



HAL
open science

Modélisation énergétique ouverte

Sacha Hodencq

► **To cite this version:**

Sacha Hodencq. Modélisation énergétique ouverte : Séminaire ENSAG. Master. Grenoble, France. 2021. hal-04160031

HAL Id: hal-04160031

<https://hal.science/hal-04160031>

Submitted on 12 Jul 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License



Séminaire ENSAG : modélisation énergétique ouverte
Lundi 29 mars 2021



financé par
IDEX Université Grenoble Alpes



Sacha Hodencq - doctorant G2Elab
sacha.hodencq@g2elab.grenoble-inp.fr

OBJECTIFS & DÉROULÉ DU SÉMINAIRE

■ Objectifs

- 1. Introduction aux enjeux énergétiques**
- 2. Introduction à la modélisation énergétique – intérêt de la science ouverte**
- 3. Mise en application de ces principes avec les méthode et outils du G2E Lab**

OBJECTIFS & DÉROULÉ DU SÉMINAIRE

- **Présentation travaux de thèse S. Hodencq**
- **Introduction aux enjeux énergétiques**
 - ▶ **Pourquoi l'énergie est-elle un enjeu ?**
 - ▶ **Systemes énergétiques : vecteurs, énergie primaire ; énergie finale**
 - ▶ **Ordres de grandeurs**
- **Modélisation énergétique ouverte**
- **Travaux menés au G2Elab**
- **Mise en pratique : cas d'étude autoconsommation photovoltaïque**
- **Discussion**

SUJET DE THÈSE

Modèles, méthodes et outils pour une approche de conception collaborative et ouverte des composants et systèmes électriques au service de la transition énergétique.

- **Réflexion autour des espaces de science ouverte**
- **Déploiement d'une plateforme ouverte et collaborative de modélisation énergétique**
- **Expérimentations sur des cas d'études**
 - ▶ **Projet de valorisation de chaleur fatale du LNCMI,**
 - ▶ **Autoconsommation & communautés énergétiques,**
 - ▶ **Low-Techs.**



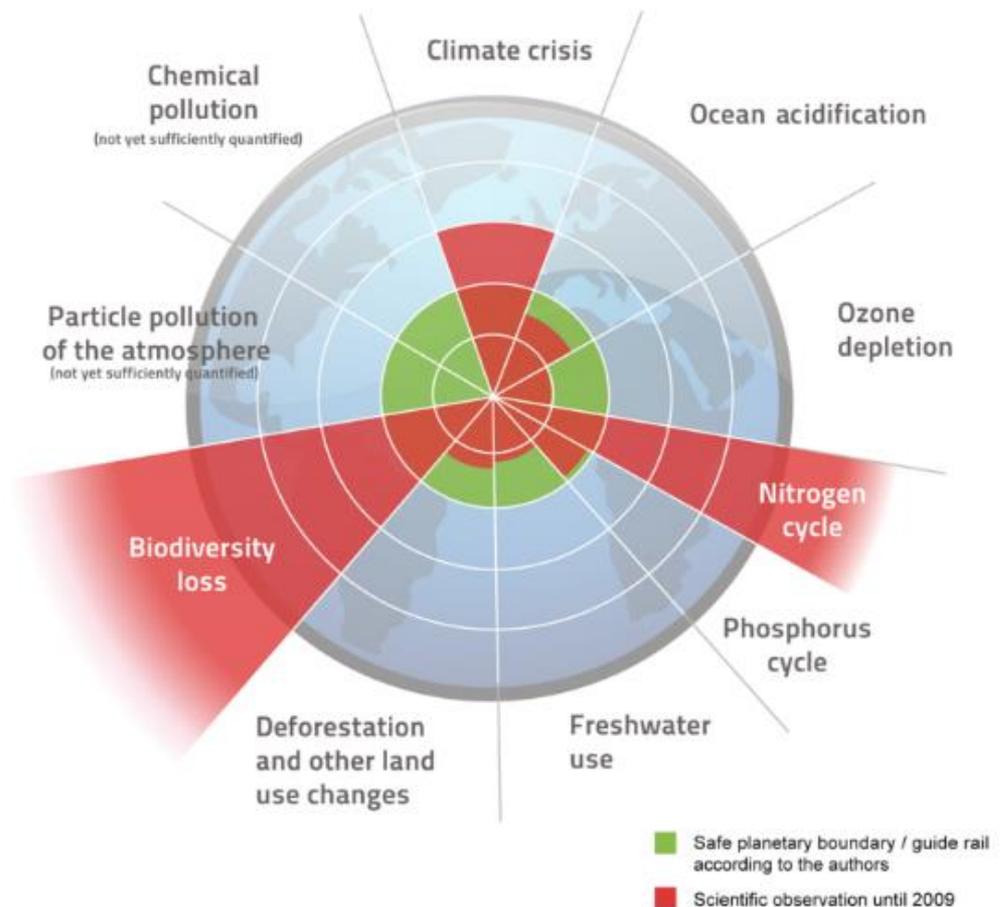
LIMITES PLANÉTAIRES

■ 4 limites planétaires dépassées sur 9 :

- ▶ Perte en biodiversité
- ▶ Cycle de l'azote
- ▶ Changement climatique

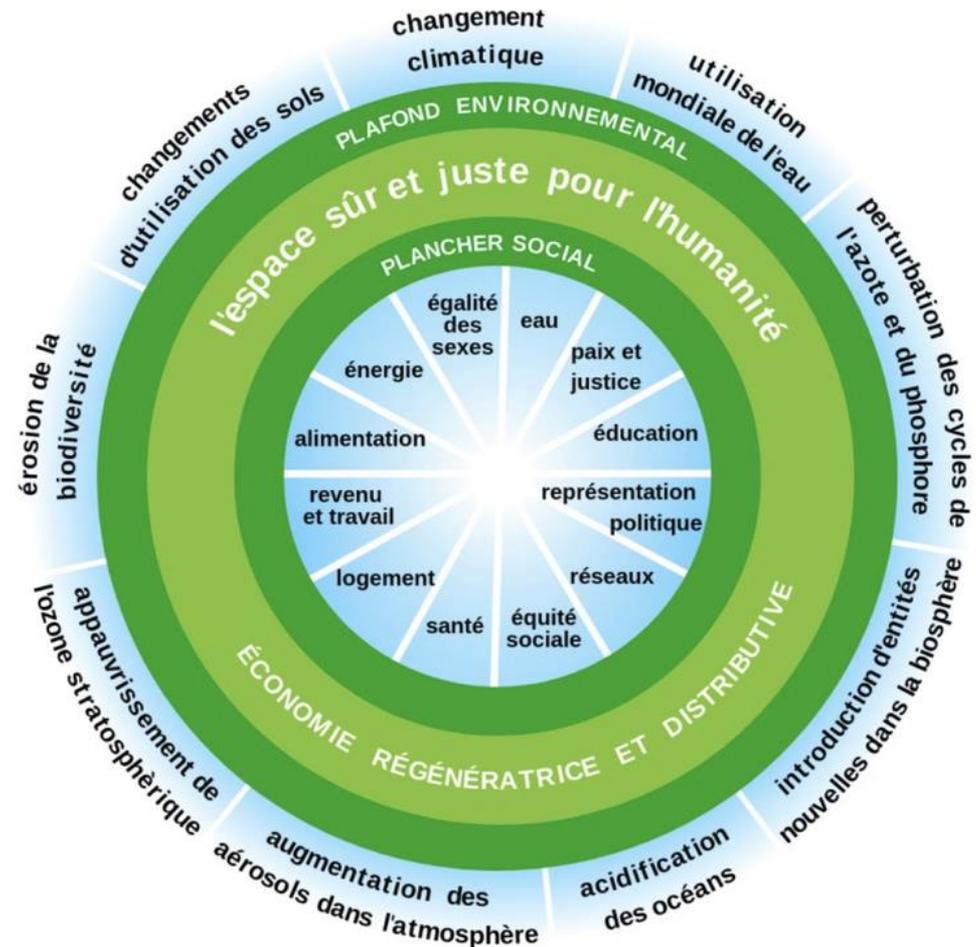
Planetary Boundaries

after Johan Rockström, Stockholm Resilience Centre et al. 2009



LIMITES PLANÉTAIRES

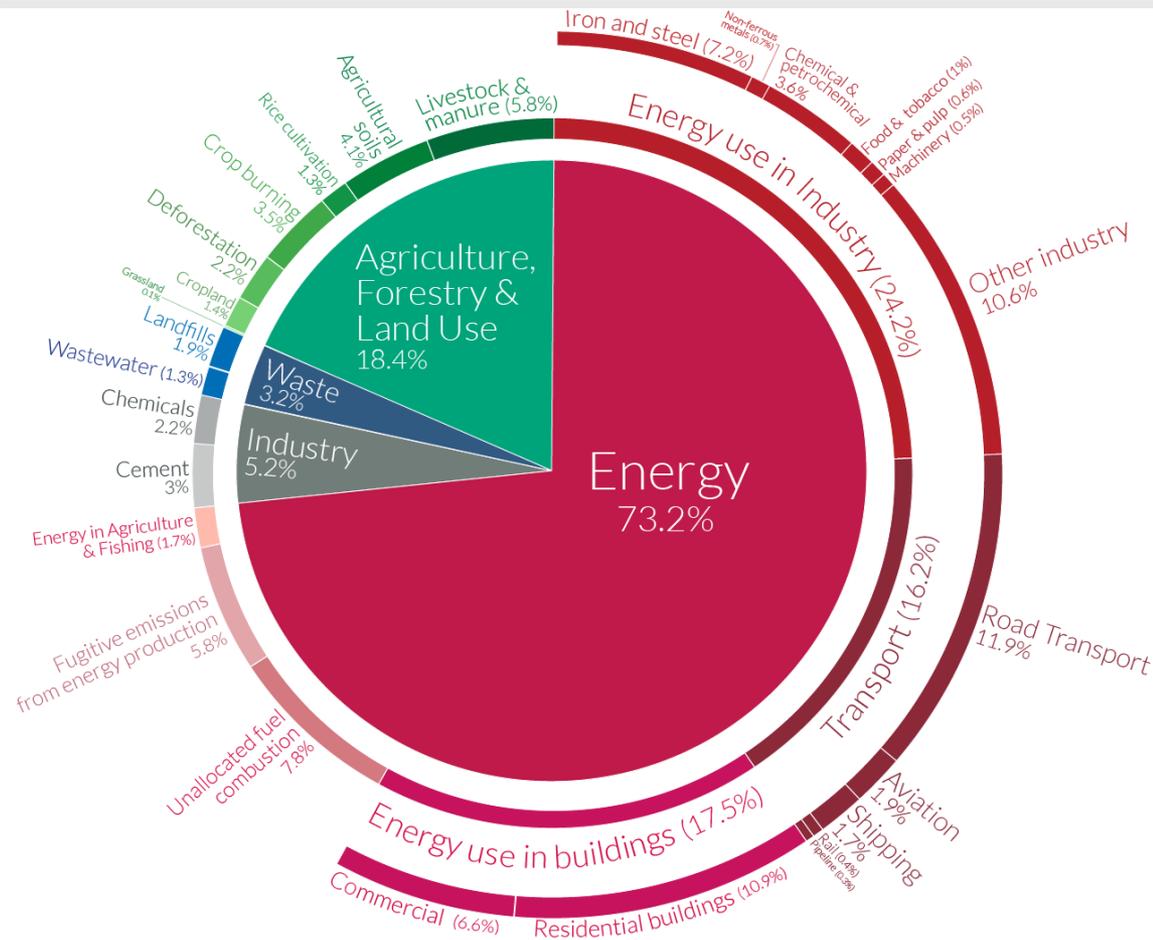
- Plancher social ajouté au plafond environnemental
- Grille d'analyse utilisée en France



EN QUOI L'ÉNERGIE EST-ELLE UN ENJEU ?

Émissions mondiales de Gaz à Effet de Serre (GES) par secteur

2016
49,4 milliards de tonnes équivalentes émises



OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Source: Climate Watch, the World Resources Institute (2020).

Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie (2020).

EN QUOI L'ÉNERGIE EST-ELLE UN ENJEUX ?

Session quizz

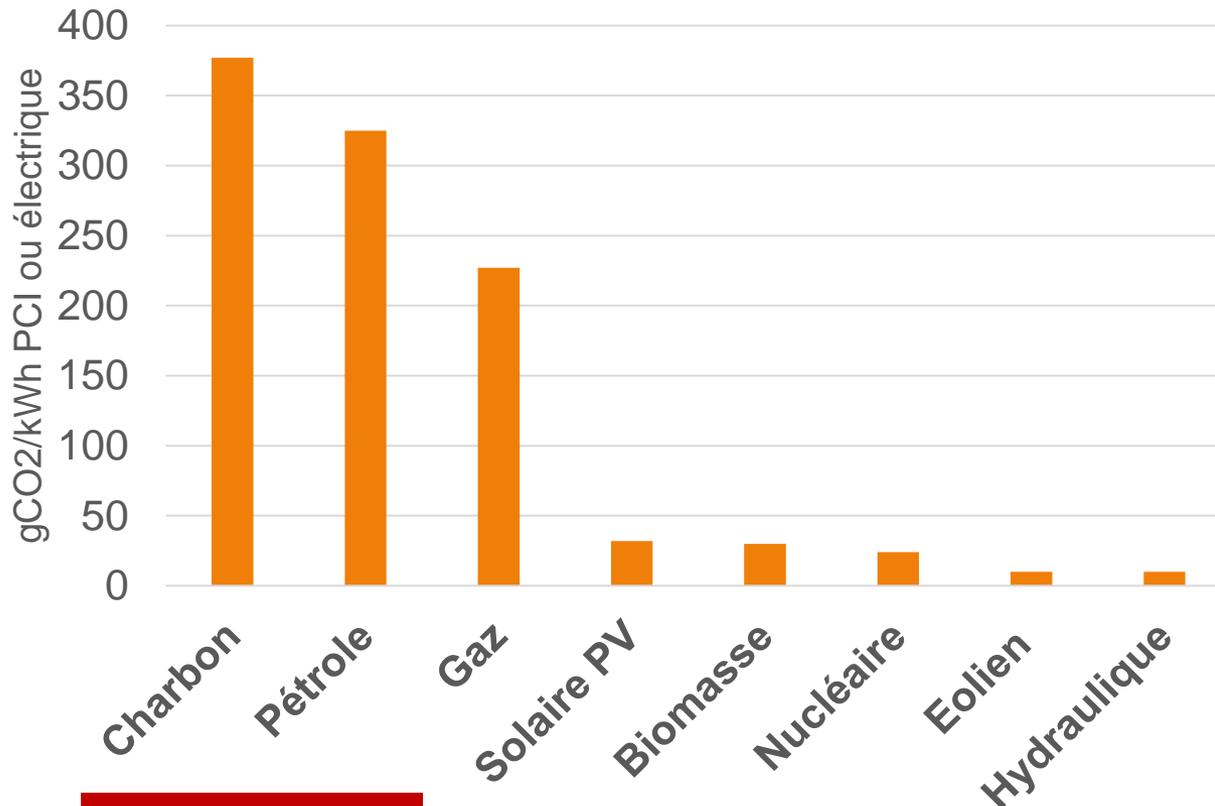
■ Quels moyens de production d'énergie ? TOP 3 émissions ?

- ▶ Nucléaire
- ▶ Pétrole
- ▶ Gaz
- ▶ Eolien
- ▶ Solaire
- ▶ Hydraulique
- ▶ Charbon
- ▶ Biomasse

EN QUOI L'ÉNERGIE EST-ELLE UN ENJEU ?

Session quizz

■ Quels moyens de production d'énergie ? TOP 3 émissions ?



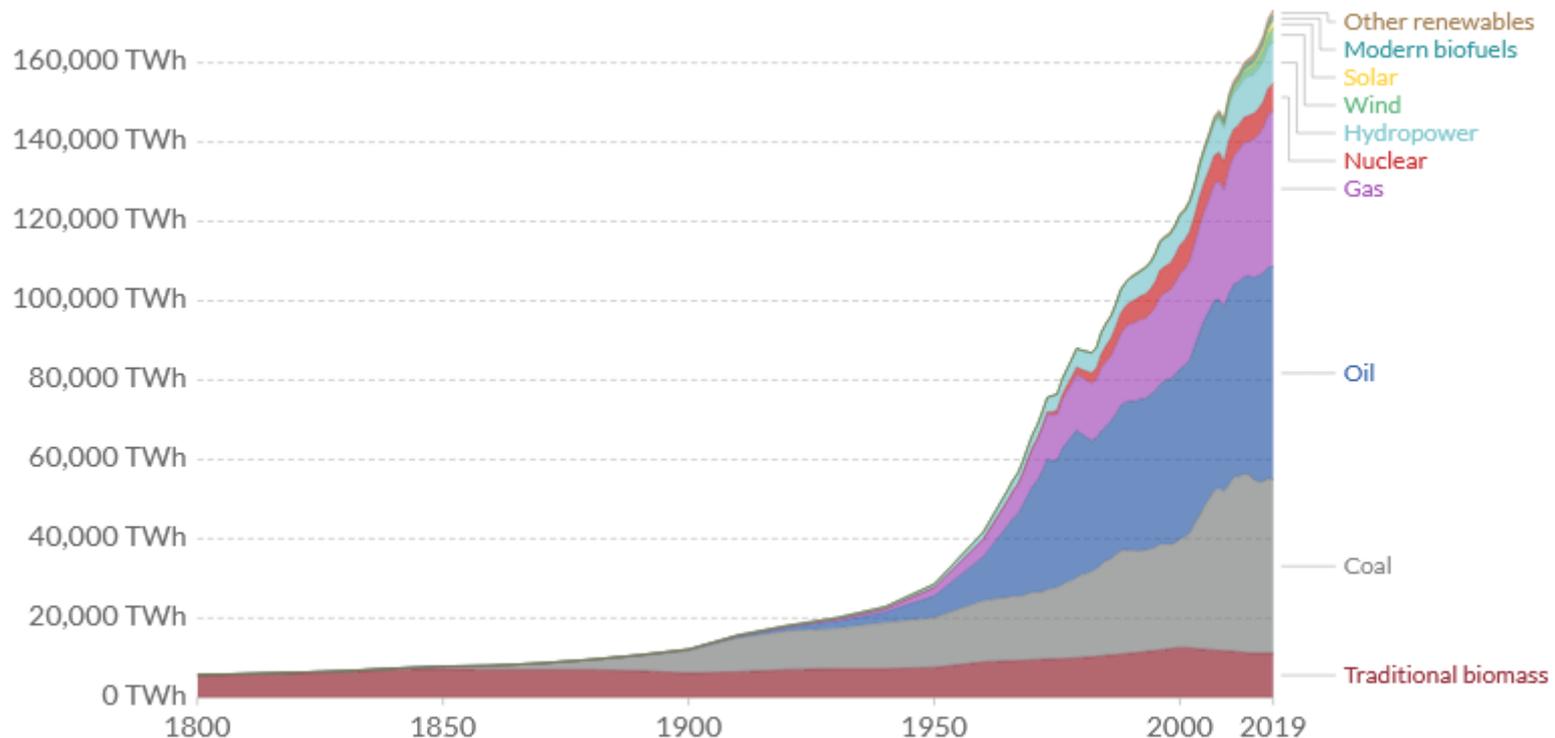
Dépend de l'usage !

Sources : base Carbone
ADEME 2019
Les valeurs pour le nucléaire
ont été divisées par 2,58 (ratio
énergie primaire / finale) pour
approximer le kWh PCI

EN QUOI L'ÉNERGIE EST-ELLE UN ENJEU ?

Consommation d'énergie primaire par source *Depuis 1800*

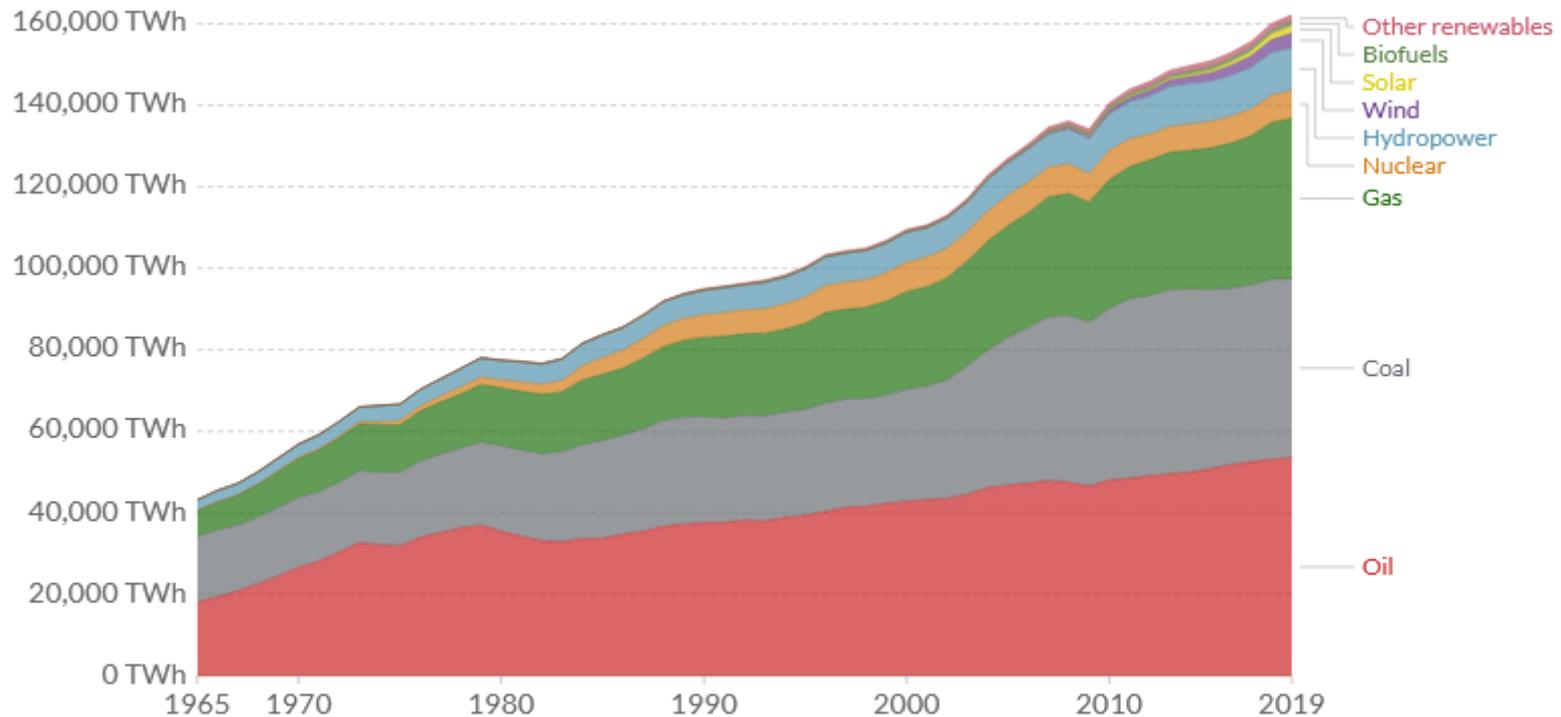
Énergie primaire (Ep) : Consommation finale totale, en plus de la consommation nécessaire à la production de cette énergie.



EN QUOI L'ÉNERGIE EST-ELLE UN ENJEU ?

Consommation d'énergie primaire par source *Depuis 1965*

Énergie primaire (Ep) : Consommation finale totale plus la consommation nécessaire à la production de cette énergie.

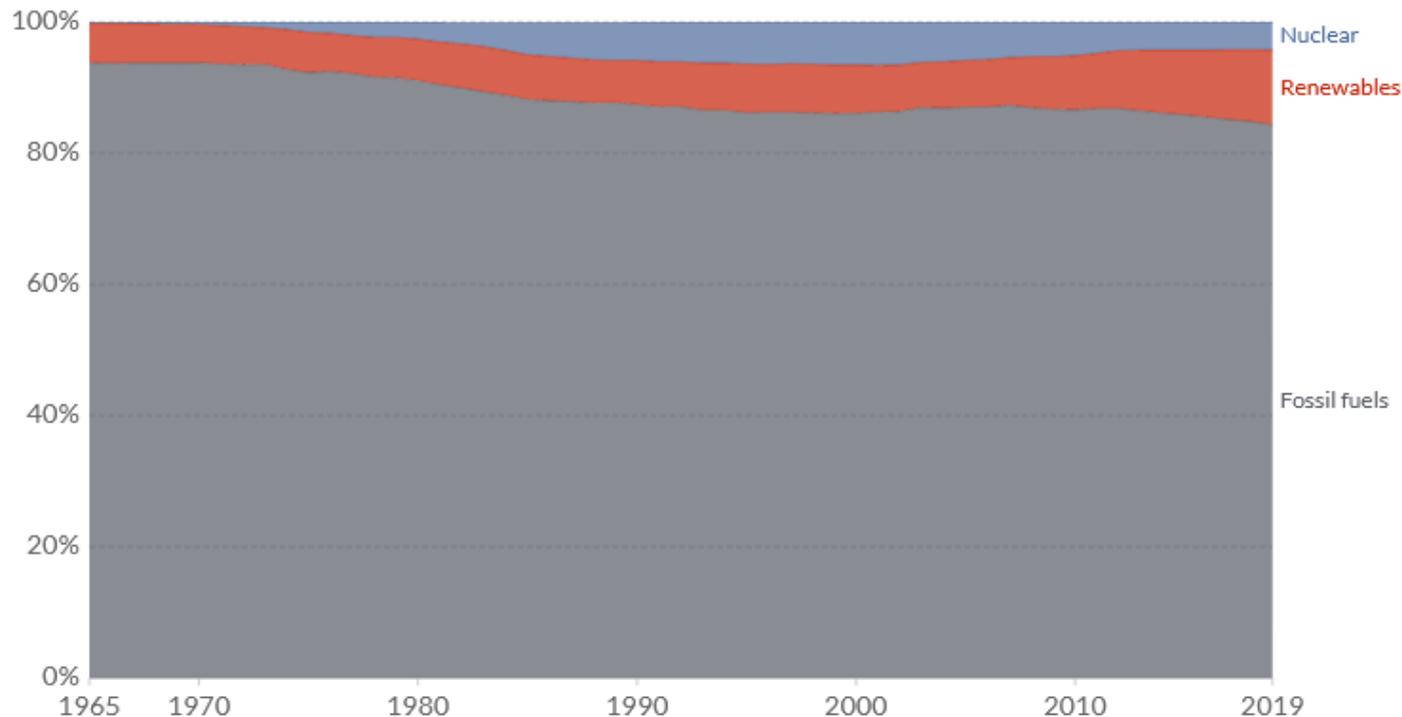


Source: BP Statistical Review of World Energy
Note: 'Other renewables' includes geothermal, biomass and waste energy.

EN QUOI L'ÉNERGIE EST-ELLE UN ENJEU ?

Consommation d'énergie primaire par source *Depuis 1965*

Énergie primaire (Ep) : Consommation finale totale plus la consommation nécessaire à la production de cette énergie.



EN QUOI L'ÉNERGIE EST-ELLE UN ENJEU ?

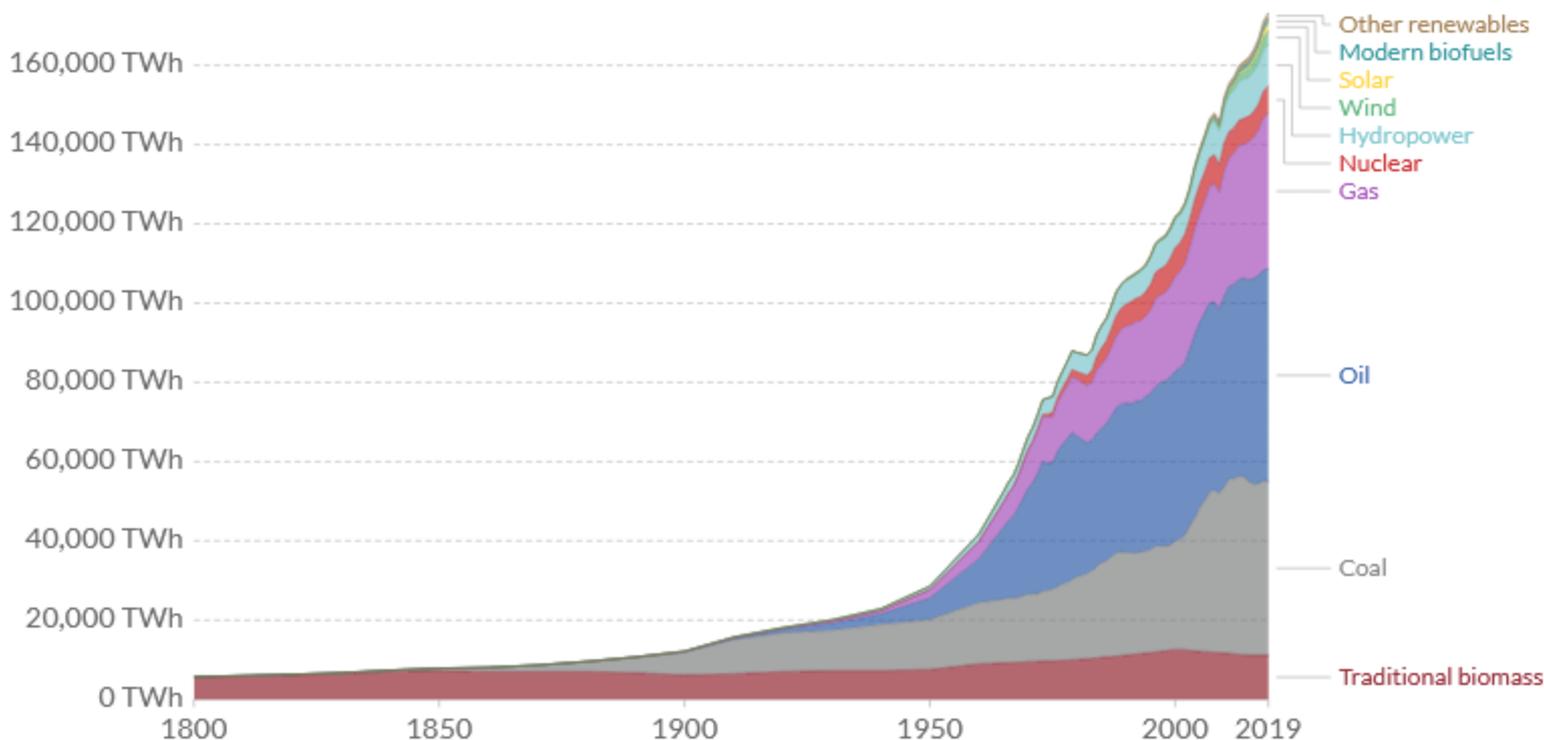
Session quizz

Quels piliers pour la transition énergétique ?

I. Sobriété

II. Efficacité

III. Décarbonations



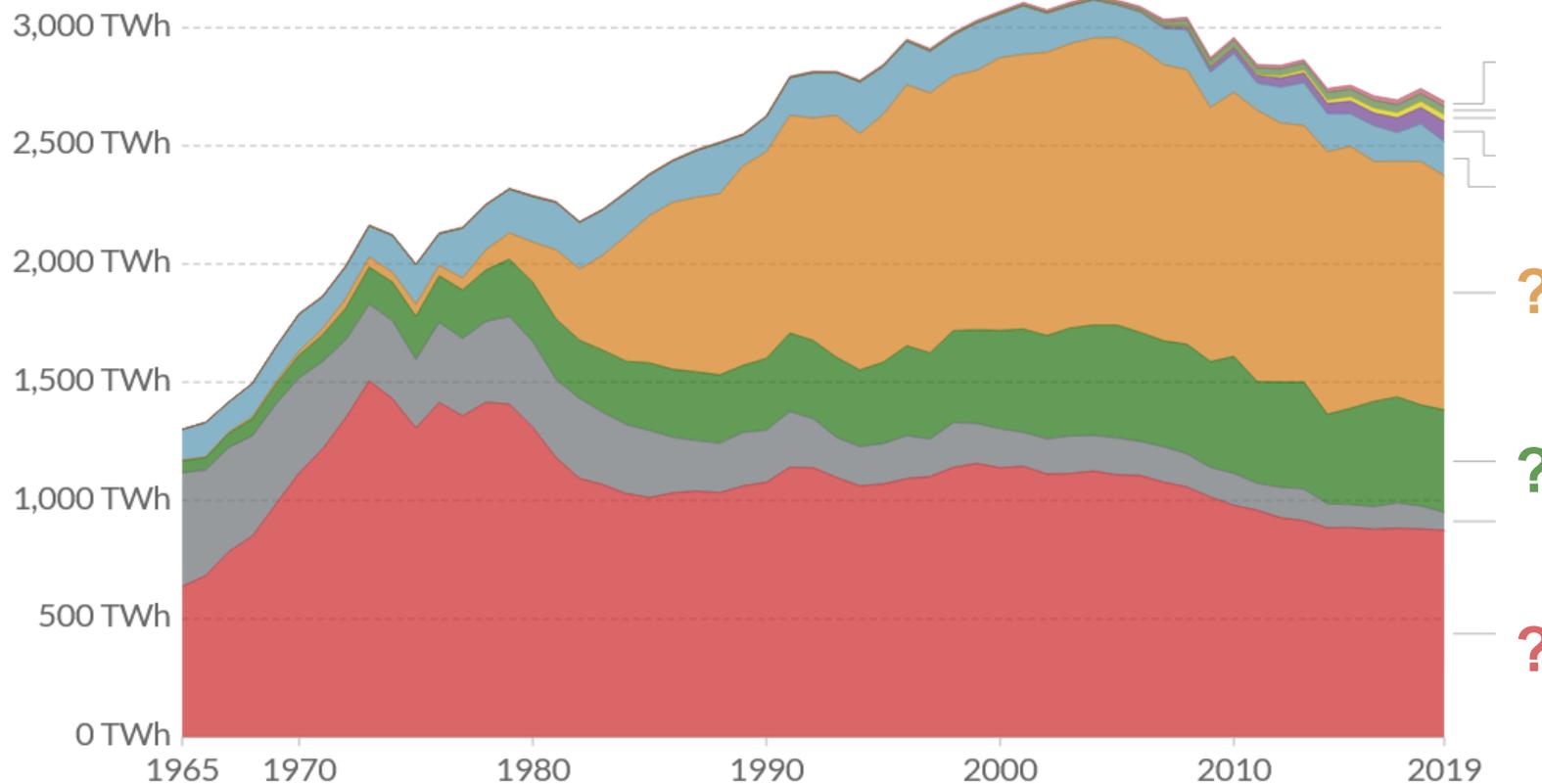
**Consommation
d'énergie
primaire par
source**

Depuis 1800

EN QUOI L'ÉNERGIE EST-ELLE UN ENJEU ?

Session quizz : le cas de la France

Consommation d'énergie par source, France

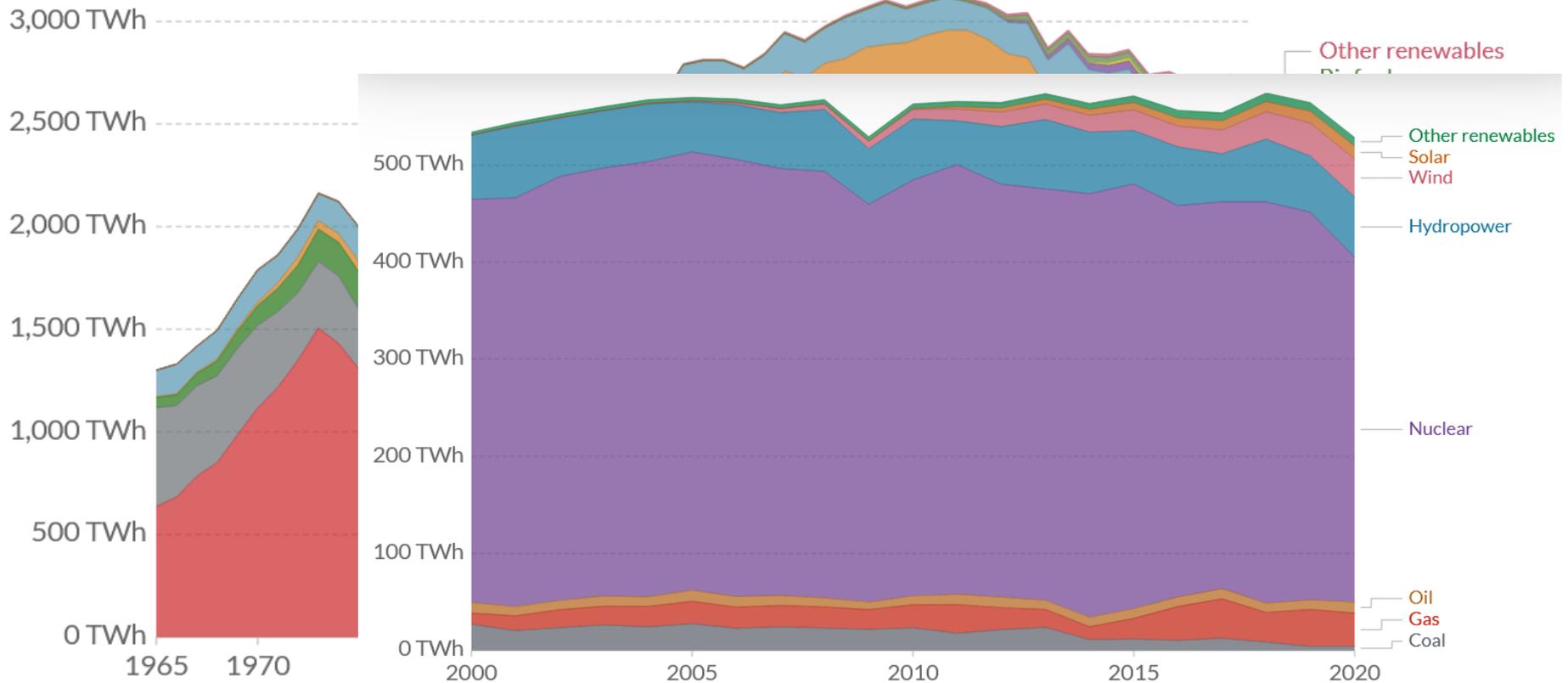


Source: BP Statistical Review of World Energy
Note: 'Other renewables' includes geothermal, biomass and waste energy.

EN QUOI L'ÉNERGIE EST-ELLE UN ENJEU ?

Session quizz : le cas de la France

Consommation d'énergie par source / Production d'électricité par source



Source: BP Statistical Review of World Energy

Source: Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy & Ember (2021)

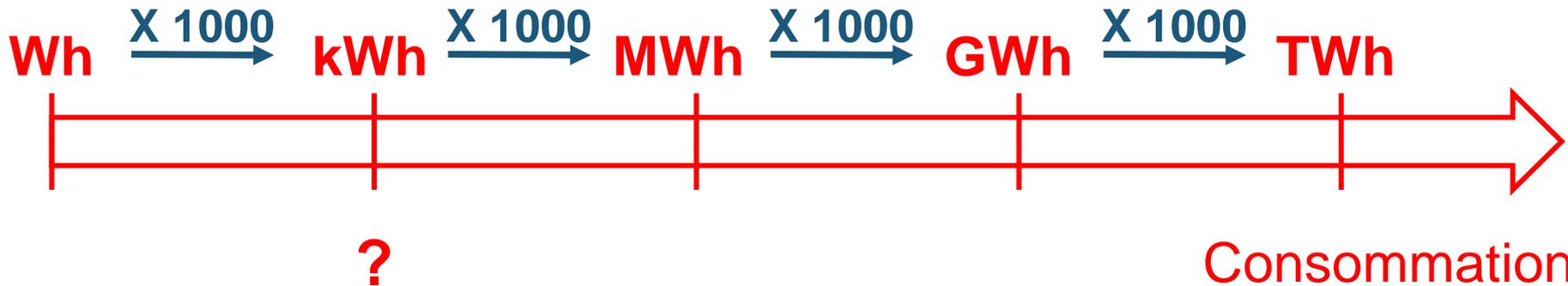
OurWorldInData.org/energy • CC BY

Note: 'Other renewables' includes geothermal, biomass and waste energy.

Note: 'Other renewables' includes biomass and waste, geothermal, waves and tidal.

ENERGIE : QUELQUES ORDRES DE GRANDEUR

Session quizz : du Wattheure au TeraWattheure

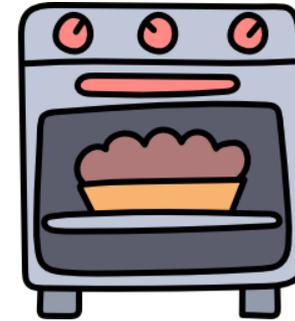


Consommation
moyenne d'énergie
en France chaque
jour : **7,4 TWh**

ENERGIE : QUELQUES ORDRES DE GRANDEUR

Session quizz

Production d' 1 kW
pendant 1 h =



Soit cuire un gâteau au
four électrique

Puissance (kW) x Temps (h) ↔ Energie (kWh)

Combien de cyclistes pédalant à 20km/h pendant 1h faut-il
pour produire 1 kWh et cuire le poulet ?

A : 2

B : 5

C : 10

D : Thibaut Pinot suffit

ENERGIE : QUELQUES ORDRES DE GRANDEUR

Session quizz

Production d' 1 kW
pendant 1 h

=



10 cyclistes

=



100 €



Prise électrique

=



0,10 €

ENERGIE : QUELQUES ORDRES DE GRANDEUR

■ Pour fournir 1 kWh, on peut utiliser...

Productions variables pas encore stockables...



10m² de
panneaux
solaires
photovoltaïques
pendant 1h en
milieu d journée



Une
éolienne de
5 m de
diamètre
pendant 1h*

A travers un barrage
de 50 m de haut...

8 000 L
d'eau



Dans une centrale thermique

Bois
1 bûche



Gaz
1,5L**



Energies fossiles

Charbon
Un petit tas



Pétrole
33cl



Uranium
Une
pincée



Source : Avenir Climatique

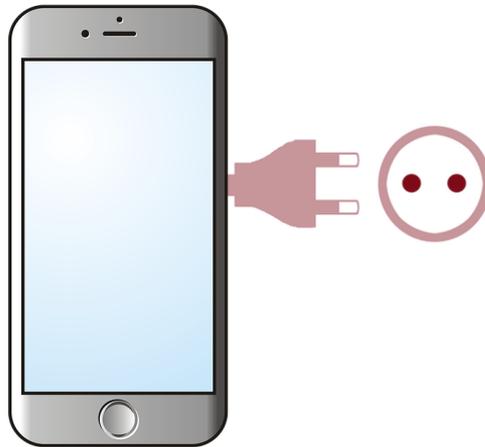
*Sous conditions climatiques moyennes en France - **A 200 bar

ÉNERGIE GRISE

- **Qu'est-ce que l'énergie grise ?**
- A. Une énergie en suspens dans le temps et l'espace, générée par les trous noirs les plus massifs.
- B. **La quantité d'énergie nécessaire lors du cycle de vie d'un produit**
- C. L'énergie issue de consommation d'énergie fossile
- D. L'énergie puisée par les Skywalker, à mi-chemin entre le côté obscur et les jedis.

ÉNERGIE GRISE

■ Energie grise / consommation électrique d'un smartphone



Consommation électrique totale
(moyenne d'utilisation)
6 kWh /an * 2 ans : 12 kWh

Consommation énergétique de
fabrication
200 kWh



x 17

Source : Lean ict : Pour une sobriété numérique. Technical report, The Shift Project, 2018.

ÉNERGIE GRISE

■ Energie grise / consommation électrique d'un smartphone



Consommation électrique en France:
12 kWh → 6 %
0,2 kg eq. CO₂ → 0,3%



Fabrication :
200 kWh
61 kg eq. CO₂



Eco-SESA

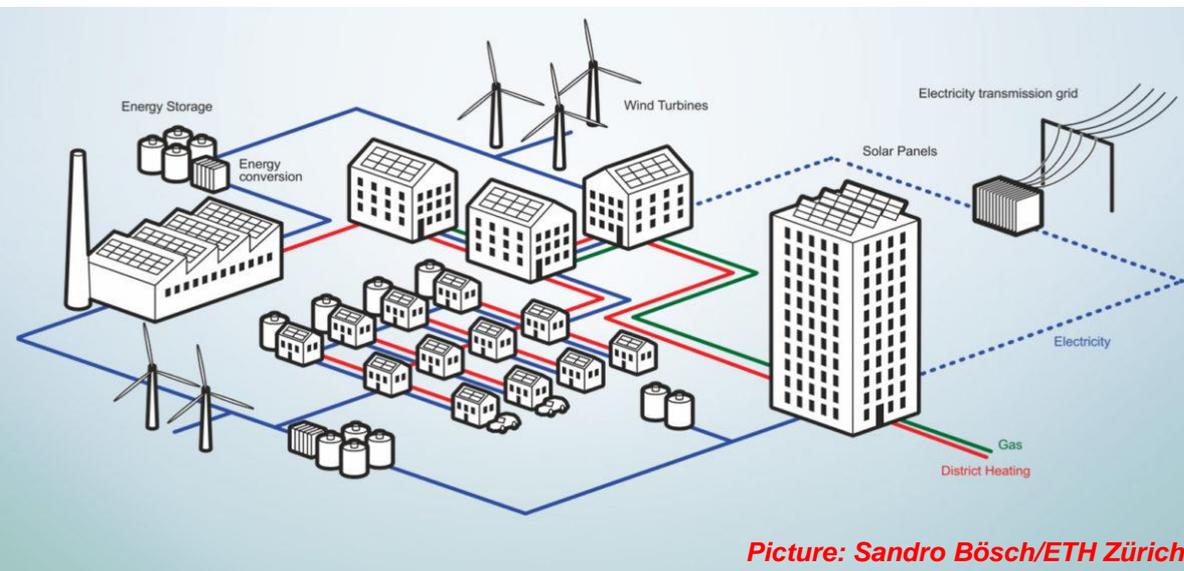
Univ. Grenoble Alpes

PAUSE

MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE

- **De nouveaux défis & solutions pour les systèmes énergétiques**
 - ▶ Intermittence
 - ▶ Décentralisation
 - ▶ Nouveaux acteurs

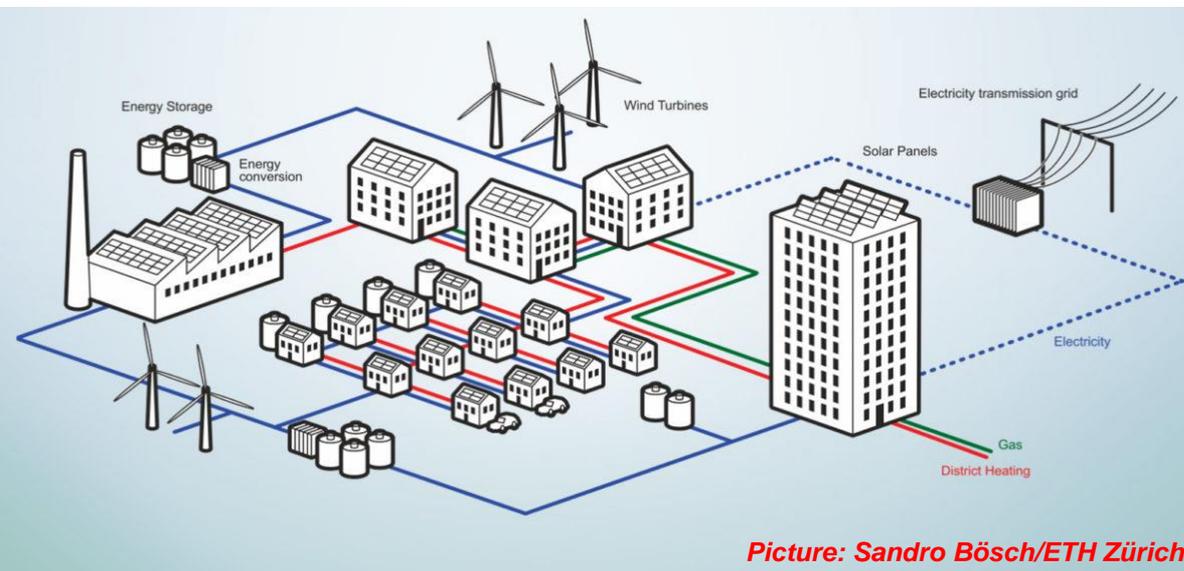
 - ▶ Nouveaux objectifs



Picture: Sandro Bösch/ETH Zürich

MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE

- **De nouveaux défis & solutions pour les systèmes énergétiques**
 - ▶ **Intermittence** : flexibilité, système multi-vecteurs, stockage
 - ▶ **Décentralisation** : réseau bien conçus et opérés
 - ▶ **Nouveaux acteurs** : communautés énergétiques, collectivités locales, *prosumers*, citoyens
 - ▶ **Nouveaux objectifs** : émissions de GES, énergie grise, impact social, ...



Picture: Sandro Bösch/ETH Zürich

Modélisation complexe

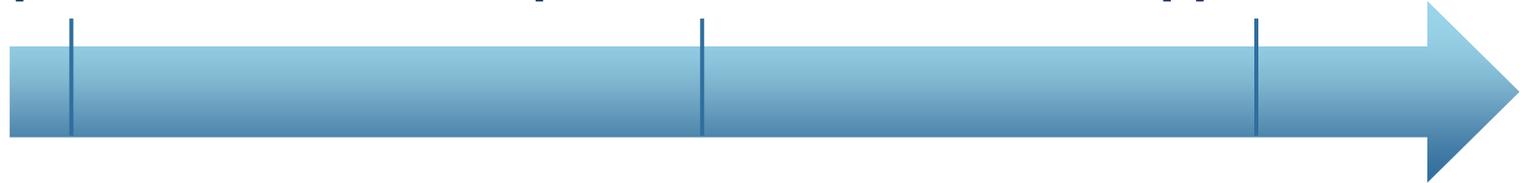
MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE OUVERTE

Modélisation énergétique ouverte : mise à disposition de données et modèles énergétiques de manière libre, gratuite et ouverte

Transparence

Reproductibilité

Développement ouvert



- Vérification par les pairs
- Crédibilité
- Recherche publique ouverte
- Implication citoyenne

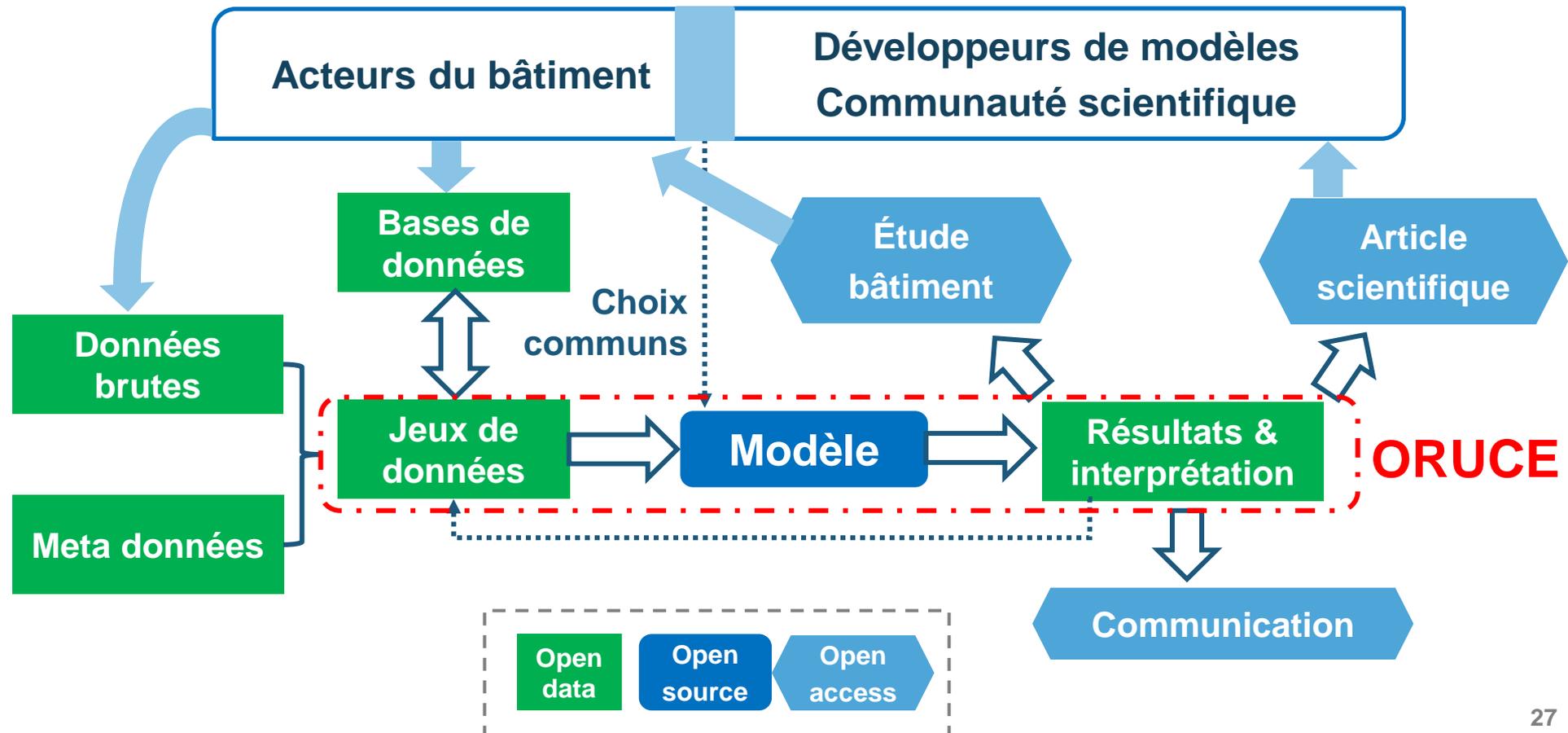
- Réduction des efforts parallèles
- Meilleure collaboration entre science & politiques

- Outils utiles, accessible et durables
- Identification et réduction des biais
- Plateforme et licences ouvertes

Freins : manque de connaissance en science ouverte, inertie institutionnelle et propriété intellectuelle

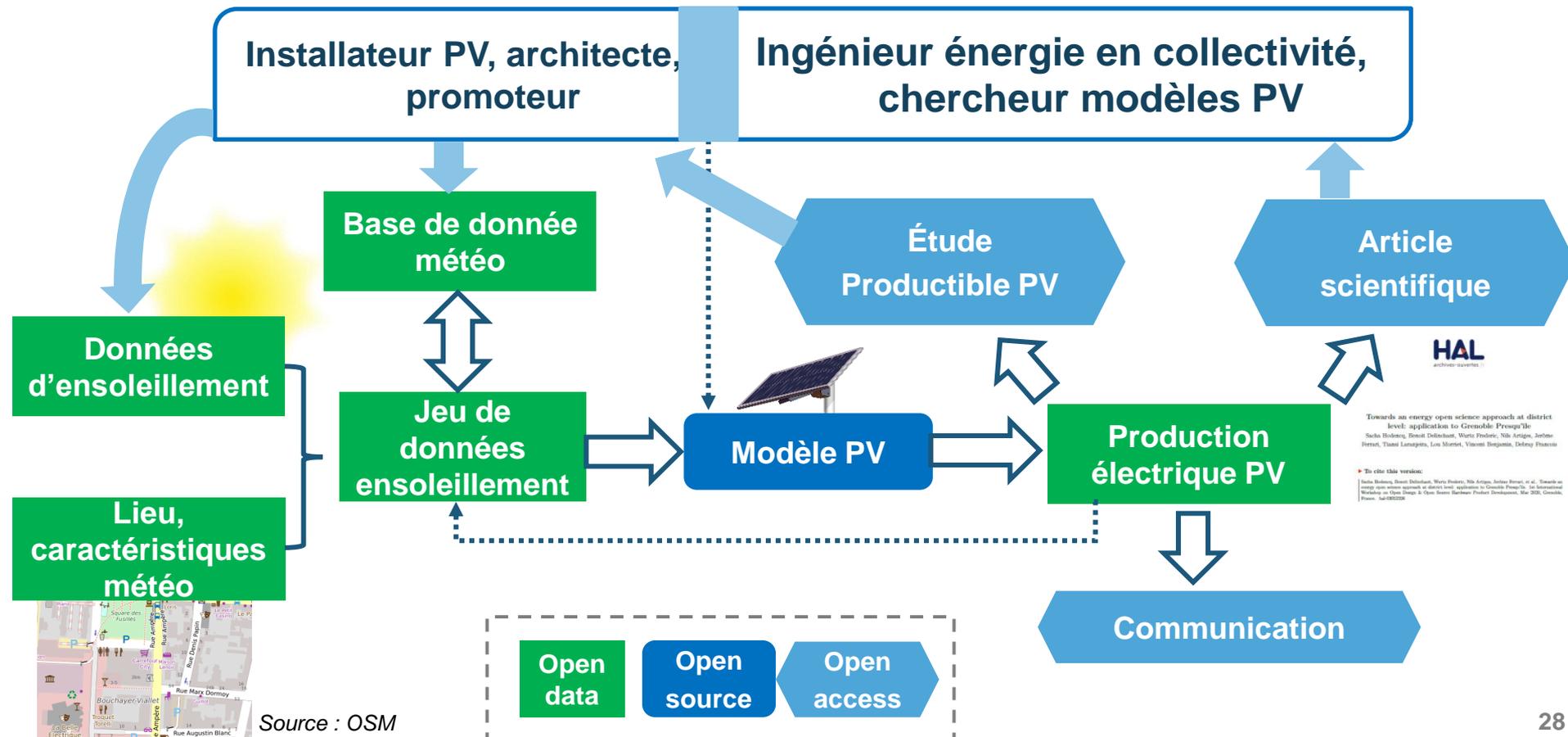
MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE OUVERTE

- **Scénario de modélisation énergétique ouverte à l'échelle quartier**
Open and Reproducible Use Case for Energy (ORUCE)



MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE OUVERTE

■ Scénario de modélisation énergétique ouverte à l'échelle quartier Open and Reproducible Use Case for Energy (ORUCE)



MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE : OPEN DATA & OPEN ACCESS

Où trouver...

■ des bases de données énergétiques ouvertes ?

▶ Institutions publiques

- RTE : <https://www.rte-france.com/eco2mix>
- Enedis : <https://data.enedis.fr/pages/accueil/?id=init>
- Réseau énergie: <https://opendata.reseaux-energies.fr/pages/accueil/>

▶ Organismes de recherche

- Internationaux : <https://ourworldindata.org/>
- Locaux : <http://mhi-srv.g2elab.grenoble-inp.fr/API/>

■ Des publications en open access ?

- ▶ [HAL](#), [arXiv](#) pour la recherche
- ▶ L'[ADEME](#) , et son site [Bilan GES](#)

OUTILS DE MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE OPEN SOURCE

Deux outils Open Source développés en Python au G2Elab :

1. OMEGAAlpes : modeleur de problème d'optimisation linéaire (MILP) pour systèmes énergétiques

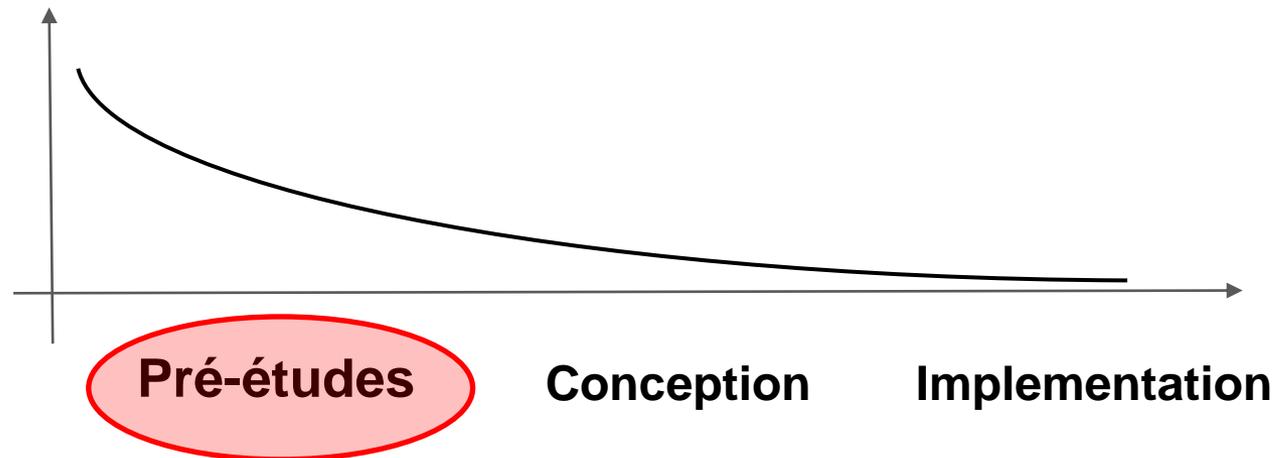


2. NoLOAD : Optimisation non-linéaire par différenciation automatique pour composants et systèmes.

MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE OUVERTE

- Focus modélisation énergétique en **phases amont de conception de projets urbains**

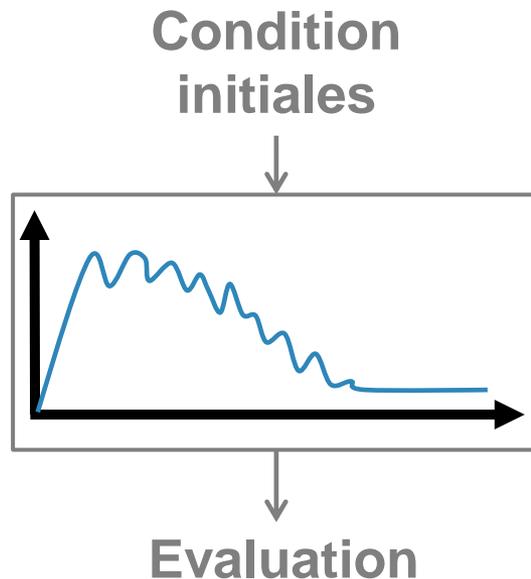
Nombre de variables
de conception



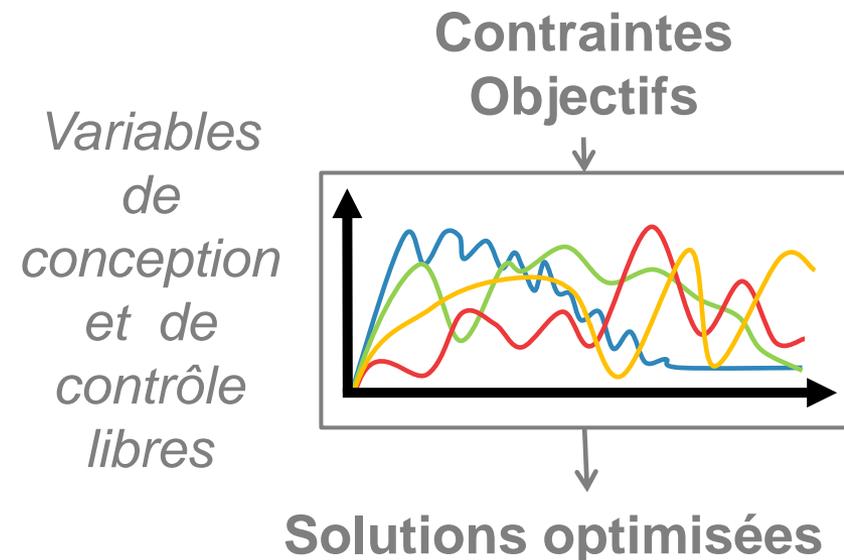
MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE OUVERTE

- Focus modélisation énergétique en **phases amont de conception de projets urbains**

- **Simulation (Un scénario)**



- **Optimisation (Plusieurs scénarios)**



MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE OUVERTE

- Focus modélisation énergétique en **phases amont de conception de projets urbains**

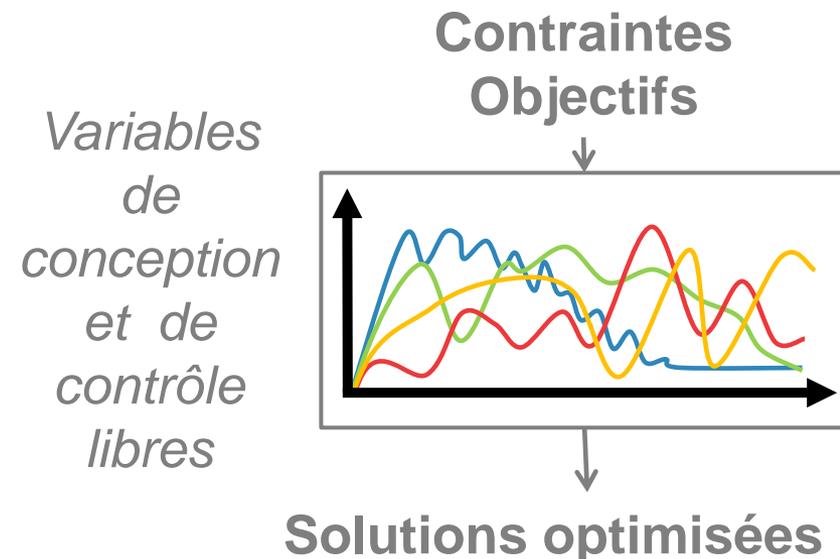
Linear Programming (LP)

Nombreuses variables de décision

Mixed Integer (MI)

Variables discrete et continues

- **Optimisation (Plusieurs scénarios)**



MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE OUVERTE

Minimise $c^T x + d^T y$

Subject to: $Ax + By \leq b$

$x_{\min} \leq x \leq x_{\max}$, $y \in \{0,1\}^m$

With:

$c \in \mathbb{R}^n$, $d \in \mathbb{R}^m$, $b \in \mathbb{R}^p$ data vectors

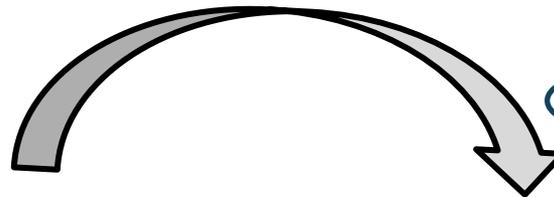
$x \in \mathbb{R}^n$, $y \in \{0,1\}^m$ variables vectors

$x_{\min} \in \mathbb{R}^n$, $x_{\max} \in \mathbb{R}^n$ low and up bounds
vectors

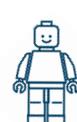
$A \in \mathbb{R}^{p \times n}$ and $B \in \mathbb{R}^{p \times m}$ matrixes to
define the variable constraints

OMEGALPES

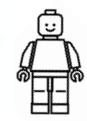
python



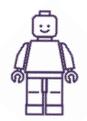
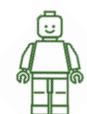
Objective



❖ constraint



❖ constraints



OMEGAAlpes
Open Source Optimisation Library

Production – Consumption
Storage - Conversion

Modèle énergétique avec parties prenantes

INTERFACE OMEGALPES

The screenshot displays the OMEGALPES interface. On the left, there is a vertical menu with four dropdown items: "Production Units", "Consumption Units", "Storage Units", and "Node". The main workspace shows a diagram with three red components: "Variable Production" (with a red arrow icon), "Node" (a red circle), and "Fixed Consumption" (with a red play button icon). Arrows indicate a flow from "Variable Production" to "Node" and from "Node" to "Fixed Consumption". On the right, a "Properties" panel is open, showing the following fields:

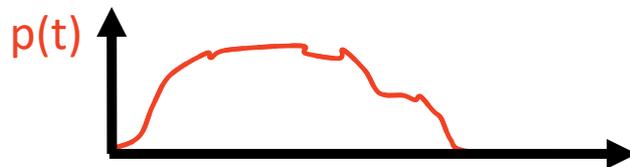
- Name: Fixed Consumption
- Energy type: Thermal
- Parameters: (dropdown)
- ConsumptionUnit objectives: (dropdown)
- EnergyUnit objectives: (dropdown)
- EnergyUnit constraints: (dropdown)

At the bottom of the Properties panel are two buttons: "Delete" (red) and "Save" (green).

OMEGALPES : APPLICATIONS

■ Deux types de flexibilité

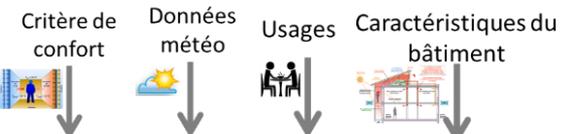
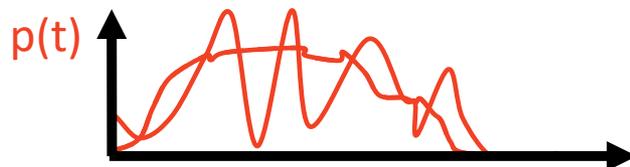
- Flexibilité temporelle



Courbe de consommation

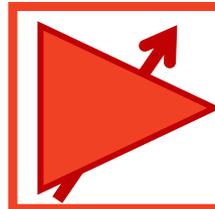
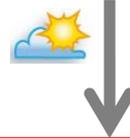


- Flexibilité en puissance



OMEGALPES : APPLICATIONS

Données
météo

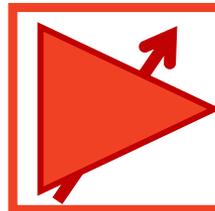


Besoins thermiques
modulables du bâtiment

- Données météorologiques :
 - Fichiers météorologiques standards pour la ville de Grenoble

OMEGALPES : APPLICATIONS

Usages



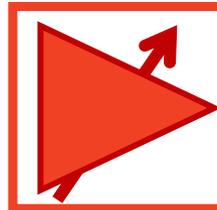
Besoins thermiques
modulables du bâtiment

■ Usages :

- Scénarios d'occupation standards (TEASER)

OMEGALPES : APPLICATIONS

Caractéristiques du
bâtiment

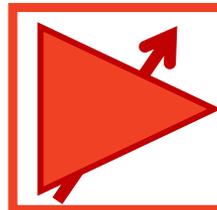
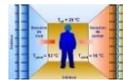


Besoins thermiques
modulables du bâtiment

- **Caractéristiques du bâtiments :**
 - ▶ Les fichiers RSET (Récapitulatif Standardisé d'Étude Thermique)
 - ▶ Les SIG (Systèmes d'Information Géographique)
 - ▶ Des données statistiques (TEASER)

OMEGALPES : APPLICATIONS

Critère de confort

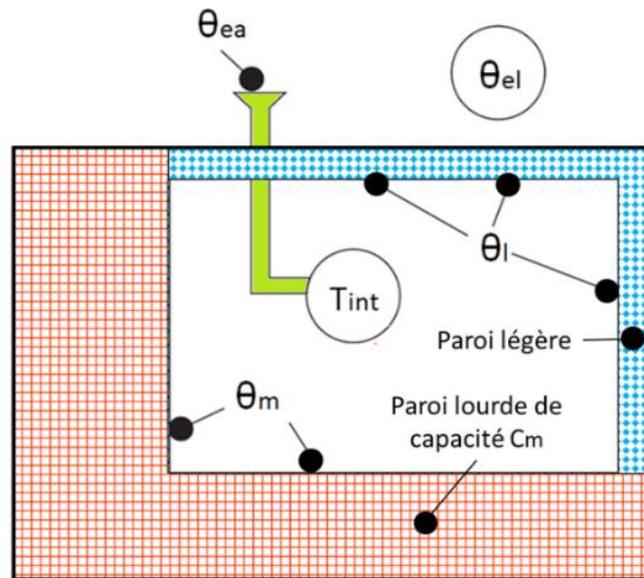


Besoins thermiques modulables du bâtiment

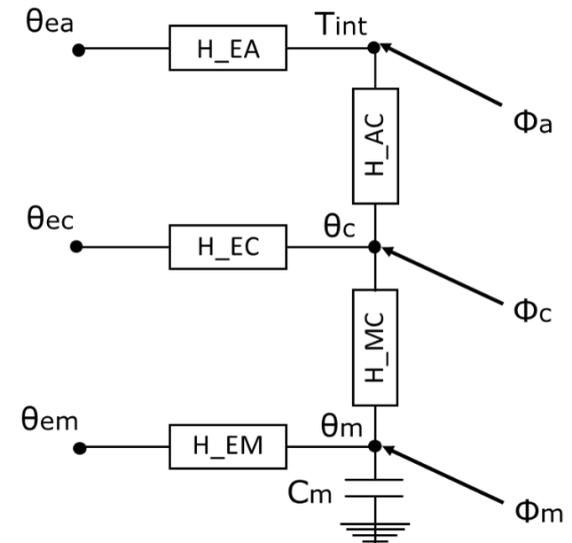
- Paramètres relatifs au confort thermique :
 - Température de consigne : valeur standard de 20° C
 - Variation autorisée : augmentation seule

OMEGALPES : APPLICATIONS

Représentation visuelle



Modèle équivalent (RC simplifié)



NOLOAD

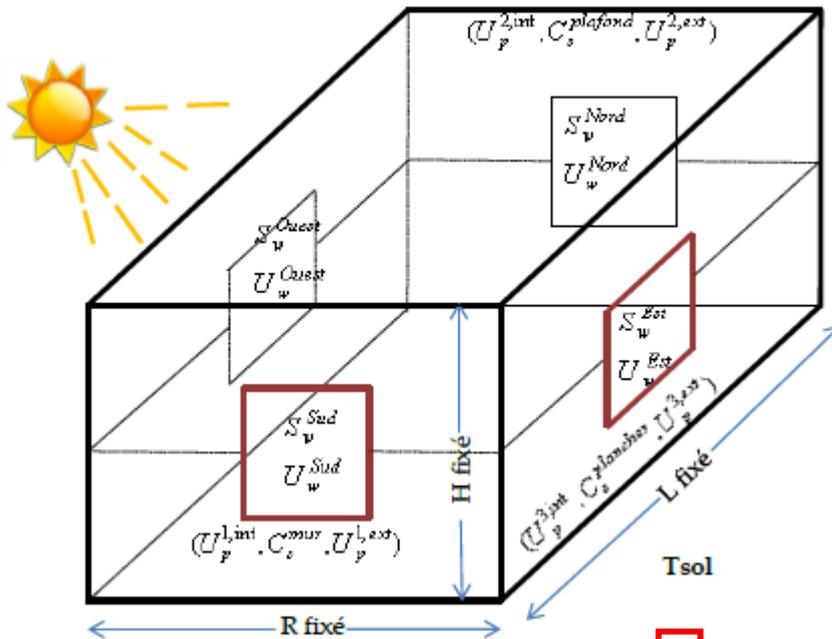
- **Différenciation automatique : très léger, simple d'utilisation et performant.**

- **Optimisation non-linéaire :**
 1. Renseigner les paramètres d'entrée
 2. Indiquer les variables d'optimisation avec bornes et valeur initiale
 3. Déterminer un ou plusieurs objectif(s)
 4. Éventuellement ajouter des contraintes d'égalité / inégalité
 5. Lancer l'optimisation

Cas d'étude : dimensionnement transformateur avec ACV, compromis ACV – autoconsommation PV, ...

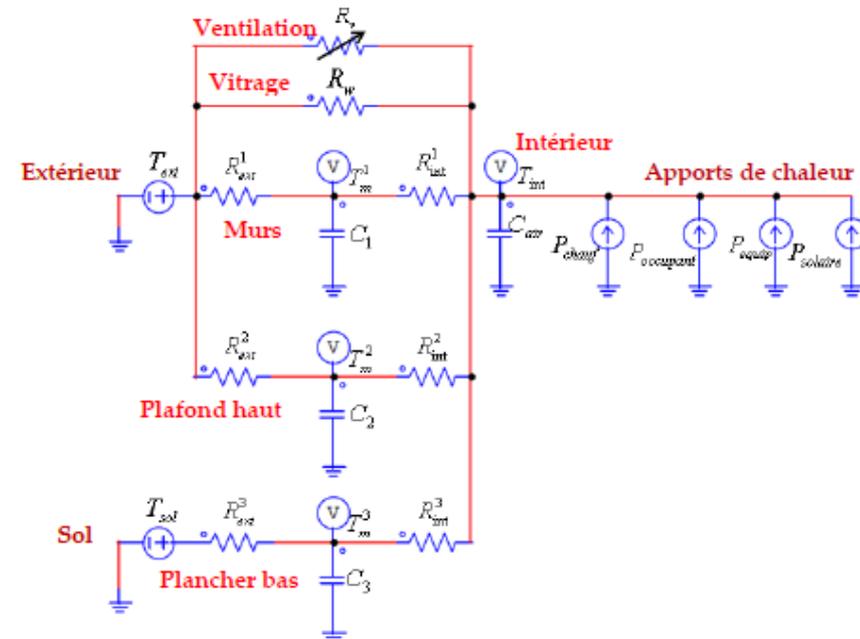
ET thèse van Binh Dinh, 2017, Chapitre 5 avec l'outil CADES

CAS D'ÉTUDE ENVELOPPE BÂTIMENT



Text

Paramètres : profils d'occupation, de température, coûts équipements, ...
Variables : enveloppe bâtiment

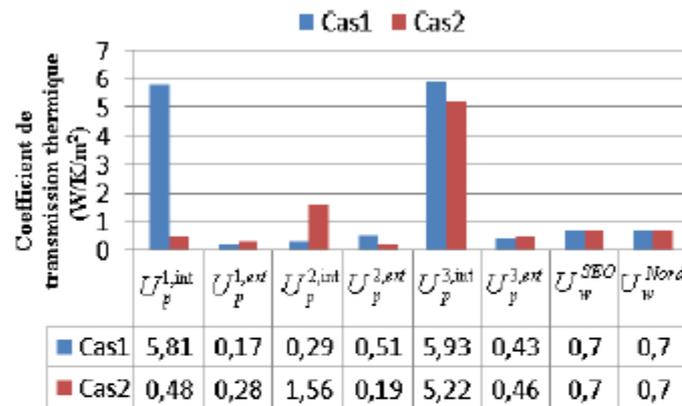


Objectifs : minimiser le coût sur le cycle de vie du bâtiment et l'inconfort thermique.
Inégalités : surfaces vitrées / surface enveloppe, ...

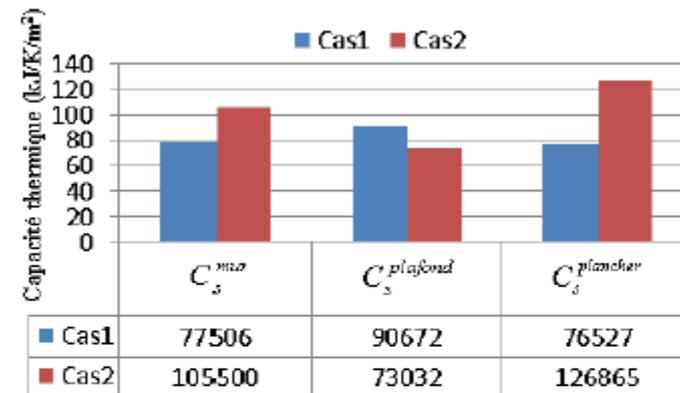
CAS D'ÉTUDE ENVELOPPE BÂTIMENT

+ Résultats de dimensionnement :

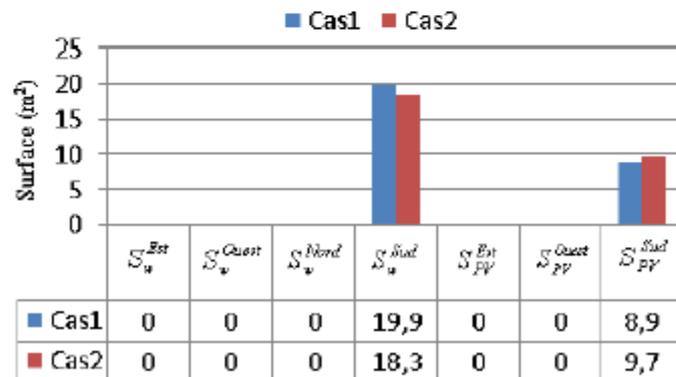
Cas 1 (2°C.h/jour d'inconfort) et Cas 2 (0.5°C.h/jour d'inconfort)



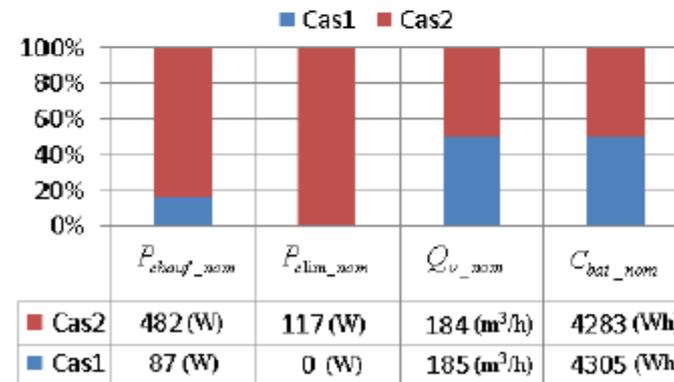
a. Isolation des parois opaques et vitrées



b. Capacité thermique surfacique



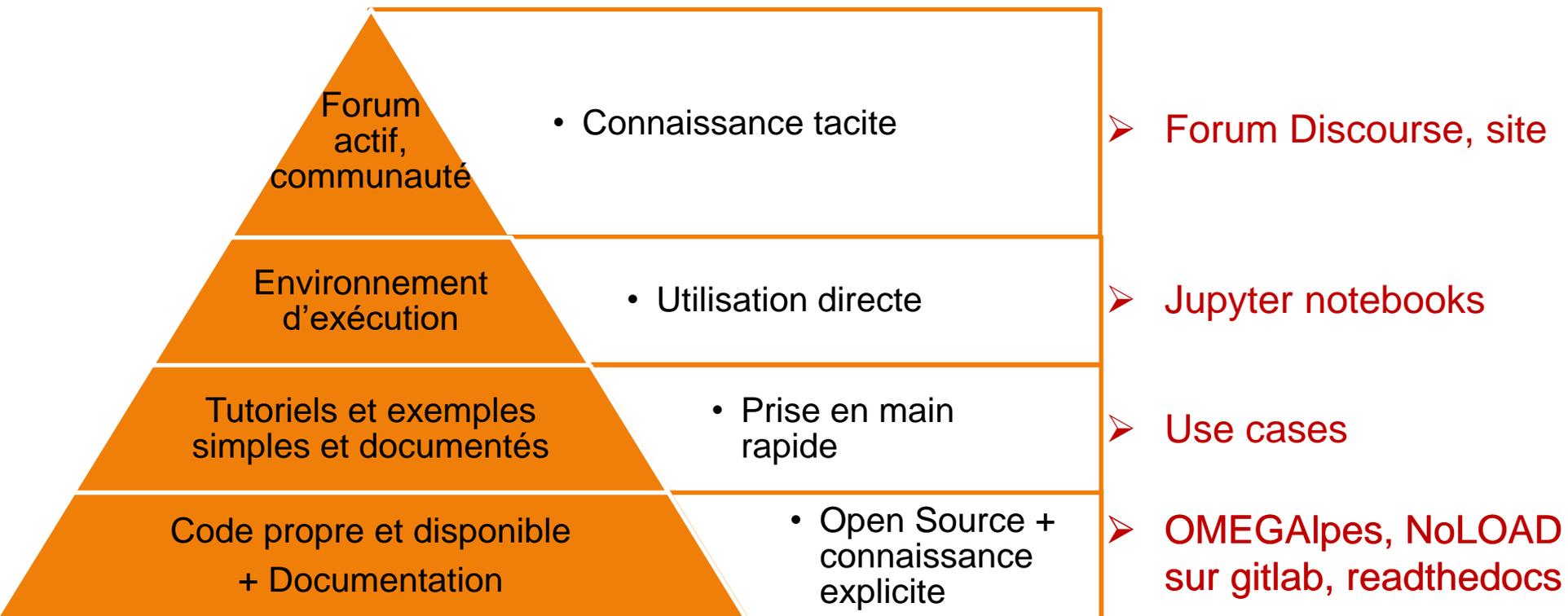
c. Surfaces vitrées et Surfaces PV



d. Taille des systèmes HVAC & Batterie

PLATEFORME DE MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE OUVERTE : COFFEE

■ Plateforme de modélisation énergétique ouverte



PLATEFORME DE MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE OUVERTE : COFFEE

What is COFFEE ?

How to use COFFEE ?

Documentation

About us

Qu'est-ce que COFFEE ?

COFFEE est une plateforme en ligne proposant une bibliothèque de cas d'étude pour la conception et l'opération optimale de système énergétiques. Ces cas d'étude sont détaillés dans des **Jupyter Notebooks**, des fichiers descriptifs intégrant du texte, des images et du code modifiable & exécutable directement depuis l'interface. La résolution de ces cas d'étude repose sur des **jeux de données ouverts**, des **outils open source** développés au laboratoire, et est présentée dans des **publications en open access**. La plateforme dispose aussi d'espaces de socialisation tels qu'un **forum** pour pouvoir échanger autour des thématiques énergétiques ou des outils et cas d'études eux-mêmes.

Comment
utiliser
COFFEE
?

Outils open source

OMEGAAlpes Gitlab – *readthedocs* -
NoLOAD Gitlab – *readthedocs*
CADES

Forum



In order to discuss energy systems design and operation issues, as well as the tools and use cases.

Open data

MHI, ...

Bibliothèque Use cases



Energy system optimisation presented through Jupyter Notebooks

Publi Open access

HAL



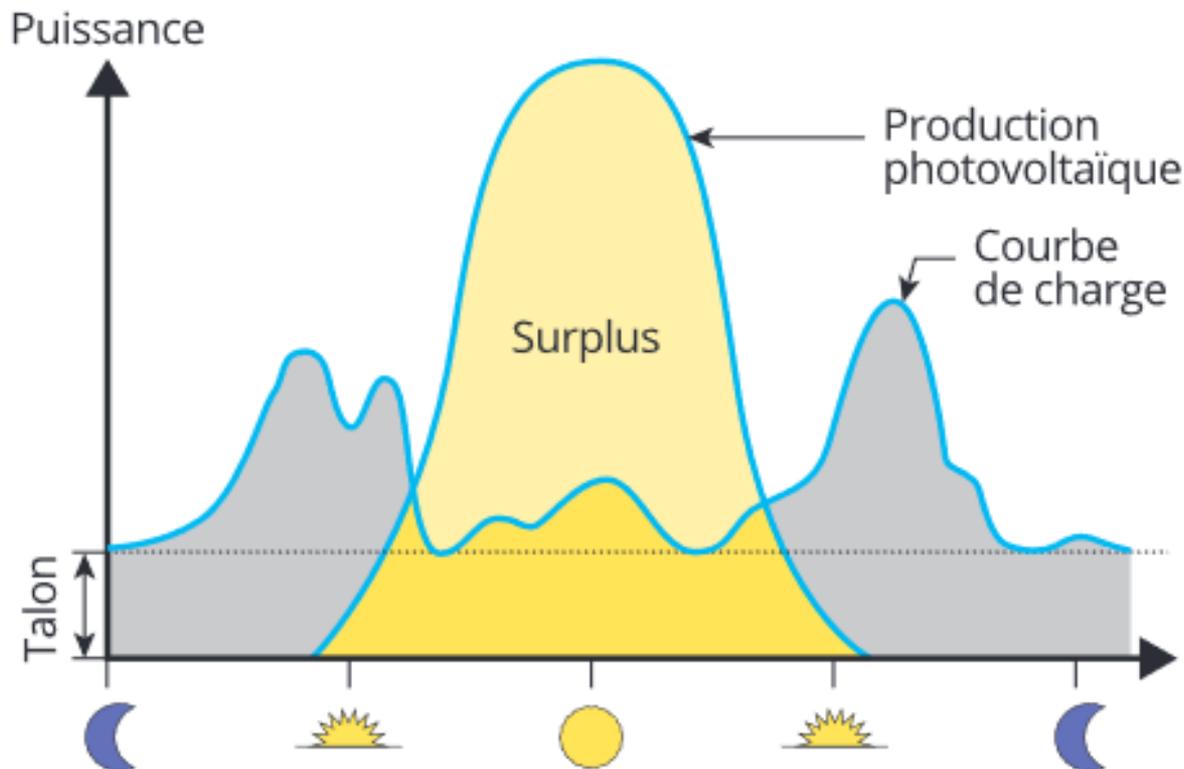
Eco-SESA

Univ. Grenoble Alpes

PAUSE

AUTOCONSOMMATION PHOTOVOLTAÏQUE

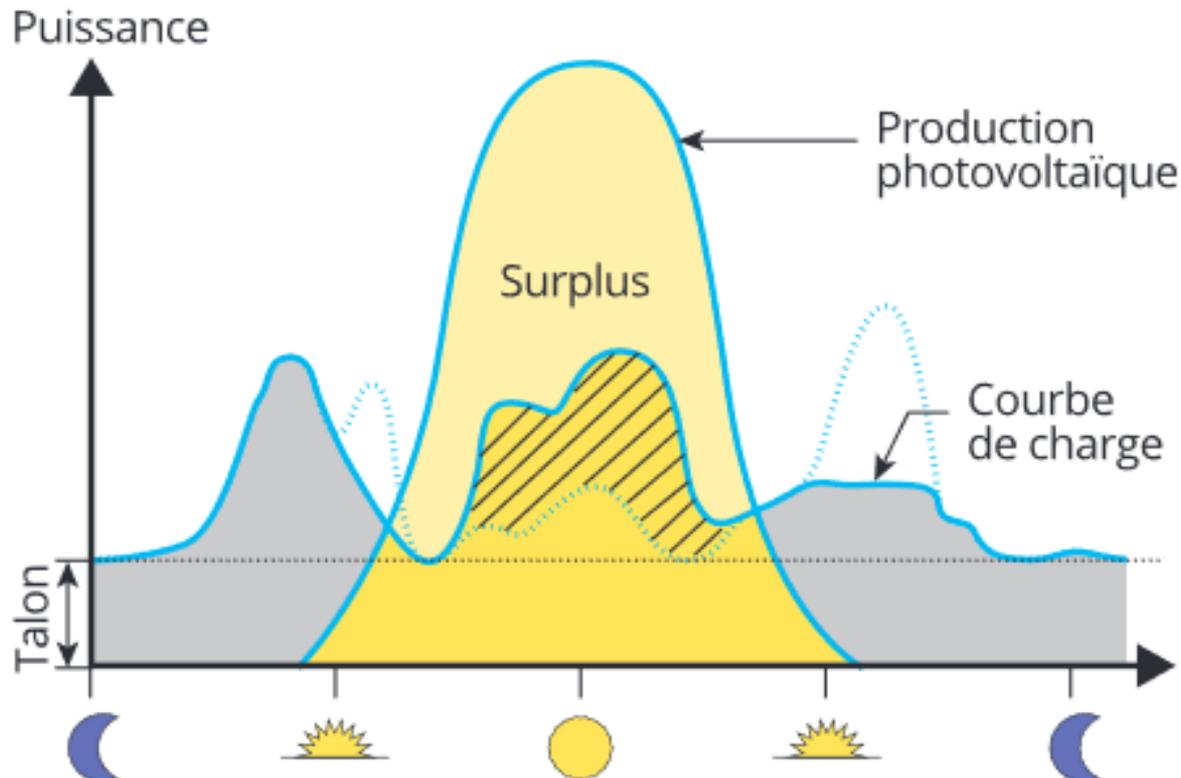
- **Autoconsommation** : utilisation de tout ou partie de l'électricité solaire sur le lieu où elle est produite
- **Taux d'autoconsommation** : part d'électricité PV consommée localement par rapport à la totalité de l'électricité PV produite



Source : ADEME
Occitanie, d'après
l'illustration de © l'AQC

AUTOCONSOMMATION PHOTOVOLTAÏQUE

- **Autoconsommation** : utilisation de tout ou partie de l'électricité solaire sur le lieu où elle est produite
- **Taux d'autoconsommation** : part d'électricité PV consommée localement par rapport à la totalité de l'électricité PV produite



Source : ADEME
Occitanie, d'après
l'illustration de © l'AQC

AUTOCONSOMMATION PHOTOVOLTAÏQUE

■ **Quizz : intérêts de l'autoconsommation ?**

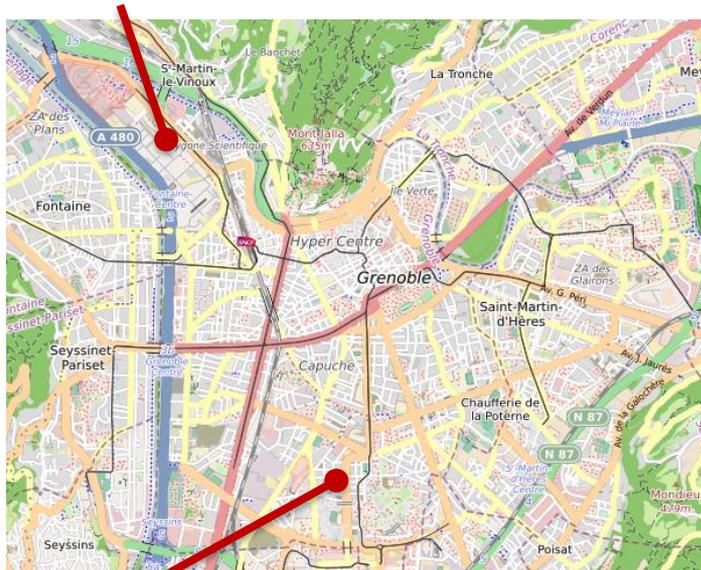
- ▶ Réduire la pression sur le réseau électrique,
- ▶ Diminuer les pertes de distribution et transport d'électricité
- ▶ Sensibilisation du producteur à sa consommation d'électricité,
- ▶ Proposer un mode de financement du PV complémentaire
- ▶ Zones où le réseau est contraint et dans les bâtiments où la production et la consommation sont bien corrélées (supermarchés, entrepôts frigorifiques, certains bureaux...)

AUTOCONSOMMATION PV : NOTEBOOK

■ Objectifs de l'étude :

- ▶ Dimensionnement d'une installation PV et batterie pour un bâtiment résidentiel
- ▶ Processus de modélisation énergétique ouverte,

GreEn-ER

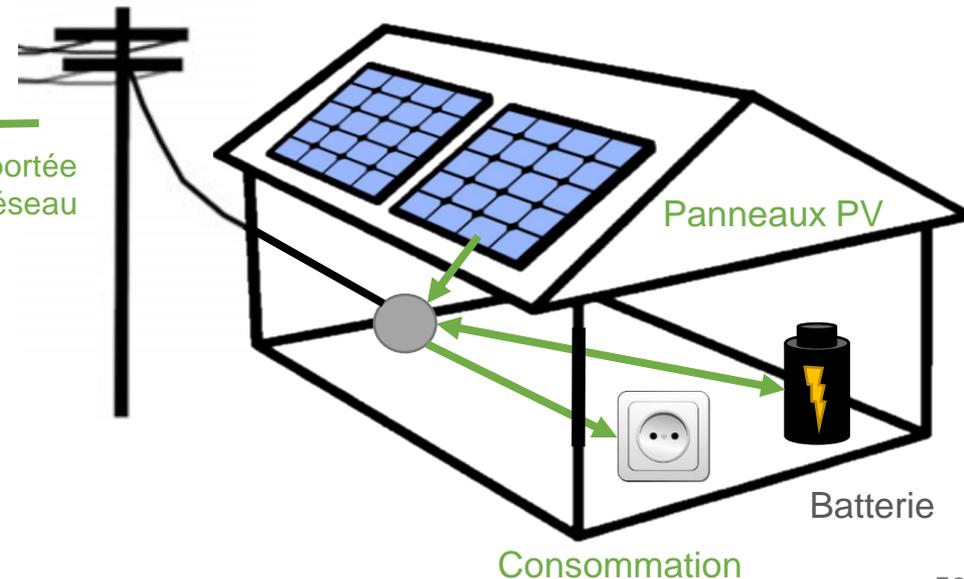


ENSAG

Électricité importée
depuis le réseau



Électricité exportée
sur le réseau



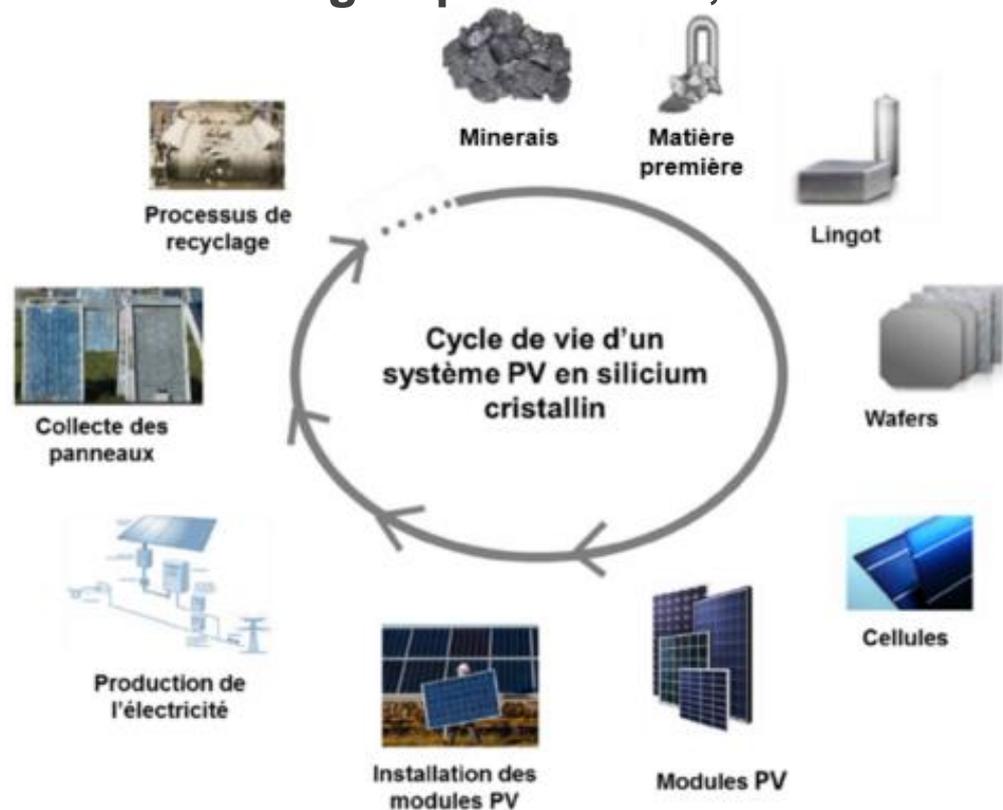
AUTOCONSOMMATION PV : NOTEBOOK

■ Objectifs de l'étude :

- ▶ Dimensionnement d'une installation PV et batterie pour un bâtiment résidentiel
- ▶ Processus de modélisation énergétique ouverte,

Cycle de vie d'un panneau solaire photovoltaïque

Source : thèse Nouha Gazbour, tous droits réservés



AUTOCONSOMMATION PV : NOTEBOOK

■ Objectifs de l'étude :

- ▶ Dimensionnement d'une installation PV et batterie pour un bâtiment résidentiel
- ▶ Processus de modélisation énergétique ouverte,

■ Déroulé :

1. Import et gestion des données d'entrée
2. Extraction de 3 journées représentatives
3. Utilisation d'un modèle panneau photovoltaïque
4. Calcul de l'impact environnemental de ce système
5. Optimisation du dimensionnement des panneaux et batteries
6. Limites et discussion

AUTOCONSOMMATION PV : NOTEBOOK

■ **Partie pratique :**

- ▶ **Répartition par groupes**
- ▶ **Utilisation notebook (cf tuto)**
- ▶ **Code affiché mais rien à coder !**
- ▶ **Todo : sur word / sur le NB dans les zones grisées**

UN CAS D'ÉTUDE : ONIRI 2070

■ ONIRI 2070 : un spectacle – une cité future

- ▶ Objectifs de mobilité, d'autonomie et de respect de l'environnement
- ▶ Sobriété (1 kWh), Low-Techs, énergies renouvelables

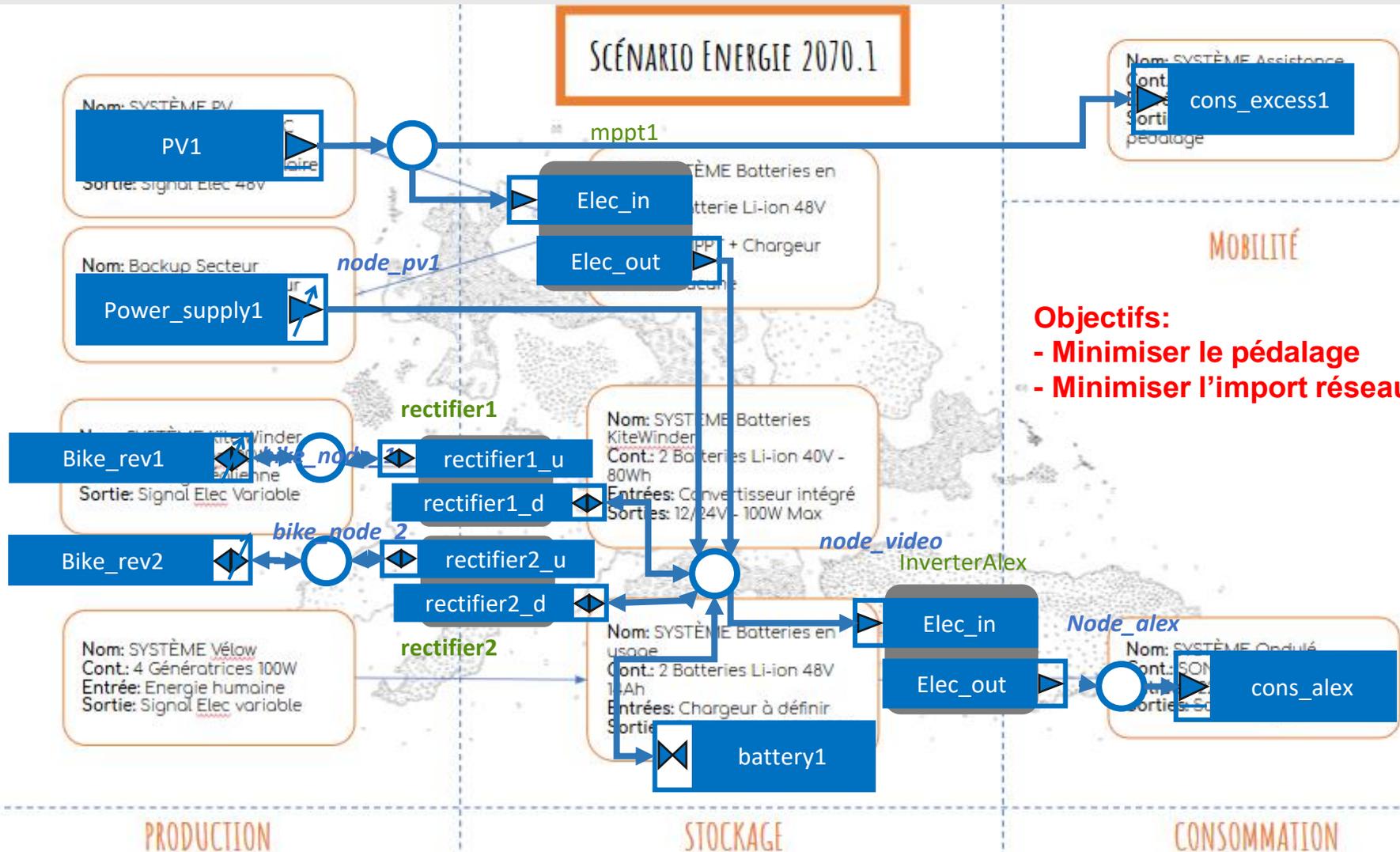
■ Implication du citoyen dans le spectacle :

- ▶ Études artistique / technique / sociologique



Crédit photo: Arno Villenave

SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE ET MODÈLE ONIRI 2070



SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE ET MODÈLE ONIRI 2070

■ Intégrer les Low-Tech dans des systèmes énergétiques : exploration de scénarios énergétiques

- ▶ Dimensionnement stockage
- ▶ Étude opérationnelle fonction du contexte
 - Aide à la décision
 - Choix du matériel sous conditions (météo, ...)
 - Pédagogie
- ▶ Futurs scénarios énergétiques

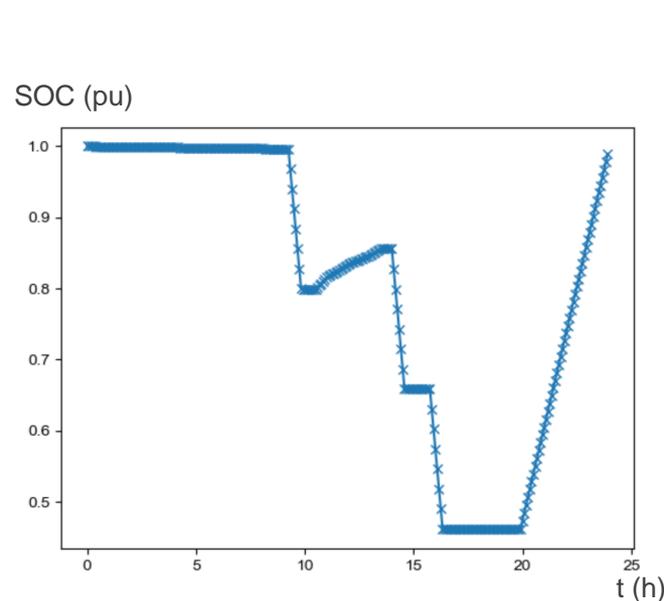
■ Notebook pour échanges et pédagogie

■ Lien notebook :

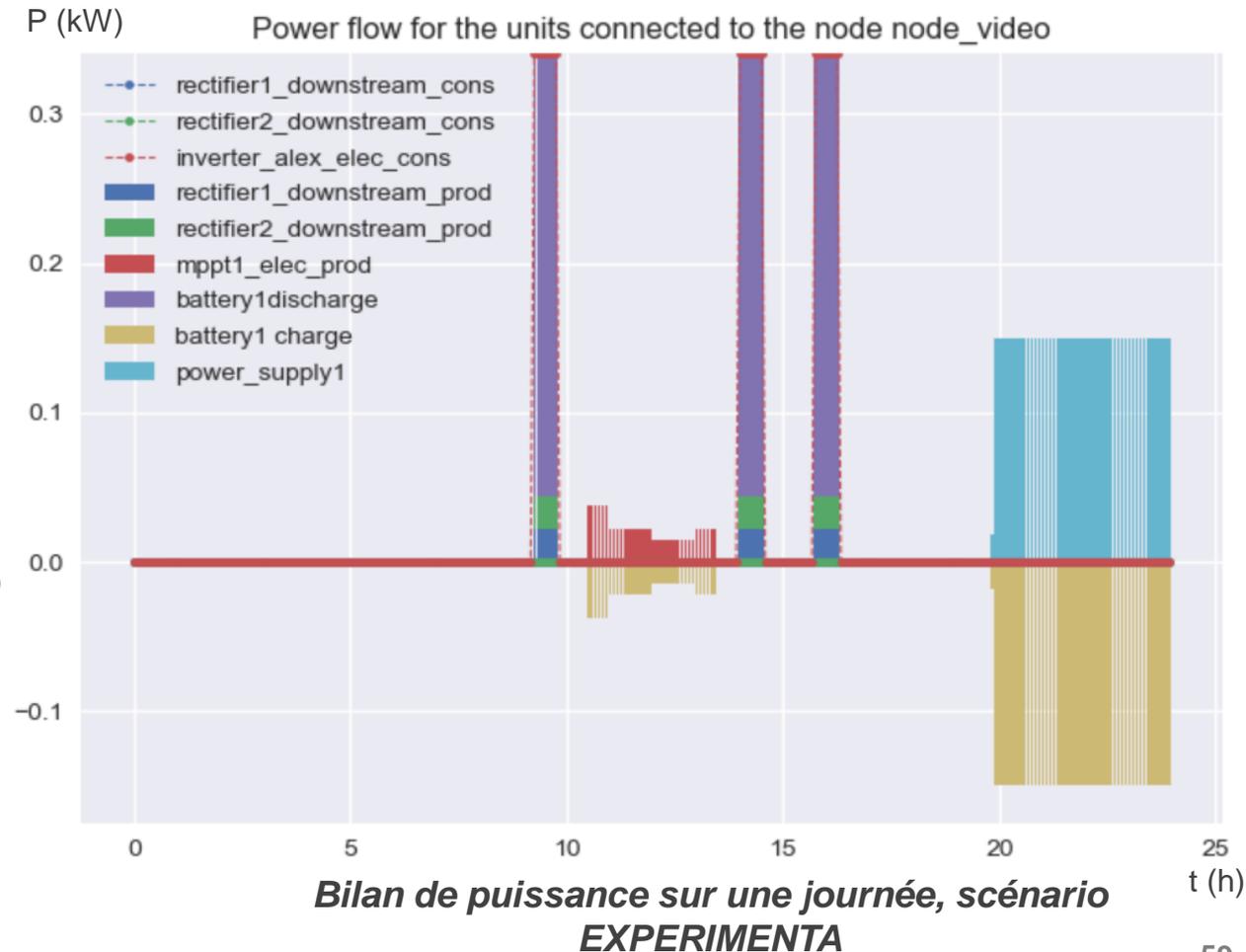
https://mybinder.org/v2/git/https%3A%2F%2Fgricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr%2Fomegalpes%2Fomegalpes_examples/HEAD?filepath=%2Fnotebooks%2Foniri_exp_fr.ipynb

SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE ET MODÈLE ONIRI 2070

■ Exemple de résultats



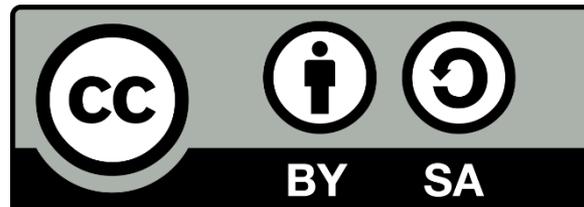
État de charge batterie sur une journée





Eco-SESA
Univ. Grenoble Alpes

**Merci pour votre attention
et vos retours**



Licence

Except where otherwise noted, this work and its contents (texts and illustrations) are licensed under the Attribution 4.0 International ([CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/))

Please quote as: “Séminaire ENSAG modélisation énergétique ouverte” © Sacha Hodencq, [G2Elab](https://www.g2elab.com/) | [CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)