

L'H₂ naturel : une source d'énergie pour le futur ?

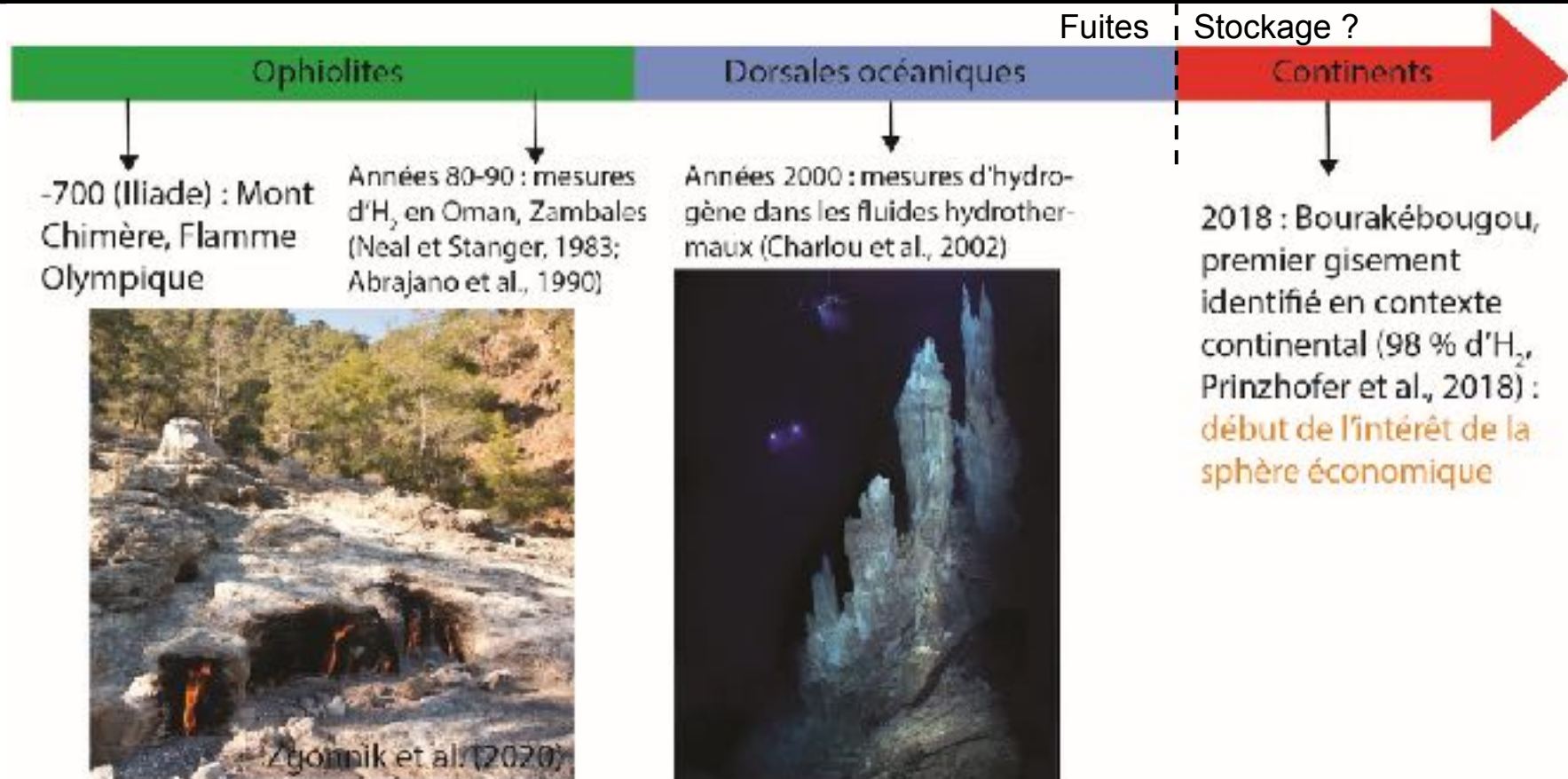
Benjamin Malvoisin

Café des Sciences, 10/06/2025



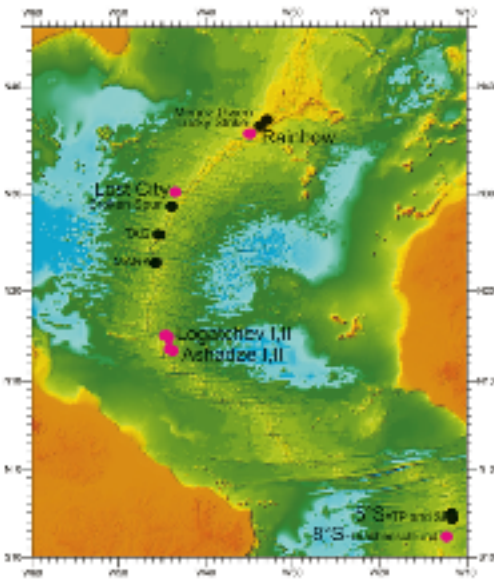
Emanations d'H₂ + CH₄,
Mont Chimère (Turquie)
Etiopie (2023)

Historique des découvertes



Sources (1) : serpentinisation

En mer



T = 365°C
Prof. = -2300 m
H₂ = 45%
CH₄ = 6%
CO₂ = 43%
N₂ = 4%
H₂S = 2%

Flux de l'ordre de **0,1–0,3 Mt H₂/an** au niveau des rides médio-océaniques (Cannat et al., 2010 ; Charlou et al., 2010, Keit, 2010).



Ophiolite (Chimera, Turquie) :
Émanations CH₄/H₂

Max localement : **3600 kg H₂/an** le long d'une faille (Etiopie, 2023)

A Terre

Ophiolite (Oman) :
Sources alcalines CH₄/H₂

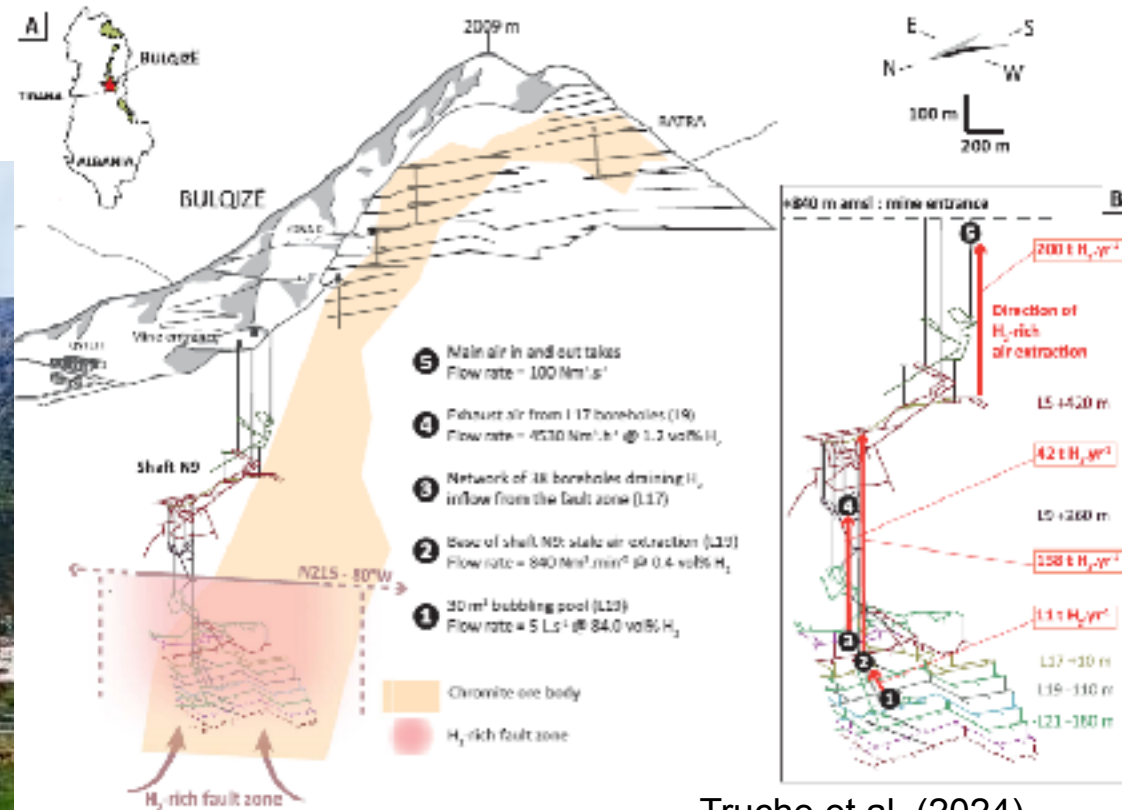
Max localement : **150 kg H₂/an** (Leong et al., 2023)

*Piégeage H₂
possible ???*



Sources (1) : serpentinisation

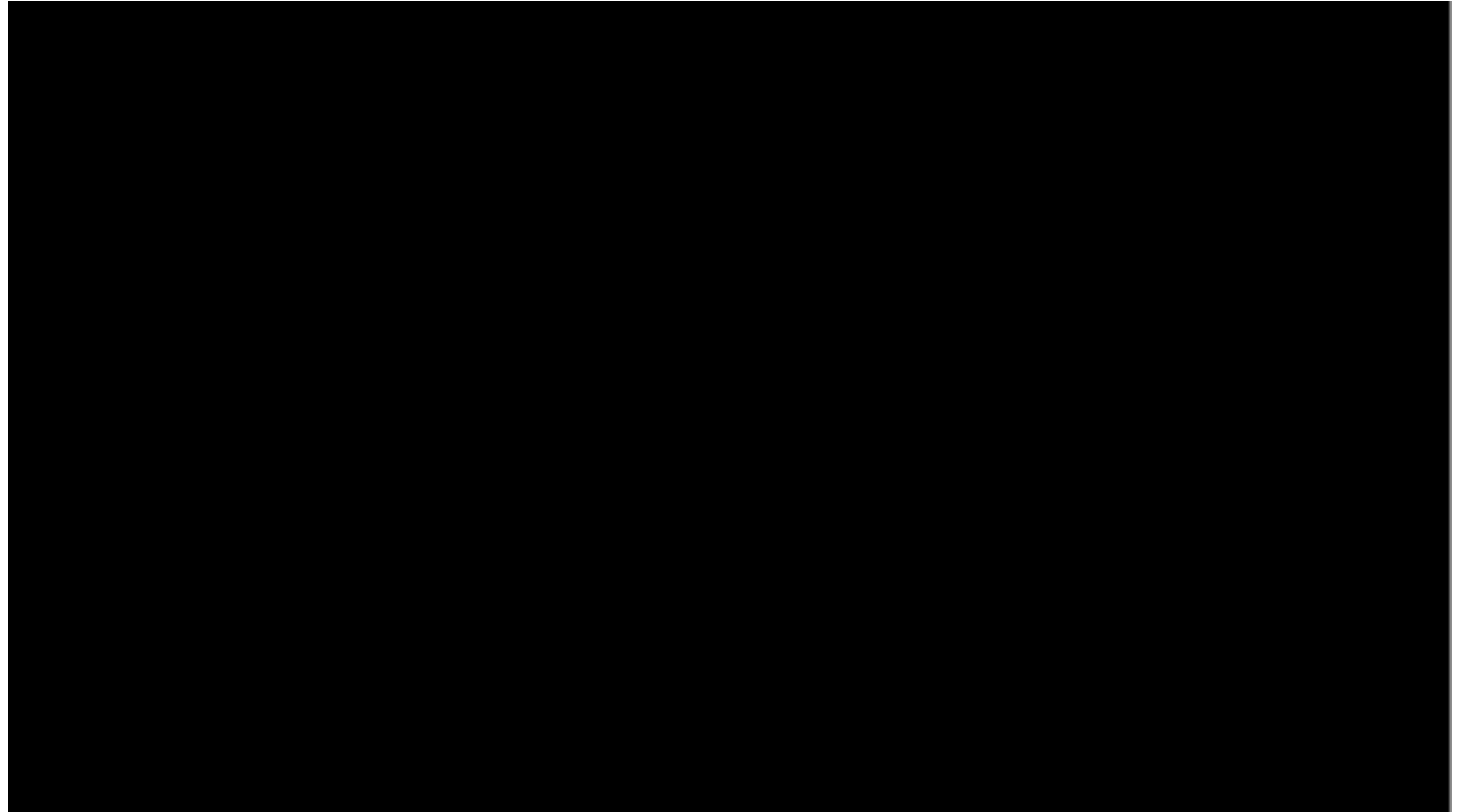
Exemple de Bulqizë (Albanie)



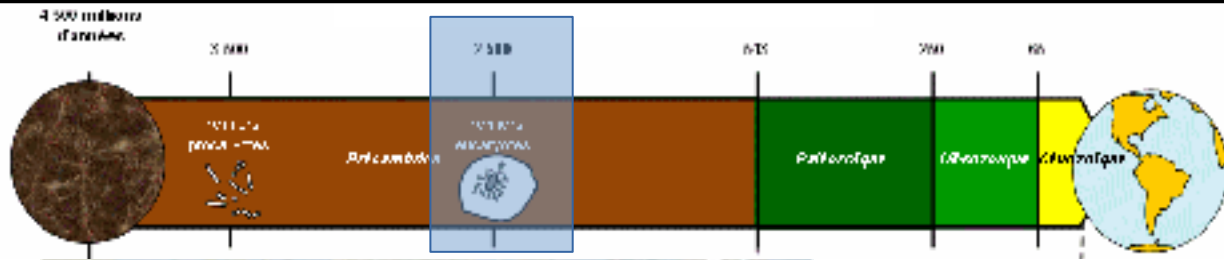
Truche et al. (2024)

Sources (1) : serpentisation

Exemple de
Bulqizë
(Albanie) :
200 t/an



Sources (2) : radiolyse



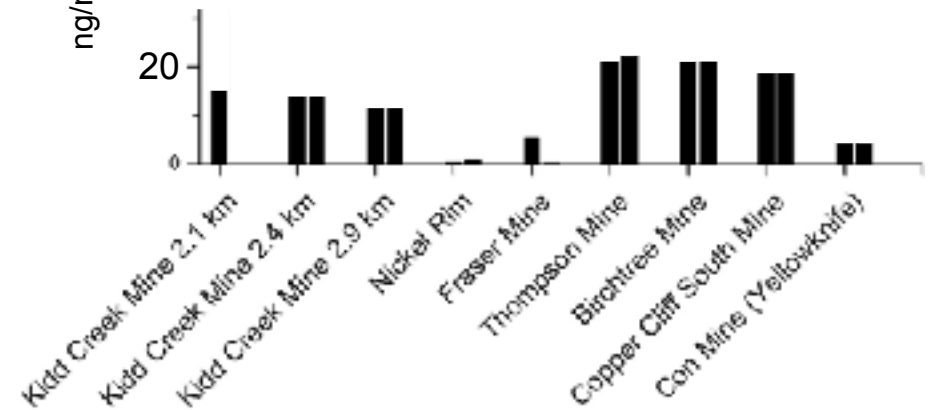
< 0.1 Mt H₂/an à l'échelle mondiale

H₂ piégé dans aquifères profonds



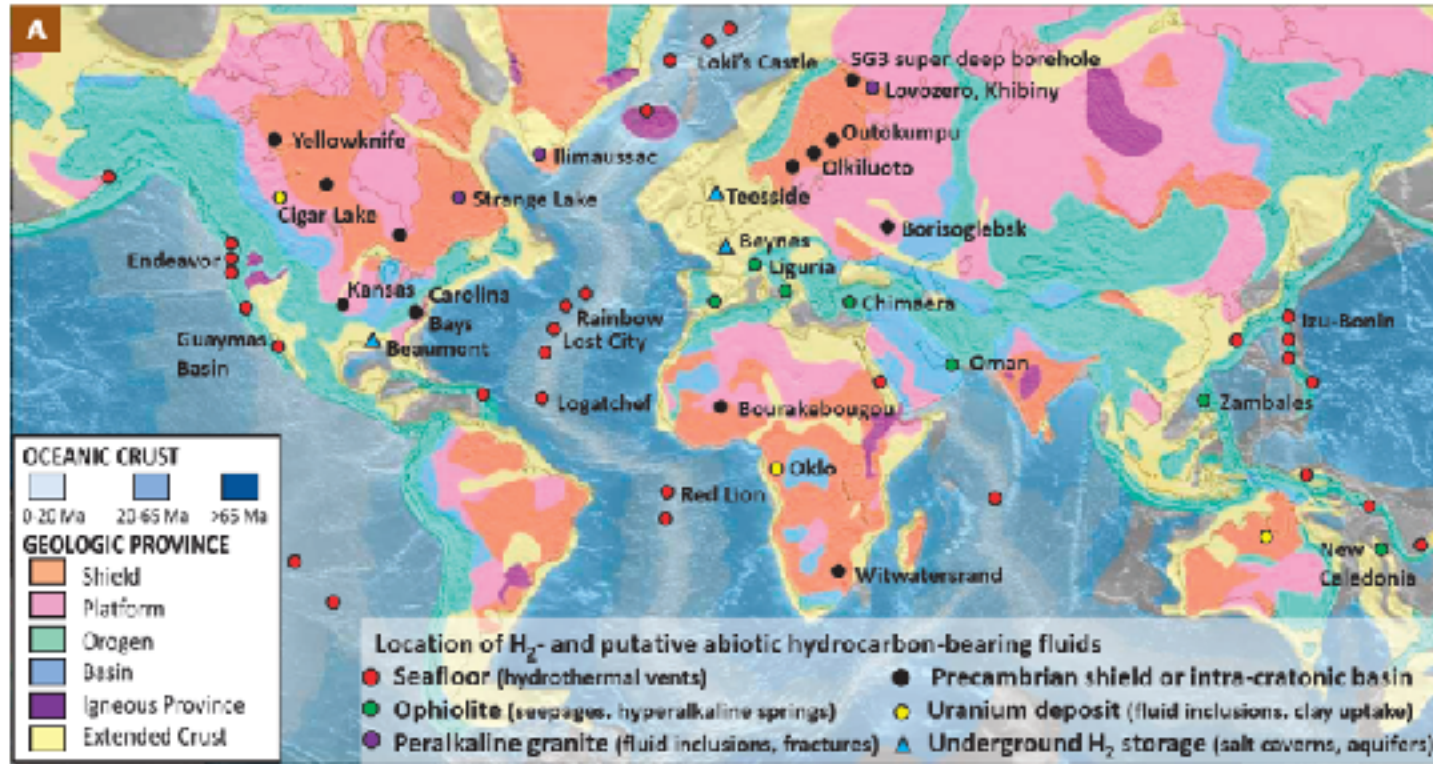
ng/m³/an

$10^{18} \text{ m}^3 \times 20 \cdot 10^{-9} = 20 \cdot 10^9 \text{ g/an soit } 20 \cdot 10^3 \text{ t/an}$
Production diffuse

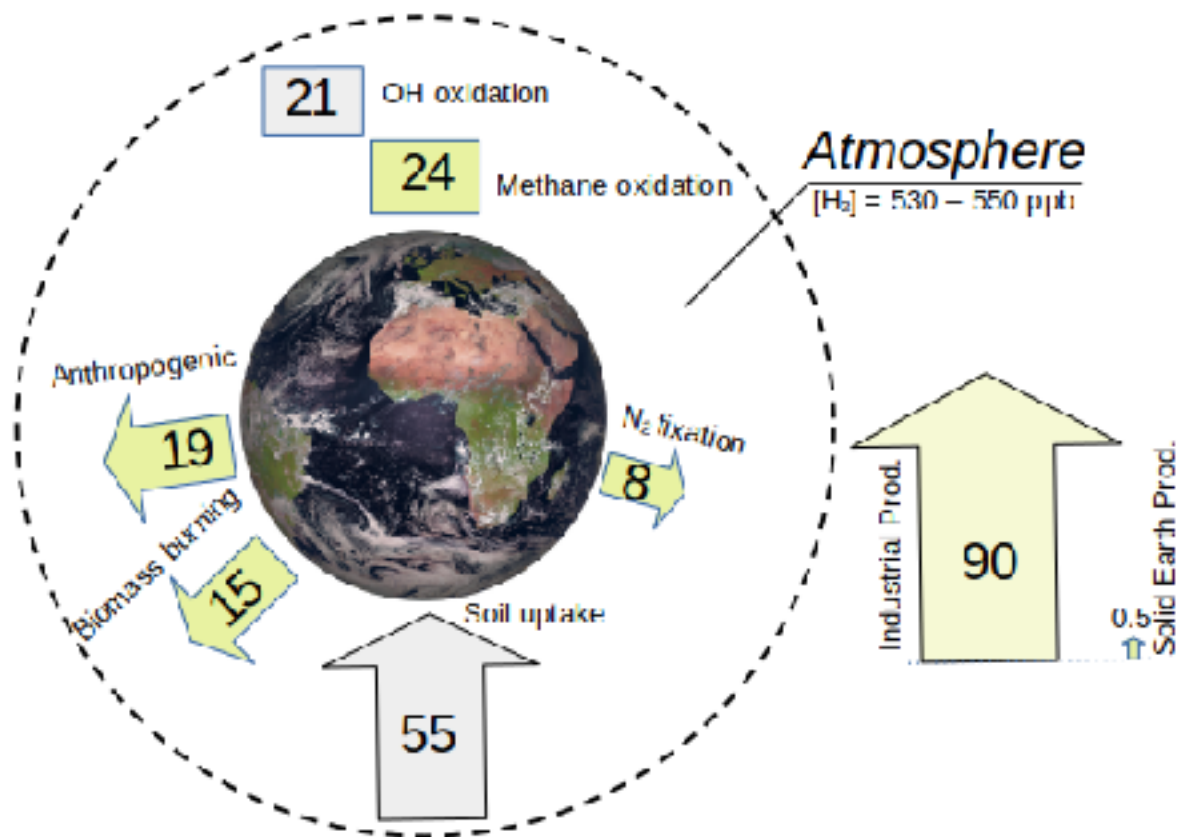


L'exemple du bouclier canadien (Warr et al., 2019)

Sources connues

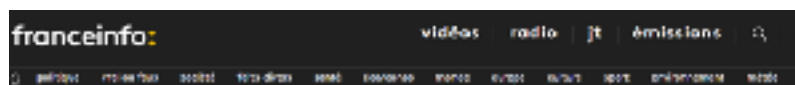


Flux d'hydrogène



In Mt H₂/yr, Brunet and Malvoisin (submitted)

Médiatisation récente de l'hydrogène naturel

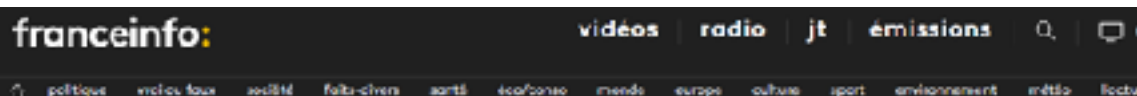


Hydrogène naturel : pourquoi la France espère beaucoup de cet "or blanc" qui pourrait accélérer la décarbonation

Emmanuel Macron a annoncé "des financements massifs" pour "explorer" le potentiel de cette ressource en France.

LES DÉCODEURS - ÉNERGIES RENOUVELABLES

L'hydrogène est-il la solution miracle pour la transition énergétique ?



Énergie : Emmanuel Macron entend faire de l'hydrogène blanc un défi prioritaire pour la France



Énergie: et si la France était un eldorado de l'hydrogène blanc...

Par Armelle Bohineust

Publié le 04/12/2023 à 19:10, mis à jour le 05/12/2023 à 09:30

Support the Guardian

Read independent journalism for £5 per month

SUBSCRIBE

News

Opinion

Sport

Culture

Lifestyle

More

Discoveries | Climate | World | Energy | Politics

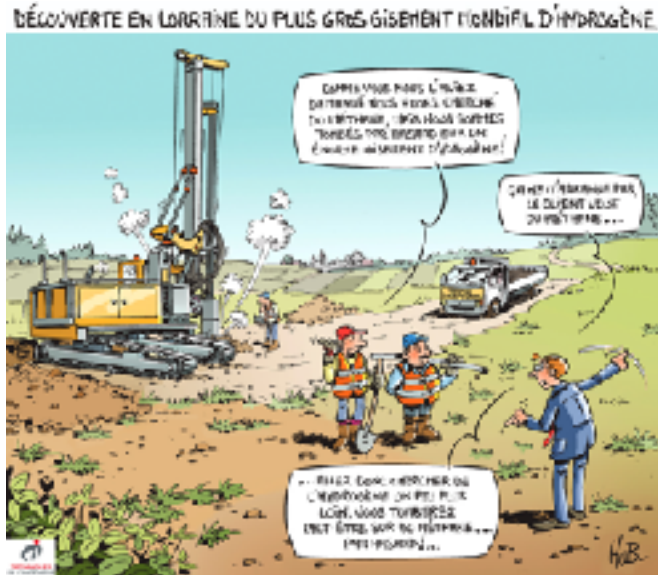
Weatherwatch
Hydrogen power

Underground hydrogen discovery in France raises hopes for clean energy

Deposits of natural hydrogen could be the largest ever found and enough to meet global demand for two years



Gisement lorrain : pas de données scientifiques publiées



Détail vu du haut de la sonde de mesure SysMoG™ positionnée avant la descente dans le forage. Le dispositif de monitoring a été miniaturisé de telle façon qu'il puisse être introduit dans un puits de 6 cm de diamètre.



- Stockage : dissous dans l'eau pas de gaz libre
- Source d' H_2 : indéterminée (carbonates de Fe selon les découvreurs – veines de charbon comme alternative)
- Taille du réservoir : < 5 Mt d' H_2 dissous- 1 mg/L d' H_2 dissous à 800 m de profondeur – si extrapolé sur 1500 m : 5 Mt H_2 – Si localisé (500 m) : 1 Mt H_2 *
- Caractère renouvelable proposé : basé sur le mécanisme de production avancé par les découvreurs -

1 kg H_2 = 15 kWh (PAC)

1 Mt = 10^9 kg soit 15 TWh*

* 3 % de la production annuelle française d'électricité

Gisement connus / en cours d'investigation

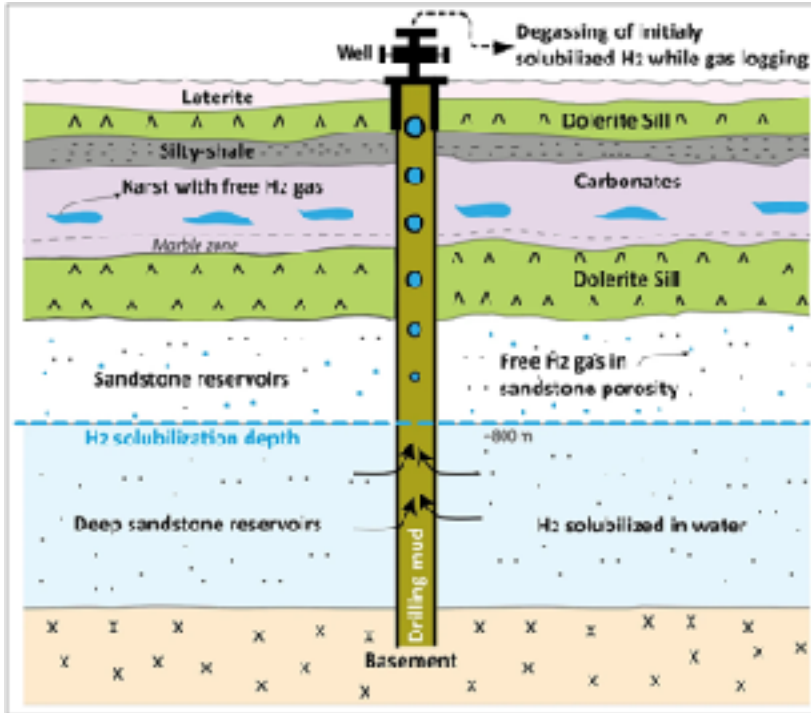
- Lorraine, Mali, Pyrénées, Kansas, Australie : potentiels gisements identifiés et forages en cours
- Nombreux permis délivrés, notamment dans les Pyrénées
- Financement important notamment via de nombreuses Start'up
- Pas de gisements exploitable communiqué



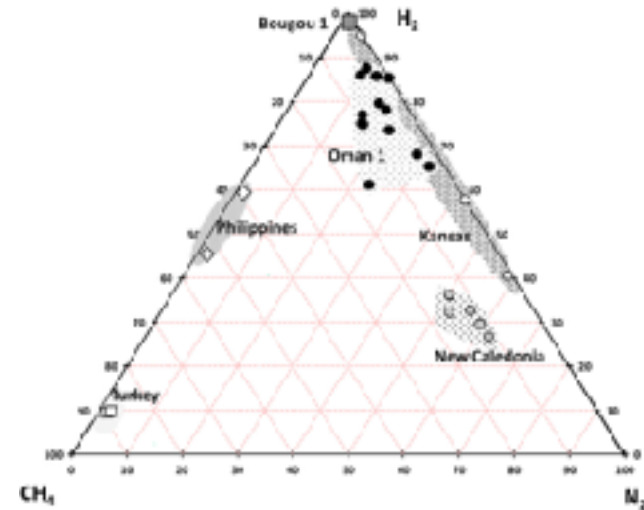
Conclusions

- Bilans H_2 à l'échelle du globe : vision géochimique (H_2 diffus) et pas encore économique (concentration, piégeage, gisement)
- Bilans d' H_2 : production naturelle faible au regard de la demande (2 ordres de grandeur en dessous)
- Possibilité d'accumulation locale (Bourakébougou, Mali) pour une exploitation locale ... encore sans commune mesure avec réserves gazières.
- Communication des milieux socio-économiques très optimiste au regard des données scientifiques avérées

Gisement emblématique : Bourakébougou (Mali)



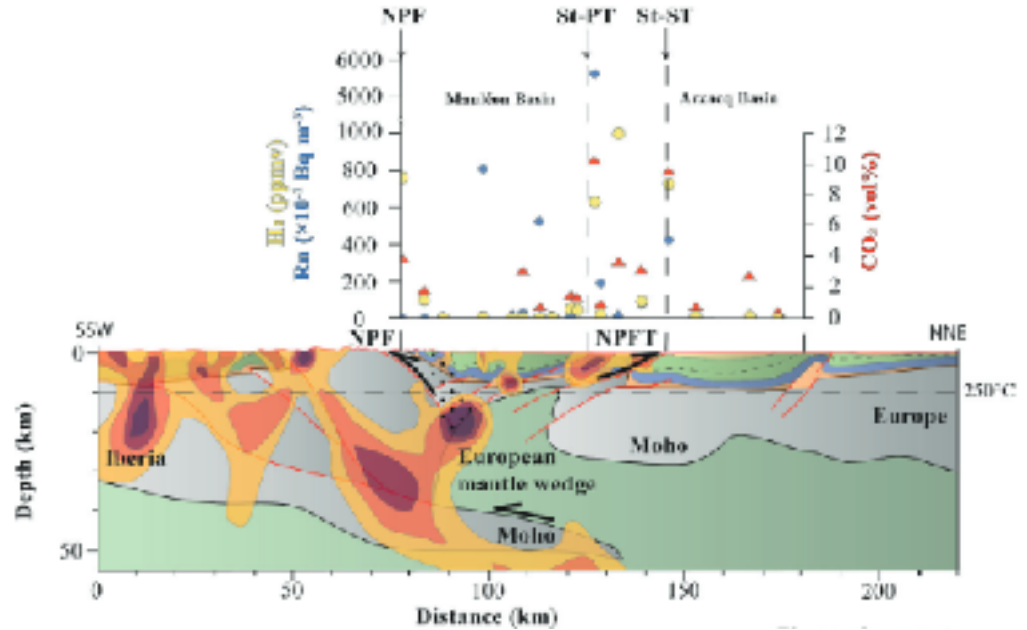
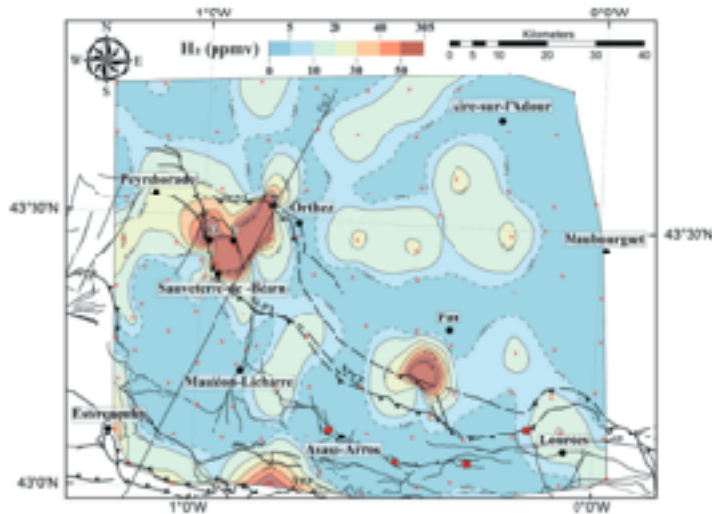
Maiga et al. (2023)



- Stockage : cavités karstiques dans carbonates
- Cap rock : dolérites
- Source d'H₂ : indéterminée
- Taille du réservoir : indéterminée mais signal H₂ sur une 20aine de puits
- Caractère renouvelable proposé : « pas de baisse de pression depuis son exploitation (1987) » mais données de volume H₂ extrait non communiquées (probablement très faible – alimentation d'un village malien de 1400 hab en électricité).

Gisement pyrénéen : modèle conceptuel – domaine de la recherche

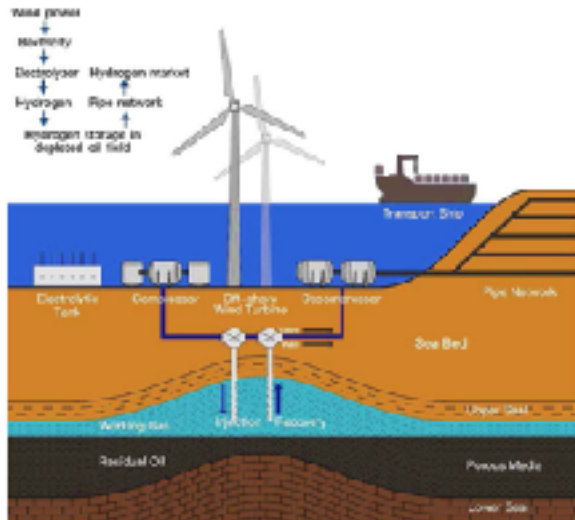
- Mesures dans le sol : $\sim 0,01\%$ d' H_2 localisé au niveau de failles majeures



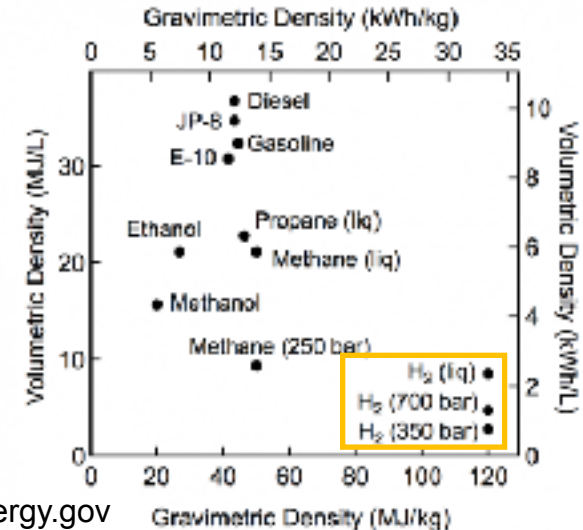
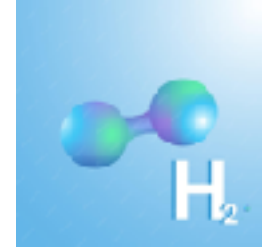
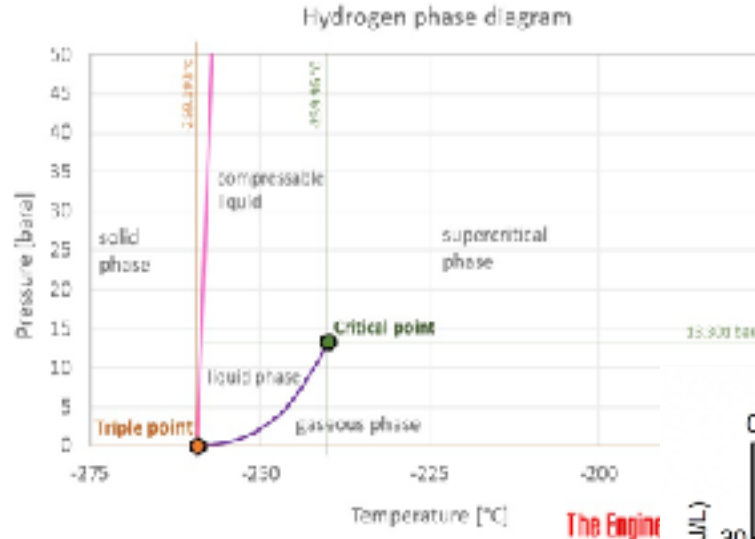
- Ces failles pourraient connecter le manteau terrestre dans une zone où l' H_2 serait produit par interaction avec de l'eau météorique

L'H₂, une petite molécule à fort pouvoir énergétique

- Forte densité énergétique ... mais volume important (1 kg = 12 m³) : gazeux jusqu'à -240°C : problèmes stockage/transport



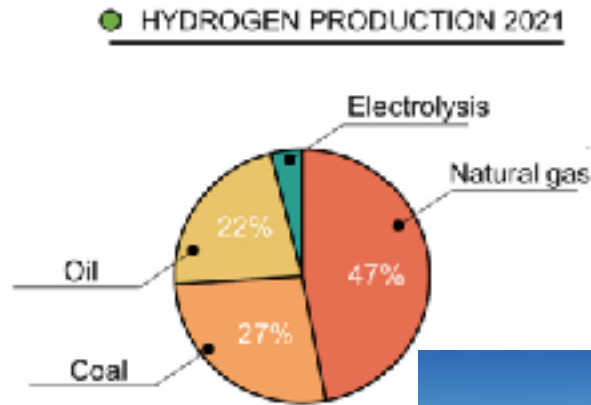
Nécessité de stockage géologique pour une transition vers l'H₂



source : energy.gov

L'H₂, une énergie du futur ?

Energie « propre » lors de sa combustion ($H_2 + O_2 = H_2O$) ... mais encore majoritairement produite à partir d'énergies fossiles (H_2 gris, brun et noir)

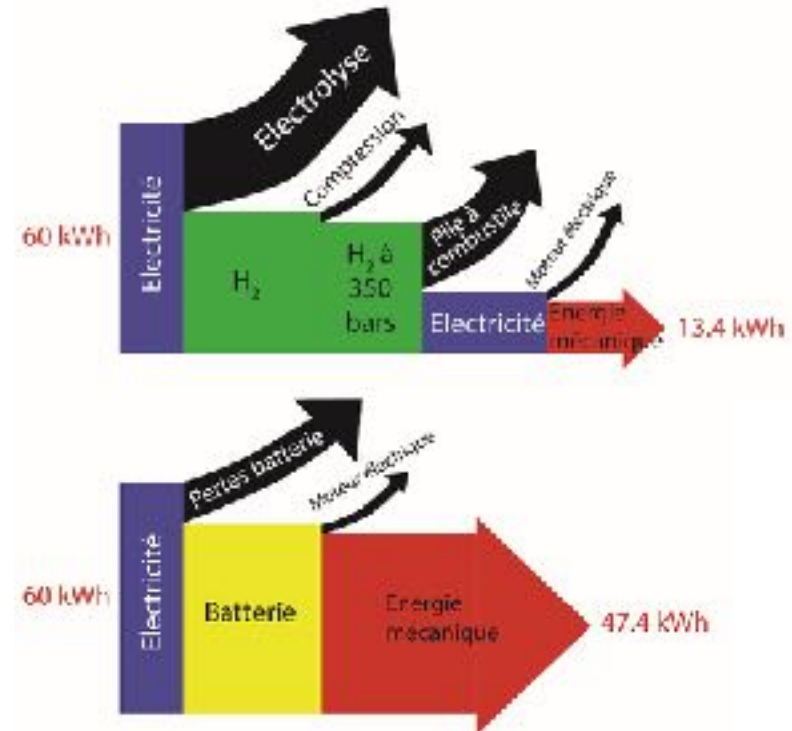


Blay-Roger et al., 2023



Alternatives de production

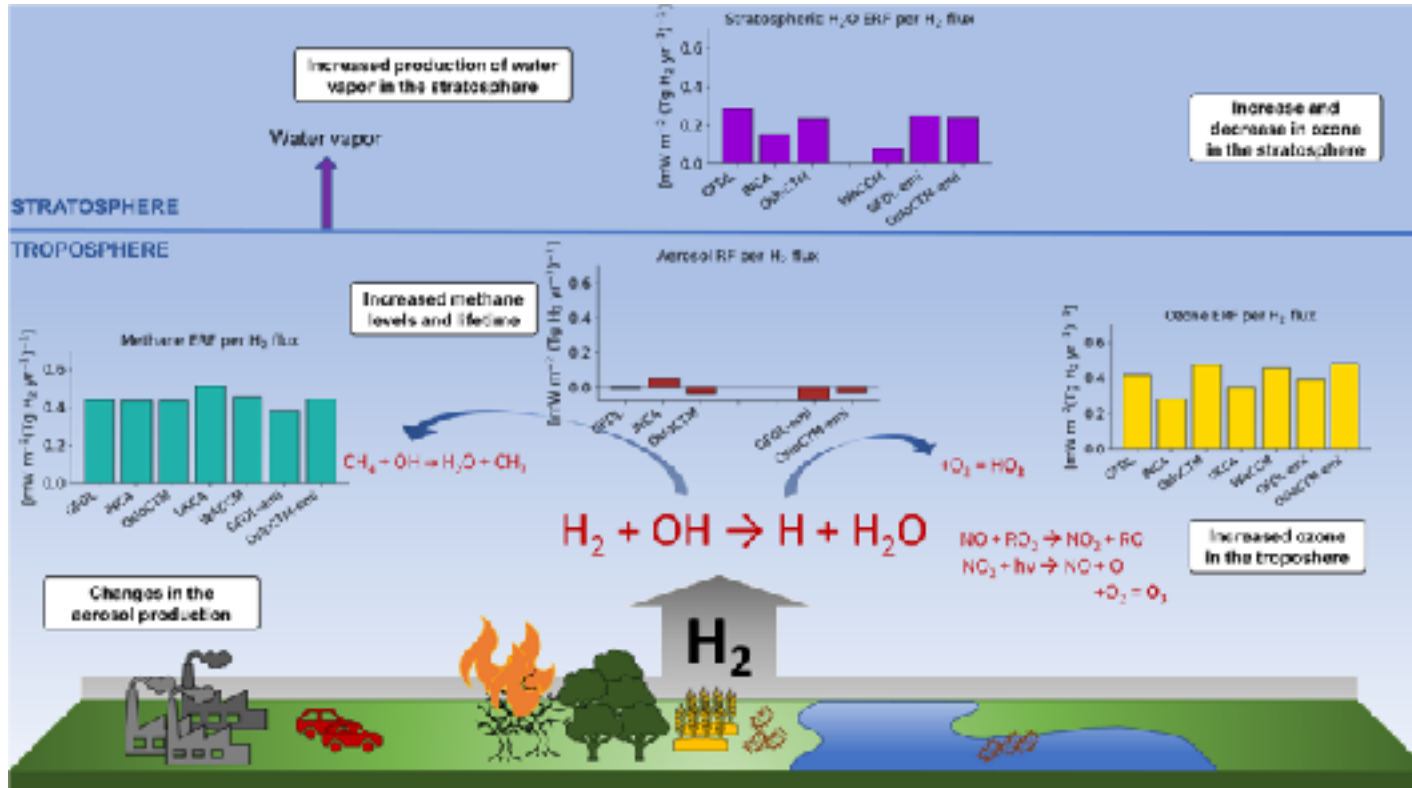
- Electrolyse (H_2 vert et rose) : rendement faible, métaux précieux pour électrodes (envisagé comme vecteur d'énergie)
- Autres options : biomasse, bactéries, radiolyse (technologies pas encore au point)
- Hydrogène naturel (H_2 blanc) ?



Efficacité voiture : comparaison H_2 vert/électrique

Global Warming Potential 100 yrs

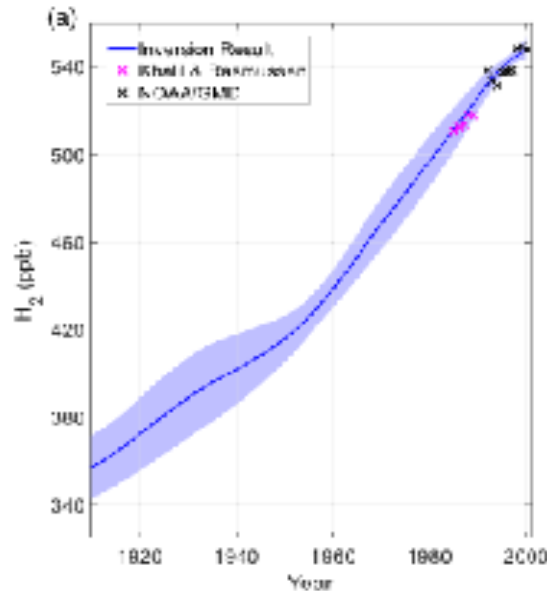
- H_2 : global warming potential 100 yrs de 12 (30 pour le CH_4)



Concentration d'H₂ dans l'atmosphère

Concentration atmosphérique = 530 ppb (nmol mol⁻¹)*
Une durée de vie dans l'atmosphère de 2 ans

* [CO₂] = 420 ppm



Impact anthropique
(économie de l'H₂?) et
effet climatique

Évolution de la [H₂] atmosphérique (archives
glaciaires)