

# CASPAR : Caractérisation des Aquifères Semi-Profonds ARmoricaains

## Bulletin d'information annuel Projet CASPAR N° 2



### Les eaux souterraines dans les roches de socle

#### - Rappel du contexte du projet

Les régions de socle (granite et roches métamorphiques) sont caractérisées en général par de modestes ressources en eau souterraine circonscrites à la sub-surface au sein du profil d'altération, soit dans les 60 à 100 premiers mètres depuis la surface. Les débits des forages y sont relativement faibles, quelques m<sup>3</sup>/h en moyenne. Cependant, au cours des 15 à 20 dernières années, quelques rares forages profonds, jusqu'à 300 m, ont été réalisés en Bretagne. Certains de ces forages, comme ceux du projet RAPSODI\* ont rencontré des structures perméables significatives avec des débits supérieurs à 80 m<sup>3</sup>/h très en dessous des horizons de sub-surface classiquement exploités. L'objectif du projet CASPAR est donc de préciser la nature de ces zones productives profondes et d'identifier leurs relations avec les eaux souterraines de surface.

Le projet CASPAR s'inscrit dans une dynamique portant d'une part sur les questions que posent les aquifères « profonds » dans les formations de socle, et d'autre part entre le BRGM et l'Observatoire des Sciences de l'Université de Rennes (OSUR) sur la caractérisation plus générale de ces milieux complexes. On retiendra les collaborations sur les projets GEOFRAC (Hydrogéodésie appliquée aux systèmes fracturés), CINERGY (forage profond à Charles-de-Bretagne) ainsi que dans le cadre de trois thèses de doctorat sur les aquifères de socle en Inde, les aquifères profonds en Bretagne et sur la microbiologie des eaux souterraines de Bretagne.

*\* Recherche d'Aquifères Profonds dans le SOCLE du Département de l'Ille-et-Vilaine. Projet co-financé par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, la Région Bretagne, le département de l'Ille-et-Vilaine, le SMG35 et le BRGM.*



Site de Saint Brice-en-Coglès, forage carotté de 250 m (COFOR-mai-juill.2011)

#### Sommaire :

- Les eaux souterraines dans les roches de socle
- Les objectifs de CASPAR
- Les nouveaux forages
- L'essai de pompage de 9 semaines
- Qu'avons-nous appris ?

#### Les objectifs du projet CASPAR

Ce projet R&D vise à améliorer la connaissance scientifique des aquifères complexes que renferment les formations de socle. Il s'inscrit directement dans la lignée de travaux précédents -projet RAPSODI et expérimentations menées par l'OSUR à Ploemeur [Morbihan]- où l'existence de niveaux productifs profonds, sous le profil d'altération classiquement capté par les forages, est mise en évidence.

Les objectifs et questions scientifiques de CASPAR sont (1) de ca-

ractériser la nature, l'origine, la géométrie et les propriétés de ces structures perméables profondes, (2) de préciser leur rôle sur les écoulements d'eau souterraine et leur capacité à « déclencher » des réactions chimiques, (3) d'identifier leurs connexions avec les aquifères de sub-surface et profonds, et (4) de contribuer à déterminer si ces structures sont favorables vis-à-vis d'une exploitation durable tant d'un point quantitatif que qualitatif.

#### Editorial

**Le projet CASPAR a démarré début 2010. Au cours de cette deuxième année de projet, de nombreuses expérimentations de terrain ont été réalisées notamment sur le site de St Brice: forage carotté de 250 m, pompage de très longue durée (9 semaines), mesures physiques en forage, expérimentations géophysiques de surface, etc. Toutes ces réalisations ont suscité l'intérêt et la participation de nombreuses équipes scientifiques - OSUR, BRGM, Universités du Mans et de Brest - soit la mobilisation de plus d'une trentaine de personnes sans compter la participation active des propriétaires locaux.**

**Les premiers résultats sur la structure géologique du sous-sol, la géochimie, l'hydrodynamique, etc., ont permis l'élaboration d'un schéma conceptuel préliminaire du fonctionnement de cet aquifère profond.**

**Plusieurs réunions entre l'OSUR et le BRGM ont eu lieu ainsi qu'une réunion d'avancement à Rennes en janvier dernier avec les partenaires du projet qui a permis de présenter les premiers résultats scientifiques.**

Bonne lecture,

B. Dewandel & L. Aquilina



Etablissement public du ministère chargé du développement durable



### Le choix des sites d'études

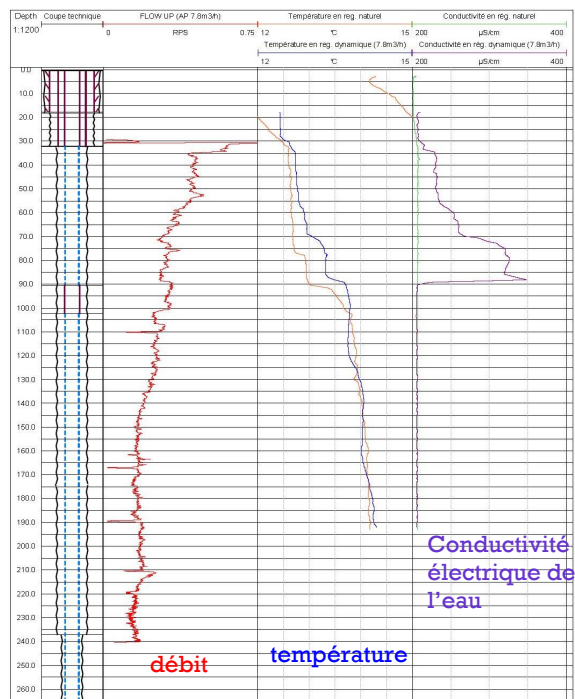
Afin de répondre aux objectifs du projet, trois sites ont été choisis pour mener le programme de recherche. Suite aux résultats du projet RAPSO-DI, le site de Saint Brice-en-Coglès, a été retenu pour mener des investigations plus détaillées en raison de la présence d'importantes venues d'eau en profondeur (entre 110 et 210 m) avec un débit de l'ordre 80 m<sup>3</sup>/h. Il a notamment été réalisé 3 forages de reconnaissance et une série de pompages dont un de 9 semaines.

D'autres investigations, moins détaillées, ont été menées sur les forages F6 (forêt de Rennes [Liffré]) et F1 (la Chapelle Janson). Ces investigations permettent de disposer d'une part d'un référentiel sur un aquifère profond très faiblement productif (F6), et

d'autre part, d'informations sur la présence de structures perméables au sein de l'horizon perméable de sub-surface (F1).



**Micro-moulinet (mesures de débit en forage)**

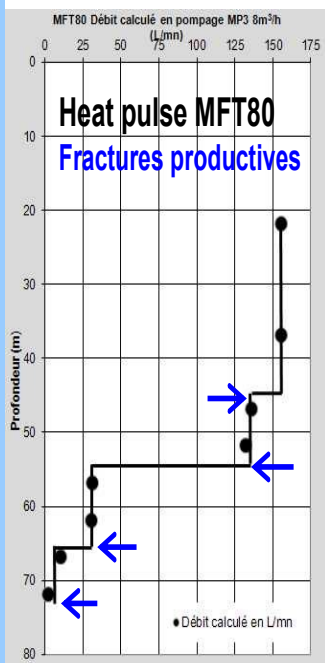


**Mesures physiques en forage (diagaphies) ; réalisées par l'OSUR sur le forage F1**

### Animation du projet

Plusieurs réunions ont eu lieu entre le BRGM et l'OSUR afin de discuter de la planification des phases du projet, et notamment de la réalisation des ouvrages de reconnaissance et du déroulement des tests hydrauliques (pompages) sur le site de Saint Brice-en-Coglès.

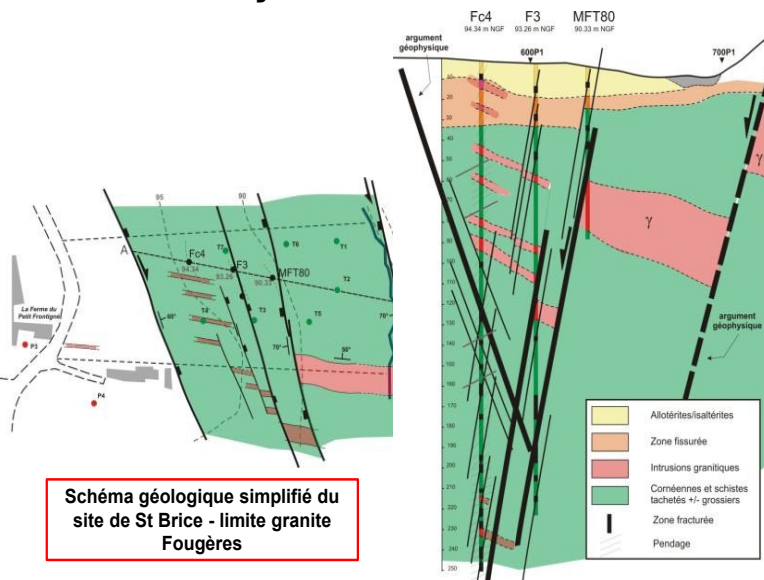
Une réunion d'avancement du projet s'est tenue à Rennes le 24 janvier 2012. Cette réunion, deuxième réunion d'inter-visibilité entre les partenaires scientifiques et les co-financeurs du projet, a eu pour but de présenter les réalisations faites depuis l'année dernière ainsi que les résultats majeurs. Un point sur les conventions a aussi été fait.



**Localisation des zones productives sur l'ouvrage MFT80 (St Brice) : mesures « heat pulse » réalisées par l'OSUR.**

### Tâche 1 & 2 : Caractérisation de la structure de l'aquifère « semi-profond » et de l'état naturel du système

Ces tâches sont aujourd'hui achevées. Elles se sont concrétisées par la réalisation d'expérimentations géophysiques (panneaux électriques réalisés en 2010), de relevés géologiques en surface et en forage, de prélèvements d'échantillons d'eau destinés aux mesures géochimiques et à la datation des eaux, de mesures hydrogéologiques (diagaphies) et par la mise en place de capteurs automatiques de surveillance des niveaux d'eau sur les sites de St Brice, la Chapelle Janson et Liffré.



**Schéma géologique simplifié du site de St Brice - limite granite Fougères**

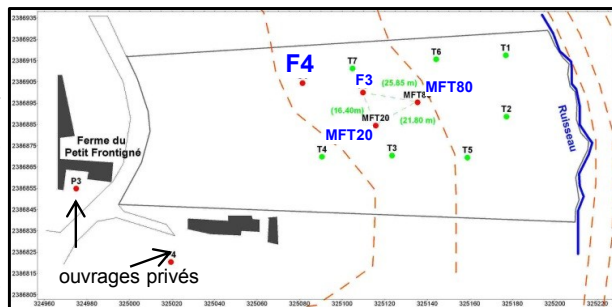
**Schéma géologique simplifié du site de St Brice-en-Coglès (à gauche vue aérienne, à droite vue en coupe); réalisé par le BRGM.**

Conformément aux précédents résultats, les datations ont affirmé que les eaux profondes du site de St Brice se sont infiltrées il y a au moins 50-60 ans.

### Tâche 3 & 4 : Forages complémentaires sur le site de Saint Brice et géologie des nouveaux forages

Ces deux tâches sont aujourd'hui réalisées. Elles se sont concrétisées par la réalisation de trois forages de reconnaissance sur le site de Saint Brice-en-Coglès : deux en destructif de 20 et 80 m de profondeur - MFT20 et MFT80 - réalisé en 2010 par AQUASSYS, et un forage carotté -F4- profond de 250 m, réalisé en 2011 par COFOR.

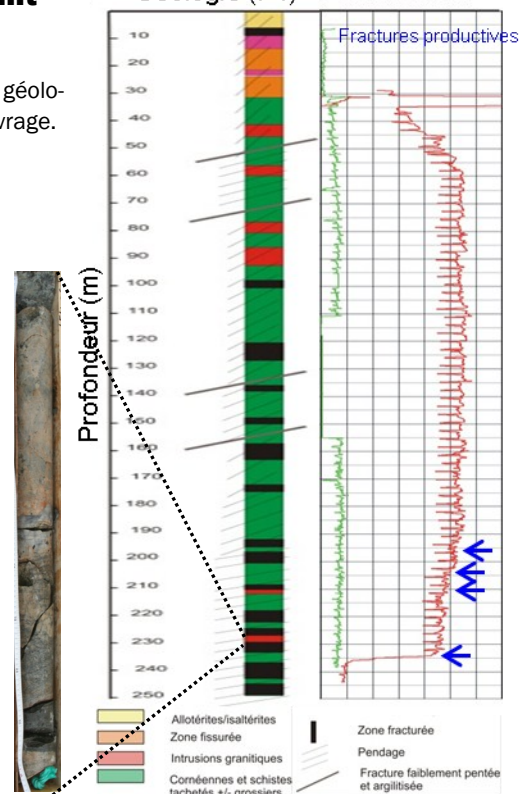
De plus une série de huit sondages à la tarière a été réalisée par l'OSUR en sus du programme initial afin d'affiner la qualité des observations sur l'aquifère superficiel



Localisation des forages et des tarières, St Brice-en-Coglès

(première dizaine de m). Des coupes géologiques ont été levées pour chaque ouvrage.

#### Géologie (F4) Flowmétrie



Levés géologiques et mesures micro-moulinet ; forage carotté (F4). BRGM-OSUR

Filon de granite à 230 m de profondeur →

### Tâche 5 : Caractérisation détaillée du site de Saint Brice-en-Coglès

De part la réalisation de pompages sur les ouvrages MFT80 et F3, dont un de très longue durée, cette tâche constitue la pièce maîtresse du projet.

En effet, durant les 9 semaines de pompage sur l'ouvrage F3 une trentaine de scientifiques de l'OSUR, du BRGM, des Universités de Brest et du Mans, et du BE GHI, ainsi que

**« un pompage de 9 semaines qui a mobilisé plus de 30 personnes »**

les propriétaires locaux se sont relayés sur le site de Saint Brice pour réaliser diverses mesures hydrogéologiques et géophysiques.

L'objectif de ces pompages est de caractériser le comportement hydrodynamique et

géochimique des structures perméables profondes afin de répondre aux questions principales suivantes : quels sont les compartiments qui contribuent ? Quelle est la durée de leurs contributions ?

D'octobre à décembre 2011, le pompage sur F3 a été réalisé suivant un dispositif complexe permettant un

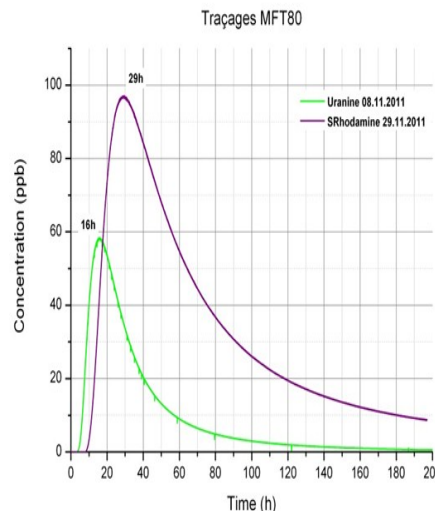
suivi des niveaux, du débit, de la chimie et des propriétés physiques du sous-sol des différents compartiments aquifères. Le pompage, réalisé par le BE GHI, a été effectué à 44 m<sup>3</sup>/h sur l'ouvrage F3 avec un packer gonflable à 83 m de profondeur permettant l'isolement des parties haute et basse du forage. Seule la partie profonde de l'aquifère -tranche 83-217 m- a directement été sollicitée par le pompage. Durant cet essai des suivis débit-métriques en forage, des essais par traçage d'ouvrage à ouvrage et des suivis géophysiques dans le cadre du projet INSU « GEOFRAC » ont aussi été réalisés. Un autre pompage, de 48h cette fois à 8.3 m<sup>3</sup>/h

(réal.: GHI), a été réalisé sur l'ouvrage de 80 m de profondeur (MFT80). Cet essai, non prévu au programme initial, a été réalisé afin de caractériser les propriétés hydrodynamiques des compartiments aquifères à moyenne profondeur.

Les résultats des premières analyses chimiques montrent des eaux d'exhaure exemptes de nitrates, même après 9 semaines de pompage.



Dispositif du pompage de 9 semaines (forage F3, GHI)



Essais par traçage sur MTF80 (OSUR)



CASPAR est soutenu par :



## Résultats majeurs : qu'avons-nous appris ?

Du fait de la réalisation récente des travaux et expérimentations de terrain, seules de premières interprétations peuvent être avancées.

Représentativité du site de St Brice et de sa structure perméable profonde. La zone perméable du forage F3 se matérialise par une fracture primaire supposée d'origine tectonique et d'une zone fissurée créée a priori à son dépend issue d'un approfondissement local du profil d'altération le long de la structure. Les filons de granite présents sur le site et recoupés par les forages ont probablement accentué ce phénomène d'approfondissement, mais ne semblent pas, du moins pour l'instant, être à l'origine de cette forte perméabilité du sous-sol. Le site est aussi l'exutoire naturel d'un système profond ; il y a donc sur ce site une certaine capacité à faire circuler l'eau en profondeur. La géologie du massif armoricain regorge de ce type de structure géologique (zones de contact schiste-granite et failles). Tout porte donc à croire que le site de Saint Brice n'est pas une exception et que d'autres localités sont susceptibles de présenter des propriétés hydrodynamiques favorables à grandes profondeurs. Le site de Ploemeur en est un autre exemple.

Les figures ci-contre présentent la structure des flux d'eau souterraine en écoulement naturel (hors pompage) et en pompage. Hors pompage, le système laisse remonter les fluides profonds et anciens via les structures géologiques profondes (failles, granite). En pompage, le flux pompé est alimenté d'une part par l'aquifère fissuré-altéré de surface (tranche 0-60 m de profondeur), c'est celui classiquement exploité en Bretagne, et d'autre part, par la partie profonde (>100 m). Il a été observé un dénoisement local de l'aquifère superficiel (altérites) mais restreint au voisinage de l'ouvrage pompé (F3). D'un point de vue évolution chimique, les premiers résultats montrent un rajeunissement de l'eau au cours du pompage indiquant la contribution de l'aquifère de

**« un aquifère semi-profond alimenté par la surface et des zones profondes »**

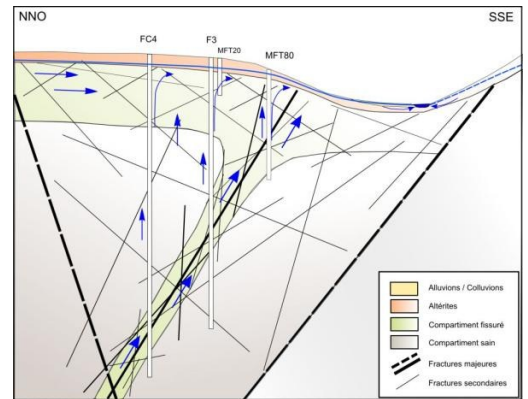
### Valorisation scientifique et communication (tâche 6)

Un résumé est accepté à une conférence internationale à Prague intitulée : « Groundwater in fractured rocks » (Roques, et al.) et une publication scientifique est en cours (J. of Hydrology, Dewandel et al.).

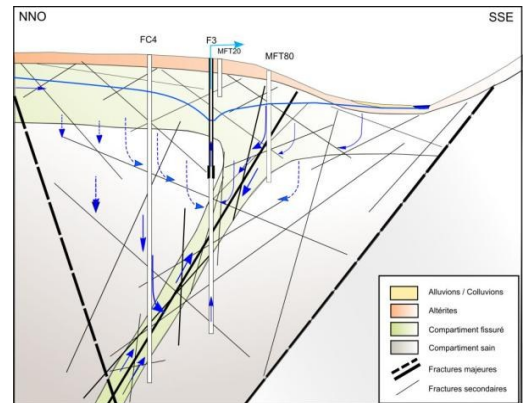
A noter, la présentation du site de St Brice au journal télévisé de

### Perspectives pour 2012

Ces expériences apportent de nouvelles connaissances sur ces aquifères profonds. Cependant, elles apportent aussi de nouvelles questions. Quelles sont les propriétés hydrauliques du socle « semi-profond » ? Un modèle conceptuel de fonctionnement est à l'ébauche (cf. figures précédentes). Quelle est l'origine des alimentations et des circulations profondes ? Y a-t-il un lien entre la circulation des eaux souterraines et le comportement des roches ? L'objectif de cette année est donc de tenter d'apporter des réponses à ces questions en finalisant l'en-



Structure des flux d'eau souterraine en écoulement naturel



Structure des flux d'eau souterraine en pompage

surface. En pompage, il y a donc un mélange entre des eaux anciennes profondes et des eaux plus récentes de l'aquifère altéré de surface. Question nitrate, il n'en n'a pas été observé dans les eaux des forages que ce soit au repos ou en pompage.

Il existe donc un aquifère « semi-profond » alimenté aussi bien par la surface que par des zones profondes.

TF1 (juin 2011), les visites d'élu Ph. Bonnin (Maire de Chartres-de-Bretagne et Conseiller Général du canton de Bruz) & L. Dubreil (Conseiller Général du canton et Maire de Saint-Brice-en-Coglès) sur le site de Saint Brice ainsi que des visites d'étudiants des Universités de Rennes et du Mans.

semble des interprétations, en détaillant le modèle conceptuel de fonctionnement, et en comparant les résultats aux autres forages profonds. D'autres expérimentations, cette fois-ci de moindre envergure, seront aussi réalisées.

#### Pour plus d'informations

Benoît Dewandel  
BRGM  
1039 rue de Pinville  
34 000 Montpellier  
Tél. : 04.67.15.79.82  
b.dewandel@brgm.fr

Luc Aquilina  
OSUR- Géosciences Rennes Univ.1  
Av. du Général Leclercq  
35 0424 Rennes  
Tél. : 02.23.23.67.79  
luc.aquilina@univ-rennes1.fr