

ÉQUILIBRER LA
PRODUCTION ET LA
CONSOMMATION
D'ÉLECTRICITÉ

LA PRODUCTION ET LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ.



QU'EST-CE QUE TU FABRIQUES ?

TU M'EXCUSERAS MAIS S'AI DU MAL À TE CROIRE.

JE ME RENSEIGNE SUR LA PRODUCTION ET LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ ! C'EST HYPER INTÉRESSANT !

MAIS SI !

COMPRENDRE LES ÉQUILIBRES, LES SÉQUENCES, ET LES CHARGES DE CONSOMMATION !

ALLEZ VIENS ! JE VAIS T'EXPLIQUER !

QU'EST-CE QUE LE MIX-ÉLECTRIQUE ?

QUELS RÔLES JOUENT LES RÉSEAUX ?

DÉGAGEMENT DE CO₂ OU DÉCARBONÉ ?

QUELLES SONT LES PRODUCTIONS INTERMITTENTES ?

ET PLEIN D'AUTRES QUESTIONS !

HÉ ! MAIS S'AI RIEN DEMANDÉ !

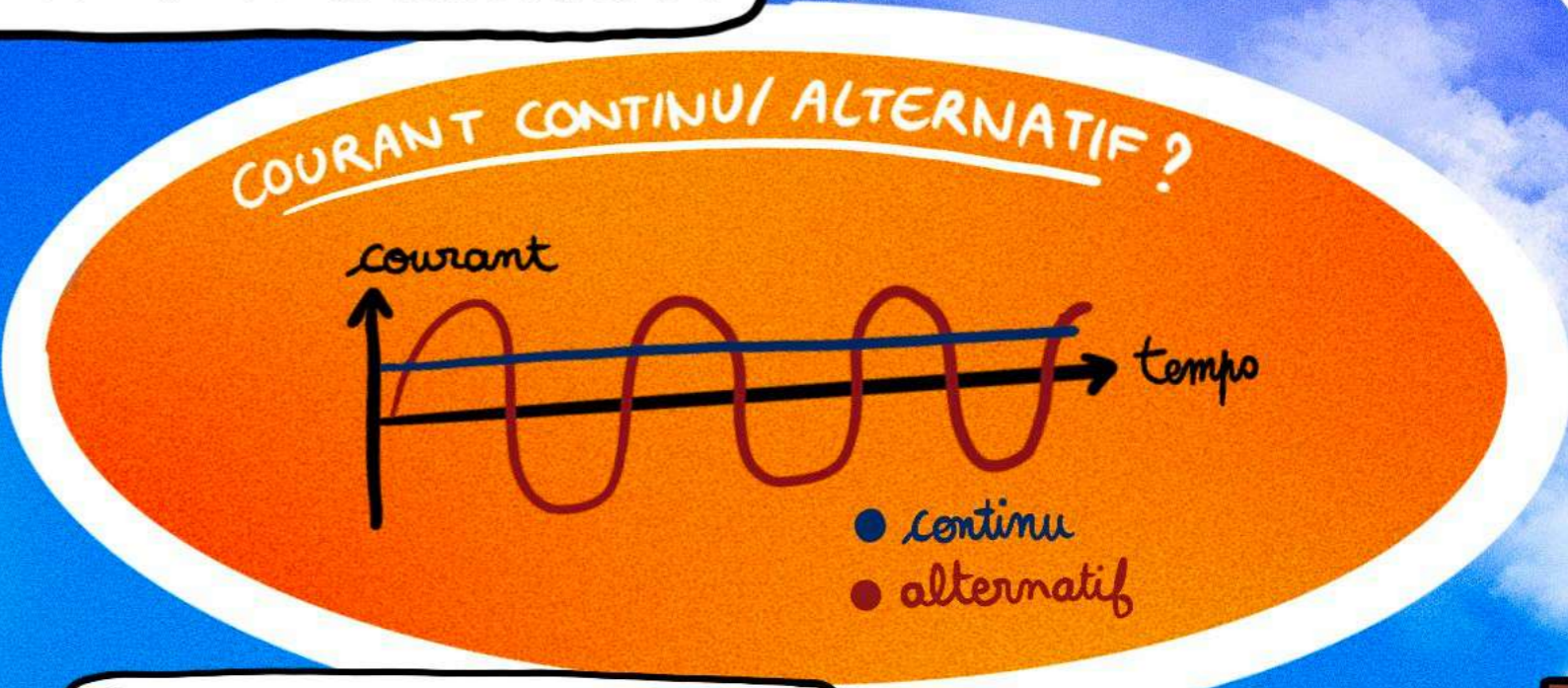
TU VAS VOIR C'EST HYPER COOL !

IL FAUT SAVOIR QUE LES ZONES INDÉPENDANTES D'AUTOCONSUMATION SONT RARES. L'ÉLECTRICITÉ EST MAJORITAIREMENT DISTRIBUÉE À PARTIR DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES.

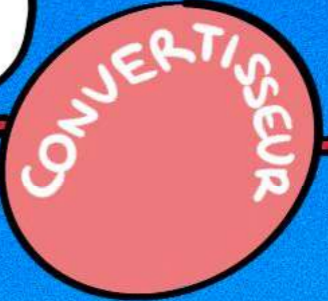
À TOUT MOMENT, L'ÉLECTRICITÉ PRODUITE DOIT ÊTRE ÉGALE À L'ÉLECTRICITÉ DEMANDÉE. ELLE EST FABRIQUÉE PAR UN GÉNÉRATEUR, QUI EN TOURNANT, PRODUIT DU COURANT ALTERNATIF.

ELLE NE SE STOCKE PAS OU TRÈS DIFFICILEMENT

COMMENT PRODUIT-ON DE L'ÉLECTRICITÉ ?



SAUF QUE CES DERNIERS PRODUISENT DE L'ÉLECTRICITÉ À COURANT CONTINU. ELLE EST CONVERTIE POUR ÊTRE DISTRIBUÉE EN COURANT ALTERNATIF PAR LE BIAS D'UN CONVERTISSEUR.



ON A TOUT D'ABORD LE CAS DES PANNEAUX SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES.



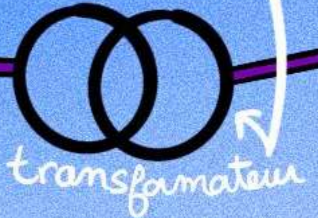
SINON POUR FAIRE TOURNER L'ARBRE DU GÉNÉRATEUR QUI PRODUIT DIRECTEMENT EN ALTERNATIF, IL FAUT:

UNE FORCE MOTRICE PROVENANT GÉNÉRALEMENT D'UNE TURBINE ALIMENTÉE

SOIT PAR DE L'EAU,

SOIT PAR DU VENT,

SOIT PAR DE LA VAPEUR D'EAU PRODUITE GRÂCE À DE L'EAU CHAUFFÉE PAR DU CHARBON, DU PÉTROLE, DU GAZ, DU BOIS OU UNE RÉACTION NUCLÉAIRE.



RÉSEAU

DE QUELS TYPES D'ÉLECTRICITÉ A-T-ON BESOIN DANS UNE MAISON/UNE USINE ?

L'ÉLECTRICITÉ EST TRANSPORTÉE EN TRIPHASÉ* EN HAUTE OU TRÈS HAUTE TENSION PUIS ADAPTÉE AU POINT DE LIVRAISON PAR UN TRANSFORMATEUR.

PUIS ELLE EST DISTRIBUÉE EN MOYENNE TENSION ET UTILISÉE EN BASSE TENSION.

LE TRIPHASÉ EST UTILISÉ PAR LES INDUSTRIELS POUR LES CHARGES IMPORTANTES ET LES MOTEURS. LE MONOPHASE** POUR LES MAISONS DES PARTICULIERS.

** deux fils * trois fils

LA PRODUCTION

Différentes sources d'énergie existent (nucléaire, thermique, énergies renouvelables comme l'éolien, le solaire ou l'hydraulique).

LE TRANSPORT

À l'échelle nationale, il est assuré en 400 000 volts. À l'échelle régionale, en 225 000, 90 000 et 63 000 volts. Cela est réalisé par le gestionnaire du réseau de transport d'électricité (RTE).

LA PLUPART DES AUTRES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES D'UNE MAISON NÉCESSITENT UNE ÉLECTRICITÉ À COURANT CONTINU (APPAREILS ÉLECTRONIQUES, ÉCLAIRAGE LED). CE COURANT CONTINU PROVIENT DE LA TRANSFORMATION DE L'ÉLECTRICITÉ ALTERNATIVE DU RÉSEAU REDRESSÉE À L'AIDE DE CONVERTISSEUR INTÉGRÉ À CHAQUE ÉQUIPEMENT.

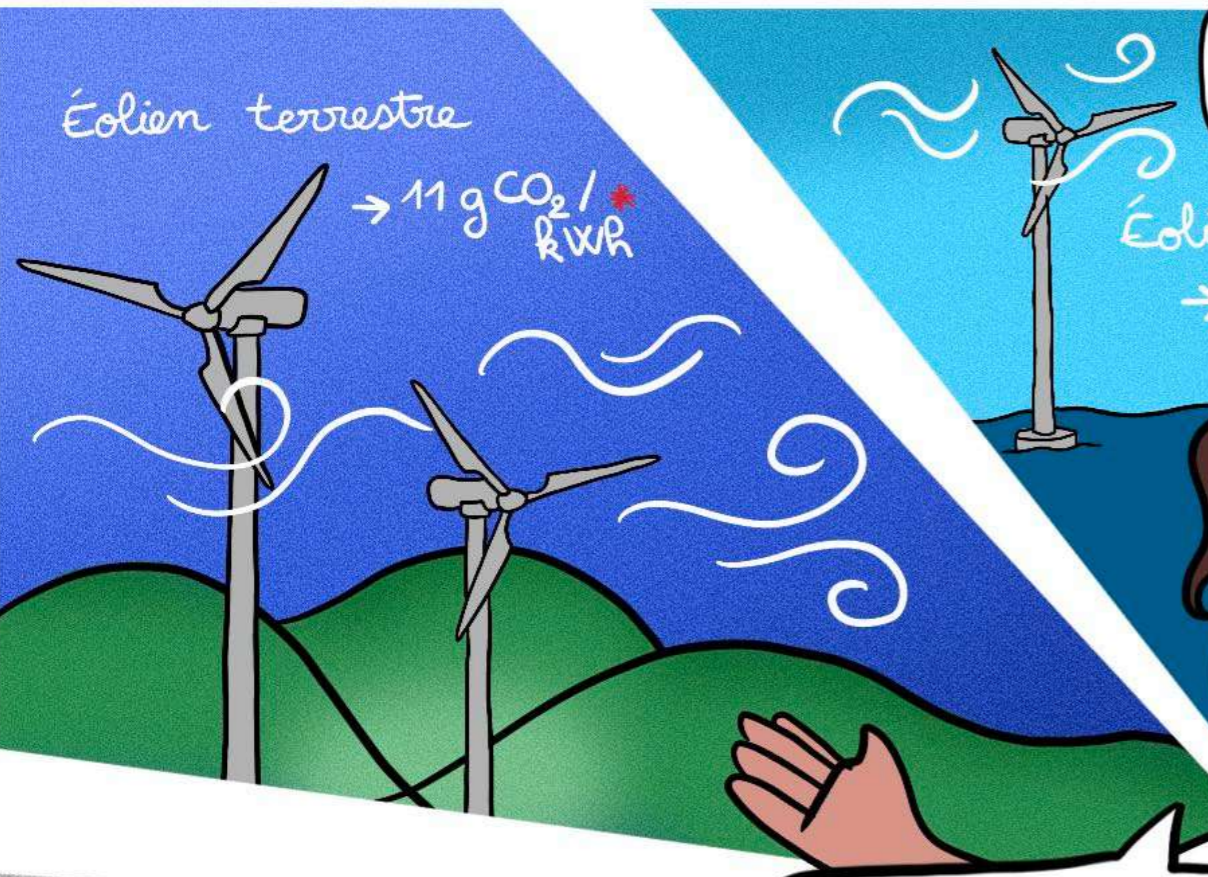
LES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES LES PLUS CONSOMMATEURS D'ÉNERGIE UTILISENT DIRECTEMENT L'ÉLECTRICITÉ ALTERNATIVE DU RÉSEAU. IL S'AGIT DU CHAUFFAGE, FOURS ET PLAQUES OU DES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES CONTENANT UN MOTEUR (REFRIGÉRATEUR, MICRO-ONDES, ...)

LA DISTRIBUTION
L'électricité est distribuée via deux niveaux de tension: la moyenne tension (MT: 20 000 volts-Enerdis) et la basse tension (BT de 400 volts à 230 volts). Enerdis en assure l'exploitation, le développement et l'entretien.

LA FOURNITURE D'ÉLECTRICITÉ

Plusieurs fournisseurs entrent en concurrence. Cela est possible depuis le 1^{er} juillet 2007.

LE MIX-ÉLECTRIQUE



Éolien terrestre
→ 11 gCO₂/kWh*

Éolien en mer
→ 12 gCO₂/kWh*



Hydraulique → 24 gCO₂/kWh*

Photovoltaïque
→ 48 gCO₂/kWh*

LES MOYENS DE PRODUCTION SONT MIS EN COMMUN GRÂCE AUX RÉSEAUX ÉLECTRIQUES.

LE MIX ÉLECTRIQUE DÉCRIT LA COMPOSITION DES ÉNERGIES UTILISÉES POUR LES RÉSEAUX.



Centrale à charbon
→ 820 gCO₂/kWh*



Centrale nucléaire
→ 12 gCO₂/kWh*

Source:
*valeurs issues du rapport de 2014 du GIEC.



Centrale à gaz
→ 490 gCO₂/kWh*

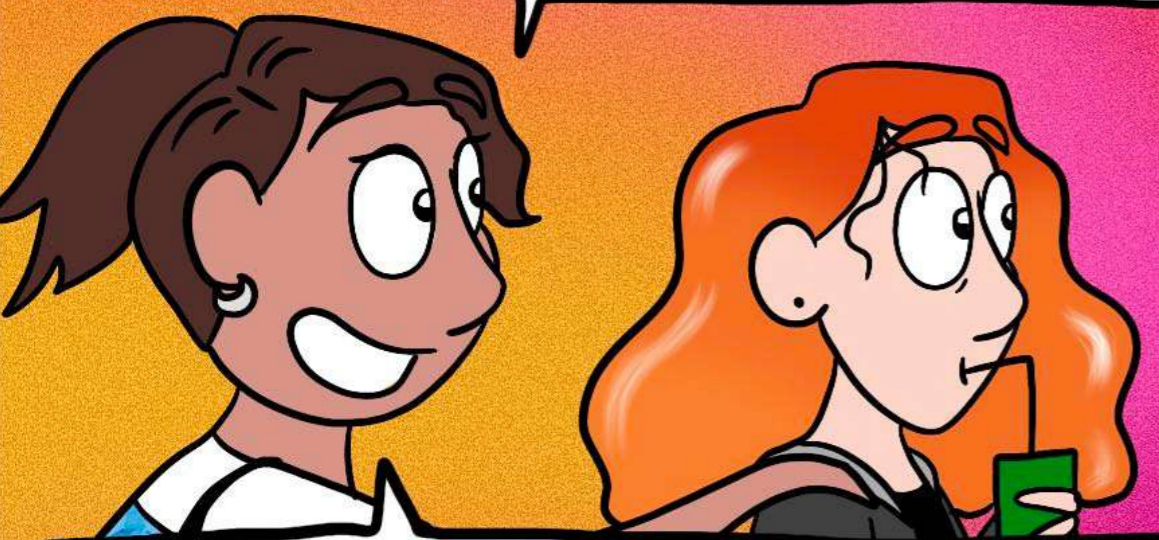
EN FRANCE, LE MIX ÉLECTRIQUE C'EST : 69% DES CENTRALES NUCLÉAIRES, 12% DE CENTRALES HYDRAULIQUES, 10% DE CENTRALES ÉOLIENNES ET SOLAIRES, 9% DE CENTRALES AU GAZ.

DONC LE NIVEAU CO₂ EN FRANCE EST DE :
 $69\% \times 12g + 7\% \times 11g + 3\% \times 48g + 12\% \times 24g + 9\% \times 490g = \underline{57g} \text{ CO}_2/\text{kWh}$



A QUOI SERVENT LES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES ?

ILS SERVENT À CONNECTER L'ENSEMBLE DES UTILISATEURS (PRODUCTEURS, CONSOMMATEURS...). ILS PERMETTENT AUSSI D'ACHEMINER ET ÉCHANGER L'ÉNERGIE DUE À L'ÉLOIGNEMENT ENTRE LES UTILISATEURS ET LES CENTRES DE PRODUCTION.

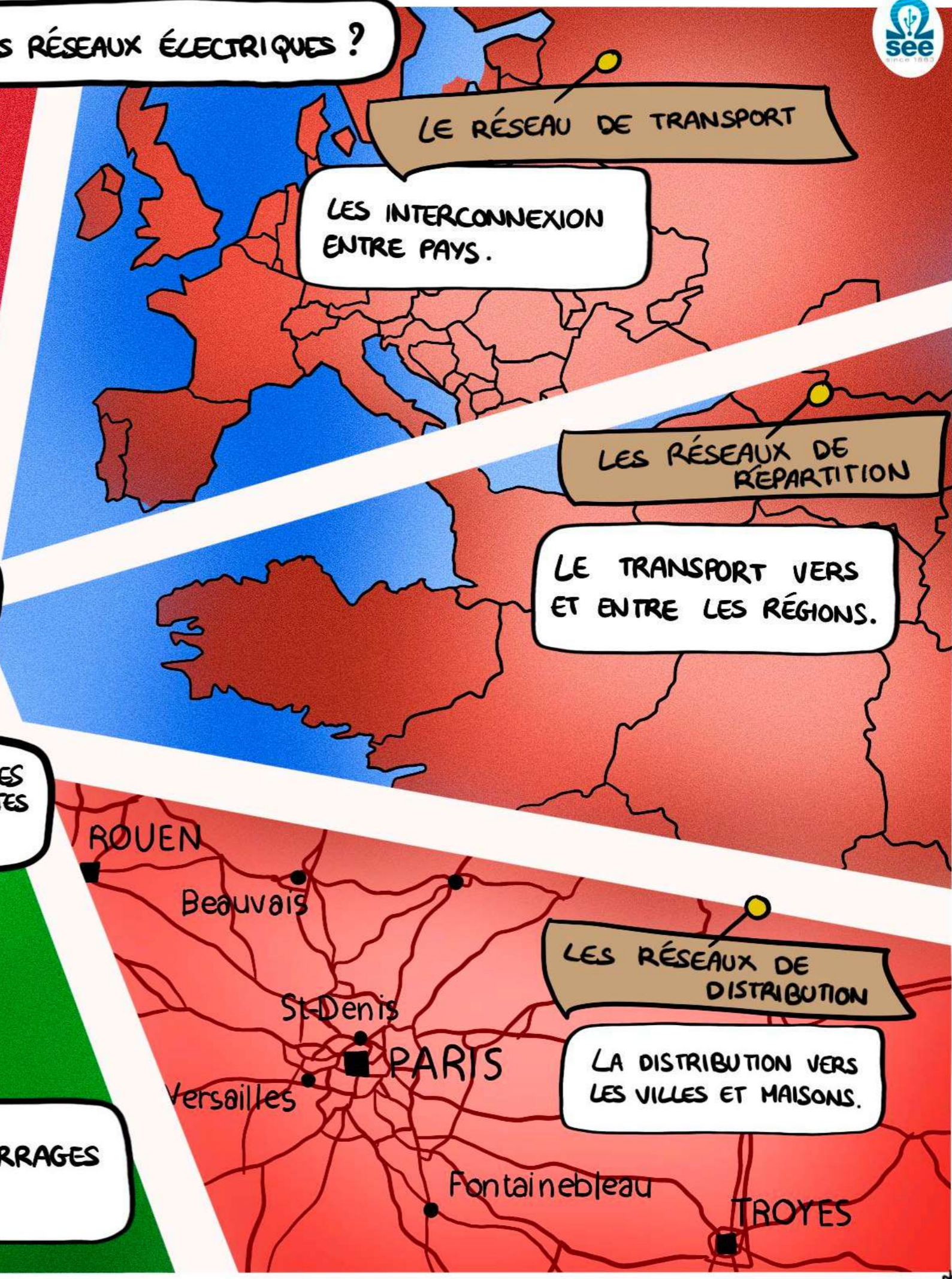


ILS CONTRIBUENT ÉGALEMENT À UNE OPTIMISATION DES RESSOURCES, ENCORE PLUS AVEC LES SOURCES DE PRODUCTION INTERMITTENTES ET PERMETTENT DE RÉALISER LE MIX-ÉLECTRIQUE.

LE RÉSEAU ÉLECTRIQUE EST CONSTITUÉ DES LIGNES ÉLECTRIQUES (AÉRIENNES OU SOUTERRAINES) QUI RELIENT ENTRE EUX LES POSTES DU RÉSEAU (PRODUCTEUR ET CONSOMMATEUR).



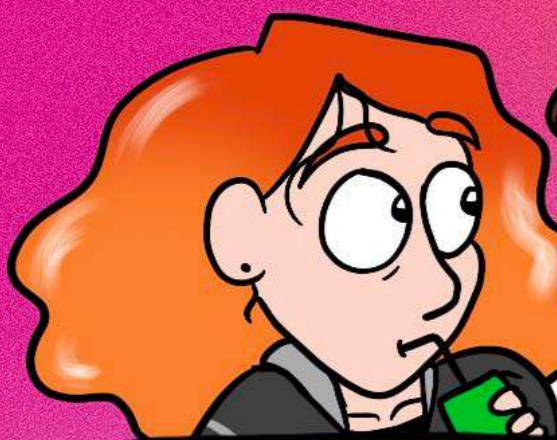
LES PREMIÈRES LIGNES RELIAIENT LES BARRAGES DE MONTAGNES AUX VILLES.



QUELLES SONT LES CARACTÉRISTIQUES DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES ?

LE RÉSEAU CONNECTE DES SYSTÈMES ET PERMET DES ÉCHANGES DE PUISSANCES.

ON NE VA CONSIDÉRER ICI QUE LE RÉSEAU ALTERNATIF.



1ÈRE CARACTÉRISTIQUE: LA/LES TENSIONS

C'EST PRINCIPALEMENT LE TRANSPORT DE LA PUISSANCE RÉACTIVE QUI EST À CONSIDÉRER, AUGMENTER LA TENSION C'EST AUGMENTER AUSSI LA PUISSANCE.



LES VARIATIONS DE TENSION SONT DUES AUX COURTS-CIRCUITS

ILS ENTRAÎNENT DES CREUX DE TENSION ET DES COUPURES QUI ONT DES DURÉES PLUS OU MOINS LONGUES.

2ÈME CARACTÉRISTIQUE: LA FRÉQUENCE

LA FRÉQUENCE EST DIRECTEMENT LIÉE À LA VITESSE DE ROTATION DES ALTERNATEURS.

LA TENUE DE LA FRÉQUENCE CONCERNE L'ENSEMBLE D'UN SYSTÈME ÉLECTRIQUE INTERCONNECTÉ.



EN FRANCE, POUR LE DOMAINE DE FONCTIONNEMENT NORMAL, LA FRÉQUENCE EST COMPRISE ENTRE 49,5 Hz ET 50,5 Hz.

LES VARIATIONS DE FRÉQUENCE PERTURBENT LES APPLICATIONS QUI UTILISENT DU RÉSEAU COMME BASE DE TEMPS.

3ÈME CARACTÉRISTIQUE: LE(S) COURANT(S)

IL PEUT CRÉER DES ÉCHAUFFEMENTS, ET DES PERTES JOULES (RI^2):

$$P = U \times I$$

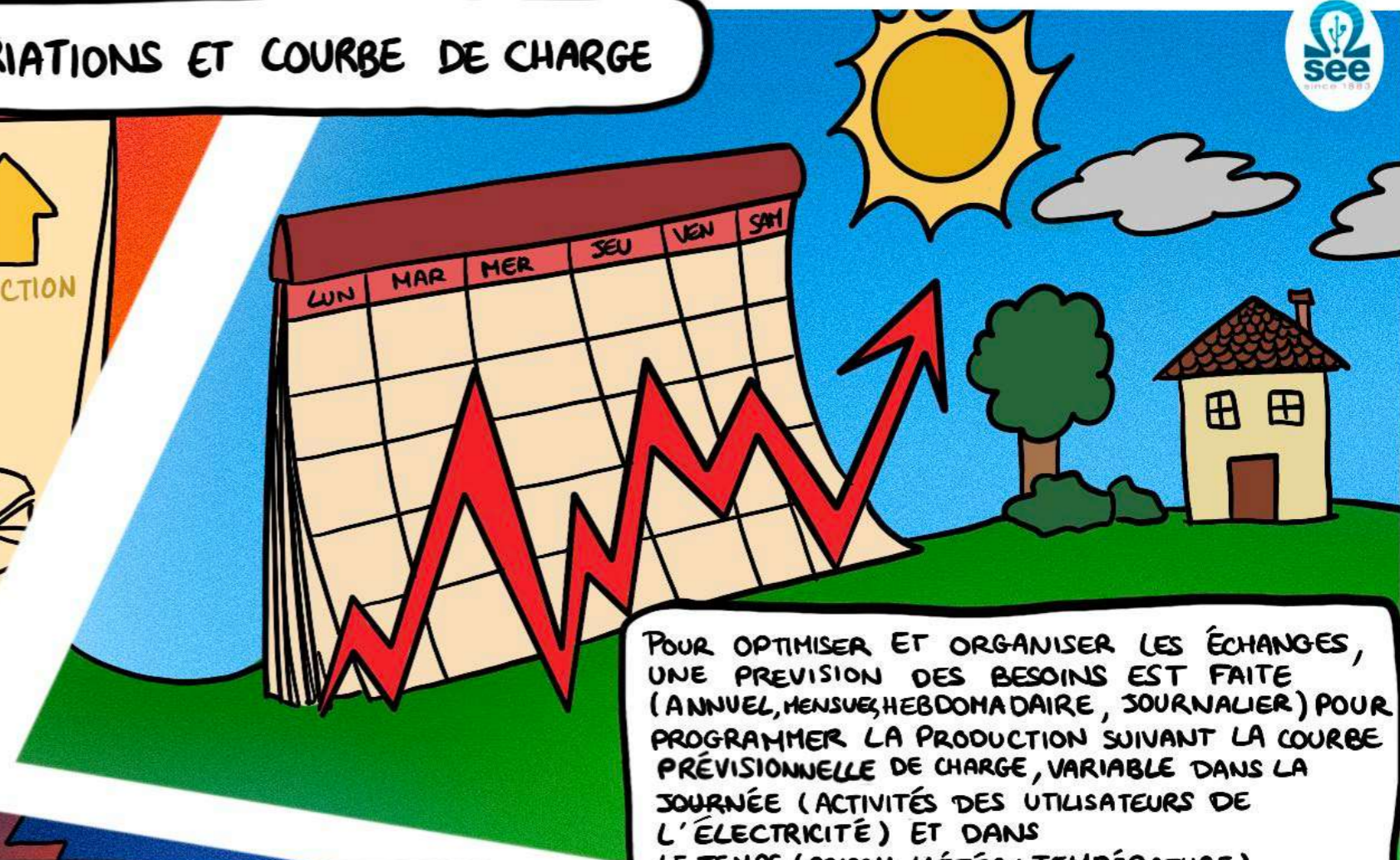
puissance (Watt) ← U ← tension (Volt)
I ← courant (ampère)



SUR LE MATÉRIEL DU RÉSEAU, LES VARIATIONS DE FRÉQUENCE ONT DES RÉPERCUSSIONS SUR LE COMPORTEMENT DES MATÉRIELS (EX: TRANSFORMATEURS)

LES BESOINS : VARIATIONS ET COURBE DE CHARGE

LE BESOIN EN ÉLECTRICITÉ EST SATISFAIT À TOUT MOMENT PAR LA PRODUCTION D'UN VOLUME CORRESPONDANT. SI LE BESOIN AUGMENTE, LA PRODUCTION DOIT SUIVRE SINON LA LIVRAISON SERA LIMITÉE À CE QUI EST DISPONIBLE (DÉLESTAGE).



LA PRODUCTION VISE PLUSIEURS CRITÈRES POUR CONSTITUER ET OPTIMISER UN MIX-ÉLECTRIQUE :

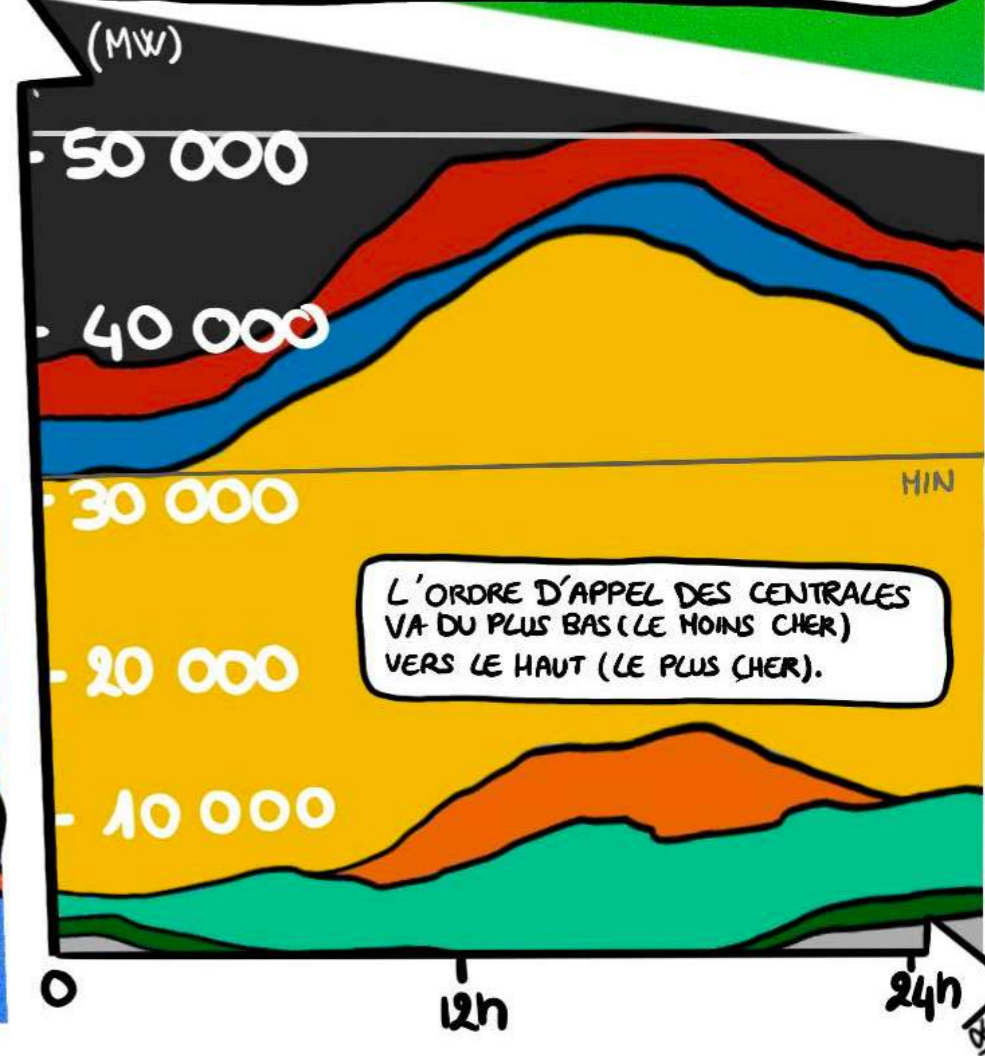
- ① LES PRODUCTIONS "FATALES" COMME L'HYDRAULIQUE AU FIL DE L'EAU, LE SOLAIRE OU L'ÉOLIEN.
- ② LE COÛT: LES PRIX DE PRODUCTION AVEC LES MOINS CHERS.
- ③ L'ÉMISSION DE CO₂: LES MOYENS LES PLUS POLLUANTS SONT EN RÉSERVE ET DÉMARRÉS QUE SI NÉCESSAIRE.
- ④ DES PETITES QUANTITÉS D'ÉLECTRICITÉ PEUVENT ÊTRE STOCKÉES À DES MOMENTS OÙ LES ÉNERGIES RENOUVELABLES PRODUISENT, ET/OU DES PÉRIODES OÙ LES PRIX SONT BAS ET LES CHARGES FAIBLES (LA NUIT).

LES INTERCONNEXIONS DES RÉSEAUX ENTRE PAYS PARTICIPENT À L'OPTIMISATION DU SYSTÈME EN FAISANT JOUER LES DÉCALAGES D'ACTIVITÉS OU LES PRODUCTIONS EN EXCÈS.

POUR OPTIMISER ET ORGANISER LES ÉCHANGES, UNE PRÉVISION DES BESOINS EST FAITE (ANNUEL, MENSUEL, HEBDOMADAIRE, JOURNALIER) POUR PROGRAMMER LA PRODUCTION SUIVANT LA COURBE PRÉVISIONNELLE DE CHARGE, VARIABLE DANS LA JOURNÉE (ACTIVITÉS DES UTILISATEURS DE L'ÉLECTRICITÉ) ET DANS LE TEMPS (SAISON, MÉTÉO/TEMPÉRATURE).



UN SYSTÈME DE COMPTAGE (PRODUCTION OU CONSOMMATION) PERMET UN RELEVÉ DES QUANTITÉS ENTRANTES OU SORTANTES SUR LE RÉSEAU (A.W.P.) POUR RÉAUSER LA FACTURATION DE CHAQUE ACTEUR.



POURQUOI LE STOCKAGE ?

L'ÉLECTRICITÉ EST UNE ÉNERGIE QUI DOIT ÊTRE CONSOMMÉE DÈS SA PRODUCTION. LE PROBLÈME C'EST QU'ELLE NE SE STOCKE PAS DANS LE RÉSEAU.

BAH COMMENT ON FAIT ALORS ?

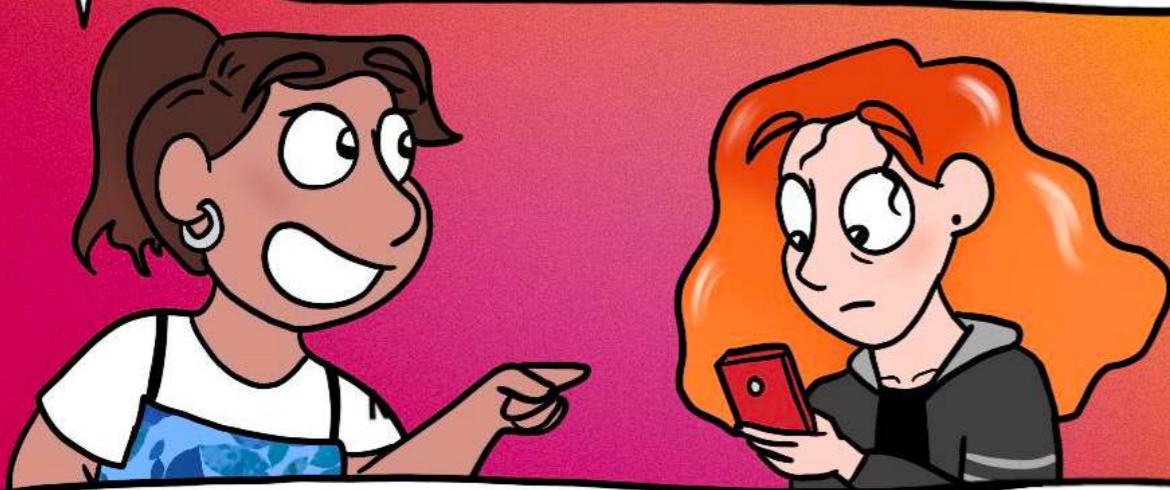


RTE* 'ÉQUILIBRE À CHAQUE SECONDE LA PRODUCTION ET CE QUE LES FRANÇAIS CONSOMMENT. IL LEUR FAUT DONC MAÎTRISER LES FLUX ENTRE LES RÉGIONS ET AVEC LES VOISINS EUROPÉENS.

IL FAUT SAVOIR QUE L'ÉLECTRICITÉ SE STOCKE PRESQUE TOUJOURS INDIRECTEMENT.

EN EFFET, ELLE SE CONVERTIT FACILEMENT EN D'AUTRES FORMES (CHIMIQUE, CINÉTIQUE, ...). CES DERNIÈRES SONT EN REVANCHE STOCKABLES.

LA CAPACITÉ DE STOCKAGE/CONSUMATION OU PRODUCTION EST DE 4800 MW/136 000 MW POUR 500 TWh EN 2050 SOIT 3,5%

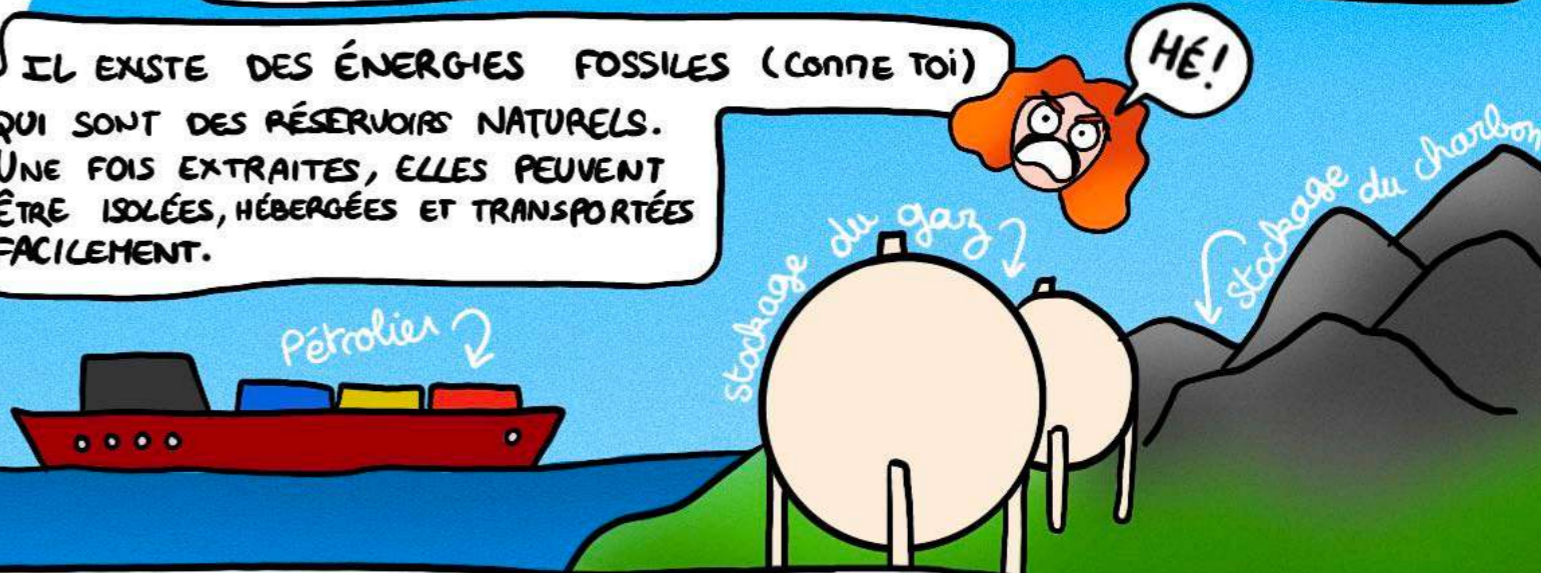


LE STOCKAGE DANS LES BARRAGES ONT UNE CAPACITÉ DE 1 À 100 GWh, ET UN TEMPS DE RÉACTION QUI VA DE LA SECONDE À LA MINUTE.

LA BATTERIE LITHIUM-ION DE TON SMARTPHONE A UNE CAPACITÉ < 10 Wh ET UN TEMPS DE RÉACTION DE L'ORDRE DE LA MILLISECONDE.

LE BUT DU STOCKAGE EST D'OPTIMISER LES RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES OU EN FAVORISER L'ACCÈS.

IL EXISTE DES ÉNERGIES FOSSILES (COMME TOI) QUI SONT DES RÉSERVOIRS NATURELS. UNE FOIS EXTRAITES, ELLES PEUVENT ÊTRE ISOLÉES, HÉBERGÉES ET TRANSPORTÉES FACILEMENT.



LES ÉNERGIES INTERMITTENTES PEUVENT ÊTRE MISES EN RÉSERVE LORSQU'ELLES SONT ABONDANTES ET LEUR STOCKAGE ASSURE LEUR UTILISATION AU BON MOMENT (LORSQUE LES AUTRES ÉNERGIES SONT RARES OU CHÈRES).

STOCKAGE GRANDE ÉCHELLE



STOCKAGE PETITE ÉCHELLE



CRITÈRES DE GESTION OU D'OPTIMISATION

PREMIÈREMENT, IL FAUT PRENDRE EN COMPTE LA GESTION DE L'ÉQUILIBRE PRODUCTION/ CONSUMMATION.

POUR CELA IL FAUT GÉRER LES SOURCES INTERMITTENTES, COMME L'ÉNERGIE SOLAIRE OU ÉOLIENNE ET DÉVELOPPER LES NOUVEAUX STOCKAGES.

IL FAUT ÊTRE ÉCONOME EN RESSOURCES ET EN PRIORITÉ UTILISER LES RENOUVELABLES ET LES DÉCARBONÉES. IL FAUT RÉPONDRE AUX ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX.

IL FAUT ÉGALEMENT ACCUEILLIR DE NOUVEAUX USAGES COMME LE VÉHICULE ÉLECTRIQUE, LE DÉVELOPPEMENT DES OUTIS DE COMMUNICATION ET DE LA DIGITALISATION.

L'ÉLECTRICITÉ REMPLACE DE PLUS EN PLUS LE PÉTROLE DANS LES USAGES ET ENCORE PLUS DANS LE FUTUR...

LES VISIONS PROSPECTIVES ANNONCENT UNE GESTION PLUS INTERACTIVE AVEC LE RÉSEAU "INTELLIGENT" (SMART GRID).

IL FAUT ÉGALEMENT PRENDRE EN COMPTE LA GESTION "ÉCONOMIQUE ET FINANCIÈRE" AINSI QUE L'ORGANISATION DU MARCHÉ ET DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES.

LES FOURNISSEURS D'ÉLECTRICITÉ OU ENTREPRISES DE PRODUCTION, SONT EN CONCURRENCE.

J'AI CAPTÉ!

MAINTENANT J'UTILISERAI PLUS SOBREMENT CETTE ÉLECTRICITÉ SI PRÉCIEUSE!

LE CONSOMMATEUR RÈGLE LE MONTANT DE SA FACTURE AU FOURNISSEUR CHOISI, MAJORÉE DES FRAIS DE TRANSPORT ET ÉVENTUELLEMENT DE DISTRIBUTION SUIVANT SA TENSION D'ALIMENTATION.

L'ÉLECTRICITÉ S'ACHÈTE DANS UN MARCHÉ AVEC DES CONTRATS À COURT, MOYEN VOIR LONG TERME, AVEC DES PLAGES DE CONSOMMATION, ET DES INCITATIONS POUR GÉRER LES POINTES ET LIMITER LES ÉMISSIONS EN CO₂.

L'ÉLECTRICITÉ TRANSITE PAR LES GESTIONNAIRES DE RÉSEAUX JUSQU'AU LIEU DE CONSOMMATION AVEC UN TARIF APPLIQUÉ À LA QUANTITÉ TRANSITÉE.