



# Les nouveaux usages du sous-sol après l'exploration des énergies fossiles Exemples français

Marc Blaizot

SGF-AVENIA

marc.blaizot@gmail.com



# Plan de la présentation

**1-Les énergies fossiles en France : les principaux repères et historique des productions**

**2-La soif de charbon et ses conséquences géologiques**

**3-Le déploiement de l'exploration et de la production pétrolières et gazières :**

Pourquoi ? Où ? Comment ?

**4-Une très grande base de données et de connaissances géologiques**, clefs pour l'accès à l'eau douce/la géothermie/l'exploration H2 et He/les stockages de gaz et le CMM/CBM

**5-Conclusions : les nouveaux usages et métiers du sous-sol :**

plus simple ou plus compliqué ?

# La France des énergies fossiles : une très longue histoire

Première exploitation minière du charbon : l'abbaye de Cendras en... 1230 ? Proche d'Alès mais la grande industrie du charbon aux XVIIIe et XIXe siècles : St Etienne, Lorraine, Nord

avec le géant industriel et capitaliste « Les mines d'Anzin »

**Les sables bitumineux** : suintements naturels puis galeries à Pechelbronn (Alsace) : 1742

Première production de **schistes bitumineux** par pyrolyse (400 °C) à Autun (Bourgogne) : **1824**

Première production de **pétrole conventionnel** (puits : 500 à 1500m de profondeur ; pompes, diagraphies : Schlumberger) : Pechelbronn : 1882

Première **découverte de gaz naturel** (1906) à Vaux en Bugey après une forte explosion dans un puits à la recherche de sel, Gaz utilisé pour l'usine de verre de St Gobain.

Principales **découvertes de gaz géantes** (acides) : Lacq et puis Meillon (Aquitaine = 9 Tcf en 1951) et deux grands champs pétroliers :

**Parentis** (Bassin aquitain-210 Mbo) en 1954 et **Chaunoy** (Bassin parisien-100 Mbo) en 1983

**Première fracturation hydraulique** européenne : Parentis 1956.

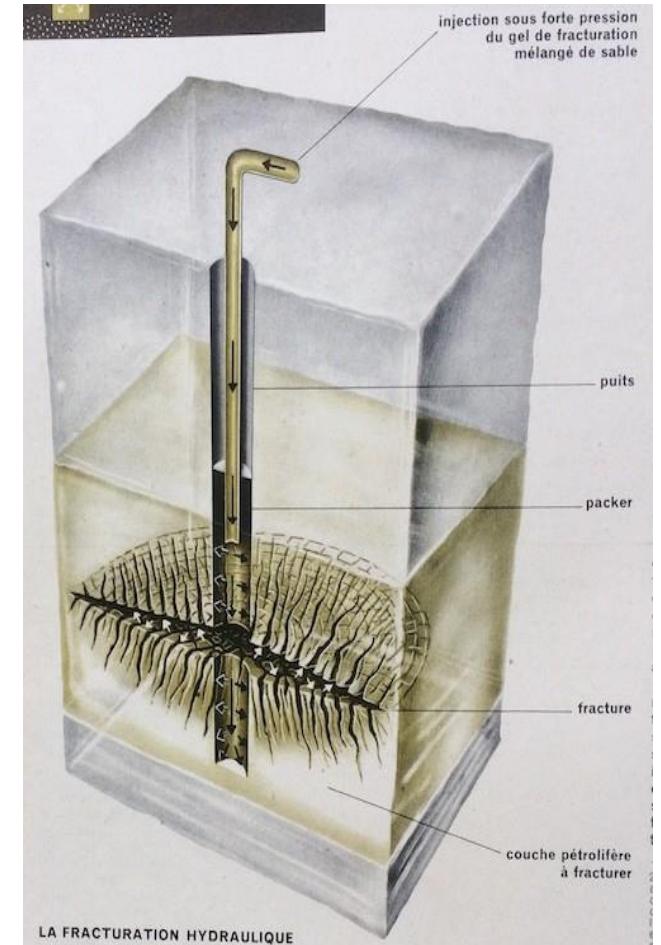


Première... fracturation massive : Exxon- Parentis 1956  
Première... interdiction massive : loi Jacob- Paris 2011



1- Fracturation

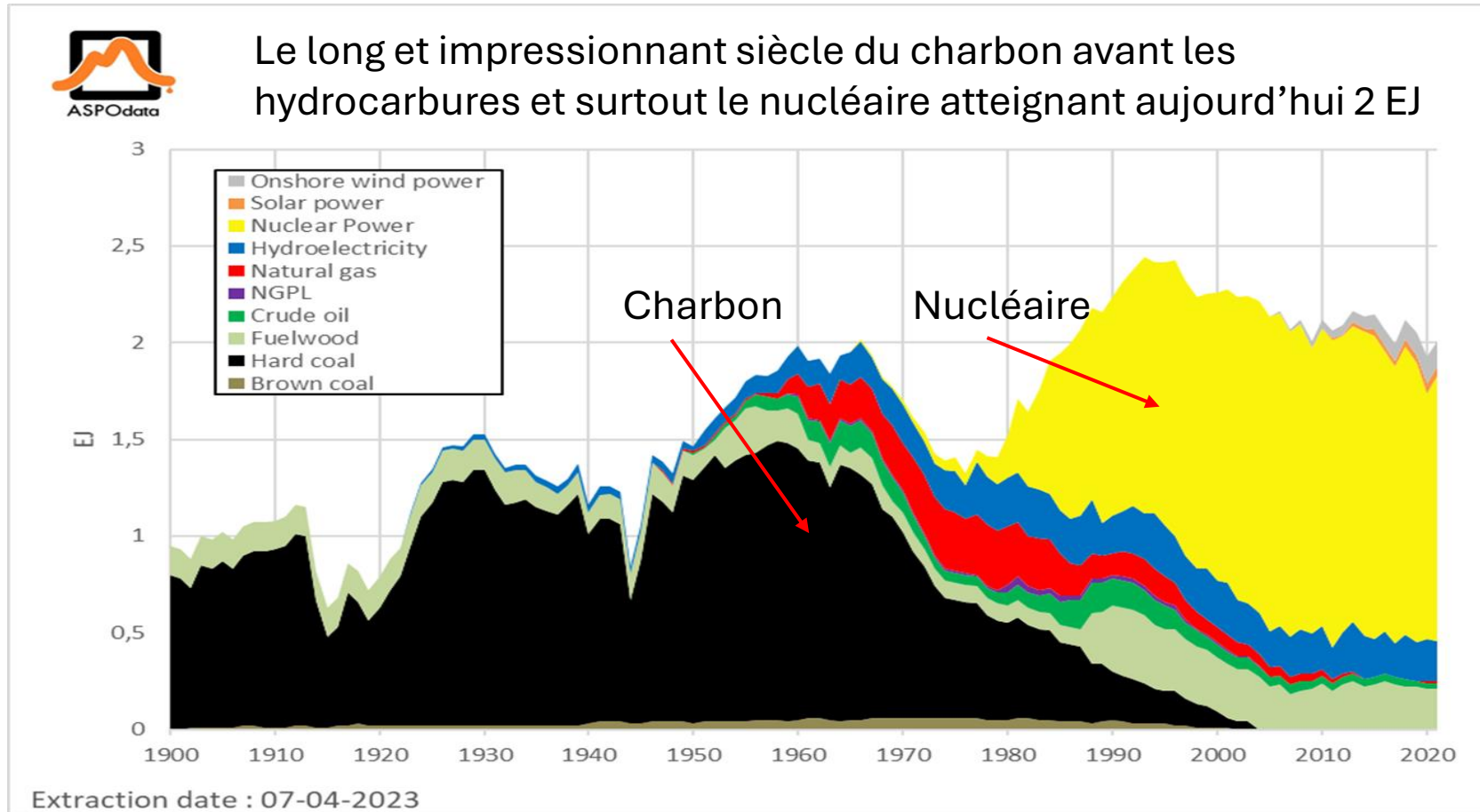
2-injection de sables



Extrait de « **Pétrole Progrès** » Journal, N°36-1958,  
publié par **ESSO** France ( Exxon Group).

« un grain de sable : la fracturation hydraulique des puits de pétrole »

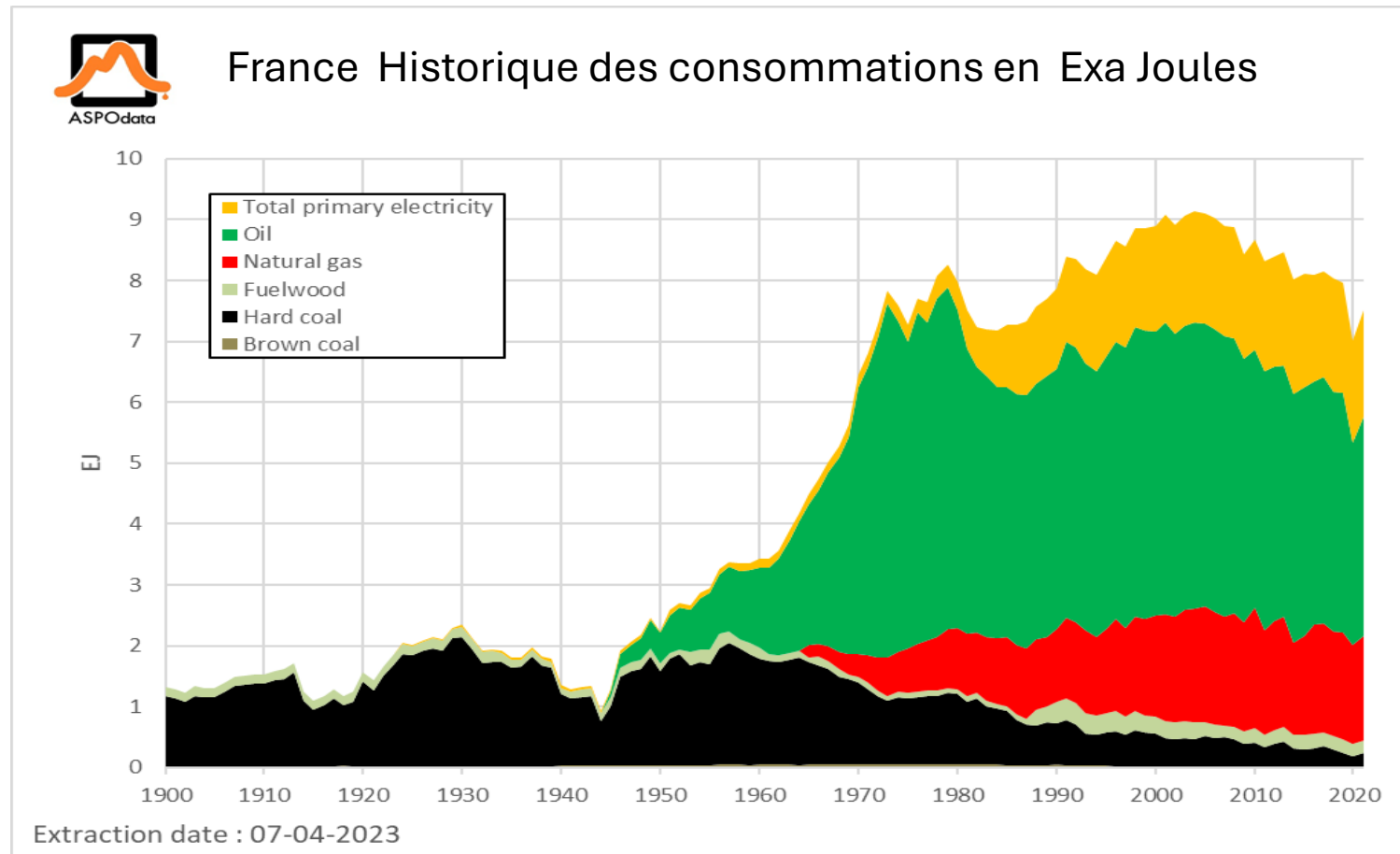
# France : Historique des productions énergétiques (en Exa-Joules)



Une des très rares transitions énergétiques réussies d'un point de vue socio-économique, climatique et souverain : **charbon remplacé par nucléaire**

1 Exa-Joule = 278 TWh

# Mais une consommation toujours basée (70%) sur les hydrocarbures importés ; comment réaliser un nouveau parcours énergétique national ?



Même si le charbon a été remplacé par l'électricité nucléaire... Des consommations d'hydrocarbures encore très élevées ! : 6 EJ ! pour mobilité, logement, industries

## **Besoin de :**

Géothermie (chaleur), hydrogène naturel, stockages de gaz, méthane de houille

# Plan de la présentation

**1-Les énergies fossiles en France** : les principaux repères et historique des productions

**2-La soif de charbon et ses conséquences géologiques**

**3-Le déploiement de l'exploration et de la production pétrolières et gazières :**

Pourquoi ? Où ? Comment ?

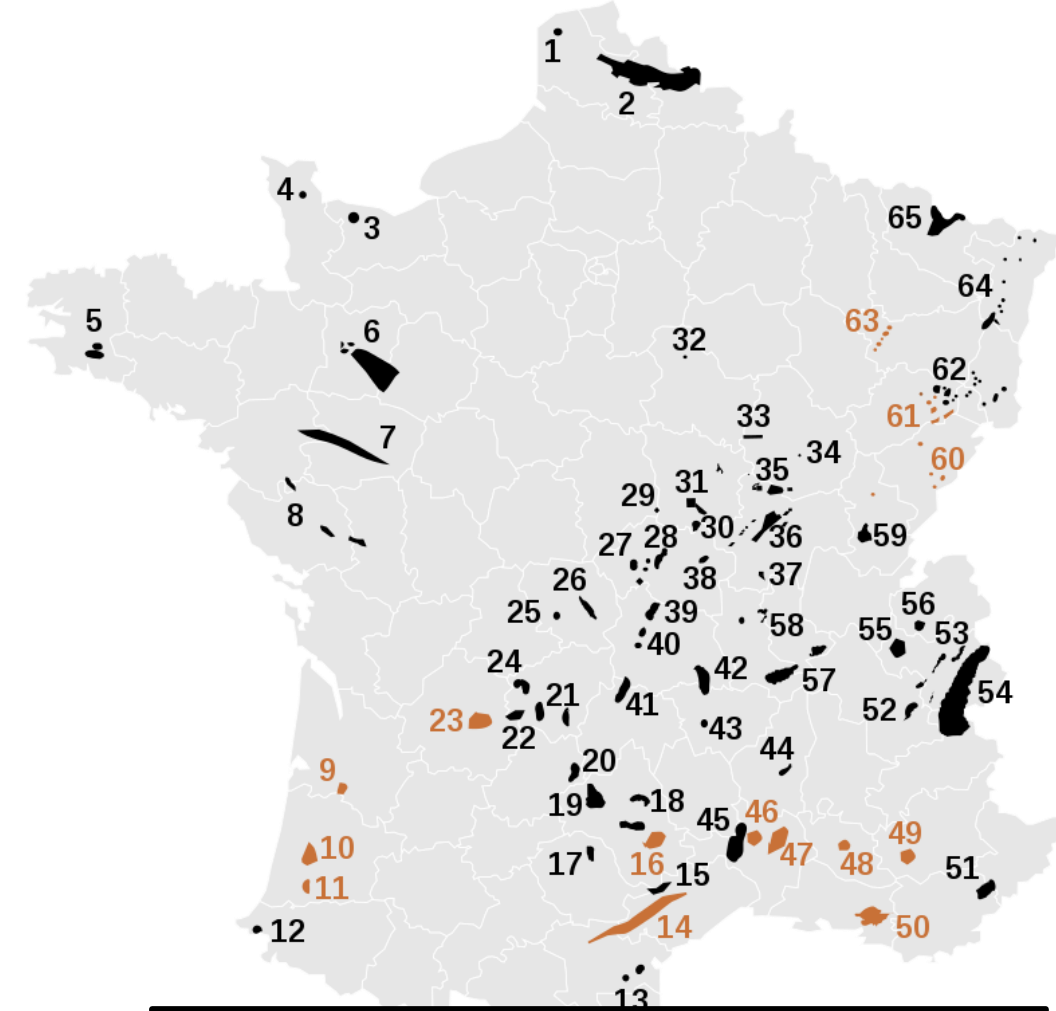
**4-Une très grande base de données et de connaissances géologiques**, clefs pour l'accès à l'eau douce/la géothermie/l'exploration H2 et He/les stockages de gaz et le CMM/CBM

**5-Conclusions : les nouveaux usages et métiers du sous-sol :**

plus simple ou plus compliqué ?

# L'exploration et l'exploitation du charbon : une contribution décisive à la compréhension des bassins sédimentaires

Well name	Depth	Date	Location	Company
<a href="#">Puits Vouters</a>	1 327 mètres	1958	<a href="#">Freyming-Merlebach</a>	<a href="#">Houillères de Lorraine</a>
<a href="#">Puits Reumaux</a>	1 138 mètres	1923	<a href="#">Freyming-Merlebach</a>	<a href="#">Houillères de Lorraine</a>
<a href="#">Puits Arthur-de-Buyer</a>	1 010 mètres	1900	<a href="#">Magny-Danigon</a>	<a href="#">Houillères de Ronchamp</a>
<a href="#">Puits Parran</a>	810 mètres	1880	<a href="#">Gagnières</a>	<a href="#">Mokta El Hadid</a>
<a href="#">Puits du Magny</a>	694 mètres	1878	<a href="#">Magny-Danigon</a>	<a href="#">Houillères de Ronchamp</a>
<a href="#">Puits Hottinguer</a>	623 mètres	1871	Autun	<a href="#">Houillères d'Épinac</a>



65 Bassins houillers permo-carbonifères  
Houille/Lignite

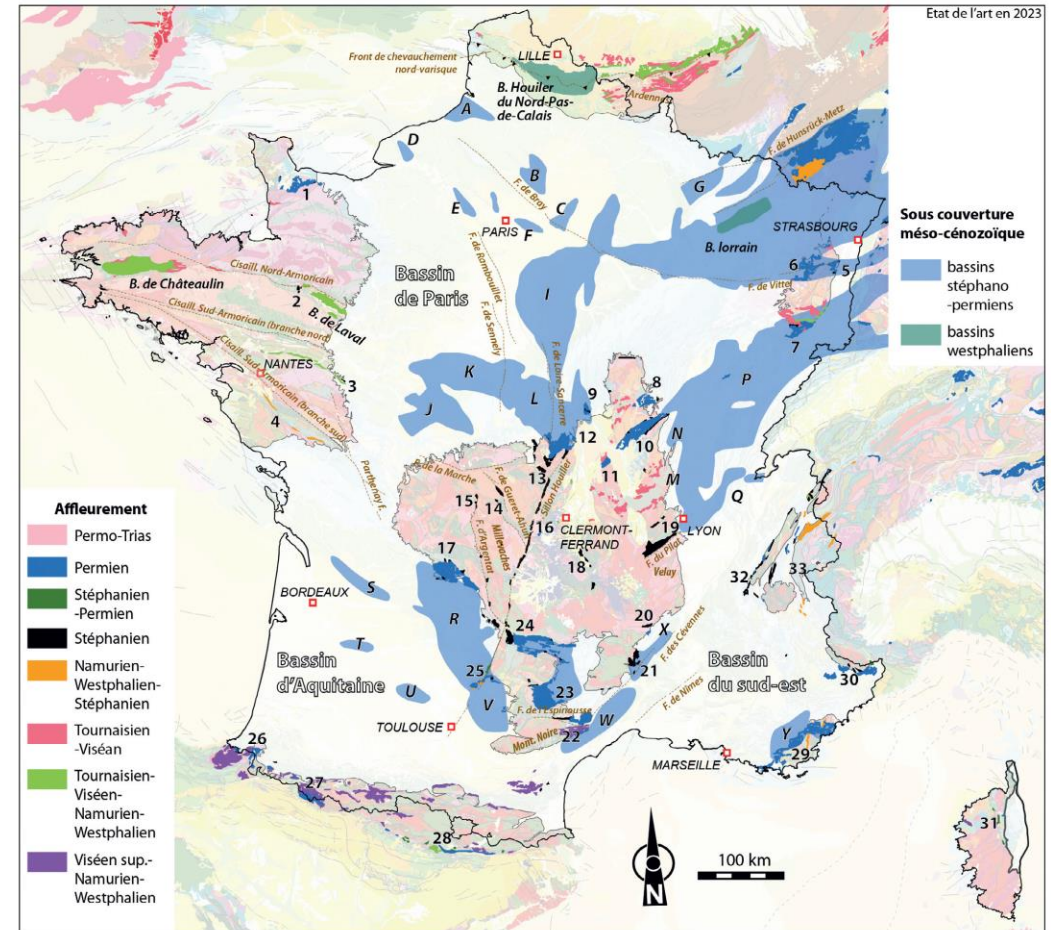


# Les bassins permo-carbonifères en France : l'apport des explorations C-O&G

Une épaisseur et une extension géographique énormes \*100 fois les affleurements !  
Nouvelle cartographie sous les bassins du Mésozoïque

**Bassins syn et post-orogénique hercyniens**  
Séries deltaïques ou lacustres très épaisses avec charbon (Carbonifère supérieur : Stéphanien) et charbon bitumineux ou de schistes bitumineux (Permien inférieur : Autunien)

Les bassins carbonifères-permiens en France métropolitaine



Avec l'aimable autorisation de la SGF - Geochronique décembre 2023

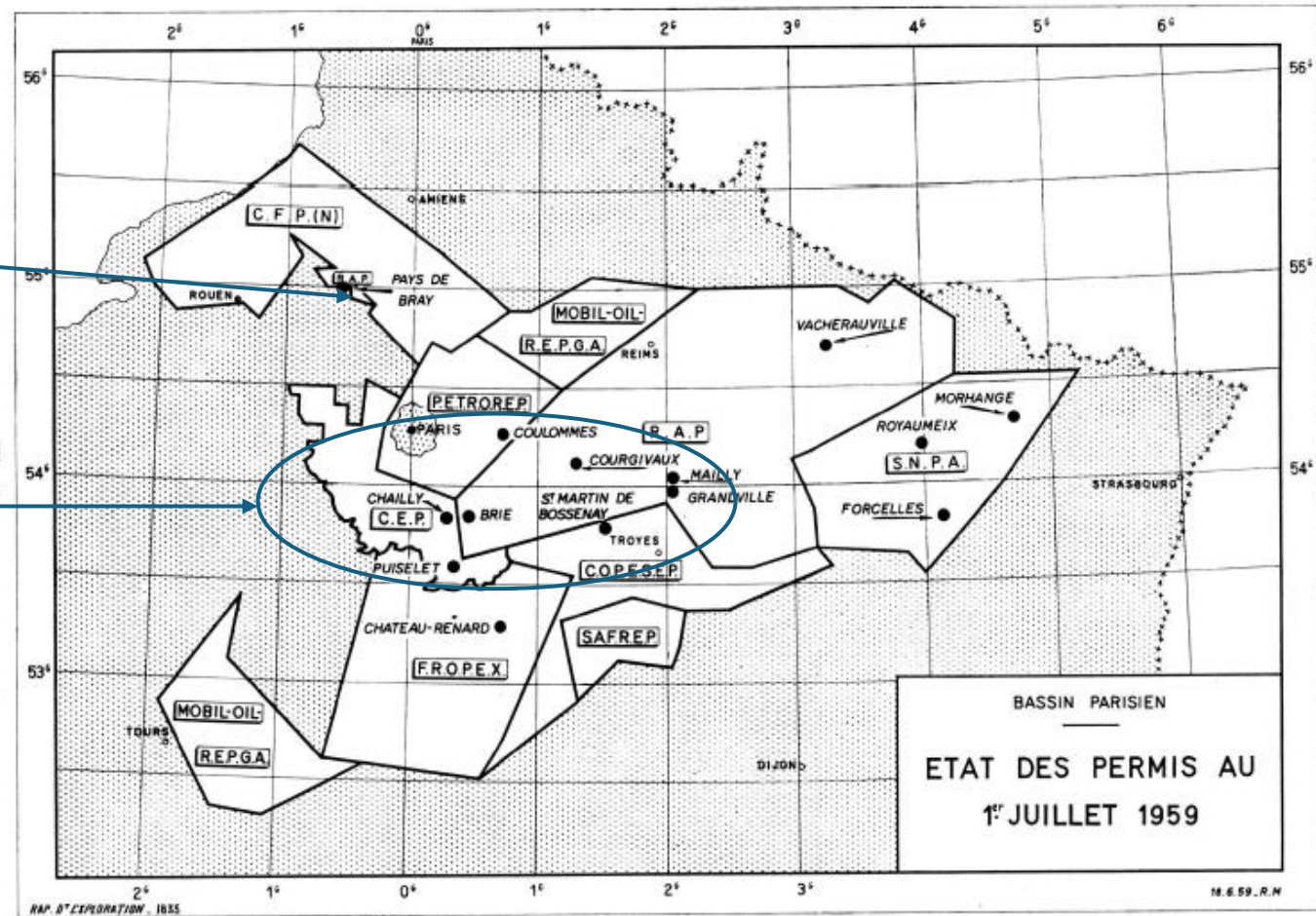
# Plan de la présentation

- 1-Les énergies fossiles en France** : les principaux repères et historique des productions
- 2-La soif de charbon et ses conséquences géologiques**
- 3-Le déploiement de l'exploration et de la production pétrolières et gazières :**  
**Pourquoi ? Où ? Comment ?**
- 4-Une très grande base de données et de connaissances géologiques**, clefs pour l'accès à l'eau douce/la géothermie/l'exploration H2 et He/les stockages de gaz et le CMM/CBM
- 5-Conclusions : les nouveaux usages et métiers du sous-sol :**  
plus simple ou plus compliqué ?



# Premiers pas dans le Bassin parisien (1955-1960)

- 1952 : grande étude de reconnaissance par l'IFP confirmant le bon potentiel de roche mère dans la série liasique, des réservoirs carbonatés probables et structures anticlinales possibles
- 1952 : premières lignes sismiques 2D
- 1954 : première découverte mais faible production de pétrole dans le Pays de Bray 101 par RAP
- 1952-1958 : nombreuses sociétés : SNPA, RAP, CFP (Total), Mobil, Shell...
- 1955-1960 : premières découvertes sérieuses dans les carbonates du Dogger, et les grès du Trias supérieur
- **Mais le repérage et la définition des pièges difficiles:**
  - Sismique 2D : les isochrones ne sont pas conformes aux isobathes (anisotropies latérales des vitesses)
  - Géologie : composantes stratigraphiques et hydrodynamiques du piège



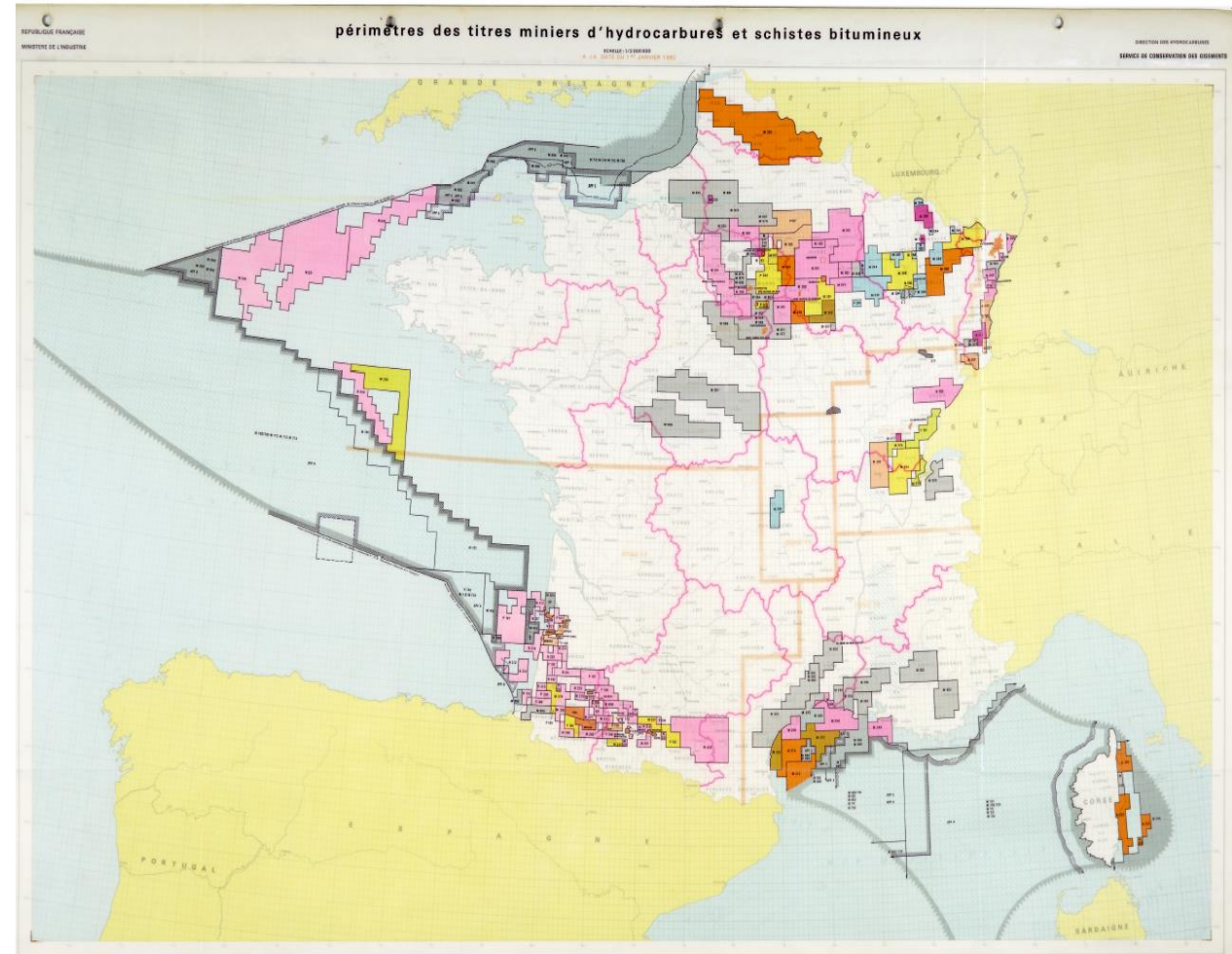
# Seulement 30 ans plus tard (1982) : le grand boom du Bassin parisien

Démarrage de l'exploration offshore dans la Manche, les approches occidentales (Iroise) et le golfe du Lion (Méditerranée) : aucun résultat

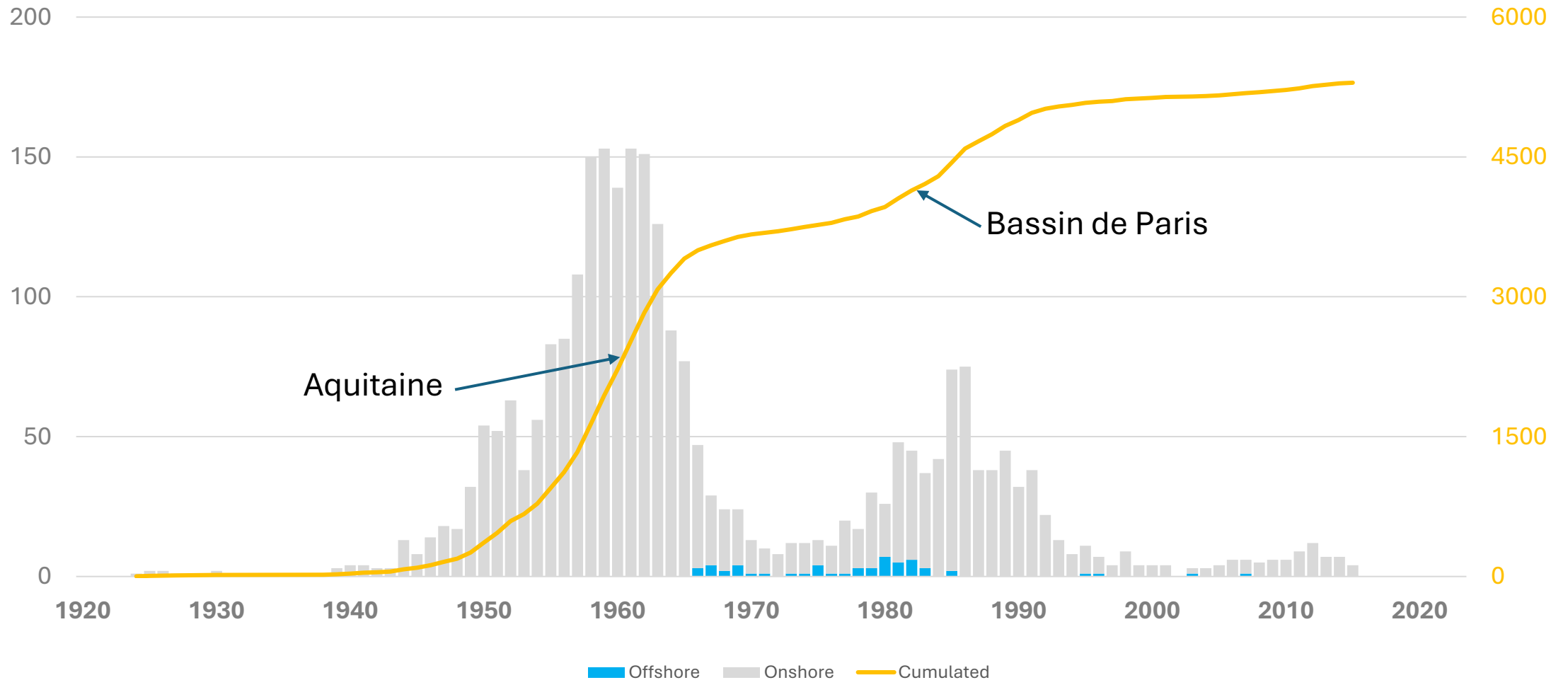
Focus sur le Bassin parisien et enfin grâce aux préforages et à la sismique 3D : les 2 grandes découvertes de 1983 !

**Chaunoy (Exxon) Keuper gréseux : 100 Mbo**

**Villeperdue (TOTAL) : Dogger Carbonaté : 55 Mbo**



# Deux périodes d'exploration et de découvertes dans deux bassins



**Puits d'exploration et d'appréciation O&G forés par an en France et cumulés**  
Avec l'aimable autorisation de 45-8 Energy-Aout 2024

# Plan de la présentation

**1-Les énergies fossiles en France** : les principaux repères et historique des productions

**2-La soif de charbon et ses conséquences géologiques**

**3-Le déploiement de l'exploration et de la production pétrolières et gazières :**

Pourquoi ? Où ? Comment ?

**4-Une très grande base de données et de connaissances géologiques, clefs pour l'accès à l'eau douce/la géothermie/l'exploration H2 et He/les stockages de gaz et le CMM/CBM**

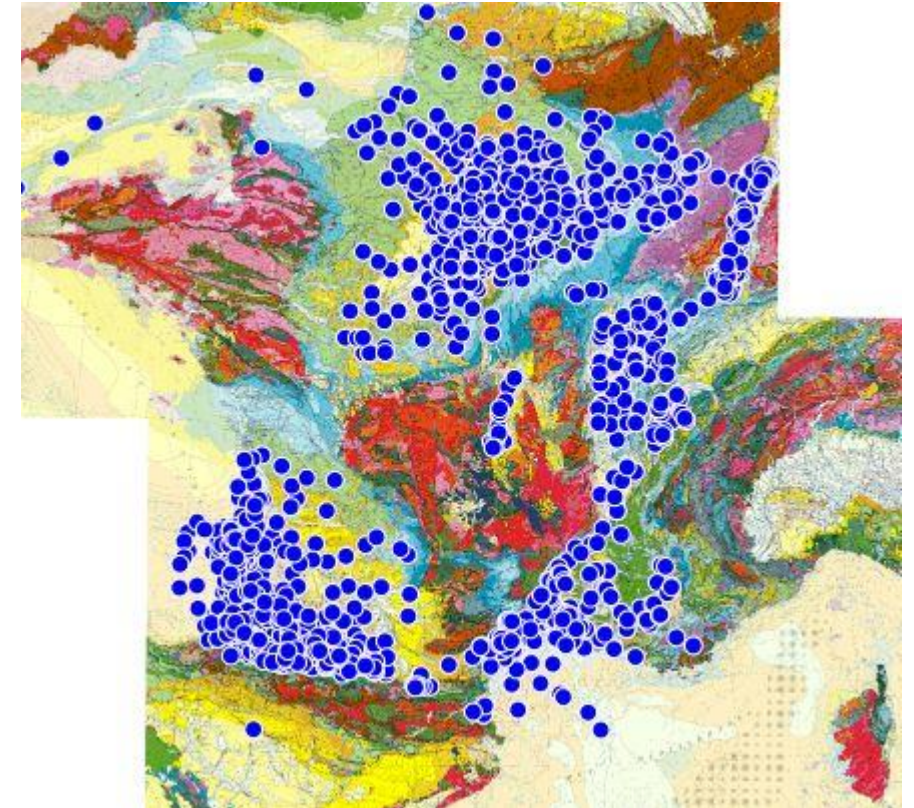
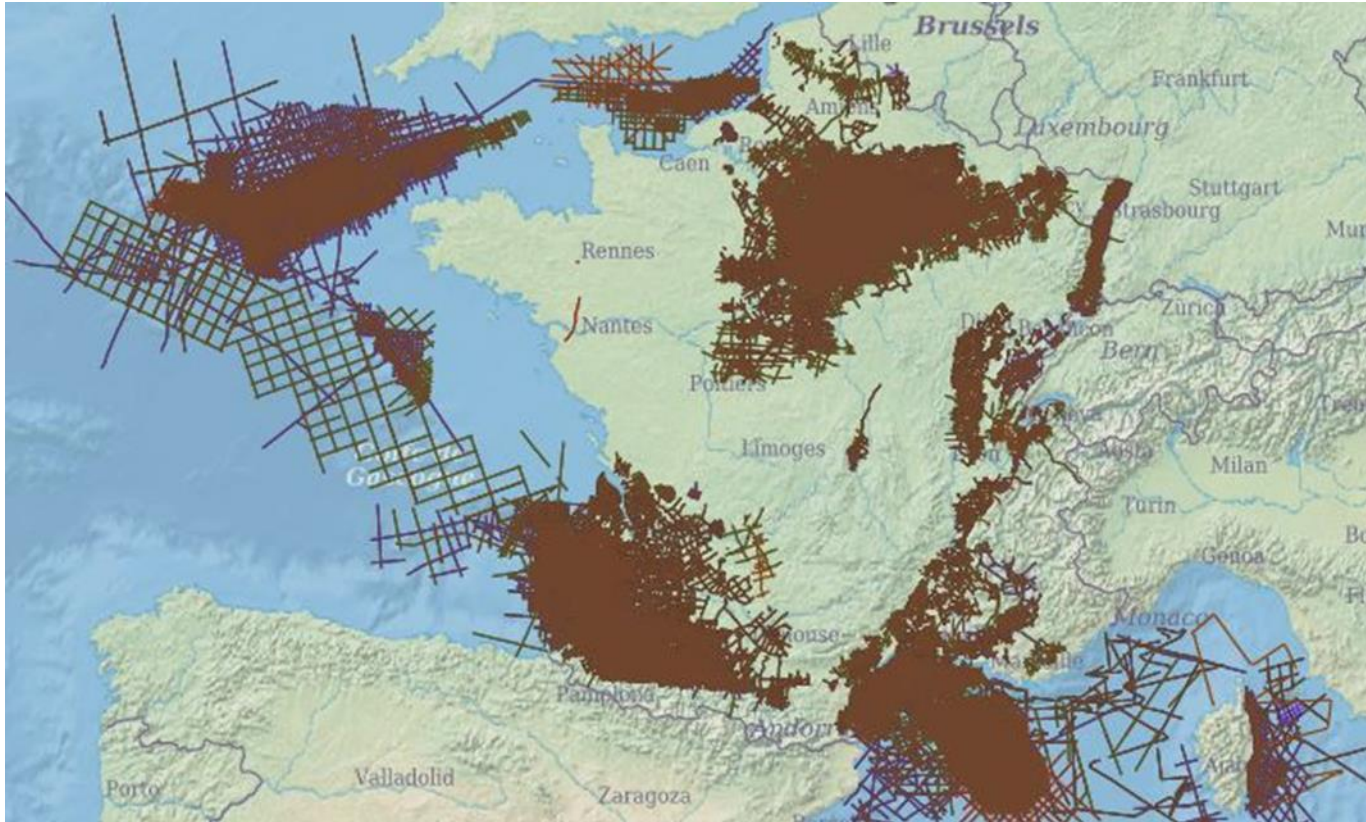
**5-Conclusions : les nouveaux usages et métiers du sous-sol :**

plus simple ou plus compliqué ?

# Une base de données gigantesque : puits d'exploration et sismiques

Sismique 2D : 372000 km; Sismique 3D : 4750 km<sup>2</sup>

Puits O&G : 5300 E&A



La BDD essentielle pour comprendre tous les bassins sédimentaires (Paris, Aquitaine, Alsace, Rhône, Jura...) sur <http://www.minergies.fr/fr/page/acces-aux-donnees>



# Pour en savoir plus sur les puits : carottes et déblais, géochimie (gaz, eaux...) à Boussens (STC), à proximité de la découverte de gaz de St Marcet

Carothèque géante à Boussens (Sud-Ouest de Toulouse) avec pour la France uniquement :

153 000 m de carottes

46 500 m de sacs de cuttings

100 000 m Documents techniques

2 000 000 de pages numérisées

Associé à un laboratoire pétrographique

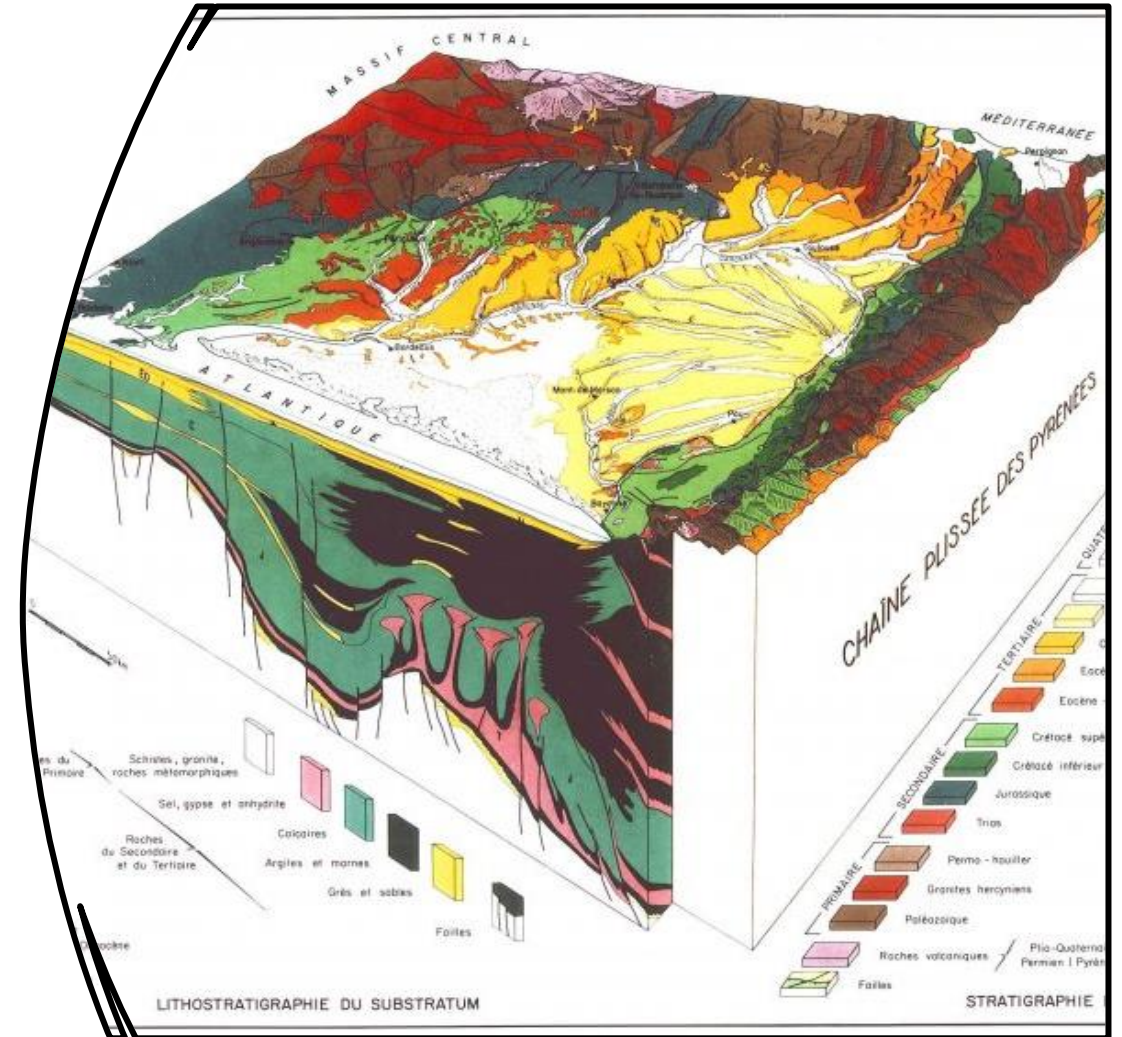


<https://www.stc-archivage.fr/en>

# Connaissance du sous-sol grâce à l'exploration pétrolière et gazière

## L'exemple du Bassin aquitain : de la cartographie de surface au modèle 3D

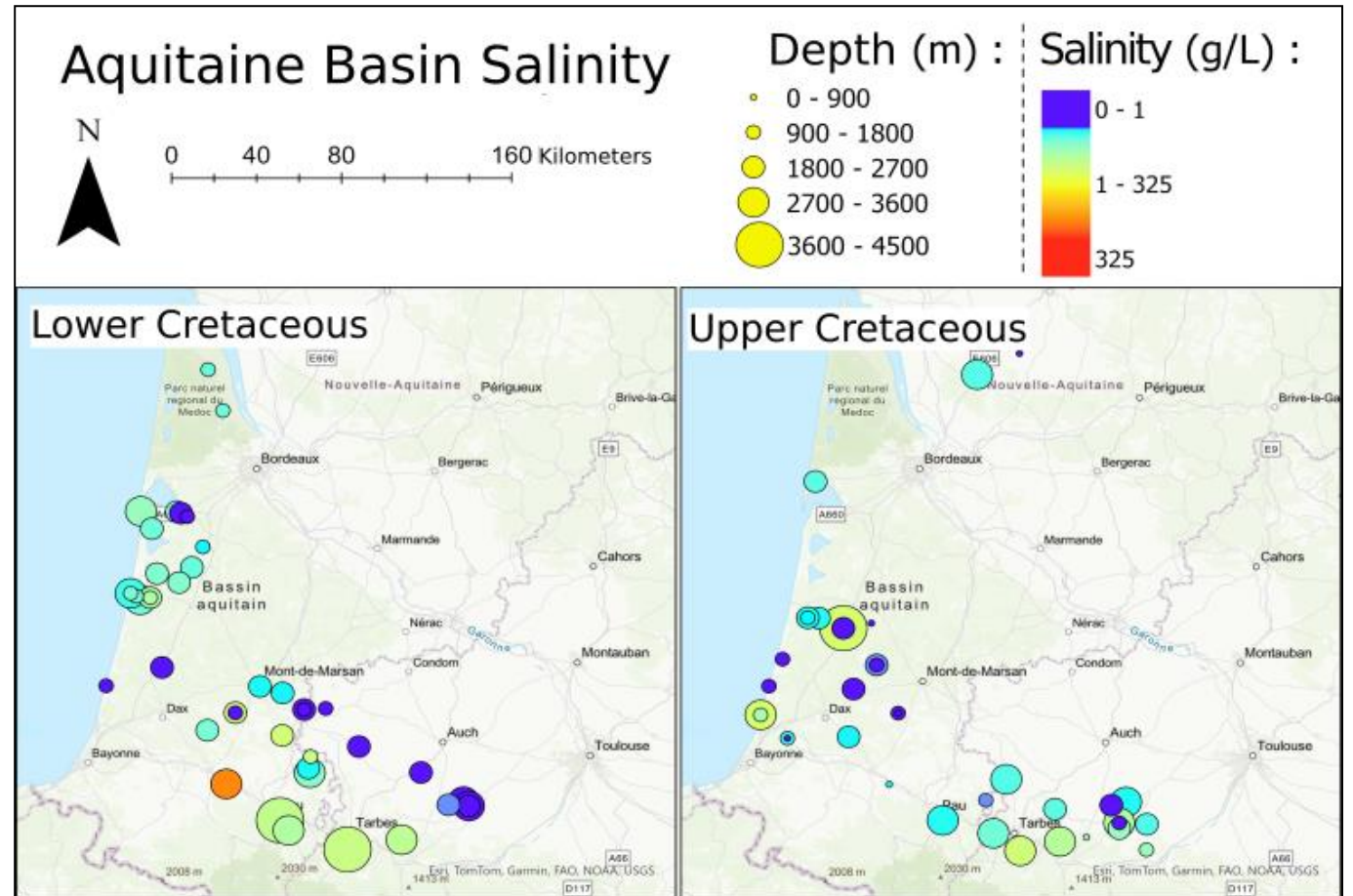
- 1-Orogenèse varisque à 300 Ma : plissement, métamorphisme, granites et soulèvement
- 2-Important dépôt-centre du Permo-Trias au Miocène principalement lié à l'érosion de la chaîne hercynienne et à l'hyper extension de l'Albien (hemi- grabens profonds et subsidents associés au volcanisme basaltes) remobilisant le sel du Trias en diapirs,
- 3-Orogenèse pyrénéenne de l'Éo/Oligocène créant une FTB au sud et des plissements associés vers le nord



# Eaux souterraines douces en profondeur

## Salinités mesurées dans les puits O&G

Grands aquifères avec **des eaux douces même à des profondeurs importantes,**  
D'énormes réserves d'eau douce: une ressource précieuse pour les prochaines périodes de pénurie d'eau



Avec l'aimable autorisation d'AVENIA (2024)

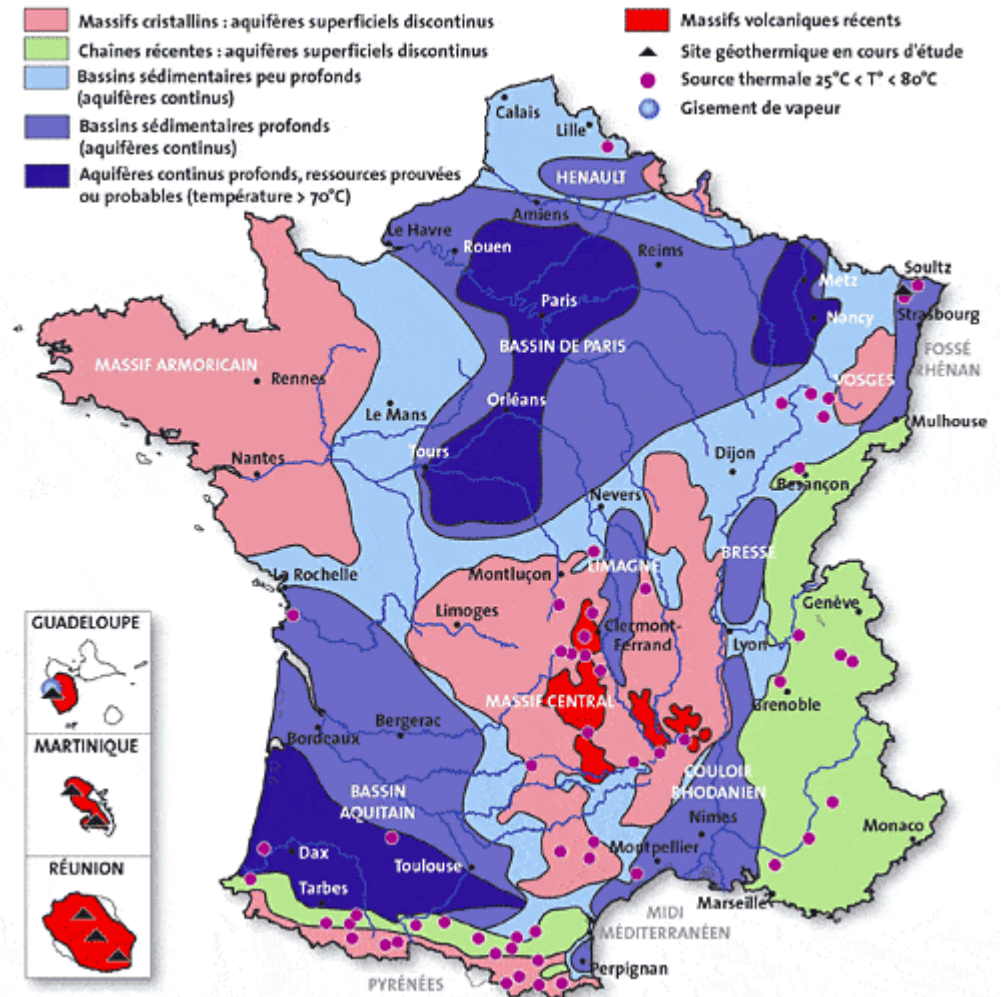
# Une découverte d'eau douce, déjà dans notre verre

- L'eau des Abatilles (près d'Arcachon) a été découverte dans l'un des premiers puits d'exploration pétrolière en 1924 à 470m de profondeur,
- En production depuis 1926 à 1000 bpj
- **50 000 000 litres/an en 2022 à 1,5 €/l**
- Bien plus profitable que n'importe quelle entreprise pétrolière qui vend à  $70/159 = 0,44$  €/l son pétrole

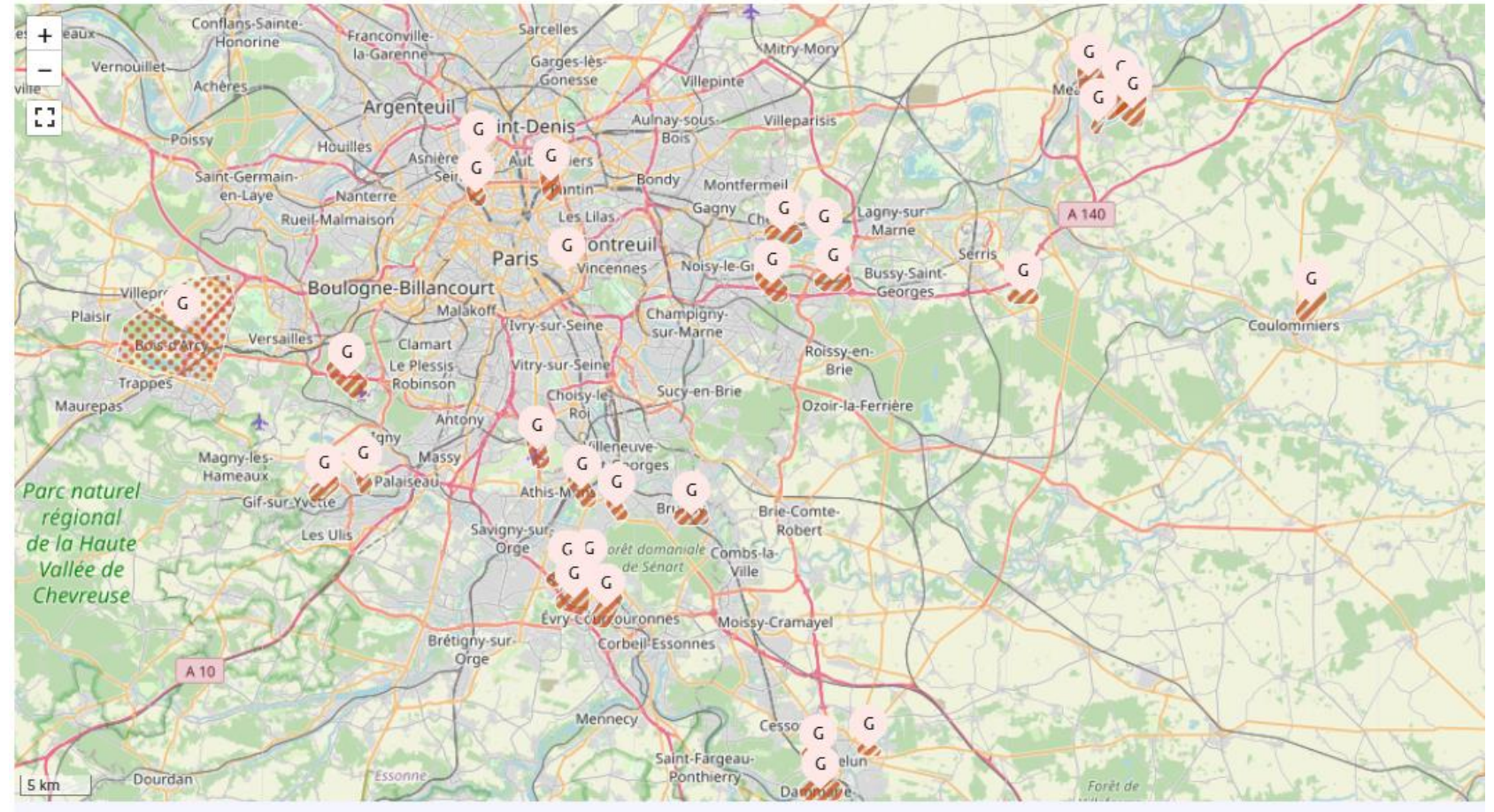


# France : potentiel géothermique profond

- Carte des températures souterraines enregistrées dans les puits d'O&G
- La productivité de l'eau peut être évaluée à partir des essais O&G et/ou de mesures de perméabilité (effectuées ou à effectuer sur des carottes)
- **Potentiel géothermique = T \* K**
- Les risques HSE des prochains forages évités grâce aux mesures de pression réalisées dans les puits O&G
- Principales cibles : bassins sédimentaires : Paris, Aquitaine, Alsace, Limagnes, Sud-Est



# La géothermie moyenne température : une réussite française : le Bassin de Paris



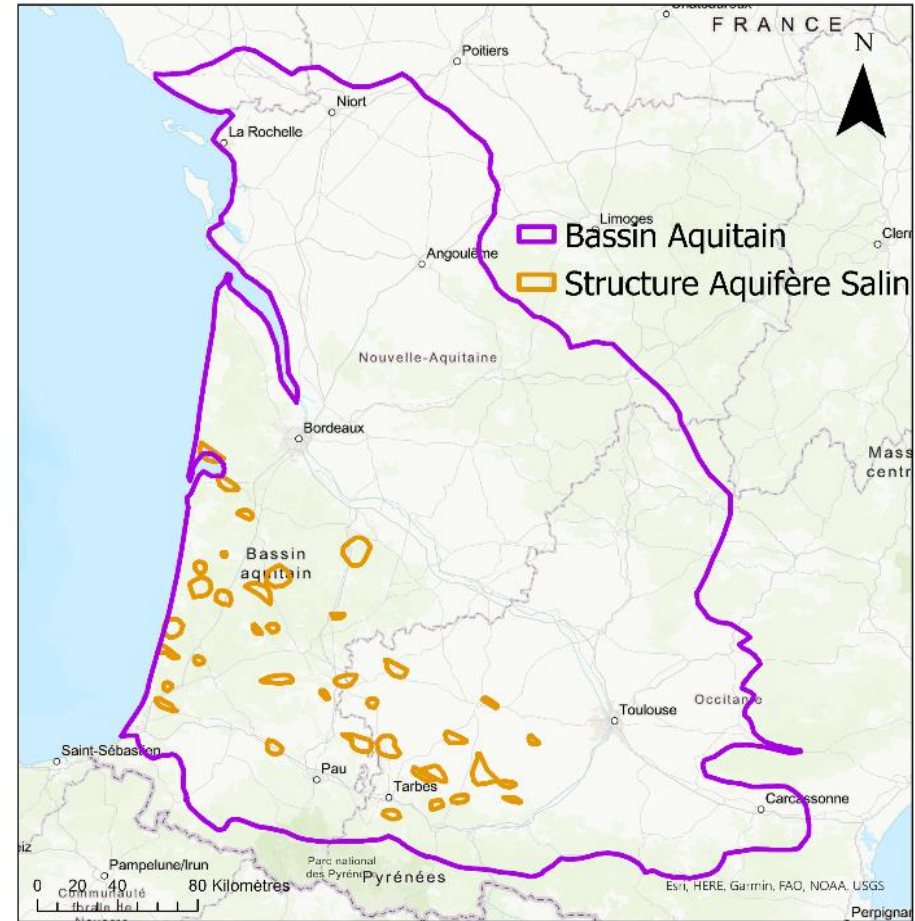
# Stockages du CO2 dans les aquifères salins

## **Bassin aquitain :**

Grâce aux explorations O&G  
Plus de 30 pièges structuraux (secs en O&G) ont été reconnus comme des stockages souterrains potentiels de CO2

Toutes les structures sont cartographiées grâce à la sismique pétrolière et calibrées à l'aide des puits O&G présentant de bons couples réservoir-couverture

Des travaux spécifiques à réaliser :  
géomécanique, intégrité (cimentation)  
des puits

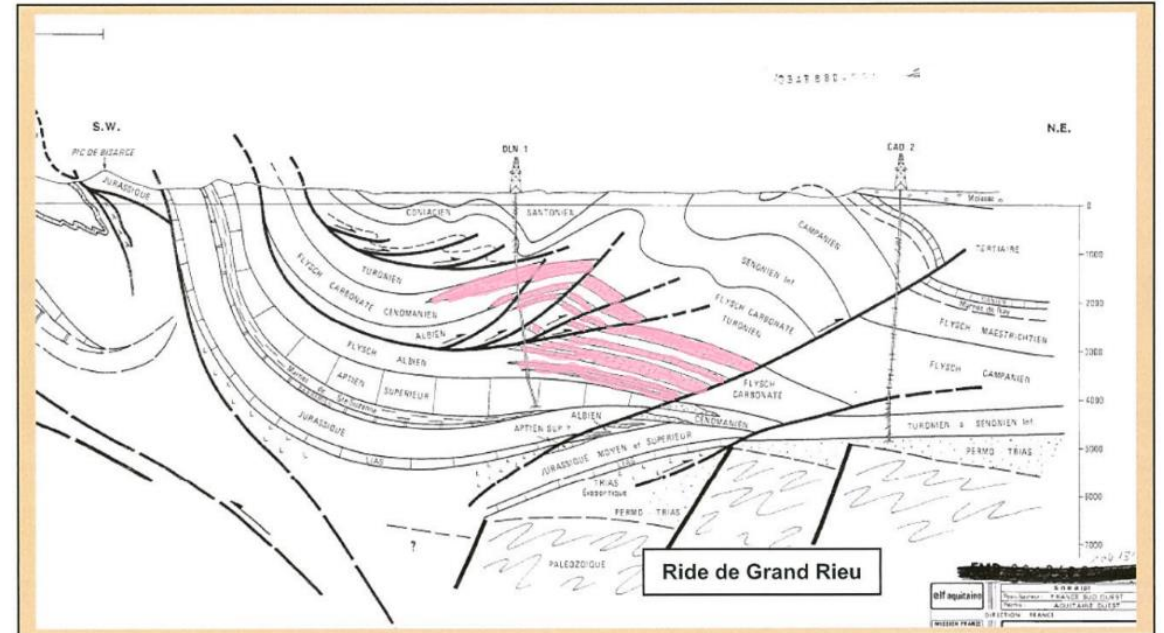


Avec l'aimable autorisation d'AVENIA (2024)

# Minéralisation du CO<sub>2</sub> dans les volcanites pyrénéennes : le projet AVENIA Pycafix



Au pied des Pyrénées (France et Espagne), dans des bassins albo-cénomannien, d'épais et étendus basaltes et dolérites injectés et cartographiables grâce à la sismique et aux puits O&G, des roches idéales pour fixer le CO<sub>2</sub> anthropique à une profondeur raisonnable (2000m) mais R&D : Les roches volcaniques anciennes (100 Ma) et froides (60°C) peuvent-elles avoir des caractéristiques suffisantes ( $\phi$ , K) pour permettre la précipitation des carbonates ?





# Stockage de l'H2 en couches salifères : principales périodes évaporitiques en France : Trias, et Oligo-Miocène

En Aquitaine, les dépôts et structurations des évaporites sont liées au climat et/ou au contexte structural du Trias puis de l'halocinèse (extension albo-cénomanienne et subsidence crétacée)

Les structures diapiriques pourraient être favorables au stockage d'H2 dans des cavités salines

## SECTION 4

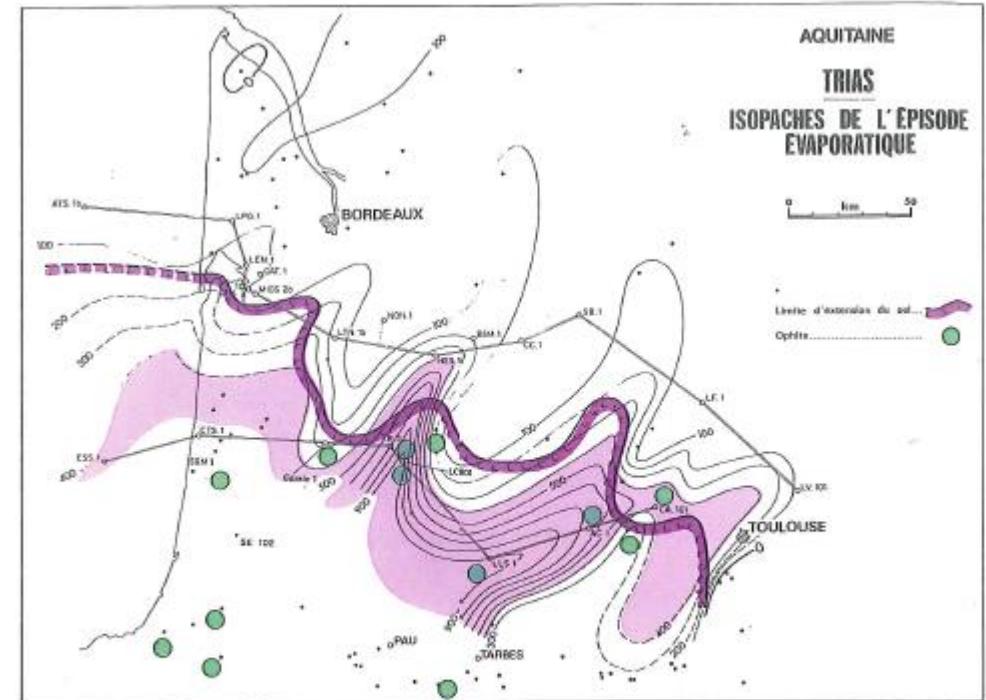
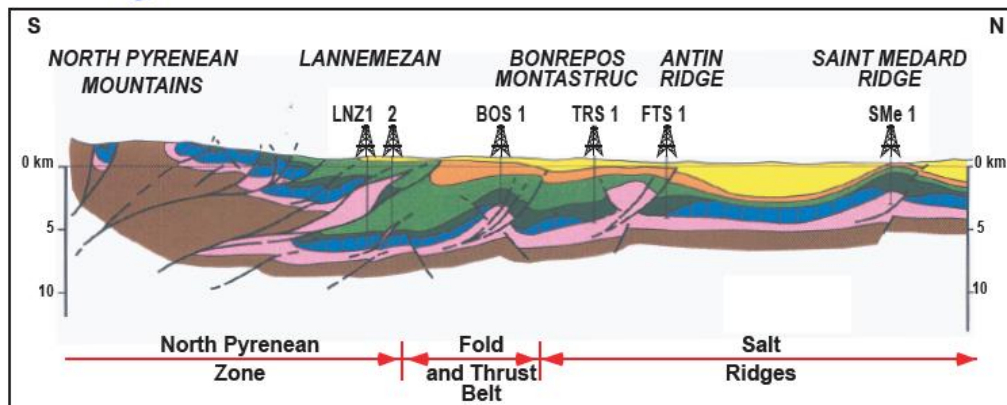
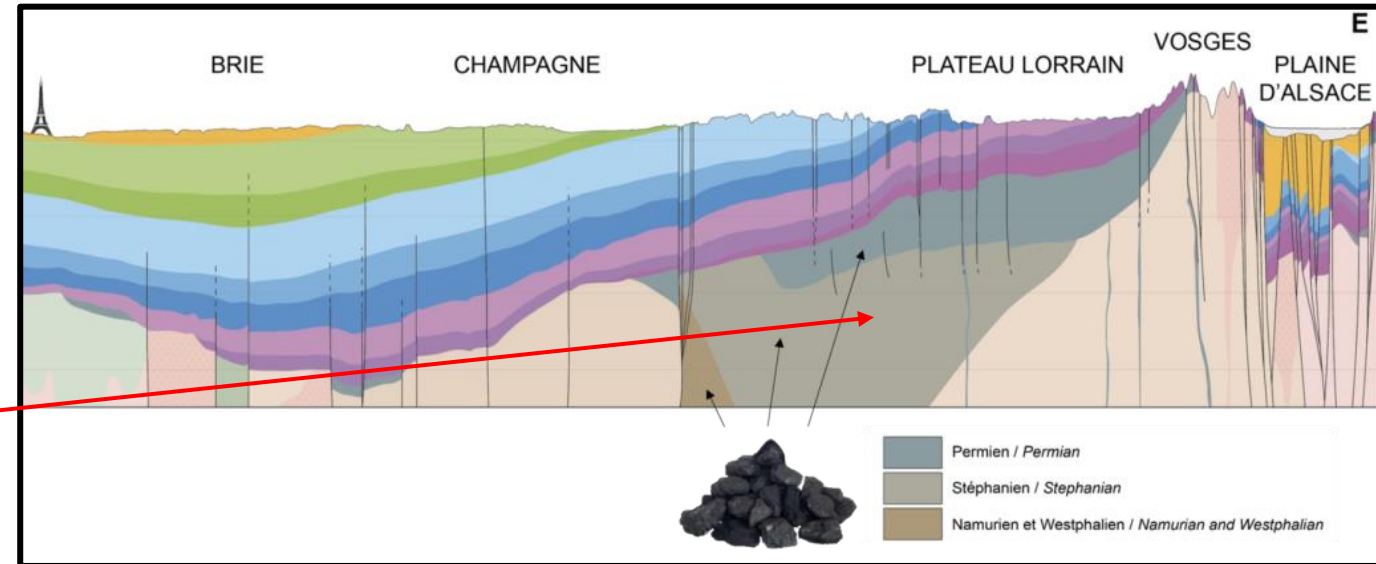


FIGURE 4  
Trias : isopaches de l'épisode évaporitique  
Triassic : isopachs of the evaporitic formations

Carte Isopaque et extension du Trias en Aquitaine : R Curnelle -1983  
Coupe structurale Sud-Nord : JJ Biteau-2006

# Bassins houillers permo-carbonifères (1) : un renouveau ?

- 1-CMM d'anciennes galeries : en production dans le Nord et Pas de C. (Française de l'énergie) Pourquoi pas dans d'autres bassins (non noyés) ?
- 2-CBM associé à du CSS ? Le projet Regalor en Lorraine
- 3-Du H<sub>2</sub> naturel adsorbé sur le charbon ?



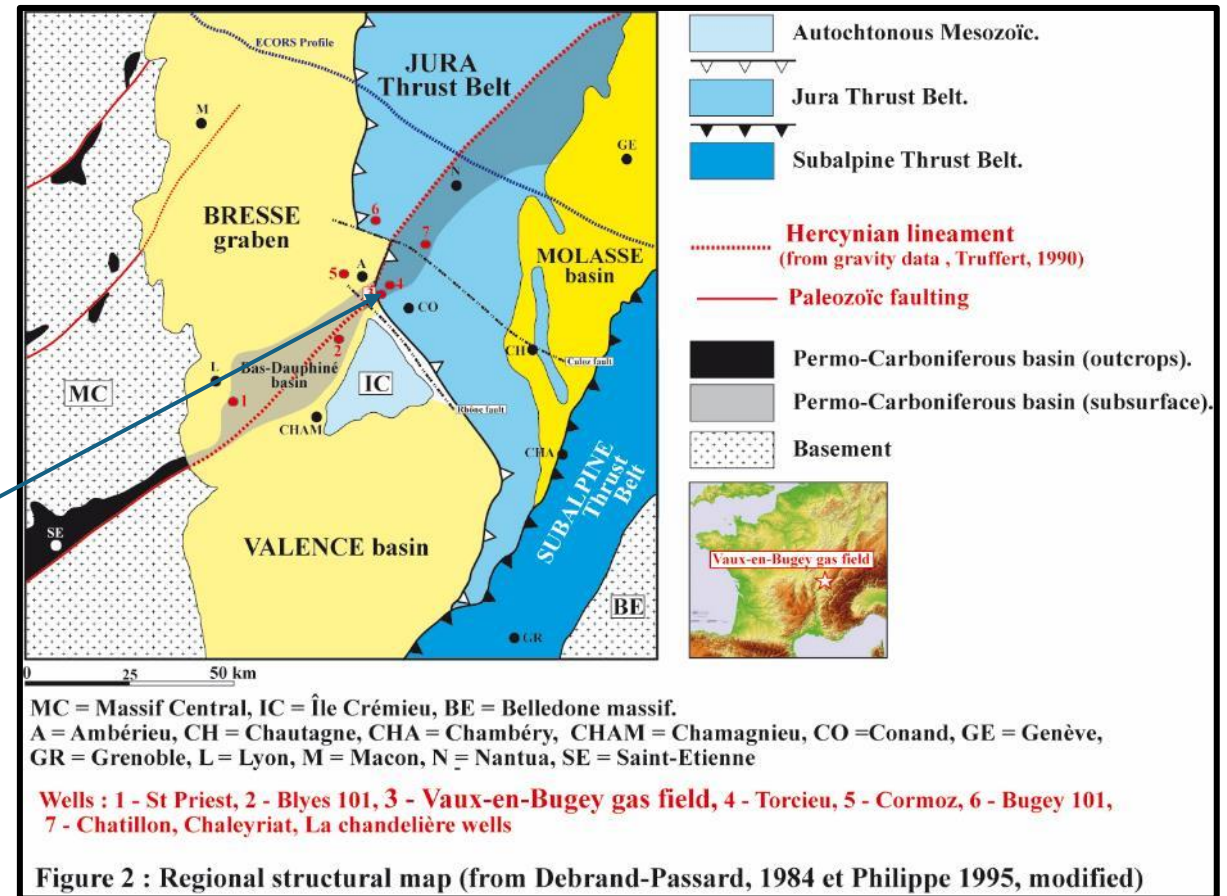
**France Uncovers the World's Largest Hydrogen Deposit, 46 Mt, worth around \$92 Trillion- 2025 March the 5<sup>th</sup>**

<https://lenergeek.com/2025/03/08/la-france-decouvre-le-plus-grand-gisement-dhydrogene-au-monde-dune-valeur-de-plusieurs-milliards-deuros/>

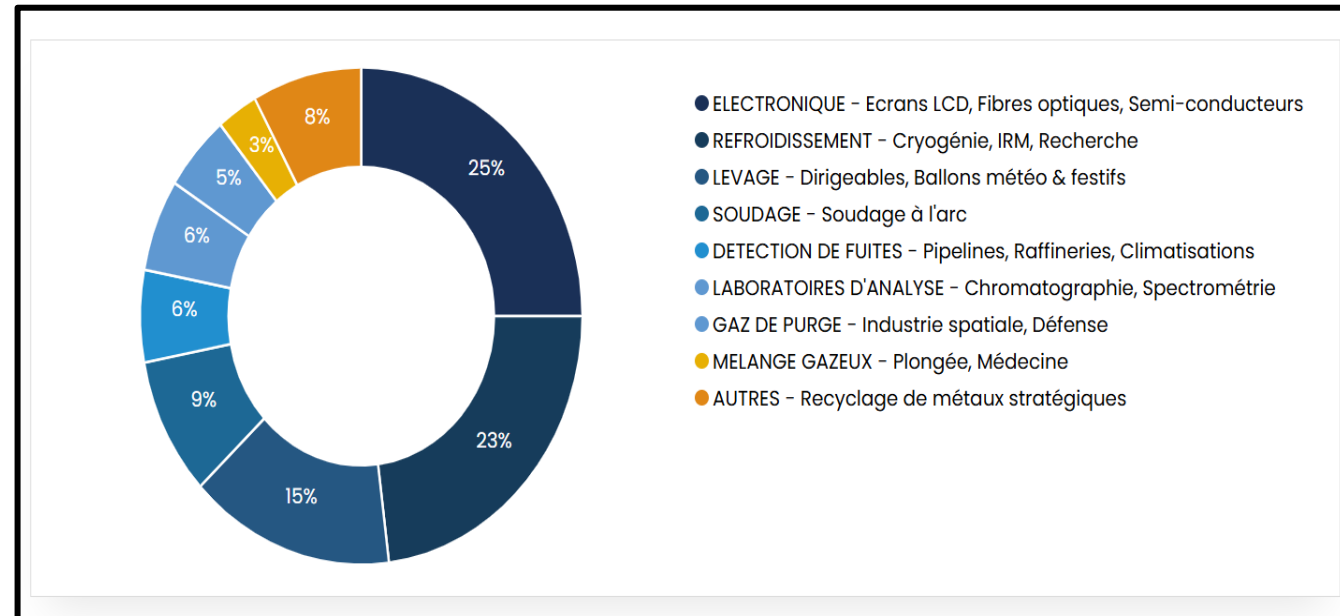
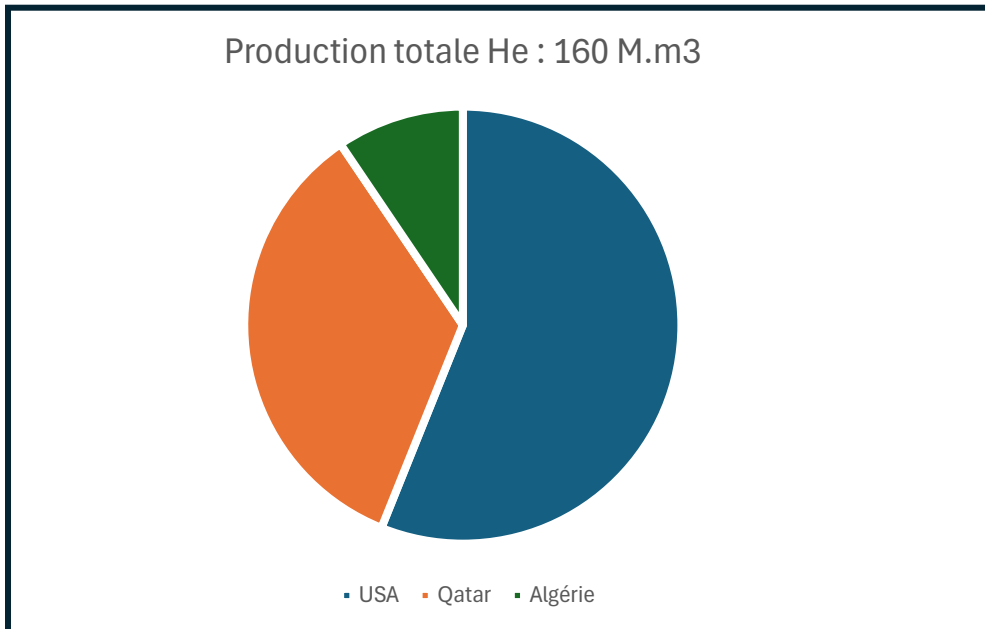


# Bassins permo-carbonifères (2) : la clef pour des découvertes de He et H2 ? Une configuration unique !

- Génération radiolytique (H2) et radiogénique (He-rayonnement alpha) à partir de schistes bitumineux et/ou de socle granitique radioactifs du Permien
- Génération mécanique (H2) à partir de failles profondes (SW-NE) permienne,
- **H2 prouvé dans le plus ancien gisement de gaz français : Vaux en Bugey**
- CH4 : 80 % ; C2H4 : 5 %, C3H6 : 3 % ; CO2 : 5 %, N2 : 5 % ;
- **H2 : 0,5 à 5%**



# La production (à partir des champs de gaz fossiles aujourd'hui) et les usages de l'Hélium

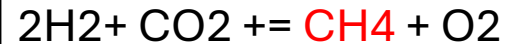


Dépendance totale de l'Europe pour toute son industrie :  
semi-conducteurs, IRM, soudures, industrie spatiale et défense...

# Un autre contexte : l'altération des roches volcaniques (en particulier péridotites)

Olivine+ Eau = Serpentine + magnétite+ H<sub>2</sub>  
(1 g d'H<sub>2</sub> pour 1 kg d'olivine)

Prospection : Cartes d'anomalies magnétiques  
et émanations de H<sub>2</sub> ou de méthane abiotique  
suivant la réaction de Sabatier :



Or certaines découvertes de gaz en piémont  
pyrénéen sont constitués de méthane  
abiotique (Saucède, Leudeix)



# Une exploration H2 bien lancée aussi dans le Sud-Ouest : 5 demandes de permis sur des roches mères ultramafiques (lherzolites): pourquoi ?

1-Sauveterre de Béarn:

TBH2-Terrensis

2-Grand Rieu (Oloron) :

45-8 Energy-Engie

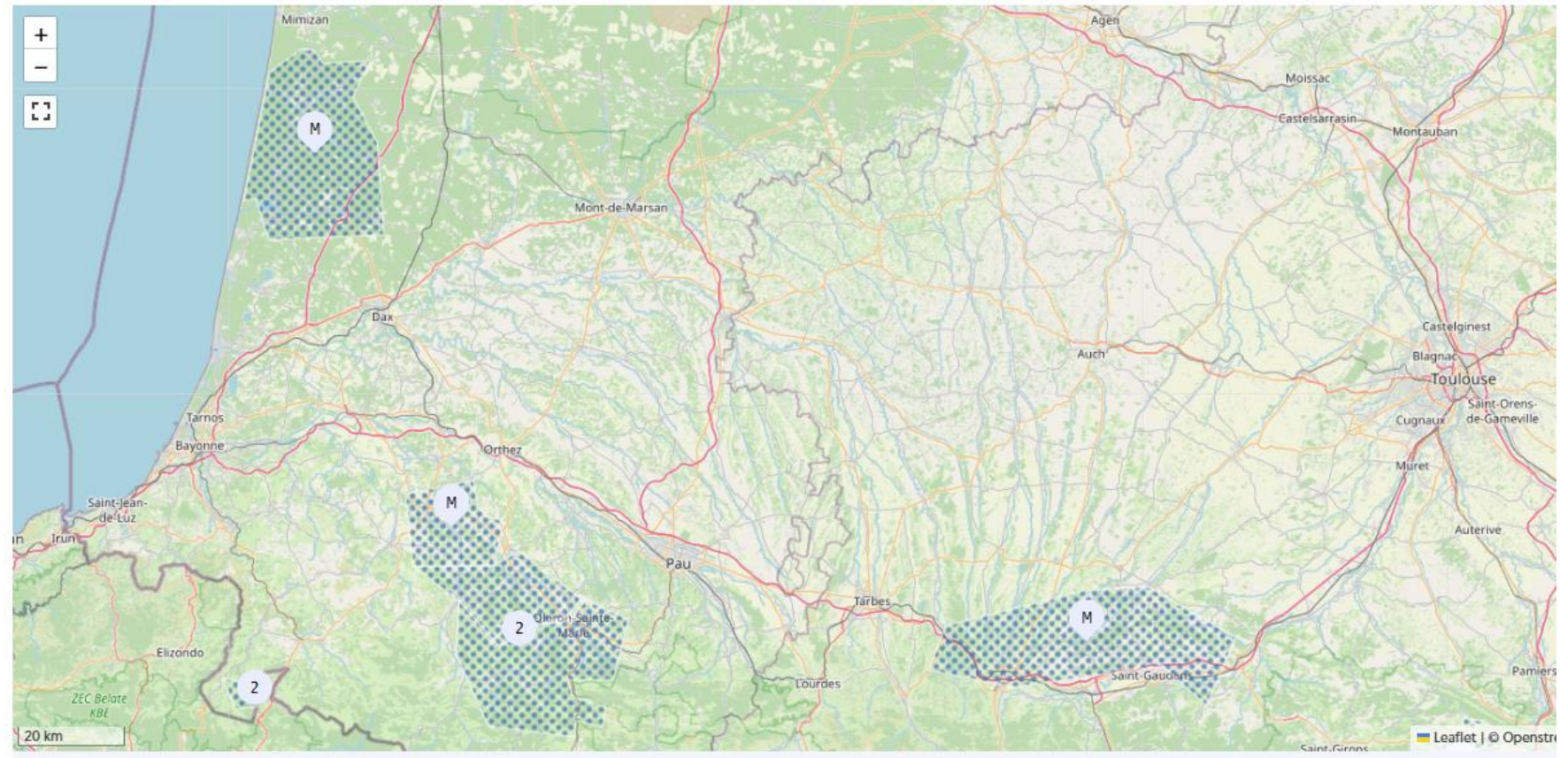
3-Marensin(Landes) :

Storengy-Engie

4-Comminges : Mantle-8

5-Coucourou (Vallée d'Aspe) : TBH2-Terrenis

Concentrées sur les anomalies magnétiques de St Gaudens et Mauléon, sur des découvertes de CH<sub>4</sub> abiotique et sur un puits pétrolier à indices H<sub>2</sub> dans les Landes

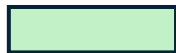


# 2024- Un nouveau monde émerge !

Permis



O&G



H2 and He



Géothermie profonde



Stokages

<https://www.mineralinfo.fr/fr/actualite/actualite/presentation-du-cadastre-minier-camino>



# Plan de la présentation

**1-Les énergies fossiles en France** : les principaux repères et historique des productions

**2-La soif de charbon et ses conséquences géologiques**

**3-Le déploiement de l'exploration et de la production pétrolières et gazières :**

Pourquoi ? Où ? Comment ?

**4-Une très grande base de données et de connaissances géologiques**, clefs pour l'accès à l'eau douce/la géothermie/l'exploration H2 et He/les stockages de gaz et le CMM/CBM

**5-Conclusions : les nouveaux usages et métiers du sous-sol :  
plus simple ou plus compliqué ?**



# Conclusion (1) : Nouveaux métiers du sous-sol : plus simple ?

Goya, 1808, Majas en el balcon



Manet, 1868, Le balcon



Magritte, 1950, Le balcon de Manet



l'exploration des fossiles :  
caché/complexé/risqué

Mais grâce aux premières données et  
à la Synthèse/Créativité des géologues

Aller à plus simple, plus  
clair et moins risqué

# Conclusion (2) : des nouveaux métiers du sous-sol et des nouvelles ressources souveraines : plus simple si...

- **1- Accès gratuit ? et facile aux données O&G** (sismiques, puits, carottes,,)
- **2- Promotion des usages du sous-sol** et des bénéfices/risques associés auprès de toutes les parties prenantes (enseignants, étudiants, institutions, grand public...)
- **3-Création d'un organisme de régulation du sous-sol** (agences régionales type Agences de l'Eau) pour les différents usages du sous-sol (parfois en conflit ou en synergies) arbitrant les futures demandes de volumes souterrains sur une base transparente et profitable aux territoires,
- **4- Processus d'attribution clair par appels d'offres internationaux** dans tous les domaines du sous-sol : stockages, exploration H2 et He, CBM/CMM, géothermie, eaux douces souterraines, mines,...
- a) propositions de permis suite à études techniques réalisées par le BRGM
- b) débats publics et rapports détaillés (mode CNDP : Commission Nationale Débat Public): go/no go
- c) attributions par l'organisme de régulation : invitation et publicité AO, évaluations (avec l'expertise du BRGM) et sélection des offres/opérateurs, suivi des travaux des opérateurs
- **5-Un modèle 4D: jumeau numérique du sous-sol** pour la compréhension des usages du sous-sol pour chaque bassin français, avec intégration permanente des nouveaux permis et travaux en cours .



# MERCI pour votre ATTENTION

Et Merci au

\*Ministère de l' Ecologie, de l'Énergie et des Territoires/ Direction Générale Énergie et Climat

\*Société Géologique de France (SGF) : <https://www.geosoc.fr/>

\*AVENIA, le pôle de compétitivité du sous-sol : <https://www.pole-avenia.com/fr>

\*ASPO France (Association for Study of Peak Oil) : <https://aspofrance.org/>

**E-mail : [marc.blaizot@gmail.com](mailto:marc.blaizot@gmail.com)**

