

# Fieldbook

Observatoire de la  
zone critique de  
Ploemeur-Guidel





# Enjeux de territoire

« Physiquement, l'**eau salée** pénètre dans les continents. Partout sous les continents il y a de l'eau salée en profondeur. Car la mer est là depuis longtemps, il y a eu des variations de niveau. Cette ligne est une **ligne d'équilibre** entre le poids de l'eau douce et le poids de l'eau de mer. Dans certaines zones il y a des questions de complexités géologiques, des couches différentes, ou bien le pompage. Car **quand on pompe dans l'eau douce, le niveau d'eau douce baisse, et par la pression cela fait remonter l'eau salée**. A Plomeur il y a une eau qui ne se sale pas car il y a un granit qui fait barrière étanche mais à Guidel, on ne sait pas si ce serait comme ça car il y a du micaschiste. »

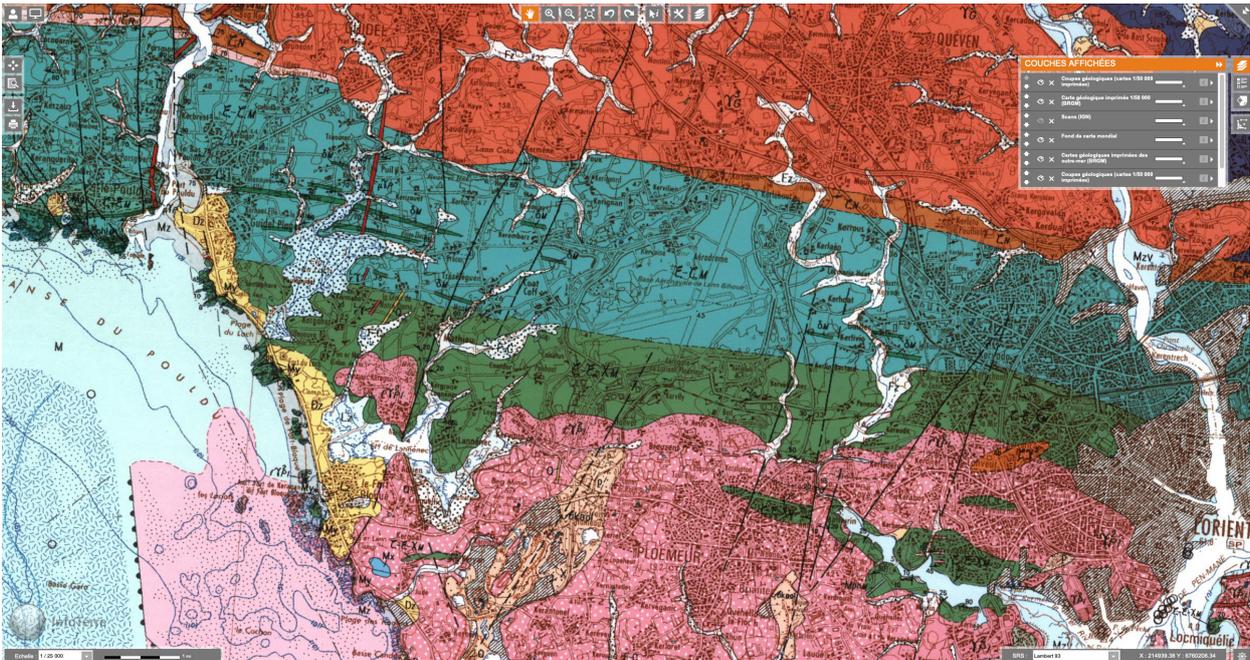
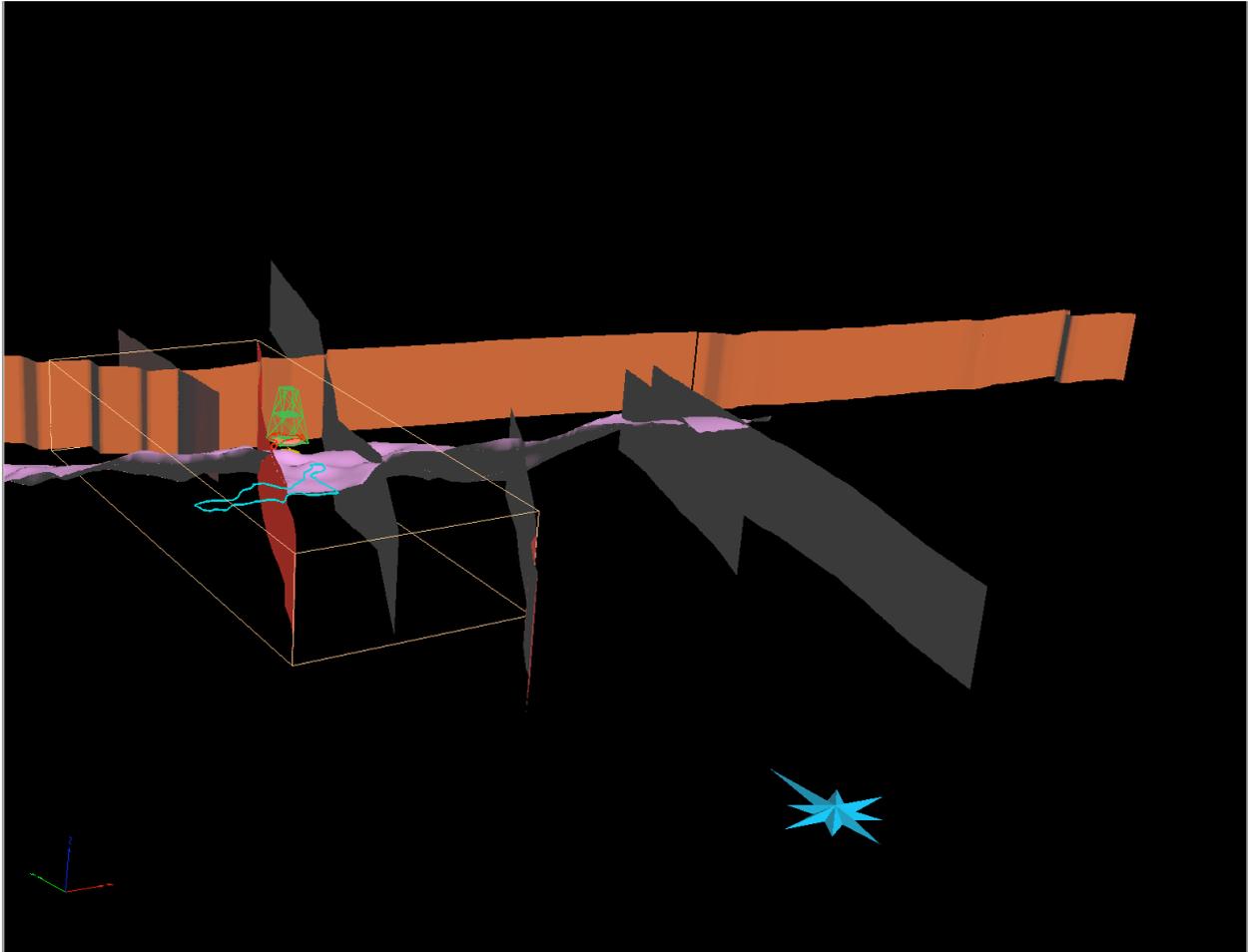
— Laurent Longuevergne

« C'est la quantité d'eau qui pénètre dans le sol qui va définir la forme du niveau de la nappe. S'il pleut plus, on va se rapprocher de la surface. Il y a une question climatique, mais il y a aussi une question d'**imperméabilisation des sols**. Car si la surface est imperméabilisée, il y aura moins de recharge, et cela va favoriser le risque que l'eau salée pénètre plus en surface. Si on veut créer une spécificité de Ploemeur, ce serait celle-là : l'eau salée du fait de l'interface surface-profondeur. »

— Laurent Longuevergne

« Pour créer des **kaolins**, il faut des conditions particulières, il faut pouvoir évacuer rapidement les minéraux pour qu'il ne reste plus que les argiles, et donc il faut des fractures souterraines. L'orientation de la carrière a la même orientation que la fracture principale. **Les fractures ont permis l'évacuation des produits d'altération du granit**. Ils (la mine) sont en train d'exploiter une faille. Ils exploitent sous le niveau de la mer qui fait rentrer l'eau salée. »

— Laurent Longuevergne



# Géologie

« Nous faisons des modèles de structures géologiques : comment les roches se combinent les unes avec les autres. Il y a des structures continues : quand une roche s'arrête et l'autre commence. Et il y en a des discontinues : **les failles, ce sont des structures avec un mouvement.** Les failles sont importantes dans le Massif armoricain car elles sont des structures perméables, sachant que le reste des roches ne le sont pas : le granit est peu poreux, et le micaschiste ce sont des roches pressées, métamorphiques, qui ont perdues une partie de la texture d'origine. »

— Christian Le Carlier

« La **zone de Contact entre le granit et le micaschiste est une zone très facturée** – le granit à 700°C, comme une bulle de magma, a encaissé ce qu'il y a autour, cela a fracturé, créé du magma résiduel, c'est cette zone fracturée et perméable. Il y a comme un halo autour du granit : des injections de filons de type quartz. Ce n'est pas seulement un trait. L'épaisseur de la zone de contact est d'une dizaine de mètres. C'est cette zone de contact qu'on essaye d'imager ».

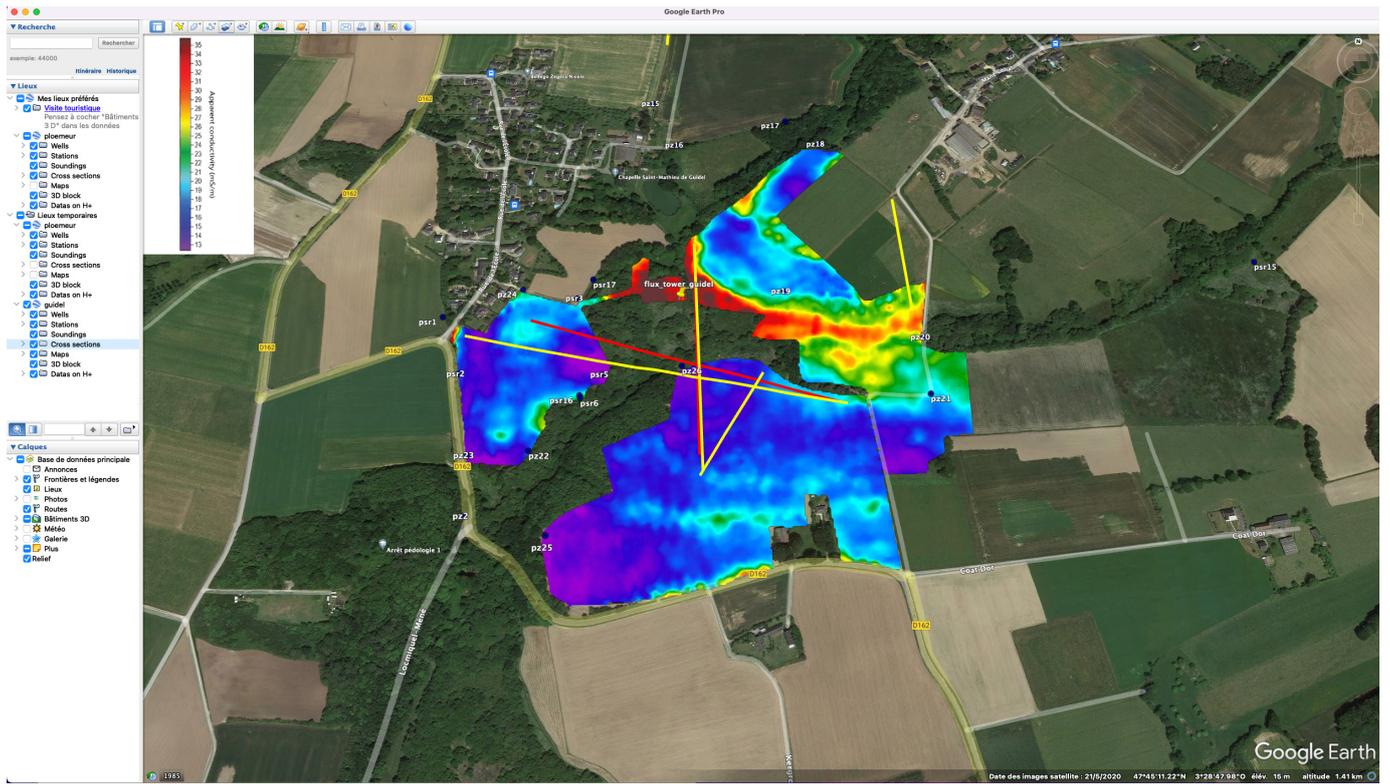
— Christian Le Carlier

« Guidel, et la structuration de la Bretagne est tertiaire, soumise à un climat tropical qui a fait les sols. Une partie des altérites dans lesquelles l'eau s'infiltré, trouve son chemin, sont ces paléo formations qui ont vécu ; Comme la molasse, sauf que là ça n'a pas été déplacé mais fait in situ. »

— Jérôme Gaillardet

« Il y en a à Ploemeur car collision continentale et Ploemeur était pris là-dedans et le temps a érodé, raboté. Ploemeur est une ancienne suture, faille sud armoricaine. Cette faille continue de bouger (séismes). C'est un granite dit de subduction. »

— Jérôme Gaillardet



# Géophysique du milieu souterrain

« La question originelle de l'observatoire est : **comment les réseaux de fractures modifient les écoulements de l'eau et changent la température ?** »

— Camille Bouchez

« Il y a des fractures fermées, des fractures ouvertes, c'est une **géométrie complexe qui va gérer comment l'écoulement se passe dans ce milieu souterrain.** »

— Maria Klepikova

« Ce qui nous intéresse ce n'est pas vraiment ce à quoi ressemble les fractures (taille, sens), c'est surtout de trouver les modèles effectifs. A partir d'un test de 3h, comprendre comment les éléments bougent sur l'année hydrologique, donc les paramètres de transport, les paramètres hydrologiques, qui vont nous permettre de **reproduire ce mouvement.** »

— Maria Klepikova

« **Je regarde la température : comment le fait que l'on pompe l'eau va changer le champ de température dans toute la zone critique.** Cela ramène de l'eau plus chaude dans la profondeur, donc ça va faire monter la température un peu partout dans le milieu souterrain, mais comme il y a des échanges avec les rivières, cette eau chaude va également aller dans les rivières, dans les zones humides, dans l'étang et avoir un impact sur leur biologie et chimie. On a observé une hausse de 3°C dans le milieu souterrain sur 30 ans. »

— Maria Klepikova

« Globalement, ce qui n'est pas assez pris en compte dans les modèles actuellement, c'est cette **hétérogénéité à multiples échelles.** Petites fractures, chaque fracture, rugosité des parois, en plus c'est connecté à un réseau de fractures donc c'est super complexe, et de faire les modèles où tu homogénéises tout ça selon les propriétés moyennes de l'aquifère, ça peut donner des erreurs très grossières sur la propagation des écoulements, des éléments, etc. »

— Maria Klepikova



# Couplage géophysique et géochimie

« On a des sondes qui font de la mesure en continu et des diagraphies en oxygène, comment il se distribue dans le milieu souterrain. On regarde dans un puits en fonction de la profondeur et les endroits où on a des **arrivées d'oxygène** qui sont liées en général **aux endroits où on a des fractures.** »

— Camille Bouchez

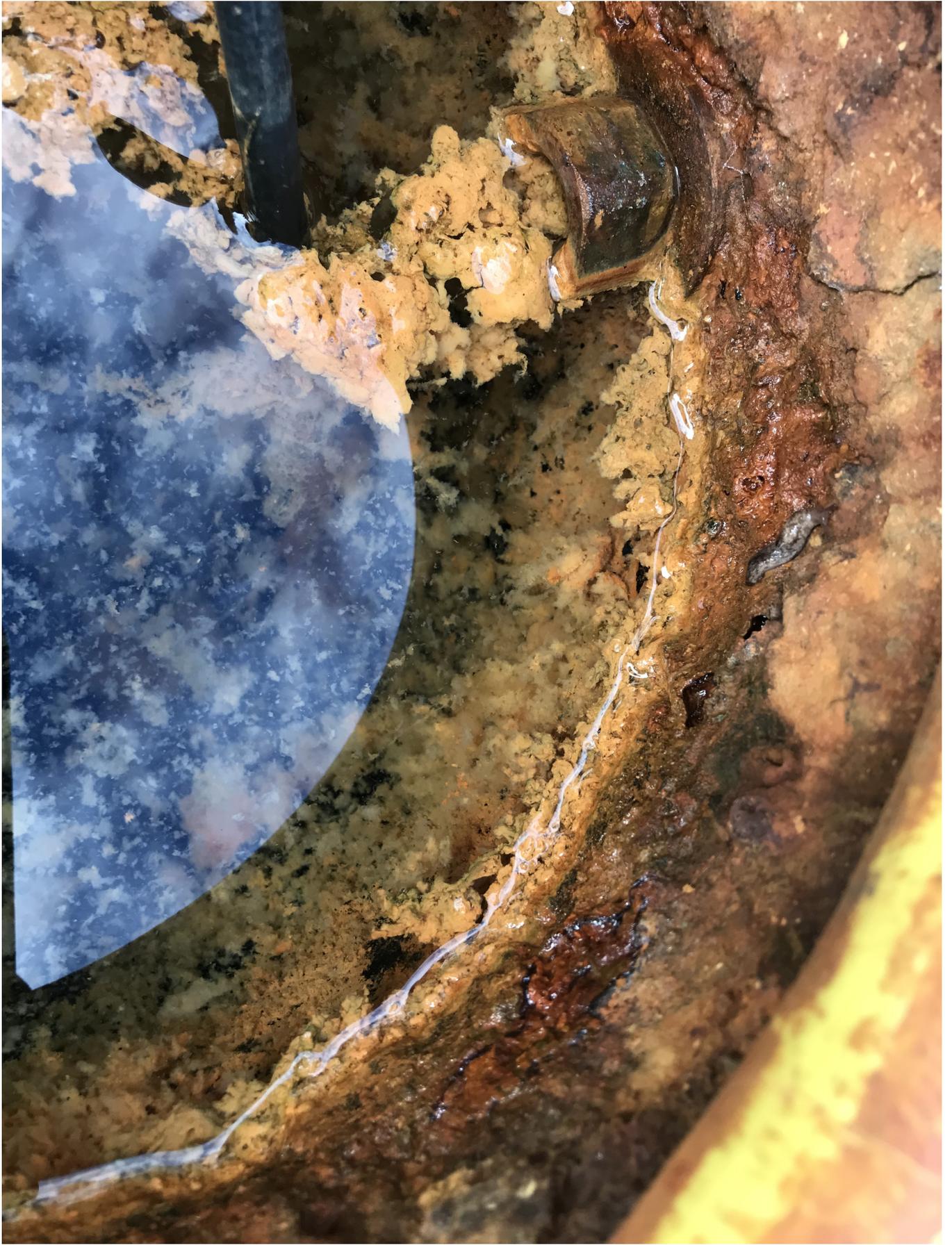
« Pour la température, il y a un effet gradient thermique (la temp. augmente avec la pf). Pour l'oxygène on n'a pas ça mais on a une variation dans le temps qui est plus forte. Par ex. pour 2 périodes, en Octobre où il n'y a pas du tout d'oxygène dans le milieu, et une autre où il y en, l'endroit où il y a des pics d'oxygène est corrélé avec l'endroit où il y a des fractures. C'est l'eau qui arrive de la fracture dans le puits et qui contient ou pas de l'oxygène selon les périodes de l'année.

Car quand il pleut beaucoup, ça va pousser l'eau. L'eau en contact avec l'atmosphère est oxygénée, et petit à petit quand elle passe dans le m.s. elle va être consommée par les bactéries et réagit aussi de manière chimique avec les minéraux. Les bactéries respirent en m.s. S'il pleut beaucoup, ça va pousser l'eau oxygénée dans le m.s avant qu'elle n'ait été consommée. Dans les périodes sans eau, l'eau oxygénée rentre moins vite et va donc être consommée petit à petit. Cela montre qu'**il y a un lien entre la dynamique hydrologique du site et comment se distribue en profondeur l'oxygène.** »

— Camille Bouchez

« Nous (à cause des fractures) c'est très lié au cycle hydrologique et dans un environnement où il pleuvrait moins, moins d'oxygène, ce seraient des bactéries sensibles à autres choses, nitrate, sulfate, en fonction de ce qui est disponible dans le milieu. Donc ça ne veut pas dire qu'il y aurait moins de bactéries mais que les bactéries seraient différentes. »

— Camille Bouchez



# Vie dans le milieu souterrain – microvies, bactéries

« Dans les milieux souterrains, il y a moins de bactéries en termes de concentration qu’il y en aurait dans la rivière par exemple, mais par contre la différence est que les eaux souterraines ont un volume extrêmement important, puisqu’en fait 97% de l’eau, ce sont les océans, 2% ce sont les glaciers, et le pourcent qui reste ce sont les eaux souterraines. Ce qui veut dire que tout ce qui est rivière, lac, pluie, toute l’eau qu’on est habitué à voir, en fait, elle ne représente rien du tout en termes de volume par rapport à ce qu’il y a sous nos pieds. **Peut-être que les bactéries formeraient donc une biomasse plus importante que celle en surface !** »

— Camille Bouchez

« On mesure le flux de ce qui rentre en termes de quantité de nourriture, le principal c’est l’oxygène, et on sait le mesurer. Avec cette quantité de nourriture là, elles sont capables de produire tant de biomasse, d’après des études en labo où on voit le poids de la biomasse en fonction de ce qu’elles ont utilisé. »

— Camille Bouchez

« Ce qui est surprenant, c’est que même qu’il n’y a pas beaucoup de quantité de biomasse en profondeur, on découvre quand même une **diversité importante**. Il y a une grande diversité de gènes, d’espèces, donc un potentiel mobilisable. **Dès que le milieu change, il va y avoir une adaptation des communautés en fonction des nouvelles conditions.** »

— Christoff Andermann

« ça dépend de la surface si par exemple on est dans un milieu avec énormément de nitrates, ils vont s’infiltrer et cela va être une source utilisable par les bactéries et donc on voit qu’on a plus de bactéries qui sont dénitrifiants, capables d’utiliser ces nitrates, **ces communautés vont vivre dans des endroits où il y a plus de nitrates.**

Ça montre bien qu’il y a **un lieu entre le souterrain et la surface.**

Le milieu souterrain dépend de ce qu’il y a déjà disponible en milieu souterrain, la nature des roches, et ensuite ce qui est apporté par la surface : oxygène, nitrate, d’autres éléments, sulfate. Ces deux pôles sont importants. »

— Camille Bouchez



« Ici à 54m, il y a une fracture qui est très riche en sulfate, et pile à cet endroit-là on trouve des bactéries qui utilisent le sulfate. **C'est comme si elles étaient structurées de façon à être le plus adaptées à ce qui est disponible à l'endroit où elles sont.** »

— Camille Bouchez

« **Les bactéries sont des agents qui participent de manière assez efficace à l'altération des roches. Altérer une roche, c'est passer d'une structure minérale à dissous sous plein d'éléments. En faisant cela, les bactéries libèrent de l'énergie, c'est avec ça qu'elles vont grandir, et cela dissout des éléments qui étaient sous forme minérale et donc cela change la quantité d'éléments dans l'eau.** »

— Camille Bouchez

« Elles vont faire de la médiation – elles vont être capables d'altérer les roches. Elles contribuent à créer des fractures ? Elles mangent la roche. Ça relargue un certain nombre d'éléments quand elles vont digérer, altérer la roche, de minéral à dissous. Et quand ça revient en surface, elles peuvent être utilisés par des plantes, écosystèmes, ça modifie la chimie des rivières, ça contribue à la modification du paysage qui est le résultat de tout ce qui s'est passé en termes d'altération, d'érosion. Ces bactéries qu'on regarde sont autotrophes, elles utilisent du carbone CO<sub>2</sub> minéral pour en faire du carbone organique et c'est ce qu'on appelle de la fixation du carbone. C'est la même chose que la photosynthèse sauf que l'énergie qu'elles utilisent ce n'est pas la lumière de dehors mais **l'énergie rédox de la réaction avec les minéraux**. On sait que les arbres c'est un gros fixateur de carbone mais ces bactéries pourraient aussi l'être. »

— Camille Bouchez

« **Les bactéries sont vraiment liées à ces cycles biogéochimiques** parce qu'en fait elles sont de petits médiateurs qui vont aussi participer à dissoudre ces roches là et donc à remettre en solution ces éléments, et donc quand l'eau souterraine remonte au niveau de la surface, elles transportent avec elles ces éléments.

C'est tous ces éléments qui proviennent de la dissolution des roches en milieu souterrain. »

— Camille Bouchez



# Hydrogéochimie du milieu souterrain

« Il faut être capable de mesurer la composition de la pluie, de la rivière, et voir comment le signal de l'un se transforme en l'autre, et ça nous donne plein d'indications sur les vitesses et les transferts d'eau dans nos bassins. On a silice, magnésium, potassium, calcium, fer, puis ces éléments qui sont sous forme dissoute peuvent réagir, être prélevé, dans le milieu souterrain, ou quand ils sortent dans la rivière, ou prélevé par les plantes qui utilisent silice. Il y a la concentration initiale des éléments, qui fait que si on dissout on va pas dissoudre de la même manière chacun des minéraux car certains sont plus abondant que d'autres, puis au cours de leur chemin il y a comment ils vont être réutilisés et reréagir. A la fin ce qui sort est la résultante de réactions et de transports qui sont passés dans le milieu souterrain. La rivière c'est de l'eau qui s'écoule avec ses éléments mais il y a aussi de l'eau qui ressort de la nappe souterraine, et donc **les enjeux c'est aller d'identifier les endroits et ce qui ressort vraiment**. Donc on a ce qui se passe dans le milieu, et ensuite on essaye d'aller chercher l'endroit où ça ressort. Pour faire cela, on peut utiliser du radon, c'est un élément, gaz, produit dans le milieu souterrain, et donc si **on trouve du radon dans la rivière, ça veut dire que c'est une eau souterraine parce qu'il n'y en a naturellement pas dans la rivière. Le but d'avoir une idée des apports en eaux souterraines au cours du temps.**»

— Camille Bouchez

« **Les gaz dissous dans l'eau sont des traceurs qui nous aident à comprendre comment l'eau circule, comment les solutés dissous dedans interagissent avec la vie profonde ou en surface, comment se font les transferts d'eau entre surface et profondeur, et vice versa, ou les transferts de gaz entre surface et atmosphère. Il s'agit aussi de comprendre où l'eau s'infiltre, s'exfiltre, et combien de temps elle reste en profondeur.** »

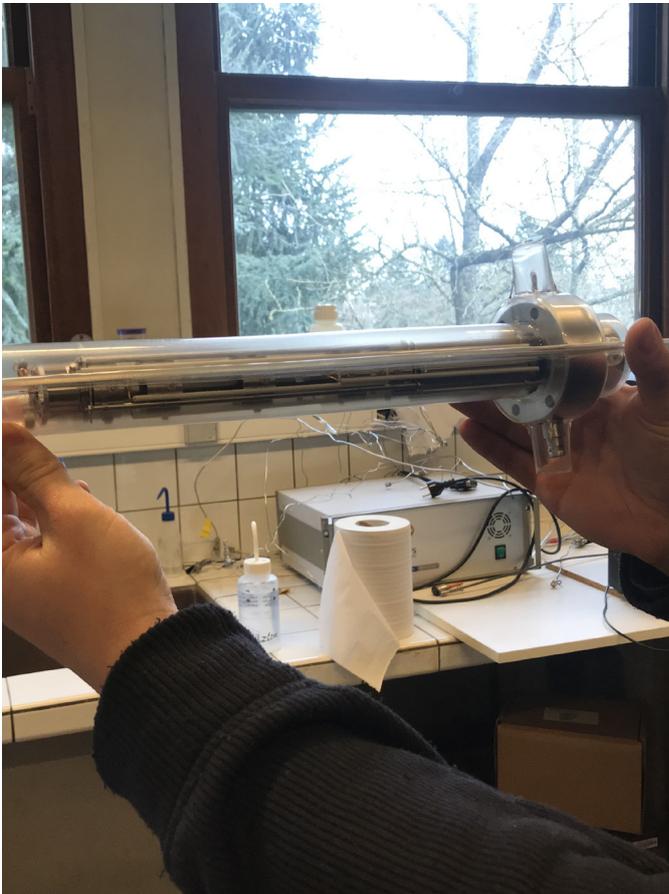
— Eliot Chatton

« Gaz qu'on a dans l'atmosphère : azote, oxygène, argon, CO<sub>2</sub> (majeurs) puis ceux à l'état de traces : protoxyde d'azote, méthane (gaz à effet de serre puissant), hydrogène, puis gaz nobles : néon, hélium, crypton, xénon présents à l'état naturel. »

— Eliot Chatton

« Dans l'eau **ça nous donne des indications sur la présence du vivant**. Il y a deux grosses réactions qui se passent dans la ZC : la photosynthèse et respiration. La photosynthèse produit de l'oxygène et consomme du CO<sub>2</sub>, la respiration fait l'inverse. »

— Eliot Chatton



« **On regarde jusqu'à 200m de profondeur dans une fracture.** Il y a un effet cumulé des respirations du passé – l'eau (en surface) commence avec un fort taux d'oxygène et un taux de CO<sub>2</sub> faible, et plus elle va progresser dans le milieu en profondeur, plus elle va s'éloigner de l'atmosphère qui est sa source d'oxygène, donc il va baisser en concentration au fur et à mesure, et le CO<sub>2</sub> augmente, et quand on s'enfonce encore plus, le CO<sub>2</sub> qui est un oxydant va être utilisé par les bactéries et va réduire en méthane. La vie s'adapte en fonction de ce qu'elle a. C'est intéressant de voir qu'on a telle réaction proche de la surface et d'autres différentes en profondeur. Donc au début on a des plantes, des animaux, une diversité macro et microscopique et quand on s'enfonce dans le souterrain, on n'a plus que des microorganismes. Mais il y a toujours une diversité extraordinaire : bactéries, archées. Elles sont spécifiques de certaines réactions, elles tiennent sur peu d'éléments. »

— Eliot Chatton

## Flux et âges de l'eau

« Si on regarde les gaz nobles, on est capable de savoir d'où vient l'eau, de quelle altitude, à quelle température l'eau s'est équilibré, ça donne une idée du climat. On arrive à voir des endroits où le climat était différent suivant l'âge de l'eau. »

— Eliot Chatton

« **Les indices qu'on a nous disent que c'est une eau qui a plusieurs centaines d'années – entre 100 et 300 ans, 500 au maximum pour les plus anciennes. Et bien sûr, il y a les eaux les plus récentes dans la rivière, en haut du bassin : l'eau qui s'infiltré et qui met quelques années à quelques dizaines de mètres de profondeur et met du temps à ressortir, dans l'étang ou vers la mer ça met peut-être 100 ans.** »

— Eliot Chatton

« **Les chemins de l'eau courts sont plus vulnérables aux périodes de sécheresse que les chemins longs.** Si en quelques semaines ils ressortent, et s'il ne pleut pas, alors ils vont s'assécher. Alors que ceux qui vont mettre 10 ans, 100 ans sont plus résilients. Donc l'eau qu'on a dans notre rivière, quand est ce qu'elle est arrivée là est une question primordiale. Est-ce qu'elle date de la dernière pluie ou du dernier hiver ? ou de la dernière période humide il y a 10 ans ? »

— Camille Bouchez



# Alertes sur le pompage !

« Ploemeur et Guidel ne peuvent pas être mise sur même plan. Et donc les interactions avec la zone humide n'existent que parce que Guidel n'est pas pompé. **Si jamais c'est mis en pompage, la zone humide n'existerait plus, la rivière ne coulerait plus.** Ce serait le même fonctionnement que Ploemeur. Ploemeur c'est vraiment une zone de pompage. »

— Camille Bouchez

« A Ploemeur, on n'est pas comme à Guidel où l'écosystème dépend de ces eaux souterraines, un site où on a encore une forte interaction entre zone humide, le lac et la mer. Il y a des eaux sout. qui ressortent au niveau de la mer. Et toute la zone de la mer est Natura 2000, protégée pour sa biodiversité. **Mais tout cela est connecté, et donc si Guidel est mis en pompage, cela pourrait fortement modifier le milieu et modifier les paysages jusque sur la côte.** »

— Camille Bouchez

« (avec le pompage) On modifie ce qui arrive au niveau du milieu souterrain, ce qui arrive au niveau de la rivière, et ce qui arrive au niveau de la mer. On déstabilise tout, sur un site dont la particularité est qu'il dépend de ses eaux souterraines, avec une très grosse connexion avec les eaux souterraines. »

— Camille Bouchez

« Si on pompe, **on supprime ce qui va dans la mer et on accélère les flux qui vont vers le pompage, ce qui va perturber les équilibres, le milieu.** Les assemblages de microorganismes vont changer car l'oxygène va pénétrer plus profondément dans la ZC. Certains organismes pour qui l'oxygène est toxique vont disparaître de cet endroit de l'aquifère et vont se loger plus profondément. **Les réactions changent, prennent place à des endroits différents. Les niveaux d'eau vont baisser avec des zones désaturées et donc l'altération des roches va être plus rapide.** Et donc cela change les temps de résidence : **l'eau va rajeunir.** On pompe et on vide le stock. On diminue le stock et les flux sont détournés vers le pompage. »

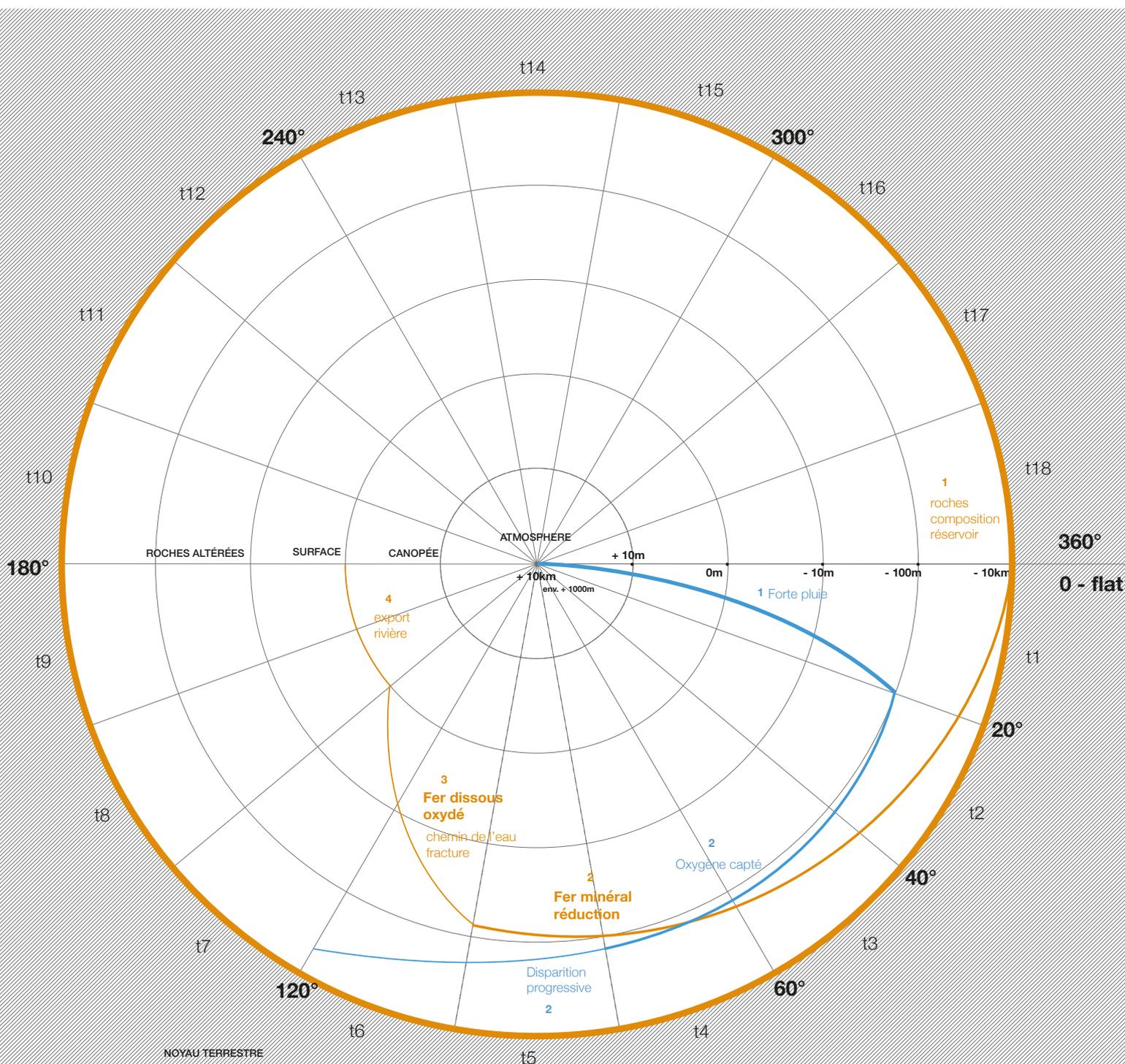
— Eliot Chatton

## Cycle du Fer

- 1-milieu souterrain riche en fer, composition des roches
- 2-consommation du fer par les bactéries causant l'altération progressive des roches
- 3-rencontre avec une fracture ramenant l'eau à la surface et l'oxygène en profondeur, processus d'oxygénation relativement rapide
- 4-export du fer par la rivière, couleur rouille des cours d'eau

## Cycle de l'Oxygène

- 1-pluie et précipitation Infiltration dans les roches à travers les fractures avec une certaine rapidité
- 2-oxygène mobilisé par les bactéries en milieu souterrain sur une certaine période de temps. Entraîne d'autres réactions dans le milieu souterrain.
- 3-La quantité d'oxygène diminue progressivement (mobilisée par le fer) jusqu'à disparaître complètement du milieu souterrain



# Dessin de cycle

« On a beaucoup travaillé sur l'Oxygène, fer, et nitrates car en Bretagne ça a un sens. Tout ce qui oxygène, nitrate, vient de la surface. Le fer est là, dans le milieu, sous forme de roches. C'est parce que les roches se dissolvent que cela émet du fer. Quand arrive l'eau - pH et oxygène qui altèrent la roche - c'est ce fer qui est déjà là, qui va se diffuser, qui provient du milieu et la concentration qui va augmenter. Et **tout se passe en souterrain**. Alors que l'oxygène, et le nitrate sur les champs, proviennent de la surface. Ce sont des flux qui ont totalement des **directions différentes**.

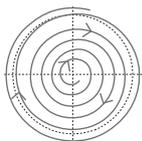
**Et en plus c'est un flux - le nitrate – qui diminue dans le milieu souterrain, qui se fait manger par les bactéries. Alors que l'autre, le fer, augmente. Il y a une anti-corrélation.**

Ils sont connectés, car c'est parce qu'il y a des flux d'oxygène qui proviennent de la surface que le fer est libéré et en retour revient au niveau de la surface, et crée tous ces petits biofilms.

**J'aime bien cette idée qu'il y a deux origines qui sont très différentes et qui se croisent, connectées, l'un dépend de l'autre. »**

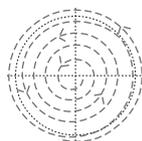
— Camille Bouchez

flow ways



from center  
to periphery

→ Centrifugal



from periphery  
to center

←..... Centripetal

flow quantity



spiral arcs thickness

Rapidité de ce déplacement  
18 fenêtres temporelles  
découpage selon degrés du cercle  
(rapporteur)

- t1 - 0-20° - seconds > 24 heures
- t2 - 40° - 1 day > 1 week
- t3 - 60° - 1 week > 1 month
- t4 - 80° - 1 month > 1 year
- t5 - 100° - 1 year > 10 years
- t6 - 120° - 10 years > 50 years
- t7 - 140° - 50 years > 100 years
- t8 - 160° - 100 years > 500 years
- t9 - 180° - 500 years > 2000 years
- t10 - 200° - 2000 y > 10 000 y
- t11 - 220° - 10 000 y > 100 000 y
- t12 - 240° - 100 000 y > 500 000 y
- t13 - 260° - 500 000 y > 1 million y
- t14 - 280° - 1 million y > 5 million y
- t15 - 300° - 5 million y > 50 million y
- t16 - 320° - 50 million y > 500 million y
- t17 - 340° - 500 million y > milliards y
- t18 - 360° - éternité