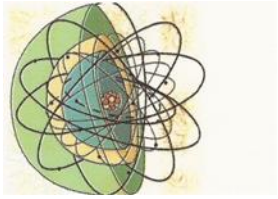


Climat – Energie et biodiversité

ENERGIE ET CLIMAT

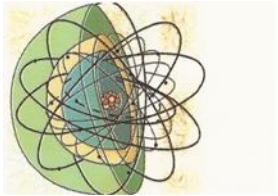


Energie-Climat: effet de serre



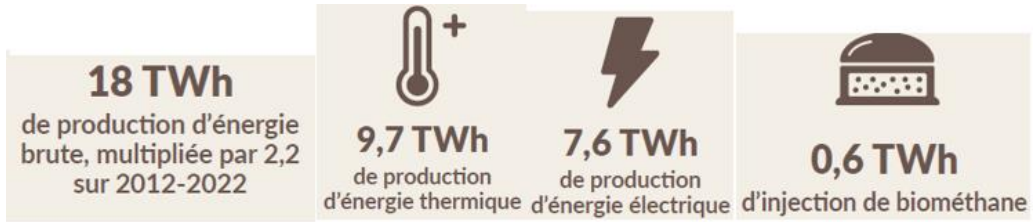
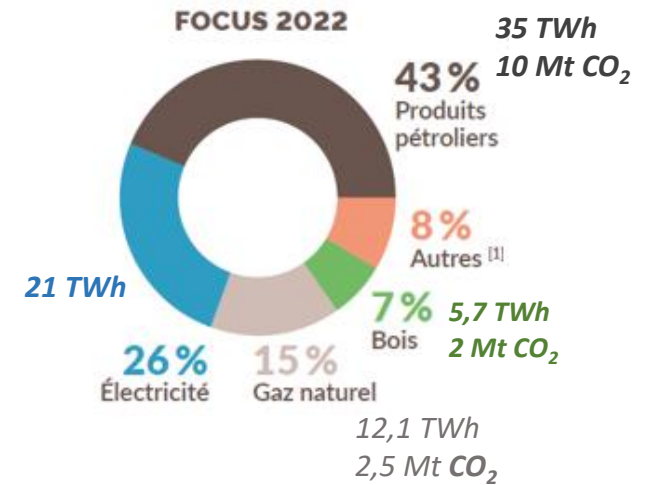
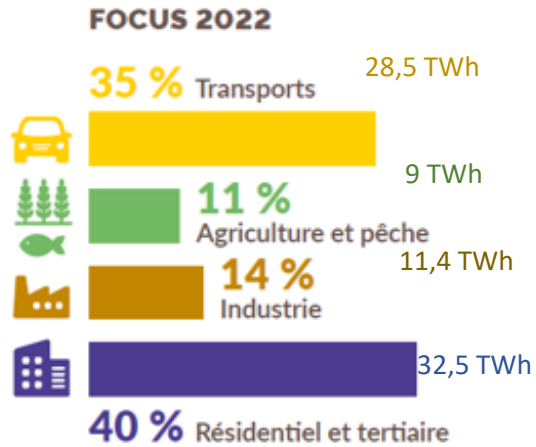
Les gaz à effet de serre (H_2O , CO_2 , CH_4 , N_2O , ...) sont ~transparents au rayonnement solaire (longueur d'onde visible) et opaques au rayonnement IR ré-émis par la terre. La chaleur est piégée.

1. Le soleil émet de l'énergie sous forme de **rayonnement visible** et invisible (rayonnements **infrarouge** et **ultraviolet**).
2. Le rayonnement **infrarouge du soleil** traverse l'espace et l'atmosphère terrestre. Il est **absorbé à 70%** par la surface de la Terre, réchauffant naturellement les **sols et les océans**, qui émettent à leur tour un rayonnement infrarouge.
3. Le reste est **réfléchi** vers l'atmosphère sous **l'effet de la réverbération**.
4. Dans l'atmosphère, une partie du rayonnement provenant de la surface terrestre s'échappe vers l'espace.
5. **L'autre partie reste piégée dans l'atmosphère** par les gaz à effet de serre. Ces gaz absorbent le rayonnement et le renvoient vers la surface terrestre



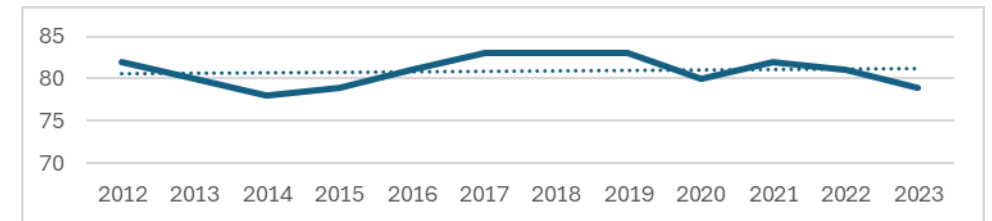
Énergie Bretagne : état des lieux

81 TWh
de consommation
finale corrigée



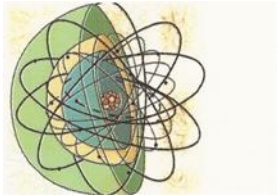
63 TWh importés

Source	Valeur (TWh)
Electricité	13,5 TWh
Pétrole	35 TWh
Gaz	11,5 TWh



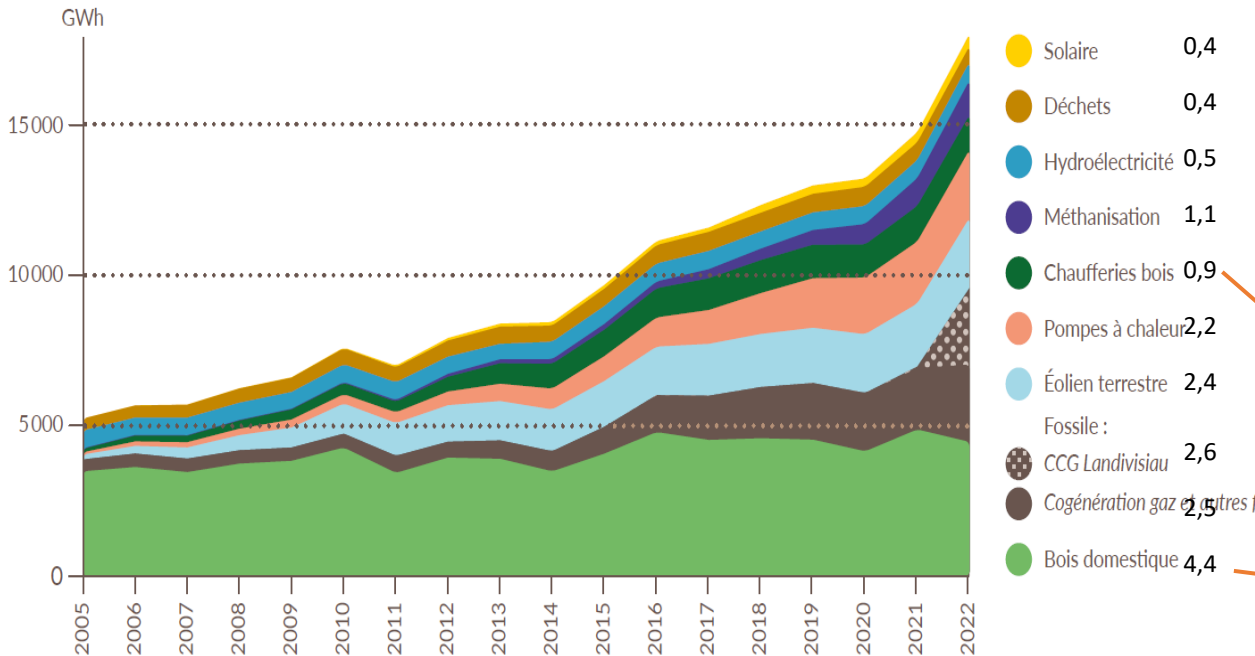
Scenario référence: 50% réduction conso 2012 en 2050 pour zero émission CO₂.

⁽¹⁾ : impact carbone local # 4t/an/h impact Carbone offshore # 4 t/an/h : produits manufacturés importés et transportés

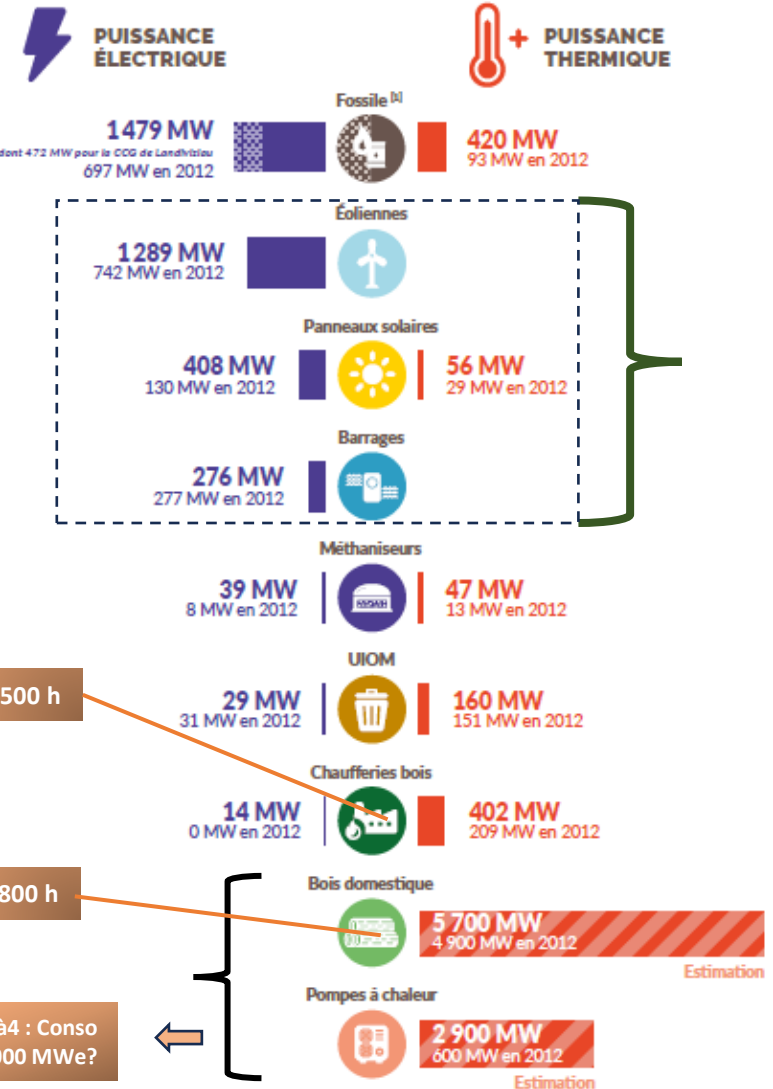


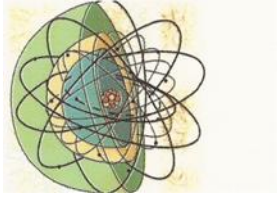
Energie Climat en Bretagne

Production bretonne totale 2022 : 18 TWh



INSTALLATIONS DE PRODUCTION D'ÉNERGIE EN FONCTIONNEMENT EN 2022



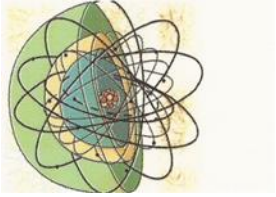


Energie et climat

émissions CO2 Energies fossiles: quelques chiffres

		12	1		44				pouvoir calorifique				
		C	H	M C _n H _{2n+2}	M CO ₂	kg CO ₂ /kg	densité (kg/l)	kg.CO ₂ /l	kWh /Nm ³	kWh /kg	kWh /l	kg CO ₂ /kWh	
Hydrogen			1		0	0		0		33			120 MJ/kg
Charbon	C	1		12	44	3.66				9.5		0.385	
methane	CH ₄	1	4	16	44	2.75			10	14		0.196	
butane	C ₄ H ₁₀	4	10	58	176	3.03			30.4	12.7	7.4	0.239	
propane	C ₃ H ₈	3	8	44	132	3.00			23.7	12.8	6.6	0.234	
essence	C ₇ H ₁₆	7	16	100	308	3.08	0.75	2.31			9.2	0.251	42MJ/kg
gasoil	C ₂₁ H ₄₄	21	44	296	924	3.12	0.85	2.65			9.2	0.288	
Bois /gran	CH _{1.44} O _{0.66}									5		0,030-0,350	

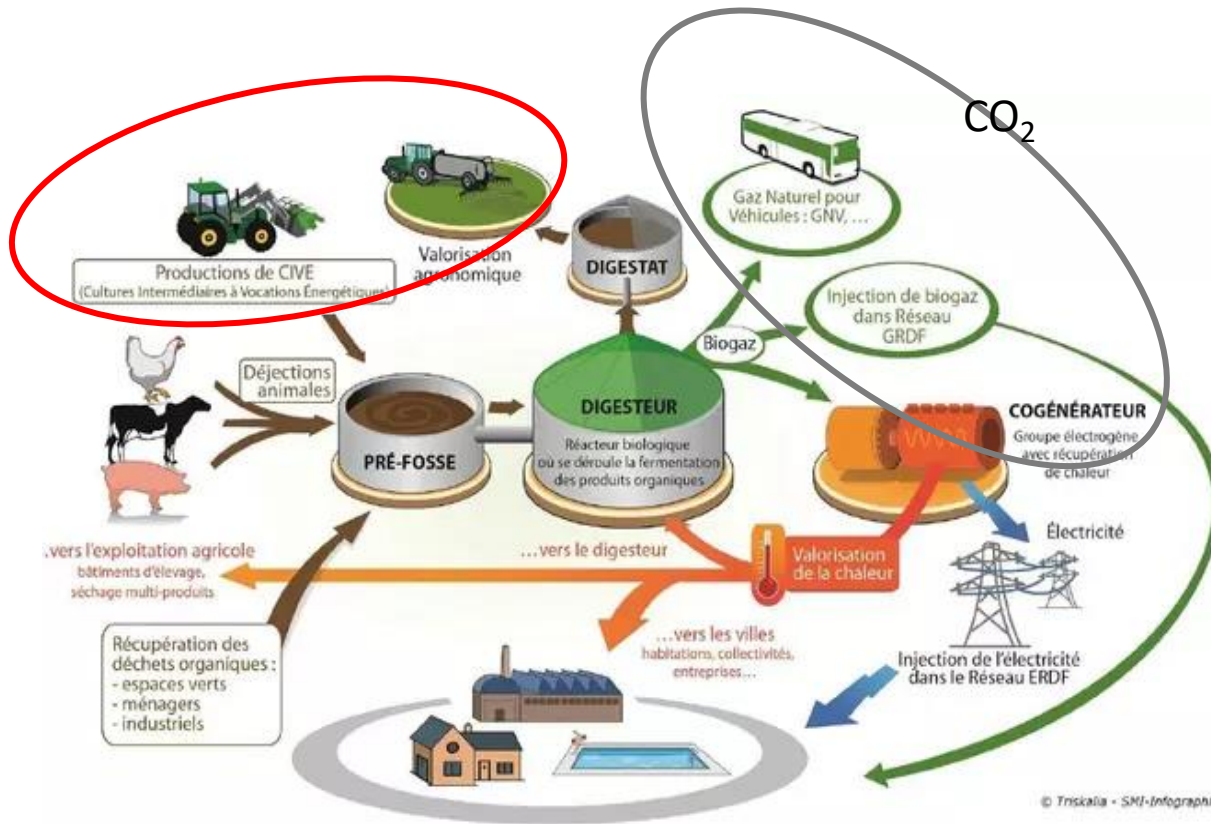
Bretagne : 35 TWh produits pétroliers > 10 Mt CO₂, 12,1 TWh « gaz » > 2,5 Mt CO₂



Energie et climat

La méthanisation est-elle une EnR?

Question en débat



Revenu des agriculteurs

Détournement de surfaces agricoles

Génération de CH₄ « gaz naturel » dont l'usage produira du CO₂.... **Ennemi du climat**

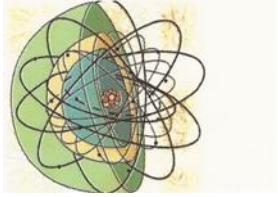
Cycle CO₂ <> capture / émission neutre ? : temporalité

On compte sur la végétation (plantations...) pour capturer le CO₂..... > Pourquoi le remettre en circulation ?

.....

Enfouissement des résidus agraires et herbeux
« Remise au sol du CO₂ » (SOLAGRO, ...)
<> régènerait le cycle naturel

Y a t il une option simultanée pour les agriculteurs et pour l'environnement ?

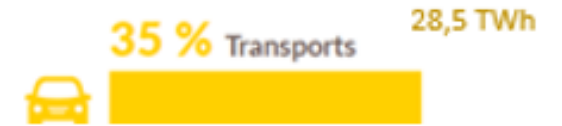


Energie et climat

Transports

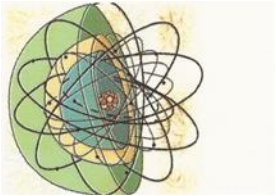
Q ? Supprimer les émissions de CO₂ dans les transports

- 450 milliards de km parcourus en VL /an en France
 - 6l/100 km **67 Mt de CO₂ émis** : rendement « moteur» 30-35%
- 50 milliards de km parcourus en PL/an en France
 - 30-35l / 100 km **40 Mt CO₂ émis** : rendement moteur 30%
- **Moins de km parcourus + moins de CO₂ émis par km parcouru**
 - Réduction drastique de consommation émissive des véhicules
 - Rêves officiels VL 2L/100 km PL 15l/100
 - soit diminuer de plus de 50% les pertes thermiques et mécaniques
 - Résiduel émissions de CO₂ : **42 Mt de CO₂**
 - Carburant de synthèse ? : coût probablement prohibitif, énergivore
 - **Toute combustion d'une chaîne carbonée produit du CO₂**
 - **électrification** > **stockage / transportabilité** > Batteries ou hydrogène ??



*Le besoin breton net « **au roues** » serait de 10 TWh*

Gain: -18,5 TWh



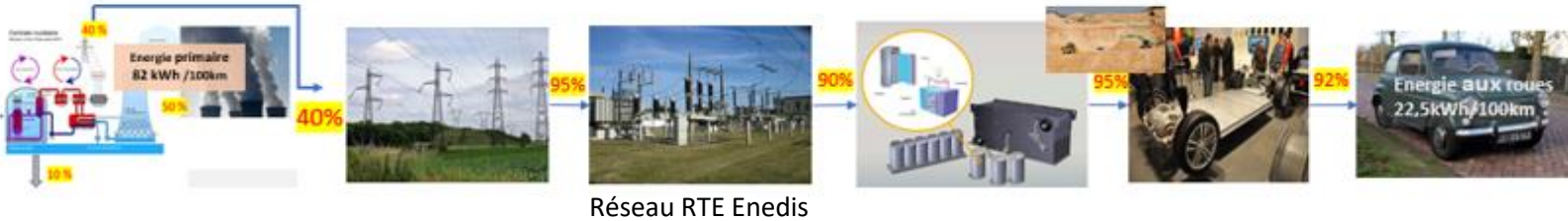
Energie et climat

actions transports

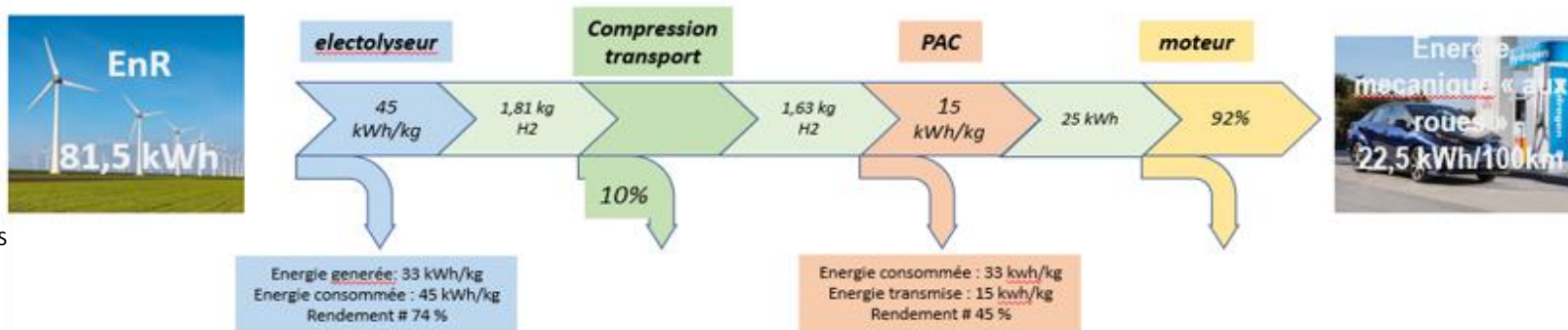
Pétrole



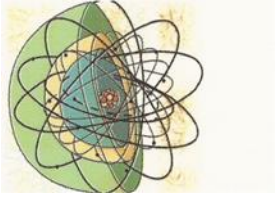
Electricité nucléaire (hors extraction enrichissement preparation et traitement déchets / infra)



EnR



Combien pour 100 km? : comparaison pétrole, Electrique nucléaire, électrique-hydrogène



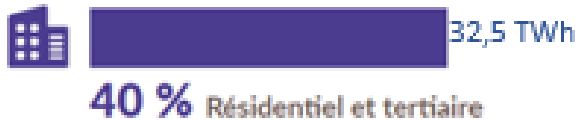
Q ? Supprimer les émissions de CO₂ du chauffage énergies fossiles/domestique bâtiments

ISOLATION de l'existant

ECO-CONSTRUCTION du neuf

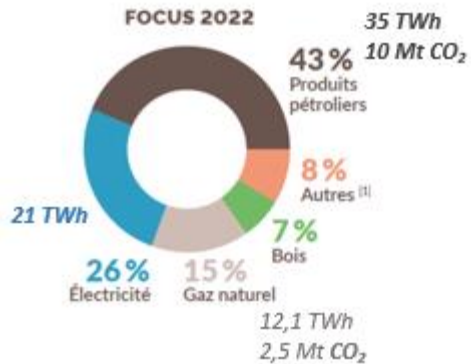
matériaux, architecture, BEP

Privilégier la construction collective au lieu du pavillon individuel

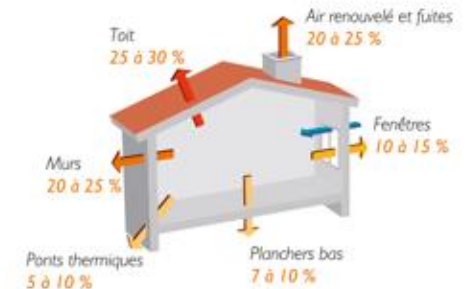


ALTERNATIVES gaz et fuel:

- Pompe à chaleur > électricité (cop 3)
- Radiateur grille pain > radiateur radiant
- Bois, granulés (CO₂) : **5,1 TWh₂₀₂₂ > 10 TWh₂₀₄₀ ?**
- Solaire thermique (chauffe-eau)
- Réseaux de chaleur : **potentiel citadin ?**
bâtiments multi-logements (2-3 niveaux) citadins



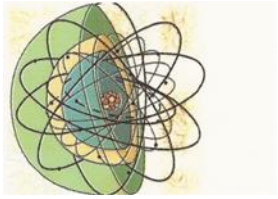
Dépense moyennes pour une maison d'avant 1975 non isolée



Un gain de consommation 30% est estimé possible en retour d'expérience

solde besoin breton : 20 TWh gain : -12,5 TWh

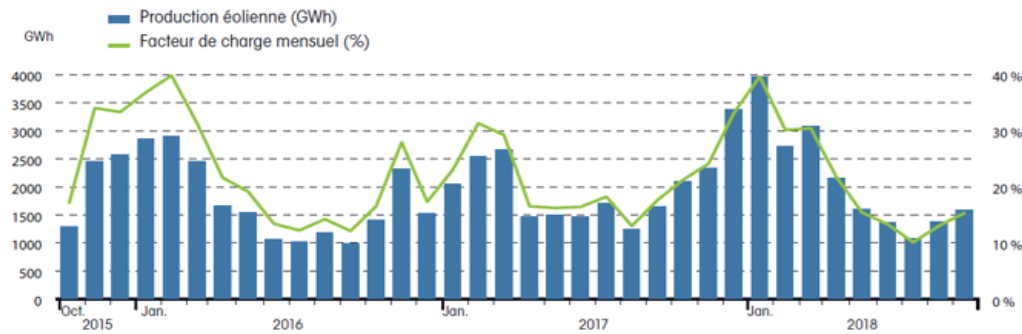
Sources énergies : électrique / non électrique : estimation # 10 TWh chacune



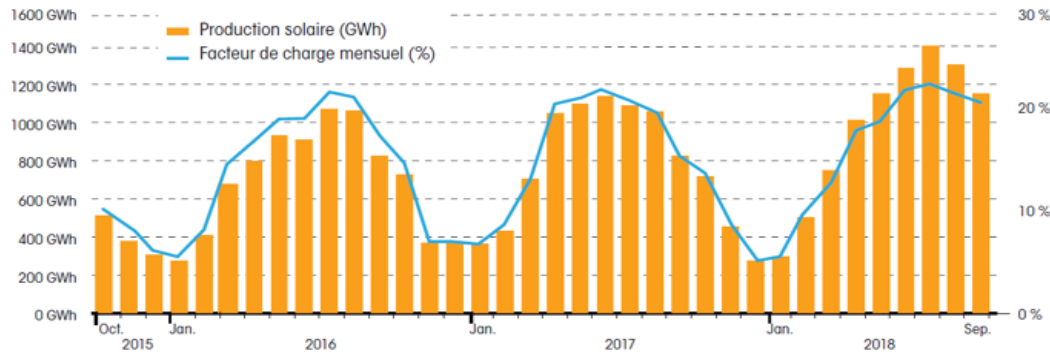
Energie et climat

EnR de substitution: variabilité de la fourniture

Production éolienne (GWh) et facteur de charge mensuels (%)



Production solaire (GWh) et facteur de charge mensuels (%)



Source : panorama de l'électricité renouvelable – Sept 2018 – EDF Enerdis

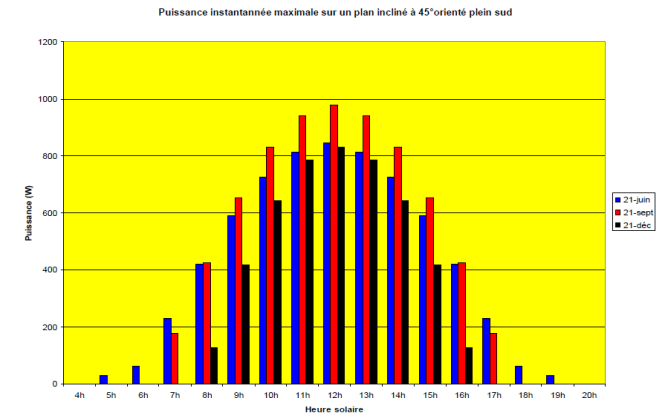
Intermittence: Cyclique saisonnier complémentarité

Complémentarité
solaire-éolien

Rapport Energie solaire
1 à 3 hiver / été

Surface max ou
stockage été / hiver?

Comparaison de la puissance reçue selon la saison



- La puissance maximale atteinte en hiver est équivalente à celle qu'on peut obtenir en été
- Ce qui change entre l'été et l'hiver n'est donc pas la puissance maximale, mais la durée du jour

Les données d'ensoleillement

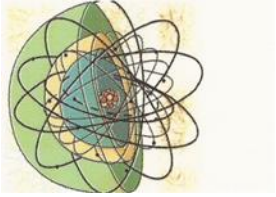
Irradiation (en MJ/m² ou kWh/m²)
énergie incidente sur un plan donné par unité de surface



(valeurs en kWh/m².j) soit 1460 kWh/m².an à Toulouse et 1095 kWh/m².an à Lille

Bruno FLECHE

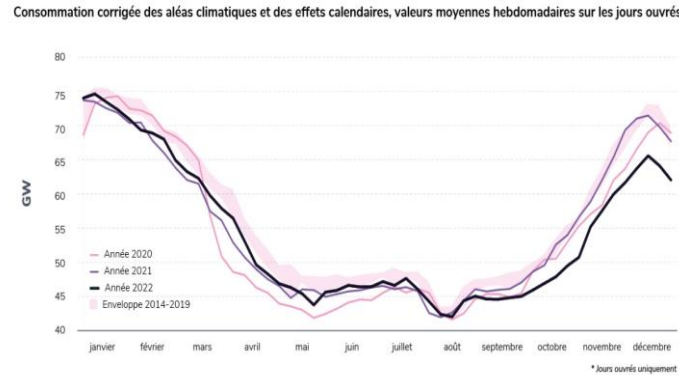
Energies renouvelables : Solaire Thermique



Energie et climat

variabilité demande/fourniture : besoin de stockage grande échelle

Variabilité de la demande énergie électrique actuelle



Variabilité de la demande énergétique:

Rapport 3 mini/maxi sur l'année de demande **électrique et chauffage**

Hors part transport H₂ et Bâtiments réseaux chaleur&bois

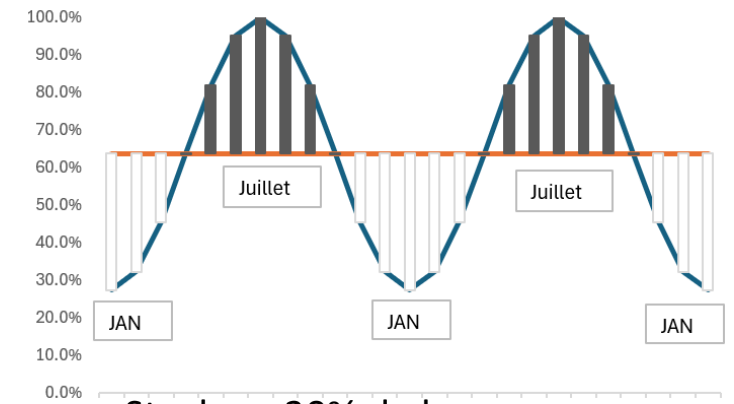
Variabilité des fournitures EnR (Eolien, PV)

Rapport 3 entre mini/maxi de production sur l'année

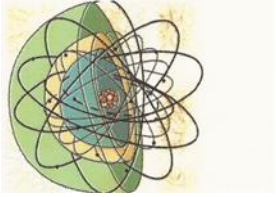
Difficile de calibrer les installations d'énergies renouvelables au réseau sans risquer surproduction et gaspillage.

⇒ **développer des dispositifs de stockage à grande échelle**

⇒ **# 10-15 TWh à stocker en Bretagne**



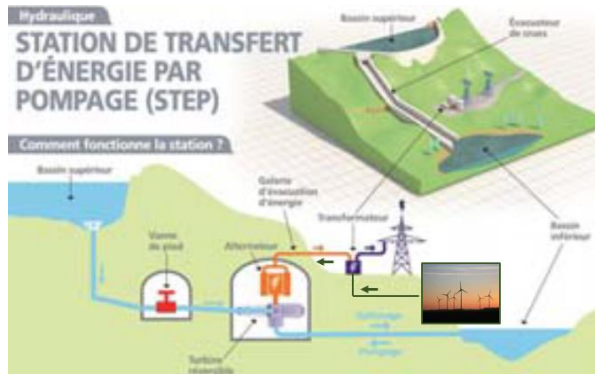
Stocker ~30% de la moyenne annuelle de l'été vers l'hiver



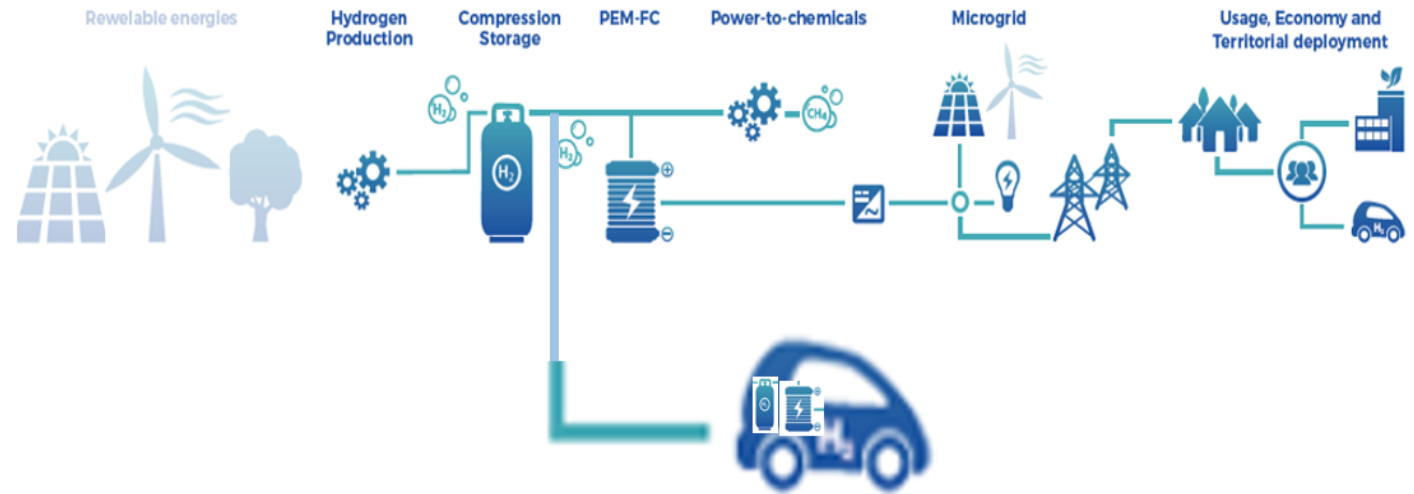
Energie et climat

EnR de substitution > capacité de stockage électrique

STEP: réseau



Conversion stockage **hydrogène** : Réseau et mobilité



Batteries: réseau et mobilité

capacité, poids, volume

257 Wh/litre 200 Wh/kg (TESLA Y : batterie 700 kg, **65 kg de Li**, 150 kWh, 500 km)

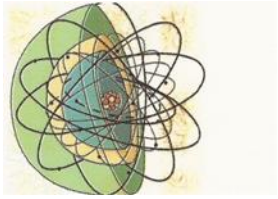
Bretagne : Stocker 15 TWh (30% du besoin post migration transport / frugalité bâtiments)

>> $7,5 \cdot 10^9$ kg de batteries

>> $7,5 \cdot 10^6$ tonnes de batteries, **$0,75 \cdot 10^6$ tonnes de Lithium**

Infaisable avec les technologies et matériaux actuels

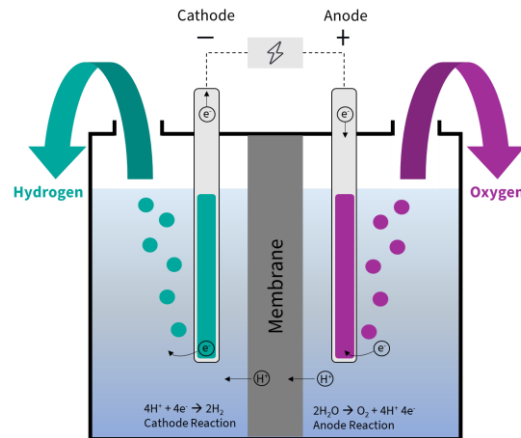
autres dispositifs de stockage: volants d'inertie, STEP « état solide », supercondensateurs,, etc ...



Energie et climat

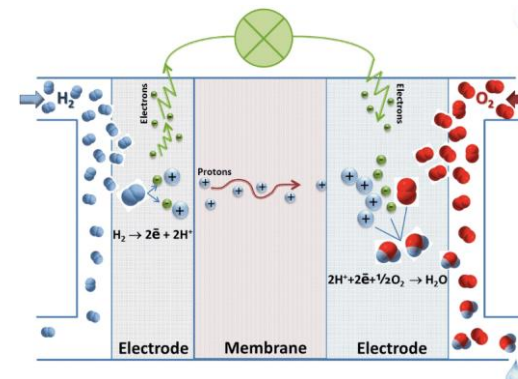
Clés de la chaine H2: électrolyse et Pile à Combustible

Electrolyse de l'eau

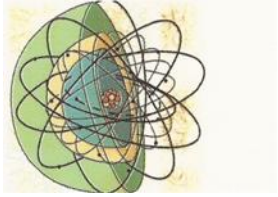


Piles à Combustible

- AFC (Alcaline Fuel Cells) : T : 65 et 90 °C ρ 50 %.
- PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cells) : T 20 - 100 °C, véhicules et petites installations
- DMFC (Direct Methanol Fuel Cell) : piles au méthanol,
- PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cells) : T 150- 210 °C. Fct en cogénération. structures stationnaires P qqes MW
- MCFC (Molten Carbonate Fuel Cells) : KCO3 / Li T 600 -700 °C. ρ 60 à 80 %. structures stationnaires P qqes MW
- SOFC (Solid Oxide Fuel Cells) : piles à oxydes solides T 800-1000 °C stationnaire



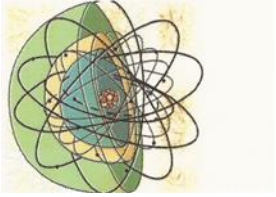
Echange de Proton
proton exchange membrane fuel cells



Energie et climat

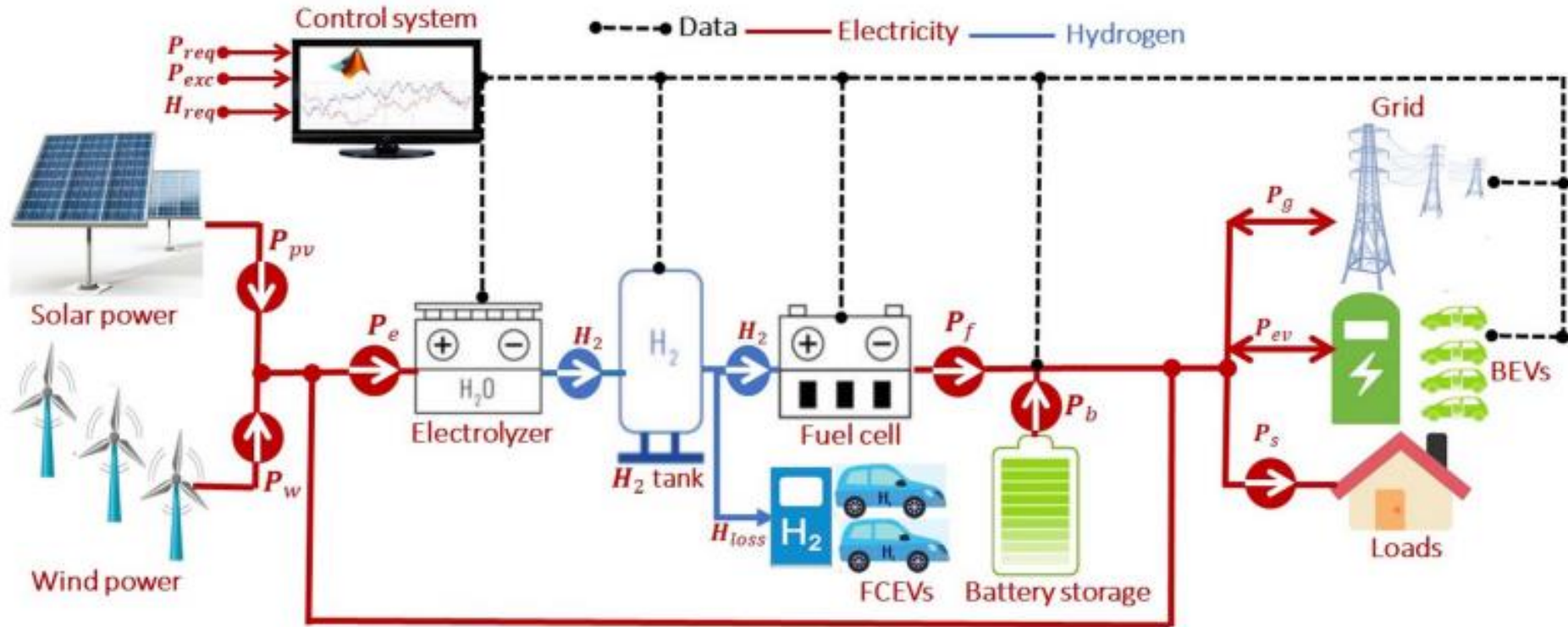
les couleurs de l'hydrogène

- **L'hydrogène noir** : le plus émetteur en CO₂, produit à partir de **charbon**. (C converti en gaz avant d'être transformé en hydrogène).
- **L'hydrogène gris** : le plus courant et le moins cher à produire (?), fabriqué à partir du vaporeformage du gaz, d'origine fossile (**CH₄**) ou méthanisation (**CH₄**), émetteur de GES (CO₂,...) moyen de production non écologique.
- **L'hydrogène bleu** : Dérivé de l'hydrogène gris, associé à un dispositif de **captage** et de stockage du CO₂ produit (CSC). Considéré comme un hydrogène « bas carbone », **100 % propre ?**.
- **L'hydrogène vert** : est produit à partir **d'électricité d'origine renouvelable** grâce à l'électrolyse de l'eau. Particulièrement vertueux, : devrait être la cible de toute préoccupation et financements des gouvernements.
- **L'hydrogène rose** : par électrolyse de l'eau alimenté par électricité d'origine **nucléaire**. Énergie fossile, limitée, cycle de vie très polluant (mines > concentration > enrichissement > refroidissement (eau) > gestion des déchets, déconstruction des infrastructures,,)
- **L'hydrogène blanc** : extrait du sous sol sous sa forme naturelle. Quelques gisements naturels identifiés, rares gisements exploités dans le monde. Sans doute prometteur, mais quantification et cout d'extraction à confirmer



Energie et climat

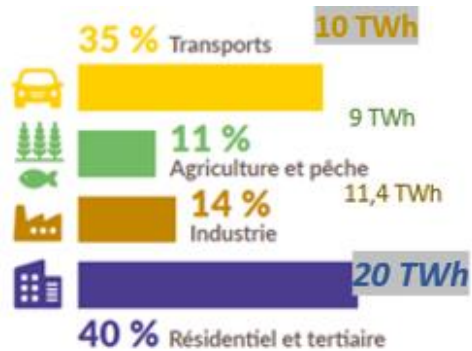
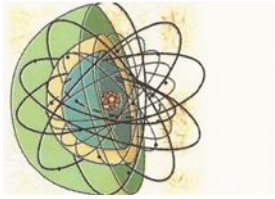
hybridation Eolien Solaire Hydrogène



IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY, VOL. 15, NO. 1, JANUARY 2024 39 A Coordinated Optimal Operation of a Grid-Connected Wind-Solar Microgrid Incorporating Hybrid Energy Storage Management Systems

Energie et climat

Le domaine des possibles: Besoin et potentiel EnR breton



Eolien terrestre: 2023: 2,5 TWh (1000 E, 173 parcs) >> **10-15 TWh en 2050 ?**

Zones exclues du Territoire: 96% exclu **4% territoire éligible = 1000 km² = 100 000 ha -10MW<>5ha**

- ❖ militaire, SETBA, aéroports, radar..) -20%, RTBA : point haut limité à 90 m !
- ❖ Loi littoral (> 1 km depuis marée haute)
- ❖ Zones habitats (> 500 m de tout habitat), Zone Mt St Michel

Protection de biodiversité

Protection des paysages, Protection du patrimoine

L'examen ZAEnR n'a dégagé aucun potentiel éolien

SANS VOLONTE et CHANGEMENT DE LEGISLATION DIFFICILE D'IMPLANTER DE NOUVELLES EOLIENNES

Exploiter le territoire éligible (potentiel > 60TWh pour électricité et H₂ transport)

TR: Elec / H₂ : H₂ stockable
Batiments : Elec / non Elec

Part Electricité à fournir

Eolien offshore : 15-20 TWh en 2050 ?

Pen Avel : 1+2 # 70E 750 MW : 3 TWh
St Brieux : 62 E 450 MW : 1,8 TWh

A-t-on capacité et volonté de déployer 5-6 sites EOS dans les 20 prochaines années ...

Solaire: PV et thermique

2023 523 GWh, 2030:1,9GWc, 2050:4.3 GWc

1200 kWh/m²/an

η # 20% 100 kW_eh/m²/an

10 TWh <> 100 km²

0,18% du territoire

Évolution du parc breton en MWc et objectif à fin 2030 et 2050¹

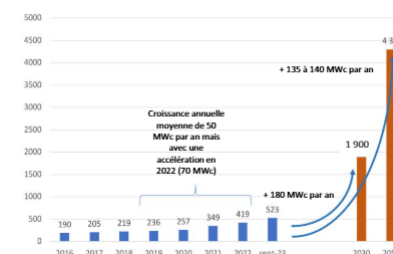
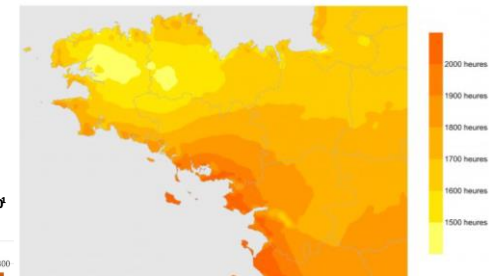
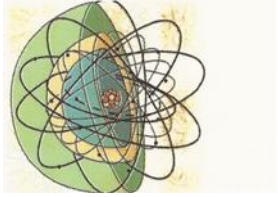


Figure 2 – Insolation annuelle moyenne (en heures) calculée entre 1991 et 2010

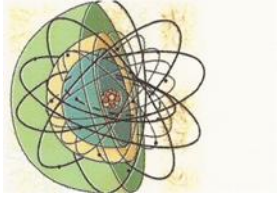




Conclusion (1)

Climat et biodiversité ont besoin de notre support

- Climat–énergie-biodiversité sont un seul paradigme
- On ne pourra **maitriser les dérives climatiques** et leurs conséquences humaines, écologiques, économiques, sociétales **qu'à la condition d'arrêter au plus vite les émissions de CO₂ et autres GES** dans l'atmosphère, **donc arrêter de brûler charbon, gaz, pétrole**
- Toutes les solutions fossiles (pétrole, gaz, Uranium, Thorium, minéraux,...) contribuent à **l'appauvrissement irréversible** de la planète
- Enfouir (**mettre au sol**) les déchets verts au lieu de les méthaniser > reprise du cycle naturel
- Un scénario **frugalité + substitution** EnR à 100% du **besoin résiduel** est nécessaire
- Le territoire breton a la capacité d'accueillir les surfaces photovoltaïques et éoliennes nécessaires
- La variabilité saisonnière des **productions EnR** et celle des **consommations** devront être adressées par un vecteur de stockage : **l'hydrogène, batteries, STEP, ...**
- La solution nucléaire « actuel » est une fausse bonne idée (ressources, déchets, efficacité)



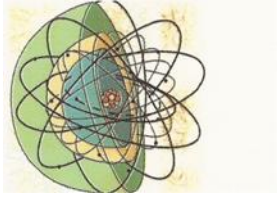
Conclusion (2)

Climat et biodiversité appellent à nos actions

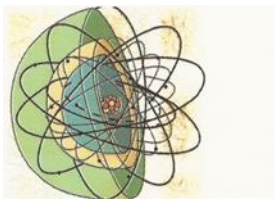
La frugalité est nécessaire - La frugalité ne suffira pas

- L'**efficacité** des solutions **EnR nécessaires** doit encore **convaincre les citoyens et les élus**
- L'**acceptabilité sociale** des **éoliennes** reste à conquérir
- Le **photovoltaïque** « individuel ou local » se développe mais ne suffit pas
- L'acceptabilité sociale du **Photovoltaïque** « grandes surfaces » reste à conquérir

- Potentiel de frugalité dans les 81 TWh actuellement consommés en Bretagne ?
- La détermination du besoin résiduel (après migration EnR) dimensionne le déploiement EnR
- Activer simultanément (rapidement) tous les leviers de **frugalité** et de **passage aux EnR**
- Eolien+Solaire > Hydrogène/Batteries/... : premiers vecteurs de la transition énergétique



Partie 2 : Energie et biodiversité

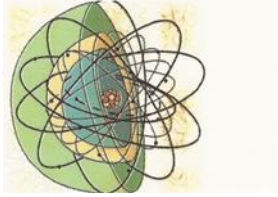


Energie climat biodiversité

biodiversité : La Terre en sur-exposition climatique

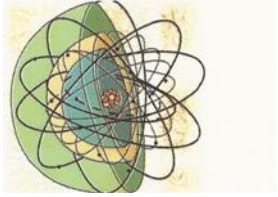


- Effet de serre des gaz émis: CO₂, CH₄, NO_x,...
- Montée des températures
 - sécheresse
 - perturbation du cycle agraire
- Fréquence et intensité des tornades
- Montées des eaux >> migration de populations
- Fontes des zones froides > libération additionnelle de CO₂ stocké
- Impacts air, eau, sols
- Impacts biodiversité faune, flore,



Energie climat biodiversité

- La « reflexion Climat » confirme le rôle des **émissions de GES sur les dérives climatiques**
- La « reflexion Climat – Biodiversité » confirme l'impact de la **dérive climatique sur la biodiversité**
- La « reflexion eau et climat » confirme **l'impact les dérives climatiques**, de l'artificialisation des sols et la destruction des haies et taillis sur **la difficile gestion de l'eau**
- La « reflexion climat énergie » confirme que l'origine de ces troubles est dûe à **l'utilisation pétrole et gaz** comme énergie de la plupart de nos activités
- **> le recours aux Energies renouvelables, non émissives de CO₂ serait-il la panacée pour restaurer le climat, donc la biodiversité**
 - **Peut-être, peut-être pas, peut-être si.....**



Energie climat biodiversité

capteur de la biodiversité animale : ornithologie

patrimoine ornithologique = révélateur majeur de la dégradation de la biodiversité

Impacts identifiés d'origine humaine:

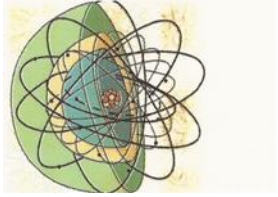
- d'ordre **indirect** (modification d'environnement perturbant le cycle de vie des oiseaux)
- d'ordre **direct** (mort provoquée des oiseaux par collision, prédateur, empoisonnement...)

LPO US (www.stateofthebirds.org (published in *Science* in 2019) : US & CND have lost 3 billion breeding birds since 1970—a loss of 1 in 4 birds,) ie sur les 4 dernières décades

- perte de millions d'individus
- perte de milliers d'espèces,
- perte de poids moyens des individus rescapés.

principales causes identifiées :

- la prolifération des chats,
- l'utilisation de pesticides par l'agriculture,
- disparition de plus en plus marquée des haies et des zones humides.
- les vitres de bâtiments publics ou individuels,
- les collisions avec les véhicules,



Energie climat biodiversité

biodiversité animale : ornithologie

CNRS-LPO Europe: *Migrateurs perturbés par modification des pressions, des vents, des températures et pressions agricoles*

>> migration a des temps et dans des lieux non propices à la reproduction (absence de refuge et de nourriture)

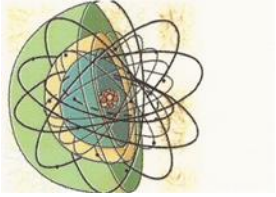
25% d'individus perdus en 40 ans : 800 millions depuis 1980

L'étude traite ensemble les pressions suspectées d'avoir un impact fort sur la biodiversité en général et sur les oiseaux en particulier:

- *le changement climatique, la pression d'origine agricole, (engrais et pesticides), le couvert forestier et l'urbanisation.*
- *Elle traite ça ensemble là où, avant, on avait une tendance à regarder la fluctuation des abondances d'oiseaux sans vraiment expliquer ni analyser ces fluctuations.*
- *base de données absolument inédite. 30 pays, 170 espèces, 50 chercheuses et chercheurs; impliqués sur des protocoles standardisés,*

Vincent Devictor, directeur de recherche au CNRS - l'Institut des sciences et de l'évolution de Montpellier, co-auteur de l'étude sur le déclin des populations d'oiseaux en Europe publié dans PNAS ([Proceedings of the National Academy of Sciences](#)) : Farmland practices are driving bird populations decline across Europe. Rigal, S et al. PNAS, 115 mai 2023. Contacts: vincent.devictor@umontpellier.fr

« TOUT EST LIÉ » : RÉPONSES COMPLEXES DE LA BIODIVERSITÉ AUX CHANGEMENTS GLOBAUX ET DÉTERMINANTS SOCIO-ÉCONOMIQUES, Thèse Université Montpellier - Stanislas RIGAL nov, 2021



Energie climat et biodiversité

ornithologie: étude européenne 2022

Déclin des abondances de différents groupes dans le temps

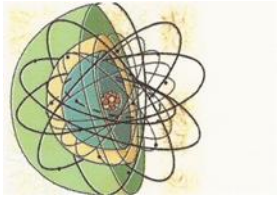
L'intensification des pratiques agricoles et l'augmentation des températures sont les principales pressions qui affectent négativement la plupart des populations



Adapté de Rigal et al., 2023. Farmland Practices are driving bird population declines across Europe. PNAS

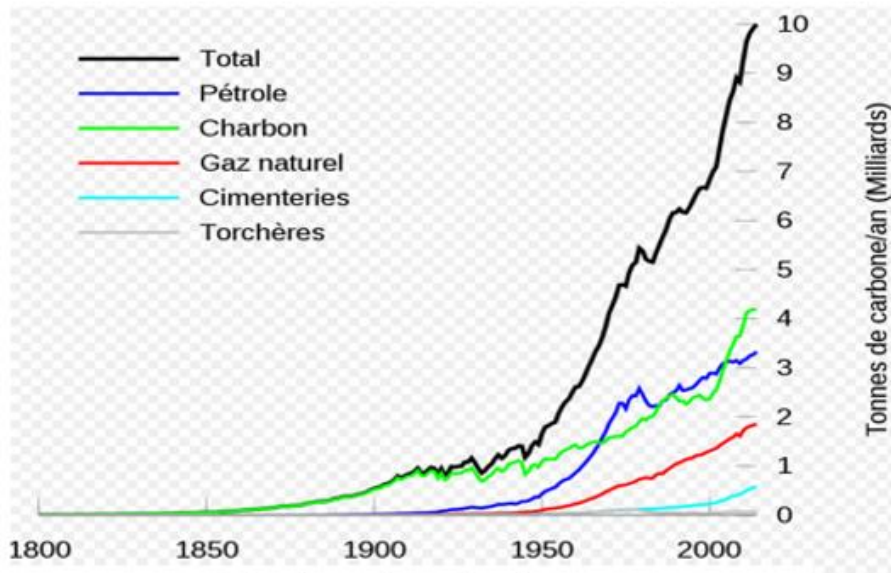


LES TRAVAUX DE CHERCHEURS EUROPÉENS PERMETTENT DE METTRE EN LUMIÈRE LES DIFFÉRENCES DE DÉCLIN DES ABONDANCES DES GROUPES D'OISEAUX. © VINCENT DEVICTOR, CNRS



Energie climat biodiversité

Quelques éléments de corrélation: référence C / CO₂

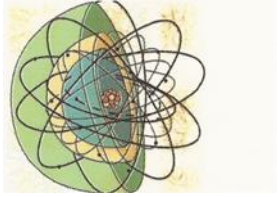


Emission de Carbone depuis 1800
 10Gt C <> 36 GT CO₂ (C: 12 O:16)

Les émissions mondiales de GES:	+40 Gt CO₂ /an
Capacité naturelle d'absorption de CO ₂ : (zones froides, végétation, océans,...)	-10 Gt CO₂ /an
solde	+30 Gt CO₂ /an

Actuellement: **+1000 Gt de CO₂ en excès dans l'atmosphère forment la cavité de l'effet de serre**

Corrélation entre la courbe d'émission de CO₂ et les courbes d'extinction ornithologique issues de l'étude CNRS (V DEVICTOR – S RIGAL)



Energie climat et biodiversité

Quelques éléments de corrélation: haies et talus

CGAAER Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux

1,4 million de km de haies et talus disparus depuis les années 70

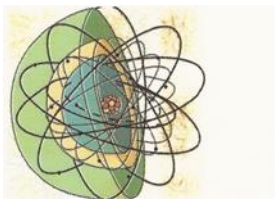
Depuis 2017, **23500 km** par an de haies détruites

Les haies sont indispensables pour contenir l'assèchement des terres (rétention/pénétration), refuge et sources d'alimentation faune / flore

La « modernité » de l'accès aux grands engins sur des grandes parcelles est une fausse bonne idée,.., destructrice de la biodiversité

2021 : « Plantons des haies » : 50 M€ pour planter **7000 km sur 2021/2022 !**

un des axes forts de Clim'Actions

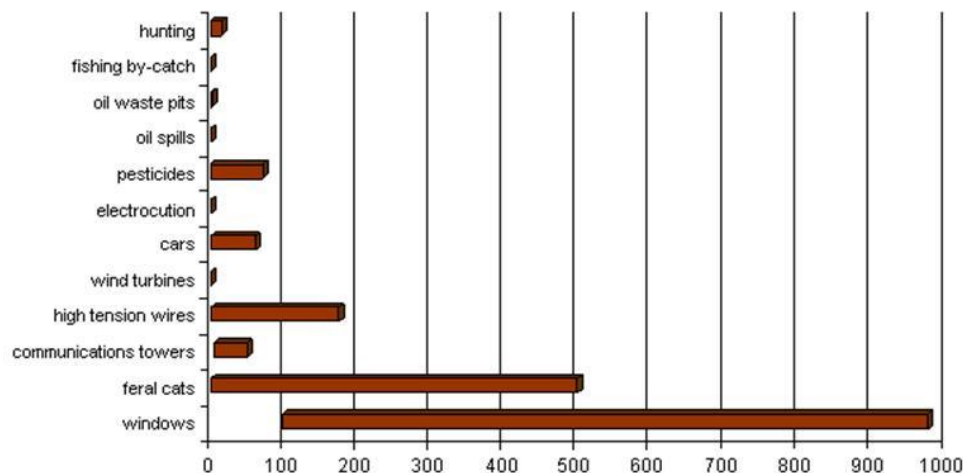


Energie climat biodiversité

éoliennes et biodiversité

les grandes causes de mortalité des oiseaux

Estimated Annual Mortality (in millions of birds)



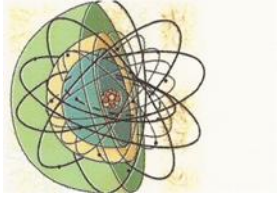
Les chats causent environ *10,000 fois plus de morts* parmi les oiseaux que les éoliennes

- la **pollution** sous toutes ses formes
- la **dérive climatique** (vent, pression, températures) sur les migrateurs
- la disparition des **haies**, des taillis et des **zones humides**
- les **pesticides**, surtout les [néonicotinoïdes](#), (migrateurs)
- la **collision** avec les **immeubles**, façades verre, surfaces réfléchissantes
- la collision avec les [voitures](#)
- la [chasse](#), les [chats](#)
- les **pylônes** électriques ou tours de communication

Les éoliennes essentielles à la maîtrise de la dérive climatique, Elles ne sont pas responsables de mortalité massive des oiseaux.

Interdire les éoliennes revient à accepter le massacre des oiseaux et la dégradation de la biodiversité.

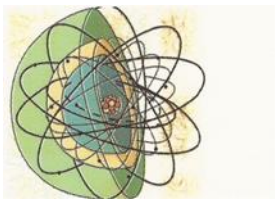
des précautions doivent être prises lors de l'implantation et l'exploitation des parcs



Energie climat biodiversité

éoliennes?.....oui.....Mais....

- Eoliennes et faune volante cohabitent sur le même territoire
- Les travaux d'implantation (socle, connections enterrées) impactent faune et flore
- La présence d'éolienne crée dépression et turbulences sous le vent de l'éolienne, selon la forme du parc (aligné, matriciel...) pouvant affecter le vol des oiseaux
- Pendant l'exploitation, différents comportements peuvent arriver:
 - Attraction , répulsion des oiseaux et chauves souris
 - Dérangement des individus, pertes ou déplacement de l'habitat



Énergie Climat biodiversité

biodiversité et éoliennes

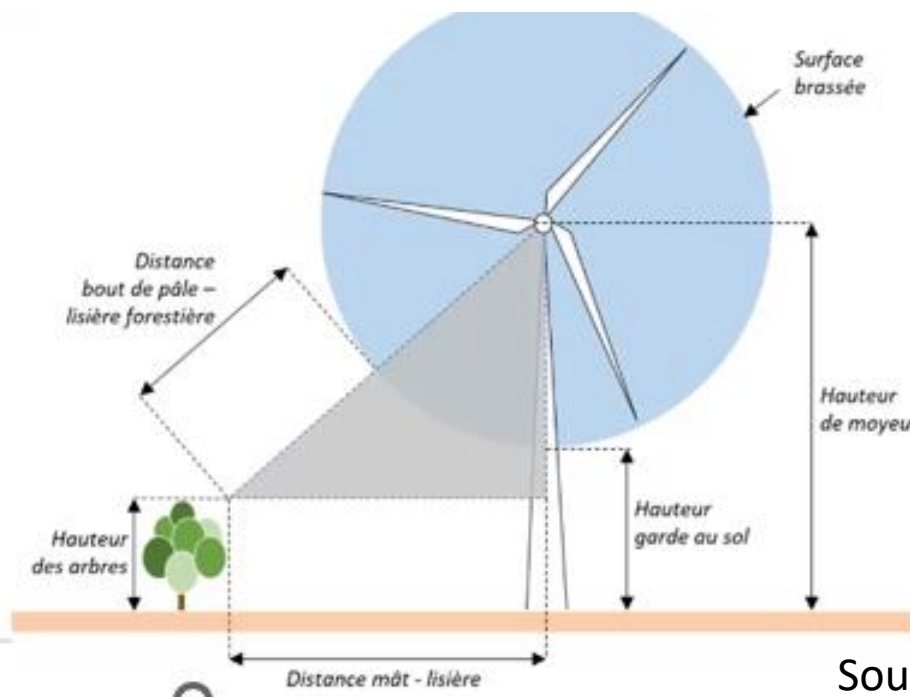
- Alternatives

- Ne pas déployer le parc éolien: ie continuer à détruire la biodiversité par les émissions GES ???

- **Prendre des précautions**

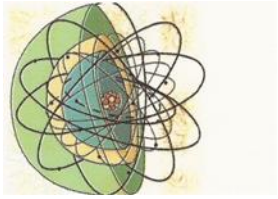
- éloignement vis-à-vis des habitats « biogènes » > 200 m :
 - milieux forestiers
 - milieux boisés, haies
 - zones humides, littoral
 - sites de nidification, territoire de chasse ou d'alimentation, corridor de déplacement, aire de repos
- disposition et écartement des éoliennes : installation // aux corridors migratoires

(Invité)



Source OFB

- Approche: E R C: Éviter, Réduire Compenser



Énergie Climat biodiversité

biodiversité et éoliennes



Eco-conception des parcs éoliens terrestres

Compenser



- Ilots de senescences
- Plantation de haies
- Mise en place de pratiques culturales favorables aux espèces impactées (passage au BIO)



- Difficultés foncières
 - Difficultés à compenser tous les types d'incidences dont la perte d'habitats



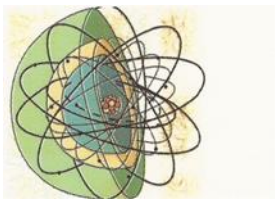
Source OFB

LLY OFB (Invité)

40

- Ecoconception des parcs
 - Gestion dynamique,
 - bridage sélectif

- Des **études préalables sont nécessaires** site par site : situation et dynamique de populations faune/flore, cohabitation homme/faune, déplacement sans heurts des populations faunistique,
- Utilisation de dispositifs dynamique de surveillance, optique / sonore déclenché par radar, etc...



Energie climat biodiversité

Eoliennes: pourquoi tant de haine ??

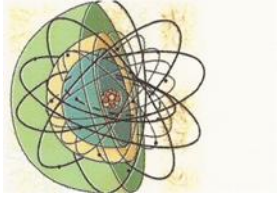
- Ne rien faire tue dix mille fois plus...!
 - Des outils existent, les grandes tailles tournent moins vite, adaptations horaires ...
- **Intermittence** > stockage via vecteur H2 ou batteries
- **Bruyantes** : la distance minimum de 500 m protège du bruit
- NIMBY : oui aux éoliennes, pas chez moi !!
- La region Haut de France concentre 30% des éoliennes, certaines régions quasi rien (cf Indre et Loire)
- L'association Demeure historique, S Bxxn, etc : des chatelains prêts à tout pour protéger la valeur de leur patrimoine, sans autre réflexion énergétique, écologique sociologique ou économique
- Certains arguments anti-éoliennes sont portés par un égoïsme visuel ou patrimonial, et financé par divers lobbies (Nucléaire, Pétrole,...)
- Ni volonté ni courage politique pour accompagner les projets de déploiements
- **un vrai questionnement et un vrai travail collaboratif doivent se faire localement, projet par projet, sur les conditions de déploiement**

Productivité démontrée

Recyclabilité

Energie stockable

Donc...

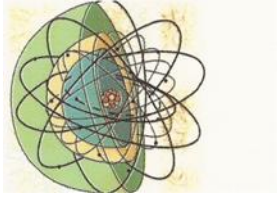


Énergie Climat et biodiversité

éoliennes Offshore

- **Eolien Offshore**

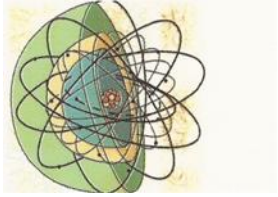
- Sur pilotis (St Nazaire, St Brieuc, Manche, sud atlantique, Méditerranée,...)
 - Perturbations milieu aquatique **pendant** les travaux d'implantations
 - Premiers retours positifs St Brieuc et Saint Nazaire
- Flottants (ex PenAvel AO5 + AO9 = 3 TWh...)
 - Perturbations milieu aquatique **pendant** les travaux d'implantations
 - Perturbations **sonores** pendant l'exploitation ?
- Les retours d'expériences des pays nordiques, ayant déployé de l'éolien offshore depuis plusieurs années, sont négligeables ou positifs (effet récif...)



Énergie Climat et biodiversité

Solaire photovoltaïque

- Surfaces PV: faune volante, faune au sol et flore cohabitent sur le même territoire
 - Photovoltaïque en toiture (Privé, parking, installations industrielles)
 - Photovoltaïque au sol
- Les travaux d'implantation (socle, connections enterrées) impactent faune et flore
- La présence de surfaces optiques réfléchissantes peut affecter le vol des oiseaux
- L'orientation influence l'impact: Inclinaison faible/forte : effet miroir, appréciation d'une surface d'eau > chocs oiseaux
- Pendant l'exploitation, différents comportements peuvent arriver:
 - Attraction, répulsion des oiseaux et chauves souris
 - Dérangement des individus, pertes ou déplacement de l'habitat
 - Nécessité de clôturer les parcs PV (protection électrique)



Energie Climat et biodiversité

Solaire photovoltaïque

Flores et faune favorisées – défavorisées ?



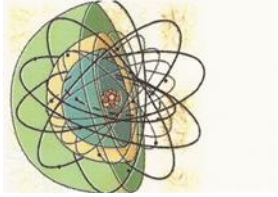
Capture de terres agraires ?

Appréciation par la faune volante : impression « eau » = choc
Nécessité de clôture (sécurité électrique) > impact sur les déplacements au sol (mammifères, ...)

L'orientation des panneaux solaires influence l'impact

- ❖ Faible inclinaison : ombrage fort (flore), effet miroir, appréciation d'une surface d'eau > chocs oiseaux
- ❖ Forte inclinaison: Ombrage partiel > impact flore : changement de la flore locale, désorientation faune
- ❖ Effet ravinage sous la goutte d'eau > impact flore local
- ❖ Hauteur au sol: Position du point bas : passage des animaux

- ❖ **des précautions doivent être prises lors de l'implantation et l'exploitation des parcs**
- ❖ **un vrai questionnement et un vrai travail collaboratif doivent se faire localement, projet par projet, sur les conditions de déploiement**



Energie climat biodiversité

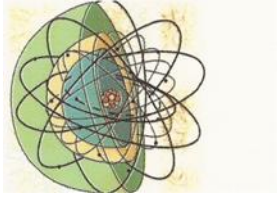
- Autres EnR

- Méthanisation

- production de gaz CH₄ dont l'exploitation produit CO₂
- affectation ressources foncière, végétation dédiée, intrants pour ces productions
- enfouissement des végétaux serait préférable pour le cycle naturel

- Hydrolien

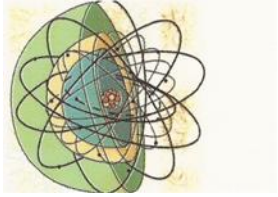
- Capacité élevée comparé à éolien (densité air / eau)



Energie Climat et biodiversité

Message du Climat (1)

- Dérives climatiques sont dues aux GES issus de la combustion pétrole gaz
- **OUI on doit sortir des énergies fossiles carbonées**
- **OUI on peut sortir rapidement des énergies fossiles carbonées**
- **OUI on doit déployer des sources d'énergies décarbonées**
- **NOTRE survie** passe par la décarbonation de **nos** activités
 - Transport > électrique ... hydrogène, batteries
 - Industrie : capture CO2 émis, chauffage EnR (réseaux chauds, électricité)
 - Bâtiments : isolation, chauffage non émissif (électrique, réseau, pompe à chaleur, bois,...)
 - Agri, marine, trains, TP : passage à source d'énergie transportable : hydrogène
 - Besoin de fortes capacités de stockage temporaire (H2, STEP,)
- **ON DOIT CEPENDANT VEILLER A DES DEPLOIEMENTS PEU IMPACTANT**



Energie Climat et biodiversité

Le Climat Appelle au secours (2) .

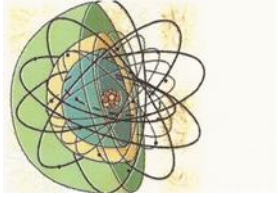
Bretagne: 79 TWh en 2022 > combien de TWh après conversion à sources décarbonées:

- toutes les EnR « décarbonées » et solutions de stockage doivent être concaténées
- capacité efficience des équipements et efficacité de la frugalité ?

Tenir compte des **contraintes de déploiements** photovoltaïques et éoliens, terrestre et offshore (et autres EnR)

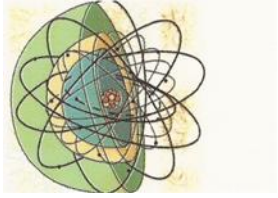
Dialogue nécessaire entre porteurs de projets EnR, citoyens, riverains, associations et autorité locales et nationales :

études préalables d'impact à mener et prendre en compte
apprendre à bien déployer mais déployer des EnR....



Energie Climat et biodiversité

Contact: aubryconseil-tf@orange.fr

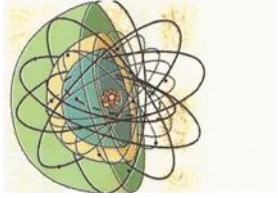


Energie Climat et biodiversité:

efficience technologique

Situation actuelle <u>energie carbonée</u>	Vecteur <u>energie</u>	Chaine migration	Net besoin <u>électricité</u>	<u>ecart</u> <u>energie</u>	Solde GES Mt CO2 (est 10% non migré)
<u>Transports VL</u> 26TWh > 13 TWh	13 TWh > batterie	Rendement thermique 0,3 <u>Elec-batterie</u> > <u>Elec</u> : 1.1	4,3 TWh	- 8.6 TWh	0.4
Transport PL 26TWh> 13 TWh	13 TWh > E>H ₂ > E	Rendement thermique 0,3 <u>Elec</u> >H ₂ > <u>Elec</u> : 4	15 TWh	+2 TWh	0.4
<u>residentiel</u>	11 TWh	<u>PaC</u> COP 2.5	4,4 TWh	-6,6 TWh	0.9
<u>Agripeche (TR)</u>	7 TWh	Rendement thermique 0,3 <u>Elec</u> >H ₂ > <u>Elec</u> : 4	8,8 TWh	+ 1,8 TWh	0.25
Industrie	5 TWh		5 TWh	+1 ?	0.32
Variation net global énergie				-10,4 TWh	14.5>2.27
Conso électrique actuelle			21 TWh		
Besoin net <u>migré</u>(*)			58,5 TWh		

(*) avant tout incidence frugalité



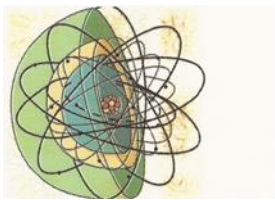
Energie Climat et biodiversité: efficience économique sur le chemin des EnR

**10 TWh (10*10¹² Wh)
c'est quoi ?**

**environ 15-20% des
besoins d'électricité
projetés en 2050
après décarbonation
et électrification des
usages**

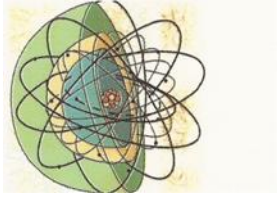
10 TWh c'est.....

Famille			
Eolien offshore	puissance	Taux de charge (heures de fonctionnement annuelles)	Energie produite
1.5 * sites BNO	1.5* 2 GW	3500 h – 4000h	10,5 TWh
4 * sites BS1, BS2	4 * 750 MW	3500 h – 4000 h	10.5 TWh
Eolien terrestre			
800 Éoliennes terrestres 150m	800* 5MW	2500 h	10 TWh
photovoltaïque			
Panneaux PV	100 000 000m ² ou 10'000 ha de panneaux PV	1750 heures soleil, 2650 heures nuages Orientation sud, inclinaison 45°	10 TWh
nucléaire			
1 EPR	1.6 GW	7000 h	11 TWh



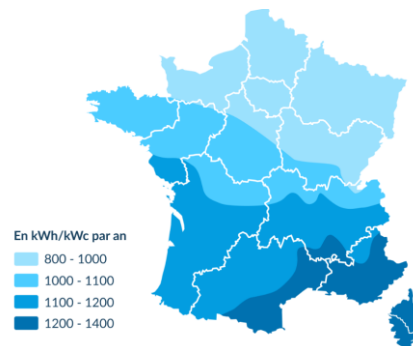
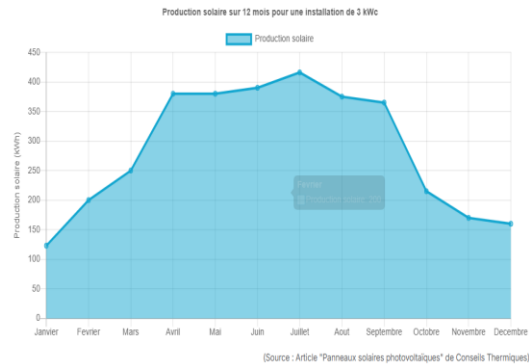
Energie climat et biodiversité : références et biblio

- Sarah OUEDRAOGO: Développement de Stratégies Optimisées de Gestion de l'Énergie Intermittente dans un Micro Réseau Photovoltaïque avec Stockage , these Université de Corse Pascal Paoli, Octobre 2023
- LPO US (www.stateofthebirds.org) (published in Science in 2019) : US & CNR have lost 3 billion breeding birds since 1970—a loss of 1 in 4 birds,)
- Vincent Devictor, directeur de recherche au CNRS - l'Institut des sciences et de l'évolution de Montpellier, co-auteur de l'étude sur le déclin des populations d'oiseaux en Europe publié dans PNAS ([Proceedings of the National Academy of Sciences](https://doi.org/10.1073/pnas.2208000120)) : Farmland practices are driving bird populations decline across Europe. Rigal, S, et al. PNAS, 15 mai 2023. Contacts: vincent.devictor@umontpellier.fr
- Farmland practices are driving bird populations decline across Europe. Rigal, S et al. PNAS, mai 2023.
- « TOUT EST LIÉ » : RÉPONSES COMPLEXES DE LA BIODIVERSITÉ AUX CHANGEMENTS GLOBAUX ET DÉTERMINANTS SOCIO-ÉCONOMIQUES, Thèse Université Montpellier - Stanislas RIGAL nov, 2021
- K. Horton et al. [Phenology of nocturnal avian migration has shifted at the continental scale](https://doi.org/10.1038/s41558-019-0648-9). Nature Climate Change. Published online December 16, 2019. doi: 10.1038/s41558-019-0648-9.
- [T.K. Lameris](https://doi.org/10.1111/gcb.13684), et al; Potential for an Arctic-breeding migratory bird to adjust spring migration phenology to Arctic amplification; Glob Change Biol. 2017;23:4058–4067; <https://doi.org/10.1111/gcb.13684>
- Rosenberg et al., ; Decline of the North American avifauna; Science 366, 120–124 (2019) 4 October 2019 (Cornell University)
- F, Porté-Agel et al., Wind-Turbine and Wind-Farm Flows: A Review; Boundary-Layer Meteorology (2020) 174:1–59; <https://doi.org/10.1007/s10546-019-00473-0>
- impacts acoustiques des projets éoliens en mer sur la faune marine compartiments des mammifères marins, des poissons et des invertébrés rapport et synthèse , cnrs, 2021
- P. Haessig; Dimensionnement & gestion d'un stockage d'énergie pour l'aénuation des incertitudes de production éolienne These de Doctorat, ENS Cachan, 2014
- R. Le Goff Latimier. Gestion et dimensionnement d'une flotte de véhicules électriques associée à une centrale photovoltaïque : co-optimisation stochastique et distribuée. Thèse, Université Paris Saclay (COMUE), 2016. NNT : 2016SACLN033. tel-01419931



Energie, Climat et biodiversité: annexe Solaire

- PV: kWh-KWc: kWh = kW*h; kWc « normalise » la production en fonction de la référence ensoleillement (nominal 1000kWh/kWc): 1 kWc > 900 à 1300 kWh/an



η cellule PV # 17% - Soleil Bretagne # 1100 kWh/an/m²

orientation/inclinaison panneaux, élévation du soleil, durée du jour, soleil direct (1750h), soleil indirect (2680h: lumière diffuse)

>> Potentiel PV # 100 kWh/an/m² (62 kWh été, 43 kWh hiver)

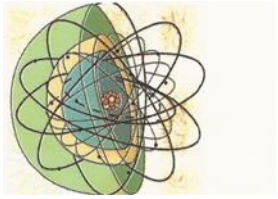
ombrage panneaux, densité panneaux <4000 m²/ha >> #250-300 MWh/an/ha

3 kWc produit entre 2700 et 4000 kWh /an, en fonction de l'ensoleillement de la zone géographique,

3 kWc <> # 14 m² <> 8 panneaux 1,6 m² soit 4, 2kWh/j en moyenne annuelle

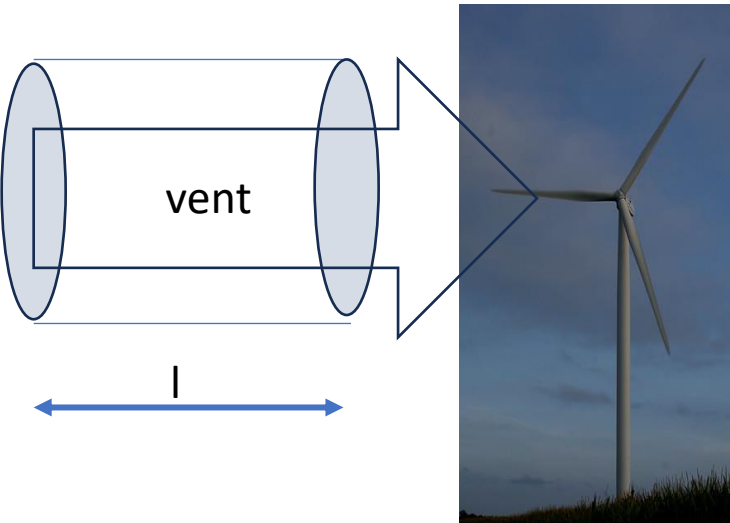
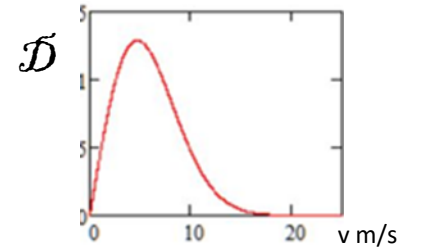
Solaire thermique: 400/500 kWh/an/m²

10 TWh / an <> = 30 000 ha



Energie, Climat et biodiversité:

annexe Eolien



Energie cinétique incidente : $E_i = \frac{1}{2} m v^2$

$$m = \rho l S$$

v : vitesse du vent [m/s]

ρ : densité de l'air = 1,2 kg / m³

l : longueur du tube d'air qui traversera la surface de l'éolienne par unité de temps

$$l = v \cdot t$$

S : surface couverte par les pales : $S = \pi D^2/4$, [m²] := πR^2 , [m²]

D : diamètre

$R = D/2$ = longueur de pale

Energie produite par l'éolienne

$$E_p = C_p * E_i$$

C_p : capacité de l'éolienne à capter l'énergie (pales, ...)

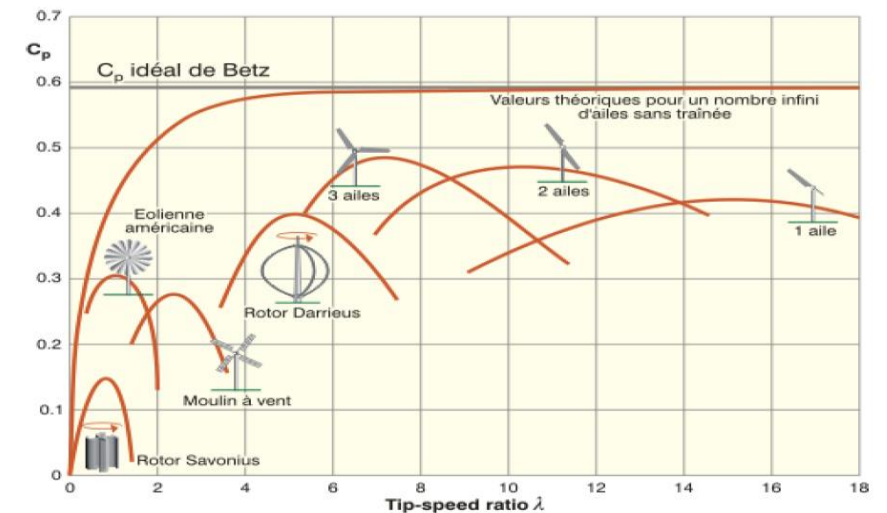
$0 < C_p < 1$ (sinon il n'y aurait plus de vent derrière l'éolienne !!)

C_p tri pale $\sim 0,5$ (coefficient de Betz)

$$E_p = 0,5 * \frac{1}{2} \rho (v t) \cdot \pi D^2/4 \cdot v^2 = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot t \cdot \pi \cdot D^2/4 v^3$$

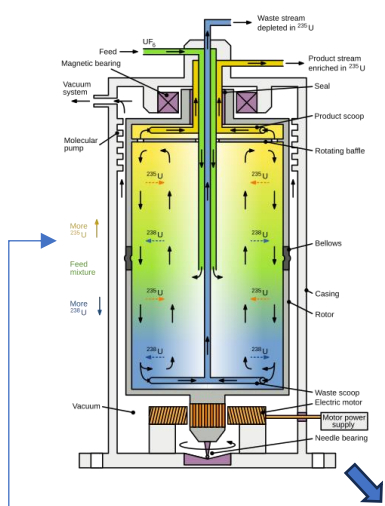
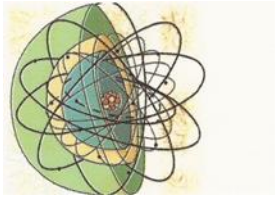
$$\text{Puissance éolienne } P = E/t = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3$$

$$1kWh = 3,6 \cdot 10^6 \text{ kg m}^2\text{s}^{-2}$$



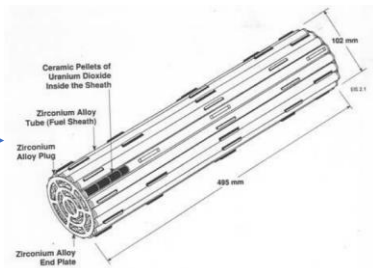
Energie climat et biodiversité

rôle du nucléaire



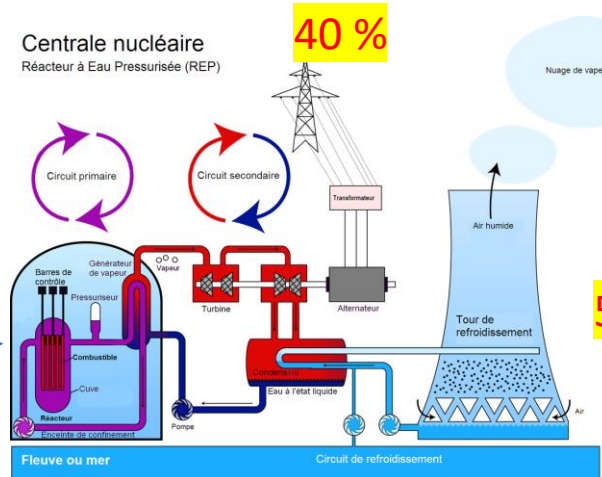
Enrichissement par centrifugation

U₂₃₅ # 5%



quelques kg U / t
U₂₃₅ # 0,3%

- Disponibilité limitée
- Chimie acide extraction
- Pollution des sols
- Interférences politiques



50%



10%

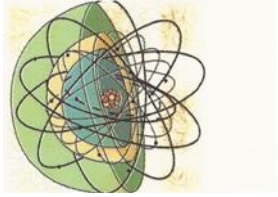
MOX



Déchets
durée de vie

Une industrie de gaspillage
Forte Énergie de mise en forme

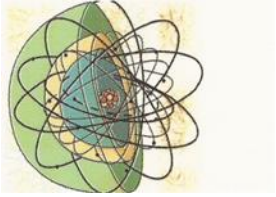
CAPEX at OPEX trop élevés
par TWh produit



Energie climat et biodiversité

rôle du nucléaire

- Nucléaire n'est pas une solution viable a moyen long terme:
- *10 raisons de ne pas adhérer*
 - *indépendance,*
 - *disponibilité matériau (30 ans?);*
 - *conditions d'extraction minière,*
 - *traitement chimique d'extraction U_3O_8 , raffinage $Na_2U_2O_7$, puis UF_6 pour centrifugation*
 - *enrichissement centrifugation,*
 - *logistique matériau in/out,*
 - *traitement des dechets « trop peu actifs mais encore trop actifs... »,*
 - *decontamination et deconstruction des bâtiments (Brennilis, Chinon,...),*
 - *Cout d'investissement du KWh produit (EPR: 20 Md€ ?)*
 - *Cout d'exploitation-approvisionnement pour 12 TWH/an...)*



Capacité et volume d'une STEP



Calcul du potentiel énergétique :
 1m^3 / chute d'eau de $H=200\text{m}$ (sans frottements ni viscosité)

L'accélération terrestre : $g= 9.81 \text{ m/s}^2$
 Vitesse instantanée : $V(t) = g * t$
 Distance parcourue : $Z = 0.5 * g * t^2$ ($V= dZ/dt$)

Lorsque l'eau atteint le bas de la chute:

Le temps de chute sera donné par $t_c = \sqrt{2 * H / g} = 6,4\text{s}$

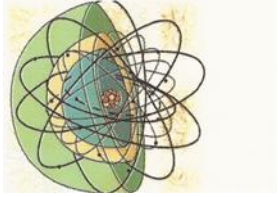
La vitesse en bas de chute sera de $V_c = g * t_c = 63 \text{ m/s}$

L'énergie cinétique **d'1 m³** ($m_e=1000\text{kg}$) après une chute de **200 m** sera de $0.5 * m_e * V_c^2$

$E_c = 0.5 * 1000 * 63^2 = 1'984'500 \text{ Joules} = \mathbf{0.55 \text{ kWh}}$ / m³ ($1\text{kWh} = 3.6 \text{ mega Joules}$)

Stocker une capacité de **1 TWh** demande donc **1,8 10⁹ m³** sur une chute d'eau de 200m

soit un lac artificiel de **(6 km * 6 km) d'une profondeur de 50m**



Capacité et volume d'une STEP

- STEP: un bon rendement (électricité produite/ électricité consommée) #70% - 85%.
- Fournir 1 MWh, demande #1,25 MWh de pompage jusqu'au bassin supérieur
- STEP de Bath County (VA-US) : capacité # 3 000 MW (max 12 TWh en 4000h...!) ,
- la hauteur d'eau définit l'énergie volumique (kWh/m³), le volume donne la réserve maximale (en énergie, kWh), le débit en m³/h définit la puissance instantanée (kWh)

- France : 6 « grandes » STEP en activité, mises en service 1970/1980
 - Grand'Maison en Isère, puissance en turbine de 1 790 MW /soit 7 TWh à100%
 - Montézic dans l'Aveyron (910 MW / 3,6 TWh à100%)
 - Super-Bissorte en Savoie (730 MW / 2,9 TWh à100%)
 - Revin dans les Ardennes (720 MW / 2,8 TWh à100%)
 - Le Cheylas en Isère (460 MW / 1,8 TWh à100%)
 - La Coche en Savoie (330 MW / 1,3 TWh à100%)