



EnergyScope V2.0

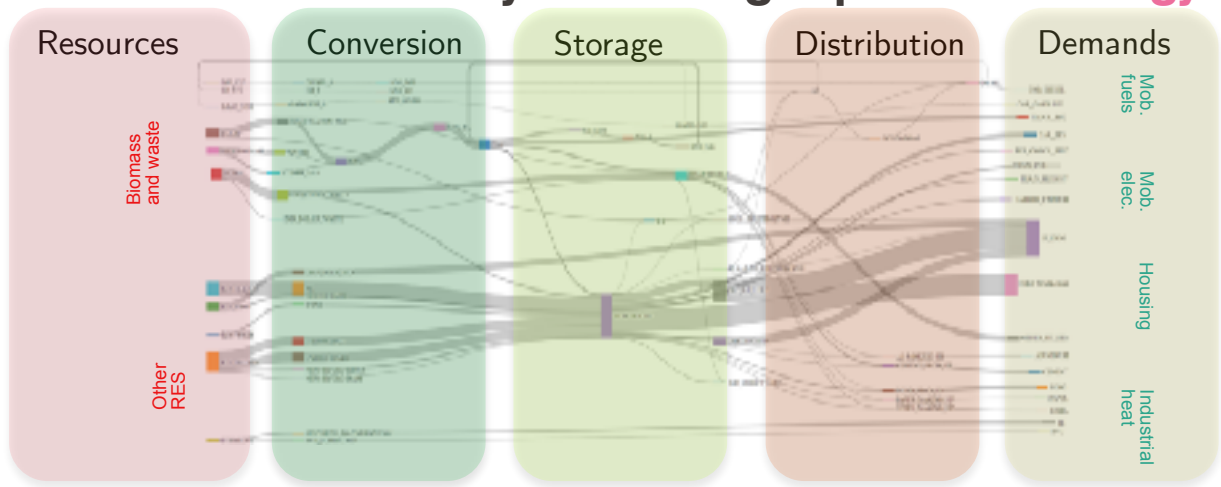
Le rôle de l'Infrastructure dans le système énergétique



Jonas Schnidrig
Prof. François Maréchal

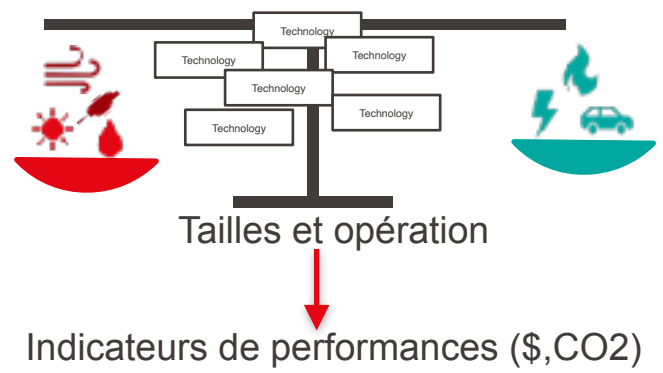


Sion – 15.11.2023

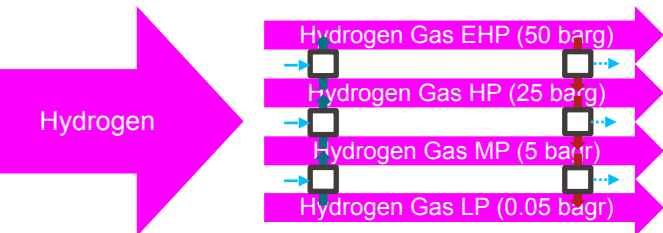
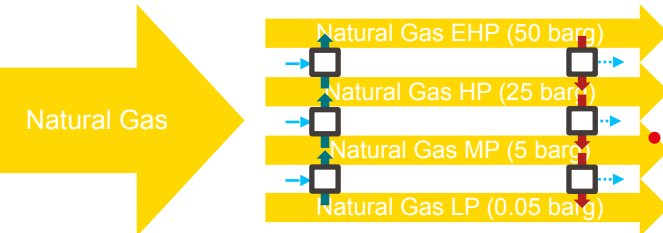
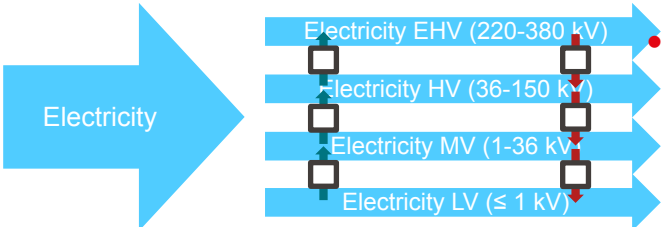


Technologies : Sizes - Operation

Data base
 Conversion
 Storage
 Distribution
 Supply



Caractérisation de l'infrastructure



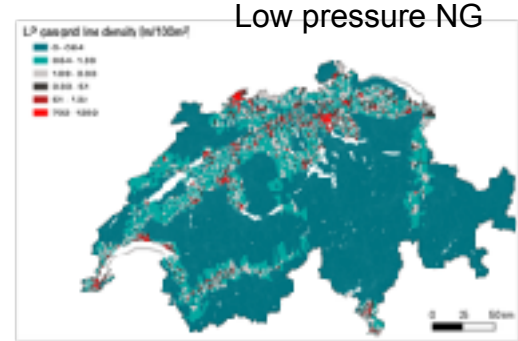
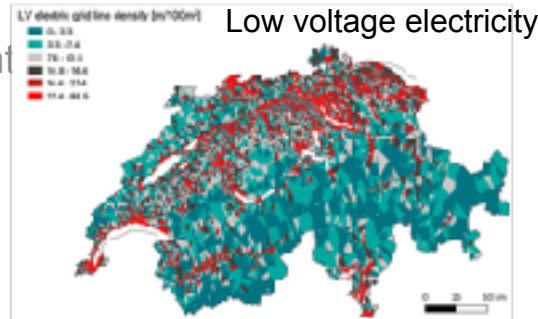
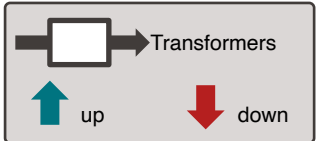
Vecteurs énergétiques

Électricité, NG, H₂
 Chauffage et refroidissement à distance

Niveaux de distribution

Électricité: LV, MV, HV, EHV
 Gaz: LP, MP, HP, EHP

Conversion



Explication schématique de la méthode de séparation des réseaux en niveaux de puissance

Carte de la Suisse avec les densités de lignes de réseau estimées selon la méthode. La figure du haut montre les lignes électriques, pour les polygones de moyenne tensions déterminées par la localisation MT/HT. La figure du bas montre le réseau de gaz à pression équivalente, appliqué aux cellules du réseau moyenne tension dans un rayon de 5 km des lignes du réseau de gaz EHP et HP.

EPFL Infrastructure model

- Mass / Energy balance

$$\dot{E}_g^{in} = \dot{E}_g^{loss} + \dot{E}_g^{out}$$

- The losses are proportional to the typical grid length

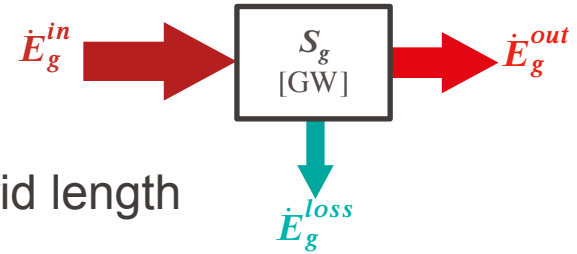
$$\dot{E}_g^{loss} = \dot{E}_g^{in} \cdot \eta_g \cdot l_g^{ref}, \quad \forall g \in GRIDS$$

- Losses factor^[1] $\eta_g \left[\frac{\%}{\text{km}} \right]$
- Typical grid length $l_g^{ref} [\text{km}]$

- The costs are proportional to the grid size and existing grid length

$$C_g^{inv} = S_g \cdot c_g^{inv} \cdot l_g^{ext}$$

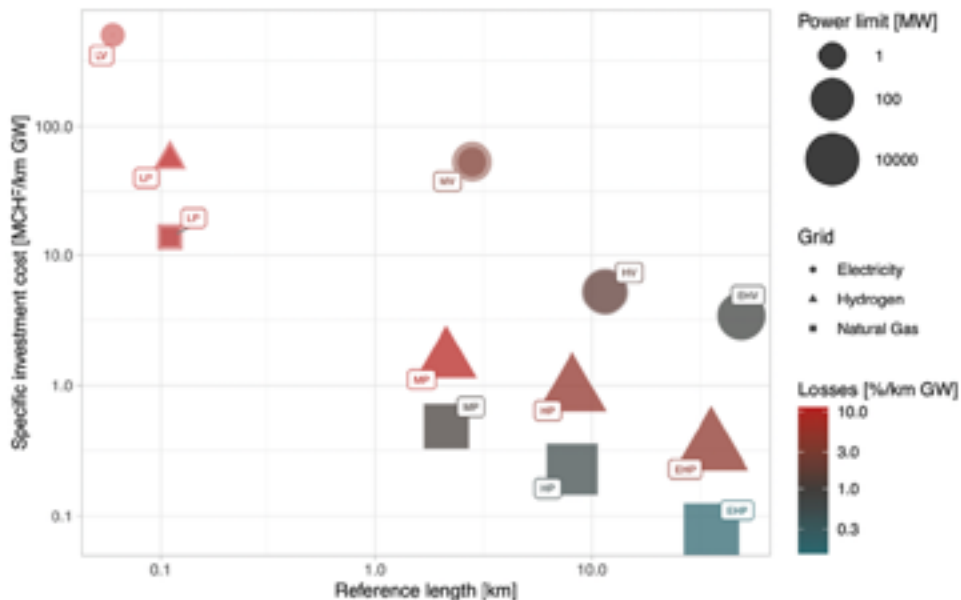
- Installed grid capacity^[2] $S_g [\text{GW}]$
- Specific investment costs^[1] $c_g^{inv} \left[\frac{\text{CHF}}{\text{GW} \cdot \text{km}} \right]$
- Existing grid length^[3] $l_g^{ext} [\text{km}]$



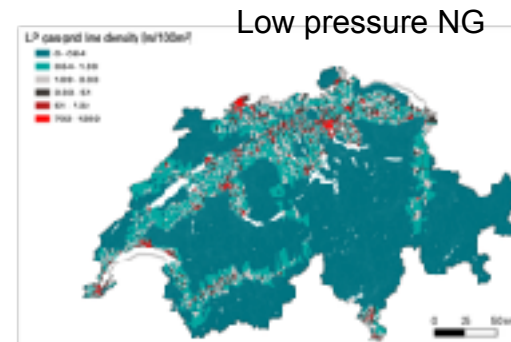
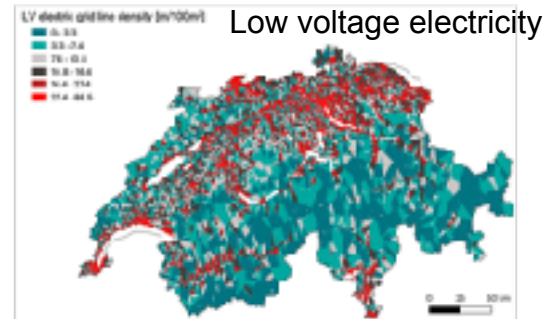
[1] From literature

[2] Adapted from Gupta et al. 2020

[3] From statistics



Caractérisation technico-économique de l'infrastructure des réseaux électrique, de gaz naturel sous pression et d'hydrogène, divisée en quatre niveaux de puissance : très haute pression et tension (EH), haute (H), moyenne (M) et basse (L). Le rayon intérieur correspond à la limite de puissance minimale et le rayon extérieur à la limite de puissance maximale. Les pertes spécifiques [%] sont calculées à partir des valeurs de référence de l'infrastructure suisse moyenne. Les pertes spécifiques $\left[\frac{\%}{\text{GW km}} \right]$ sont affichées dans les bulles spécifiques.



Carte de la Suisse avec les densités de lignes de réseau estimées selon la méthode. La figure du haut montre les lignes électriques, pour les polygones de moyenne tension déterminés par la localisation MT/HT. La figure du bas montre le réseau de gaz à pression équivalente, appliqué aux cellules du réseau moyenne tension dans un rayon de 5 km des lignes du réseau de gaz EHP et HP.

EPFL Model validation

Infrastructure simulation

2020 energy system

Losses

Losses & self-consumption	EnergyScope	BFE ¹	Error
Electricity	7878	8438	-6.63
NG	118	105	12.38
H ₂	0	0	0

[1] Gesamtenergiestatistik 2020, 2021 BFE Ittigen

- Comparison of the grid losses & self-consumption model results vs reality

Cost validation

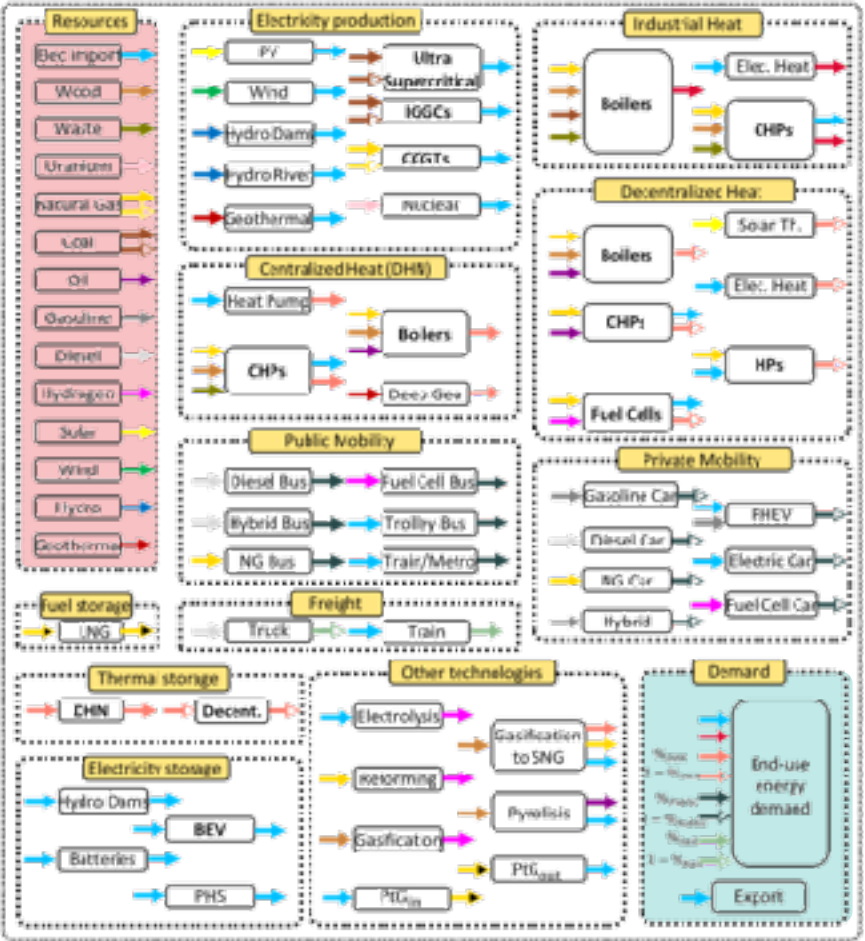


Elcom: $\frac{1}{3}$ of the electricity price for transmission

EnergyScope: 37% energy system investment costs for electrical infrastructure

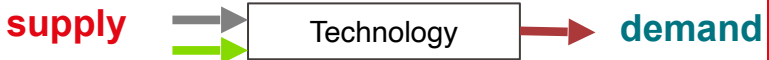
Breakdown of 2020 investment costs expressed in CHF per capita per year with a population of 8.637 million in 2020. Modeling validation and infrastructure costs. Modeled by simulating the characteristics of the Swiss energy system in 2020.

EPFL Energy system model: Technologies



EnergyScope: schematic representation of the model structure (Moret et al. 2016)

Conversion technologies definition



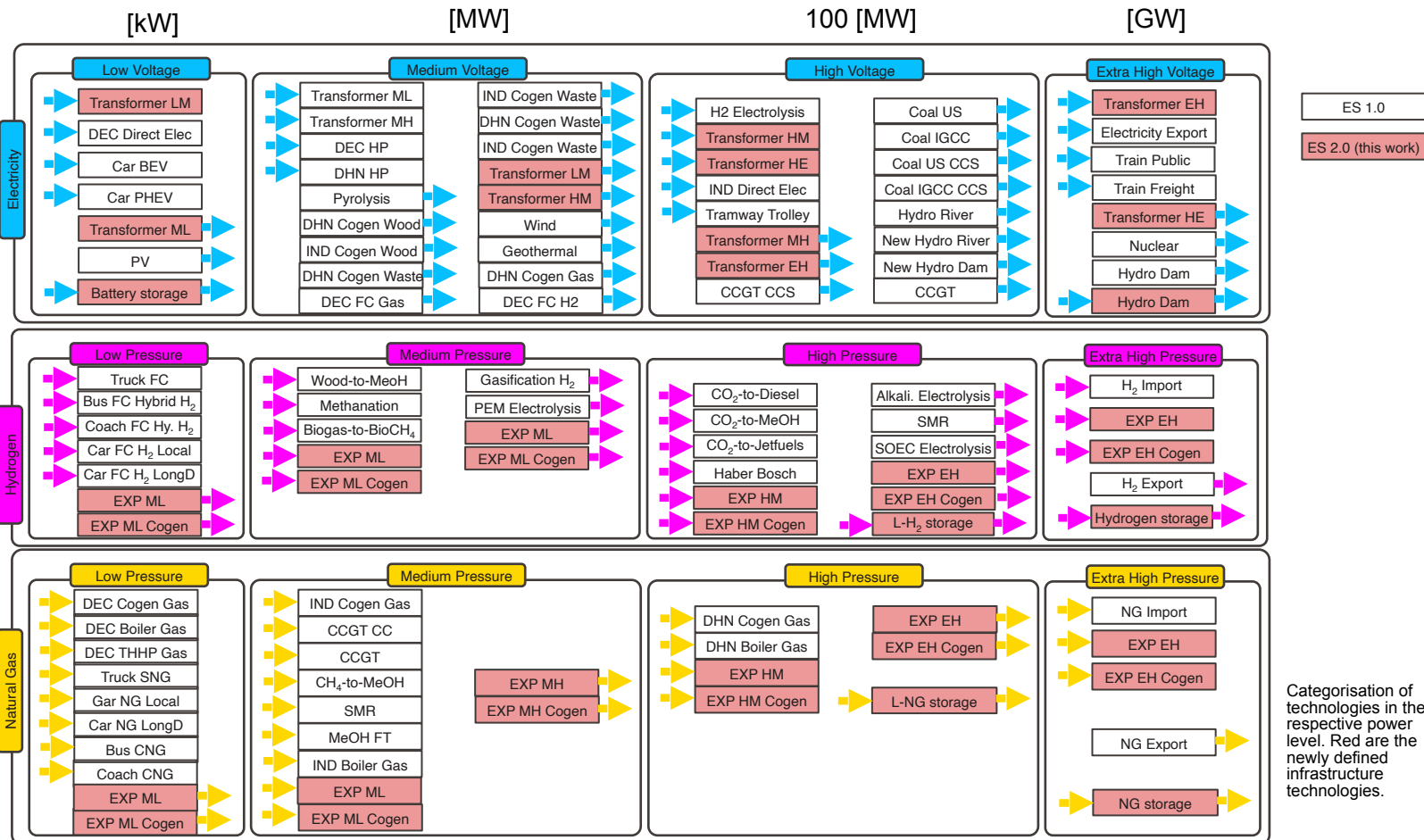
- **Efficiency**
 - Energy balance
 - Mass balance
 - **Costs**
 - Investment
 - Maintenance
 - **Emissions**
 - Construction
 - Operation
 - **Uncertainty**
 - Learning curves
- Market Data sources
- **Transparency**
 - > 100 Technologies
 - Open Access

Legend

Electricity [GW]	Natural Gas [GW]	Public Mobility [Mpass/h]	Geothermal [GW]
Wenium [GW]	NG (CCS) [GW]	Private Mobility [Mpass/h]	Heat Low T (H-L) [GW]
Hydrogen [GW]	LNG [GW]	Freight Rail [Mton/h]	Heat Low T (Dec) [GW]
Hydro [GW]	Coal [GW]	Freight Road [Mton/h]	Heat High T [GW]
Nuclear [GW]	Coal (CCS) [GW]	Oil [GW]	
Wind [GW]	Waste [GW]	Diesel [GW]	
Sun [GW]	Wood [GW]	Gasoline [GW]	

Input → Output

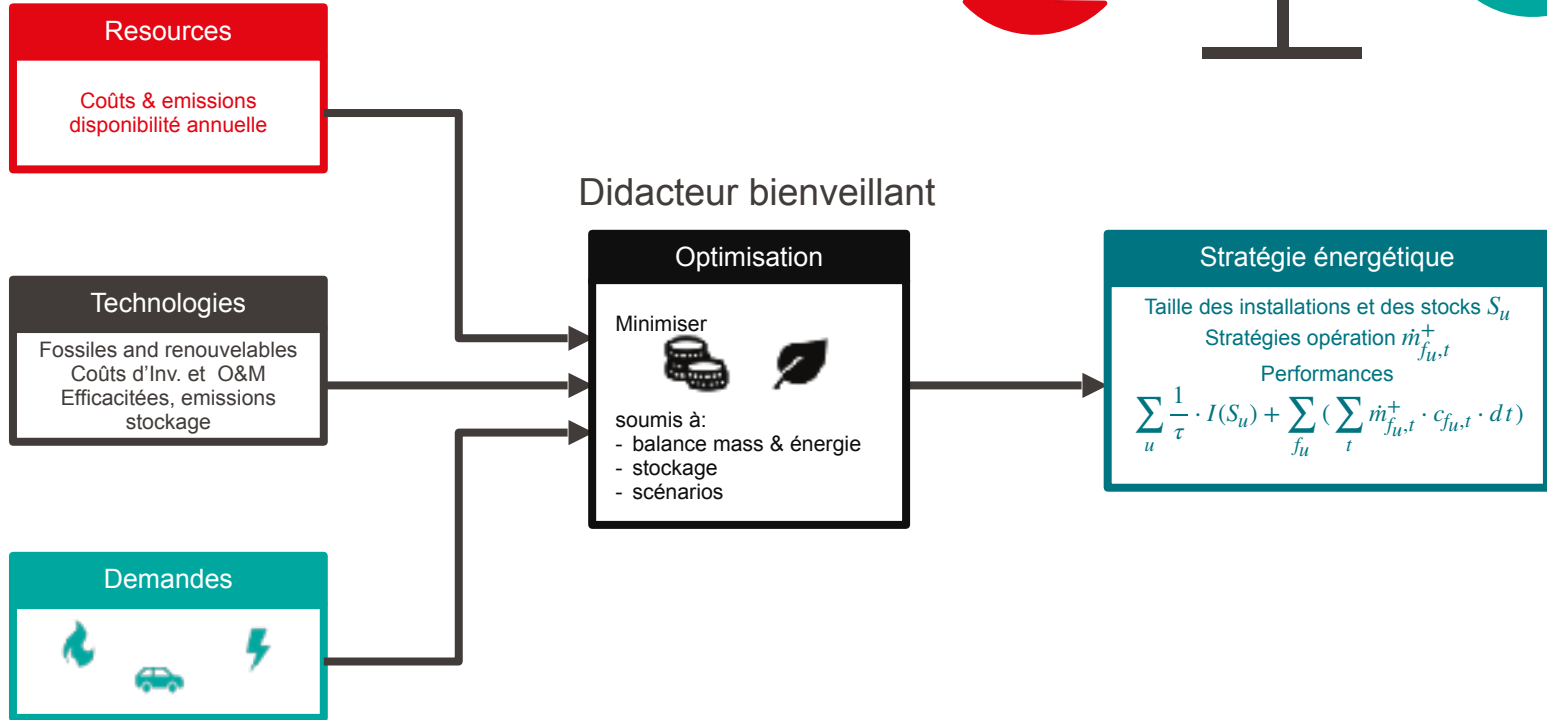
EPFL Technologies par niveaux de distribution



Categorisation of technologies in their respective power level. Red are the newly defined infrastructure technologies.

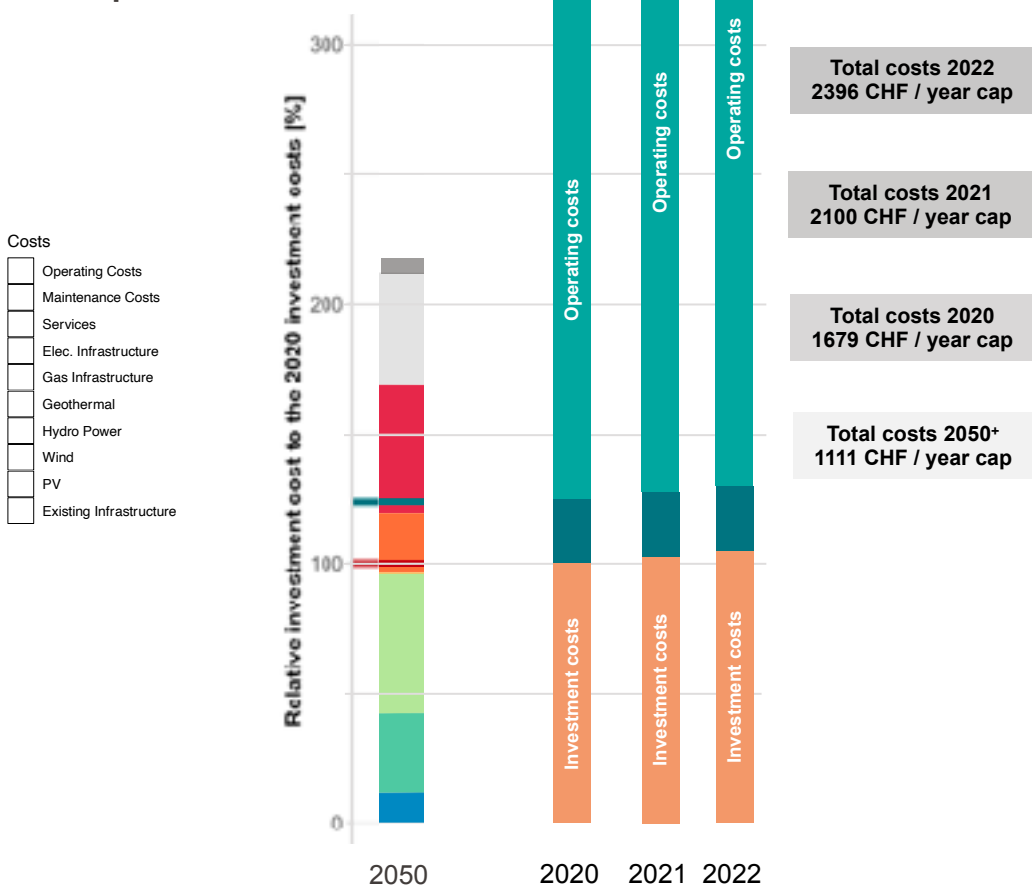
EPFL EnergyScope

Energy system model



Optimum économique

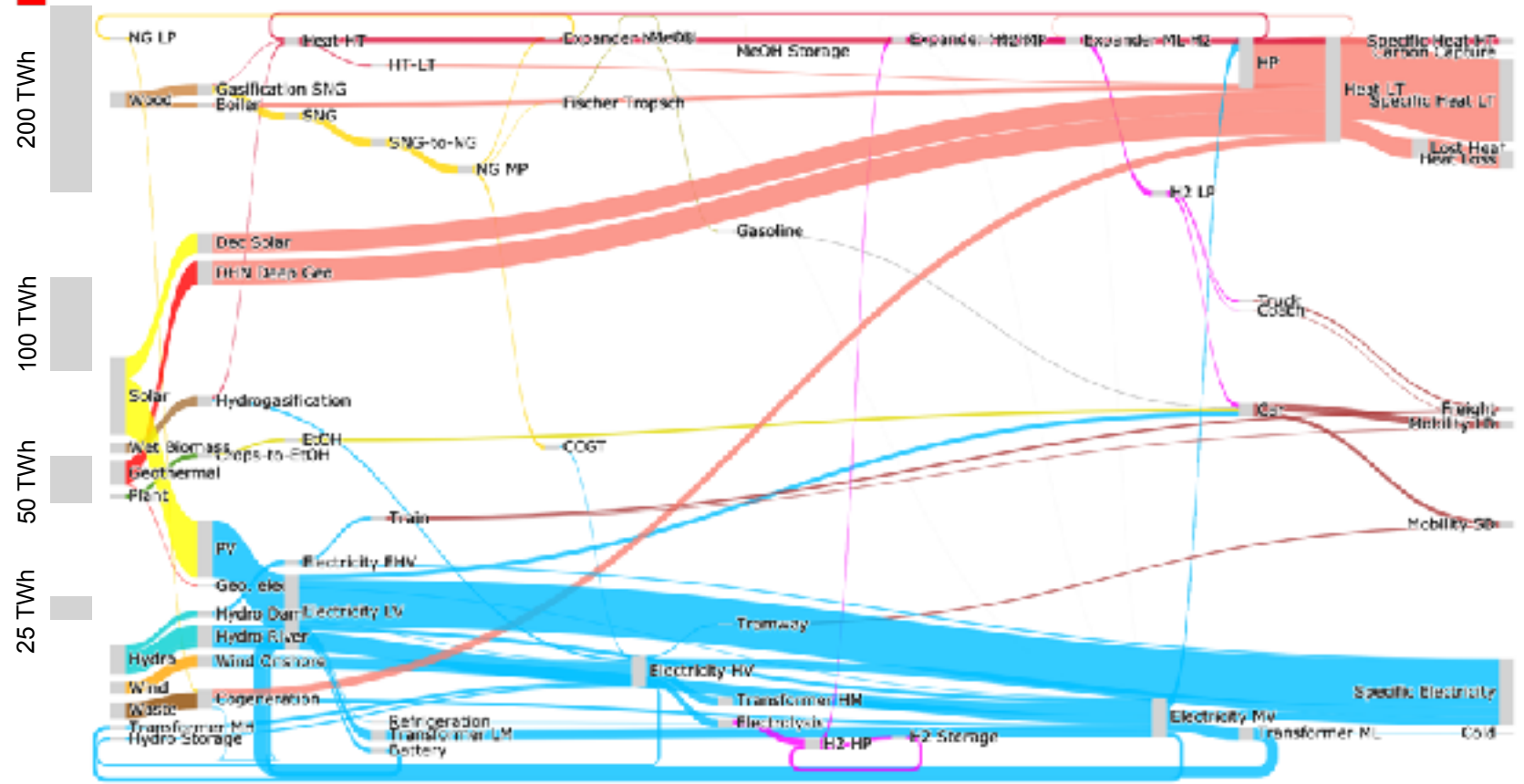
Composition des coûts



- Le système 2050 est moins cher que le système 2020
- Transition des importations vers les investissements locaux
- Déploiement d'une part importante d'énergies renouvelables

Prix des imports

[cts/kWh]	Electricité	Méthane	Essence	Diesel	Gazole
2020	16.1	13.9	35.2	34.1	24.2
2021	15.7	19.6	41.1	39.8	34.1
2022	15.1	24.5	46.9	45.4	42.1



Exemple de diagramme de Sankey pour la Suisse en 2050
sans imports
sans stockage de méthane
minimisant les coûts totaux

Total System costs: 1218 $\left[\frac{\text{CHF}}{\text{year} \cdot \text{capita}} \right]$

EPFL Résultat: utilisation des technologies

Quand et comment doivent être opérés les technologies?

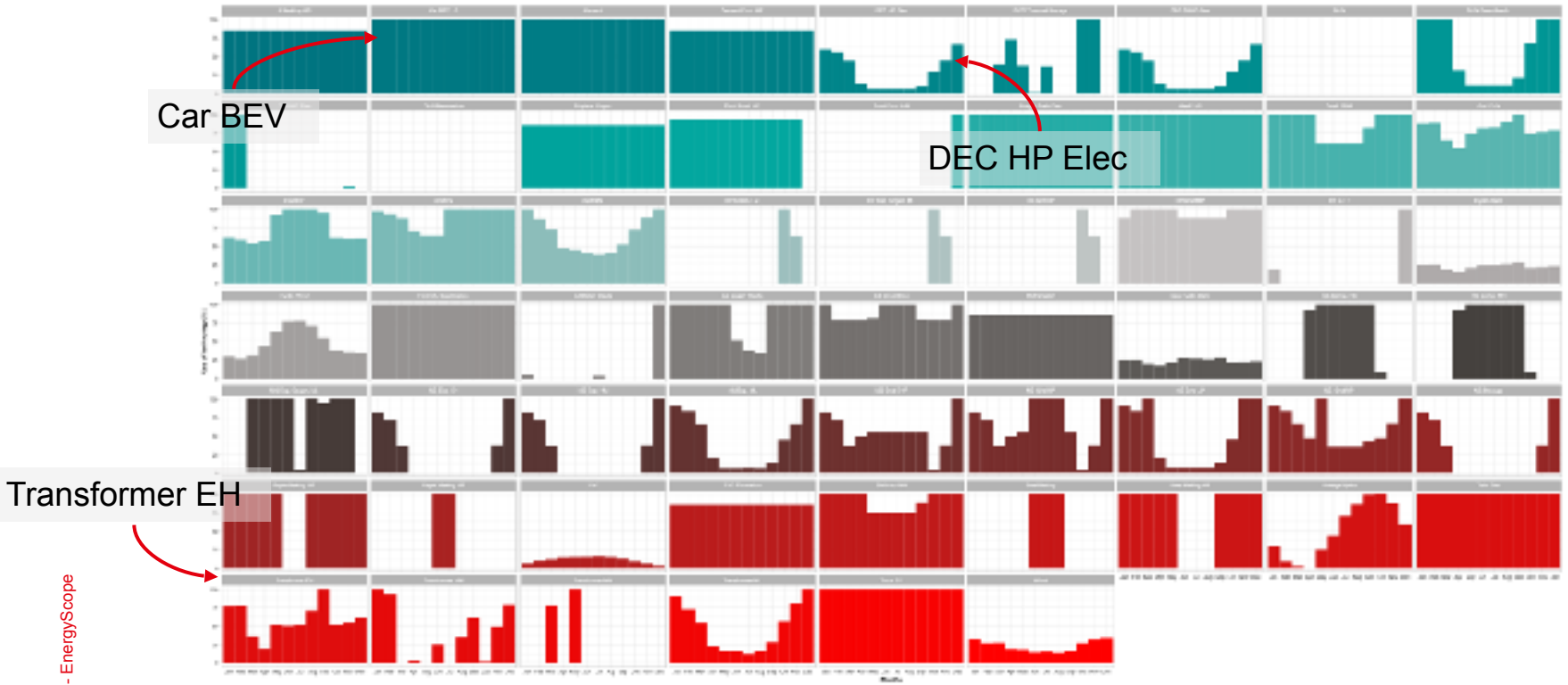


Illustration de l'évolution temporelle du facteur d'utilisation de la technologie au cours de l'année, où 100% est la capacité installée de la technologie.
Étude de cas pour l'optimisation économique d'un système énergétique suisse neutre (pas d'émissions nettes), indépendant (pas d'importations) et dénucléarisé à l'horizon 2050.

EPFL Résultat: utilisation des technologies

Quand et comment doivent être créées les technologies?

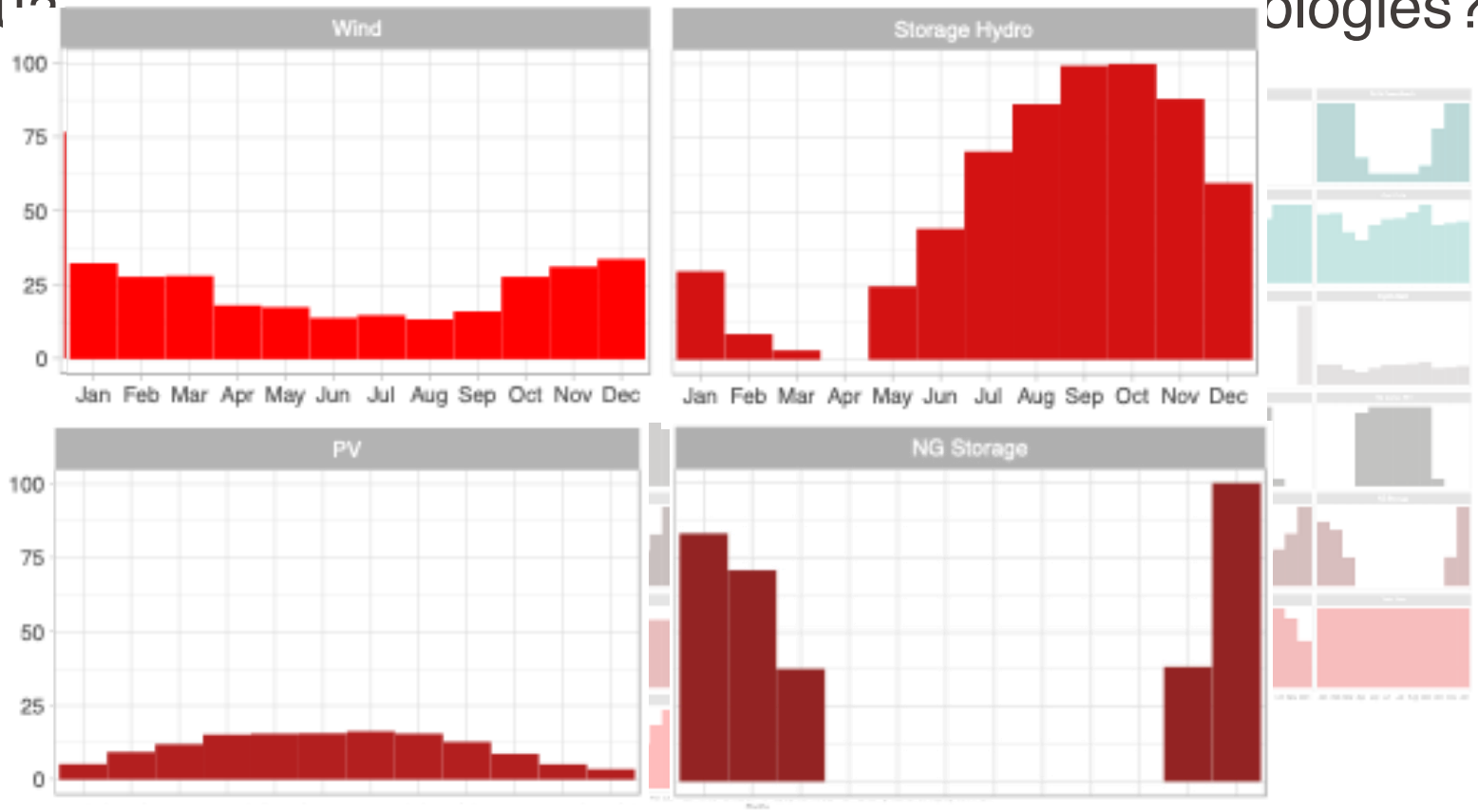
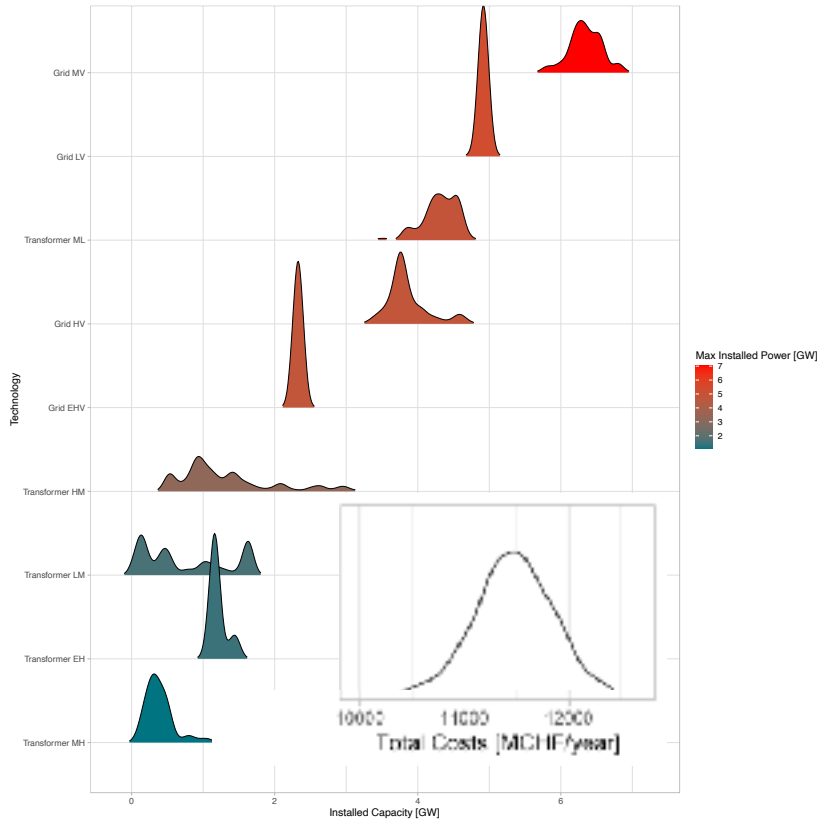


Illustration de l'évolution temporelle du facteur d'utilisation de la technologie au cours de l'année, où 100% est la capacité installée de la technologie. Étude de cas pour l'optimisation économique d'un système énergétique suisse neutre (pas d'émissions nettes), indépendant (pas d'importations) et dénucléarisé à l'horizon 2050.

Comment l'incertitude affecte-elle les résultats



50'000 Monte-Carlo calculs i

Distributions $P(\tilde{\pi}_{clu}, d_{clu})$ des coûts c & efficacités u

Optimisation économique f_{HE}

$$x_s(i): \min_{x_s(i)} f_{HE}(x_s(i), \pi_c(i))$$

$$s.t. \quad A_{\pi_u(i)} x_s(i) \geq b_{\pi_u(i)}$$

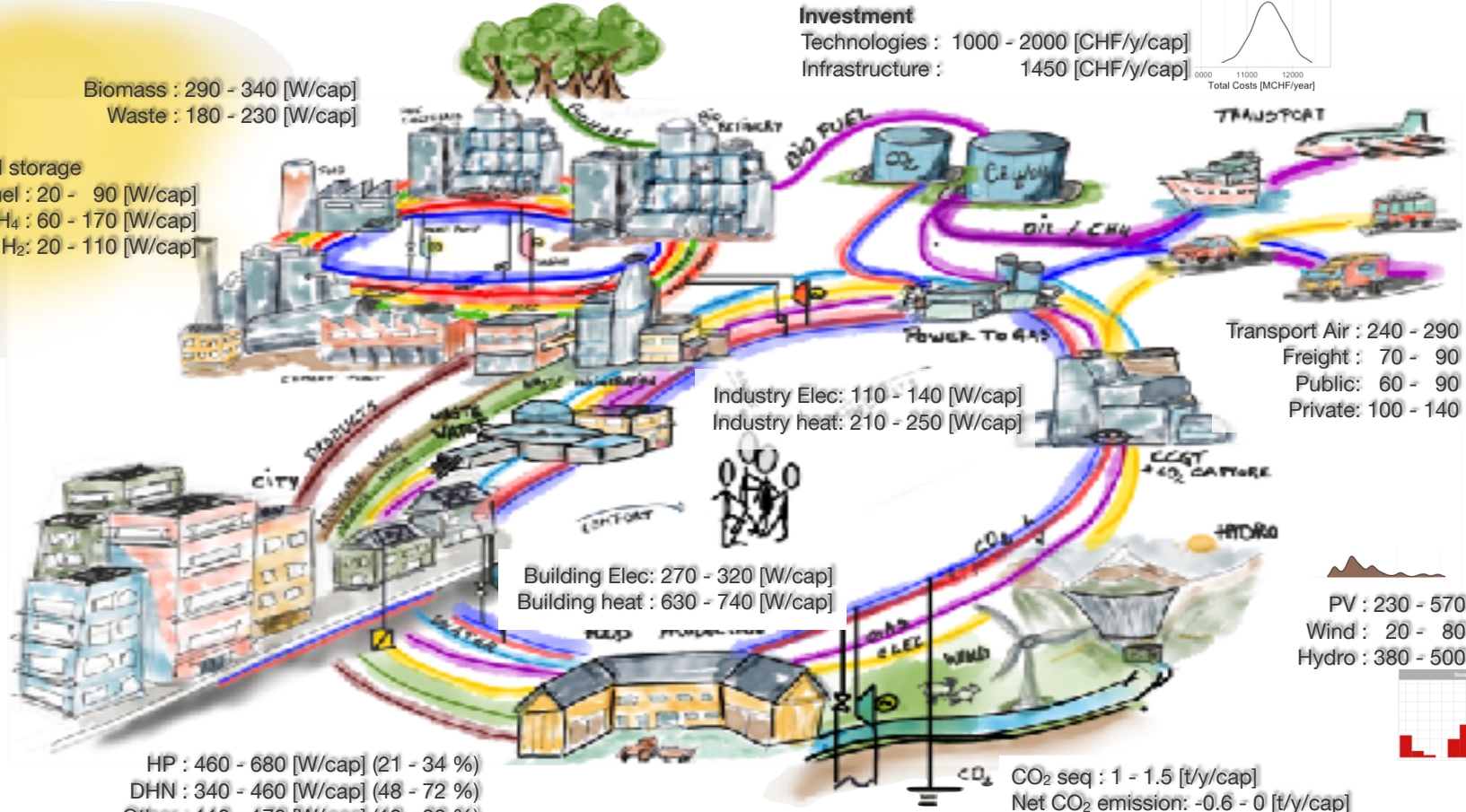
$$\pi_c(i) = P(\tilde{\pi}_c, d_c)$$

$$\pi_u(i) = P(\tilde{\pi}_u, d_u)$$

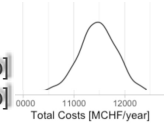
Résultats : vision d'une suisse indépendante et neutre

Biomass : 290 - 340 [W/cap]
 Waste : 180 - 230 [W/cap]

Chemical storage
 Liquid fuel : 20 - 90 [W/cap]
 CH₄ : 60 - 170 [W/cap]
 H₂ : 20 - 110 [W/cap]



Investment
 Technologies : 1000 - 2000 [CHF/y/cap]
 Infrastructure : 1450 [CHF/y/cap]



Industry Elec: 110 - 140 [W/cap]
 Industry heat: 210 - 250 [W/cap]

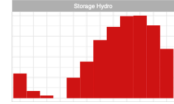
Building Elec: 270 - 320 [W/cap]
 Building heat : 630 - 740 [W/cap]

Transport Air : 240 - 290 [W/cap]
 Freight : 70 - 90 [W/cap]
 Public: 60 - 90 [W/cap]
 Private: 100 - 140 [W/cap]

HP : 460 - 680 [W/cap] (21 - 34 %)
 DHN : 340 - 460 [W/cap] (48 - 72 %)
 Other : 110 - 170 [W/cap] (19 - 33 %)

CO₂ seq : 1 - 1.5 [t/y/cap]
 Net CO₂ emission: -0.6 - 0 [t/y/cap]

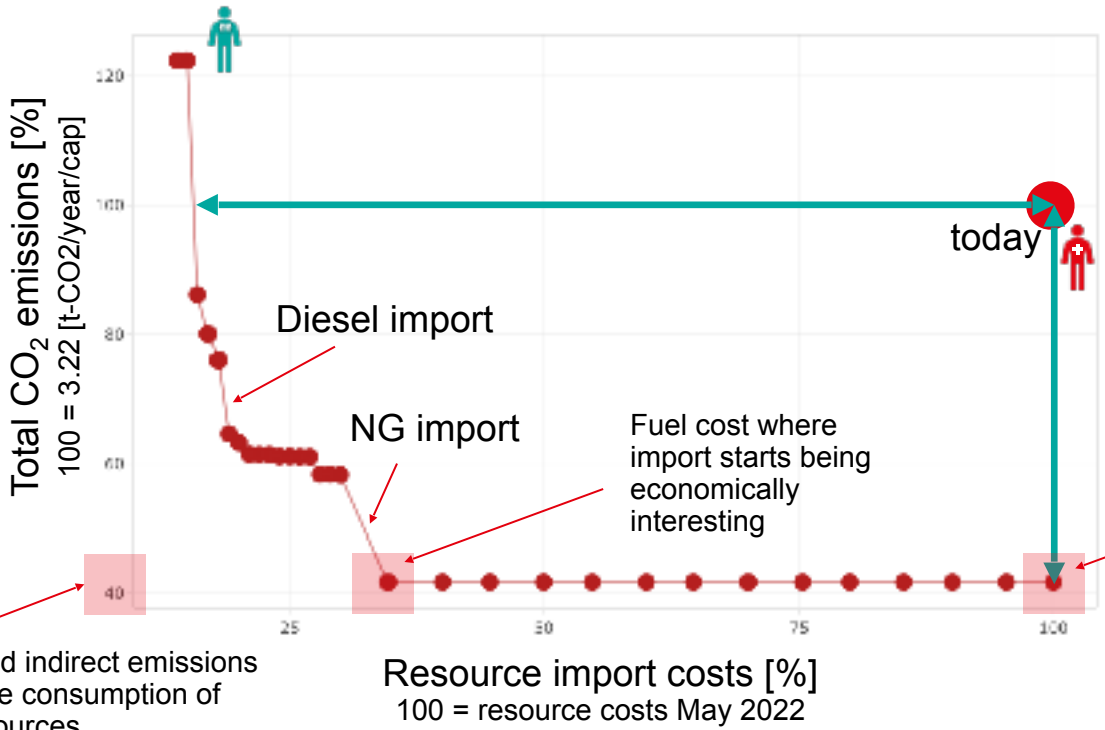
PV : 230 - 570 [W/cap]
 Wind : 20 - 80 [W/cap]
 Hydro : 380 - 500 [W/cap]



EPFL Result: Import resource cost vs impact



What is the importance of the market?

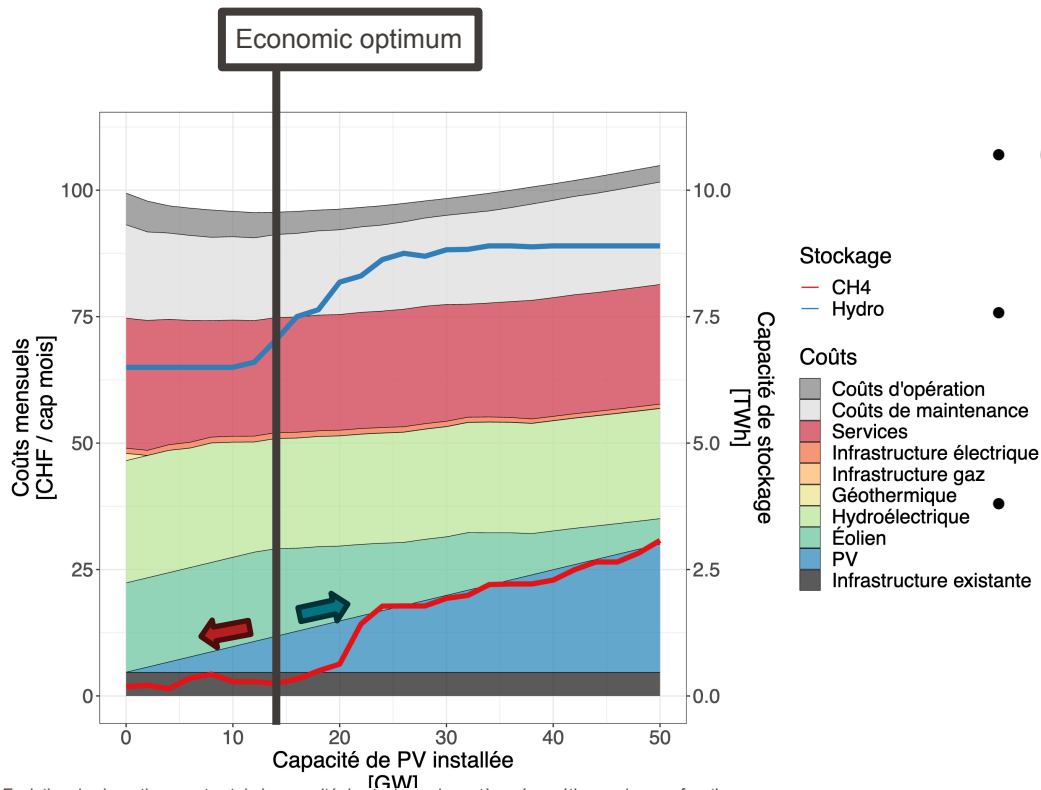


Direct and indirect emissions due to the consumption of local resources

Resource import costs [%]
100 = resource costs May 2022

At the current costs, the economic optimum does not import fossil fuels

Evolution of the direct CO₂ emissions by the energy system as a function of the relative fossil fuel (NG, Gasoline, Diesel LFO) costs, scaled to the May 2022 costs. Scenario of the 2050 Swiss energy system without nuclear, optimized to minimize the total costs.

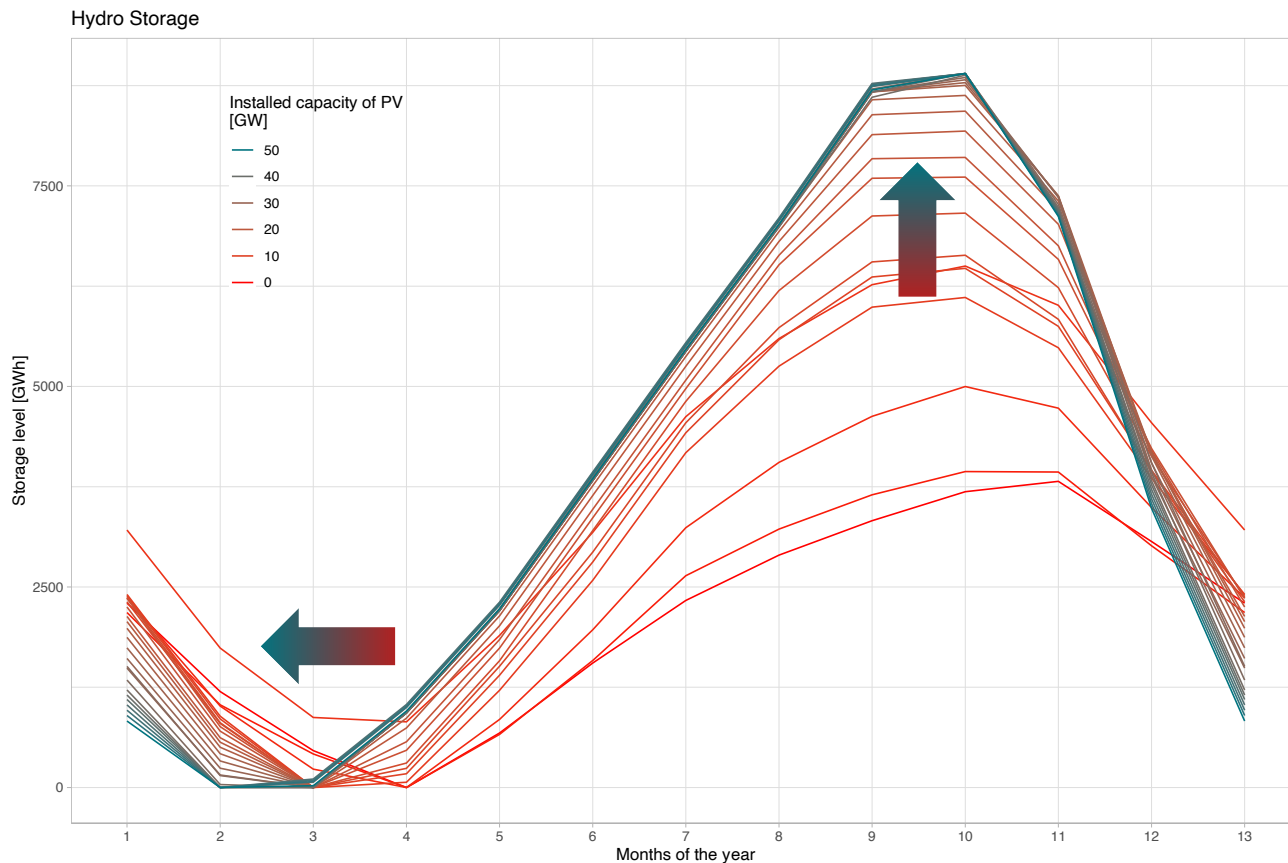


Evolution des investissements et de la capacité de stockage du système énergétique suisse en fonction de la pénétration du photovoltaïque en 2050. Etude de cas de l'optimisation économique d'un système énergétique suisse neutre (pas d'émissions nettes) et indépendant (pas d'importations) en 2050.

- Optimum
 - éolien: max
 - PV: balance énergétique
- PV
 - Éolien au maximum
 - Compensation par les ressources de biomasse
- PV
 - Réduction de l'éolien
 - Déphasage saisonnier
 - Stockage de méthane biogénique comme buffer

L'interaction de l'énergie éolienne et de l'énergie photovoltaïque : le stockage de l'énergie hydraulique

Paramétrisation de PV installé 0-50 GW (Suisse indépendante et neutre)



Évolution de la courbe de stockage de niveau de barrages de pompage/turbinage en fonction de la pénétration d'installations de panneaux photovoltaïques.

Online calculator : www.energyscope.ch

CO2 Limit [Mt-CO2 eq] value

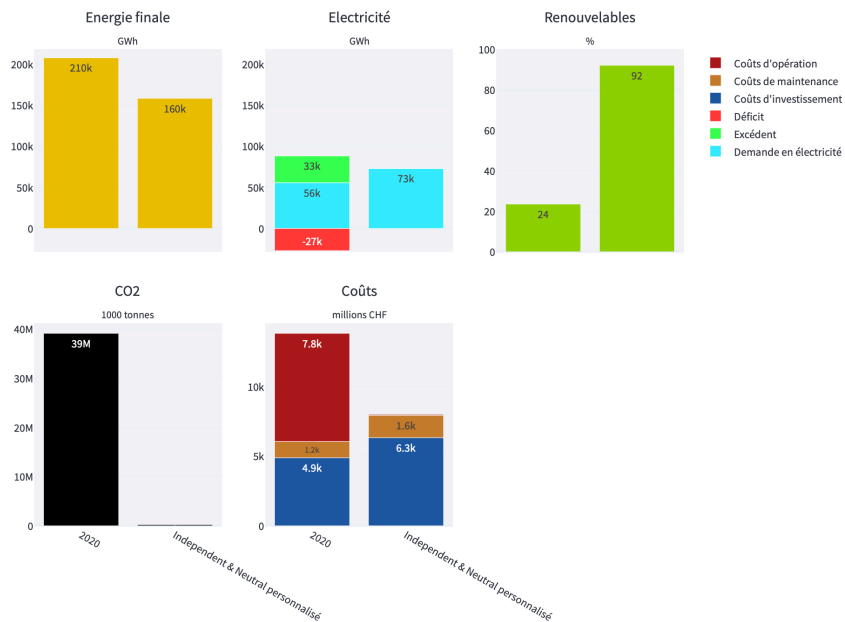
Electricité

Renouvelable

- Solaire photovoltaïque [GW]
- Éoliennes [GW]
- Hydraulique à accumulation [GW]
- Hydraulique fil-de-l'eau [GW]
- Géothermie profonde [GW]
- Stockage saisonnier

Comparaison des 6 indicateurs d'impact (i)

2020 vs. Independent & Neutral personnalisé



EPFL EnergyScope Blog Scripting



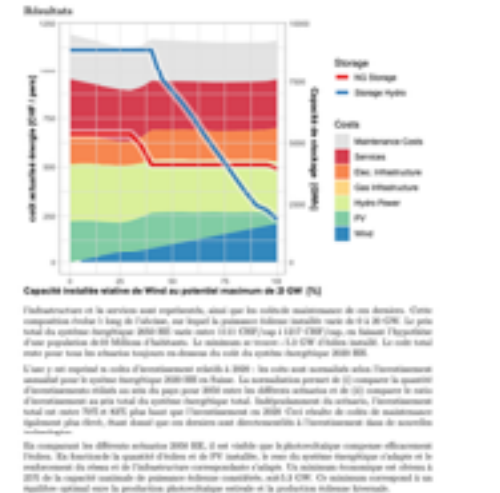
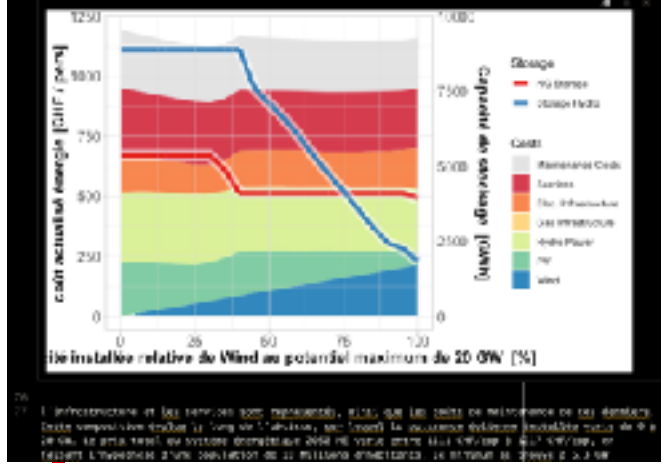
```

48) [P_4276 = ]
49) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
50) [P_4276 = ]
51) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
52) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
53) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
54) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
55)
56) [P_4276 = ]
57) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
58) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
59) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
60) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
61) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
62)
63) [P_4276 = ]
64) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
65) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
66) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
67) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
68) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
69) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
70) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
71) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
72) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
73) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
74) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
75) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
76) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
77) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
78) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
79) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
80) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
81) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
82) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
83) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
84) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
85) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
86) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
87) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
88) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
89) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
90) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
91) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
92) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
93) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
94) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
95) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
96) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
97) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
98) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
99) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
100) ans1 = ans1.MPI; ans1.CPUs; ans1.CPU; ans1.MPI;
    
```

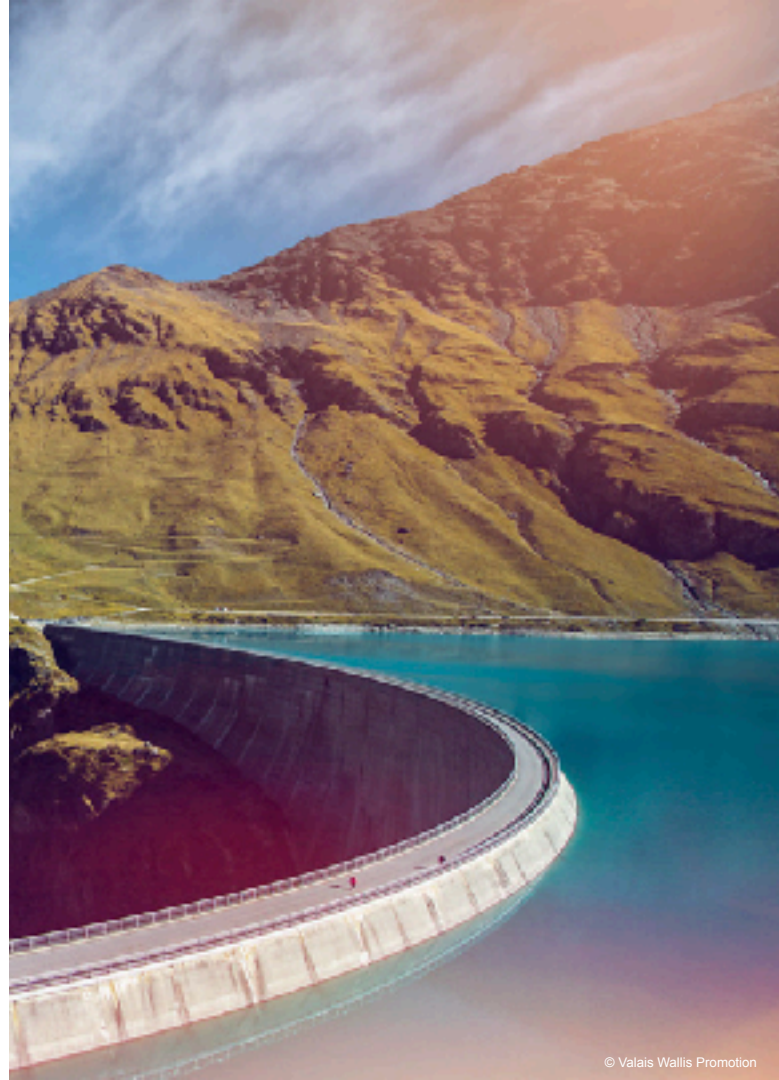
- Scripted use of model
- Automatic report generation

From value to result
Scripting of constraints and parameters
Output = code, model, assumptions, website, PDF

Scripting



- Energyscope V2
 - Intègre les infrastructures réseaux
 - Technologies adaptées
 - Snapshot et incertitudes
 - contraintes
 - génération de configurations et test rapides de scénarios
 - Scripting pour générer
 - version interactive en open science
- Perspectives : développements en cours
 - Open Source
 - Intégrer la décentralisation
 - Intégrer la décarbonisation de l'industrie (projet AIDRES)
 - Attribuer les investissements aux acteurs
 - Intégrer les métriques Environnement - Social - Gouvernance



© Valais Wallis Promotion

Questions? Discussion!