les premières produisent ensemble 90% de l'énergie hydroélectrique du pays. Le principe est toujours le même: le mouvement de l'eau permet d'actionner des turbines, qui elles-mêmes activent un alternateur grâce auquel on produit de l'électricité.

Ce mode de production d'électricité est l'un des plus propres et des plus efficaces. Il s'appuie sur une ressource puissante et illimitée qui n'a pas besoin d'être transformée: l'eau passe à travers une centrale et en ressort intacte!



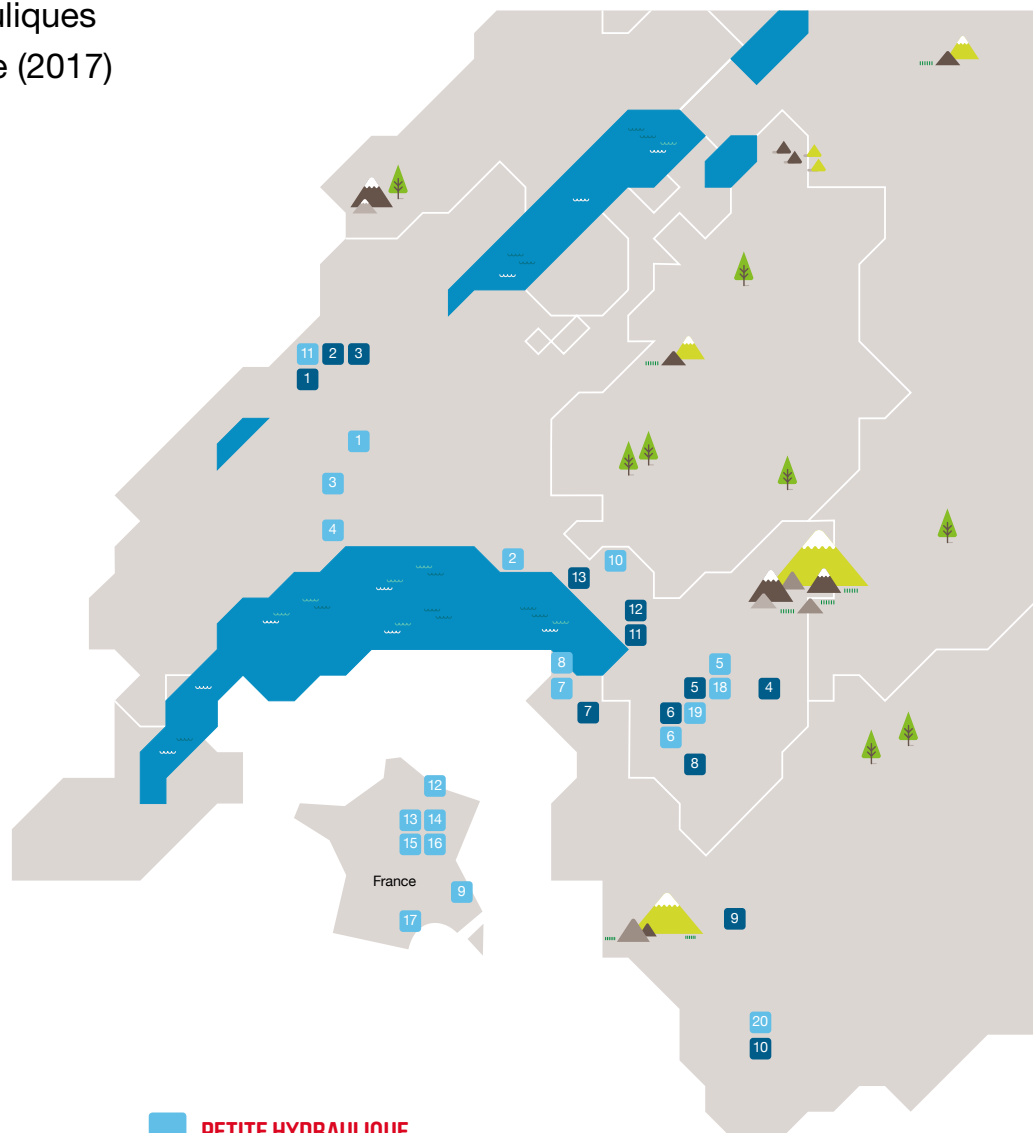
À TOI DE TESTER !

L'expérience n°4
te permet de reproduire
ce phénomène.
[https://www.youtube.com/
watch?v=PI-6E4L-fxE](https://www.youtube.com/watch?v=PI-6E4L-fxE)



CARTE DES INSTALLATIONS DE PRODUCTION

Les centrales hydrauliques
de Romande Energie (2017)



HYDRAULIQUE

1. Vallorbe – La Dernier – Lac de Joux
2. Les Clées – L'Orbe
3. Montcherand – L'Orbe
4. Les Diablerets – Lac D'Arnon
5. Pont-de-la-Tine – La Grande Eau
6. Aigle – Les Farettes – La Grande Eau
7. Vouvry – Lac Tanay
8. La Peuffeyre – Les Avançons
9. FMS – Sembrancher
10. FGB – Bourg-St-Pierre
11. FMHL – Veytaux
12. Sonzier – Les Eaux du Pays-d'Enhaut
13. Taulan – La Baye de Montreux

PETITE HYDRAULIQUE

1. La Sarraz – La Venoge
2. Rivaz – Le Forestay
3. Grancy – La Rise
4. Echichens – Haute-Pierre
5. Vers-l'Eglise – Les Fenilletts – La Grande Eau
6. Aigle – Mini-Farettes – La Grande Eau
7. Saint-Gingolph – Clarive
8. Saint-Gingolph – Croseau
9. Meyronnes – Ubayette – France
10. Montreux – Brent
11. La Day – Groupe de dotation du barrage – L'Orbe
12. Phade – Semoy – France
13. Cheny – Armançon – France
14. La Cayotte – Armançon – France
15. Commissey – Armonçon – France
16. Ste-Colombe-sur-Seine – Seine – France
17. Belbezet – Hérault – France
18. Pont-de-la-Tine I – La Grande Eau
19. Pont-de-la-Tine II – La Grande Eau
20. La Delise – Bourg-St-Pierre



POURSUIS L'AVENTURE ÉNERGÉTIQUE

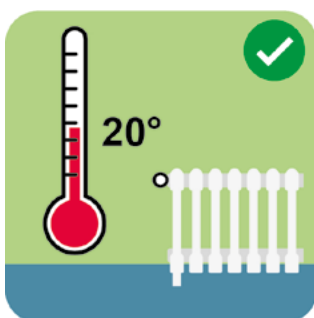
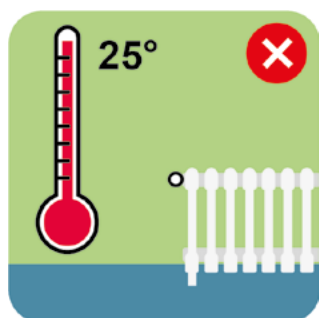
Bravo, tu es maintenant officiellement un Explorateur de l'Énergie! La Centrale des Clées n'a plus de secret pour toi et nous t'invitons à poursuivre l'aventure énergétique au quotidien.

Nos deux Explorateurs t'ont suivi tout au long de ce dossier et, comme tu l'as sûrement remarqué, ils en connaissent un rayon sur l'énergie. Ce sont aussi des champions pour l'économiser! Par de petits gestes quotidiens, ils parviennent à diminuer de beaucoup leur utilisation d'électricité. Et qui dit énergie économisée, dit moins de besoins en production et moins d'émission de CO₂. Un vrai plus pour la nature! Comme eux, poursuis l'aventure énergétique tous les jours, chez toi, en éteignant la lumière de ta chambre lorsque tu n'en as pas besoin ou en débranchant ton chargeur de smartphone lorsque tu ne l'utilises pas, par exemple.

En effet, les lieux que tu fréquentes au quotidien sont l'occasion d'économiser de l'énergie: ta chambre, mais aussi la cuisine, la

salle de bain et même en classe avec tes camarades. L'énergie est un bien précieux que l'on doit préserver. Télécharge les fiches informatives pour tout savoir sur ces petits riens qui font toute la différence! Et amuse-toi à tester tes connaissances grâce aux jeux des éco-gestes et des énergies, également disponibles sur le site des Explorateurs de l'Énergie.

Souviens-toi, nous sommes tous source d'énergie!



LE SAVAIS-TU ?

On n'y pense pas, mais même nos activités sur Internet ont un impact environnemental. En effet, chaque Tweet (message envoyé sur le réseau social Twitter) émet 0,02 grammes de CO₂. Avec 500 millions de Tweets journaliers, Twitter émet au total 10 tonnes de CO₂ par jour! De même, chaque email envoyé émet jusqu'à 4 grammes de CO₂. Surprenant, n'est-ce pas ?!



Site web des Explorateurs

<http://www.explorateurs-energie.ch>



TON PETIT DICTIONNAIRE

Atomes

Les atomes sont des particules infiniment petites qui composent la matière. Un atome est formé d'un noyau entouré d'électrons. Le noyau, lui, contient des protons et des neutrons.

Alternateur (ou générateur électrique)

Un alternateur est une machine qui transforme l'énergie en électricité. Elle fonctionne grâce à la rotation d'un aimant qui attire les électrons. Le déplacement des électrons produit le courant électrique.

Biomasse

On appelle « biomasse » les matières issues des végétaux (comme le bois) et des animaux (déjections). La biomasse est donc la matière qui compose les êtres vivants et leurs résidus. C'est une source d'énergie tirée de ce qui pousse et de ce qui vit. En effet, le bois, par exemple, est une matière organique qui, lorsqu'il brûle, dégage de l'énergie sous forme de chaleur.

Électron

L'électron est l'un des composants de l'atome. Il gravite autour du noyau. Selon la nature de l'atome, il peut y avoir un ou plusieurs électrons autour du noyau.

Énergie

L'énergie est la capacité de modifier un état, de produire un mouvement, de la lumière ou de la chaleur. Son unité de mesure est le joule (J). Le wattheure (Wh) permet quant à lui de mesurer la quantité de puissance. On parle de kilowattheures (kWh) ou de mégawattheures (MWh) lorsque l'on mesure la consommation d'une maison ou d'une entreprise. En Suisse, la consommation moyenne d'un ménage est d'environ 4'000 kWh par an.

Énergie cinétique

L'énergie cinétique est celle qui est « contenue » dans une masse (une certaine quantité de matière) pendant qu'elle se déplace. C'est l'énergie du mouvement. Par exemple, les énergies éolienne et hydraulique utilisent l'énergie cinétique de l'air et de l'eau.

Énergie potentielle

L'énergie potentielle est celle qui est « contenue » dans un objet avant qu'il ne soit en mouvement. Par exemple, on sait que la gravitation fait tomber les objets. Avant de tomber, l'objet a donc le pouvoir (le potentiel) de tomber. Et lorsqu'il tombe effectivement, c'est l'énergie cinétique (celle qui déplace les choses) qui l'amène jusqu'au sol.

Générateur électrique (ou alternateur)

Un générateur électrique est une machine qui transforme l'énergie en électricité. Elle fonctionne grâce à la rotation d'un aimant qui attire les électrons. Le déplacement des électrons produit le courant électrique.

Gravité

La gravité, ou pesanteur, désigne l'attraction qui s'exerce sur tous les corps matériels (qui ont une masse) à proximité de la Terre ou d'une autre planète. Sur la Terre, la force de gravitation est de $9,81 \text{ m/s}^2$ (mètre par seconde carrée).

Molécule

Une molécule est un assemblage d'au moins deux atomes. C'est la structure de base de la matière.

Pression

La gravité est à l'origine de la pression mesurée dans une conduite d'eau. Plus la différence de niveau de l'eau est importante (dénivellation), plus la pression est élevée. La pression du réseau d'eau de la maison est d'environ 3 bar (= 30 mètres de hauteur d'eau).

Rendement

Exprimé en pourcentage, le rendement permet de calculer la part d'énergie utilisable par rapport au total d'énergie fournie. Par exemple, avec un rendement de 15%, les panneaux solaires photovoltaïques « utilisent » 15% de l'énergie qu'ils ont reçu du Soleil pour la transformer en électricité.

Renouvelables

Les énergies renouvelables, ce sont des énergies produites à partir d'une source d'énergie que la nature renouvelle sans cesse. Ces ressources sont donc naturellement illimitées et non polluantes: le Soleil, le vent, les fleuves, les matières organiques et les mers. Elles se différencient des ressources non renouvelables qui se recréent très lentement et peuvent donc s'épuiser.

Réseau (électrique)

Un réseau électrique sert à transporter l'électricité de l'endroit où elle est produite jusqu'au lieu où elle est utilisée. Il est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques. Les postes électriques permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'un niveau de tension à un autre grâce aux transformateurs.

Turbine

La turbine est une machine composée d'une roue à aubes ou à ailettes (sorte d'hélice) qui tourne grâce à la force de l'eau ou du gaz (vapeur d'eau). Reliée à un générateur, elle permet de produire de l'électricité.

Vapeur

La vapeur est l'état gazeux de l'eau. Elle apparaît lorsque l'eau est chauffée et s'évapore.



POUR DEVENIR UN EXPERT

Dossiers pédagogiques (en ligne)

POWER ON

Dossier en 7 leçons pour comprendre la notion d'énergie, l'électricité, les énergies renouvelables, la production et le stockage de l'électricité. Matériel d'expériences.

Pour les 9 à 12 ans et pour les enseignants.

Site proposé par l'Association des entreprises électriques suisses (AES).

www.poweron.ch/fr/e-dossiers/toi-et-lenergie.html

ÉNERGIE-ENVIRONNEMENT

Informations, documentation, kits de bricolage et jeux-animations sur les gestes écologiques.

Site proposé par les services cantonaux de l'énergie et de l'environnement.

www.energie-environnement.ch

LES ÉNERGIES VERTES

Un site complet qui traite des différents aspects des énergies vertes: fonctionnement, coûts, de quelle façon agir...

www.energiesvertes.ch

Sites officiels

HYDRAULIQUE ET PRODUCTION ÉLECTRIQUE

Petite hydraulique et grande hydraulique.

Documents sur la part hydraulique dans la production électrique suisse.

www.strom.ch

LES BARRAGES EN SUISSE

Présentation et chiffres. Site proposé par le Comité suisse des barrages.

www.swissdams.ch

LE RÉSEAU D'ÉLECTRICITÉ EN SUISSE

Présentation et documentation par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN):

<http://www.bfe.admin.ch>

DOCUMENTATION DE L'ASSOCIATION

des entreprises éclectiques suisses (AES)

Carte, modèle de réseau et documentation

<http://www.strom.ch/fr/energie/reseau-electrique/faits.html>

STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050

Documentation et vidéos pédagogiques sur la stratégie énergétique du Conseil fédéral

www.uvek.admin.ch/uevek/fr/home/energie/strategie-energetique-2050.html

Données statistiques

L'ÉNERGIE EN SUISSE

Office fédéral de l'environnement (OFEN), publications de 2011, 2012 et 2015

www.bfe.admin.ch

L'ÉLECTRICITÉ EN SUISSE

Avenir Electricité (AES), site proposé par les entreprises électriques suisses.

www.avenirelectricite.ch

L'ENVIRONNEMENT EN SUISSE

Dossiers et actualités concernant la Suisse proposés par le Département de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication suisse (DETEC).

www.detec.admin.ch

Ouvrages

- Économie circulaire et développement durable: écologie industrielle et circuits courts, Delpine Gallaud, Blandine Laperche (2016)
- Quels sont les enjeux de l'hydroélectricité ? Ministère de l'écologie et du développement durable (2003)
- De la naissance des réseaux d'eau à l'hydroélectricité, Pflieger Géraldine (2009)
- Les énergies renouvelables, Jacques Vernier (2014)
- Comprendre la transition énergétique: 100 questions brûlantes, 100 réponses la tête froide, François Vuille (2015)
- L'énergie d'aujourd'hui et de demain, Pierre-René Bauquis et Emmanuelle Bauquis (2007)
- L'énergie, Steve Parer et Alex Pang (illustrations)
- Collection « Comment ça fonctionne », Piccolia, 2012.
- L'énergie, Chris Woodford et John Woodcock, adaptation Véronique Dreyfus, Gründ, collection Écologie Junior, 2007.





CORRIGÉ DES EXERCICES

Exploration visuelle (p.16-17)



Le Collège du Marais à Gimel assure la consommation électrique moyenne de 20 familles grâce à son installation de :

- ☐ Panneaux solaires thermiques
- ☒ **Panneaux solaires photovoltaïques**



Quelles installations utilise-t-on pour que la biomasse sèche (le bois) alimente un réseau de chauffage à distance ?

- ☒ **De grandes chaudières**
- ☐ Des silos de fermentation



Les éoliennes sont généralement placées dans des zones dégagées et venteuses. Un site regroupant plusieurs éoliennes c'est :

- ☒ **Un « parc éolien »**
- ☐ Un « champs éolien »



En Suisse, les installations de géothermie les plus courantes sont :

- ☒ **Les pompes à chaleur**
- ☐ Les centrales géothermiques



Les centrales « empruntent » de l'eau à la rivière en la faisant passer par une conduite pour l'amener jusqu'à une turbine qui va produire de l'électricité. Puis l'eau est rendue, intacte, à la rivière. Ces ouvrages sont qualifiés d'installations :

- ☒ **Au fil de l'eau**
- ☐ Au fil du courant

Vrai ou faux (p.17)

Les énergies renouvelables proviennent de sources d'énergie qui ne s'épuisent pas.

- ☒ **VRAI**
- ☐ FAUX

La Centrale des Clées utilise de l'énergie hydraulique, renouvelable et non polluante, pour produire de l'électricité.

- ☒ **VRAI**
- ☐ FAUX

Naturellement présent dans le sous-sol terrestre, le pétrole est une source d'énergie non polluante.

- ☒ **VRAI**
- ☐ FAUX



Ça coule de source (p.22)



Observe bien cette image.
Sauras-tu dire de quoi il s'agit ?

- ☐ Barrage à accumulation
- ☒ Centrale au fil de l'eau

De l'électricité dans l'air (p.22)

Choisis la bonne image. Lequel de ces phénomènes naturels est-il un phénomène électrique ?



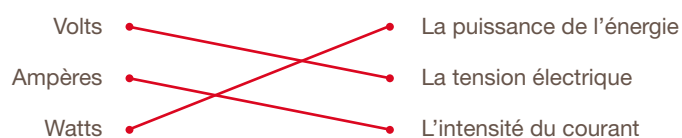
Carte d'identité hydraulique (p.30)

L'énergie hydraulique est une énergie ...

- ☒ renouvelable
- ☐ dont les installations sont les mêmes sur chaque site
- ☒ disponible toute l'année
- ☒ dont la technologie est bien maîtrisée
- ☐ toujours conciliable avec l'écosystème
- ☒ qui a un très bon rendement (90%)
- ☒ très présente en Suisse
- ☐ qui n'a pas d'impact sur le paysage
- ☐ qui est indépendante des conditions météo
- ☒ dont les installations sont de très longue durée

Une définition à sa mesure (p.30)

Relie chaque unité à sa définition

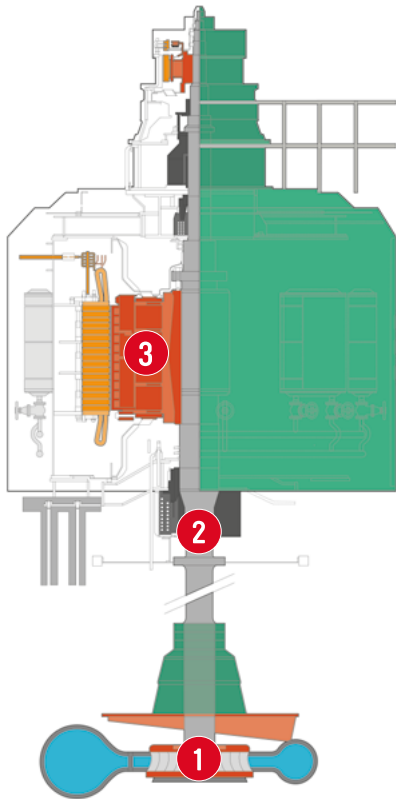


Entre dans la légende (p.31)

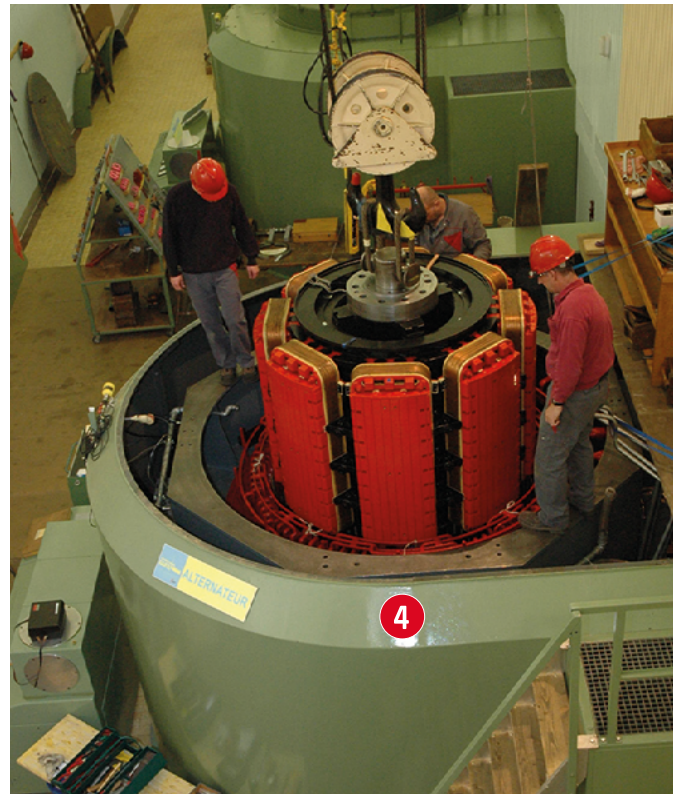
La photo et le schéma ont perdu leur légende.

À toi de les compléter à l'aide de ces mots:

- ALTERNATEUR
- TURBINE
- ROTOR
- ARBRE



- 1 TURBINE
- 2 ARBRE
- 3 ROTOR
- 4 ALTERNATEUR



Pêlé-mêle (p.31)

Le lac du Miroir est un lac naturel.

- ☐ Vrai ☒ Faux

Quel est le diamètre de la galerie d'amenée d'eau ?

- ☐ 1,45 mètres ☒ 2,65 mètres

Quel est le type de turbine utilisé à la Centrale des Clées ?

- ☒ Turbine Francis
☐ Turbine Pelton
☐ Turbine Kaplan

Durant ta visite, le guide t'a montré une turbine qui tournait. Quelle était sa position ?

- ☒ Horizontale ☐ Verticale





ÉDITEUR

Romande Energie
Rue de Lausanne 53
Case postale
CH-1110 Morges 1

www.romande-energie.ch