

# Les scénarios énergétiques à l'épreuve du stockage des énergies intermittentes

Marc Fontecave - Collège de France

Dominique Grand - Hydro21

# Contexte et motivation

- Réchauffement climatique & CO<sub>2</sub>
- Part électrique en hausse
- Politiques énergétiques EU et FR combinant arrêt de centrales nucléaires et fossiles avec déploiement des ENR...
- Déploiement d'éolien et solaire produisant au gré de flux intermittents
- Travail pionnier du Pr. Wagner Max-Planck Institute (2015) sur le mix allemand

*Comptes Rendus  
Chimie*

2021, 24, n° 2, p. 331-350

<https://doi.org/10.5802/crchim.115>



---

Essai / *Essay*

Les scénarios énergétiques à l'épreuve du stockage  
des énergies intermittentes

*Energy scenarios to the test of intermittent energy storage*

Marc Fontecave<sup>\*,a</sup> et Dominique Grand<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Collège de France, 11 Place Marcellin Berthelot, 75005, Paris, France

<sup>b</sup> Hydro21, c/o Artelia, 6 rue de Lorraine, 38130, Echirolles, France

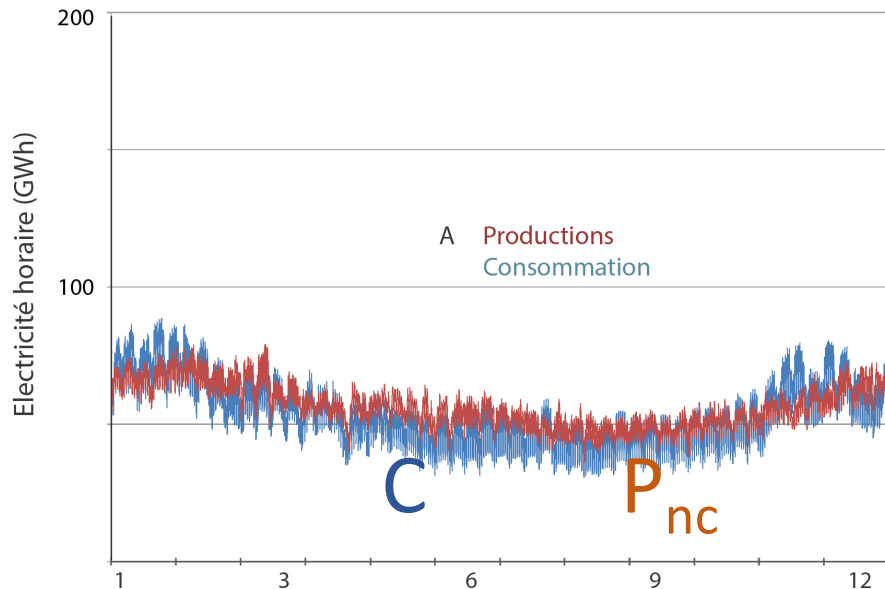
*Courriels*: [marc.fontecave@college-de-france.fr](mailto:marc.fontecave@college-de-france.fr) (M. Fontecave),  
[dominiquegrand@gmail.com](mailto:dominiquegrand@gmail.com) (D. Grand)

# Equilibre du réseau

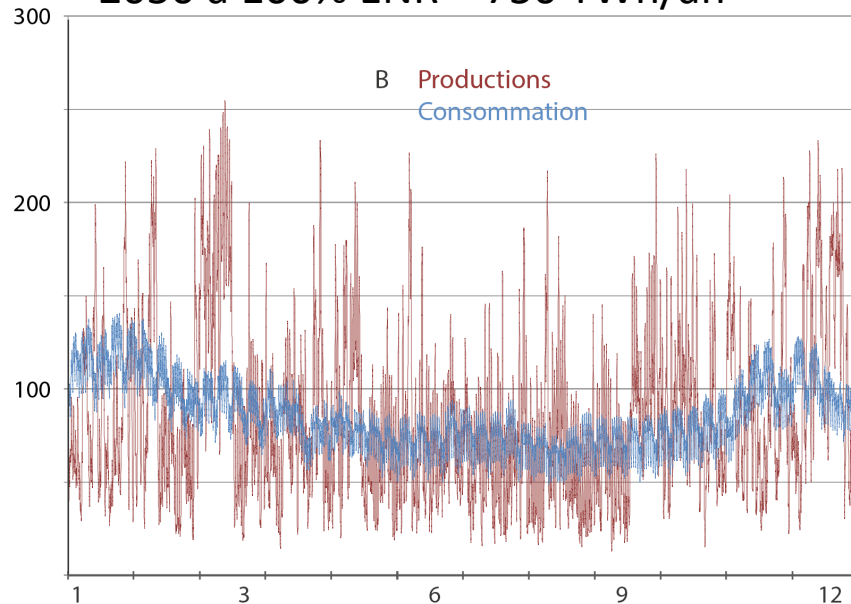
$$P(h) = C(h)$$

Source : RTE eCO2mix

2019 – 470 TWh/an



2050 à 100% ENR – 750 TWh/an

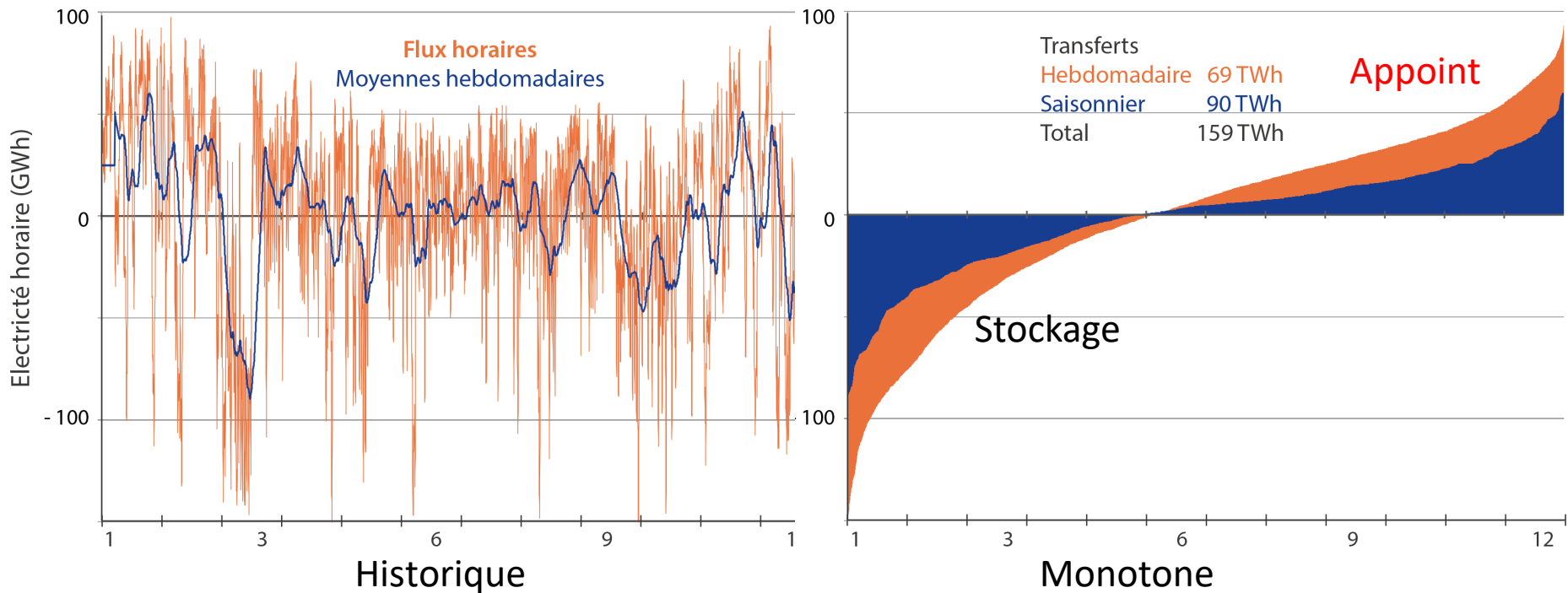


Energie TWh	Conso	Nucléaire	Eolien	Solaire	Hydro	Biomasse
Valeurs 2019	470,8	379,2	33,8	12,1	59,5	9,7

Energie TWh	Conso	Nucléaire	Eolien	Solaire	Hydro	Biomasse
Valeurs 2050	750	0,0	15,4	10,7	1,0	4,1

# Nouvel équilibre à trouver

$$\text{Rééquilibrage } R(h) + P_{nc}(h) = C(h)$$



# Equation à résoudre

## Besoin

- Transférer temporellement de l'électricité
- Combler les périodes à faible productions éolienne et solaire avec les surplus d'autres

159 TWh sur l'année dont 90 TWh entre saisons.

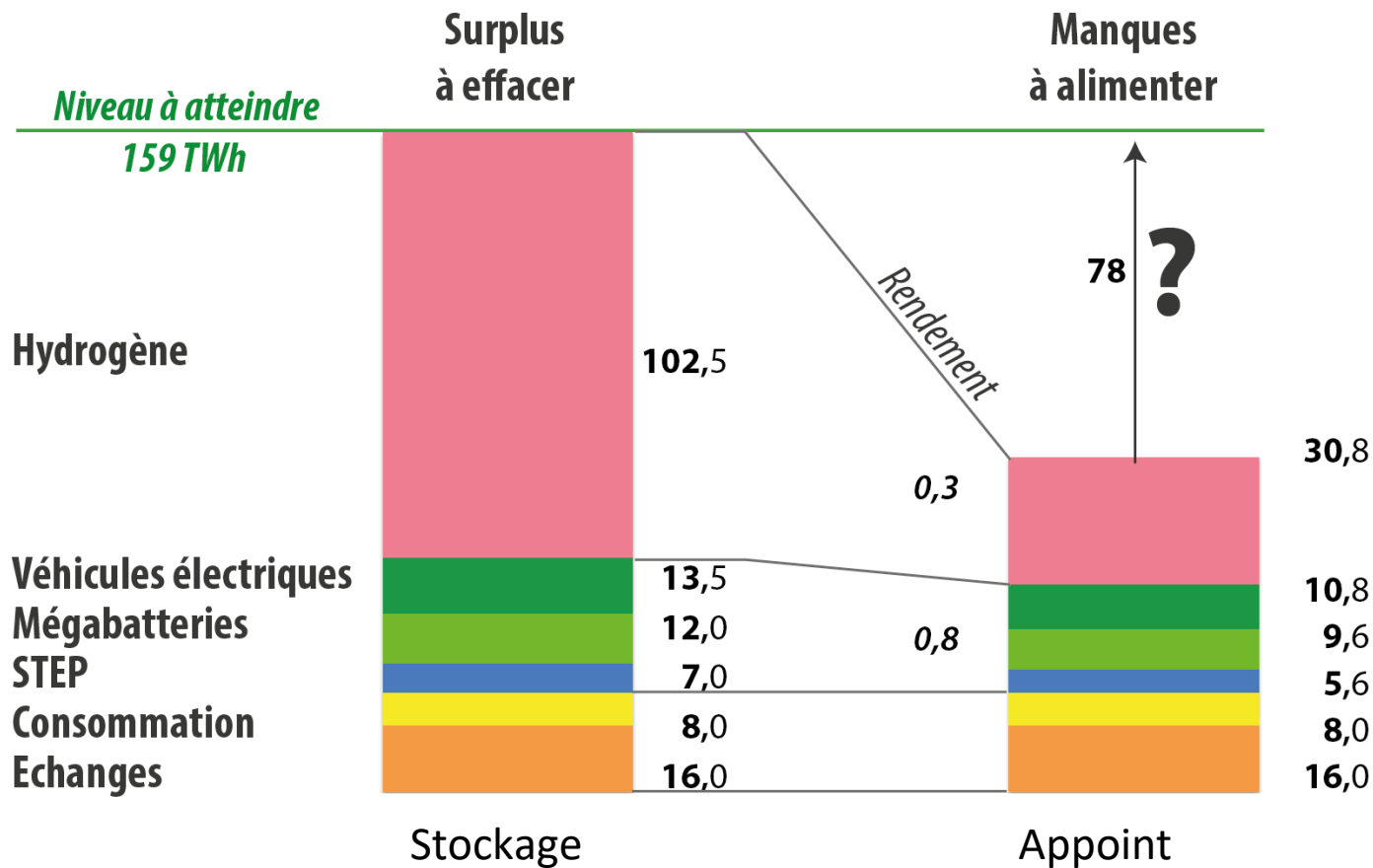
## Moyens

- Echanges transfrontaliers
- Adaptation des consommateurs
- STEP: Stations de Transfert d'Energie par Pompage (& hydro flexible)
- Mégabatteries dédiées au réseau
- Véhicules électriques
- Stockage hydrogène

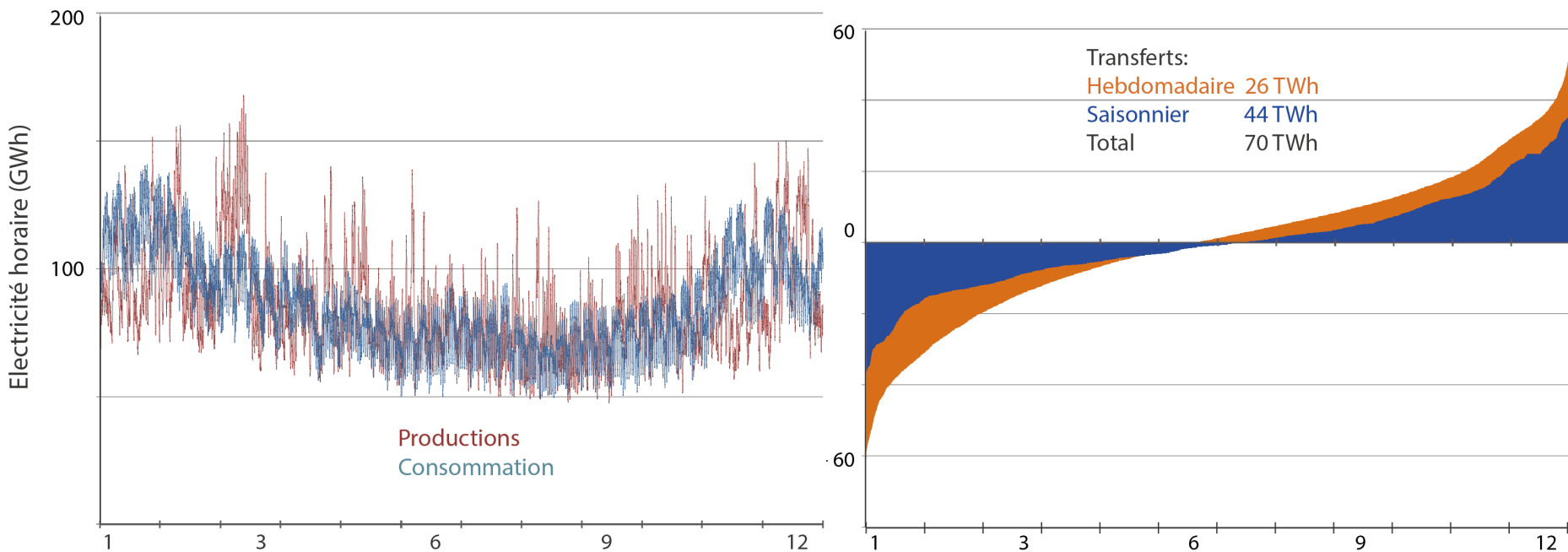
## Sans oublier:

- Coût énergétique des transformations
- Incertitude sur disponibilité

# Bilan à la fin de l'année

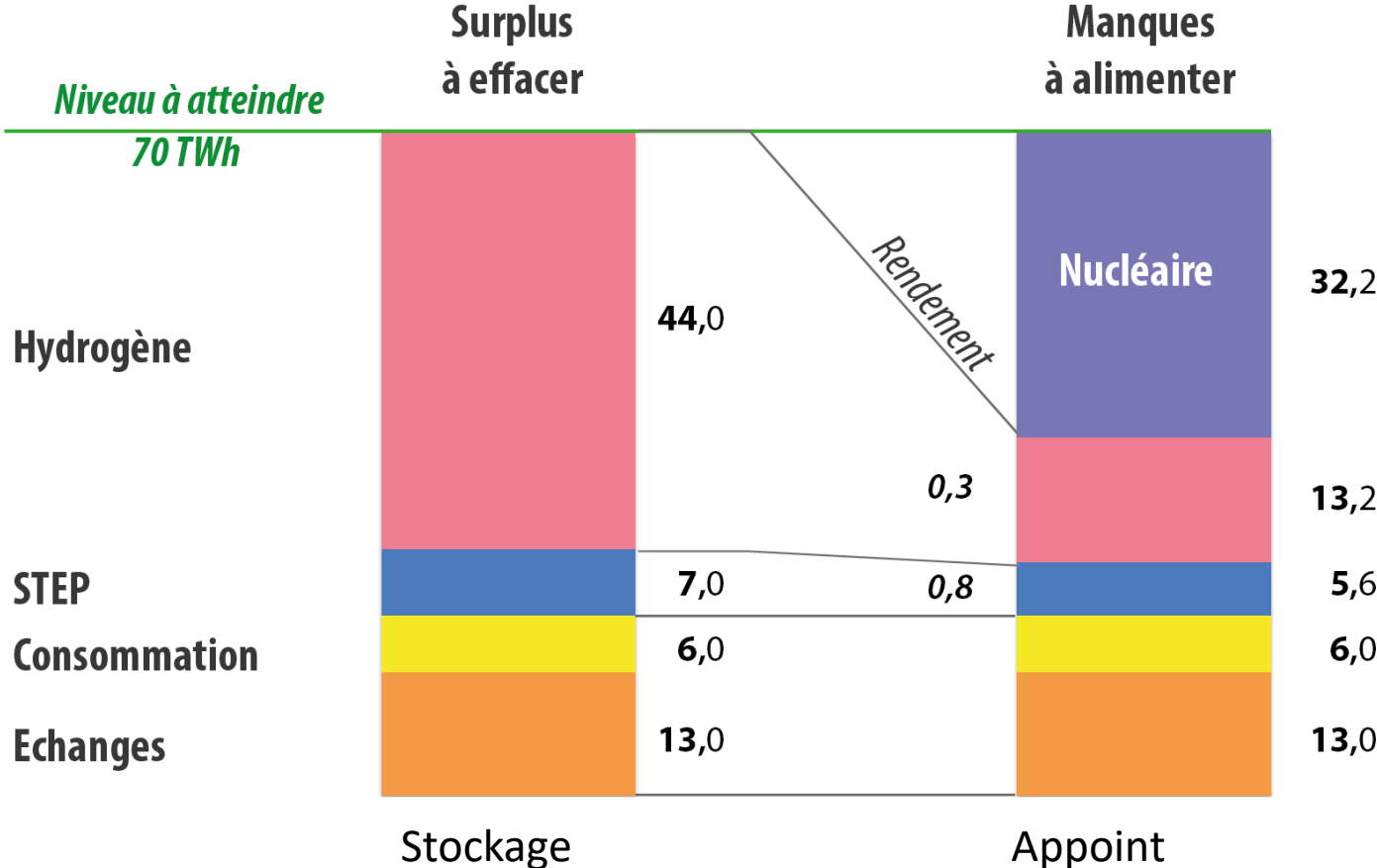


# Scénario 50% ENR – 50% nucléaire



Conso	nucléaire	éolien	solaire	hydro	biomasse
1,6	1	6,5	4,5	1	4,1

# Bilan à la fin de l'année du scénario 50%





# Conclusions

- Scénario 100% aboutit à une impossibilité,
- Il n'y a pas assez d'énergie pour combler les manques à cause du coût énergétique des transformations
- Il n'y a plus assez de moyens pilotables : hydro et biomasse
- Il n'y a pas beaucoup plus à espérer de l'import des voisins européens ou de l'adaptation des consommateurs
- Scénario 50% peut être atteint au prix de forts investissements dans les moyens de flexibilité
- La question de leur disponibilité sera centrale pour la rentabilité des investissements
- Le maintien d'un parc suffisant de sources pilotables (nucléaire, hydraulique, biomasse) est un prérequis
- Une évaluation scientifique des choix et du retour d'expérience s'impose.

# Merci de votre attention

Marc FONTECAVE

CHAIRE CHIMIE DES PROCESSUS BIOLOGIQUES

## La transition énergétique : aujourd'hui et demain

5 avril > 24 mai 2023

Les cours, séminaires, colloques et projections sont gratuits, en accès libre, sans inscription préalable.

COLLÈGE  
DE FRANCE  
— 1530 —

## COURS & SÉMINAIRE

Amphithéâtre Guillaume Budé.

COURS à 10h ; SÉMINAIRE (en lien avec le cours) à 11h

En libre accès, dans la limite des places disponibles.

**Mercredi 5 avril 2023**

COURS :

**Le contexte : hydrocarbures, CO2 et climat (I)**

SÉMINAIRE :

**Cycle naturel du carbone :  
Que peut-on observer depuis l'espace ?**

François-Marie Bréon, Directeur de Recherches au CEA, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, CEA/DRF/LSCE, Gif-sur-Yvette

**Mercredi 12 avril 2023**

COURS :

**Le contexte : hydrocarbures, CO2 et climat (II)**

SÉMINAIRE :

**Attribuer les événements climatiques au changement climatique : questions, méthodes, et projections**

Robert Vautard, Directeur de Recherches au CNRS, Auteur-coordonateur du 6ème rapport du GIEC, Directeur de l'Institut Pierre-Simon Laplace des Sciences Naturelles du Climat

**Mercredi 19 avril 2023**

COURS :

**Des fossiles aux énergies électriques bas-carbone**

SÉMINAIRE :

**Pour un nucléaire durable : La génération IV et la gestion du cycle du combustible**

Yves Bréchet, Membre de l'Académie des Sciences, Ancien Haut-Commissaire à l'énergie atomique, Professeur associé à l'Université de McMaster (Canada) et à l'Université de Monash (Australie)

**Mercredi 10 mai 2023**

COURS :

**La transition énergétique : les scénarios (I)**

SÉMINAIRE :

**L'approvisionnement en métaux critiques, le nouveau défi de la transition énergétique**

Christophe Poinssot, Directeur Général Délégué et Directeur Scientifique, Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM).

**Mercredi 17 mai 2023**

COURS :

**La transition énergétique : les scénarios (II)**

SÉMINAIRE :

**L'habitat du futur : un défi pour l'énergie et l'environnement, une nécessité d'innovations**

Didier Roux, Membre de l'Académie des Sciences, Membre de l'Académie des Technologies, Ex-Directeur de la R et D et de l'Innovation du Groupe Saint-Gobain

**Mercredi 24 mai 2023**

COURS :

**Stockage d'énergie et flexibilités : une question clé pour le mix électrique de demain**

SÉMINAIRE :

**La tenue du système électrique aux anticyclones hivernaux à mi-siècle**

Dominique Grand, Docteur en Physique, Hydro21, c/o Artelia, 6 rue de Lorraine, 38130, Echirrolles, France

## À VENIR

**COLLOQUE – jeudi 19 juin 2023**

Amphithéâtre Guillaume Budé

**Chimie des polymères : vers des plastiques verts**

<https://www.college-de-france.fr/sites/default/files/media/document/02/FONTECAVE%20Marc%202022-2023%20cours%20et%20s%C3%A9minaires%2>