



الجمعية الوطنية نادي الطاقة

Association Nationale "Club Energy"

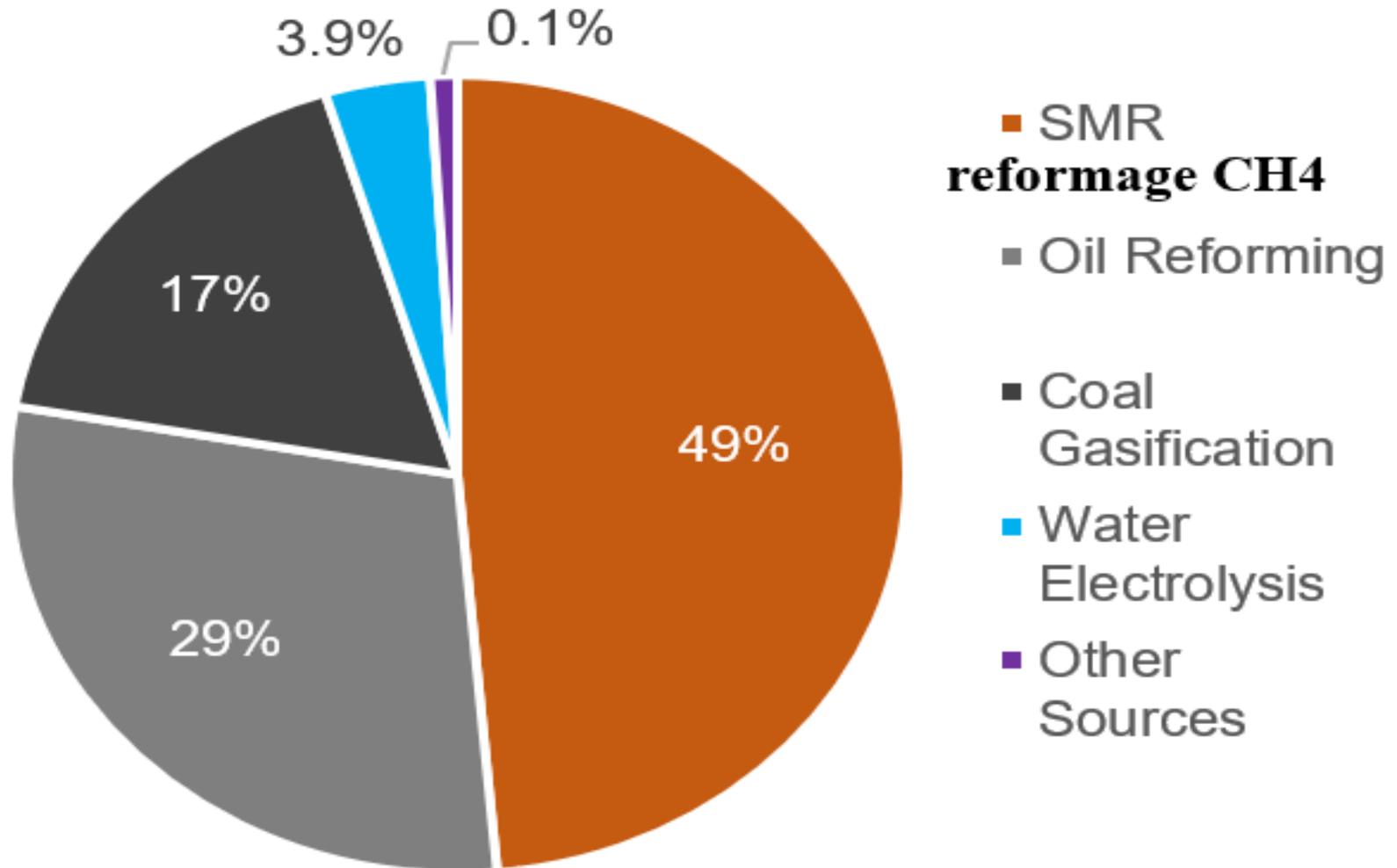
Hydrogène blanc: Principes et Méthodes de son exploration en Algérie

Dr. Nacereddine Kazi Tani

Le 19 Mai 2025 / Salle de Conférences du MEMER¹

L'hydrogène manufacturé modes de production

Global Hydrogen Production by Method



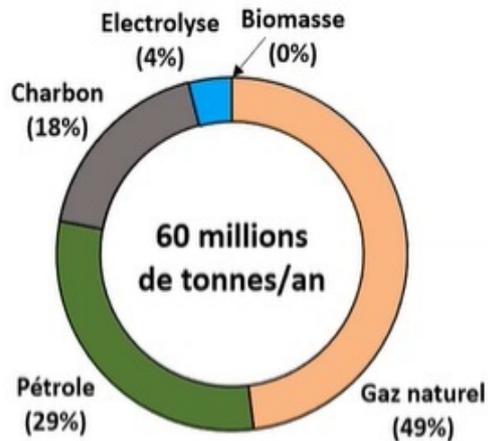
(Dincer & Acar, 2015)

Place de l'hydrogène dans l'économie mondiale

- La nécessité de décarbonation du climat en remplaçant l'énergie fossile polluante par une énergie H_2 plus propre et 2,5 fois plus énergétique que le Méthane. H_2 :141000 kJ/kg, CH_4 :55500 kJ/kg
- Malgré ceci, la place de l' H_2 est très marginale dans l'économie mondiale: le total exportation en 2023 n'est que de 91000t contre 60000t d'import et dans ce maigre bilan cet H_2 est gris à 96% par reformage des HC et C et 4% d'électrolyse de l'eau
- La raison est la cherté du kg H_2 d'électrolyse ~14\$ et la solution est trouvée dans l' H_2 natif (0,5\$/kg)

Production/Applications de l'hydrogène

Prinzhofer 01/22



Sources actuelles pour la fabrication de H₂

=> Hydrogène naturel: aujourd'hui négligeable

CH₄ (49%), PETROLE (29%) CHARBON (18%), ELECTROLYSE (4%)

COÛT d'1Kg d'H²

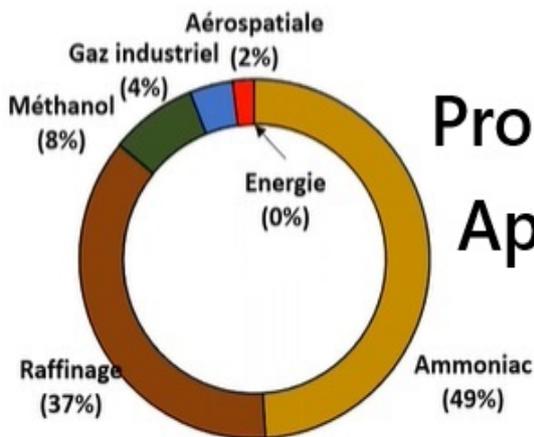
1 kg d'H₂:

A partir du méthane: 2 US \$ (+ 20 kg de CO₂)

A partir d'électrolyse: 5-15 US \$

Naturel: < 1 US \$

Production: 60 millions de t.



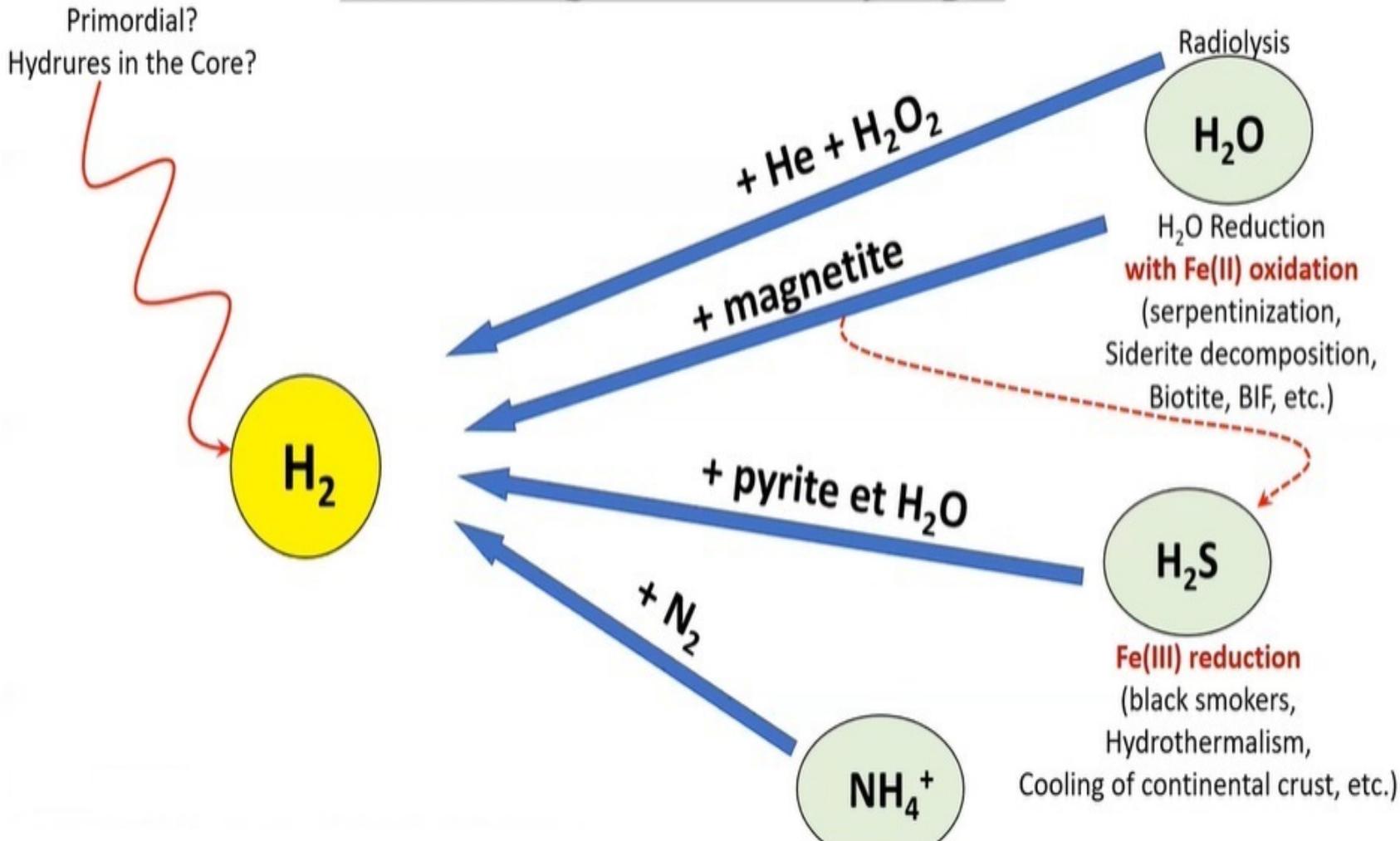
Applications de H₂ (H₂ manufacturé)

=> Hydrogène comme source d'énergie: aujourd'hui négligeable

Ammoniac (49%), Raffinage (37%) Méthanol (8%), Gaz industriel (4%), Aérospatial (2%), Energie (0%)

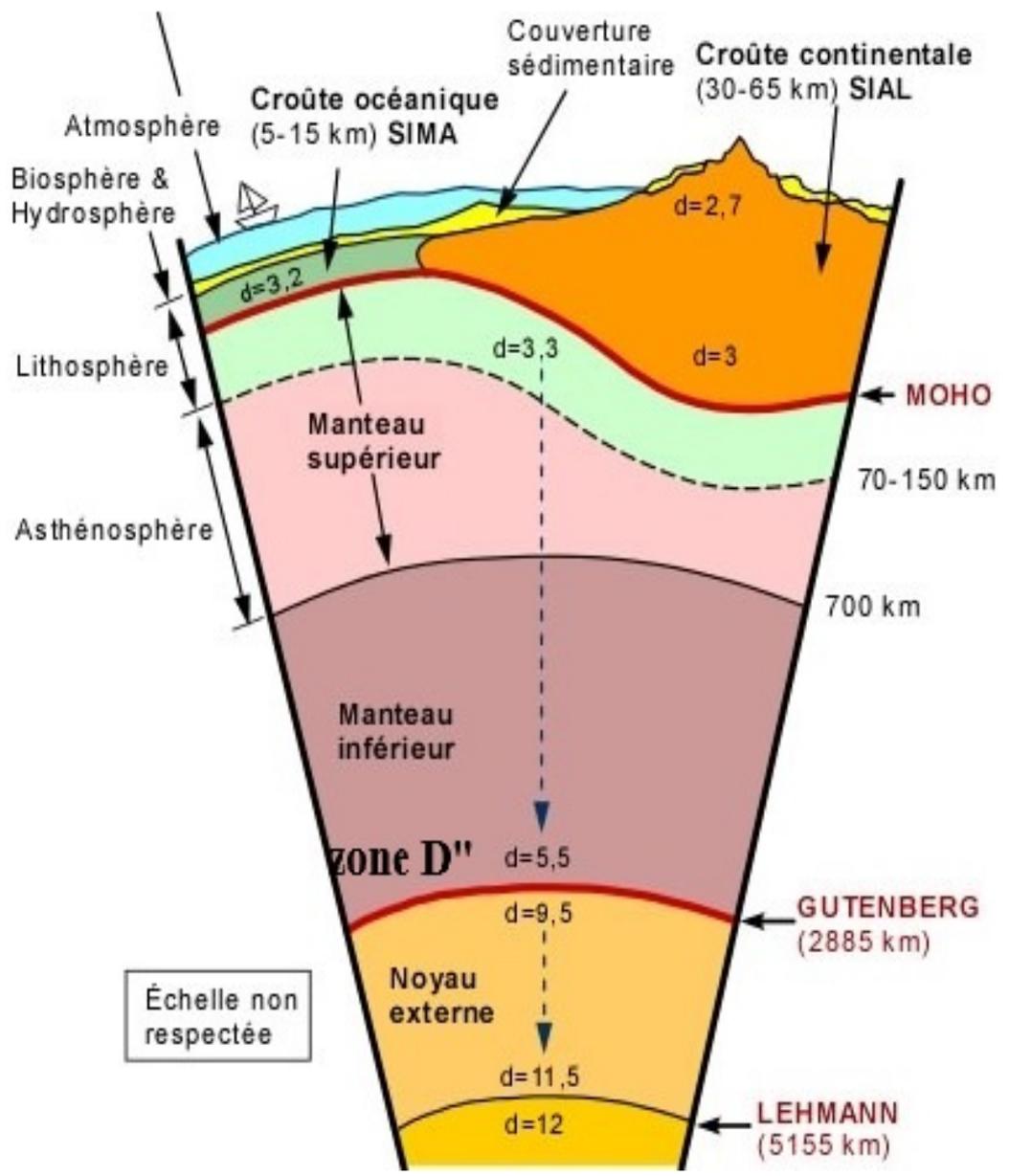
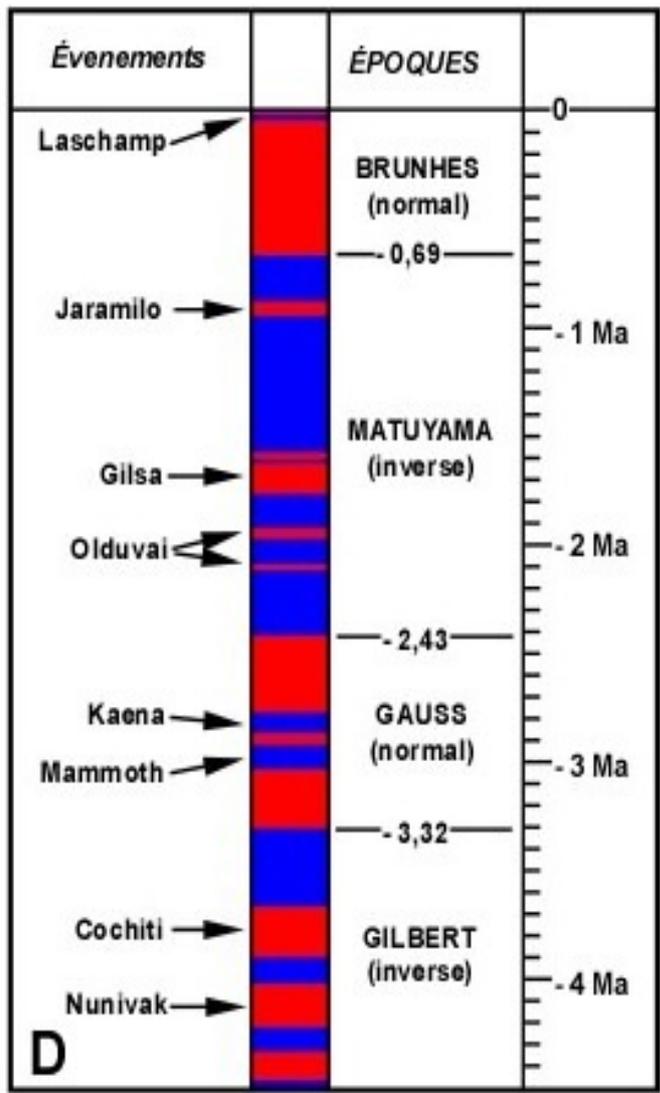
Modes de genèse de l'H₂ natif

Potential origins of natural hydrogen



Processus: électromagnétiques gamma, chimiques, biologiques *in* Prinzhofer 2022 modifié

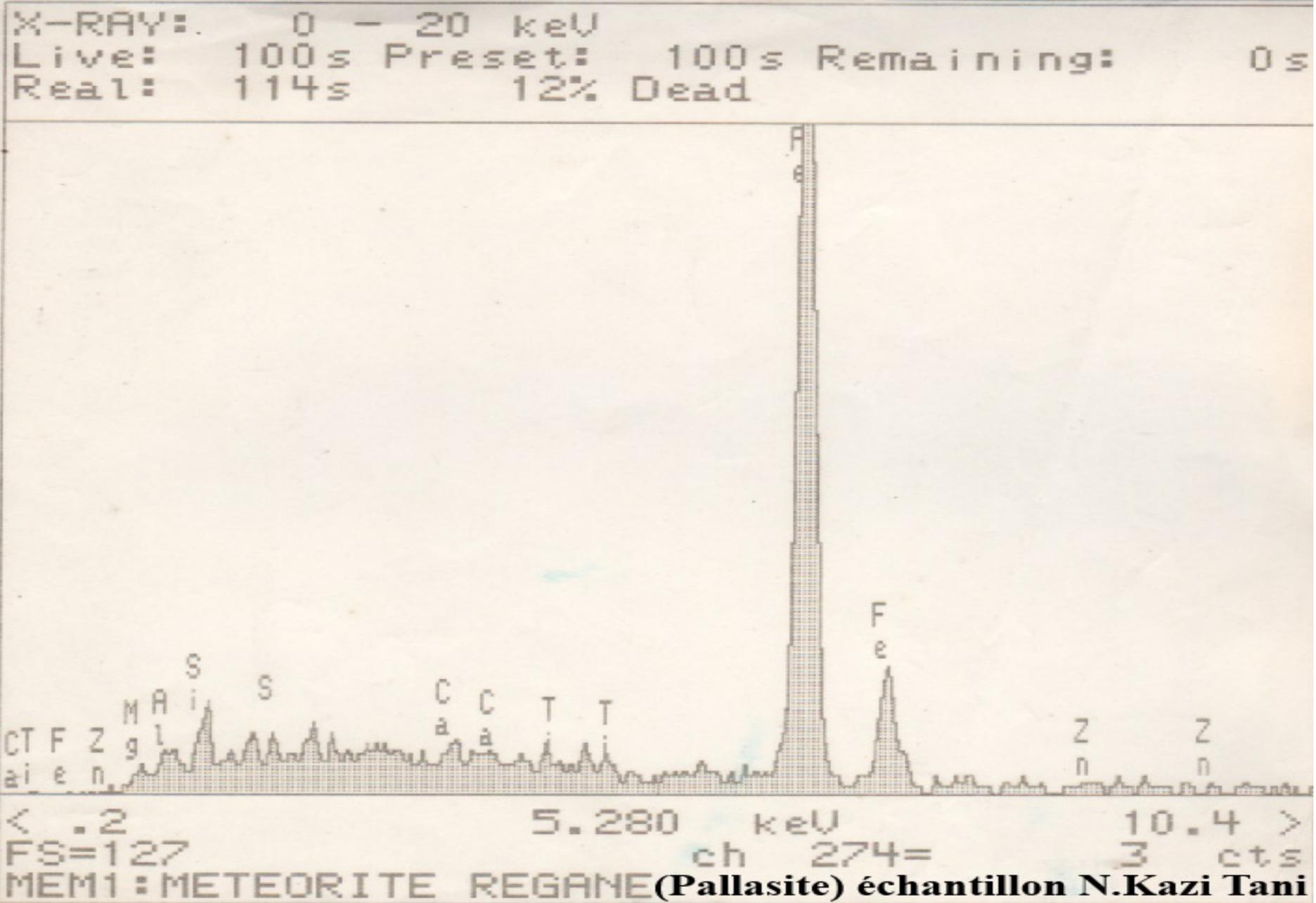
A l'origine de l'H₂ primordial, les hydrures d'hotspots



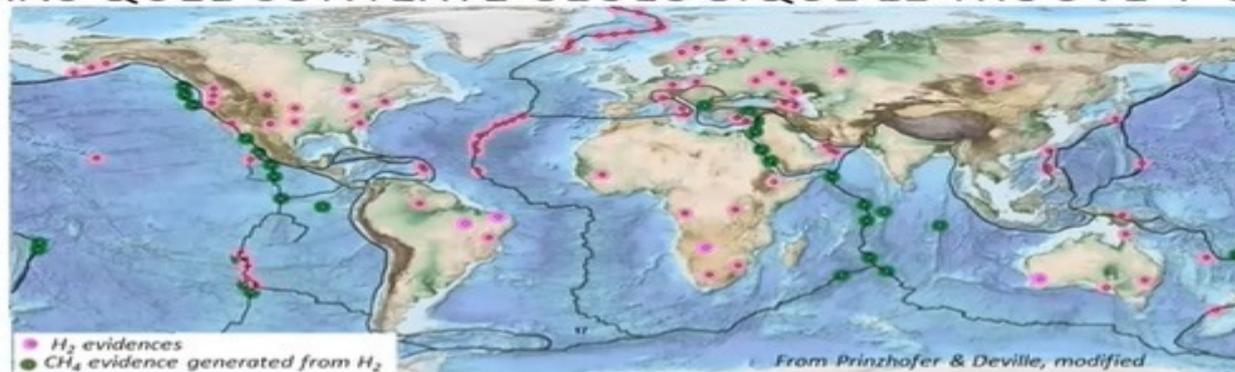
Météorite Pallasite Photo



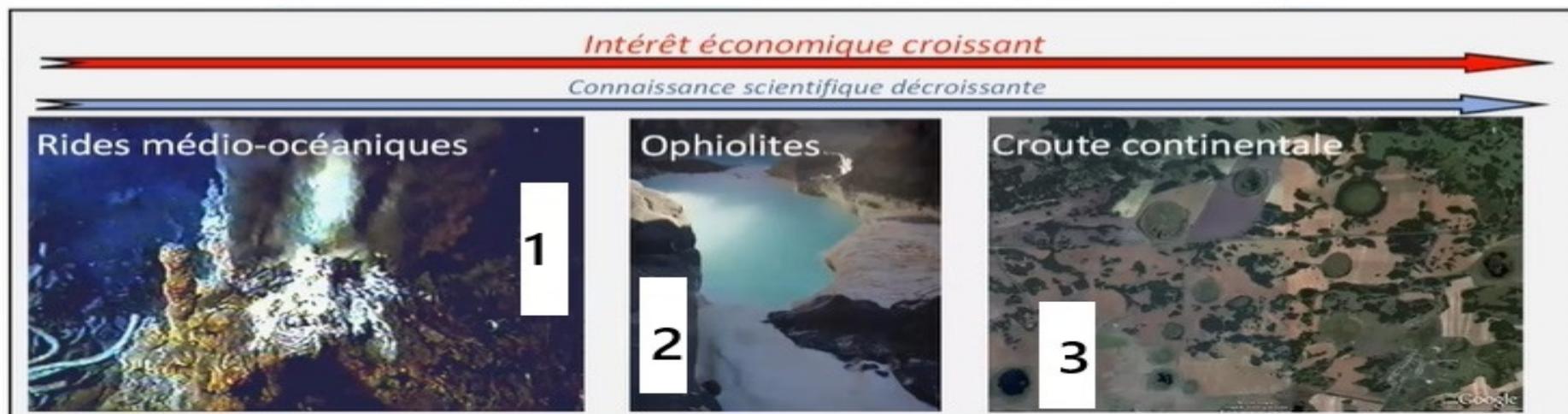
Pallasite Réggane (équivalent Zone D")



DANS QUEL CONTEXTE GÉOLOGIQUE LE TROUVE-T-ON?



Preuve de CH₄ générée à partir de H₂

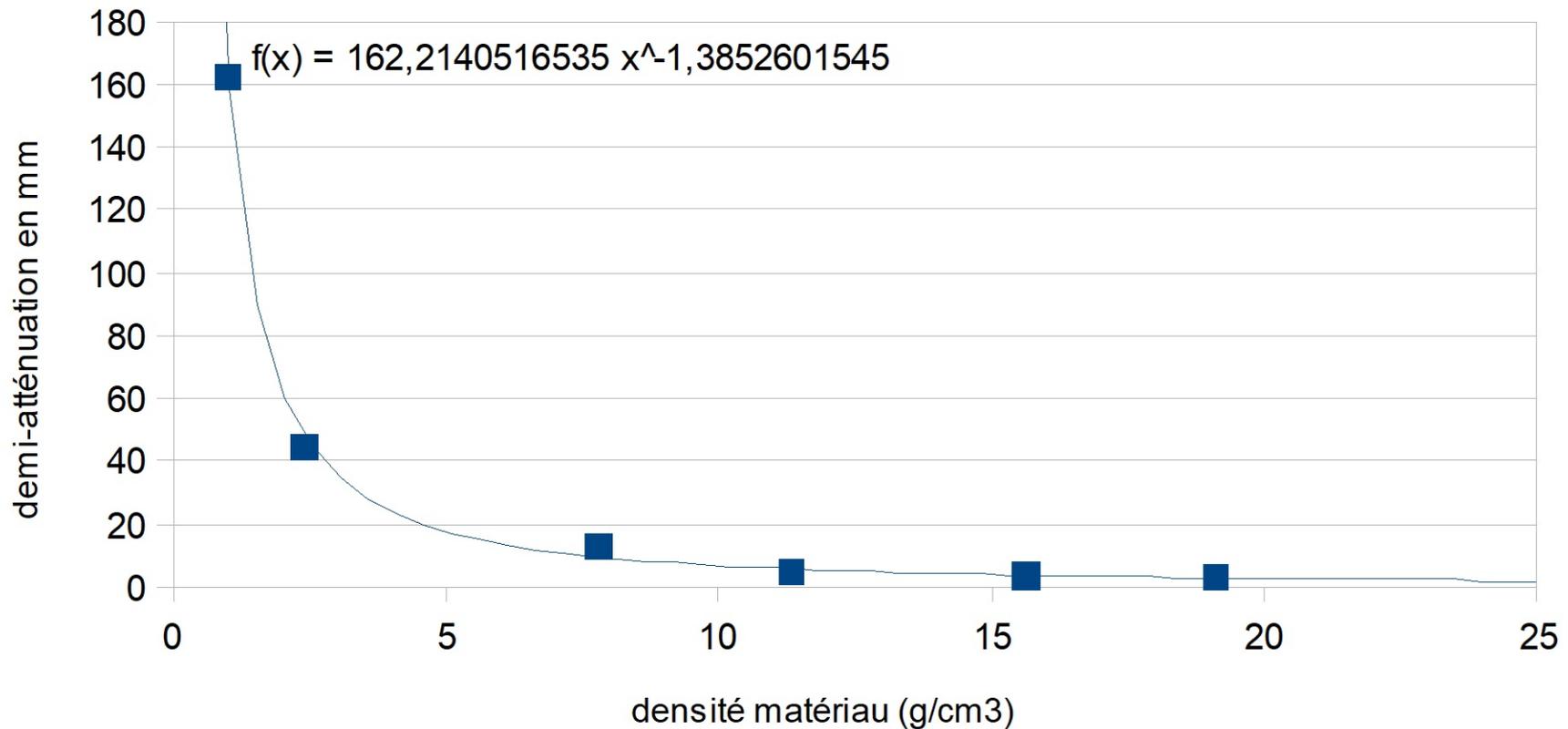


- 1) difficultés à récupérer H₂ sous 2 à 3 km d'eau
- 2) ophiolites et lherzolites en voie de serpentinisation sous couverture imperméable (ex permis Pyrénées 64)
- 3) Plateforme continentale: meilleures perspectives

La radiolyse de l'eau par rayonnement γ .

La $\frac{1}{2}$ atténuation γ en fonction des densités des matériaux
(air $d=0,0013 \rightarrow$ demi-atténuation 1,6 km). Eau:1, béton:2,4, acier: 7,8, Plomb:11,33, Tungstène: 15,63, Uranium: 19,1

1/2 atténuation/densité matériau

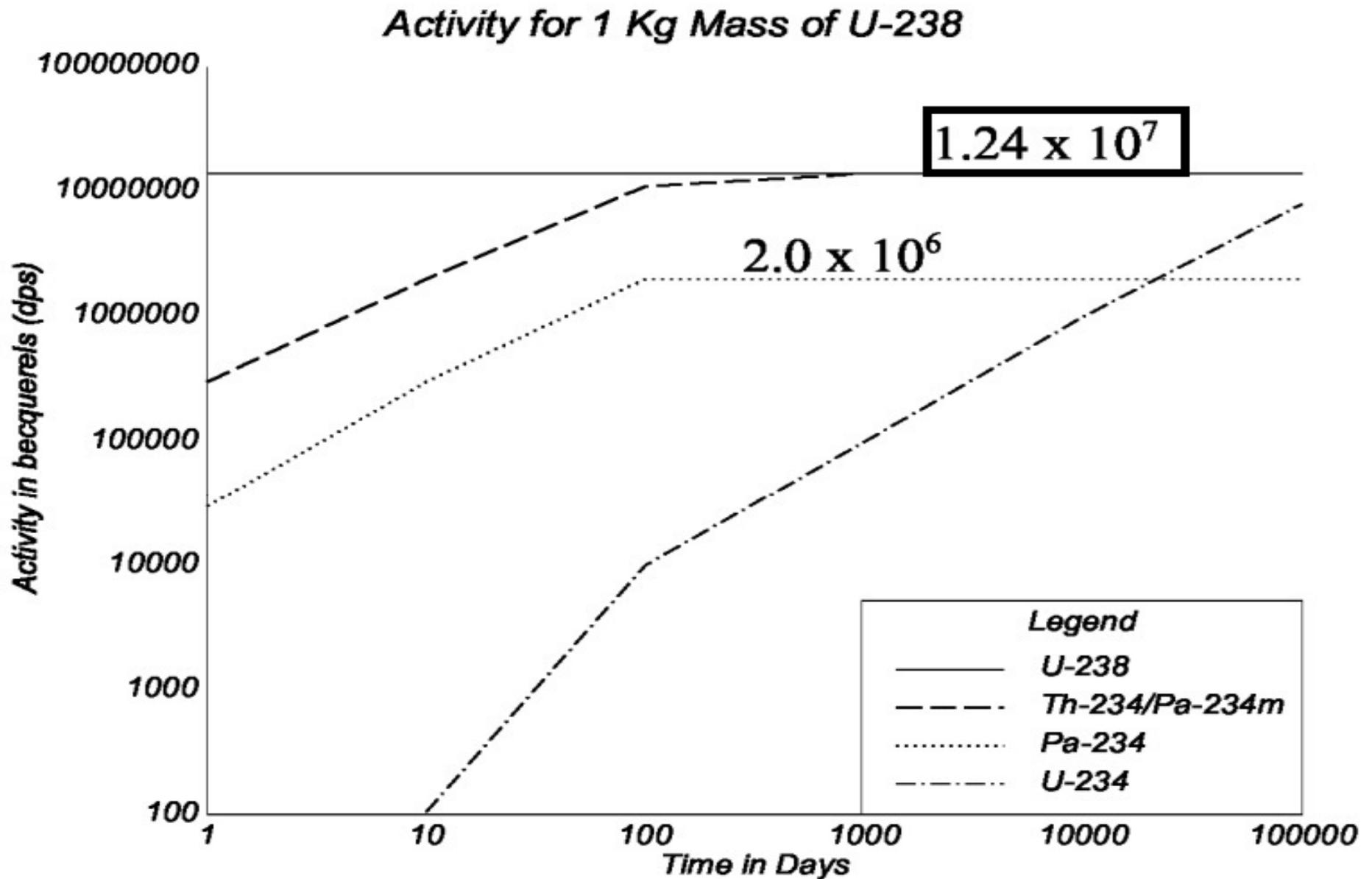


des outils diagraphique & aéroporté γ /ppm

- Pour les diagraphies gamma ray sur puits on a γ ray
→ $1,92 \cdot VK2O(\%) + 6,73 \cdot VU(\text{ppm}) + 1,45 \cdot VTh(\text{ppm})$ à contribution équitable Pour le cas du Tarannon seul l'U est présent
- Pour l'aéro- radiométrie, exécutée sur tout le territoire national avec survol au dessus du sol à 150 m, la valeur radioactive, γ doit être corrigée des effets de l'absorption par l'atmosphère par rapport à sa valeur au sol (voir abaque diapo 15).
- Sur le territoire de l'Ougarta, très radioactif, des valeurs extrêmes, jusqu'à 1800 cps sont signalées, valeur corrigée au sol d'environ 8000 cps= gisement d'Uranium. NB, 1Cps (C/s) =1 Becquerel

Activité radioactive de ^{238}U en becquerels

sa période=demi-vie est de 4,5 Ga



Activité radioactive par gramme d'U

Total Specific Activity of Natural Uranium

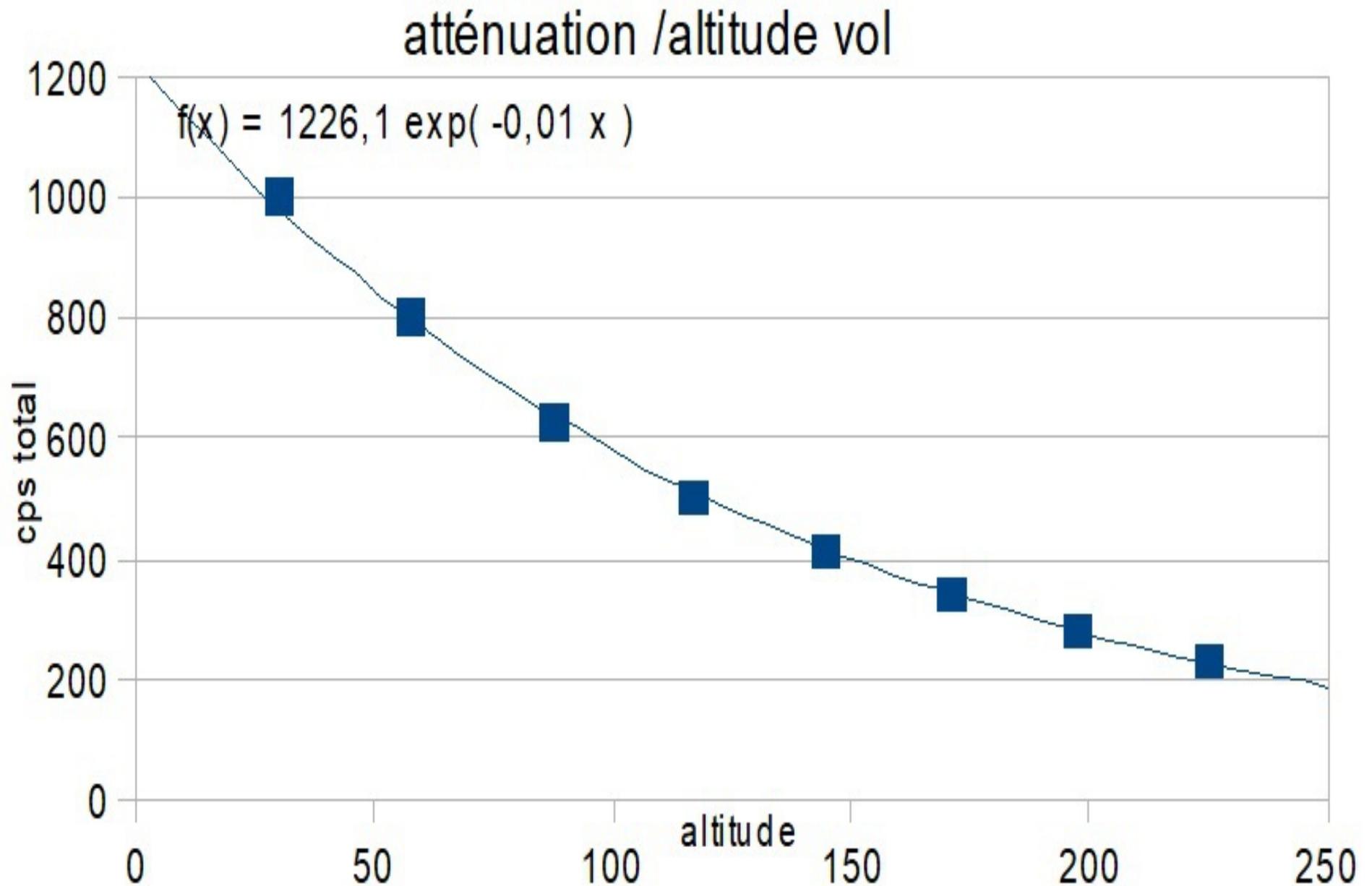
Isotope	% by weight	Weight (g)	SA (Ci/g)	Activity per gram of uranium (Ci)
U-234	0.0055	0.000055	6.22×10^{-3}	3.42×10^{-7}
U-235	0.72	0.0072	2.16×10^{-6}	1.56×10^{-8}
U-238	99.28	0.9928	3.36×10^{-7}	3.34×10^{-7}
Total	100	1	6.91×10^{-7}	6.91×10^{-7}

1 pCi/g U-238 \cong 3 ppm of uranium:

Conversion en ppm U du signal γ ray (COT Beers44)

SIGLE	X DD	Y DD	U ppm	COT%
AZ1	0,607	27,94	67,5	17
GF1	2,1	27,411	84	21
DJ1	2,45	27,427	120	30
HMN1	2,626	27,457	63	16
TM1	3,725	27,453	103	26
SMH1	1,96	26,81	67	17
AN1	3,127	26,901	108	27
DT1	2,2	26,6	224	56
BZN1	2,728	26,621	92	23
MKRS1	1,203	26,189	30	7,5
BH3	1,785	26,297	49	12,3
ANT1	2,648	26,248	54,5	14
HB1	2,839	26,282	60	15
BZN1	2,728	26,621	92	23
ODK1	4,499	26,324	27	6,75
TH201	2,994	26,008	90	22,5
DM101	2,9	25,883	120	30
AMT101	1,475	25,8	60	15
TZ301	-0,221	25,583	45	11,25
MD101	1,875	25,328	48	12
Somme			1604	402,3
moyenne arithmétique			80,2	20,115

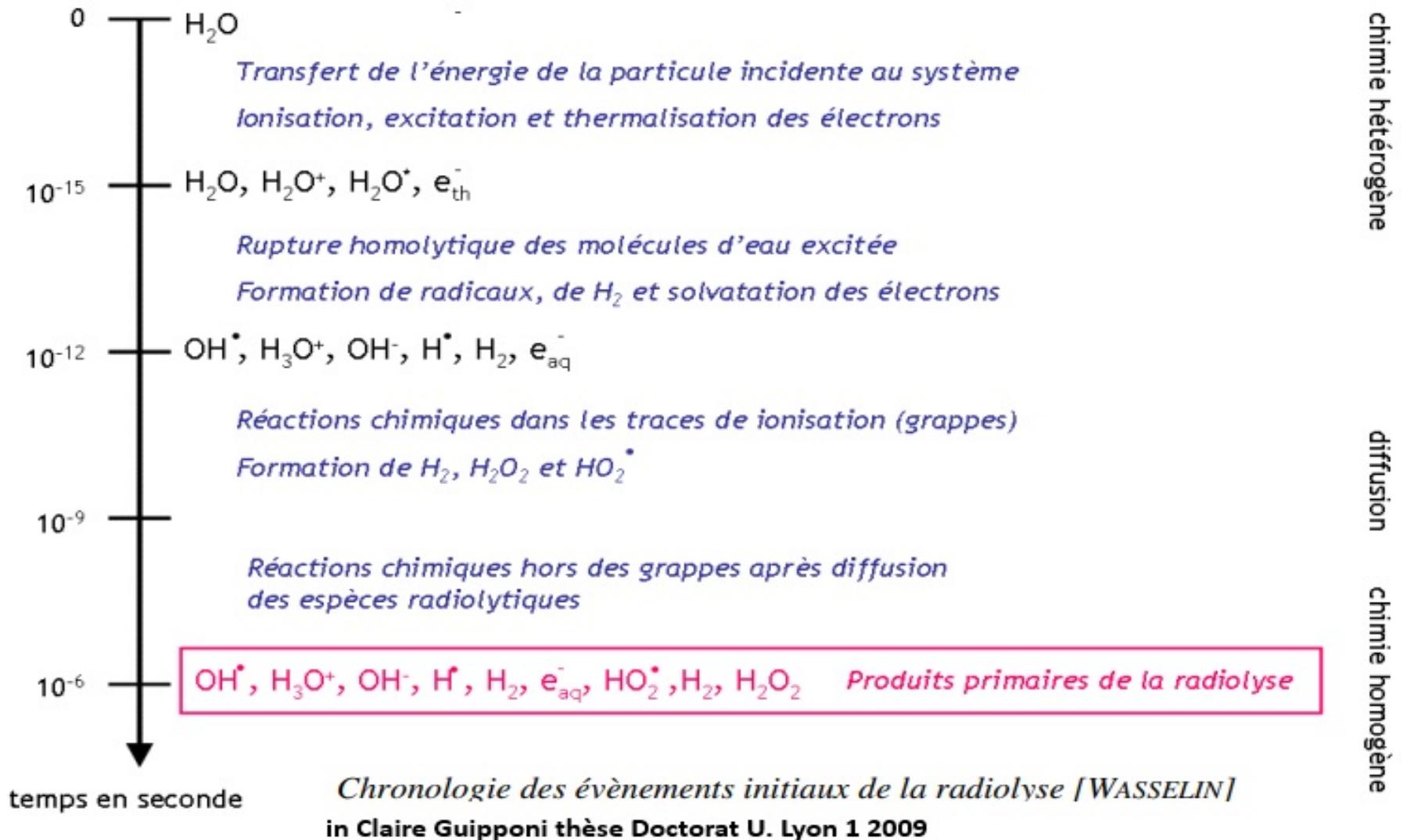
Courbe d'atténuation du signal gamma



Calculs volumiques des éléments H₂&He cogénétiques des activités radioactives γ α

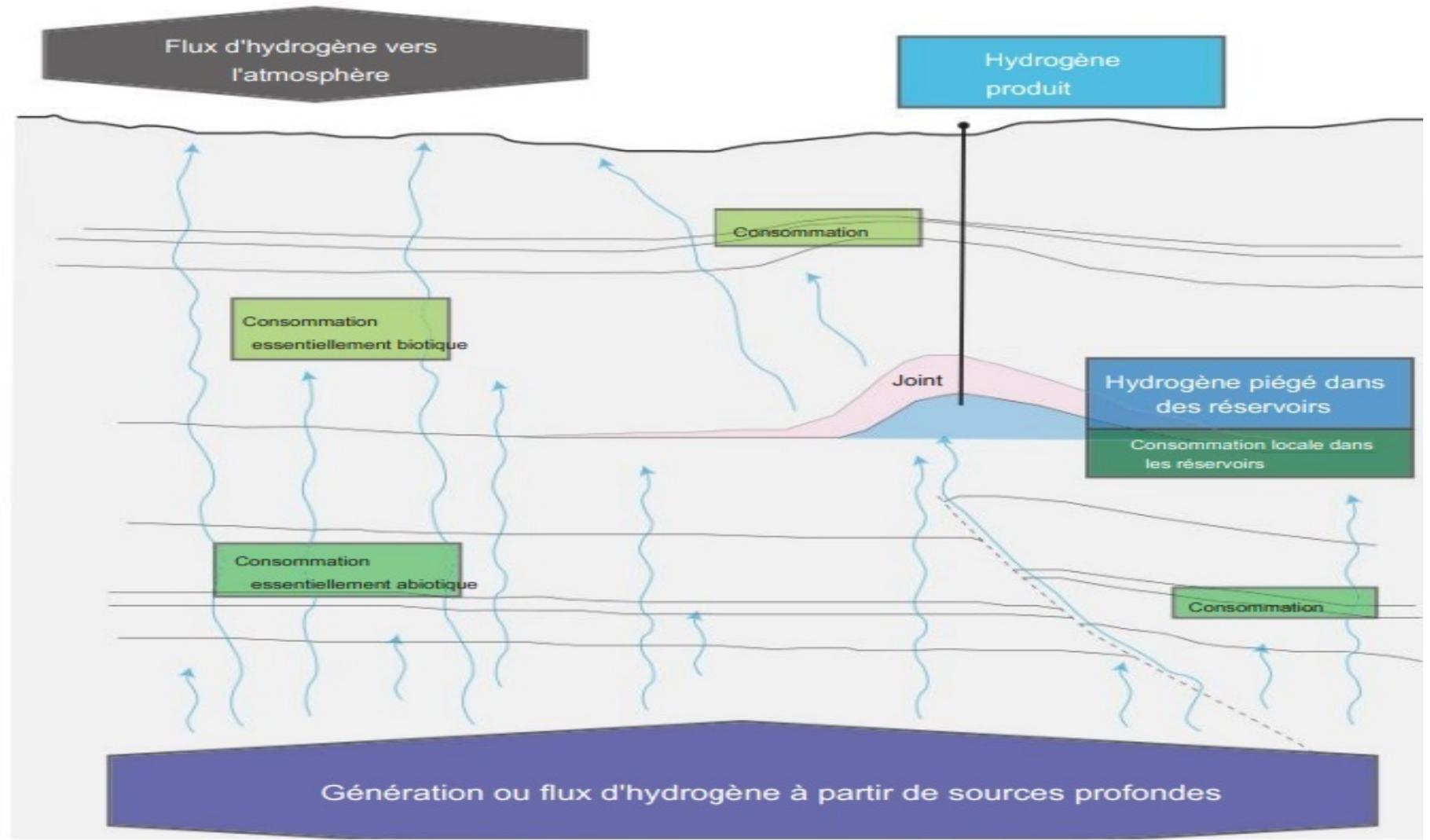
- La méthode Rutherford (1906) de datation des roches est basée sur un calcul volumique de l'He produit en un temps t par l'activité α dans un système géochimique clos . He étant un élément inerte non susceptible de consommation biotiques et abiotiques, conservé en l'état tel que 1kg de roche à 1ppmU produit 0,14cm³ d'He en 1Ga.
- Par contre l'H₂, chimiquement très actif est produit par dissociation de H₂O en H₂ et O mais en vérité complexe qui rend toute approche par le calcul irréaliste (diapo17). car il y a certes H₂ à diverses étapes mais aussi d'autres molécules, de radicaux excités etc. Dans ces conditions l'approche pragmatique consiste à consulter le système naturel qu'est le gisement et voir le rapport naturel H₂/He Dans le cas de Vaux en Bugey 1er gisement exploité il est de 52.

L'Hydrogène de radiolyse: complexité du processus



Parcours de l'H₂ : de sa genèse à sa fuite

Un flux permanent constant (λ jusqu'à 4,5 Ga)



d'après Ellis et Gelman 13/12/2024 Sci. Adv. 10, eado0955 Model predictions of global geologic hydrogen resources

Calcul de l'hélium généré et conservé

1) U	2)He produit	3)He Purge	4)He	5)He purge	6)He
30	257897	64680	193217	211680	46217
40	343862	86240	257622	282240	61622
50	429828	107800	322028	352800	77028
60	515794	129360	386434	423360	92434
70	601759	150920	450839	493920	107839
80	687725	172480	515245	564480	123245
90	773690	194040	579650	635040	138650
100	859656	215600	644056	705600	154056
110	945622	237160	708462	776160	169462
120	1031587	258720	772867	846720	184867
130	1117553	280280	837272	917280	200273
140	1203518	301840	901678	987840	215678
150	1289484	323400	966084	1058400	231084
160	1375450	344960	1030490	1128960	246490
170	1461415	366520	1094895	1199520	261895
180	1547381	388080	1159301	1270080	277301
200	1895248	488800	1288508	1550800	388508

Calcul de l'hydrogène de radiolyse

1) U	7) H ₂ produit	8) H ₂ dismiar	9) H ₂ résiduel	10) H ₂ dismiar	11) H ₂ résiduel
30	1341063	3363360	1004727	1100736	2403274
40	1788084	4484480	1339636	1467648	3204365
50	2235105	5605600	1674545	1834560	4005456
60	2682126	6726720	2009454	2201472	4806547
70	3129147	7847840	2344363	2568384	5607638
8	35761	89689	26792	29352	64087
90	4023190	1009008	3014182	3302208	7209821
10	4470211	1121120	3349091	3669120	8010912
11	4917232	1233232	3684000	4036032	8812003
12	5364253	1345344	4018909	4402944	9613094
13	5811274	1457456	4353818	4769856	1041418
14	6258295	1569568	4688727	5136768	1121527
15	6705316	1681680	5023636	5503680	1201636
16	7152337	1793792	5358545	5870592	1281745
17	7599359	1905904	5693455	6237504	1361855
18	8046380	2018016	6028364	6604416	1441984
19	8493401	2130128	6363273	6971328	1522073
20	8940422	2242240	6698182	7338240	1602182
21	9387443	2354352	7033091	7705152	1682291
22	9834464	2466464	7368000	8072064	1762400
0	6	0	6	0	6

Légende des tableaux He et H₂

Légende des colonnes numérotées 1 à 11. En m³/km²

- 1) Teneur U de l'horizon Tarannon de l'Ahnet-Mouydir
- 2) Volume d'Hélium généré par le rayonnement α de U
- 3) Volume d'He perdu lors des érosions anté-Trias
- 4) Volume d'Hélium conservé malgré les 110 Ma d'ouverture anté-triasique du système géochimique
- 5) Volume perdu si la DH est exposée durant 360 Ma
- 6) Cette colonne calcule ce qui reste entre la production totale depuis 438,6Ma de laquelle on soustrait la production perdue depuis 360 Ma.
- 7) à 11) légende pour l'hydrogène idem que l'Hélium

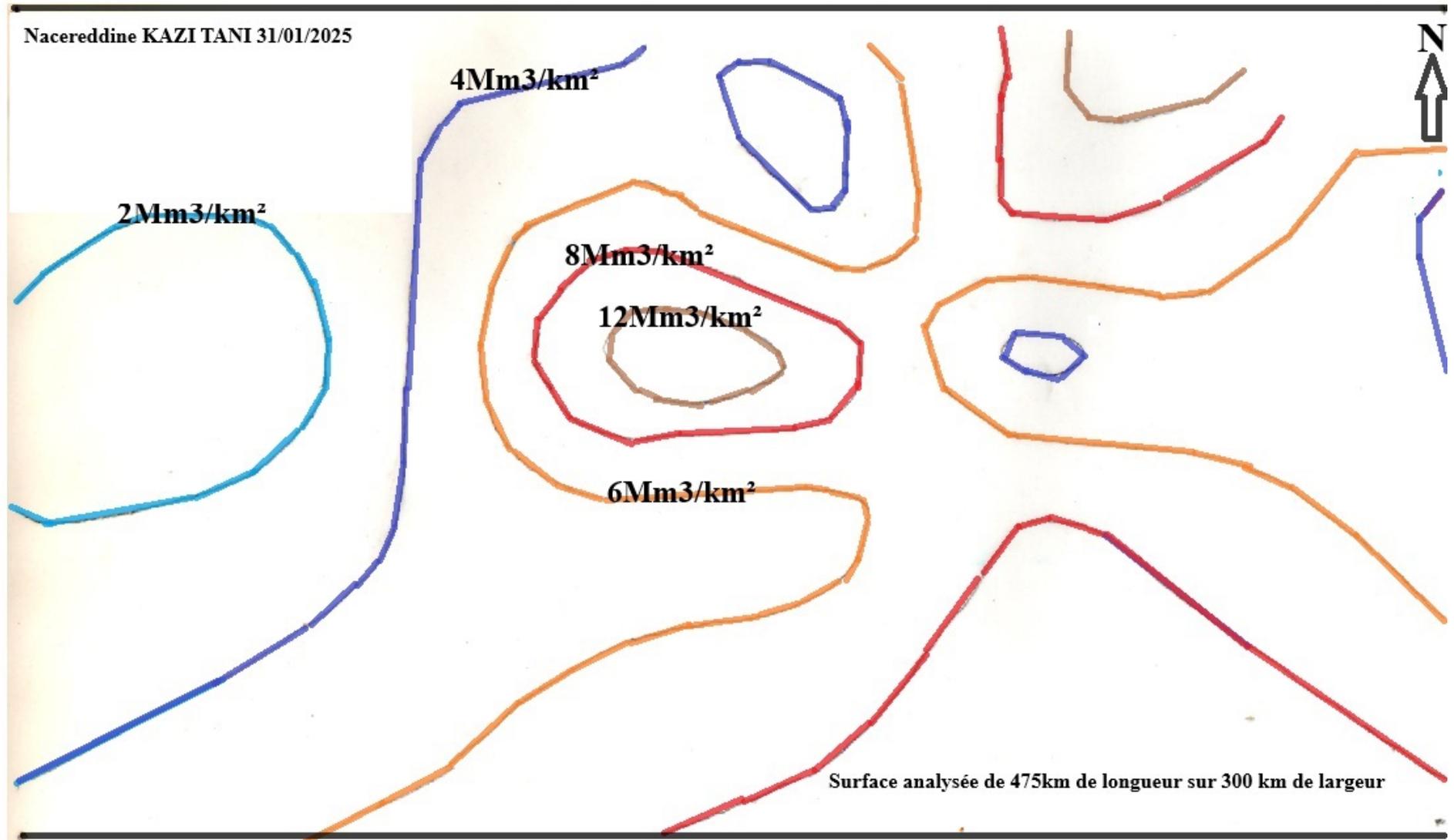
En rouge les moyennes régionales à l'échelle de l'Ahnet Mouydir (142500 km²) sur la base de 80ppm U du Tarannon.

Carte du prospect H₂ de radiolyse de l'Ahnet

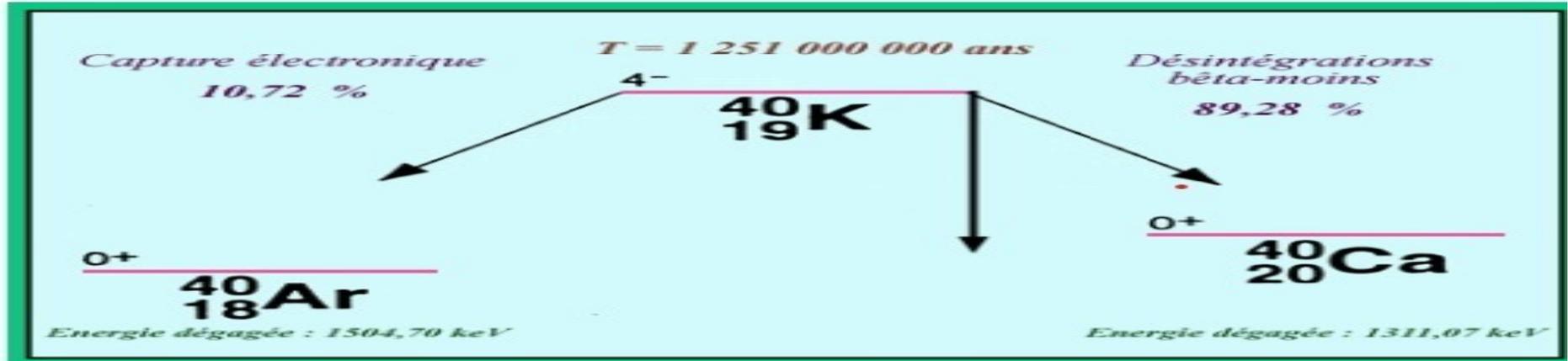
Réserves d'hydrogène blanc

Carte en isovaleurs en Millions de m³ d'hydrogène de radiolyse par km² de territoire de l'Ahnet-Mouydir

Nacereddine KAZI TANI 31/01/2025

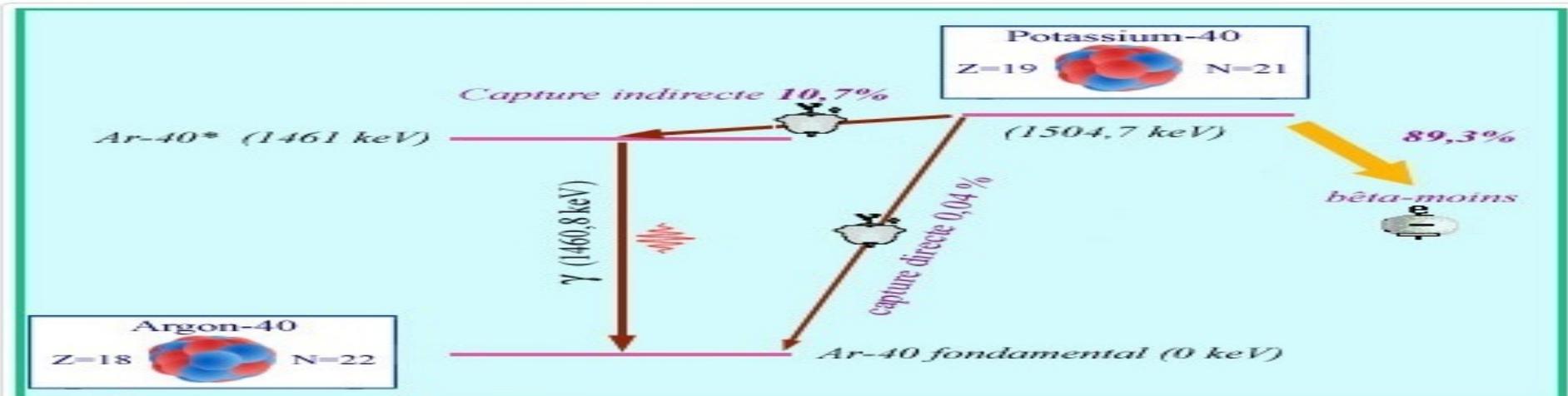


Radiolyse ^{40}K : 2 voies γ (Ar) et β (Ca)



Les deux modes de désintégrations du potassium-40

Le schéma de désintégration du potassium-40 est inhabituel. Sa masse se trouve supérieure à celle de ses deux voisins, au sein de la famille des atomes à 40 nucléons : l'argon-40 avec un proton de moins et le calcium-40 avec un proton de plus. Il possède deux voies de désintégrations au lieu d'une. La désintégration bêta-moins vers le calcium-40 est de loin la plus fréquente, les désintégrations vers l'argon-40 se faisant par capture électronique. Remarquable enfin est la très longue période de 1,251 milliard d'années. Lors d'une désintégration, un noyau change aussi sa rotation interne ou spin. Dans le cas du potassium-40, l'extrême lenteur des transformations s'explique par un saut de spin important, donc difficile.



Du potassium-40 à l'argon-40

La capture d'un électron qui transforme le potassium-40 en argon-40 n'est directe que dans 0,04 % des désintégrations. Bien plus fréquente – 10,68 % des cas –, la capture indirecte aboutit à un état excité de noyau d'argon qui se désexcite en émettant un gamma de 1.46 MeV. Sans ce gamma d'énergie bien caractéristique, il serait impossible de détecter et d'identifier la désintégration du potassium-40. Les neutrinos émis lors des captures sont indétectables. L'émission d'électrons bêta (généralement absorbés par le milieu) conduisant au calcium-40 (89,3%) n'est pas accompagnée de gamma.

Calculs d'évaluation H₂ et Ar de ⁴⁰K

- L'Algérie possède de très grandes réserves de K sous la forme de sylvite (KCl) dans ses dépôts du Salifère principal,
- Ses aquifères-saumures et certaines sebkhas sahariennes
- - **Exemple. Gisement du Mzab** : 1,7Gt KCl dont 0,89Gt K, à 117 ppm ⁴⁰K, la désintégration par émission $\beta \rightarrow 89\%$ et capture e⁻ émettrice de γ . 10,7%. Au total la partie utile pour la radiolyse ne représente que 12,54 ppm du total K. De plus toute cette radioactivité n'est délivrée qu'au temps infini et son action au Mzab n'est décomptée que depuis 230 Ma (Keuper). La quantité Ar est calculée par $N_{\text{initial}} - N_t$ (230Ma) par application de l'équation de désintégration
- $N_t = N_{\text{initial}} * e^{-\lambda t}$ avec N_t quantité au temps t, $N_{\text{initial}} = 11142t$
- (cas du Mzab), $\lambda = \text{constante de désintégration} = 0,581 \cdot 10^{-10} \cdot \text{a}^{-1}$
- $t = 230 \text{Ma}$. Conclusion: le gisement de Potasse du Mzab a généré
- **152 t d'Ar et 3,795 t d'H** : des quantités dérisoires, sans avenir pour les prospect H₂ de ⁴⁰K. **Sans intérêt mais cogénétique**

H₂ de radiolyse.

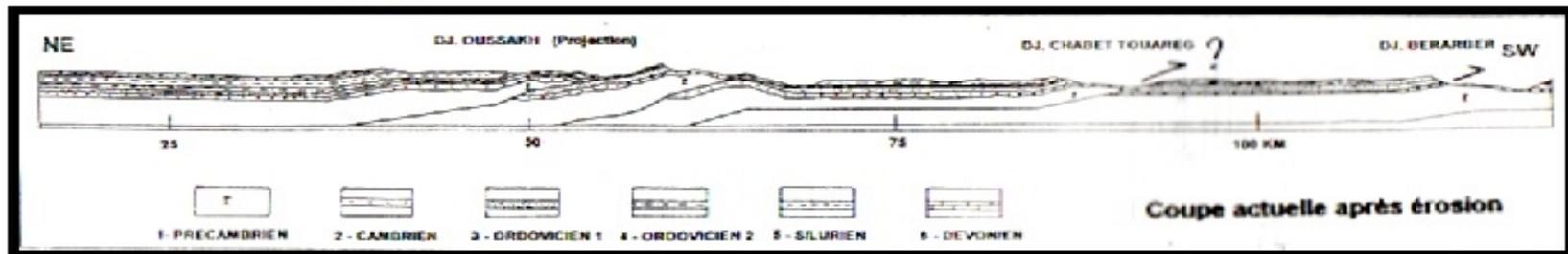
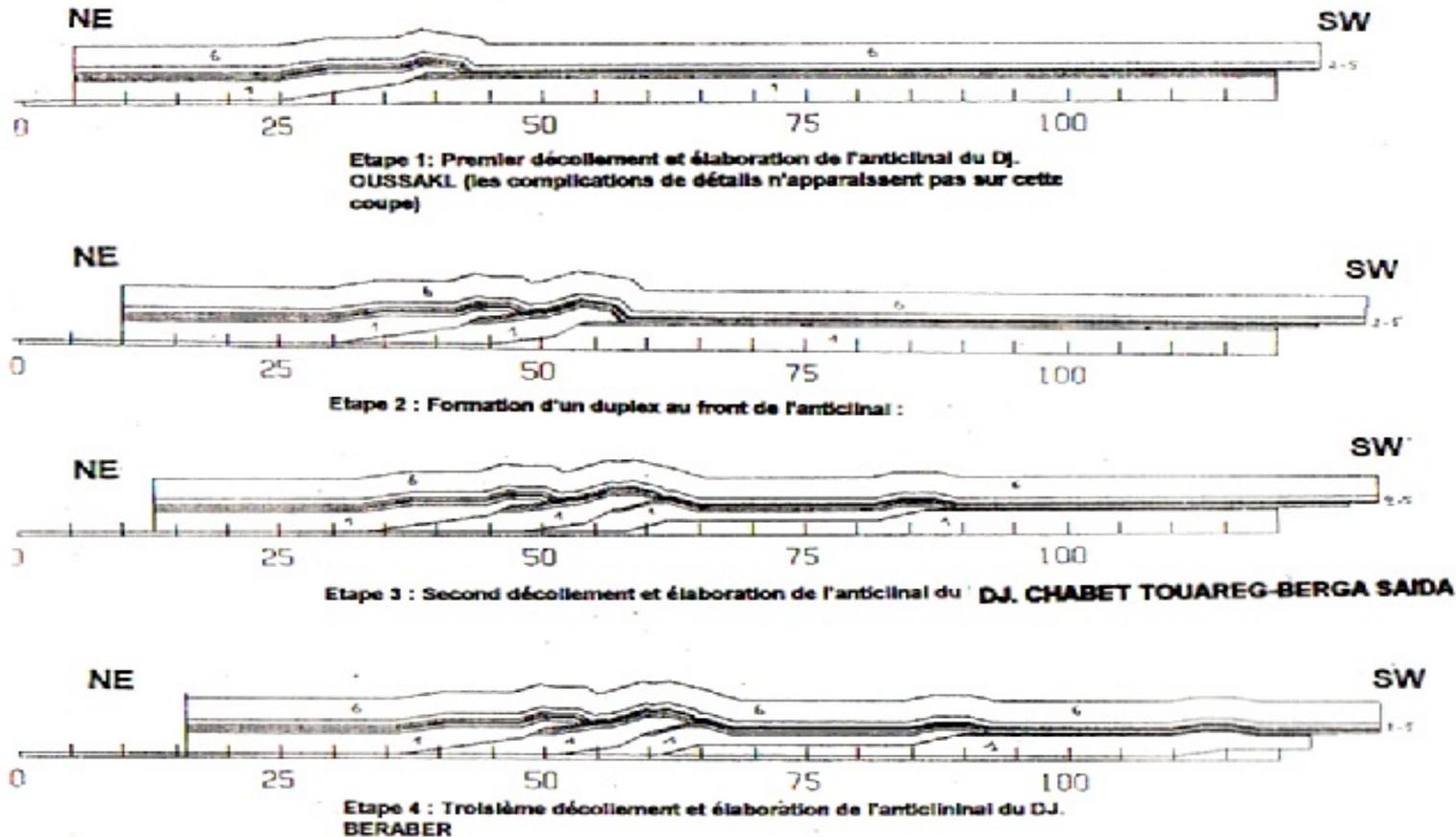
Les placers de m^x lourds

- **L'Ougarta** → Golfe au confins de l'inlandsis Ashghill où se déposent des minéraux lourds (Monazite etc..)
- **La radioactivité** → jusqu'à 1800cps à 150 m de survol (=8000 cps au sol=mine d'U **voir diapo15**). Un kg ²³⁸U présente une activité de 12,434 Mbq (**cf. diapo 12**).
- **L'Ougarta** → chaîne plissée en mille-feuilles d'écailles
- Niveau d'érosion moyen: Ordovicien (armature reliefs)
- De ce fait les prospectes à H₂ de radiolyse ne peuvent se concevoir que sur les bordures ougartiennes ou dans zones synclinoriales internes. Enfin l'exploration peut être envisagée sur la reconnaissance en surface par MNT-Lidar et la gazométrie.

H₂ de radiolyse de placers l'Ougarta



Évolution structurale de l'Ougarta géomorphologie

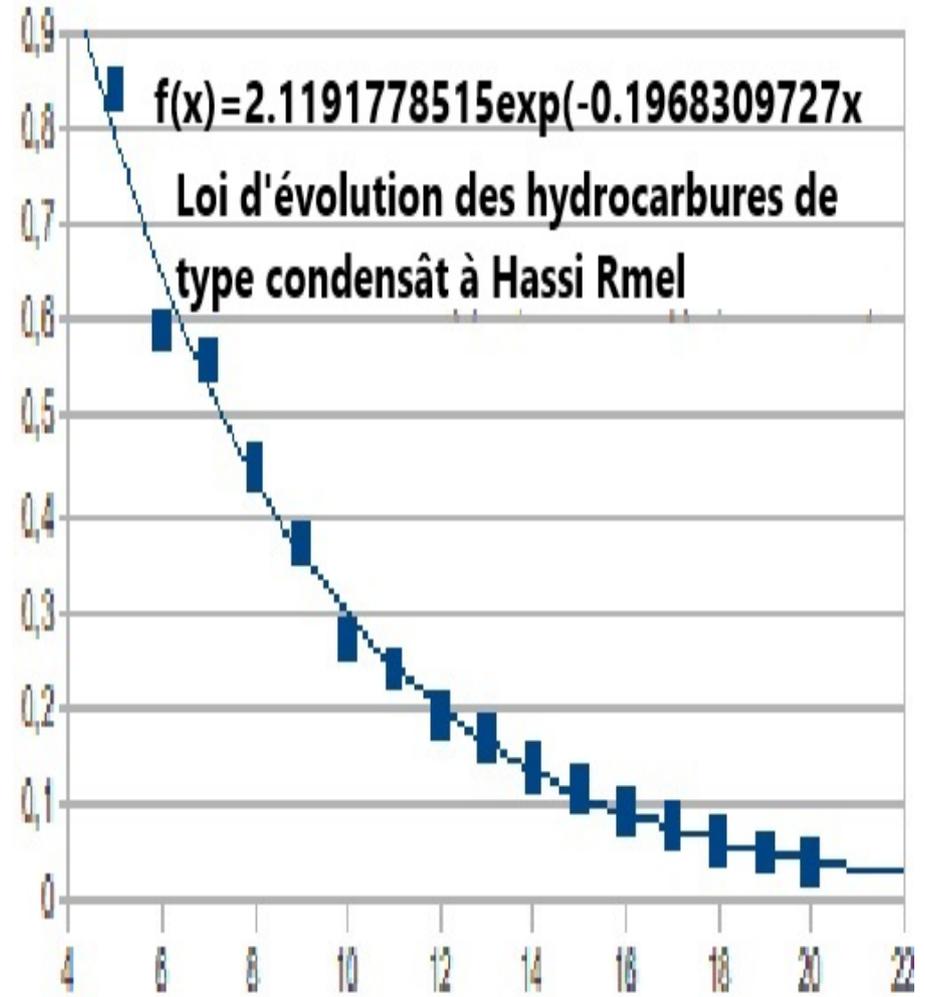
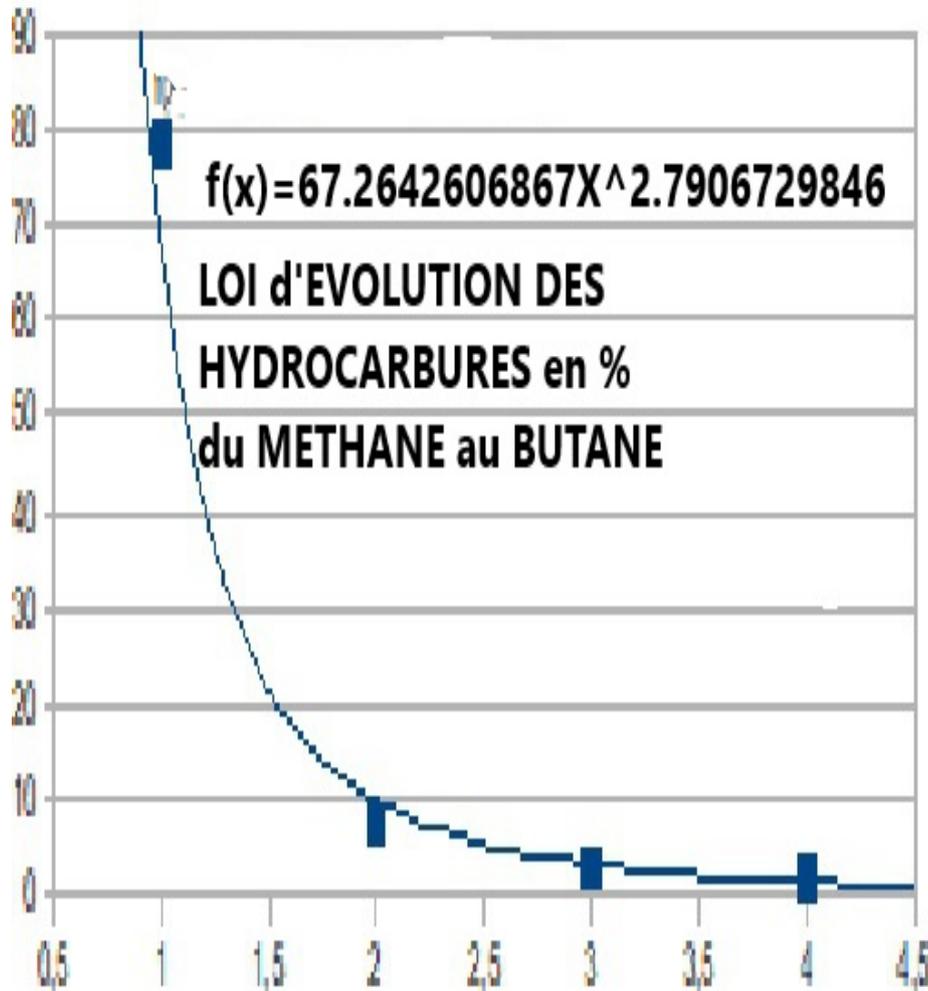


***Solubilité dans $H_2O/t^\circ C$: $0^\circ C$: $2,14cm^3/100g$ d'eau 2,5 fois moins, à $80^\circ C$: $0,85cm^3/100g$ eau. Contrebalancée par la pression: $\times 100$ à $1000m$. Influence croisée $t^\circ C/Profondeur$.**

***Incompatibilité $H_2/HC(>C4)$ mais He traceur coproduit dans un rapport $H_2/He = 52$ l'est. H_2 très réactif rompt les liaisons C-C des chaînes de HC qui peuvent atteindre C35 étant entendu que leur caractère évolué est dominant. Nombre de liaisons C-C rompues, cas de H.Rmel. Ici, le rapport He/HCGaz est de $\sim 0,18\%$ ($0,1932\%$ d'après nous). Condensats = $0,57Gm^3$ liquide = $570Gm^3$ vapeur $\rightarrow 570/335=1,7$. $335 Gm^3$ étant le volume d' H_2 co-généré avec He à Hrmel. On estime alors que près de 2 liaisons C-C sont craquées dans toute molécule d'HC liquide qui se trouve ainsi allégée par dismutation par effet de ciseau moléculaire.**

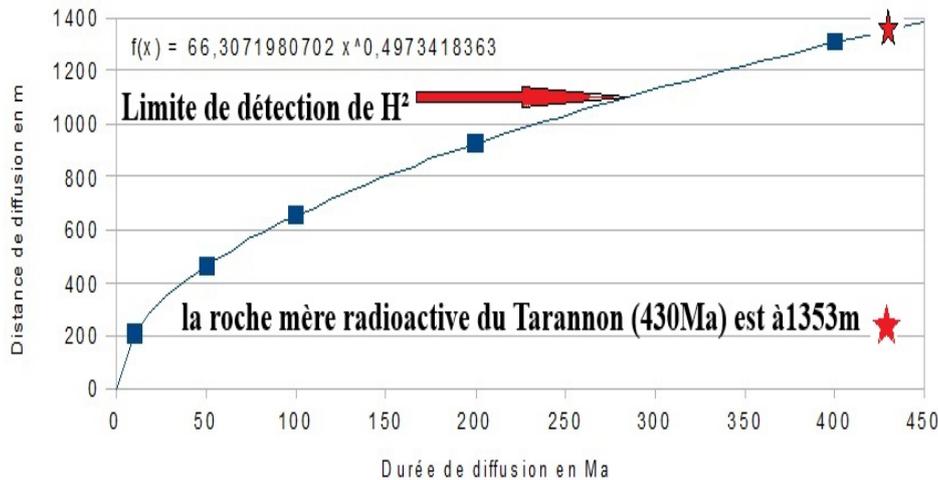
Compatibilité/incompatibilité H₂/HC

Les gisements de fluides de radiolyse (H₂, He) les font coexister jusqu'à C4 (butane) au delà (C5+) H₂ est assimilé aux HC à chaîne plus longue qu'il casse et allège (condensât Hassi Rmel)

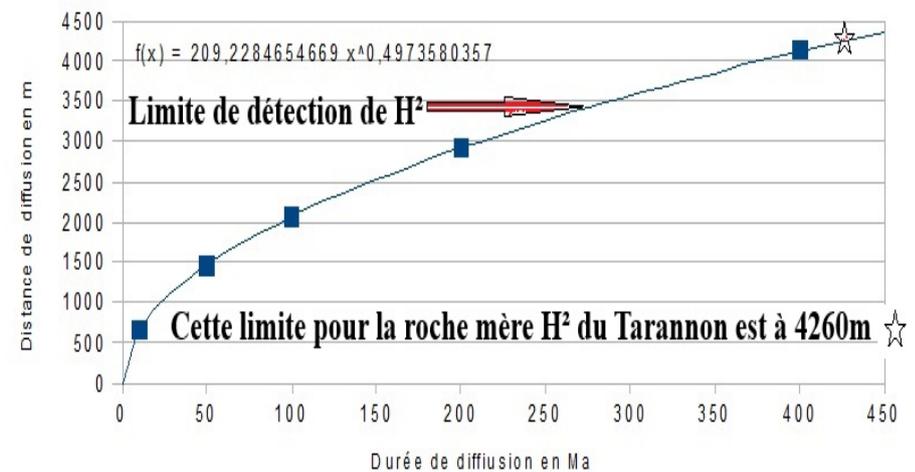


Graphe et équation de la diffusion H₂ (K, Ma et m prof)

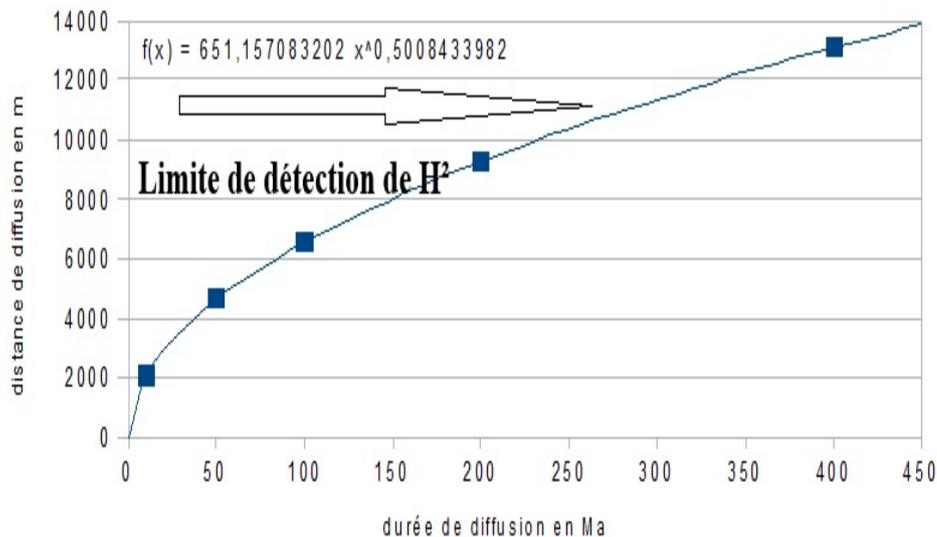
H₂ diffusion K¹⁰-⁹ facteur 5,5 (414/74,2)



H₂ diffusion K¹⁰-⁸ facteur 5,5 (414/74,2)

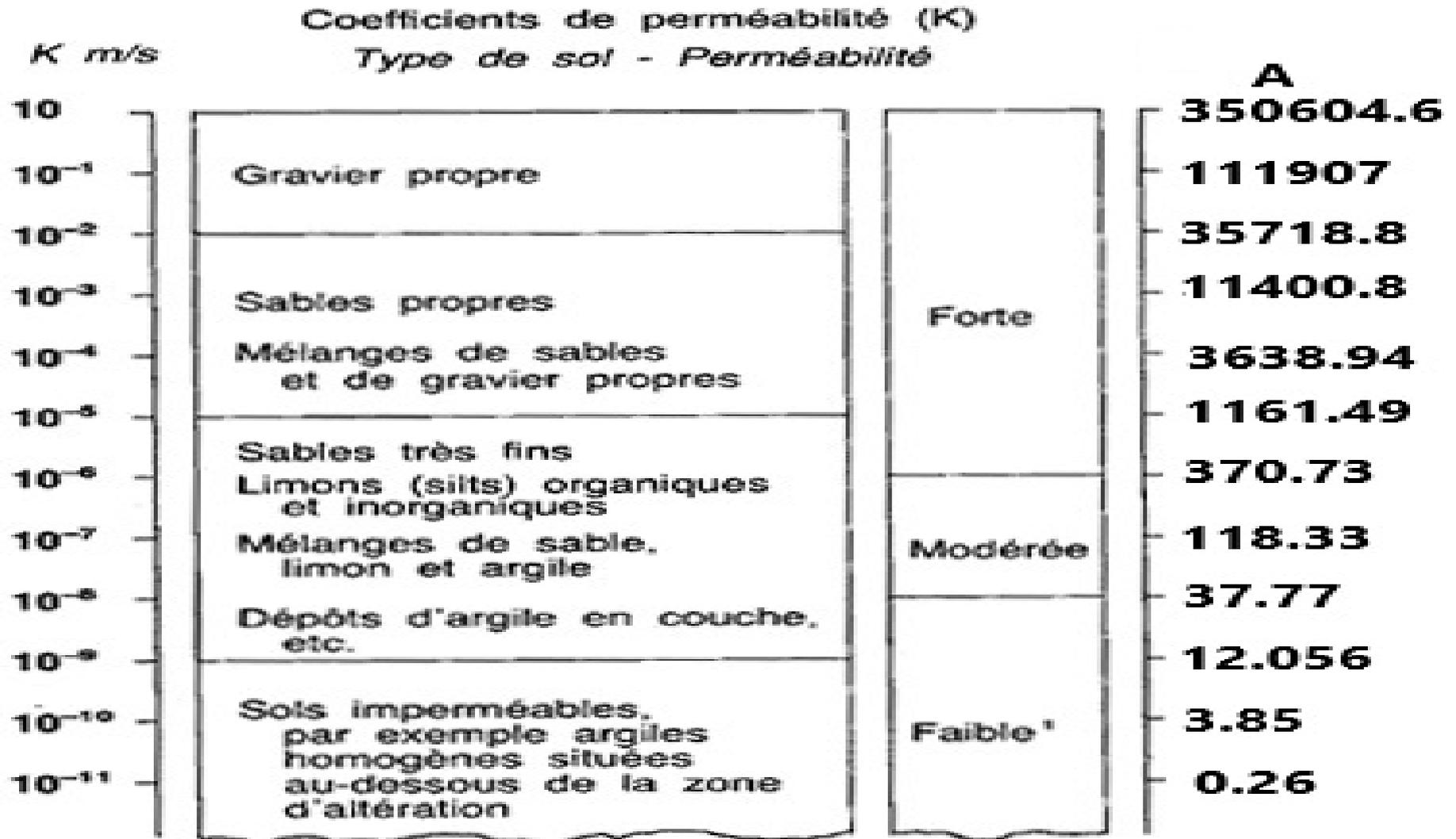


H₂ diffusion K¹⁰-⁷ facteur 5,5 (414/74,2)



- **Facteur 5,5=rapport dimensionnel CH₄/ H₂**
- **K=coefficient de diffusion des roches**
- **Limite de détection fixée à 10⁻⁵ concentration**
- **Equation Dist-diff=AVt**

Échelle du coefficient K/lithologie



¹ *Pratiquement imperméable*

https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706f/x6706f09.htm
modifié $A = 0.26 * 3.133 = 3.85$ puis $3.85 * 3.133$ etc

Graphe de la saturation H₂ (Moselle) Folschviller

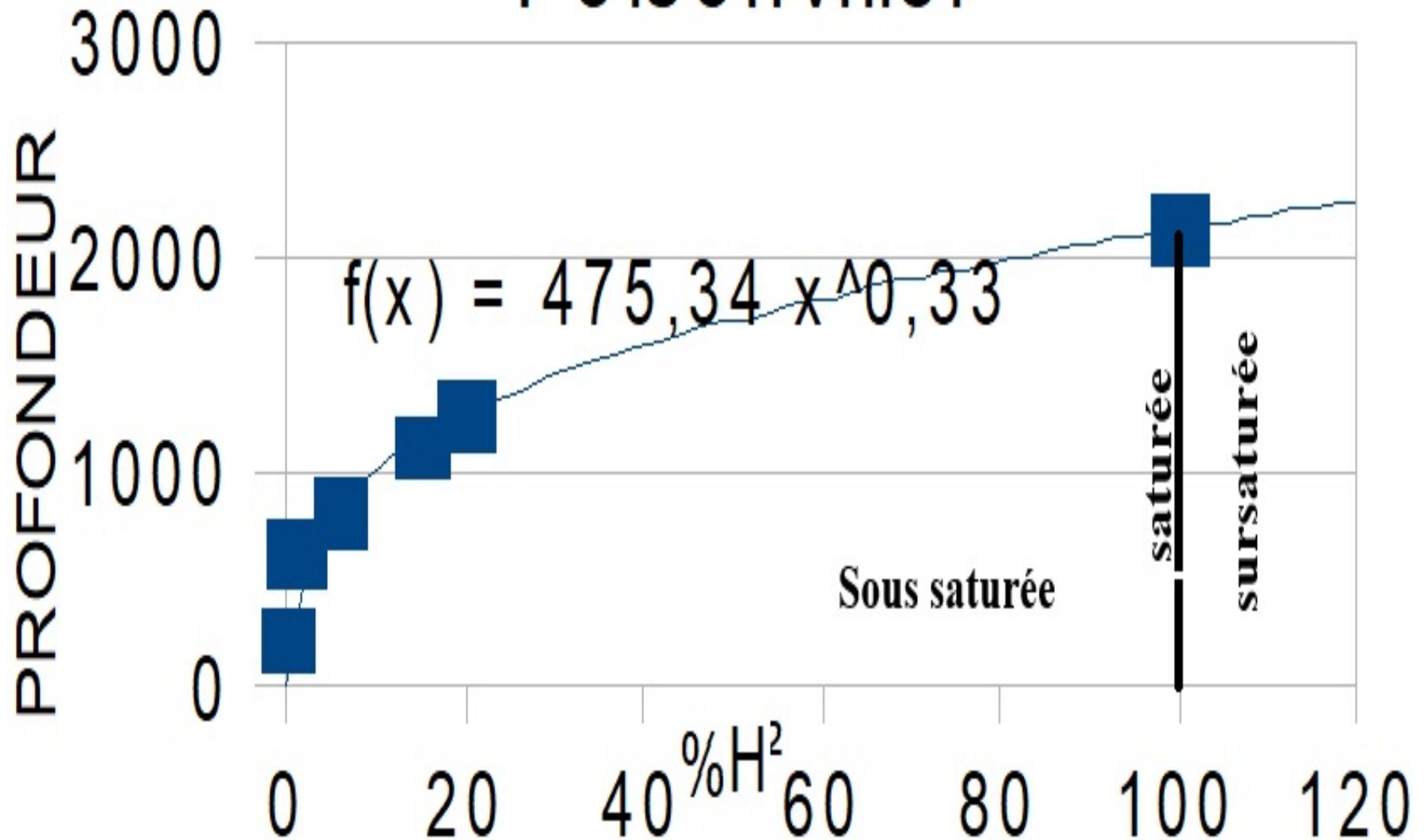
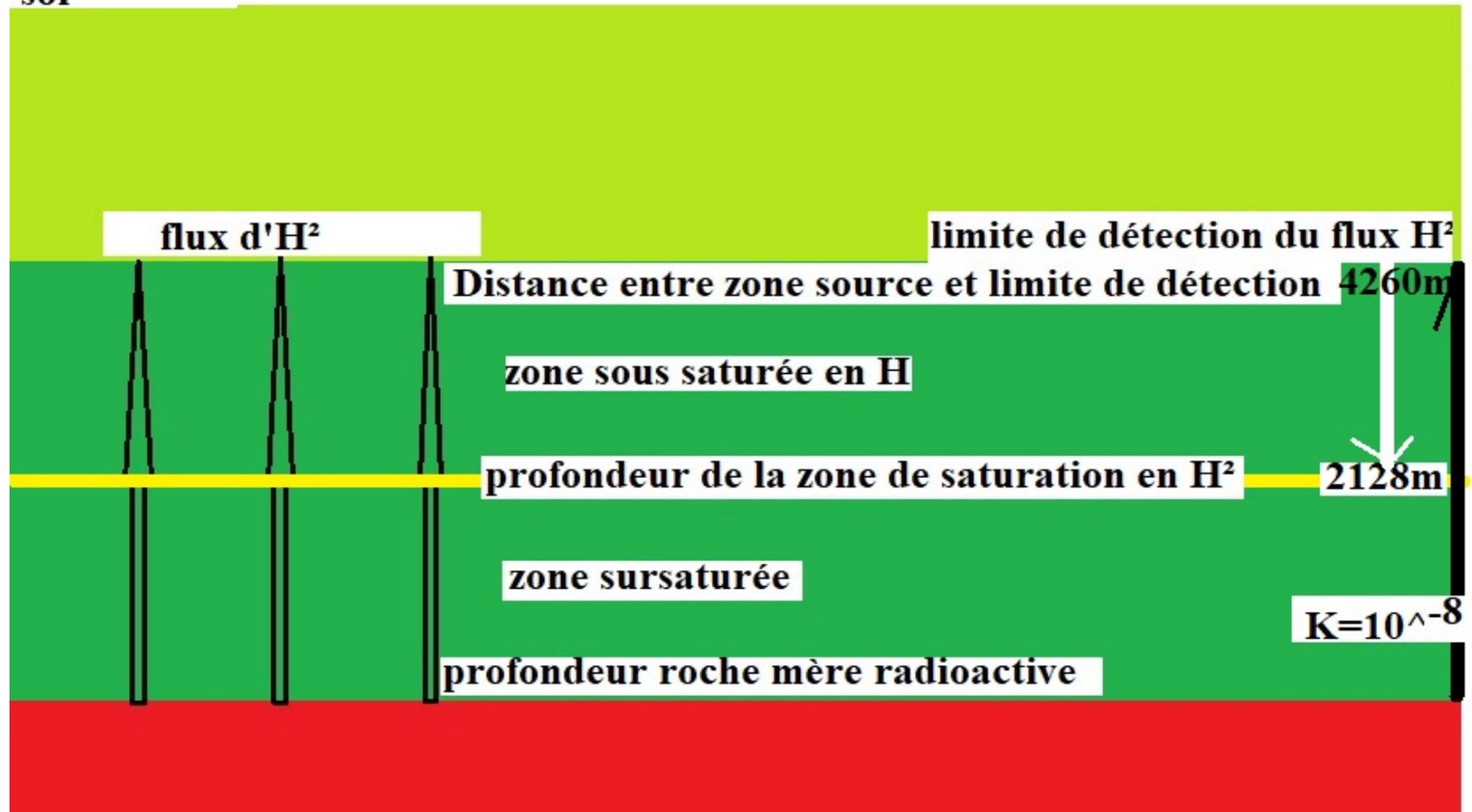


Schéma synthétique

GISEMENT DIFFUS D'HYDROGENE NATIF

Concepts et application à H² de radiolyse du Tarannon sol

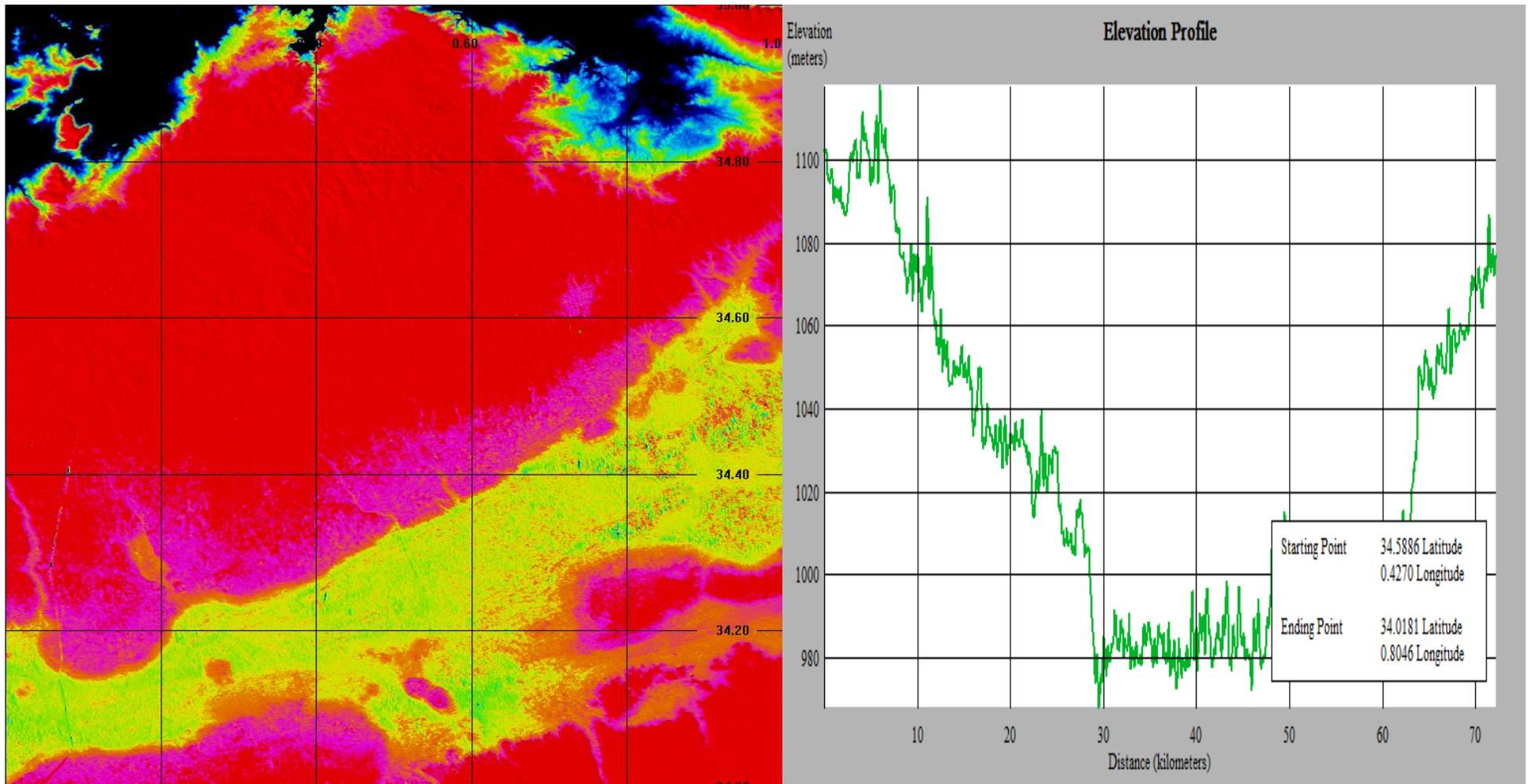


Les outils d'exploration de terrain H₂: le Lidar, la gazométrie, etc (γray).

- « La télédétection par laser ou LIDAR, acronyme de l'expression en langue anglaise « laser imaging detection and ranging » (soit en français « détection et estimation de la distance par laser »), est une technique de mesure à distance fondée sur l'analyse des propriétés d'un faisceau de lumière cohérente renvoyé vers son émetteur.»
Wikipédia
- But H₂: détection des cercles de fées en pays désertique exprimés ici par une dépression circulaire d'ordre kilométrique parfois en dayas, sur une lithosphère très épaisse (200-300km) ex craton W.Afr (Eglab-Taoudenni-Tindouf). Croit-on !

Image Lidar en Algérie, carte et coupe

Couverture totale, logiciel 3dem facile



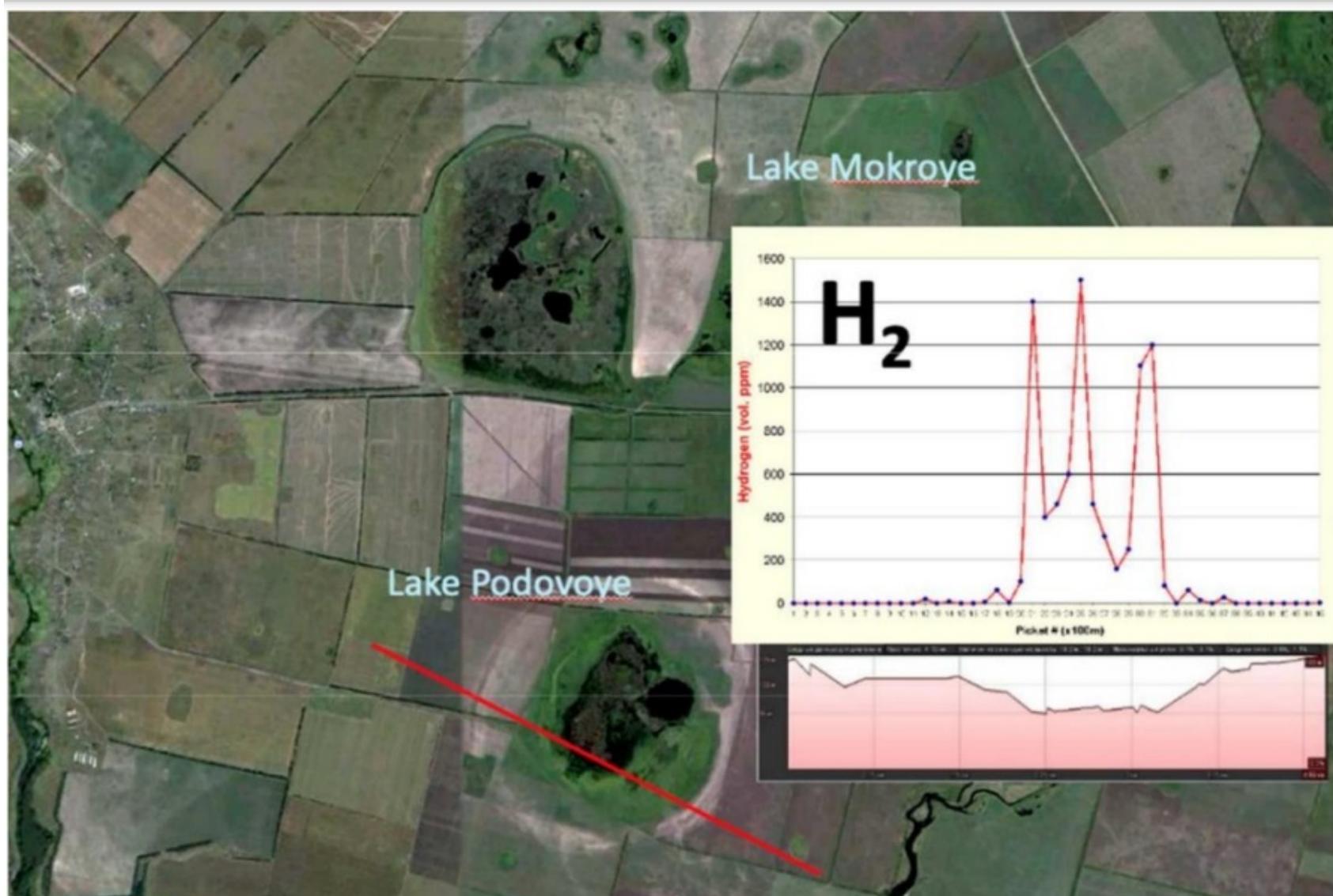
Cercles de fées en contexte humide

cercle déprimé et dé végétalisé



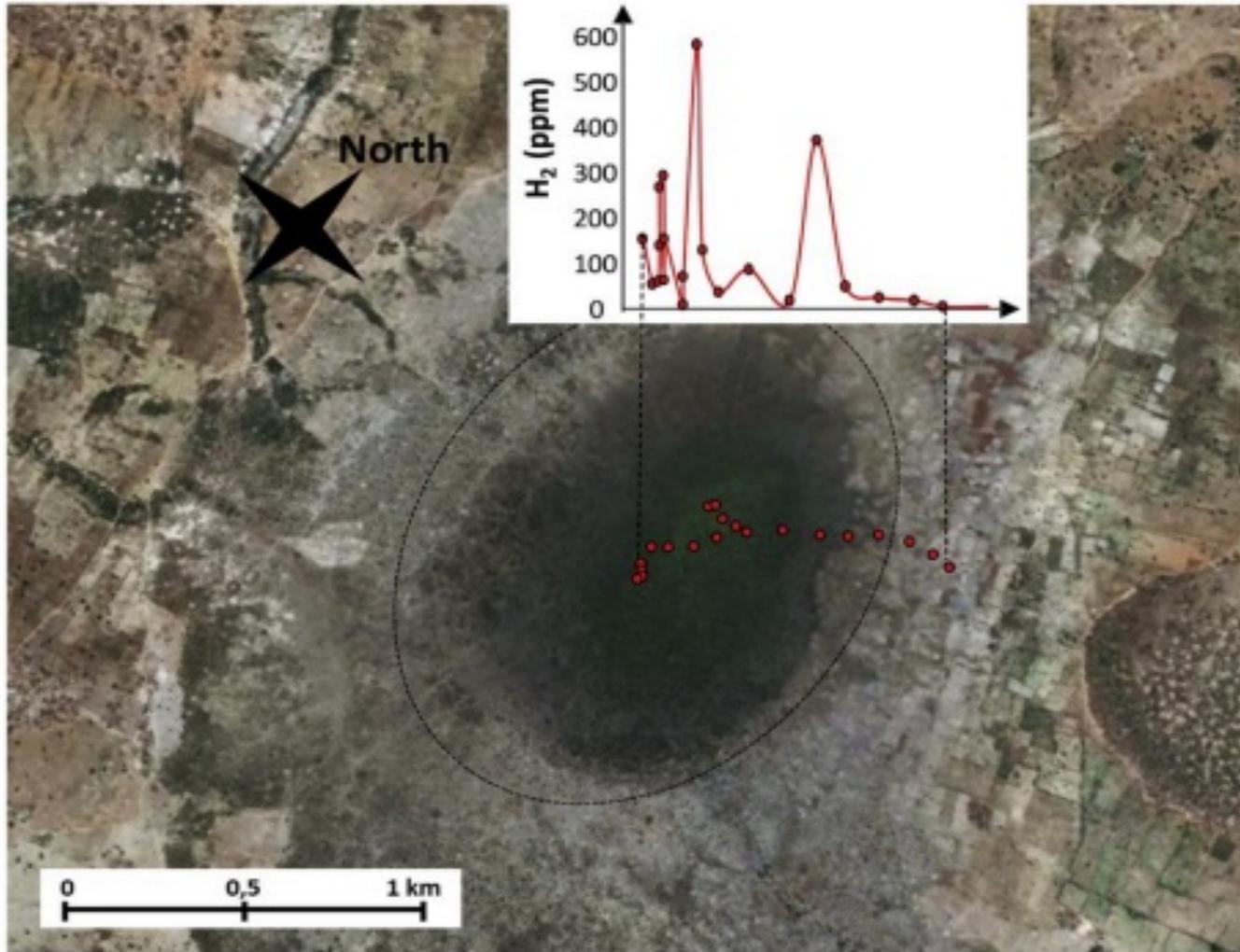
Morphologie d'un Rond.

Production H_2 27000m³/j/km²
ON EXPLIQUE LA DEPRESSION PAR
LA COMPENSATION DES VIDES DÛS A LA * H_2



vue satellitale, tracé (rouge) de la coupe du rond Podovoye et émanation H²

Rond de fée sur un champ H₂ au Mali



cercle de fée dans le bloc_25 dit Bougou Mali et indices de surface de H² ce qui implique que quelque soit son mode de production l'H² se marque par cette trace.

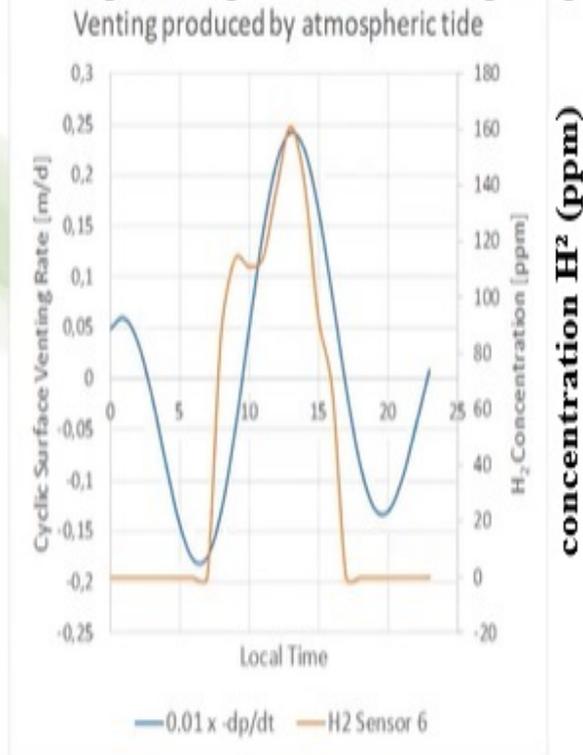
Flux H₂ des cercles de fée: des bouffées

plusieurs méthodes indépendantes permettent d'estimer le flux de génération d'hydrogène naturel dans les zones de systèmes hydrogène

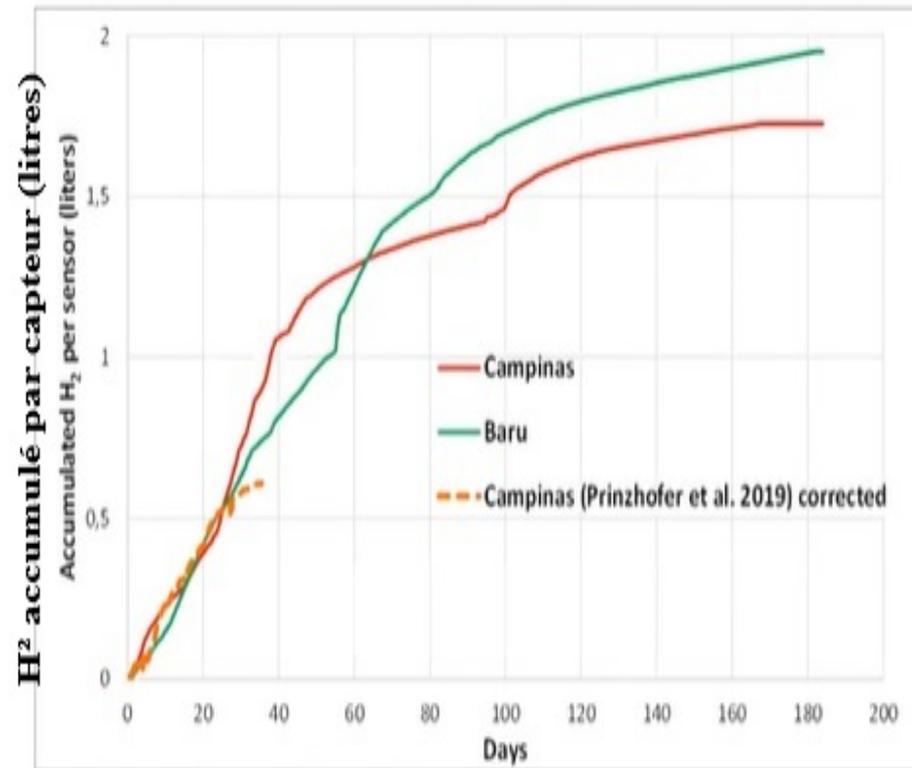
Several independent methods allow to estimate the generation flux of natural hydrogen in the areas of hydrogen systems:

évacuation produite par la marée atmosphérique

taux de ventilation cyclique de surface m/d

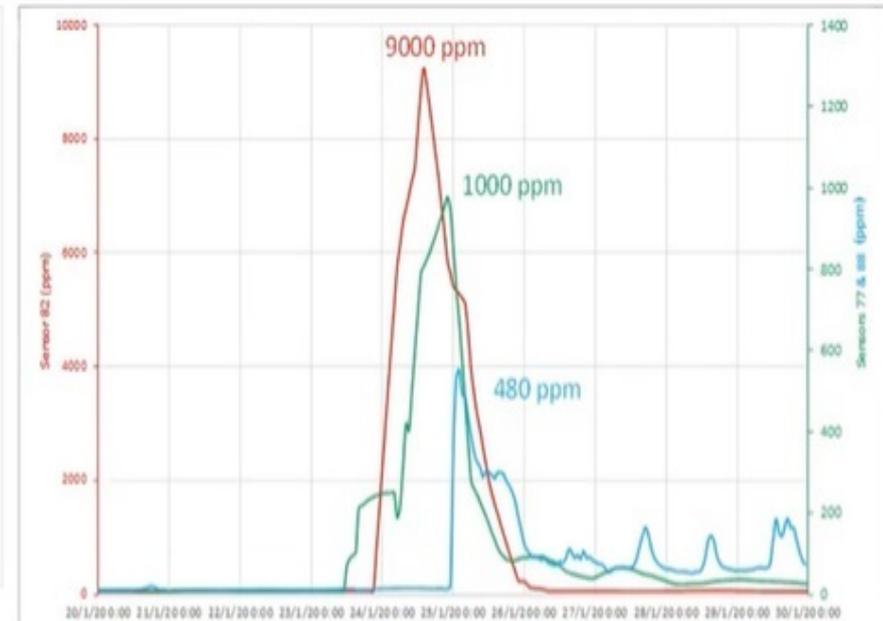
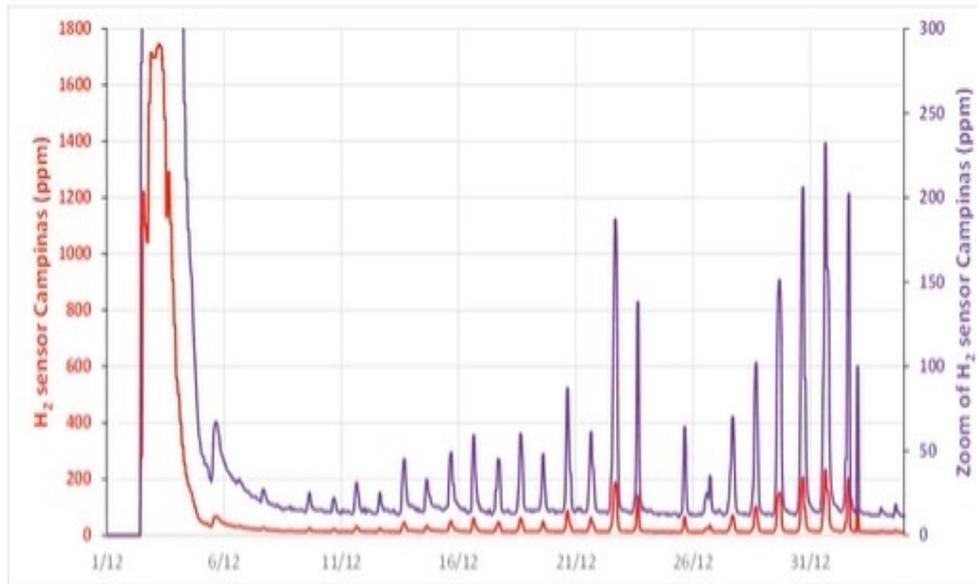


Un modèle reflétant la pulsation journalière de H₂ lors du suivi géochimique a été développé par Cathles & Prinzhofer (2020) et induit une condition limite pour le flux H₂ inférieur. La condition limite donne un H₂ de 0,05 à 1,2 m³/j.m²



L'intégration des quantités d'H₂ mesurées lors du monitoring permet de calculer directement un flux total émis pour une structure donnée "cercle de fée". Le flux associé est de 0,04 à 0,9 m³/j.m² (pour mémoire: 1 m³/j.m² = 100 tonnes de H₂/j/km²)

Anatomie d'une bouffée H₂

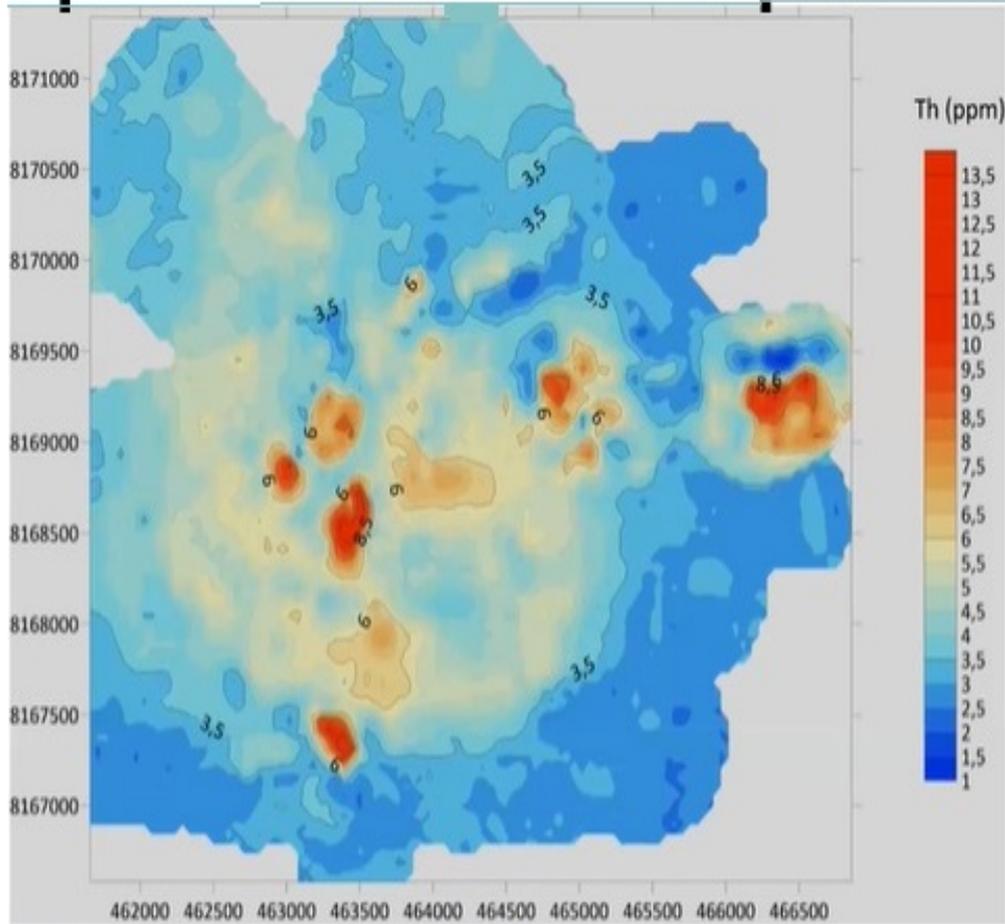


- Pulses importants d'H₂ en surface suivis par des oscillations d'émission quotidiennes.
- Propagation d'une bouffée importante d'H₂ avec le temps et la distance, associée à une diminution du signal liée à la dispersion et à l'altération biologique.

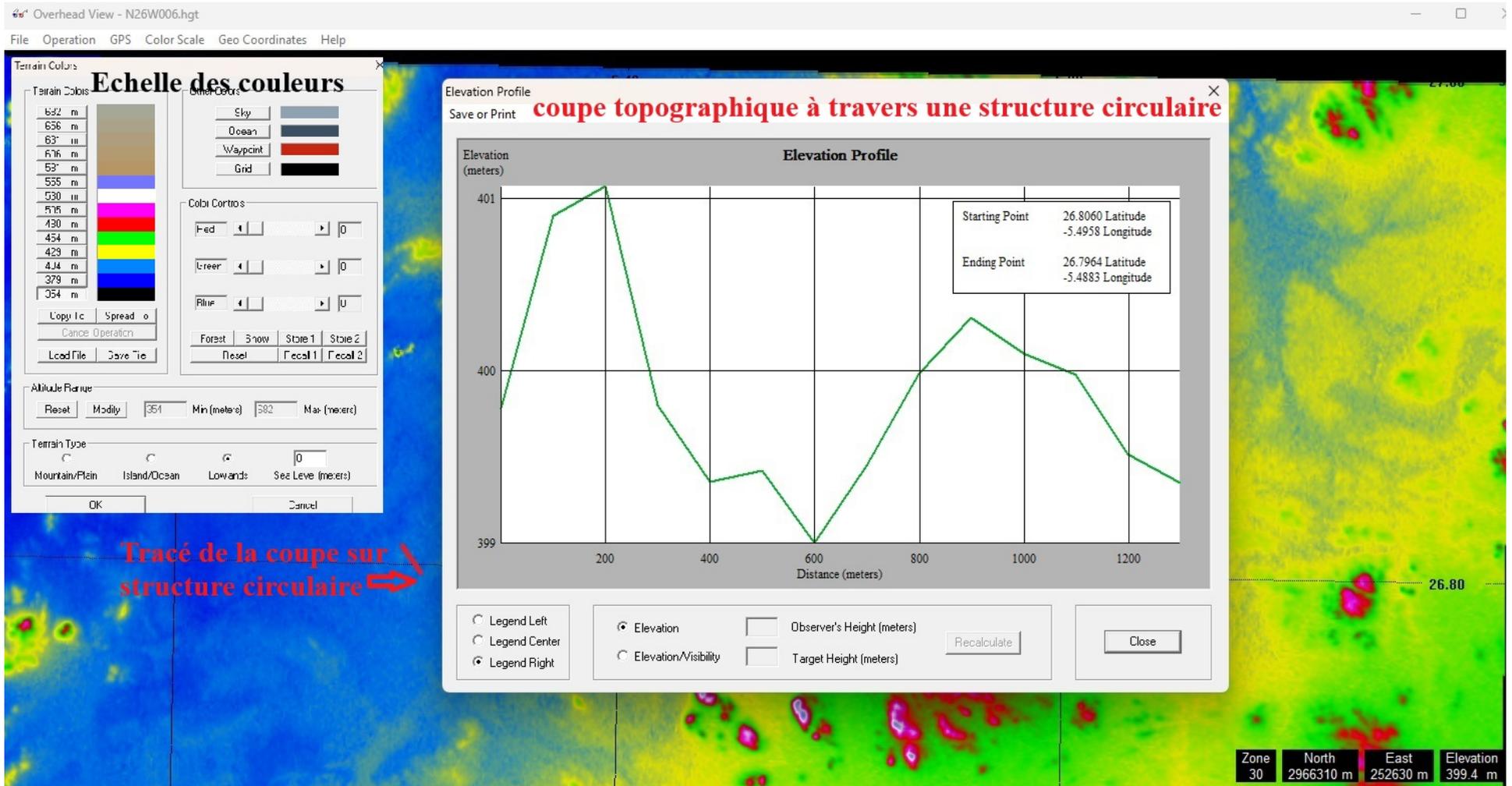
H₂ Exploration des cercles de fée de radiolyse

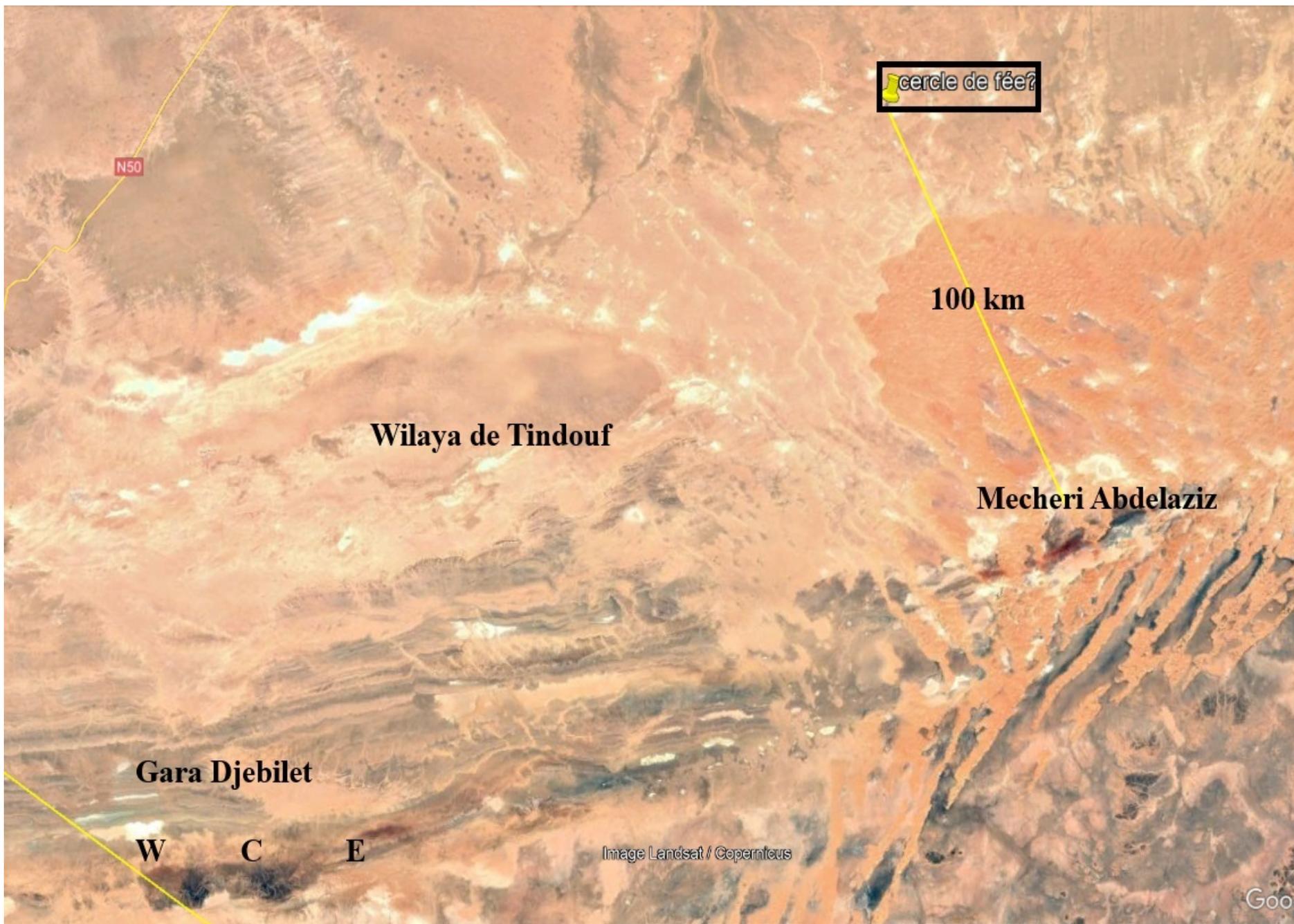
les éléments- fils (Radon etc) spectrométrie γ ,
plastique & papier sensibles (traces de fission)

Spectrométrie γ dans l'exploration H² des cercles de fées au Brésil

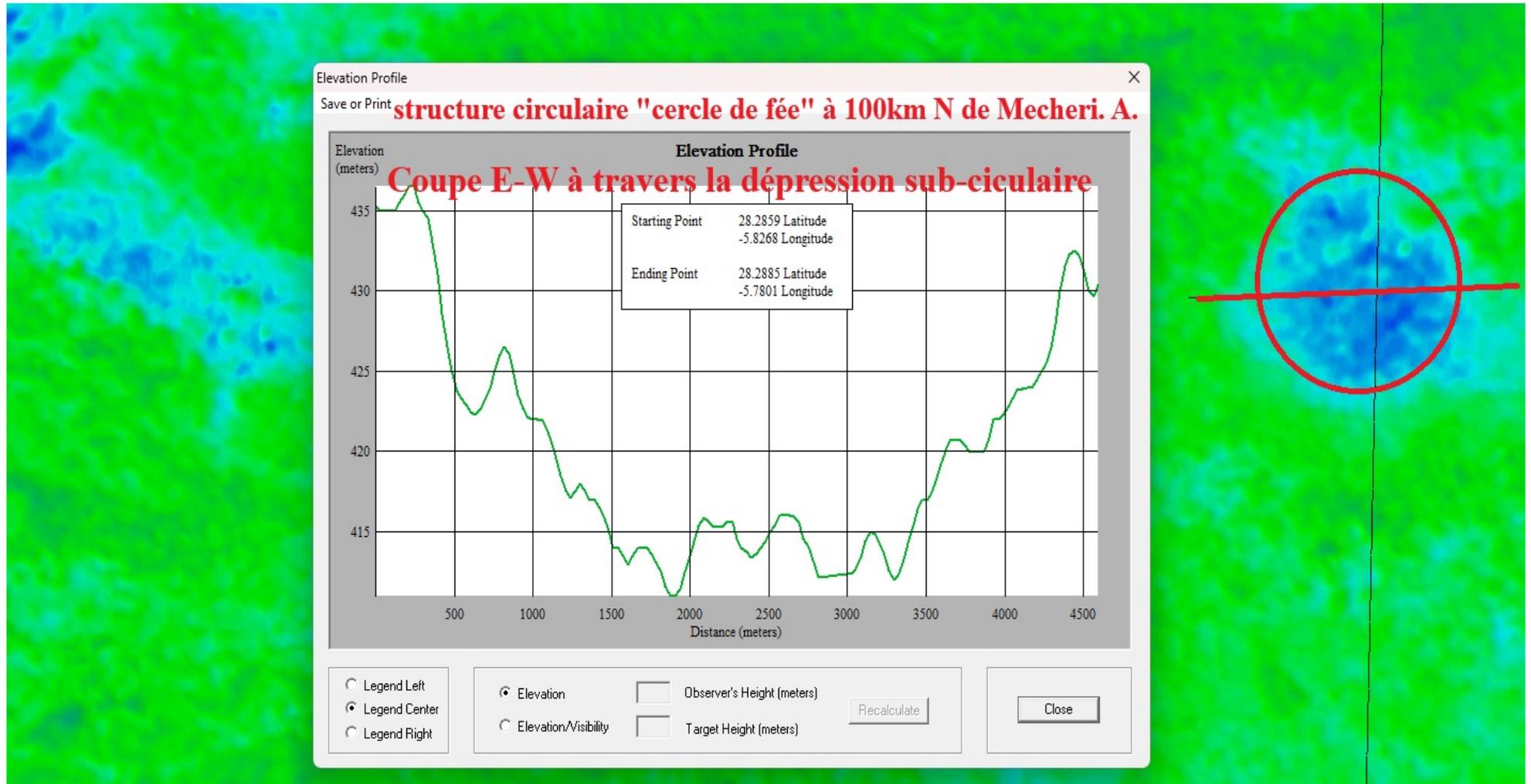


Localisation des « cercles de fée » dans le désert de Gara: Outil les MNT par Lidar





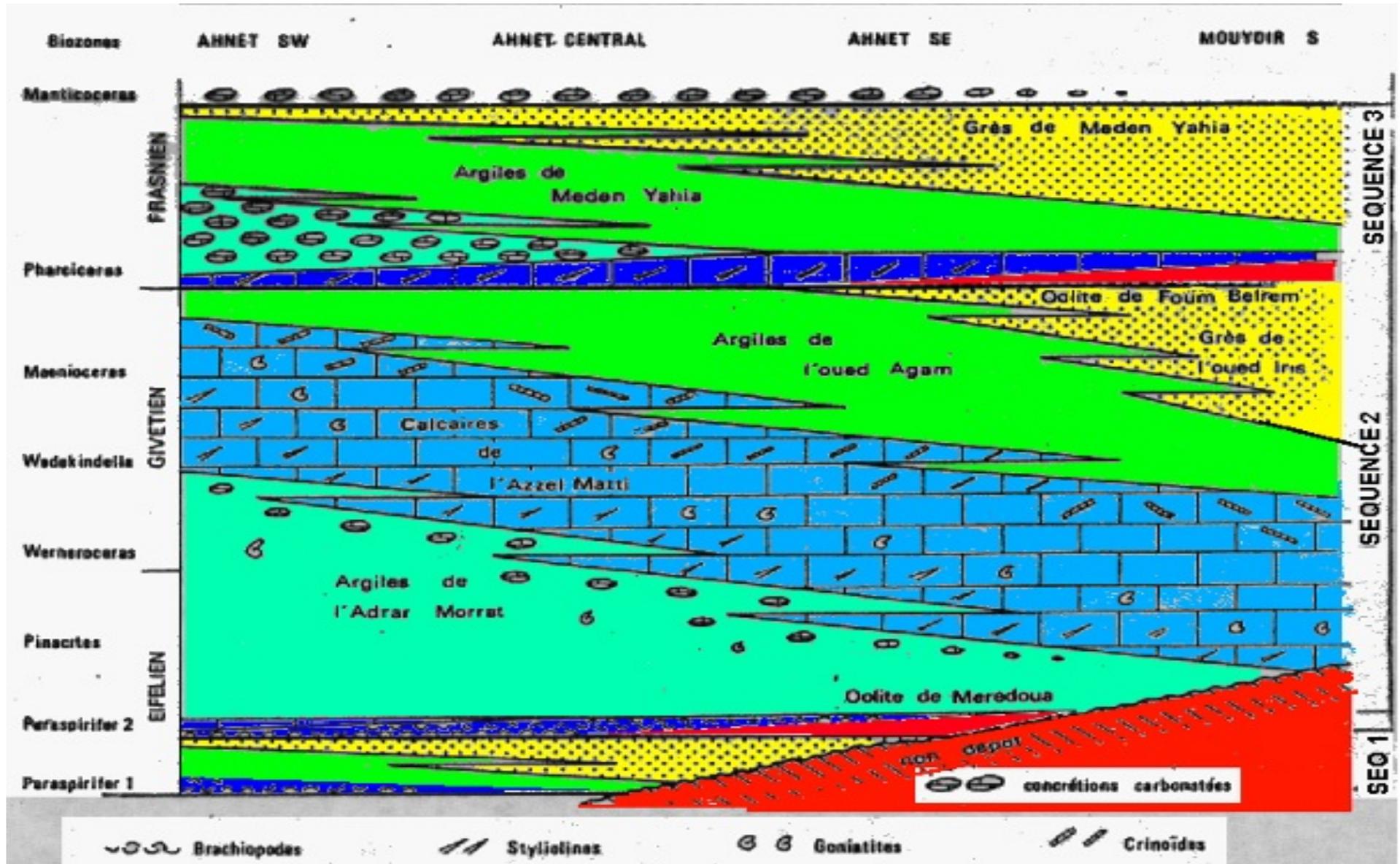
Structure circulaire au N. de Mécheri située à 100 km du gisement. Explications d29



Dépôt des gîtes ferrifères

Approche séquentielle et extension des gisements.

Ex. Dévonien Sahara



Origine des « cercles de fée »

- 1ère hypothèse: libération de H_2 des hydrures de Fe et Ni du noyau de la terre. Libération de l'énergie en zone D'' en hot-spots. Zones de quiétude magnétique
- 2ème hypothèse: déshydratation manteau supérieur dans la zone de genèse des diamants sous une lithosphère épaisse ~200km.
- 3ème hypothèse: radiolyse à partir d'horizon radioactif
- 4ème hypothèse: sidérolyse ou serpentinitisation. Les diapos 43-44-45 privilégient la solution sidérolyse. En effet, l'hématite du Tindouf est précédée par la sidérose (Didon, IRSID 1955). Conséquence, la localisation des gisements de fer de sidérolyse en profondeur est marquée en surface par la présence de «**cercles de fée**»

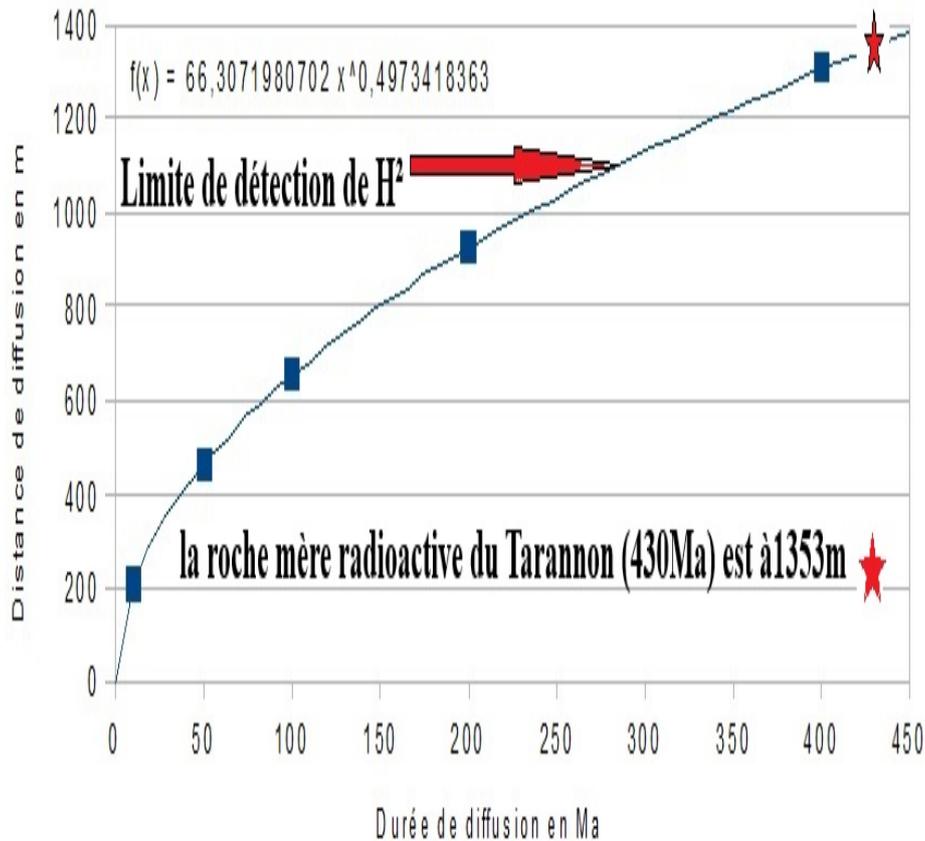
L'exploration gazométrique du H₂

La méthode gazométrique: elle est basée sur le principe dérivé de l'adage « pas de fumée sans feu » = pas d'anomalie sans gisement. SONATRACH-Explo avait une grande expertise durant la décennie 70. Plusieurs milliers de core-drills à 100-200m et des centaines de milliers d'échantillons prélevés et analysés au plan de la géochimie des gaz pétroliers. Les analyses ont porté sur les alcanes iso et n et les oléfines, du C1 au C6 ayant donné lieu à cartographie et interprétations éclairées. La doctrine gazométrique est exposée dans l'ouvrage de V. Sokolov (1974 édition MIR) et d'autres publications de TOTAL, de ELF etc...

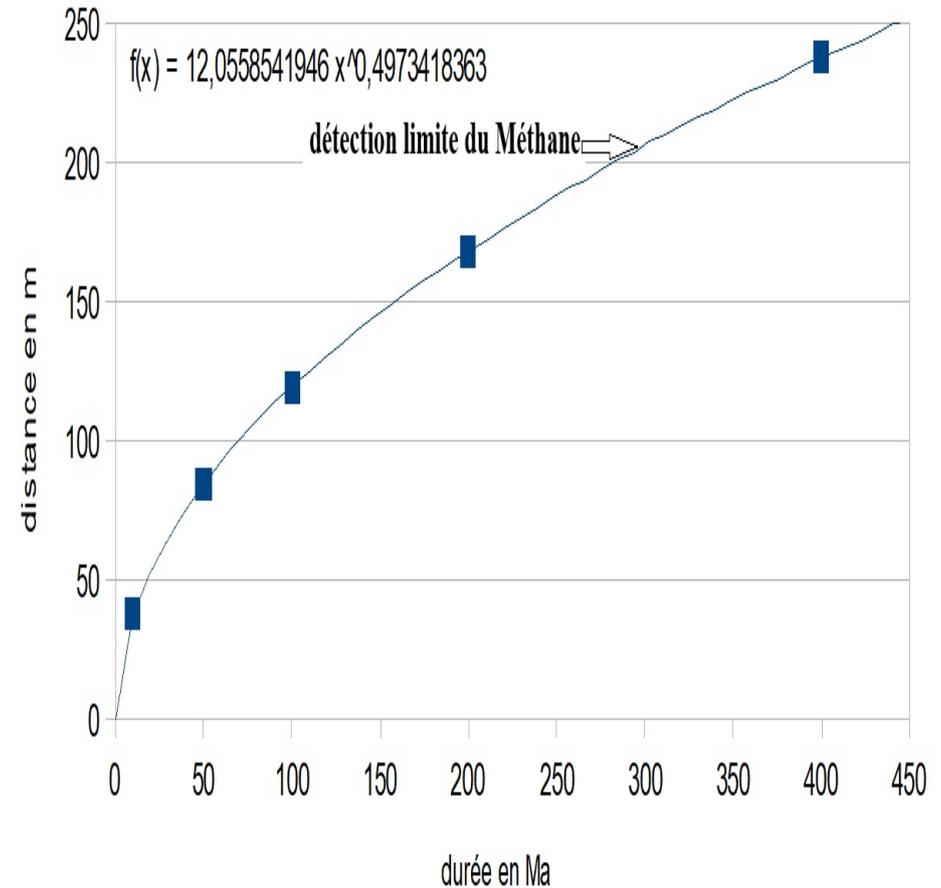
Pour des raisons évidentes (très petites molécules) les lois physiques (diffusion par ex) qui s'appliquent au CH₄ le font de même pour H₂. Les équipements sont identiques et on profite actuellement de prix très attractifs pour les détecteurs H₂, Le détecteur de conductivité thermique (TCD) est une technique utilisée pour analyser les gaz inorganiques et les petites molécules d'hydrocarbures prix de ~1000\$

Lois physiques: analogues pour CH4 et H₂

H₂ diffusion K^{10⁻⁹} facteur 5,5 (414/74,2)



CH₄ courbe de diffusion distance/durée K=10⁻⁹



H₂. La serpentinisation du Trias saharien

- Les limites des grands blocs de la pangée varisque subissent des mouvements par effet cocotte minute et amorcent la séparation du gondwana et laurentia. Les fentes qui s'ouvrent font s'échapper quantités de laves basaltiques le long de ces limites.
- En vertu de la Loi de Goldschmidt les olivines (SiO₄ Fe Mg) deviennent instables et la variété ferreuse délivre H₂ suivant:



Dans ces roches, Mg₂SiO₄ est à 80%, Fe₂SiO₄ 20%.

Le total olivine dans la roche étant de 10 à 25%.

- La connaissance de la chimie des β, leur épaisseur et extension horizontal permet d'évaluer à la fois les quantités d'H₂ produites et à produire dans les spillites

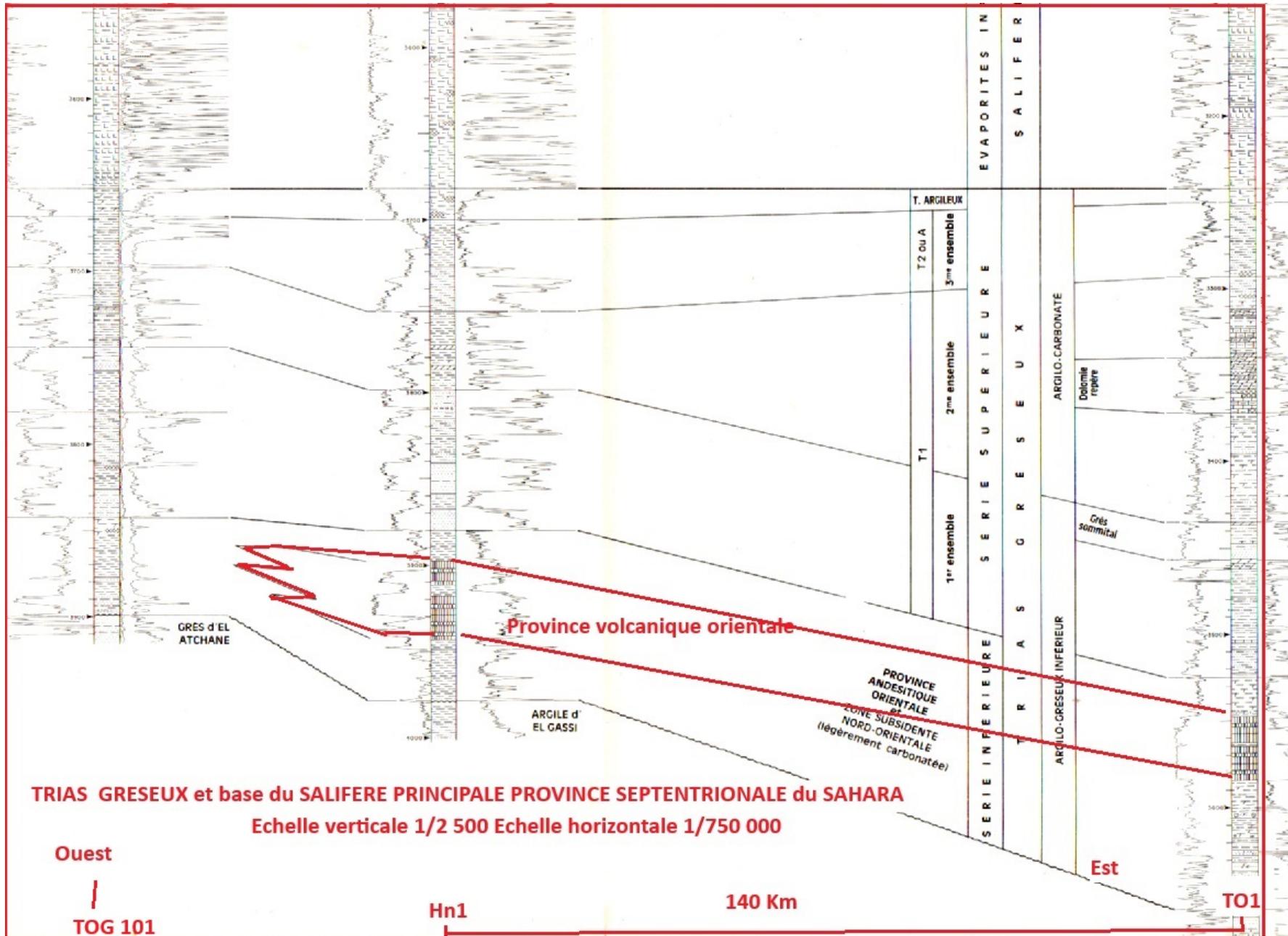
Chimie des laves basaltiques sahariennes

En gras les oxydes ferriques et ferreux ayant produit¹ H₂ ou en cours²

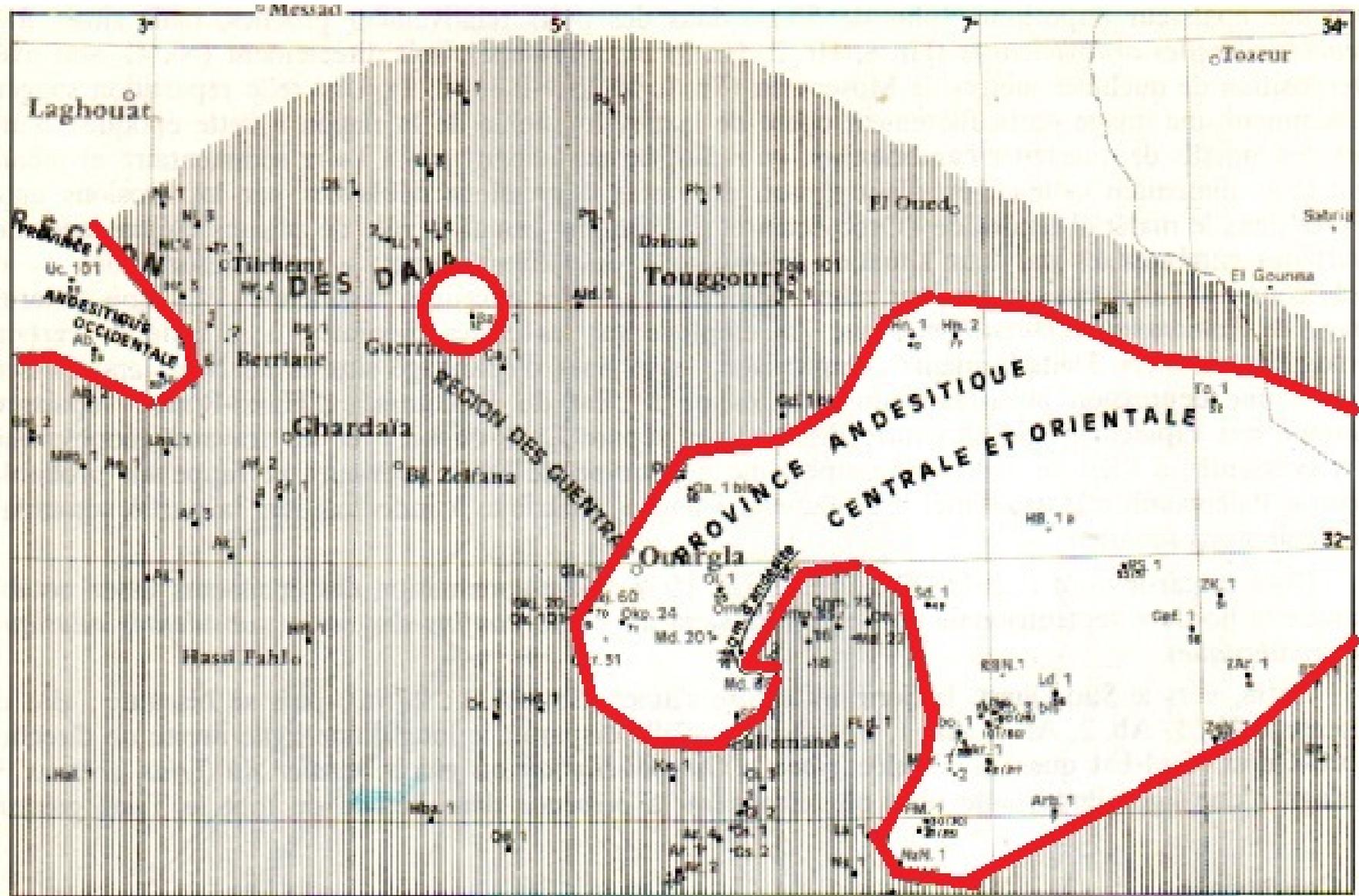
	GER car 7 éch. 9	OTR car 7 éch.2	OTR car 7 éch.3	OTR car 7 éch. 4	ZM car 13 éch.3	ZM car 13 éch.6
--	---------------------	--------------------	--------------------	---------------------	--------------------	--------------------

SiO ₂	42,82	53,51	55,17	41,35	43,56	43,08
Al ₂ O ₃	20,04	16,19	55,17	16,4	14,32	14,59
Fe₂O₃	7,42	1,14	1,71	2,34	3,07	2,47
FeO	2,13	1,67	1,15	12,73	7,13	6,95
MgO	0,60	0,50	0,50	3,43	4,99	4,62
CaO	0,84	10,27	10,23	6,73	4,85	4,08
Na ₂ O	0,52	3,5	3,4	3,3	1,64	1,46
K ₂ O	2,44	1,62	2,34	1,4	2,24	2,24
TiO ₂	0,73	1,72	1,87	2	1,72	1,87
H ₂ O+	21,63	9,69	7,96	10,33	16,18	17,22
TOTAL	99,17	99,81	99,89	100,01	99,7	98,58

Coupe à travers les laves β du Trias



Extension des champs basaltiques du Sahara



— Carte au 4 000 000^e indiquant la répartition des roches d'épanchement (diabase, spilites, « andésites » auctorum) dans les Provinces septentrionale et centrale. Les zones tramées ne comporteraient pas d'andésite : les points de contrôle (forages ayant vérifié l'absence d'andésite) sont indiqués par des points.

Serpentinisation, l'exemple malien

L'exemple du Mali : première exploration volontaire de l'H₂ naturel

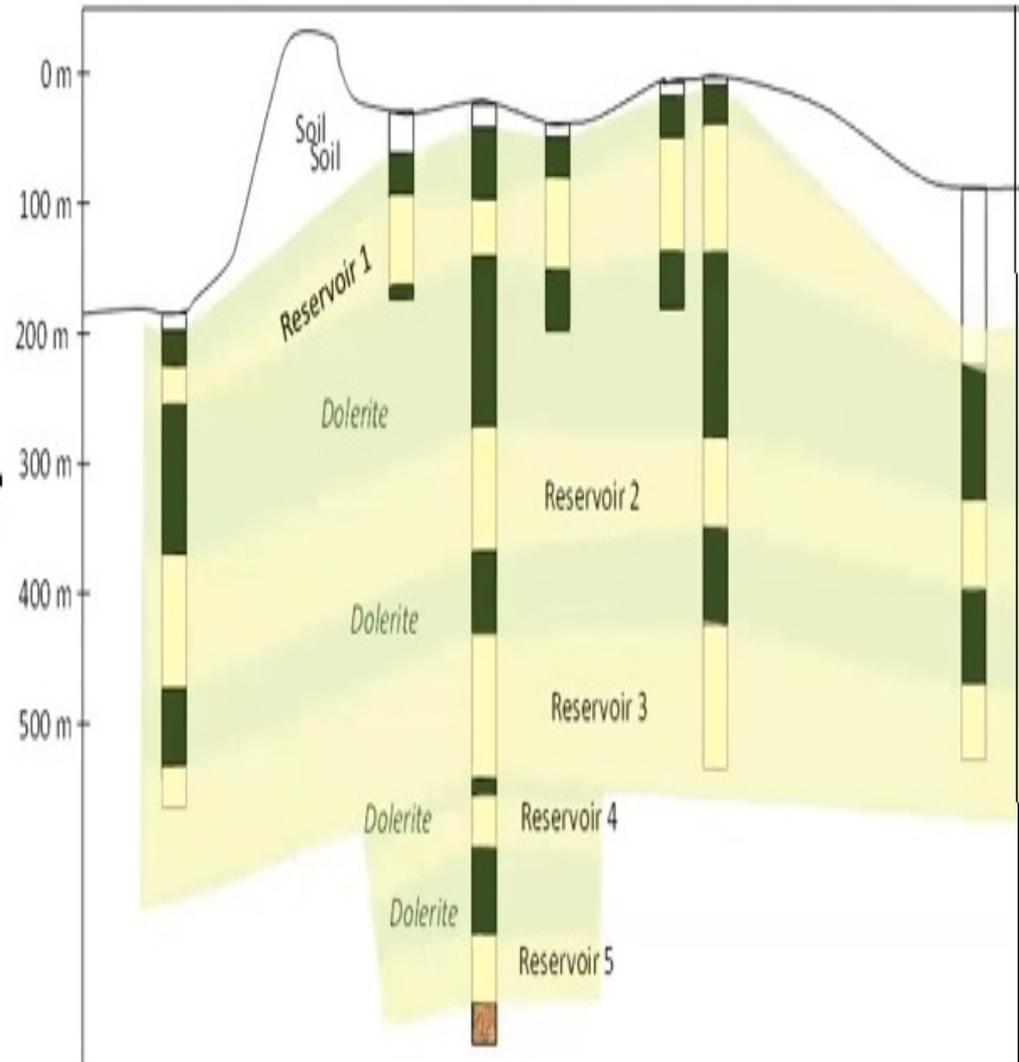
5 réservoirs, avec 98% H₂, 1% CH₄ et 1% N₂

Profondeur entre 30m et 1500m

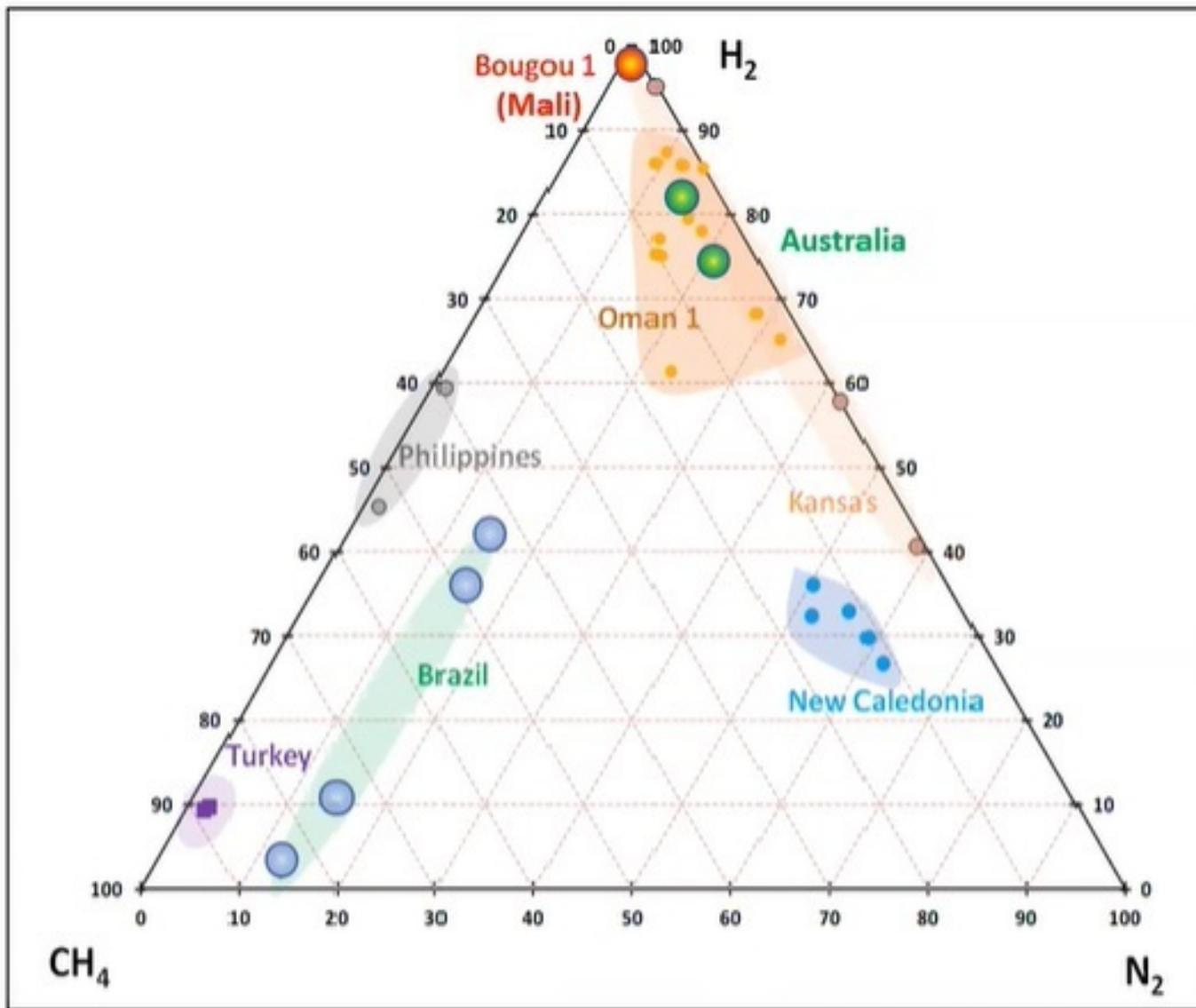
Puit pionnier en 1987 à 110m de profondeur

24 nouveaux forages d'HYDROMA avec des découvertes d'H₂ dans chacun d'entre eux

Production pilote d'électricité à partir d'H₂



Les gaz associés à H₂



Les trois gaz principaux associés sont, à part l'hydrogène (H₂), le méthane (CH₄) et l'azote (N₂)
 domaine continental. l'hélium peut atteindre des concentrations aussi hautes que 2-3%.

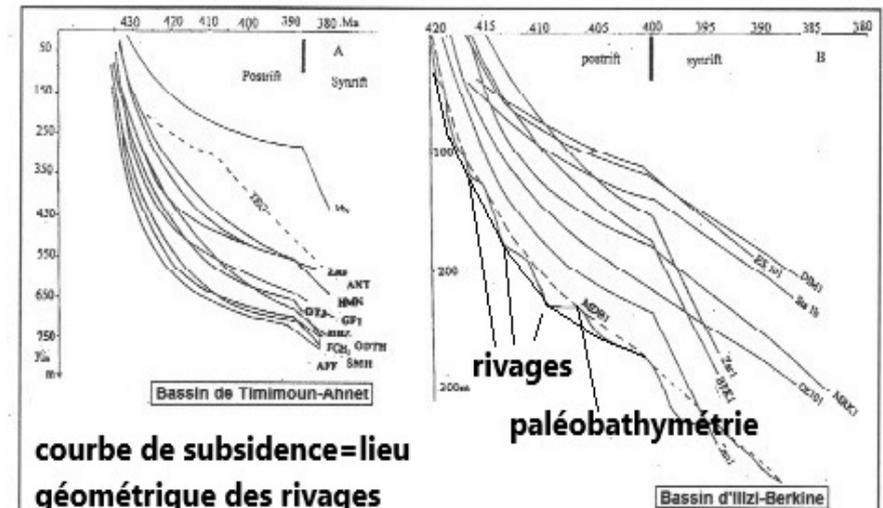
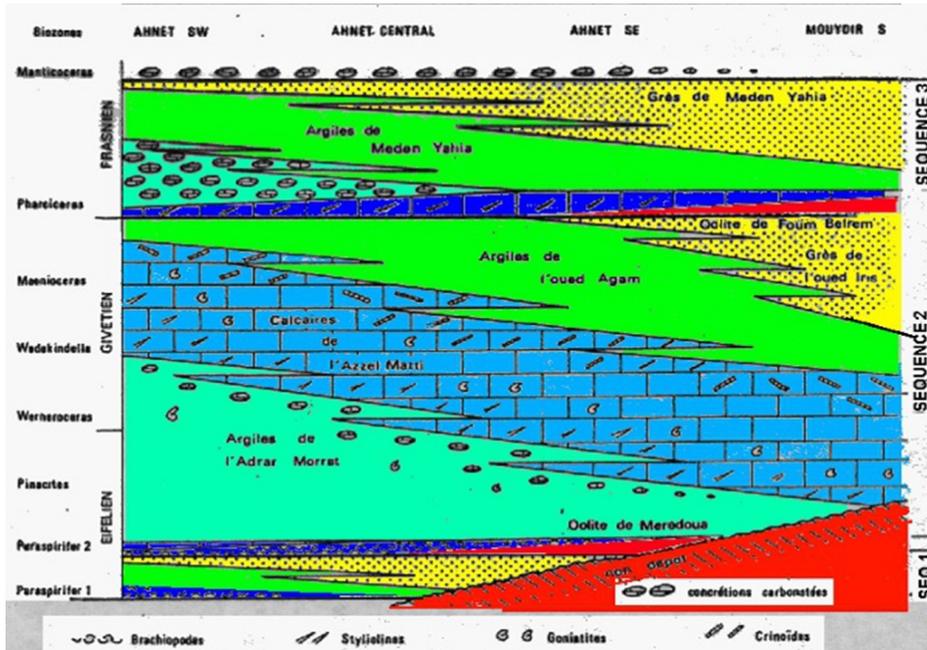
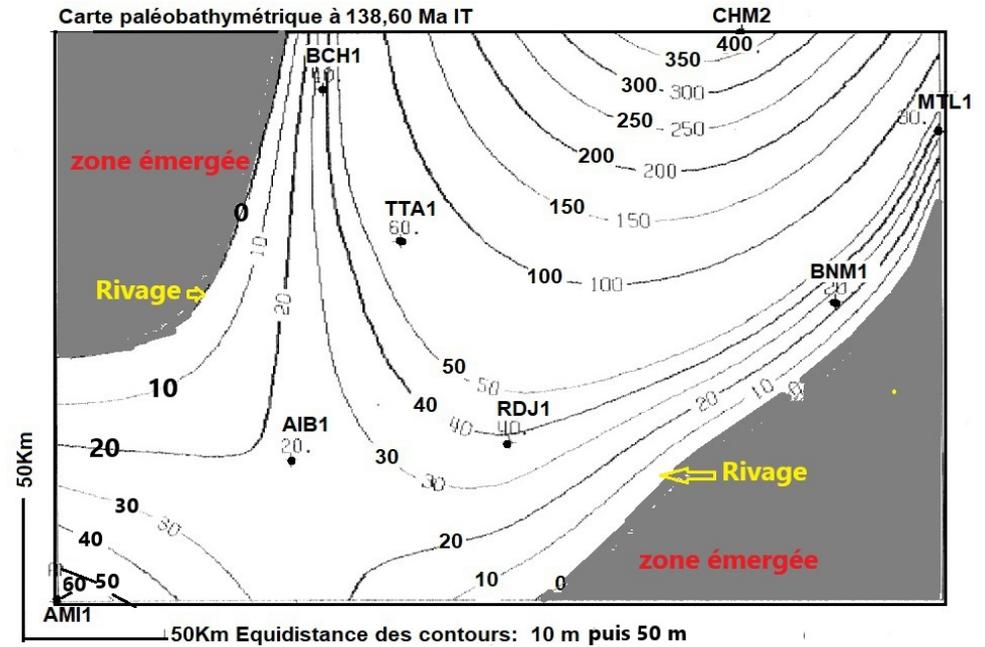
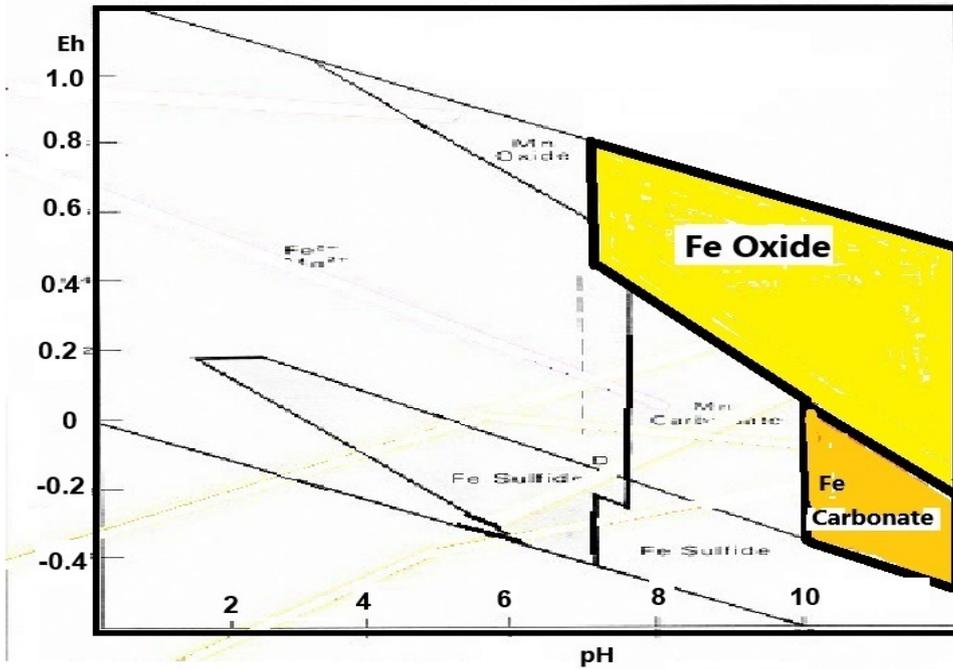
Contexte régional

- D'après les données exposées ci-dessus et un Fe_2O_3 moyen de 3%, il vient une masse oxyde de 315Gt et un rapport $\text{Fe}^{3+}/\text{H}_2 = 80$ soit une masse H_2 de **3,94Gt**.
- L'eau nécessaire à la réaction **est largement** disponible grâce en particulier à la compaction des espaces argileux dans lesquelles les laves sont interstratifiés.
- L'espace poreux capable de recevoir les volumes H_2 est disponible dans les espaces altérés du basalte et les arénites sous jacentes du Trias inférieur.
- Enfin, c'est une couverture salifère rêvée qui couvre cet ensemble.

L'H₂ sidéritique: Les prospects algériens

- 1) Le CO₃Fe dissocie l'eau pour s'oxyder libérant ainsi H₂, suivant $3\text{FeCO}_3(\text{sidérite}) + \text{H}_2\text{O} = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 3\text{CO}_2 + \text{H}_2$
- 2) Preuves de labo sur Gara: IRSID 1955 Preuves de terrain Ouenza: Dubourdieu 1956
- 3) Sédimentologie: dépôt d'amont IT-rivage
- 4) Physico-Chimie: conditions Eh/pH
- 5) Cinétique chimique: de l'ordre des 7 à 30j
- 6) Géodynamique/subsidence: lieu géométrique
- 7) Eustatisme: périodes & cycles favorables
- 8) Flux hydrodynamiques et surface Σ
- 9) Stratégie d'exploration : les méthodes
- 10) Les évaluations des potentiels H₂

Paramètres de la sidérolyse



courbe de subsidence = lieu géométrique des rivages

H² est incompatible dans les bassins pétrolières ex. Illizi Berkine mais est possible dans les bassins gaziers (ex. Timimoun-Ahnet)

Les prospects sidéritiques : localisation

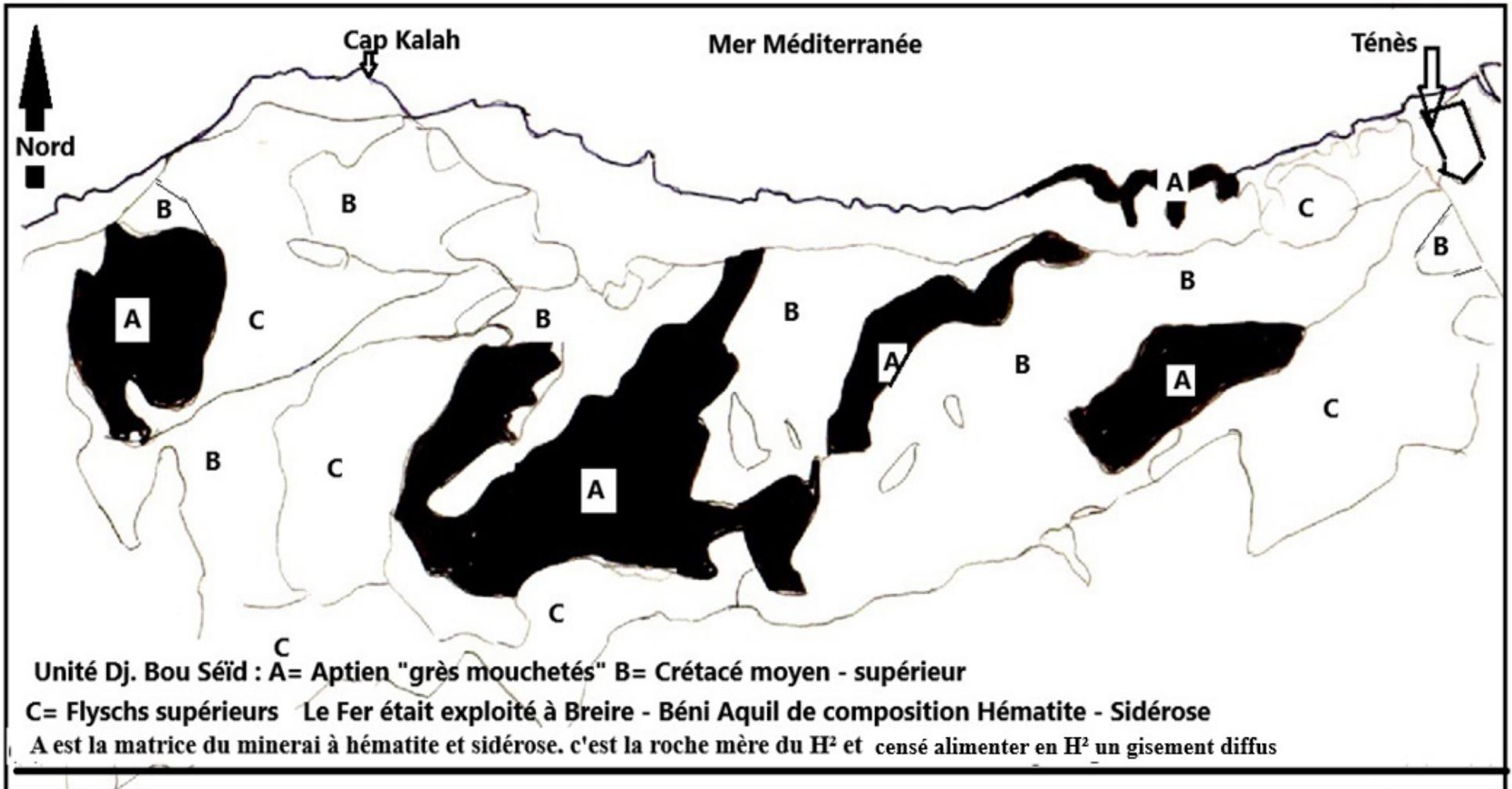
- Province ferrifère qui a une histoire sidéritique.
- Algérie du Nord:-Dahra nappé, aptien Dj.BouSeid -S.E.Constantinois. Aptien. Sidérite et hématite. Etc
- Sahara. Ordovicien à Dévonien, >24,5Gt exposés. IRSID (1955) étape sidéritique puis étape oxydée.
- Socles touareg-réguibate: archéen-PK inférieur BIF Toutefois ce ne sont qu'hypothèses même si parfois sollicitées.
- Principales méthodes de prospection: Télédétection Lidar, gazométrie H₂, certaines méthodes géophysiques selon les cas, compléments de cartographie géologique du Dahra oriental.



L'éruption du puits géochimique privilégie l'hypothèse H² pyrite qui coproduit
 1.24 L/LΦ de H² et 0.330 de CO² grâce à H²SO₄ produit et CO₃Ca omniprésent.

$$\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$

- Aptien récifal sidéritique
- DEF1 Albien-Eocrétacé marnocalcaire pyriteux monotone sur les 2499m
- Puits géochimique éruptif début 1977 D1/EXP/SH hypothèse: excès CO₂ ?
- Les analyses réfutent ceci car le CO₂ est dans un rapport 330/880=0,37 très sous-saturée.
- L'autre hypothèse est que le gaz de sursatura^x est autre que CO₂, N, (H₂?)



H₂ sidérololyse au Sahara

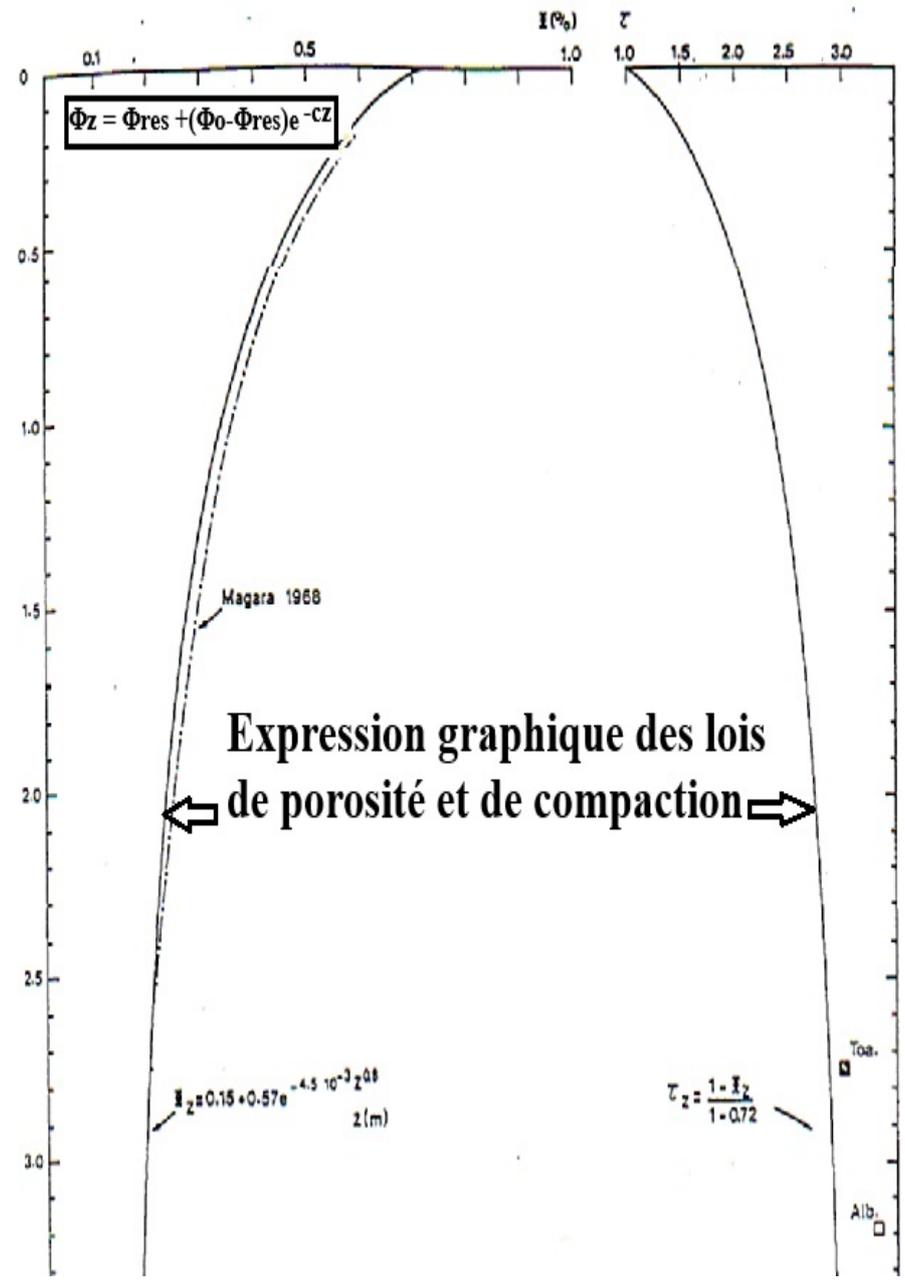
PERIODE	EPOQUE	AGE ABSOLU	NIVEAUX DE MINERAI DE FER OOLITHIQUES				
			TINDOUF	OUGARTA	AHNET P.1.	TASSILIS-ILLIZI	
DEVONNIEN	FAMENNIEN	360					
	FRASNIEN						
	GIVETIEN						
	EIFELIEN						
	EMSIEN						
	PRAGUIEN						
	LOCHKOVIIEN						
SILURIEN	PRIDOLI	400					
	LUDLOW						
	WENLOCK						
	LLANDOVERY						
ORDOVICIEN	ASHGILL	425					
	CARADOC						
	LLANDEILO		450				
	LLANVIRN		460				
	ARENIG						
	TREMADOC		485				
			495				

Pyrite-Marcassite et H₂

$2\text{FeS}_2 + 19\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 15\text{H}_2 + 4\text{H}_2\text{SO}_4$ c'est la réaction la plus fertile en H² : 15H² pour 2FeS₂ mais c'est une réaction de surface qui cause des dommages structurels rapidement si le béton utilise des granulats pyriteux. Preuve géologique: Elle est à l'origine des cuirasses de fer titanifère holocènes de l'Ahnet (voir ci-dessous) installées sur le Tarannon pyriteux. Une exploitation aménagée est possible.

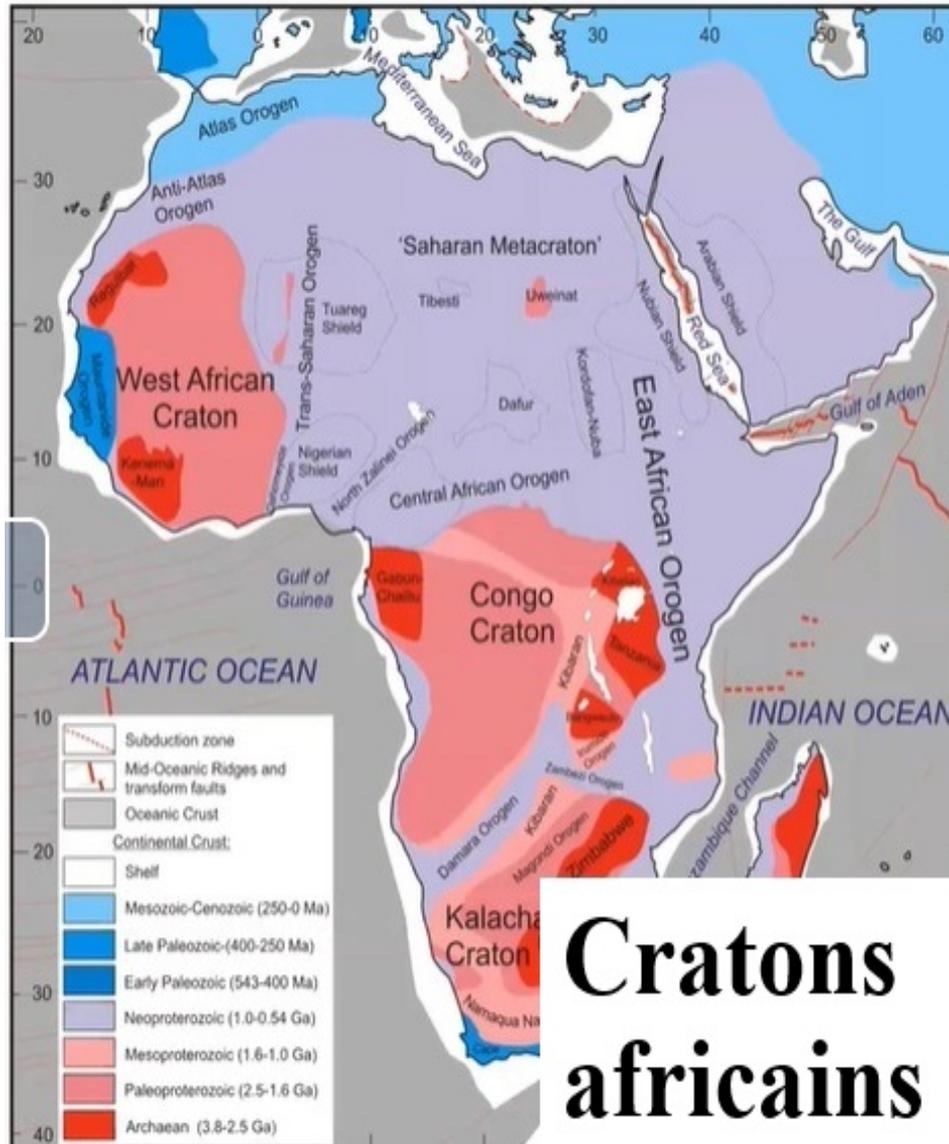
N° éch.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Mn ₃ O ₄	TiO ₂	PAF	Σ%
1753	19,1	4,65	0,23	0,82	66,5	0,065	0,60	8,8	100,8
1754	25,1	4,33	0,20	0,57	60,8	0,043	5,8	5,8	97,4

L'eau, paramètre essentiel de l'équation H₂

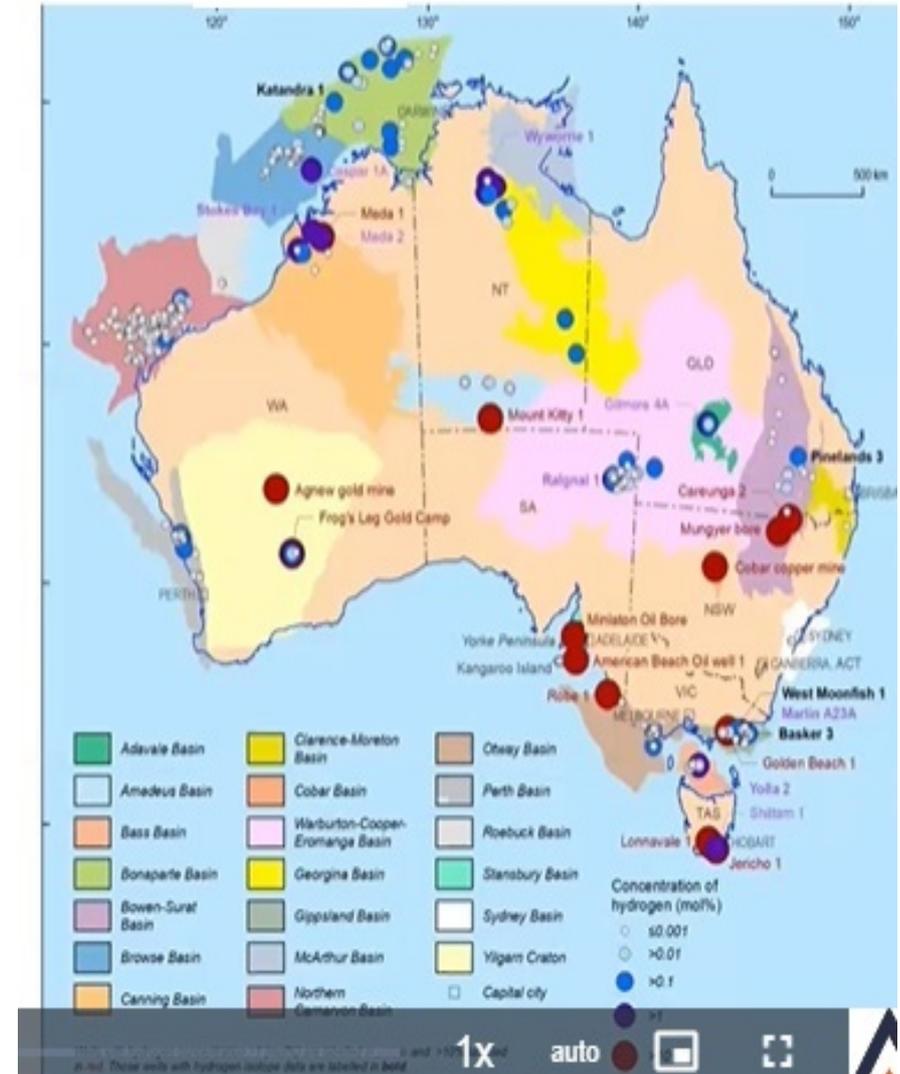


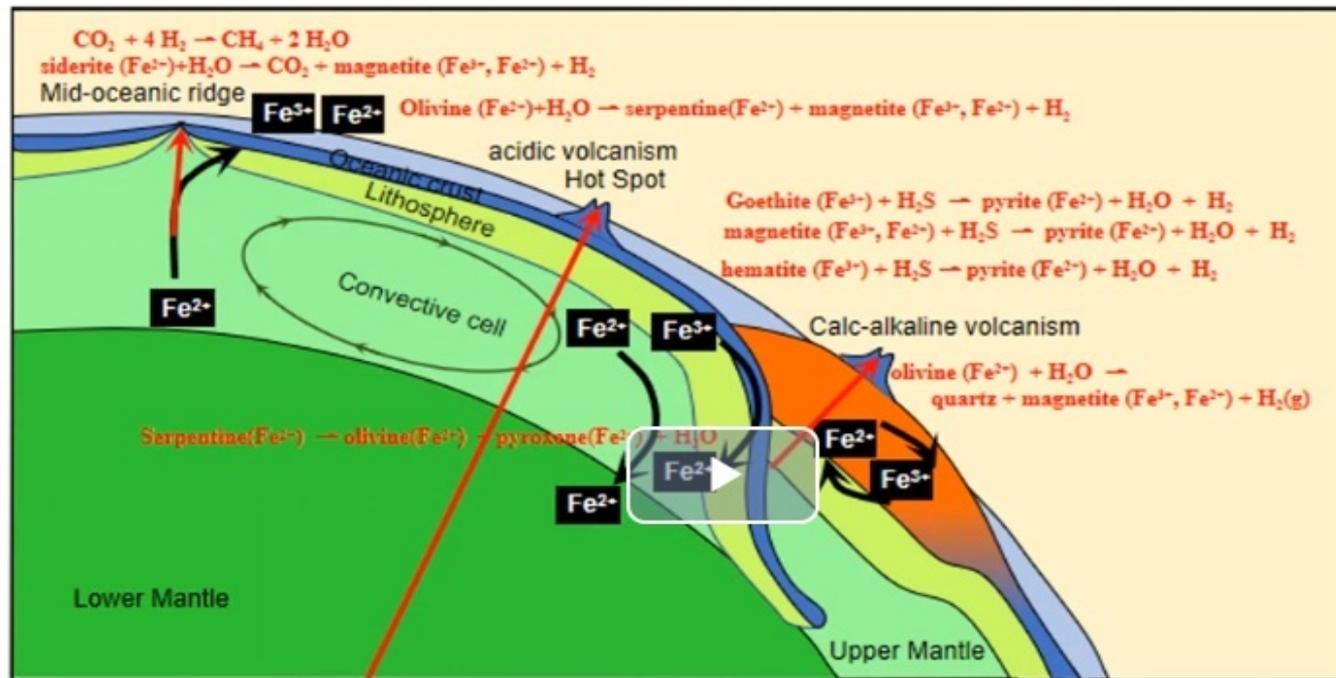
- Sans H₂O pas de H₂ blanc
- Elle est disponible sous forme d'aquifère souterrain ou stockée, connée. Son expulsion obéit à l'équation $\Phi_z = \Phi_{res} + (\Phi_0 - \Phi_{res})e^{-cz}$ Il est dès lors possible de calculer les volumes d'eau expulsés à tout moment en vue transformations chimiques. Sachant qu'un Km³ de sédiment argileux frais est constitué aux ³/₄ d'eau et ¹/₄ de matière minérale.

H₂ les grands espaces à explorer



Champs Indices d'hydrogène en Australie





In conclusion, adding to the well-studied iron oxidation the role of sulfur (and ammonium, out of the scope of this presentation) allows to consider geochemical cycles including H_2 generation in both continental and oceanic environments

Iron and sulfur present geochemical cycles which may be identified, giving the opportunity of a better

En conclusion, l'ajout du rôle du soufre (et de l'ammonium, hors du cadre de cette présentation), à l'oxydation du fer, déjà bien étudiée, permet d'envisager les cycles géochimiques, notamment la génération d'hydrogène, en milieu continental et océanique. Le fer et le soufre présentent des cycles géochimiques qui pourraient être identifiés, offrant ainsi la possibilité d'une meilleure compréhension.

Tableau synoptique des prospects en hydrogène blanc d'Algérie

prospect	réaction	Type gisement	Région	Potentiel H ²
Cercles de fées**	Déshydratation	Diffus	Craton W africain	27000m³/j /c
PyriteMar cassite*	Chimique	Diffus, ex-situ	Sahara & Tell	156,4Gt /505500k
Sylvinite	Radiolyse K⁴⁰	Concentré	Sahara à Sylvinite	Dérisoire
Placers M_x lourds	Radiolyse U²³⁸ Th²³²	Diffus	Ougarta	Défavorable sauf
<u>Uranium Tarannon</u>	Radiolyse U²³⁸	Diffus:505500km²	Sahara W Sahara	4,07Gt 0,24Gt
Serpentini sation	Altération olivine	Concentré	Sahara oriental	3,94 Gt
<u>Sidéritique</u>	Oxydation sidérose	Diffus. Concentré	SaharaW Algérie Nord	>0,21Gt→ 2,3Tm³ non évalué

Conclusions générales

L'exposé porte sur:-les types d'H₂ blanc présents en Algérie.

1- Cercles de fée → considérés comme marqueurs de diasmigration .

2- Serpentinisation → Sahara central et ouest dans basaltes triasiques

3- Sidéritique → Callovien, Aptien d'Algérie N, Paléozoïque Sahara.

4- Radiolyse U → Tarannon, Frasnien du Paléozoïque du Sahara

5- Radiolyse Th → Ashghillien du golfe ougartien

6- Radiolyse K → Salifère Keuper du Sahara : H₂ et Ar négligeables

• **(A) (Outils prospection), (B) Méthodes et (C) Concepts .**

• **(A) géophysique? Gazométrie, subsidence, bathymétrie, Lidar..**

• **(B) (Méthodes d'exploration) Strati.-séqu. Paléogéographie,**

• **(C) Approche déterministe, lois de diffusion H₂ ($y=AVt$), loi de saturation H₂ Prof = $475 \cdot \%Sat^{0,33}$, rapports H₂/He=52, et CH₄/H₂ = 502, calculs coproduction He/U/t. Purge de H₂ du fait des phases tectoniques précoces ou paroxysmales ou tardives**