

Avec le soutien de :



COLLOQUE GESTION DES EAUX SOUTERRAINES

Du 15 au 17 février 2023
à l'ENSEGID - Bordeaux INP



ANAFORE : De nouvelles typologies d'aquifères de socle déclinées en une cartographie des Zones Potentiellement Productrices (ZPP) en eau souterraine pour devenir des Zones de Sauvegarde pour le Futur (ZSF)

Les auteurs : Jean-Michel SCHROËTTER¹, Alexandre BOISSON¹, Flora LUCASSOU¹, Anne-Gaëlle BADER², Laurent BECCALETTO², Yamen OUEGHY², Benoit DEWANDEL³, Mélanie BARDEAU¹, Bruno TOURLIERE²,

Les partenaires : Pascal BILLAULT⁴, Thierry PANAGET⁶, Arnaud LE GAL⁷, Olivier CHAUVIERE⁸, Nathalie BARRAIS⁹, Estelle CASTEL¹⁰ et Sandra CARCAUD¹⁰.

Les affiliations : (1) Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) Bretagne ; (2) Bureau de Recherches Géologiques et Minières Orléans ; (3) BRGM Montpellier ; (4) Agence de L'Eau Loire-Bretagne (AELB) ; (5) Région Bretagne ; (6) Agence Régionale de Santé Bretagne (ARS) ; (7) Eau du Morbihan (EdM) ; (8) Syndicat Mixte de Gestion de l'eau d'Ille-et-Vilaine (SMG35) ; (9) Direction de l'Aménagement, de l'Agriculture, de l'Eau, et de l'Environnement (DAAEE) du Conseil Départemental Finistère et (10) Syndicat Départemental d'Alimentation en Eau Potable des Côtes d'Armor (SDAEP 22)

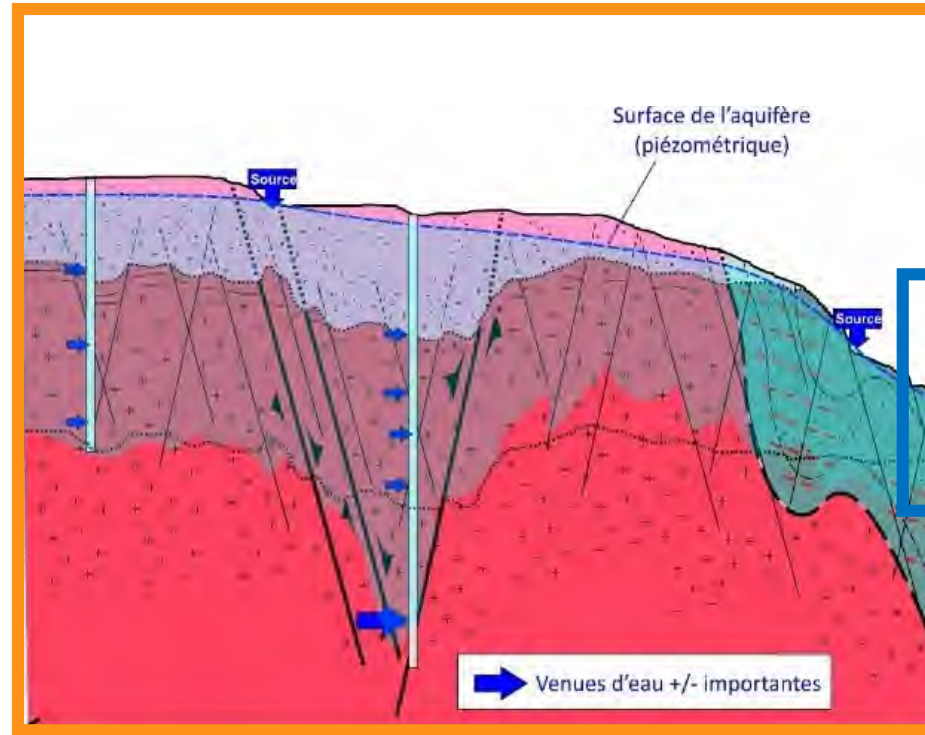


l'établissement public de mission chargé de développer durablement



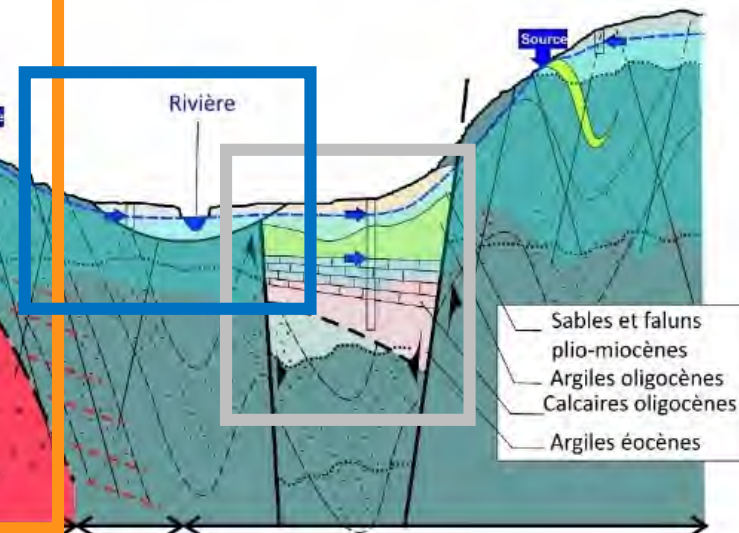
Les différents types d'aquifères en Bretagne

1) Aquifères de socle



Socle granitique

3) Aquifères alluviaux (rivières)



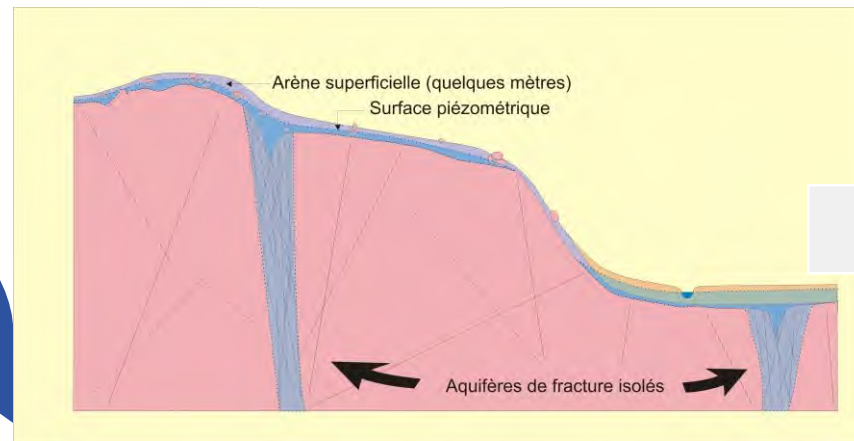
Schistes métamorphiques cornéennes et schistes tâchetés

Schistes peu métamorphiques par ex. briovériens

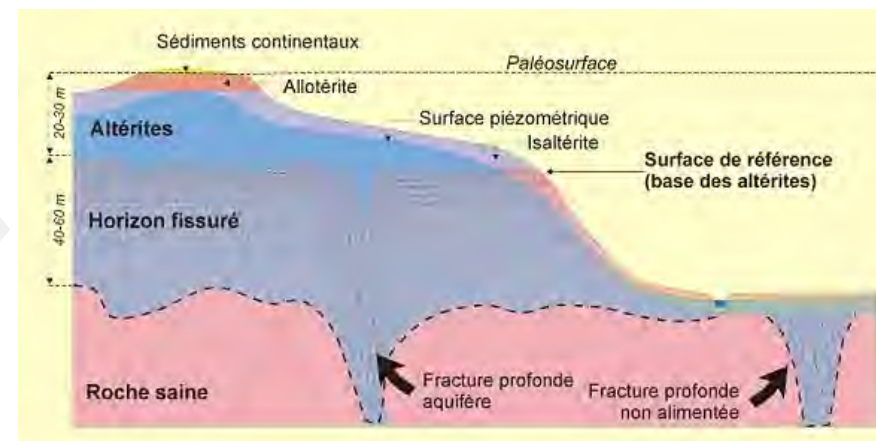
2) Bassins sédimentaires tertiaires

Les eaux souterraines de Bretagne : une compréhension tardive et des recherches toujours en cours mais ce qui est acquis, c'est que :
L'aquifère de socle est une multitude d'aquifères de petite taille ...

Evolution des concepts



La faille comme aquifère ...



Les altérites comme aquifère (Wyns et al., 2004)



Fonction capacitive (stock, réserve)

Fonction capacitive et transmissive (circulation de l'eau)

Les typologies d'aquifère de socle tirées de l'analyse ANAFORE



1

Modèle conceptuel de l'aquifère de « socle » latéritique (R. Wyns, 1998)

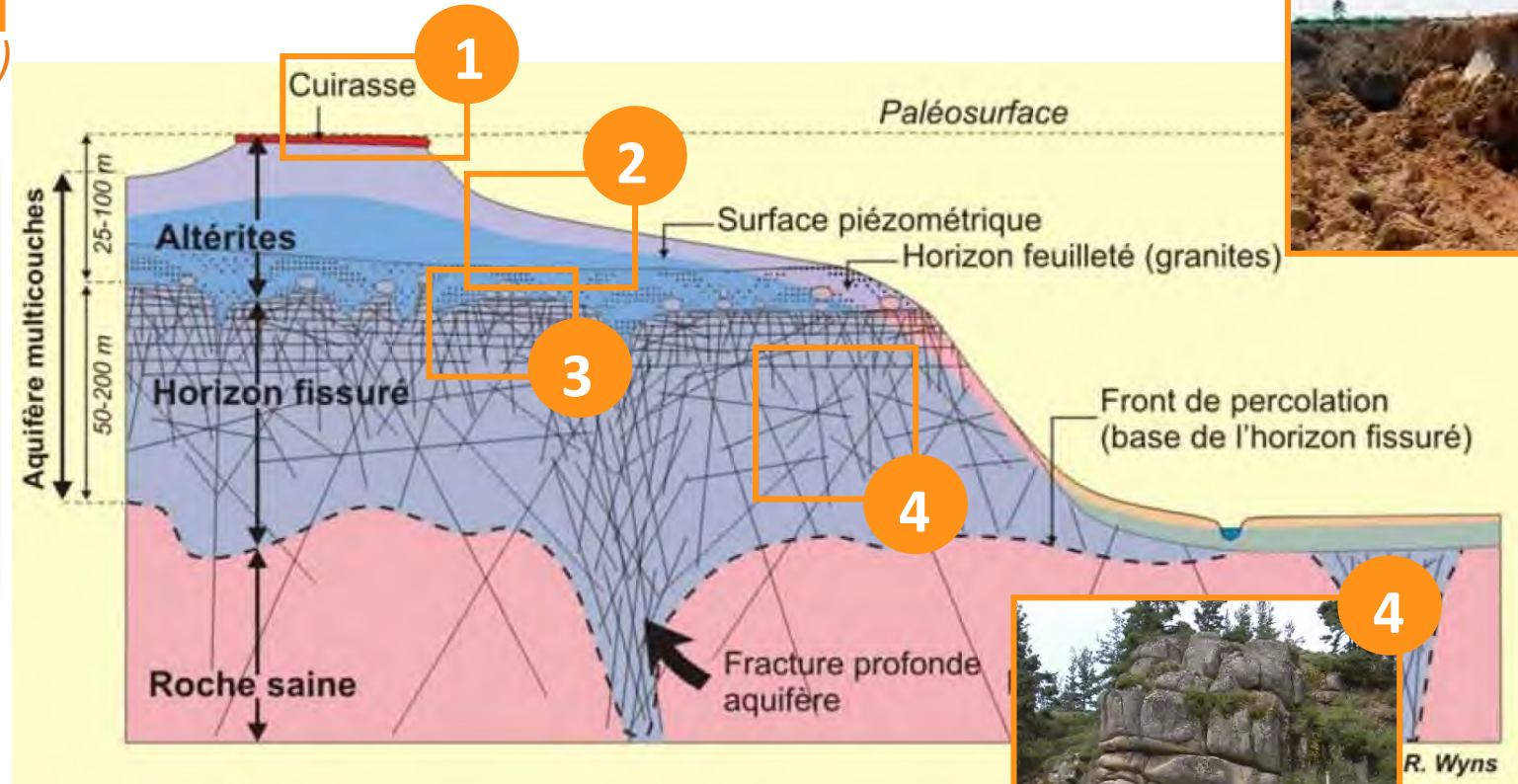
La cuirasse (ici de Paimpont, 35)

2



3

La base des isaltérites ou zone feuilletée



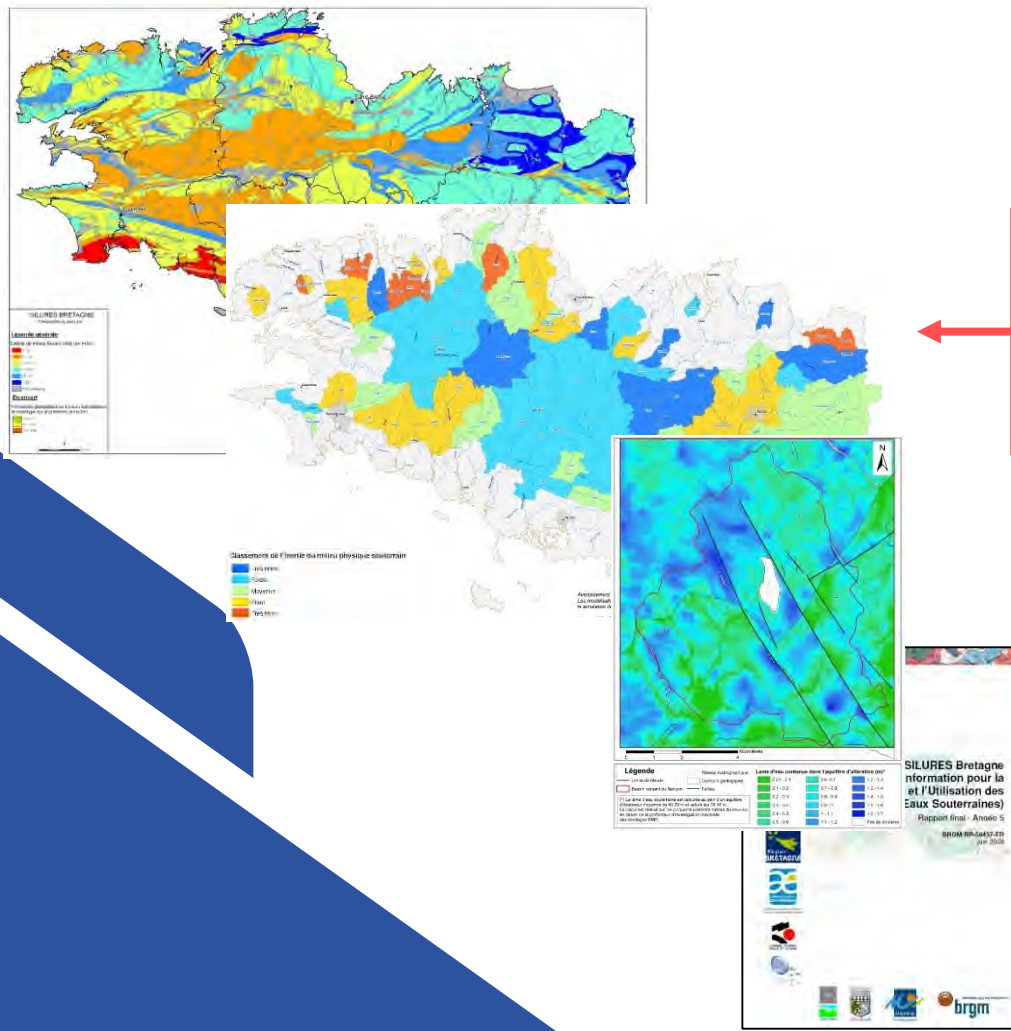
Les allotérites : argiles & limons d'altération



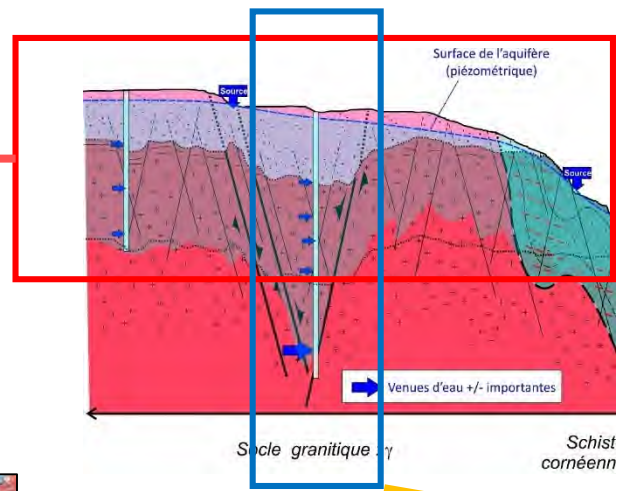
4

La zone fissurée

ANAFORE : De nouvelles typologies d'aquifères de socle déclinées en une cartographie des Zones Potentiellement Productrices (ZPP) en eau souterraine pour devenir des Zones de Sauvegarde pour le Futur (ZSF)



Les aquifères de socle : altération vs failles



Projet CASPAR, Roques et al., 2014

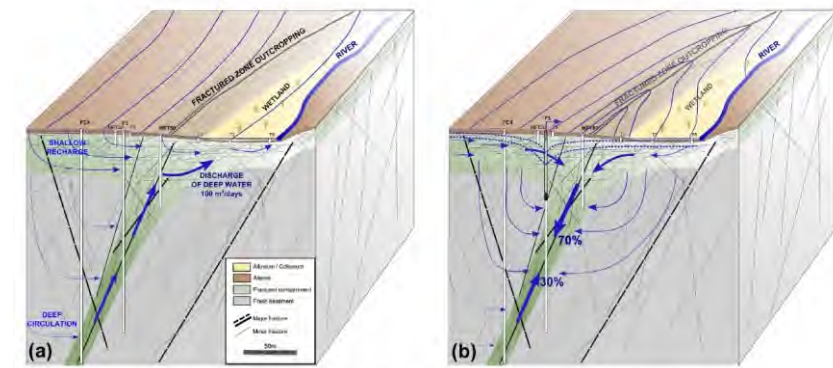


Fig. 11. Conceptual model of groundwater flow at the St-Brice en Cogles site under (a) ambient conditions and (b) pumping conditions.

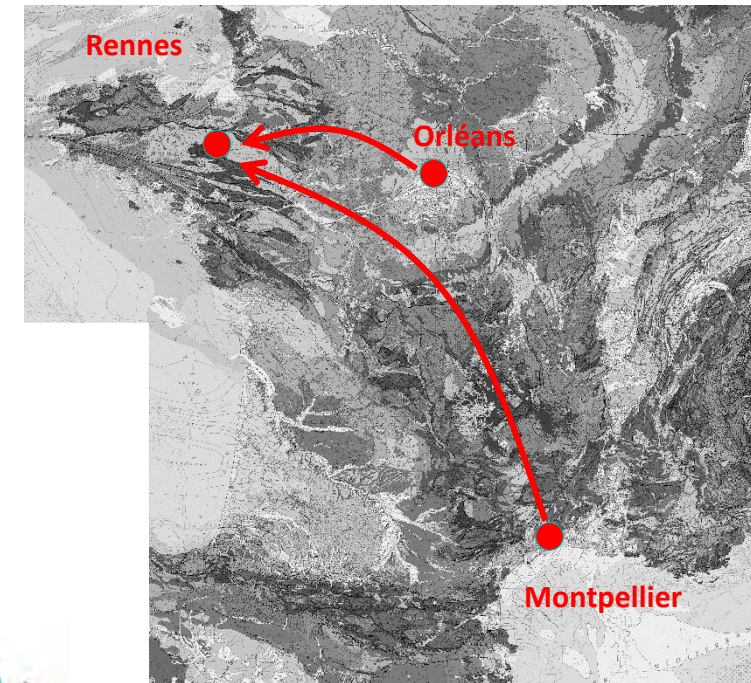
Calcul des volumes d'eau souterraine
43 +/- 5 millions de m3
Tps de renouvellement : 6 ans

Projet SILURES, Mougin et al., 2008

ANAFORE : **AN**alyse multicritère des données de **FOR**ages les plus productifs de bretagn**E** :

Cartographie des Zones Potentiellement Productrices (ZPP)
en eau souterraine

Une équipe pluridisciplinaire
de 3 sites du BRGM



Partenaires financiers :



Partenaires techniques :



Qu'est-ce qu'ANAFORE ?

CONTENU - Faire la synthèse de 100 forages d'eau des plus productifs en Bretagne.

COMMENT - En analysant les données acquises lors de leurs réalisations.

Données géologiques - Analyse du contexte géologique (lithologies, Degré d'altération, Degré de fracturation) et Analyse des données de géophysique disponibles ;

Données hydrogéologiques - Analyse de l'hydrologie (géomorphologie), de l'hydrogéologie (chimie des eaux si disponible), des débits (pompage d'essai) ;

SYNTHESE - de l'analyse de ces critères.

Pour 2 objectifs principaux !

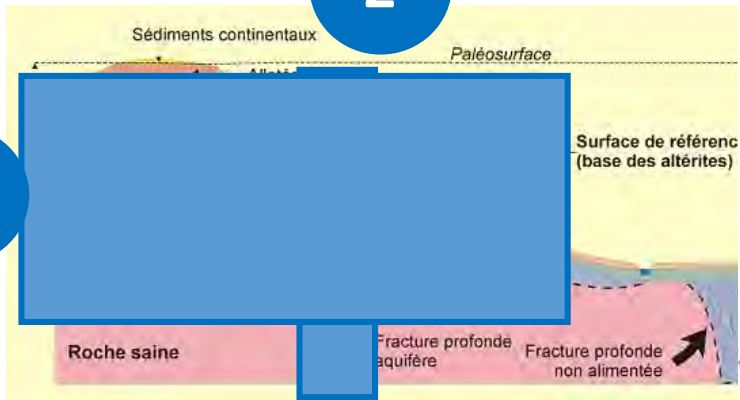
OBJECTIF 1 – Faire une classification typologique de ces 100 forages à travers l'analyse multicritère.

OBJECTIF 2 – Réaliser des cartes au 100 000 des secteurs les plus propices à la présence d'eau souterraine : pour leur préservation ou leur réservation à l'AEP (Zone de Sauvegarde pour le Futur ZSF).

ANAFORE tente la synthèse entre les deux concepts principaux sur les aquifères de socle !

1

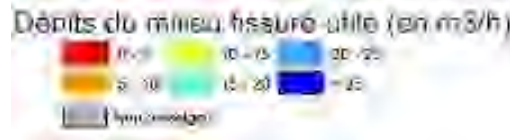
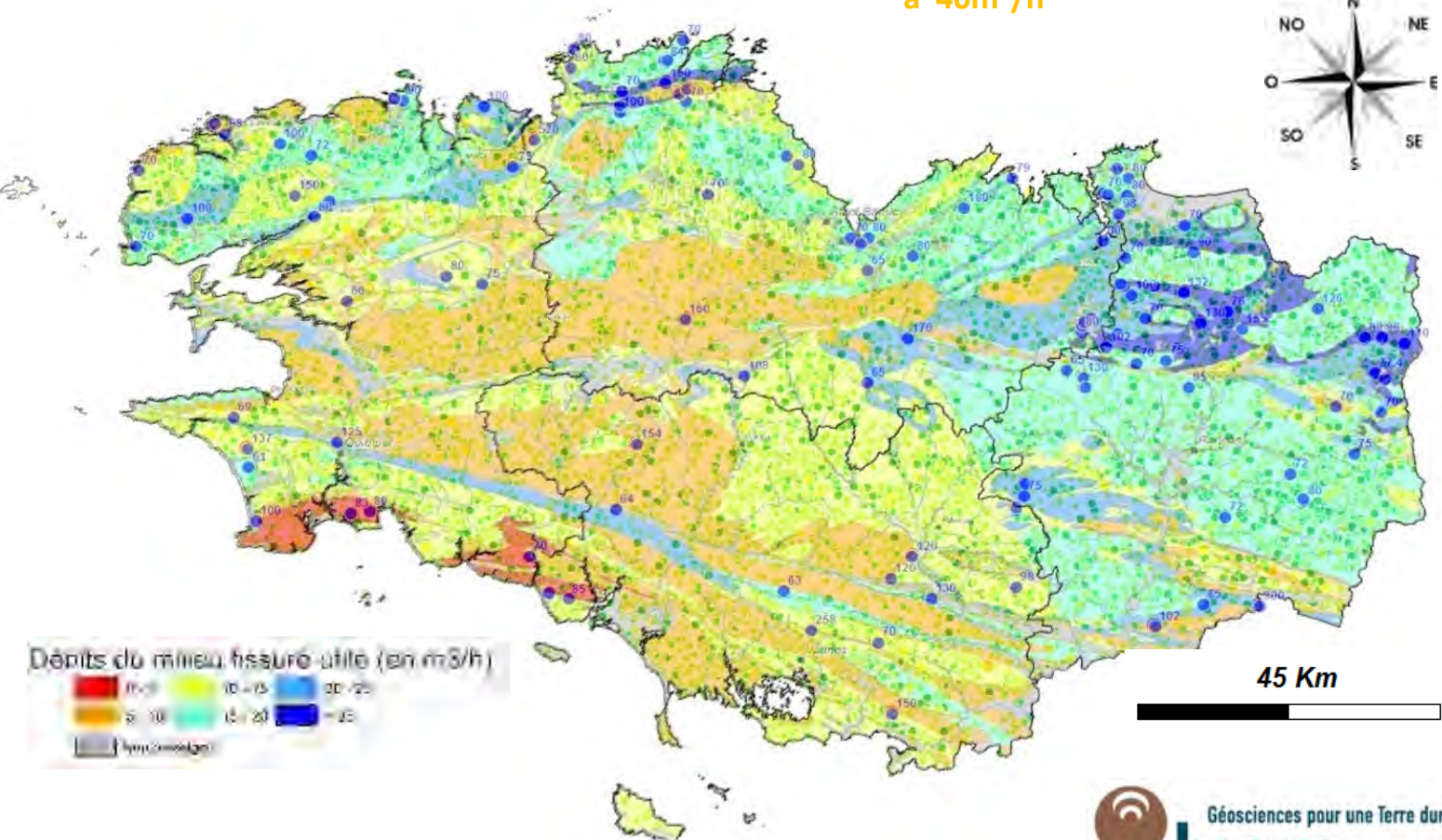
2



Les deux concepts différents de l'hydrogéologie dite de « socle » !

- L'aquifère de l'Horizon d'altération en 1
- Et l'aquifère de fractures en 2

En bleu, forages avec un débit instantané supérieur à 40m³/h

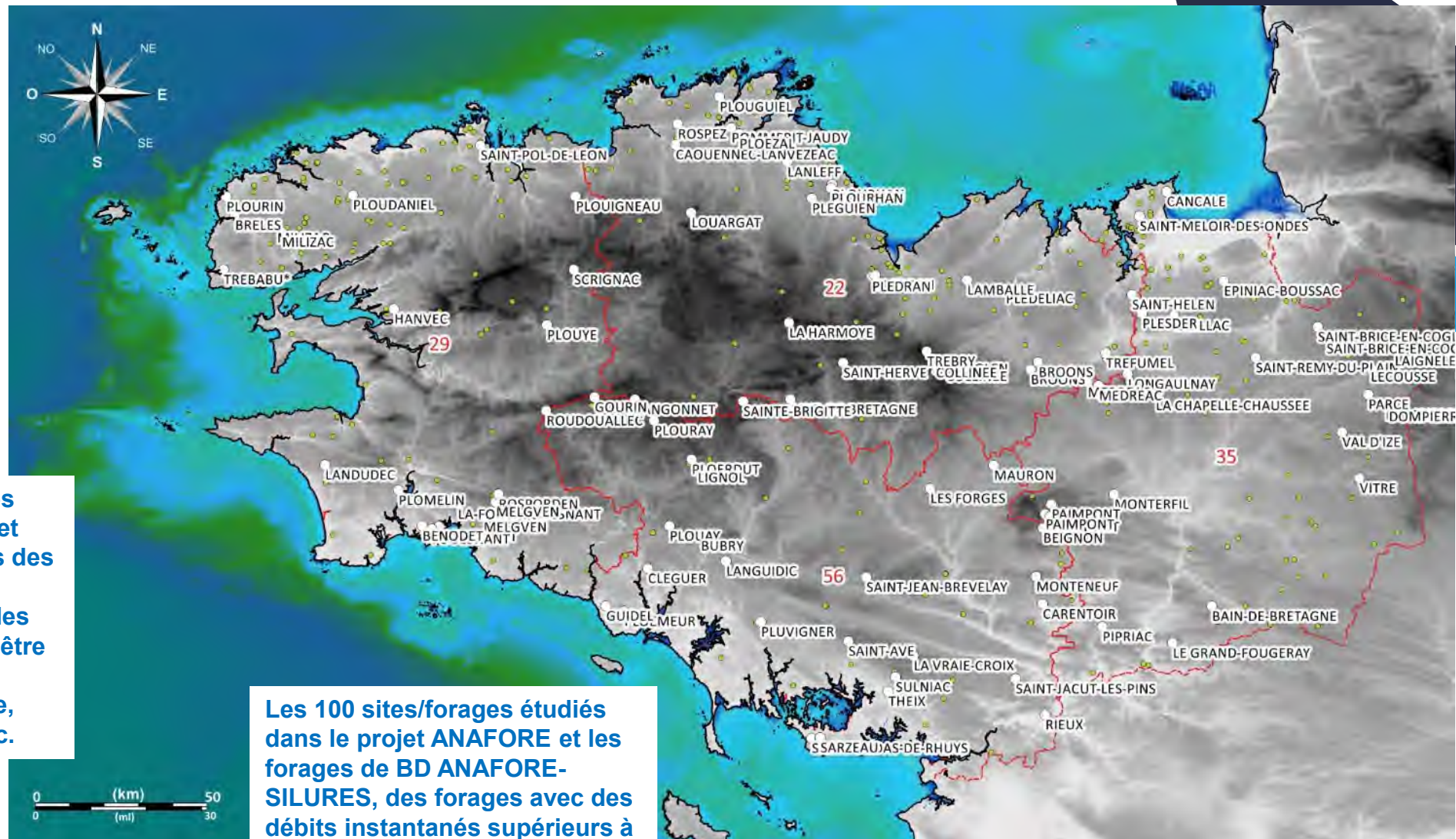


Sélection de 100 forages comparaison avec les forages avec les débits instantanés sup. à 40 m³/h ...

Les 100 sites/forages étudiés dans le projet ANAFORE : Forages des plus productifs de Bretagne ou ayant des données qui ont pu être récupérées pour le projet : géophysique, pompage d'essai etc.

Les 100 sites/forages étudiés dans le projet ANAFORE et les forages de BD ANAFORE-SILURES, des forages avec des débits instantanés supérieurs à 40 m³/h.

Les forages avec un débit instantané supérieur à 40 m³/h correspondent à moins de 4 % sur 19 684 forages.



Actions réalisées sur les 100 sites de forages sélectionnés

Un chiffre : 794
affleurements
observés
soit 8 affleurements
par site

Les actions géologiques :

1 journée de terrain par site avec le relevé :

- des mesures structurales sur chaque affleurement,
- la position de chaque affleurement par rapport au profil d'altération de R. Wyns (1998),
- le relevé des lithologies (nature des roches du site), du degré d'altération et de fracturation.

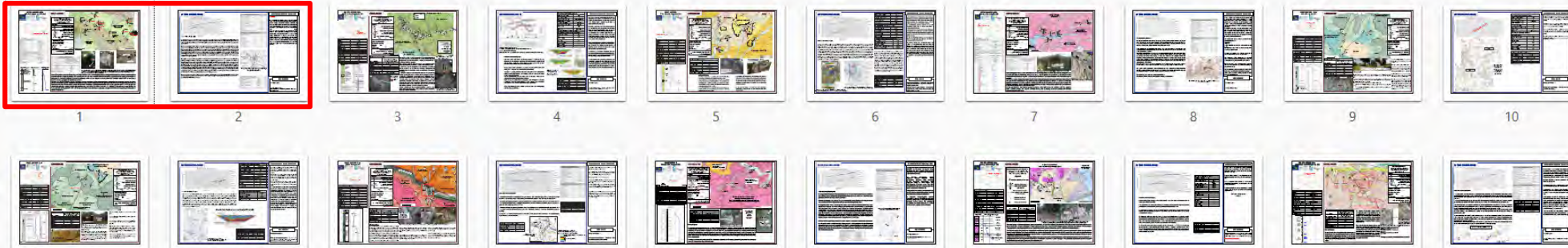
Puis un travail de bureau pour l'analyse du contexte géologique, géomorphologique, l'analyse des données du forage, de la géophysique disponibles etc.

Les actions hydrogéologiques :

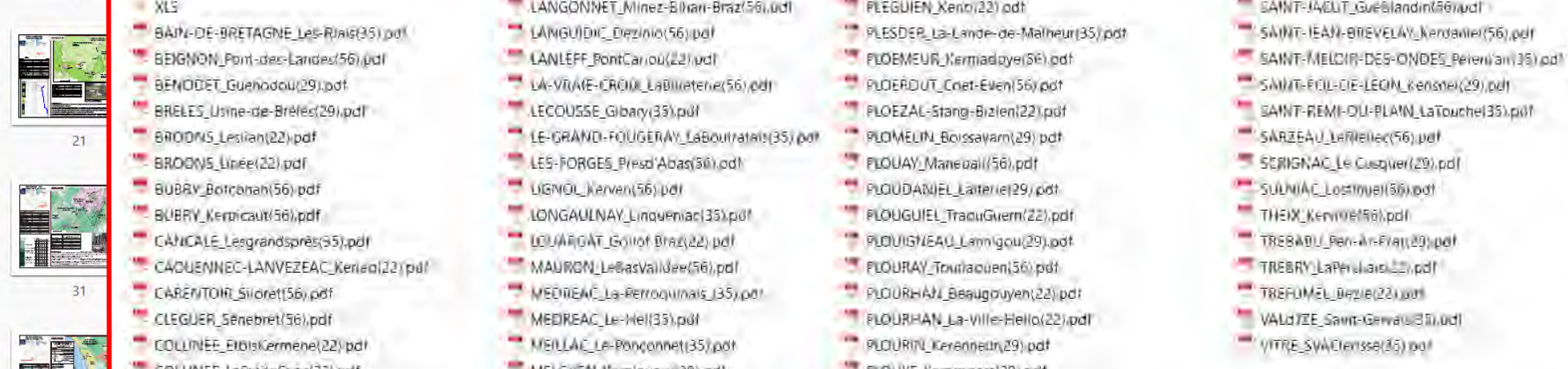
Quelques visites de site ...

- L'analyse de l'historique du site pour la sélection de l'ouvrage à analyser,
- La digitalisation ou l'utilisation des données de l'essai de pompage pour sa réinterprétation;
- Le diagnostic de l'essai par le calcul de la méthode des dérivées,
- Synthèse des données hydrogéologiques réinterprétées.

Les actions de synthèse entre géologie et hydrogéologie à travers la création d'une fiche par site / ouvrage.



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



11 12 13 14 15 16 17 18 19 20



21 22 23 24 25 26 27 28 29 30

- XLS
- BAIN-DE-BRETAGNE_LesRiais(35).pdf
- BEIGNON_Pont-des-Landes(56).pdf
- BENODET_Guénodou(29).pdf
- BRELES_Usine-de-Brefles(29).pdf
- BROONS_Lestien(22).pdf
- BROONS_Linée(22).pdf
- BUBRY_Boironah(56).pdf
- BUBRY_Kerpicaut(56).pdf
- CANCALE_Lesgrandsprès(55).pdf
- CÂQUENNEC-LANVEZEAC_Keriaa(22).pdf
- CARENTOIR_Sioret(56).pdf
- CLEGUER_Sénébret(56).pdf
- COLLINEE_Etibskermene(22).pdf
- COLLINEE_LaPetiteCote(22).pdf
- DOMPIERRE-DU-CHEMIN_LaFoucaudiere(35).pdf
- DOMPIERRE-DU-CHEMIN_PréPonce(35).pdf
- EPIMIAC_LeMoulindeBrettonnière(35).pdf
- FOUESNANT_Brèbulou(29).pdf
- FOUESNANT_Kerasploc'h(29).pdf
- GOURIN_Moulin-de-Conveau(28).pdf
- GUIDEL_Saint-Mathieu(56).pdf
- HANVEC_Keriyer(29).pdf
- LA-CHAPELLE-CHAUSSEE_LeRocher(35).pdf
- LA-FORET-FOESNANT_Creac'h-an-Du(29).pdf
- LA-HARMOVE_ForageF4(22).pdf
- LAIGNELET_La-Brettonnière(35).pdf
- LAMBALLE_LaPoterie(22).pdf
- LANOUDEC_Keriosquet(29).pdf
- LANGONNET_Minez-Bihan-Braz(56).pdf
- LANGUÉDIC_Dezinio(56).pdf
- LANEFF_PontCarjou(22).pdf
- LA-VITRÉE-CRÔME_LaBilliteriez(56).pdf
- LECOUSSE_Gibary(35).pdf
- LE-GRAND-FOUGÉRAY_LaBoutatais(35).pdf
- LÉS-FORGES_Presd'Abas(56).pdf
- LEGNOL_Kerven(56).pdf
- LONGAULNAY_Linquemiac(35).pdf
- LOUARIGAT_Guifort-Braz(22).pdf
- MAURON_LeBasValJée(56).pdf
- MEDREAC_La-Berrouinais(35).pdf
- MEDREAC_Le-Hell(35).pdf
- MEILLAC_Le-Ponçonnet(35).pdf
- MELGVEN_Kerliouan(29).pdf
- MELGVEN_Parkl'Arz(29).pdf
- MILIZAC_BelAm(29).pdf
- MILIZAC_Kergroaz(29).pdf
- MONTENEUF_LeBezier(56).pdf
- MONTERRIL_La-Boissière(35).pdf
- MUR-DE-BRETAGNE_LaRoche(22).pdf
- PAIMPONT_Les-Creux-du-Cannee(35).pdf
- PAIMPONT_Les-Ruisseaux(35).pdf
- PAIMPONT_Pas-du-Roux(35).pdf
- PARCE_Le-Mue(35).pdf
- PIBRIAC_Le-Meneu(35).pdf
- PLEDEJAC_Belouze(22).pdf
- PLEDIRAN_Magenta(22).pdf
- PLEDRAN_PontRomain(22).pdf
- PLEGUIEN_Xent(22).pdf
- PLESDER_La-Lande-de-Malheur(35).pdf
- PLOEMEUR_Kermadaye(56).pdf
- PLOERDUÏ_Cnet-Even(56).pdf
- PLOEZAL-Stang-Bizien(22).pdf
- PLOMELIN_Boissayam(29).pdf
- PLOUAY_Manebail(56).pdf
- PLOUDANVEL_Lanterie(29).pdf
- PLOUGUIEL_TraduGuern(22).pdf
- PLOUGNEAU_Lamigou(29).pdf
- PLOURAY_Tourlaouen(56).pdf
- PLOURHAÏ_Besuguyen(22).pdf
- PLOURHAN_La-Ville-Hello(22).pdf
- PLOURIN_Kerennan(29).pdf
- PLOÛVE_Keramparc(29).pdf
- PLUVIGNER_Kergoudeier(56).pdf
- POMMERIT-JAUDY_LaunayF12(22).pdf
- RIEUX_LesMoullins(56).pdf
- ROGPEZ_L'Hopital(22).pdf
- ROSPORDEN_Pen-ar-Pont(29).pdf
- ROUDOUALEC_Cost-Minez(56).pdf
- SAINT-AVE_Kerbofin(56).pdf
- SAINT-BRICE-EN-COGLÈS_La-Croix-Madame(35).pdf
- SAINT-BRICE-EN-COGLÈS_LePetitFrontig(35).pdf
- SAINTE-BRIGITTE_LesLogesBauchel(56).pdf
- SAINT-GILDAS-DE-RHUY_Sotpenal(56).pdf
- SAINT-GLEN_Brèna(22).pdf
- SAINT-HELEN_PontAuxChats(22).pdf
- SAINT-HERVE_Berrouze(22).pdf
- SANT-JAULT_Gueblandin(56).pdf
- SANT-LEAU-BREVELAY_Kerdavier(56).pdf
- SANT-MELCIR-DES-ONDES_Perien'ari(35).pdf
- SANT-FOL-DE-LEON_Kenshe(29).pdf
- SANT-REMI-OU-PLAIN_LaTouchel(35).pdf
- SARZEAU_LeRellec(56).pdf
- SEGRIGNAC_Le-Cusquier(29).pdf
- SULNIAC_Lostrouel(56).pdf
- THEIX_Keriv'Ar(56).pdf
- TREBAIL_Pen-Ar-Fraj(29).pdf
- TREBRY_LaPerlaia(22).pdf
- TREFOUMEL_Dezie(22).pdf
- VALDÉE_Saint-Gervais(35).pdf
- VITRE_SVAErensse(35).pdf

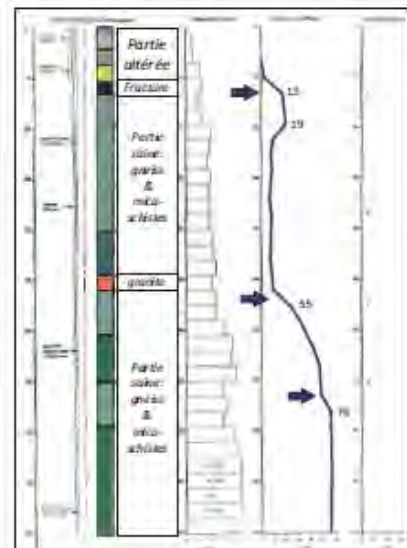
Création pour 100 sites/forages d'une fiche au format A3 Recto/Verso Synthétisant l'ensemble des informations géologiques et hydrogéologiques



PROJET ANAFORE : Fiche
BUBRY Botconan (56)



Localisation de l'ouvrage / du site	
Code BSS	pas en BSS
Département	Morbihan
Commune	Bubry
Lieu-dit	Botconan
X Lambert 93 (m)	236 285
Y Lambert 93 (m)	677 520 6
Altitude du sol (m)	47
Date de réalisation, opérateur	01/01/2016, Géoarmor
Caractéristiques de l'ouvrage (Coupe technique)	
Nature (type foration), nom	forage MFT, B5F1
Profondeur (m)	100
Équipement (prof. en m)	Mein 5 Z, Drapin é 100
Diamètre int. (mm)	φ115 - 100
Usage	Non
Débit instantané	55 m ³ /h
Prof. cimentation (m)	1,5

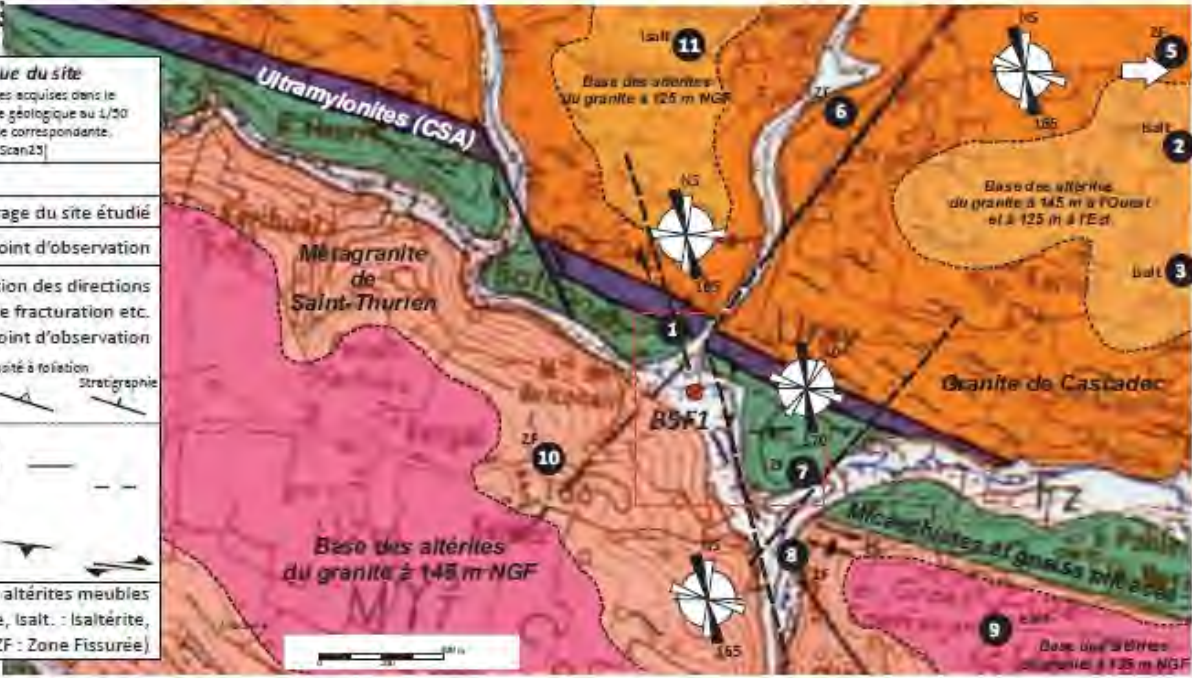


GEOLOGIE

Carte géologique du site
(superposition des données acquises dans le projet ANAFORE, sur la carte géologique au 1/20 000 harmonisée/ou feuille correspondante, fond topo IGN Scan23)

Légende

- Ouvrage du site étudié
- ② Point d'observation
- Orientation des directions de fracturation etc. au point d'observation
- 180 Fente de tension
- Schistosité à foliation
- Stratigraphie
- Faïlle (ou fracturation) observée en trait plein
- supposée en pointillé
- normale
- inverse
- décrochante
- Base des altérites meubles (Allo.: allotérite, lsait.: lsaltérite, ZF: Zone Fissurée)



Caractéristiques géologiques du site

Contexte géologique	granite bryocéen en bordure d'un bassin éolochne
Lithologie (nbr; nature)	1; granite grossier de Port-à-Abbé
Fracturations (nbr)	3/4
Direction 1	N140 - N180
Direction 2	N80 - N120
Direction 3	N040
Géophysique (Oui/Non)	Oui
Faïlle majeure (O/N, nom)	Oui (CSA)
Épaisseur altérites meubles (m)	15

Cadre géologique :
Le site est en bordure du Cisaillement Sud Armorican (CSA), faille majeure régionale ayant joué en décrochement dextre. Les lithologies au niveau de l'ouvrage et décrites sur les données de forage montrent des mélanges de micaschistes et de gneiss micacés mais aussi la présence de granites. La direction structurale associée au CSA est la direction N120, correspondant à l'orientation de la schistosité régionale, recoupée par une famille de failles/fractures NS (N170) à N150 souvent verticale et à sa famille conjuguée N040 (points 1 et 8). Ces directions secondaires ont un jeu aussi décrochant mais senestre, avec une composante verticale qu'il est possible



d'observer par le décalage de la base des altérites meubles. Ce découpage tectonique vient se surimposer :

Sur la partie Sud-Ouest de la carte, la base des altérites meubles se situe à 145 m NGF environ alors que les parties Nord-Est et Est, elle se situe à environ 125 et 130/135 m NGF.

La géométrie de l'ensemble montrerait un système de dièdres effondrés et surélevés, délimités par des failles NS à N170 et N150 avec des pendages importants pouvant être orientés vers l'Ouest ou vers l'Est.

(1) à un évènement d'altération dont la base des altérites meubles peut être considérée comme une surface repère (de référence).

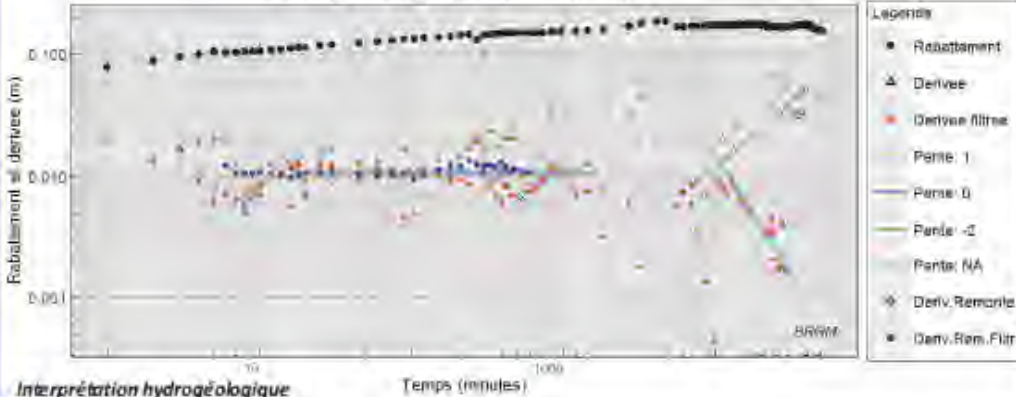
(2) à l'ensemble des lithologies (qui bordent le CSA) et des structures héritées (CSA) et qui peuvent avoir localement rejoint pour accommoder le régime de contraintes tectoniques de cet épisode.

Exemple du recto d'une fiche au format A3 Synthésisant l'ensemble des informations géologiques et hydrogéologiques



HYDROGÉOLOGIE

BUBRY_Botzanan_156) : Diagnostic - LOG-LOG



Interprétation hydrogéologique

Le diagnostic est réalisé sur le forage B2-F5, forage proche de celui décrit sur la page recto car ce forage n'avait pas bénéficié d'un essai de pompage. L'essai de pompage s'est fait avec un débit de 13 m³/h sur une durée de 35 jours.

Après des effets de puits durant les 10 premières minutes, un écoulement radial est observé sur la quasi-totalité de l'essai (pente de dérivée nulle), ce qui semble caractériser un réservoir relativement homogène. La transmissivité estimée durant cette phase est de $2,1 \cdot 10^{-3}$ m²/s.

La fin de l'essai indique la présence d'une limite de réalimentation pouvant être liée à la pluie venue perturber la fin de l'essai ou à la présence de la rivière située à proximité. Il n'est pas possible de déterminer d'autres limites pour cet aquifère.

Cet aquifère a un coefficient d'emmagasinement de $5 \cdot 10^{-4}$. Hélas, aucune carte piézométrique n'est disponible pour appuyer ou plus étayer ce diagnostic.

Diagnostic essai de pompage longue durée	
Durée pompage (jours)	35,1
Échec/échec débit (nd)	0
Débit moyen (m ³ /h)	13
Transmissivité écoulement radial (m ² /s)	$2,08 \cdot 10^{-3}$
Pertes de charges (m)	-

Linéairement ré-interprété et correspondant à une mesure de terrain



Carte d'isopénetrie des terrains (en W/m) revalorisée et ré-interprétée de la géophysique acquise sur le site de Botzanan (Genotier, 1994)

Caractéristiques hydrogéologiques du site	
Débit injecté (m ³ /h)	55
Vitesse d'eau (m/s)	7
Prof. stat. d'eau (m)	55 m
Débit d'exploitation (m ³ /h)	7
Transmissivité (m ² /s)	$2,10 \cdot 10^{-3}$
Coeff. d'emmagasinement (S)	$5,00 \cdot 10^{-4}$
Artésianisme	NON
Date essai	27/10/1985
Boré: BFCATMOR 15/111-B, janvier 1986	
Qualité de l'eau (fin d'essai de pompage)	
Conductivité (µS/cm)	305
pH	6,4
Nitrates (mg/l)	5,5
Fer (mg/l)	-
Manganèse (mg/l)	-
Sulfates (mg/l)	112,2
Chlorures (mg/l)	94,2

Caractéristiques géométriques du site	
Date d'acquisition (en m)	6 100
Morphologie du site	9 020 m x 6 300
Orientations des sondes	S-O
Orientations radiales de sondage	N-O et N-E
Zone d'essai	centre de la zone
Capacité (en l/s)	200
Hauteur	2100 à 2200
Influence sur le DPT	Tronçon

**Projet de loi d'orientation

INTERPRÉTATION HYDRO-GÉOLOGIQUE

La géométrie de l'ensemble montre un système de dièdres effondrés et surélevés, délimités par :

- des failles NS à N170 et N150 avec des pendages importants pouvant être orientés vers l'Ouest ou vers l'Est.
- des failles N040 90, conjuguées aux premières.

Ce découpage tectonique vient se surimposer :

- à un événement d'altération dont la base des altérites meubles peut être considérée comme la surface repère (de référence),
- à l'ensemble des lithologies (qui bordent le CSA) et des structures héritées (CSA), qui peuvent avoir localement joué pour accommoder la déformation tectonique.

D'un point de vue de l'hydraulique souterraine, la ré-interprétation de l'essai de pompage, montre un écoulement radial qui souligne un réservoir homogène avec une limite de réalimentation correspondant soit à une rivière soit à une pluie.

Exemple du verso d'une fiche au format A3 Synthétisant l'ensemble des informations géologiques et hydrogéologiques



ANAFORE : De nouvelles typologies d'aquifères de socle déclinées en une cartographie des Zones Potentiellement Productrices (ZPP) en eau souterraine pour devenir des Zones de Sauvegarde pour le Futur (ZSF)

Le forage d'eau en domaine de socle : Portrait-robot



Le forage d'eau en domaine de socle : Portrait-robot

Les Lithologies et les contextes géologiques ...



Nbre	Lithologies et/ou contexte au droit du forage (litho-contexte)	Effectifs	1er regroupement
1	Amphibolite	2	2
2	Auréole de métamorphisme : amphibolite - schistes volcano-pelitiques	2	22
3	Auréole de métamorphisme : corneenne & schiste tachete sous grès armoricain	1	
4	Auréole de métamorphisme : corneenne & schiste tachete	13	
5	Auréole de métamorphisme : dans l'apex d'un granite	1	
6	Auréole de métamorphisme : granites et micaschistes tachetes	1	
7	Auréole de métamorphisme : Granodiorite (Roche magmatique acide proche du granite)	1	
8	Auréole de métamorphisme : Micaschistes	1	
9	Auréole de métamorphisme : Schistes briovériens au sens large	1	
10	Auréole de métamorphisme : Schistes et quartzites	1	
11	Calcschistes sous schistes argileux	1	
12	Faille (car multi-lithologies)	1	1
13	Gabbro (Roche magmatique basique)	1	1
14	Granite	14	14
15	Granite & amphibolite	1	4
16	Granite & micaschistes	1	
17	Granite mylonitique (granite déformé - roche de faille)	1	
18	Granite/gneiss + quartz (filon)	1	
19	Granites & granodiorites	1	5
20	Granodiorite	2	
21	Granodiorite (+ faille : quartz)	2	
22	Granodiorite & dolérite	1	1
23	Granodiorite sous un bassin tertiaire	1	1
24	Gres (armoricain) & Quartzite	4	7
25	Gres (armoricain) : grès et schistes	2	
26	Gres paleozoïque	1	
27	Micaschistes dans le toit d'un detachment extensif recoupe par faille/fracture NS + Bassin extensif EW	2	2
28	Micaschistes	4	16
29	Micaschistes & granite	3	
30	Micaschistes & paragneiss	4	
31	Micaschistes & quartzites	2	
32	Micaschistes et/ou schistes briovériens	2	
33	Micaschistes fractures	1	
34	Migmatites & dolérites	2	2
35	Schistes silto-argileux + dolérites	3	19
36	Quartzites + Schistes briovériens	1	
37	Schistes silto-argileux + grès	1	
38	Schistes silto-argileux + poudingues	1	
39	Schistes argilo-greux + failles/fractures N150 et NS	1	
40	Schistes, grès et quartzites	3	
41	Schistes et quartzites	1	
42	Schistes greso-argileux alteres sous les gres de Courouet	2	
43	Schistes briovériens alteres fractures	2	
44	Schistes briovériens alteres	1	
45	Schistes briovériens pélitico-argileux localement gréseux + Faluns	1	
46	Schistes briovériens (cataclases ?)	1	
47	Schistes greseux briovériens + failles/fractures N150 et NS	1	
49	Volcanites	2	
		100	100
		49 litho/contextes	16 groupes



En saumon : **Roches métamorphiques**
 En vert : **Roches magmatiques**
 En jaune : **Roches métasédimentaires**
 En Bleu : **Roches volcaniques**

49 litho-contextes qui peuvent donner
16 groupes par exemple sur des affinités
 lithologiques

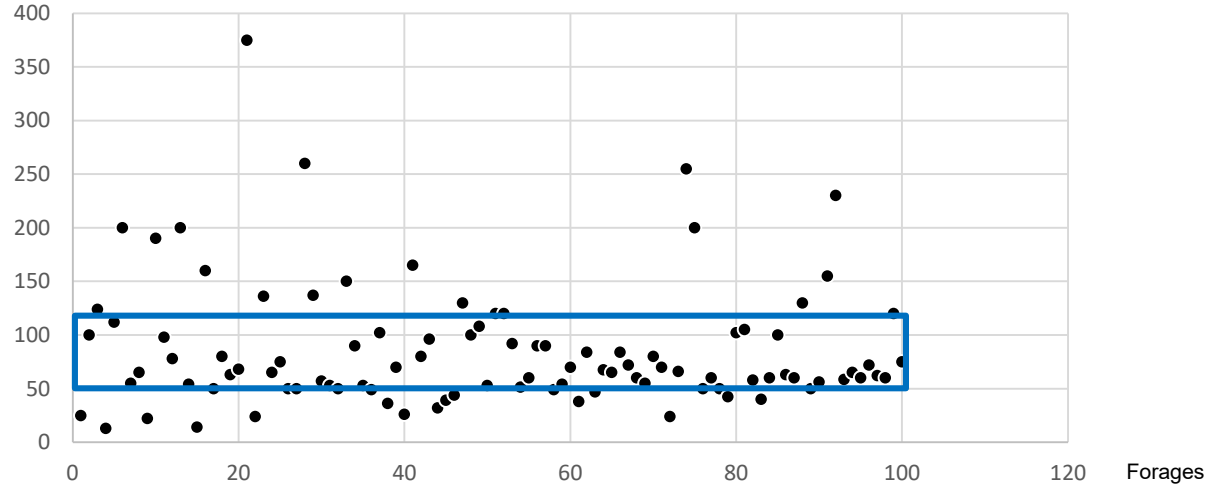
Mais le regroupement pas satisfaisant car trop
 éclectique comme les roches du massif armoricain

...

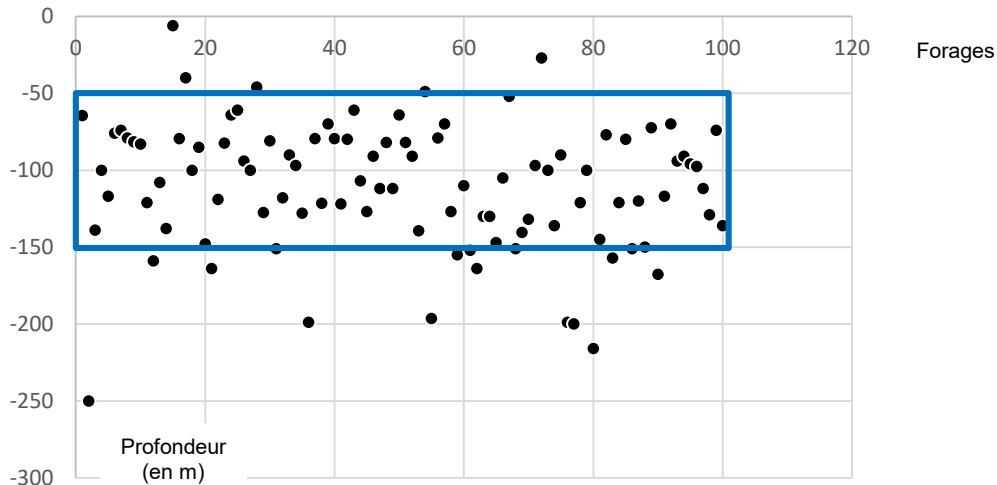
Le forage d'eau en domaine de socle : Portrait-robot

Débits inst.
(en m³/h)

Les débits instantanés des 100 forages ANAFORE



Profondeurs des 100 forages ANAFORE



Les débits instantanés et les profondeurs de ces forages

Débit instantané moyen de 85,7 m³/h

Débit instantané maximum de 375 m³/h

Débit instantané minimum de 14 m³/h

Débit instantané
compris entre 50 et 125 m³/h

Ces 100 forages constituent un débit instantané
total
de 8573,4 m³/h

Profondeur moyenne de -110,25 m

Profondeur maximum de -250 m

Profondeur minimum de -6 m

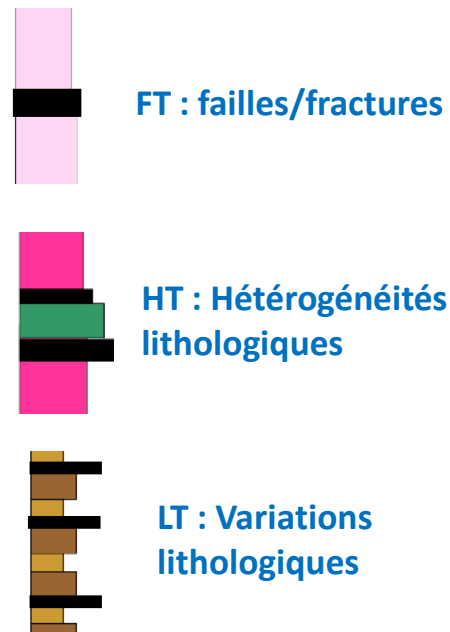
Profondeur comprise
entre -50 et -150 m



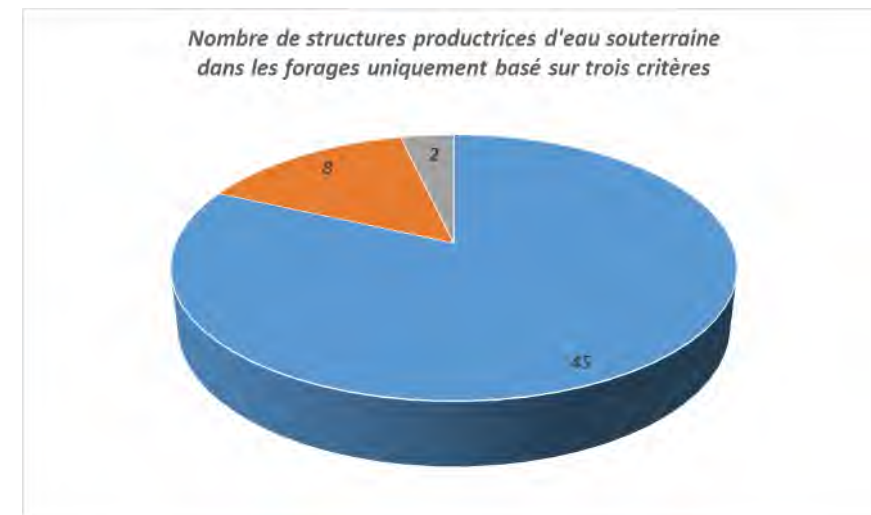
Le forage d'eau en domaine de socle : Portrait-robot

Qu'est ce qui fait circuler l'eau souterraine sur ces 100 forages ?

Trois types de structures permettent de faire circuler l'eau souterraine dans les forages



- Les structures qui permettent de faire circuler l'eau souterraine :
- FT pour les failles/fractures (45)
 - HT, les hétérogénéités lithologiques (8)
 - Et les LT, les variations de roches de nature très différente (2) (comme une alternance de grès et de schistes par exemple)



Le forage d'eau en domaine de socle : Portrait-robot

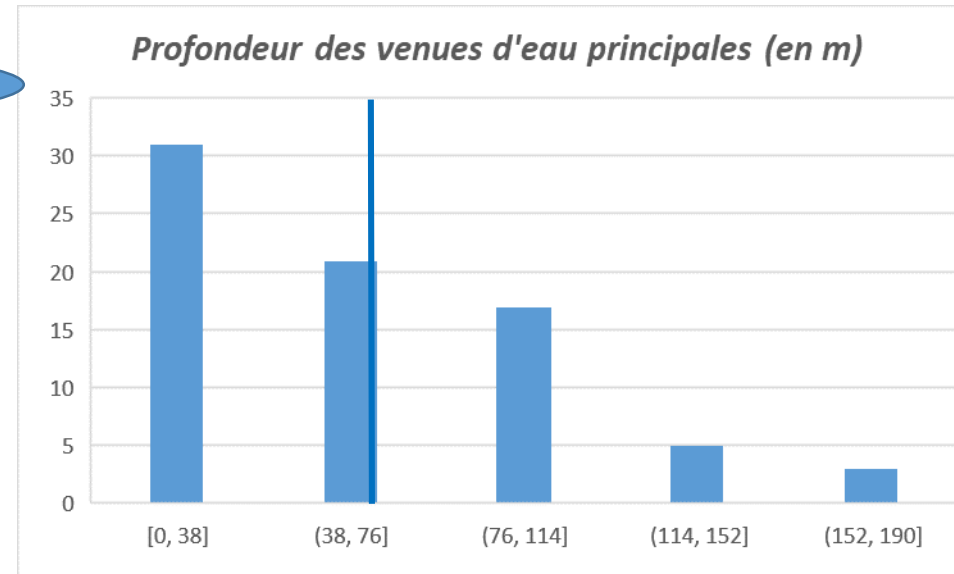
Nbre de venues d'eau	Nbre de forages
Venues d'eau (nombre)	Effectifs
6	6
7	3
8	1
9	1
10	2
11	1
13	1

Les nombres de venues d'eau ... fonction de structures géologiques

En majorité de 1 à 5 venues d'eau :
48 (50%)
Et
Venues multiples sur 9 sites (10%)

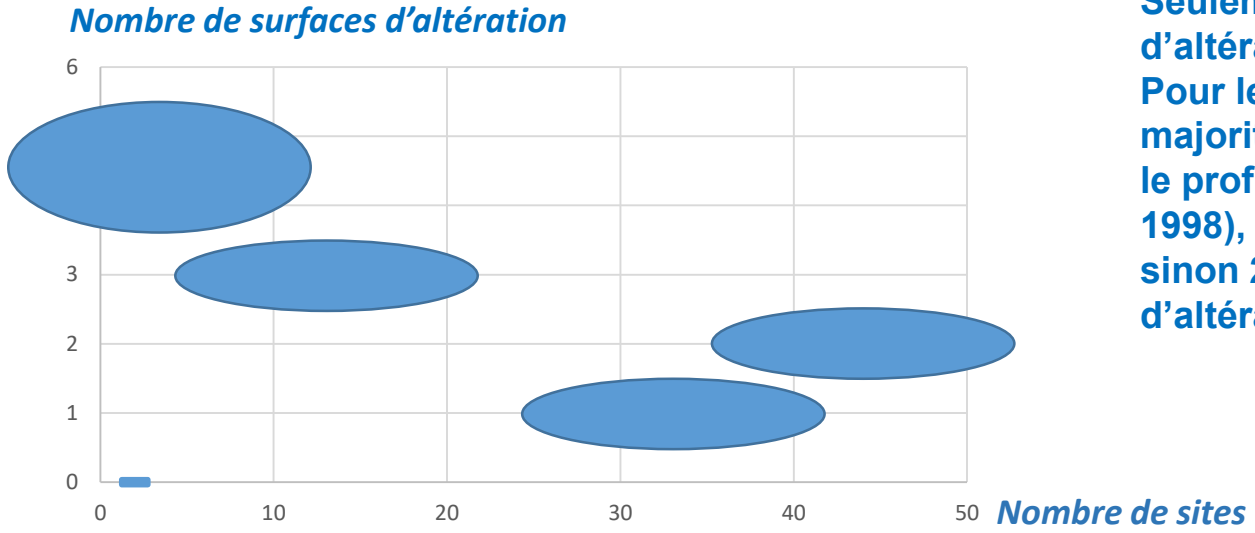
Profondeur moyenne à -72,5 m
mais sur 17 forages, les arrivées
sont continues ...

*Venues d'eau multiples
Lorsqu'il n'est plus possible de
Les distinguer !*



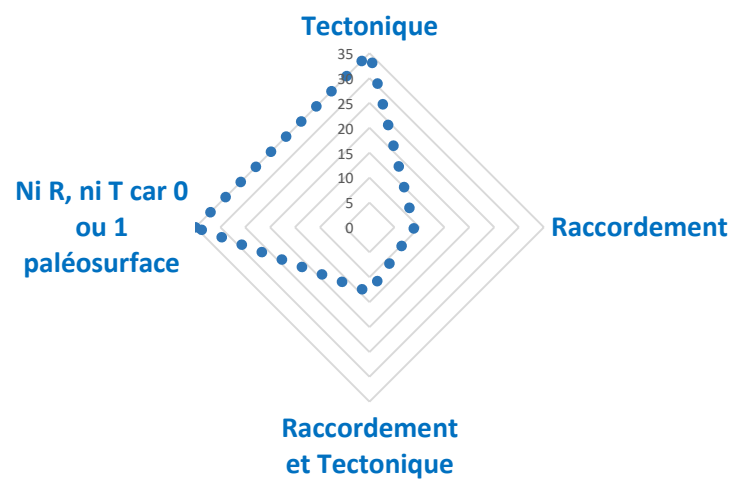
Le forage d'eau en domaine de socle : Portrait-robot

Qu'est ce qui fait circuler l'eau souterraine sur ces 100 forages ?



Seulement sur 2 sites la surface d'altération n'a pas été identifiée. Pour le reste des sites, la grande majorité a au moins 1 (comme sur le profil théorique de R. Wyns 1998), sinon 2, 3, 4 jusqu'à 5 surfaces d'altération.

Relation entre les différentes surfaces d'altération

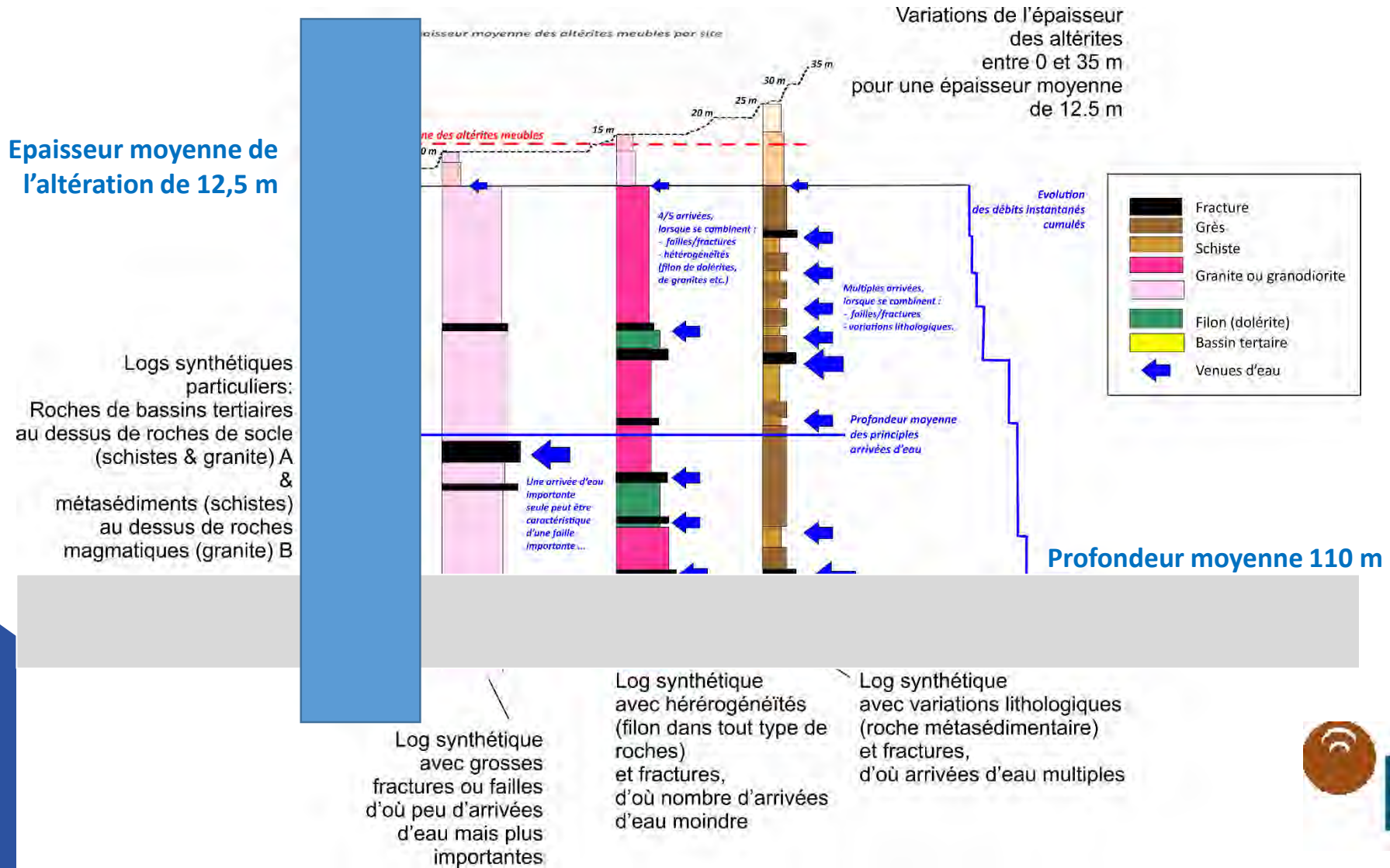


- Les relations entre ces surfaces d'altération sont de plusieurs types :
- soit tectonique (T; majoritairement),
 - soit pas talus de raccordement (R; pas de relation par faille),
 - Ou bien mixte entre en tectonique et raccordement,
 - et enfin (A) ne s'applique pas car il n'y a qu'une seule surface.



Le forage d'eau en domaine de socle : Portrait-robot

Ceci permet de dresser plusieurs portraits robots !



L'analyse tectonique et le circulation d'eau souterraine

Quelques
affleurements
clés



Fouesnant (29)
Structures
Extensives N090
et
halos d'altération
(granite hercynien)

L'analyse tectonique et le circulation d'eau souterraine

Quelques
affleurements
clés



Iffendic (35) : carrière de grès armoricains
Structures
extensives N150
et
halos d'altération
(Grès armoricains)

L'analyse tectonique et le circulation d'eau souterraine

Quelques
affleurements
clés



Mont-Dol (35)
Structures
Extensives NS
et
Niveaux altérés
(granodiorite cadomienne)



L'analyse tectonique et le circulation d'eau souterraine

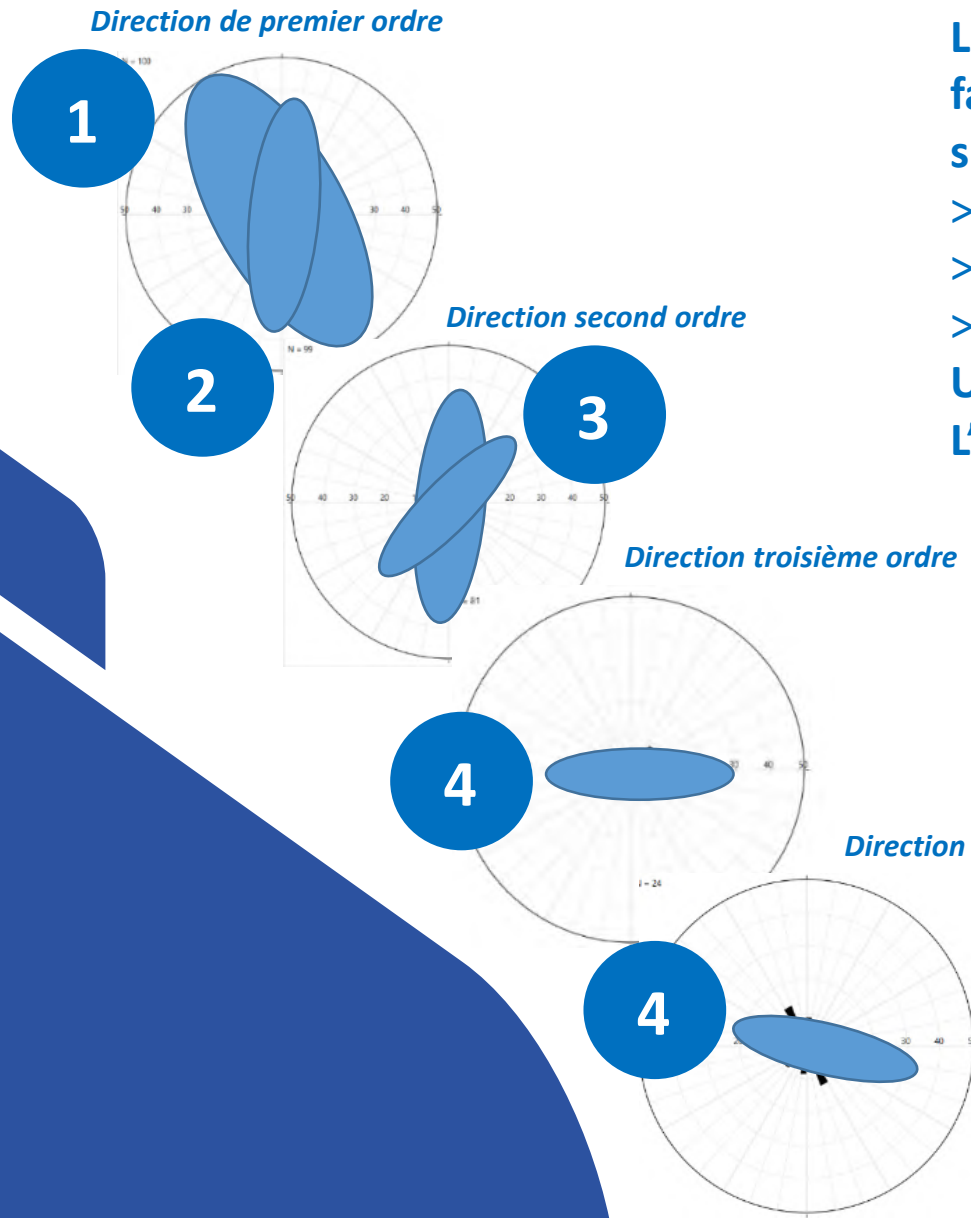
Quelques affleurements clés



Ploemeur (56)
Structures
Extensives N020
et
halos d'altération
(granite hercynien
et altération importante)



L'analyse tectonique et le circulation d'eau souterraine



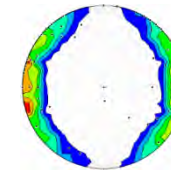
Les orientations (par rapport au Nord) des failles/fractures principales mesurées sur les sites sont :

- > N150 (Nord-Ouest/Sud-Est),
- > NS (Nord/Sud)
- > et N045 (Nord-Est/Sud-Ouest).

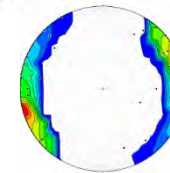
Une direction secondaire est autour de : L'EW (Est-Ouest).

Les pendages (c'est-à-dire l'inclinaison des failles/fractures) sont assez abrupts ...
Avec une orientation soit Est (E) soit Ouest (O) de 65 à 85°.

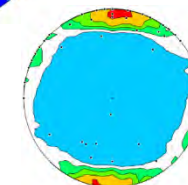
Plan moyen N144 **65 et 85°E ou O**



Plan moyen N024 **55 et 85°E ou O**



Plan moyen N095 **20 et 85°E ou O**

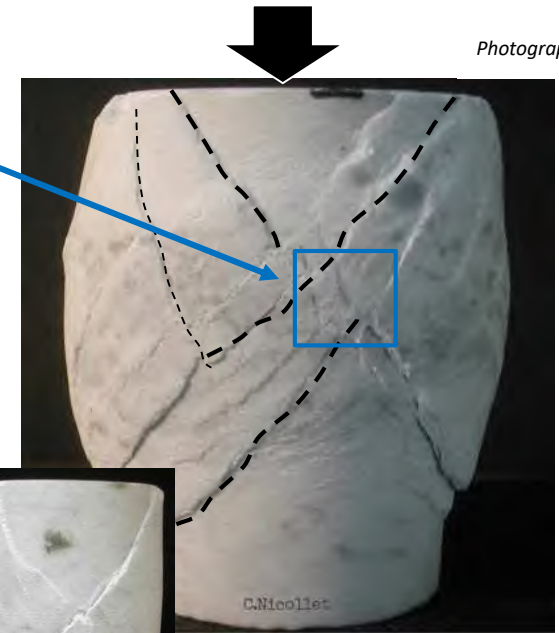
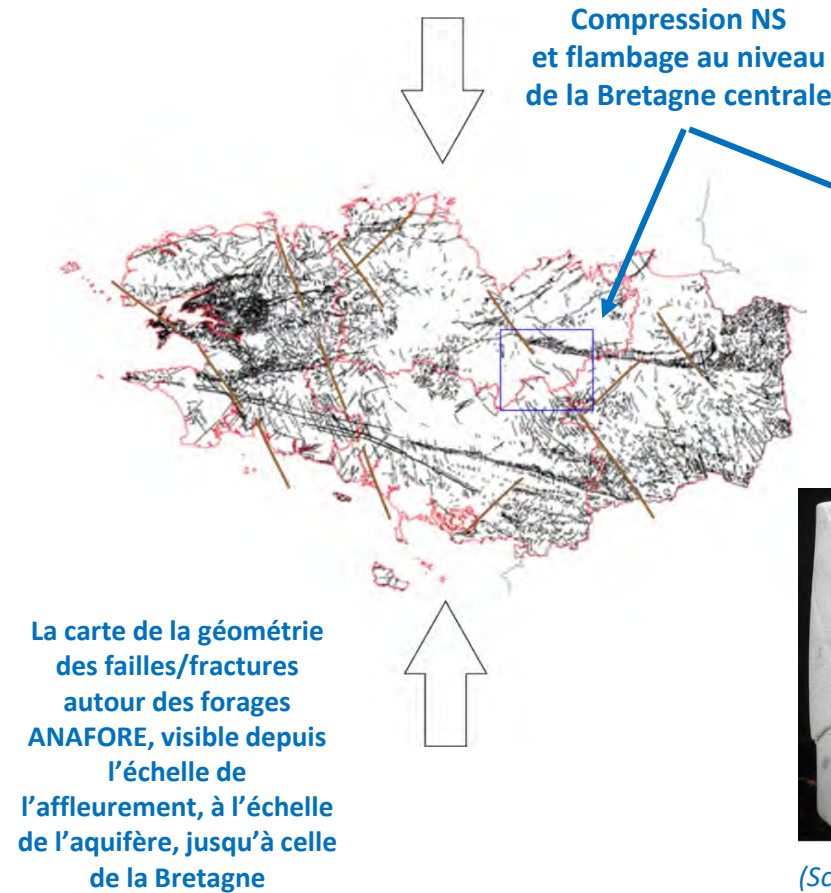
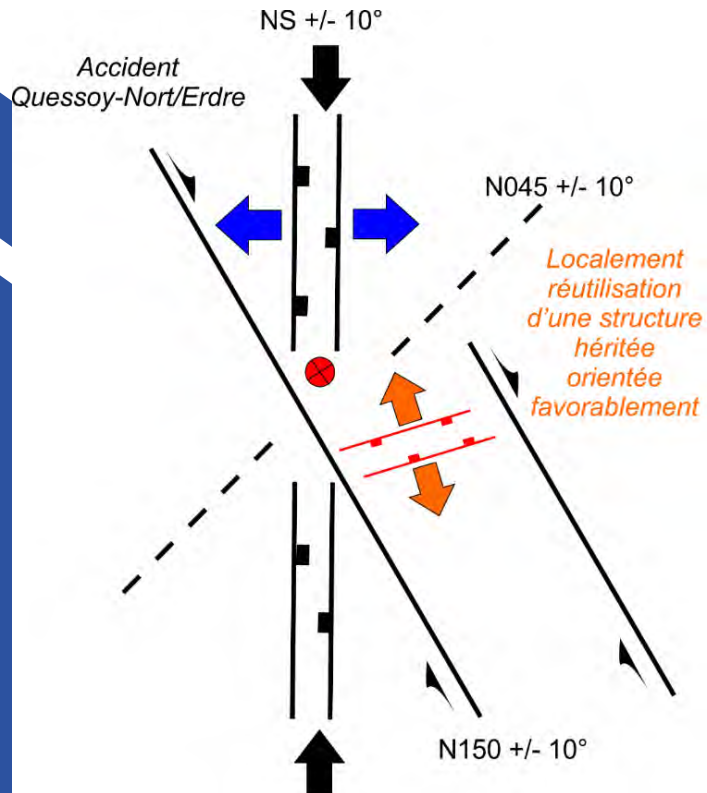


Un modèle tectonique que l'on reconnaît sur quasi la totalité des sites, avec comme directions préférentielles le N150° +/- 20°, le NS +/- 20°N150 et le N045 +/- 20°.

Une direction secondaire, celle EW parfois réutilisée

Explication du modèle tectonique de déformation de la Bretagne : Sous la poussée pyrénéenne Nord-Sud, flambage de la péninsule bretonne et création de reliefs positifs (où on observe plusieurs profils d'altération) et de reliefs négatifs (les bassins tertiaires).

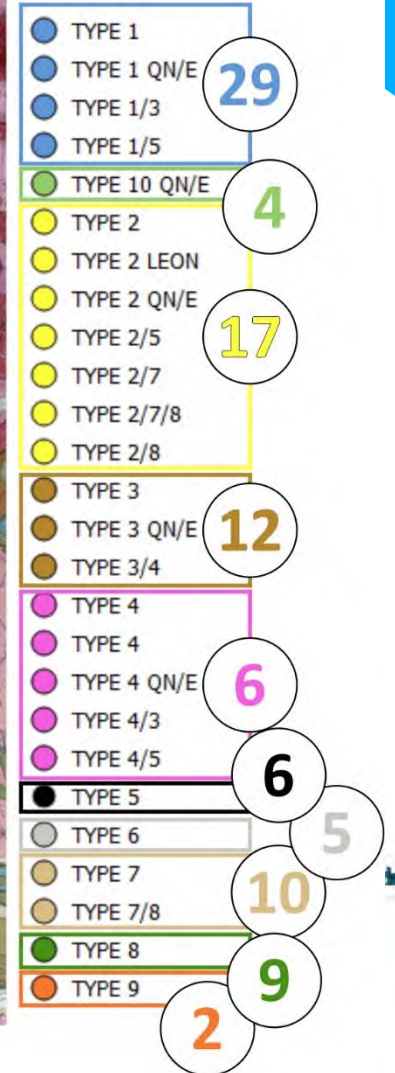
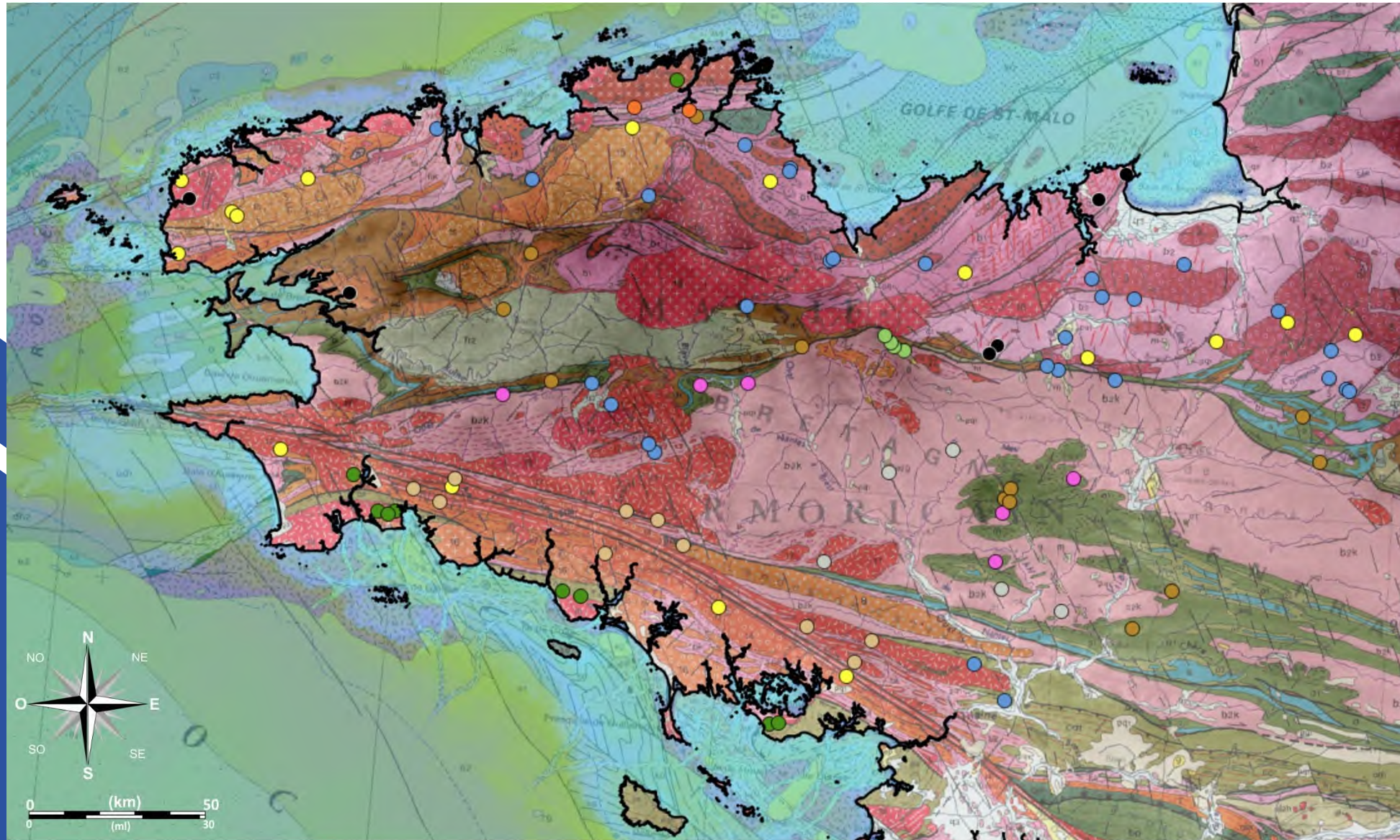
Vue en carte



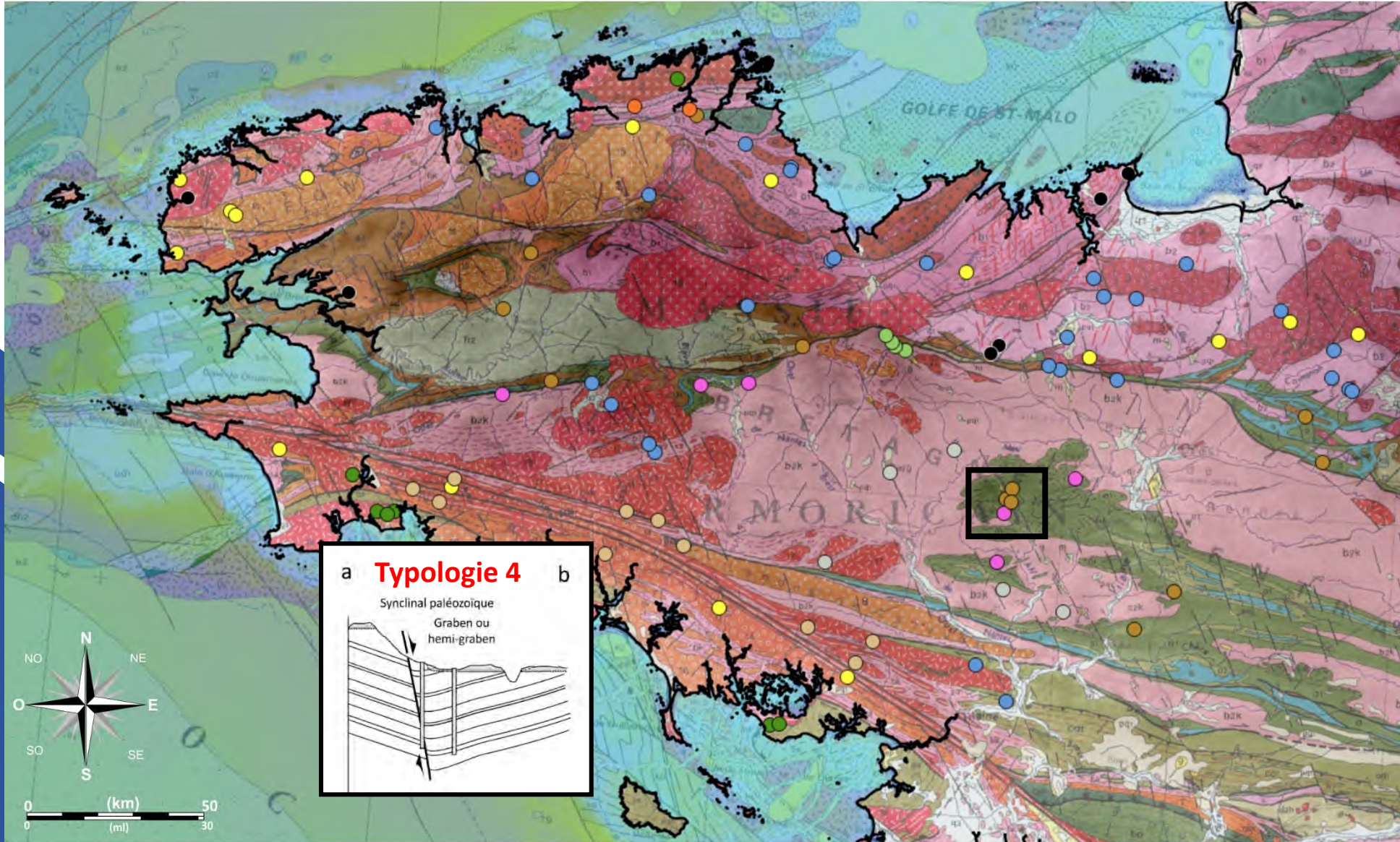
(Schroetter et al., 2020)



L'ensemble des 100 forages peuvent être regroupés dans **10 typologies ou contextes géologiques** dans lesquels les failles/fractures ont un rôle déterminant, associées à l'altération des roches.

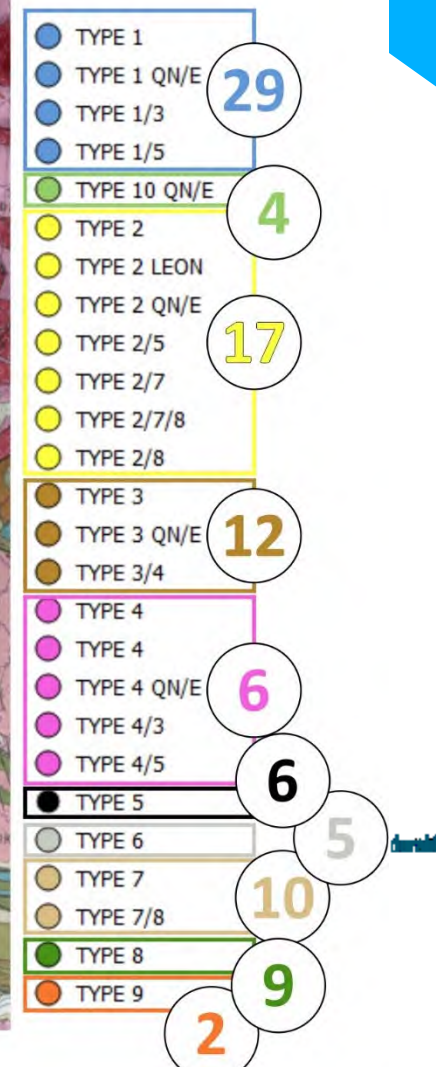
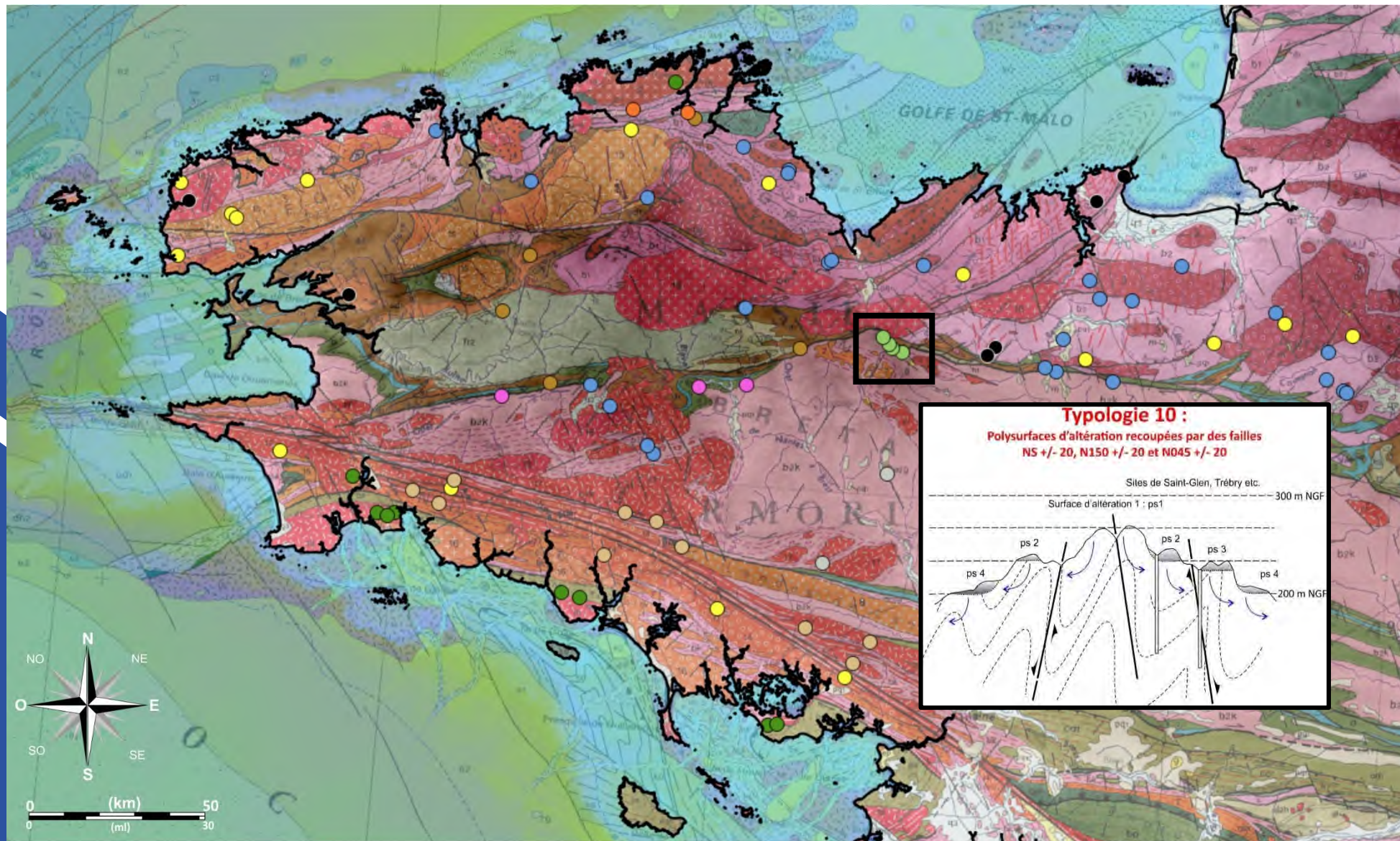


L'ensemble des 100 forages peuvent être regroupés dans **10 typologies ou contextes géologiques** dans lesquels les failles/fractures ont un rôle déterminant, associées à l'altération des roches.

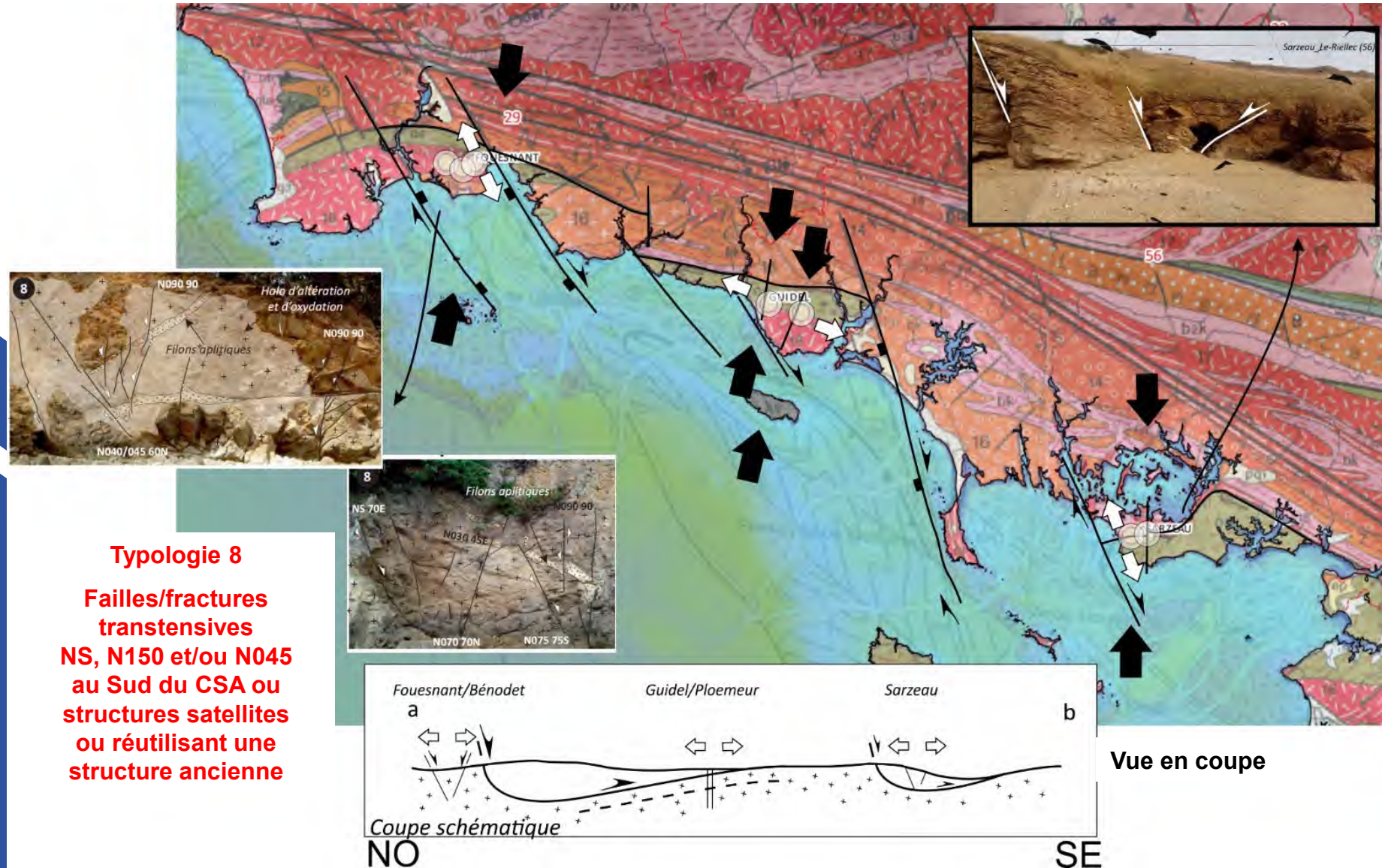


- TYPE 1
 - TYPE 1 QN/E
 - TYPE 1/3
 - TYPE 1/5
 - TYPE 10 QN/E
 - TYPE 2
 - TYPE 2 LEON
 - TYPE 2 QN/E
 - TYPE 2/5
 - TYPE 2/7
 - TYPE 2/7/8
 - TYPE 2/8
 - TYPE 3
 - TYPE 3 QN/E
 - TYPE 3/4
 - TYPE 4
 - TYPE 4
 - TYPE 4 QN/E
 - TYPE 4/3
 - TYPE 4/5
 - TYPE 5
 - TYPE 6
 - TYPE 7
 - TYPE 7/8
 - TYPE 8
 - TYPE 9
- 29
- 4
- 17
- 12
- 6
- 6
- 5
- 10
- 9
- 2

L'ensemble des 100 forages peuvent être regroupés dans **10 typologies ou contextes géologiques** dans lesquels les failles/fractures ont un rôle déterminant, associées à l'altération des roches.



L'ensemble des 100 forages peuvent être regroupés dans **10 typologies ou contextes géologiques** dans lesquels les failles/fractures ont un rôle déterminant, associées à l'altération des roches.



Quelques typologies

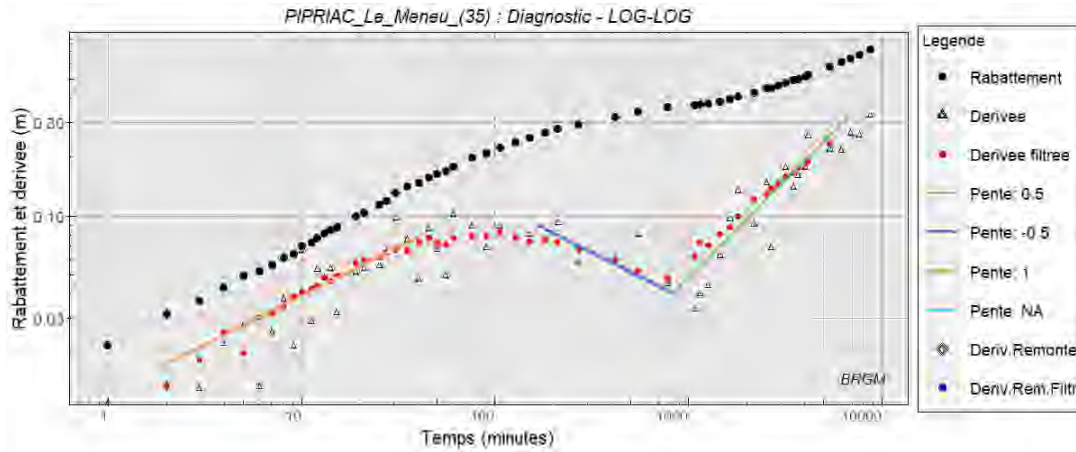
...



Typologies hydrauliques/hydrogéologiques

Analyse d'essais de pompage

Outil développé par Benoit DEWANDEL (BRGM Montpellier)
et déployé par Alexandre BOISSON (BRGM Bretagne)



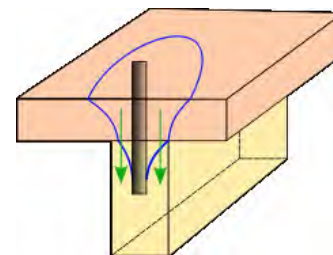
Comportement au puits Comportement aquifère Limites



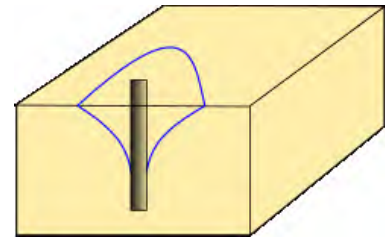
Lien avec la géologie



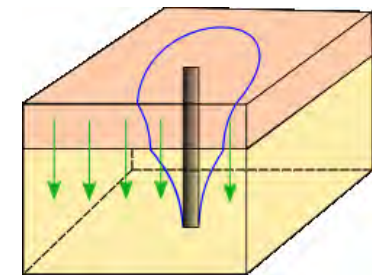
Typologie hydraulique/hydrogéologique



Typologies hydrauliques/hydrogéologiques

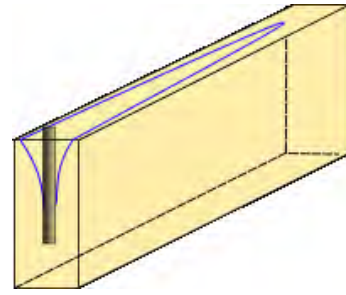


Radial Homogène

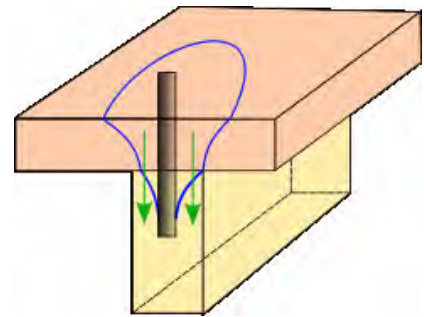


Radial + drainance

F : faille
R : radial
D : drainance
L : limite
AL : limite d'alimentation

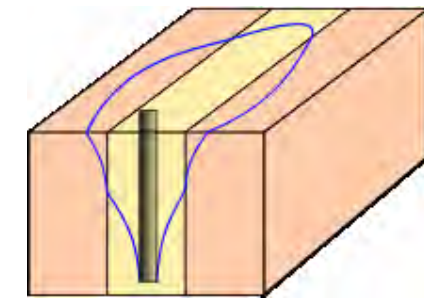


Faille ou corridor



Faille + drainance

Failles & compartiments



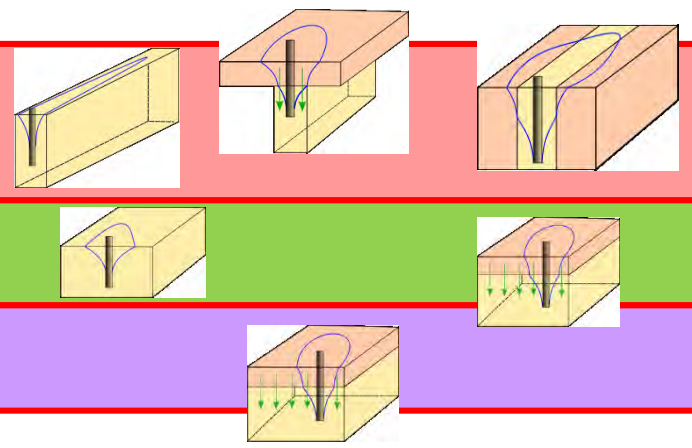
Compartmentation

Typologies hydrauliques/hydrogéologiques

Effectifs & Répartition

F : faille
R : radial
D : drainance

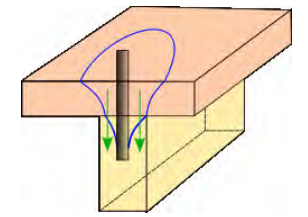
Sites	Nombre	% des sites analysés
N.A	30	
Total	100	



43

20

7



F-D cas le plus représenté

Typologies hydrauliques/hydrogéologiques

Influence sur la productivité

F : faille
R : radial
D : drainance

Débits critiques des ouvrages (m3/h)		
Type	Moyenne	Medianne
F	43.1	28.5
F-R	36.7	29.4
F-D	32.2	35.0
R	19.4	16.3
R-D	22.7	13.9
D	23.9	13.0
D-R	10.0	10.0
Total	22.9	15.5
Fxx	36.1	30.0
Dxx	25.5	16.0
Rxx	27.1	19.9



14 des 15 sites les plus productifs



Importance des failles ou écoulements linéaires sur les forages les plus productifs

Typologies hydrauliques/hydrogéologiques

Orientation des failles sollicitées



Val-d'Izé

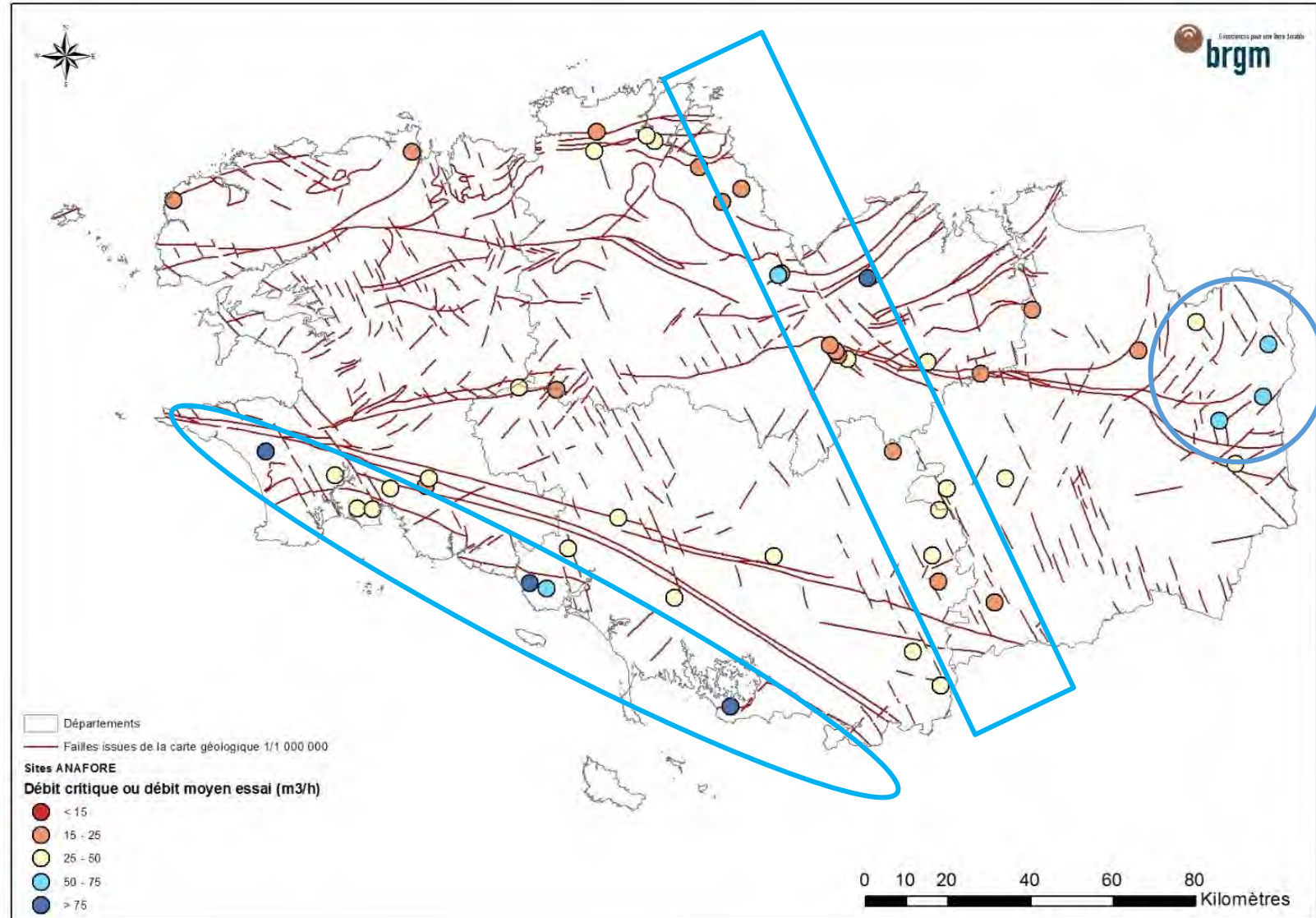
"Familles" de failles	Effectif	%
N150	20	46.5
N150 - N45	9	20.9
N45	6	14.0
NS	5	11.6
Autres	3	7.0
Total	43	100



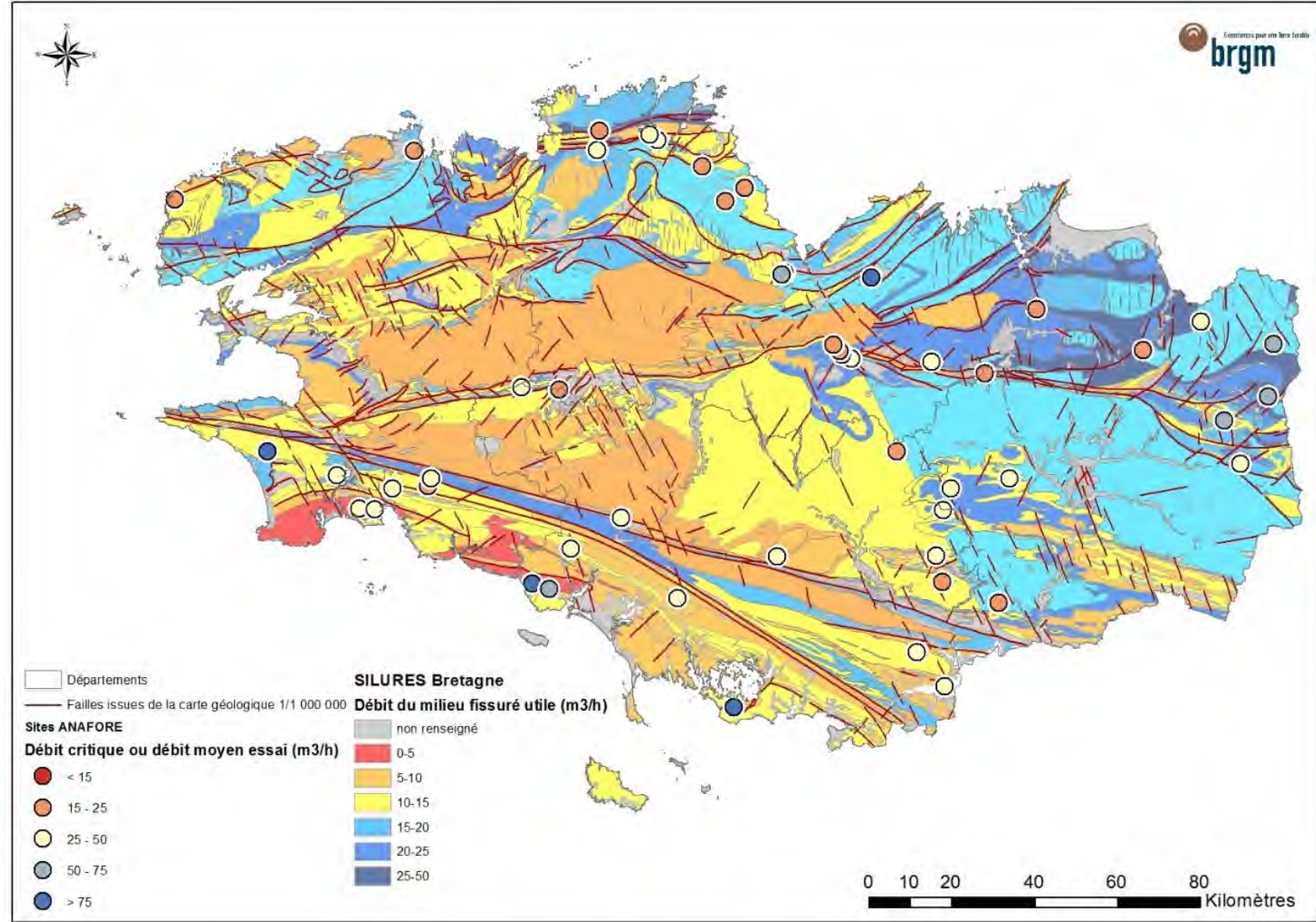
Importance de la direction N150 et systèmes liés

Typologies hydrauliques/hydrogéologiques

Hydrogéologie – Débits critiques d'ANAFORE > 15 m³/h



Typologies hydrauliques/hydrogéologiques



La cartographie des Zones Potentiellement Productrices va combiner :

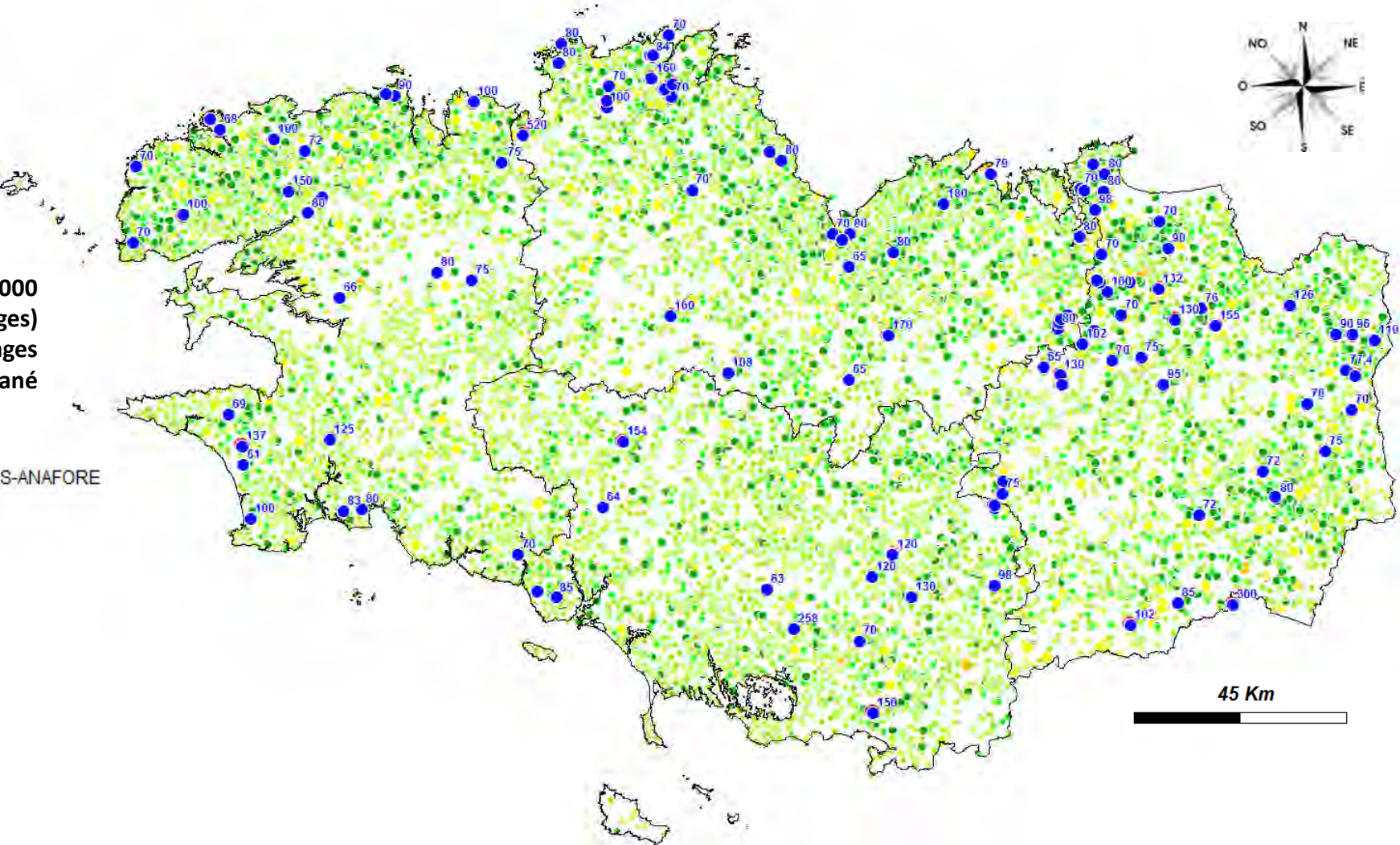
- 1 – Toute l'analyse ANAFORE : géologique au sens large et hydrogéologique,
- 2 - Failles potentielles identifiées et validées statistiquement,
- 3 - Les roches potentiellement productrices identifiées et validées statistiquement,
- 4 - Les bassins versants dits « immédiats » de petites tailles avec un nombre plus ou moins importants de forages supérieurs à 40 m³/h,
- 5 - Les failles les plus importantes en terme de jeux tectoniques ...

Sélection des forages avec des débits instantanés supérieurs à 40 m³/h

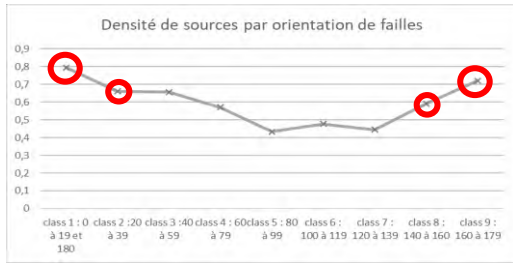
**BD forages souterrains Montage ANAFORE (8000 forages)
+ SILURES (12 000 forages) TOTAL : 19684 forages
avec débit instantané**

DEBIT en m3/h des forages des BD SILURES-ANAFORE

- 120 - 520 (37)
- 90 - 120 (27)
- 60 - 90 (112)
- 30 - 60 (774)
- 15 - 30 (2175)
- 10 - 15 (2137)
- 5 - 10 (4819)
- 0 - 5 (9603)



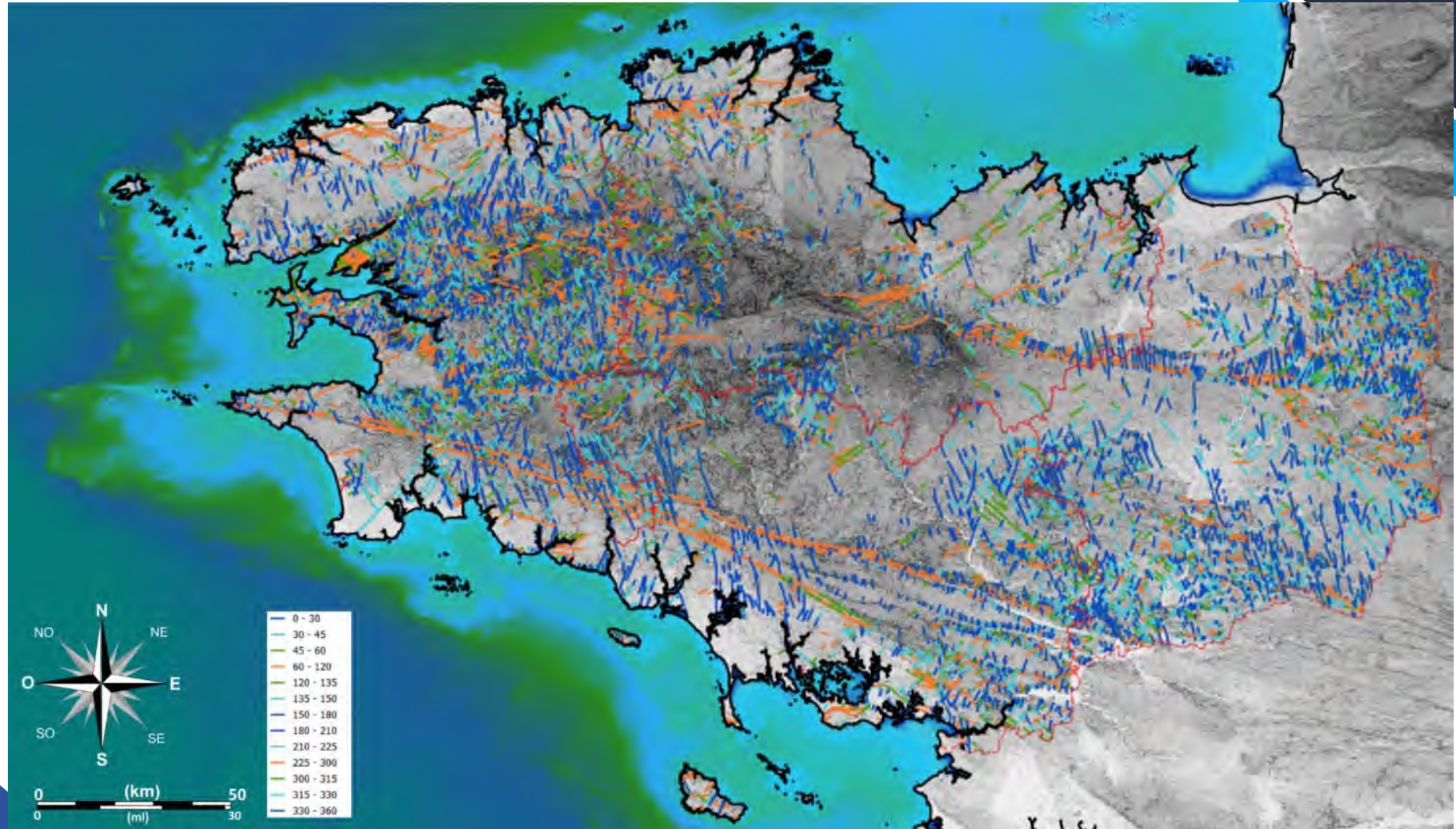
Failles des cartes géologiques au 1/50 000, classées grâce à l'analyse de terrain et à leur densité par rapport aux sources



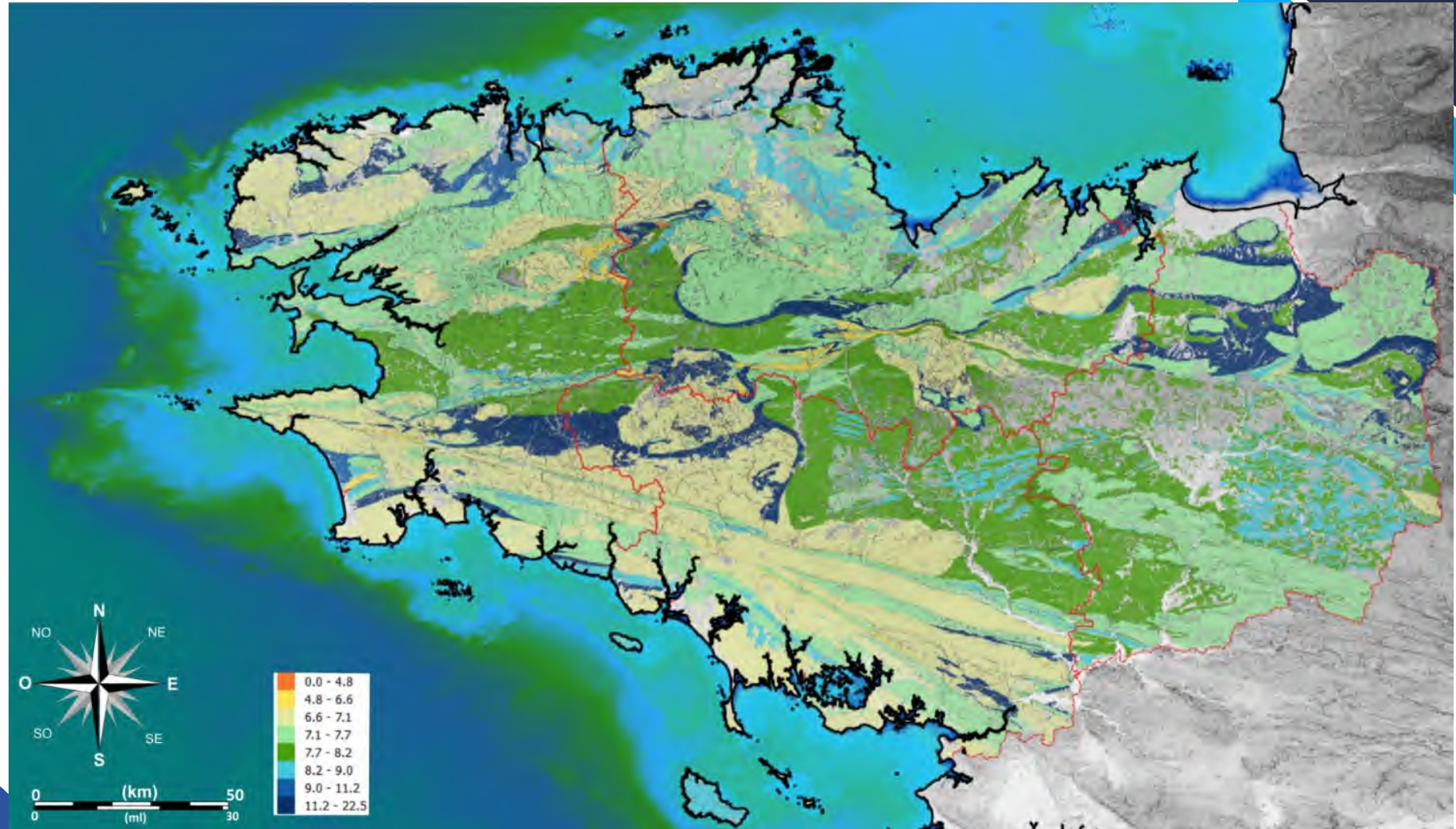
Densité des sources fonction des directions de failles ressortent clairement les orientations identifiées sur le terrain d'ANAFORE

Les directions autour de la direction NS ont des densités de sources supérieures à celles EW

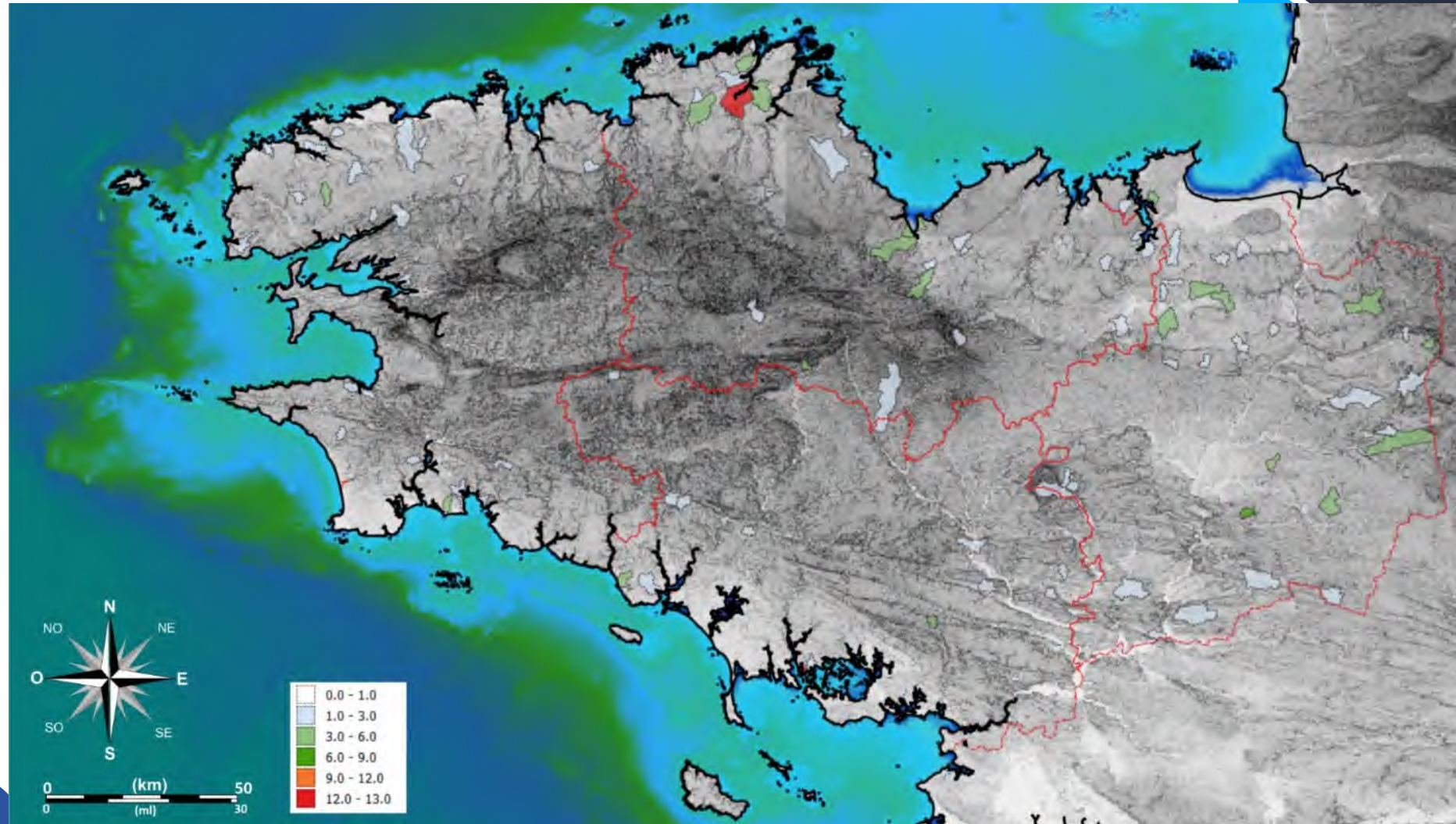
class 1 : 0 à 19 et 180	0,79
class 2 : 20 à 39	0,66
class 3 : 40 à 59	0,66
class 4 : 60 à 79	0,57
class 5 : 80 à 99	0,43
class 6 : 100 à 119	0,48
class 7 : 120 à 139	0,44
class 8 : 140 à 160	0,59
class 9 : 160 à 179	0,72



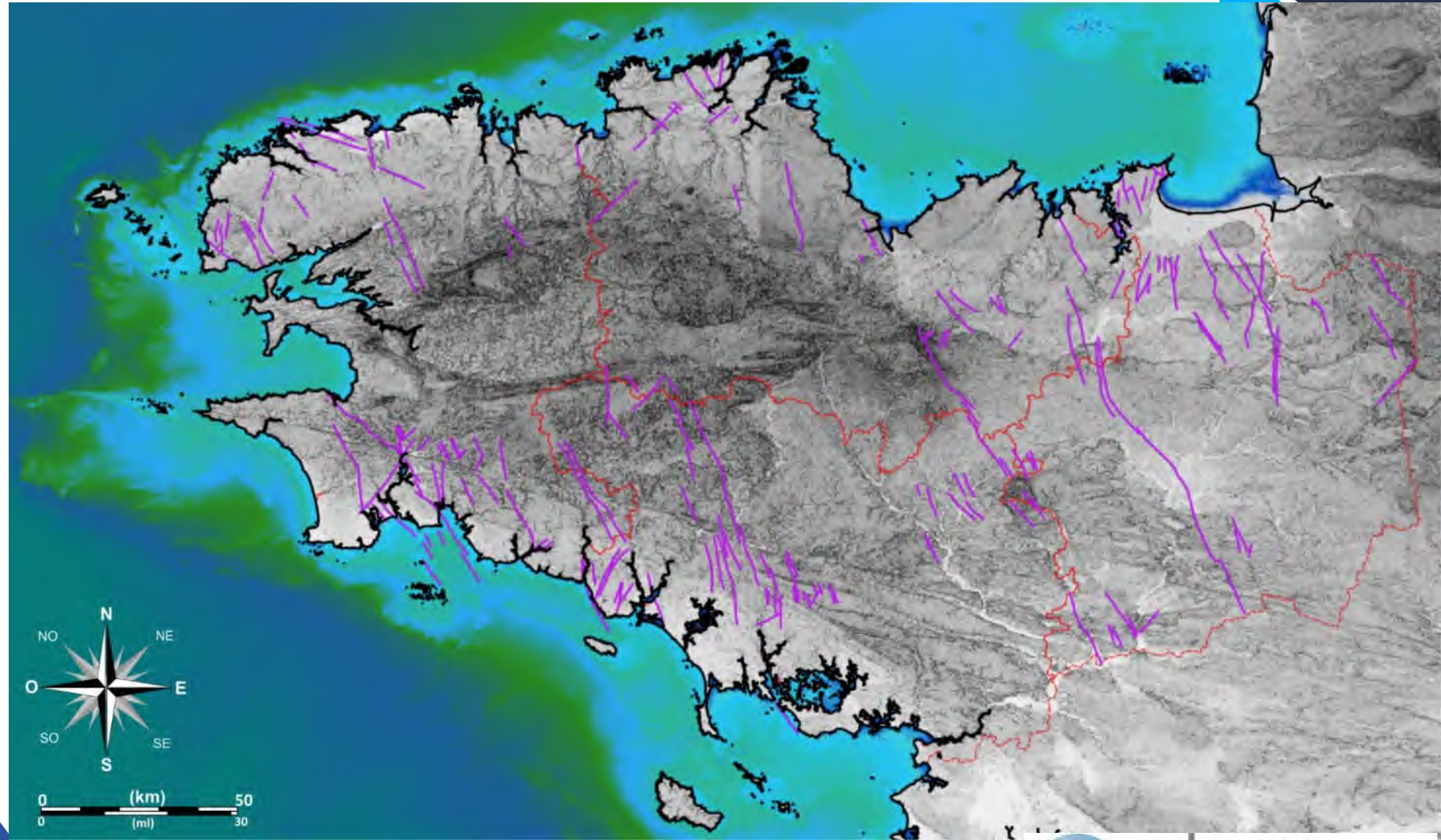
Harmonisation des lithologies des cartes géologiques au 1/50 000, classées avec leur débit instantané moyen



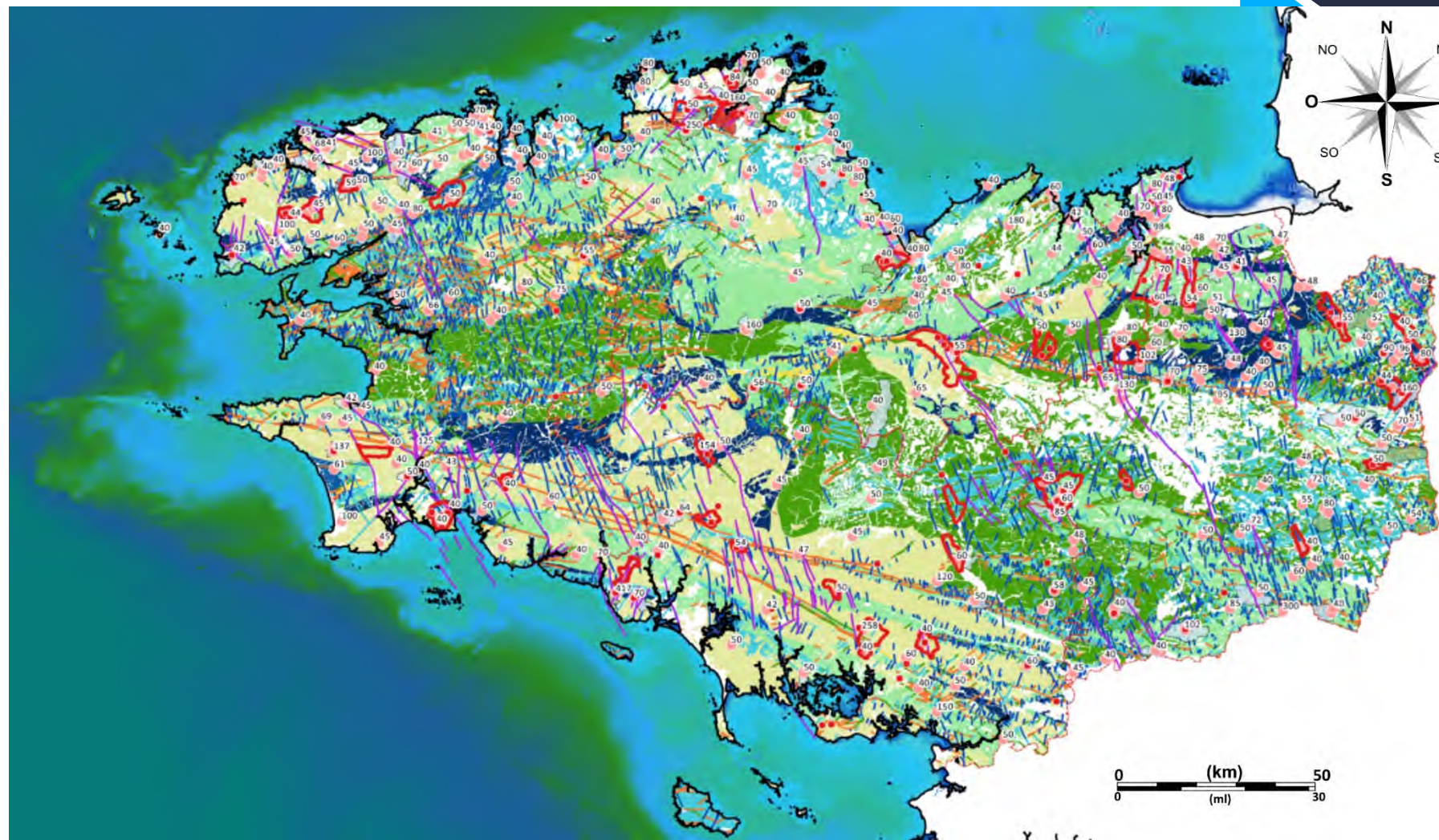
Les bassins versants immédiats avec le nombre des forages avec des débits instantanés supérieurs à 40 m³/h



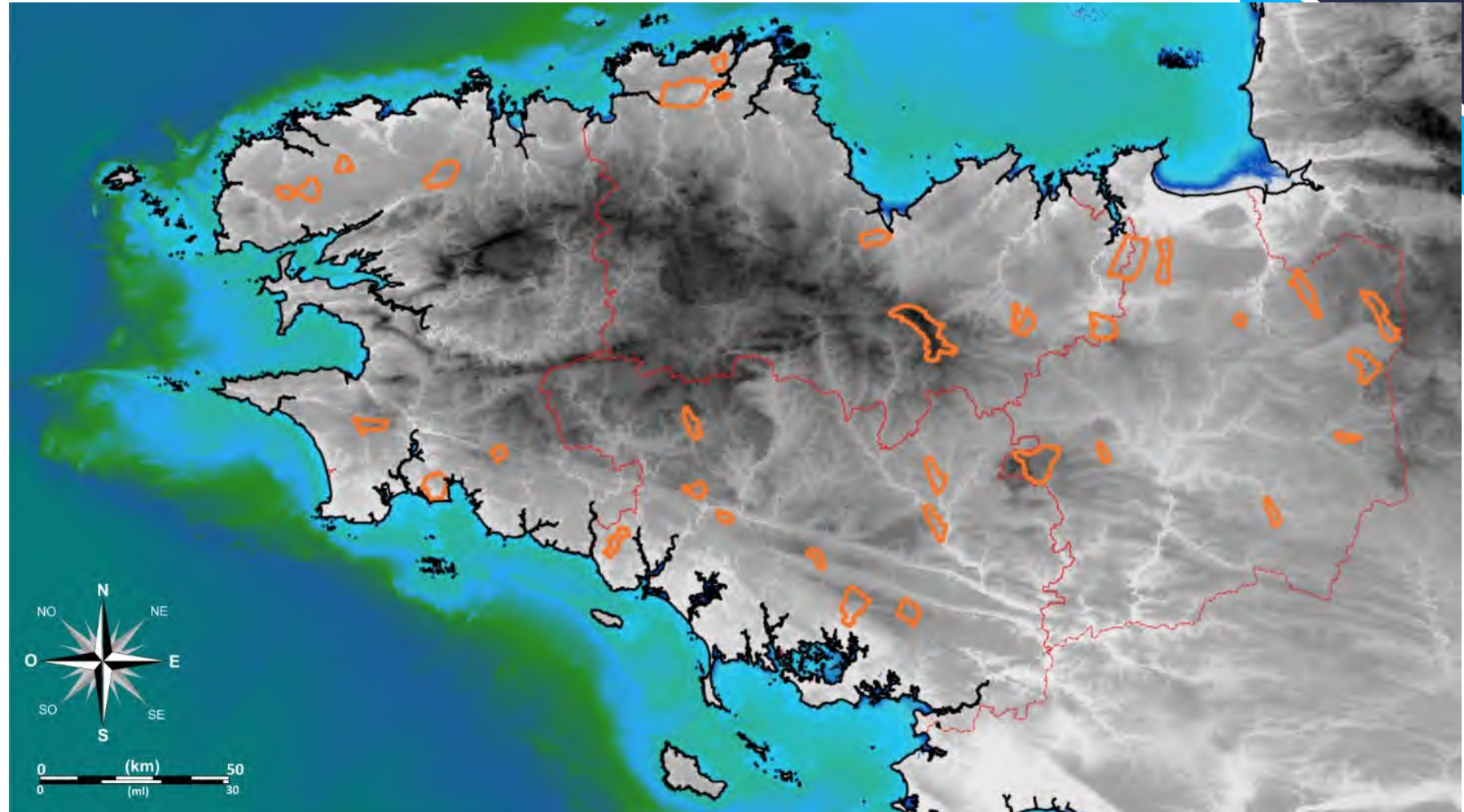
Failles NS, N150 à N045
avec les rejets apparents
les plus importants et
linéaments manquants
aux cartes géologiques
(digitalisation au 1/50
000)



La délimitation des ZPP jongle entre structures tectoniques, lithologies favorables, forages avec de fortes productions d'eau souterraine identifiées et bassins versants « immédiats » favorables.



La délimitation des ZPP jongle entre structures tectoniques, lithologies favorables, forages avec de fortes productions d'eau souterraine identifiées et bassins versants « immédiats » favorables.



CONCLUSIONS & DISCUSSIONS

AU DELA DES ZPP, ANAFORE A PERMIS :

- DE DEFINIR DE NOUVEAUX TYPES D'AQUIFERES DE SOCLE ;
- DE DEFINIR QUELS SECTEURS PEUVENT ETRE PROPICES OU AU MOINS COMMENT LES RECHERCHER SUR UN SECTEUR ET MIEUX IMPLANTER CES OUVRAGES DE RECONNAISSANCES EN FONCTION DES FAILLES/FRACTURES ;
- ET DE MIEUX DIAGNOSTIQUER LES CIRCULATIONS SOUTERRAINES, A TRAVERS LE DEVELOPPEMENT D'UN OUTIL PERFORMANT (METHODE DES DERIVEES) AFIN DE MIEUX CARACTERISER LA TAILLE DE L'AQUIFERE IMMEDIAT.

Avec le soutien de :



COLLOQUE GESTION DES EAUX SOUTERRAINES

Du 15 au 17 février 2023

à l'ENSEGID - Bordeaux INP

ANAFORE : De nouvelles typologies d'aquifères de socle déclinées en une cartographie des Zones Potentiellement Productrices (ZPP) en eau souterraine pour devenir des Zones de Sauvegarde pour le Futur (ZSF)

MERCI POUR VOTRE ATTENTION !

