



## Ennemis ou partenaires de danse Technologie et politique dans la transition énergétique

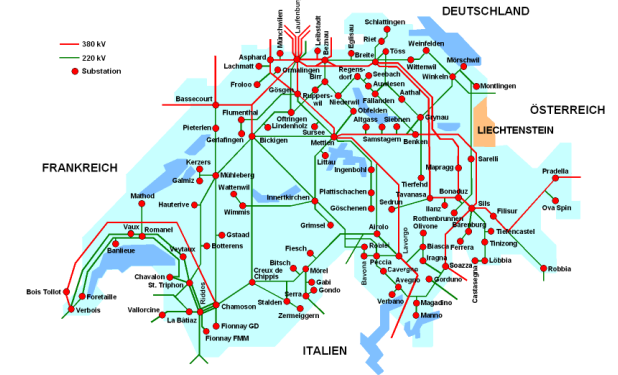
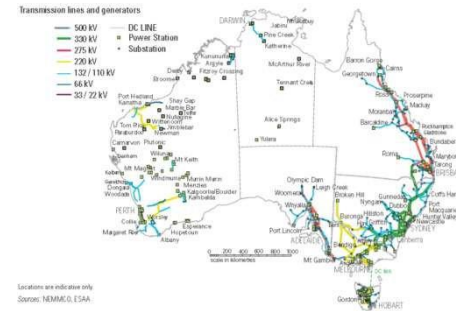
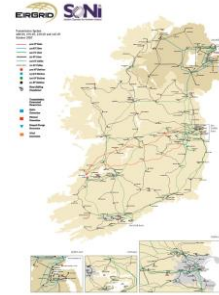
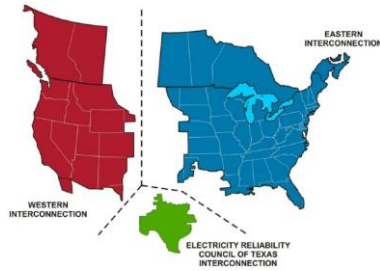
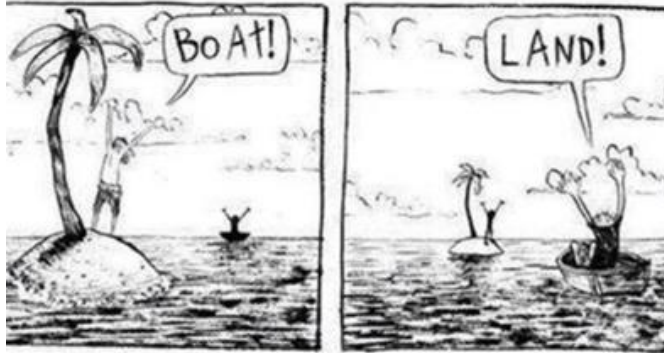


Mark O'Malley

Scientifique en chef de l'Energy Systems Integration Group, président du groupe de recherche du Global Power System Transformation Consortium, professeur d'électrotechnique à l'UCD.

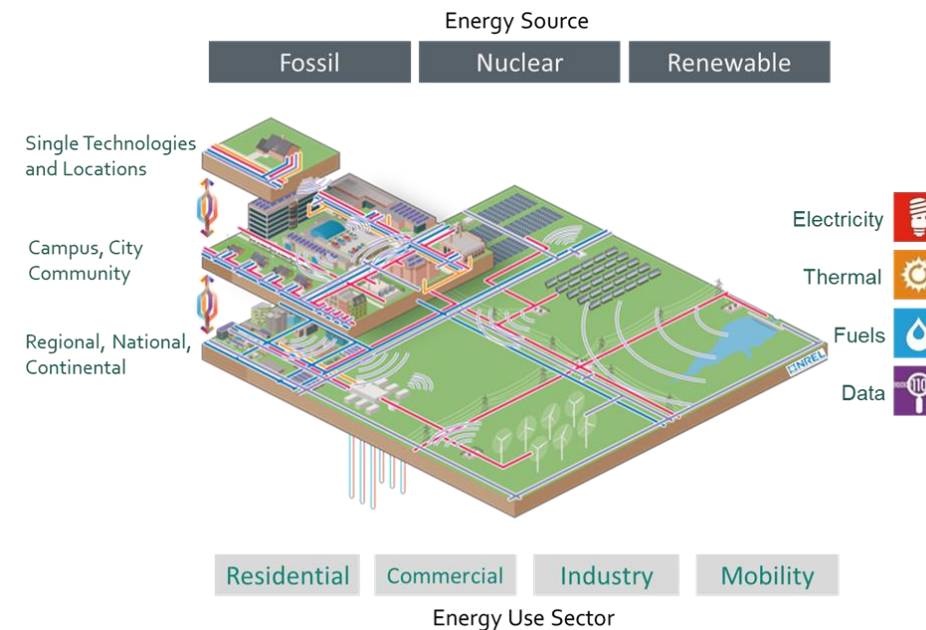
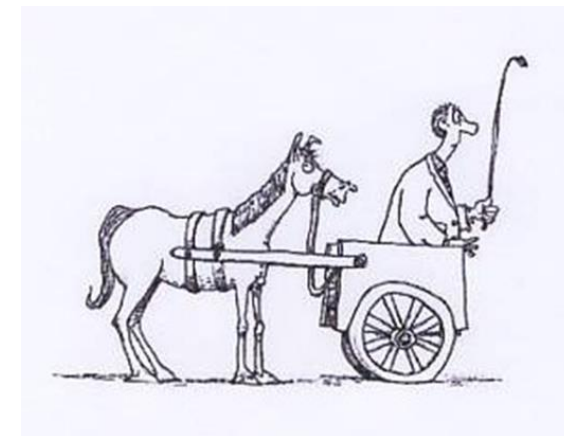
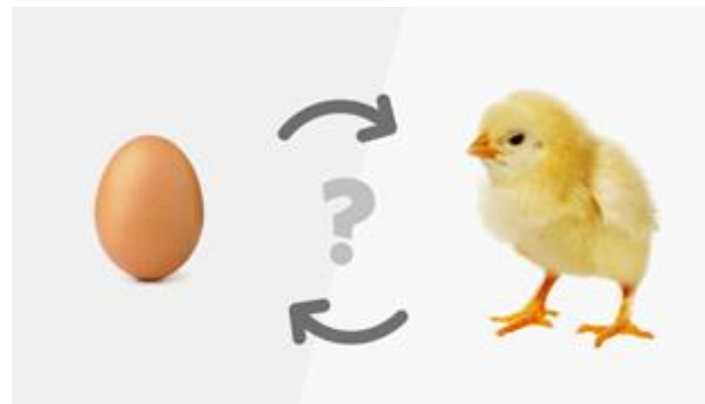
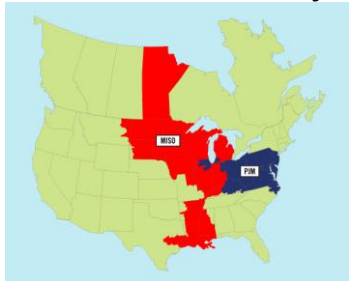


# Nous avons tous notre point de vue – voici le mien



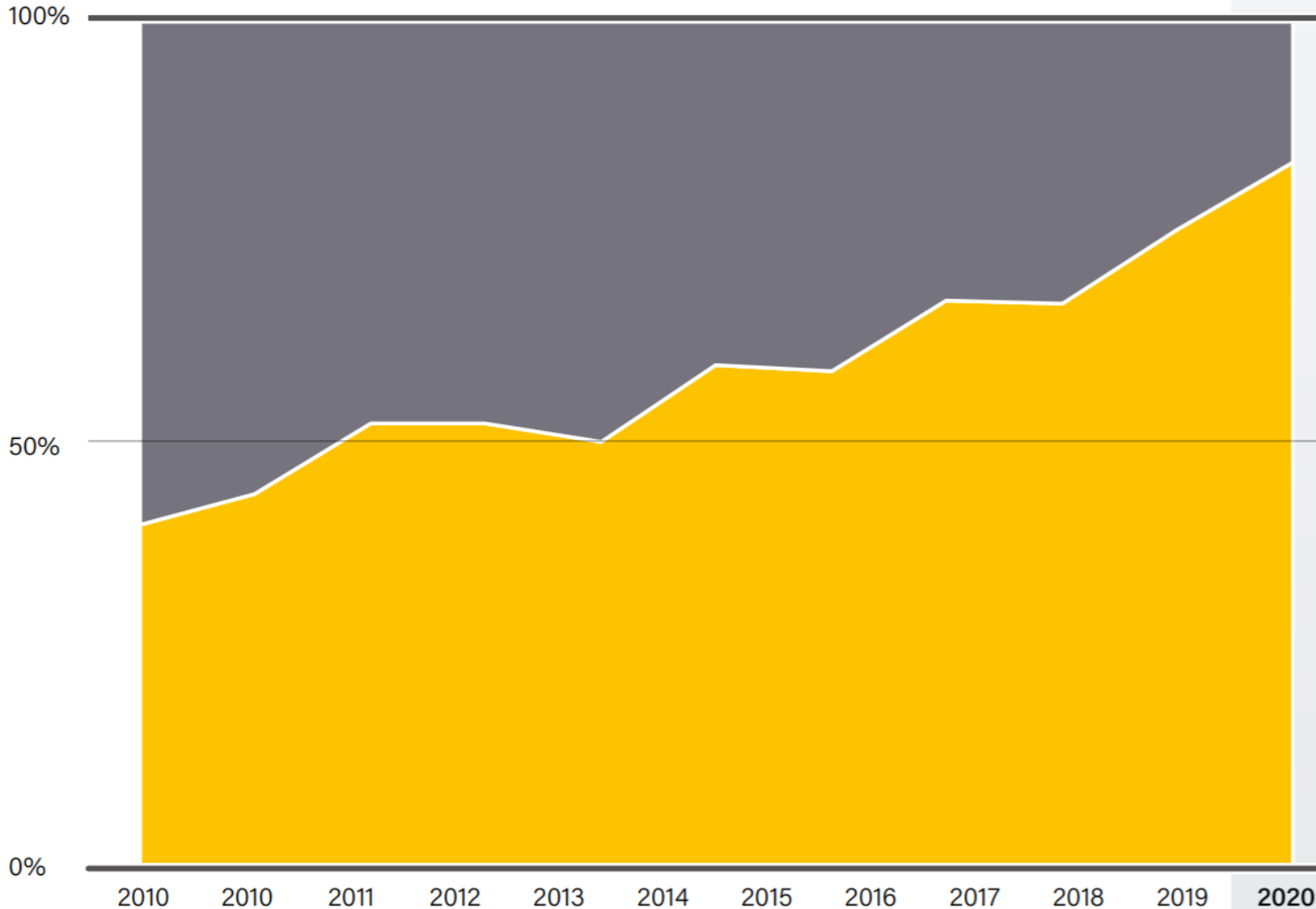
# La transition énergétique

- Maintenir l'équilibre entre l'offre et la demande, de manière fiable et rentable, en tout lieu et à tout moment
- Bien plus que l'électricité
- Rien n'est nouveau individuellement, mais tout ce qui se trouve entre est nouveau
- Défi énorme, sur le plan technique mais aussi politique
- Il faut résoudre le problème de la poule et de l'œuf et éviter de mettre la charrue avant les bœufs
- MISO et la Suisse jouent un rôle «central» dans les développements



# La tendance est très marquée et claire – vers 100 %

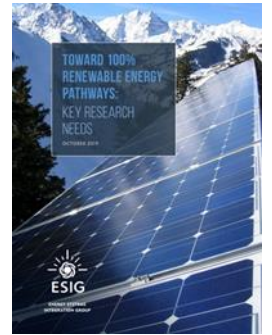
Share in Additions to Global Power Capacity



Source: REN21

83%  
renewables in  
net additions

■ Non-renewable share  
■ Renewable share



<https://www.esig.energy/esig-releases-toward-100-renewable-energy-pathways-key-research-needs-report/>

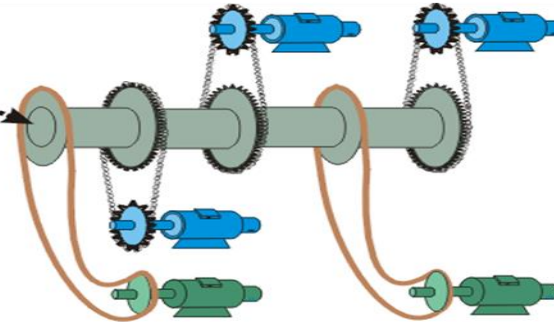




# Caractéristiques physiques des ressources variables en énergie renouvelable



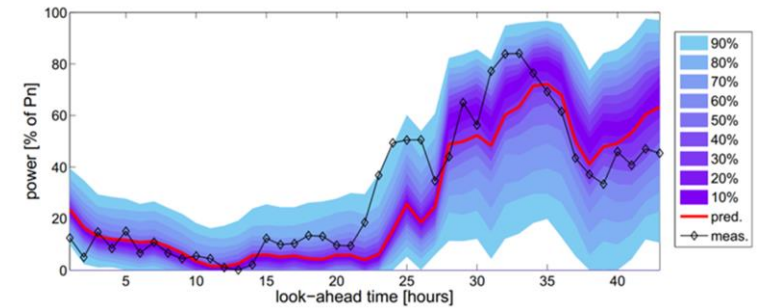
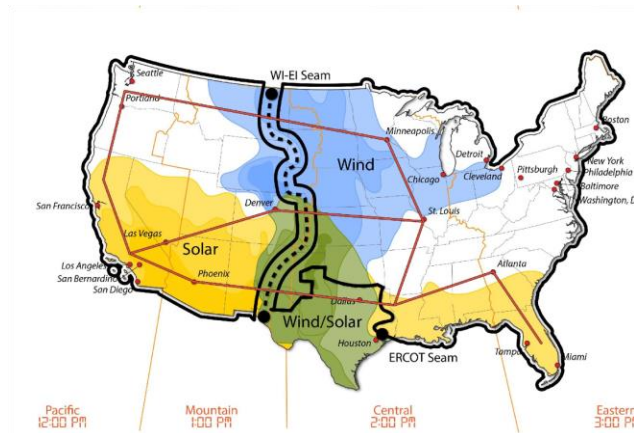
Does not add  
to system inertia etc.



**Synchronous generator**

**Doubly fed induction machine**

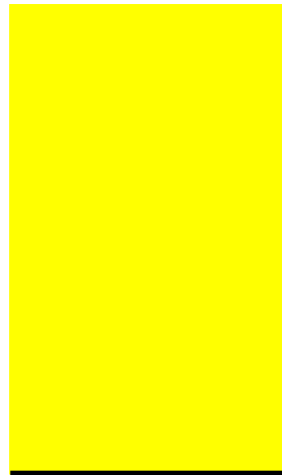
- Ressources basées sur les onduleurs (RBO)
  - électronique de puissance remplaçant les machines synchrones
- Dispersées géographiquement– distribuées
- Variables et un peu difficiles à prévoir – incertitude



# Différentes parties prenantes et différents cadres temporels



## Planification



Années



## Engagement de l'unité (on/off)



Semaines – heures



## Opérations

### Dispatch économique (niveau de puissance)



Minutes

## Temps réel

Temps



# Équations gouvernantes

## Maxwell

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{q_{enc}}{\epsilon_0}$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 i_{enc}$$

### The Laws of Thermodynamics

- 0. Two bodies in thermal equilibrium are at same T
- 1. Energy can never be created or destroyed.

$$\Delta E = q + w$$

- 2. The total entropy of the UNIVERSE (= system plus surroundings) MUST INCREASE in every spontaneous process.

$$\Delta S_{TOTAL} = \Delta S_{system} + \Delta S_{surroundings} > 0$$

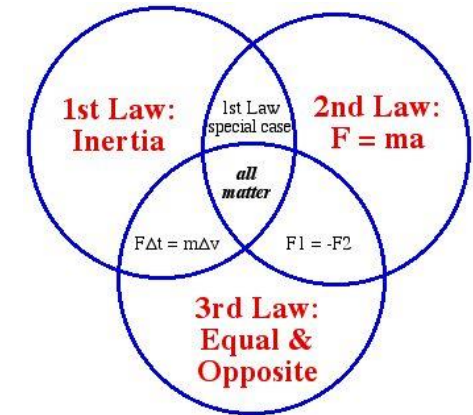
- 3. The entropy (S) of a pure, perfectly crystalline compound at T = 0 K is ZERO. (no disorder)

$$S_{T=0} = 0 \text{ (perfect xll)}$$

10 Nov 97

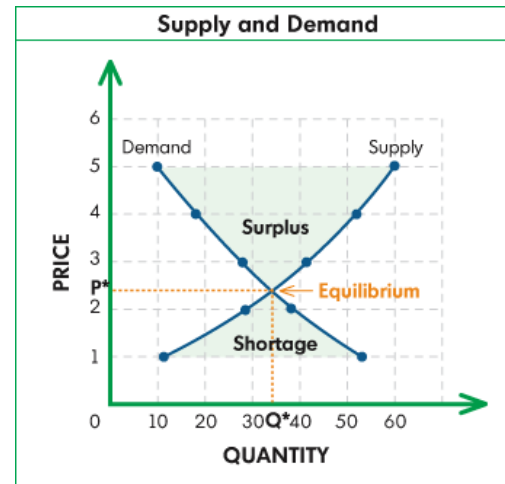
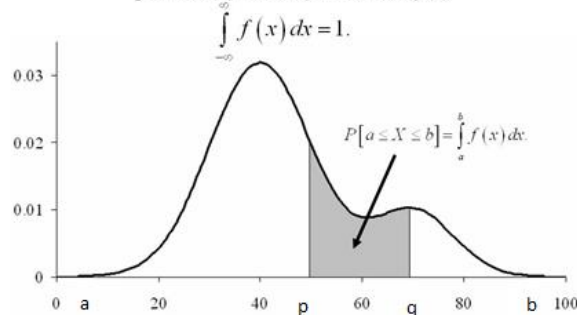
Entropy & Free Energy (Ch 20) - lect. 2

16



Newton's Laws

Graph: Continuous Random Variable probability density function,  $f(x)$





# L'électricité est différente mais les systèmes électriques sont les mêmes

## Valuing dedicated storage in electricity grids



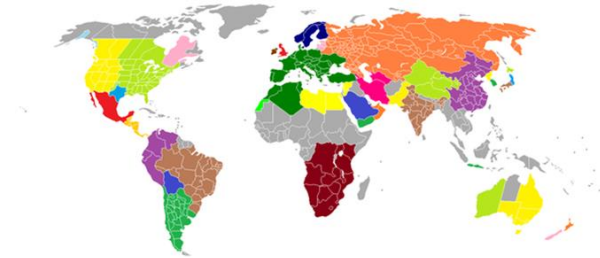
EASAC policy report 33

May 2017

ISBN: 978-3-8047-3729-7

This report can be found at  
[www.easac.eu](http://www.easac.eu)

Science Advice for the Benefit of Europe



## SPOT PRICING OF ELECTRICITY

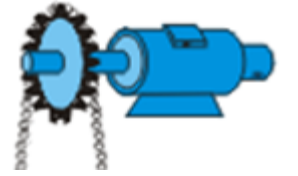
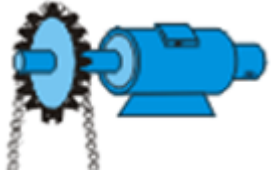
Fred C. Schweppe  
Michael C. Caramanis  
Richard D. Tabors  
Roger E. Bohn



Kluwer Academic Publishers  
Boston/Dordrecht/London

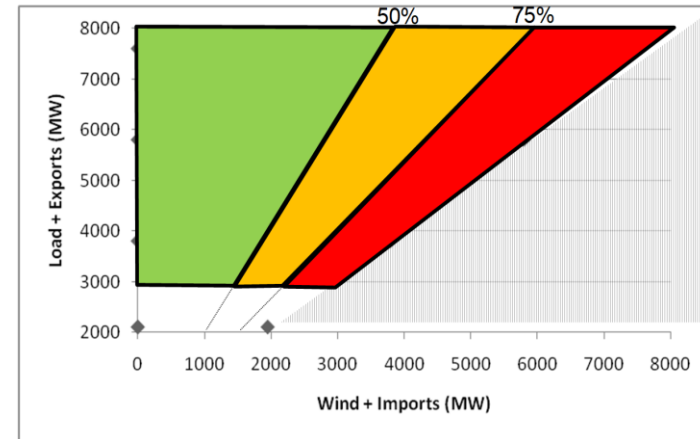
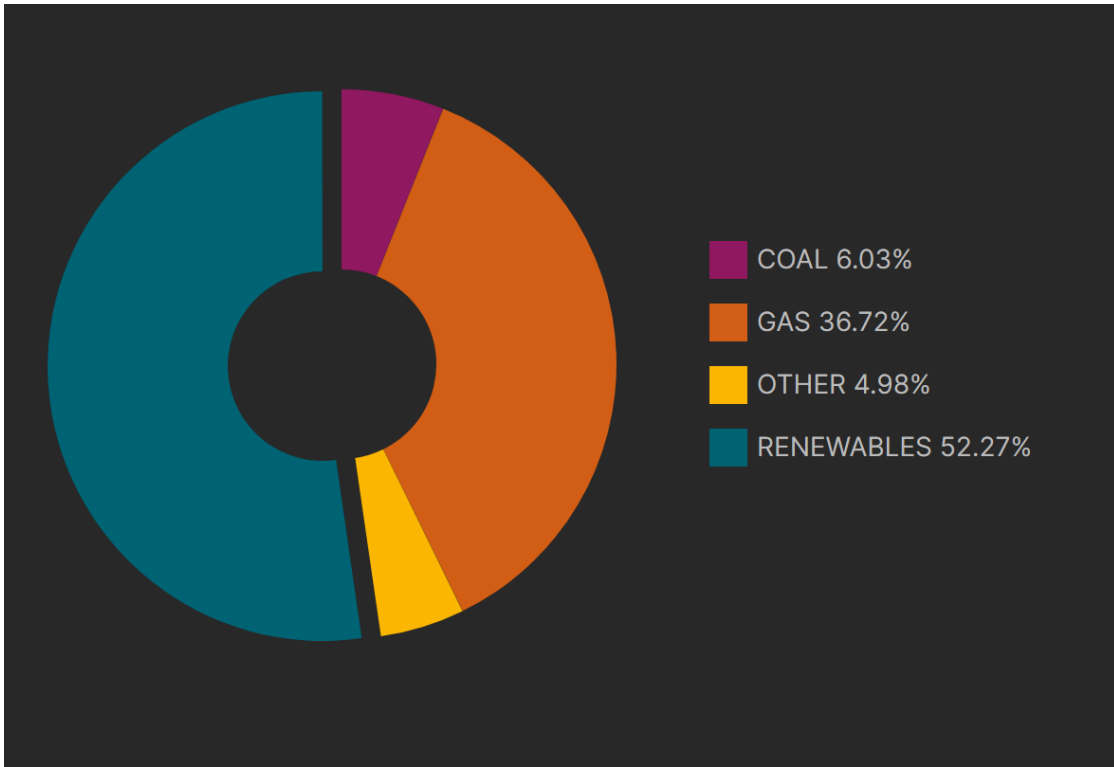


# La transition est un voyage mais pas un nouveau vélo

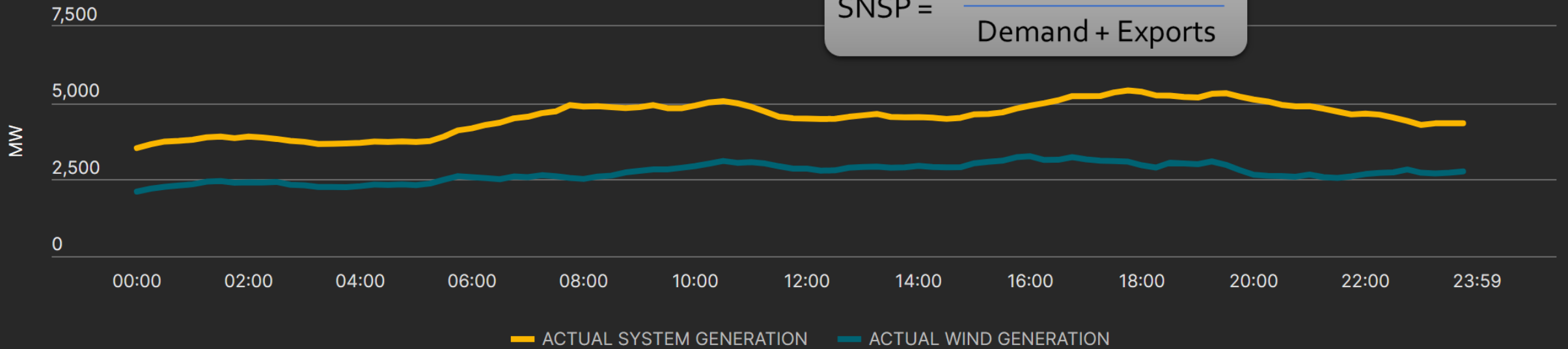


# Irlande, 10 mai 2022

<http://smartgriddashboard.eirgrid.com/>

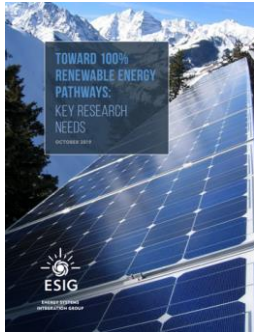


$$\text{SNSP} = \frac{\text{Wind + Imports}}{\text{Demand + Exports}}$$



# Global Power System Transformation (G-PST) Consortium

## Exploitants de systèmes fondateurs



Le contraire de diviser et conquérir est «unir et construire».

Instituts techniques de l'équipe centrale du G-PST

Exploitants de systèmes des pays en développement



Imperial College London



1. System Operator Research & Peer Learning

Perform cutting edge applied research to create novel system operator solutions and globally disseminate and infuse new insights through peer learning

2. System Operator Technical Assistance

Provide implementation support to scale established best practice engineering and operational solutions

3. Foundational Workforce Development

Build the inclusive and diverse workforce of tomorrow through enhanced university curriculum and technical upskilling for utility and system operator staff

4. Localized Technology Adoption Support

Adapt modern power system technologies to individual country contexts through testing programs and standards development activities

5. Open Data and Tools

Support rigorous planning, operational analysis and enhanced real-time system monitoring through open data and tools



**Inaugural Research Agenda**

21 avril 2021



<https://globalpst.org/>

[https://globalpst.org/wp-content/uploads/042921G-PST-Research-Agenda-Master-Documents-FINAL\\_updated.pdf](https://globalpst.org/wp-content/uploads/042921G-PST-Research-Agenda-Master-Documents-FINAL_updated.pdf)



# Tout réunir au niveau institutionnel pour la transformation du système énergétique mondial

Mécanismes opérationnels et commerciaux



Définir

Objectif: maintenir un approvisionnement fiable à moindre coût

Équilibre entre fiabilité et coût

**Économie politique**

Gouvernement, politiques, résultats du marché, consommateurs, investisseurs, etc.

Nécessité d'atteindre les objectifs

Caractéristiques du réseau électrique

**Réseau électrique**

Interconnexion de multiples sous-systèmes et dispositifs avec un marché

De nouveaux sous-systèmes et dispositifs sont installés et certains anciens sont retirés

**Décisions d'investissement**

Fabricants, entrepreneurs, innovation technologique, etc.

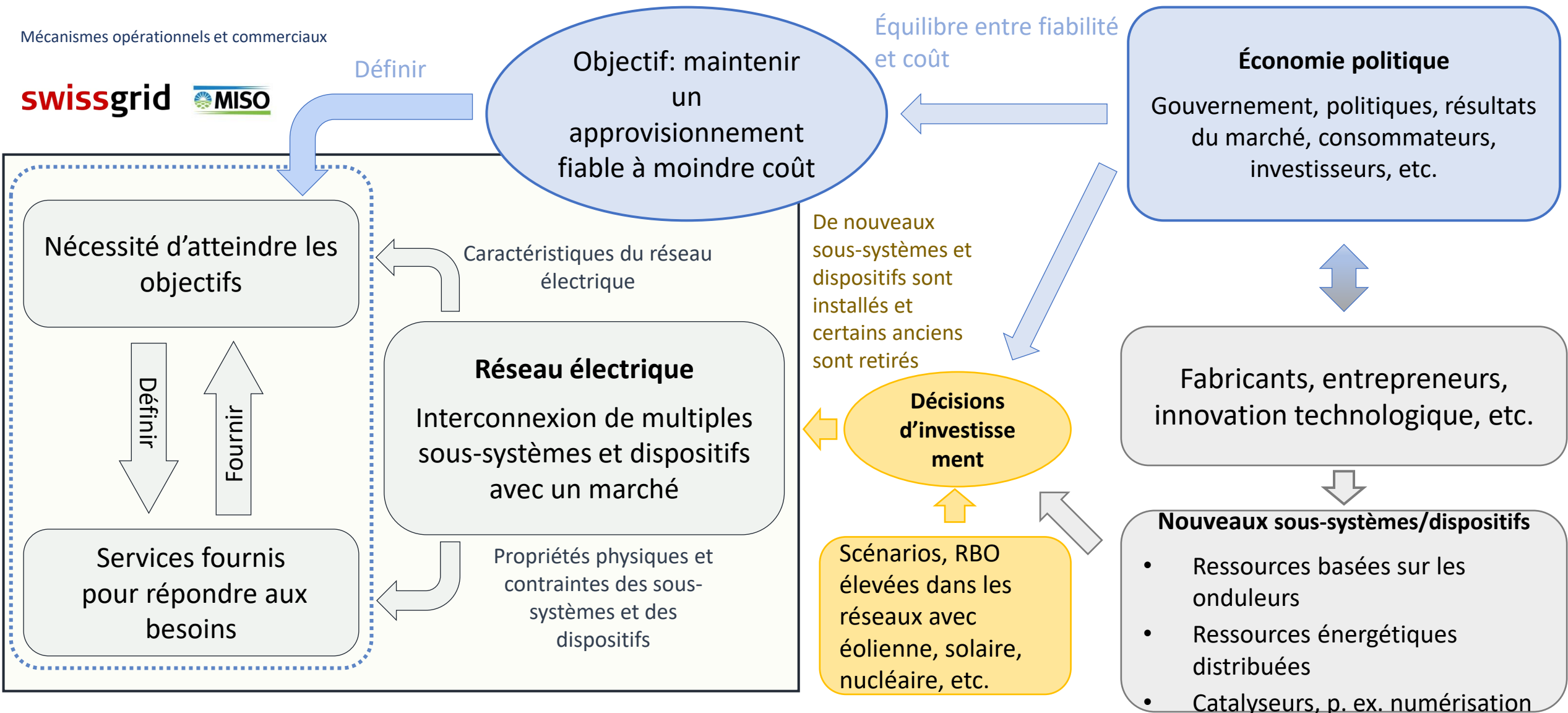
Services fournis pour répondre aux besoins

Propriétés physiques et contraintes des sous-systèmes et des dispositifs

Scénarios, RBO élevées dans les réseaux avec éolienne, solaire, nucléaire, etc.

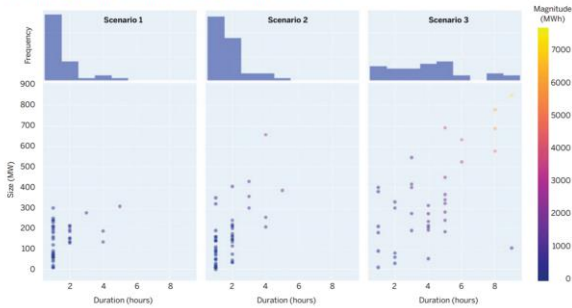
**Nouveaux sous-systèmes/dispositifs**

- Ressources basées sur les onduleurs
- Ressources énergétiques distribuées
- Catalyseurs, p. ex. numérisation

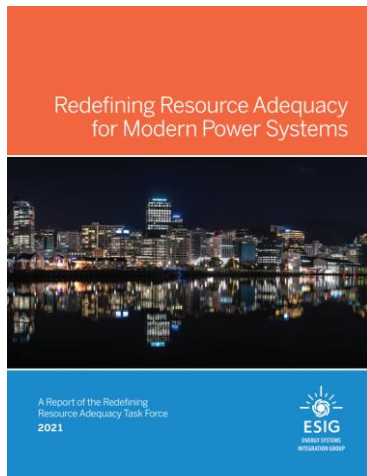


# G-PST et politique

FIGURE 8  
Scatter Plot of Size, Frequency, and Duration of Shortfall Events  
with Energy-limited Reliance on Energy Limited Resources



Source: Energy Systems Integration Group.



<https://www.esig.energy/wp-content/uploads/2021/08/ESIG-Redefining-Resource-Adequacy-2021.pdf>

FIGURE 3  
Coordination Needed Between  
Policymakers and Grid Planners



Source: Energy Systems Integration Group.

ENSURING NOT ONLY  
CLEAN ENERGY, BUT RELIABILITY

The Intersection of Resource  
Adequacy and Public Policy

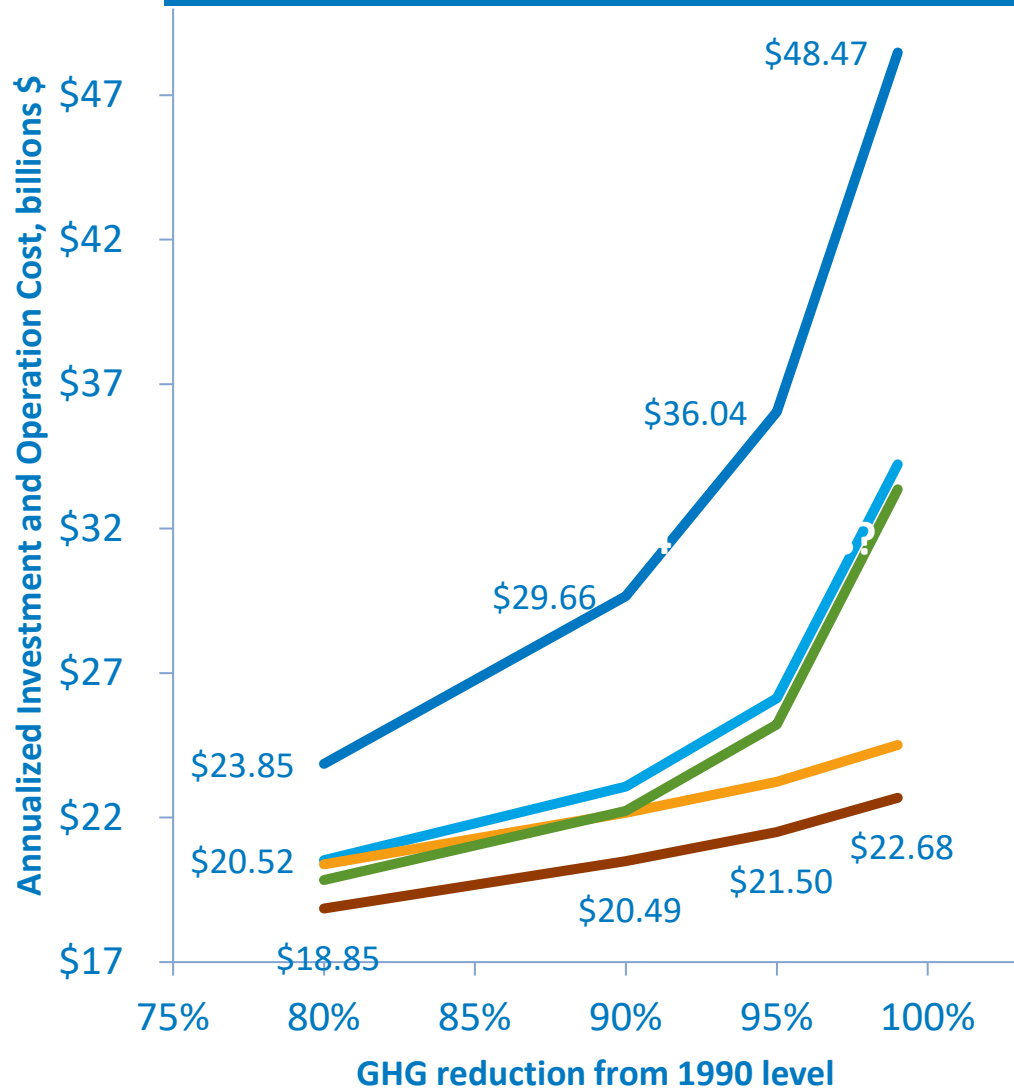


COP26 Policy Brief by the  
Resource Adequacy Task Force  
November 2021

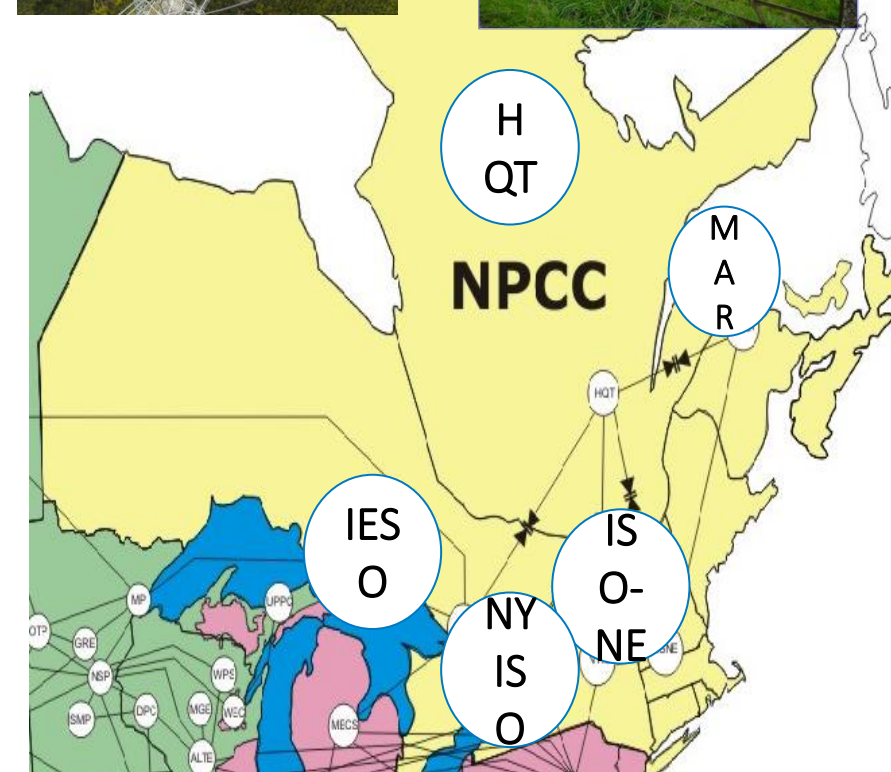


<https://globalpst.org/wp-content/uploads/ESIG-GPST-RA-policy-brief-2021.pdf>

# Vers un taux de 100 % dans le nord-est de l'Amérique du Nord

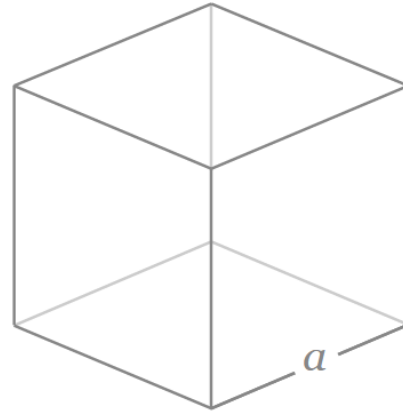


- ◆ No trade
- Current Trans. Cap.
- ▲ Optimal Trans. Cap.
- ✕ Current Trans. Cap. + Inst. Integration
- ✱ Optimal Trans. Cap. + Inst. Integration



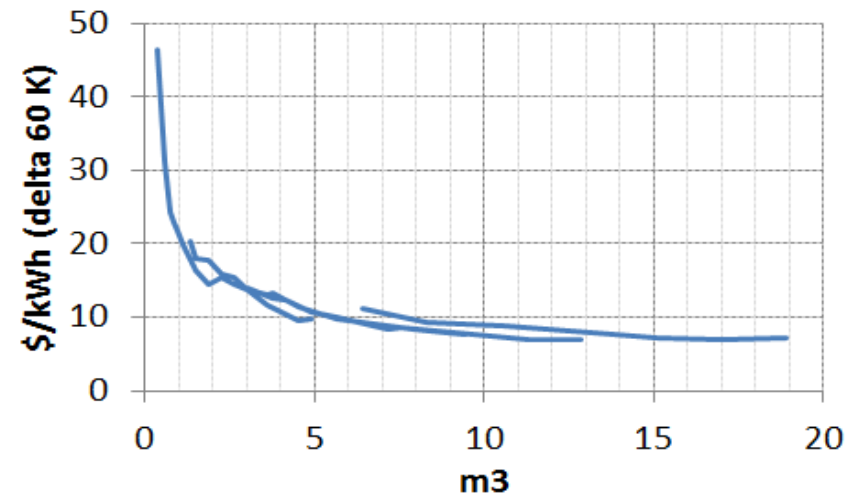


L'ingénierie est l'art de l'approximation – vous devez connaître la réponse avant de faire l'analyse



$$V = a^3$$

$$A = 6a^2$$



Source: JRC 2012 & Juha Kiviluoma



# Conclusions

- La transition énergétique exige de la discipline
- Les lois de la physique ne sont pas flexibles
- Les politiques devront peut-être être adaptées
- Les bonnes idées peuvent donner de mauvais résultats
- Des partenaires de danse mondiaux sont nécessaires





# Remerciements et suggestions de lecture

- Nicole Walser, Maurice Dierick
- Mes étudiants et mes collègues



<https://globalpst.org/>



<https://www.esig.energy/>