



Projet européen

# ALIANCE

"Advanced Logging Investigation  
of Aquifers in Coastal Environment"

**Suivi hydrogéophysique  
des intrusions salines  
en zone côtière**

*DOSSIER DE PRESSE*

*Mars 2005*





## Sommaire

### **Contexte du projet**

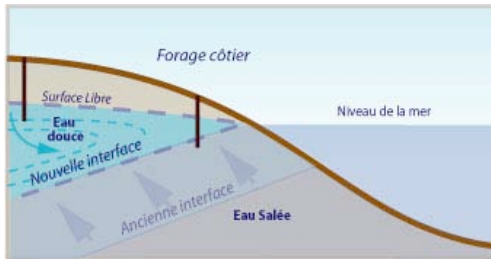
- Les intrusions salines en zone côtière
- Exemple de Majorque

### **Le projet européen ALIANCE**

- Approche
- Sites expérimentaux
- Nouveaux outils d'investigation en forage
- Surveillance du sous-sol par suivi à long terme

Contexte du projet

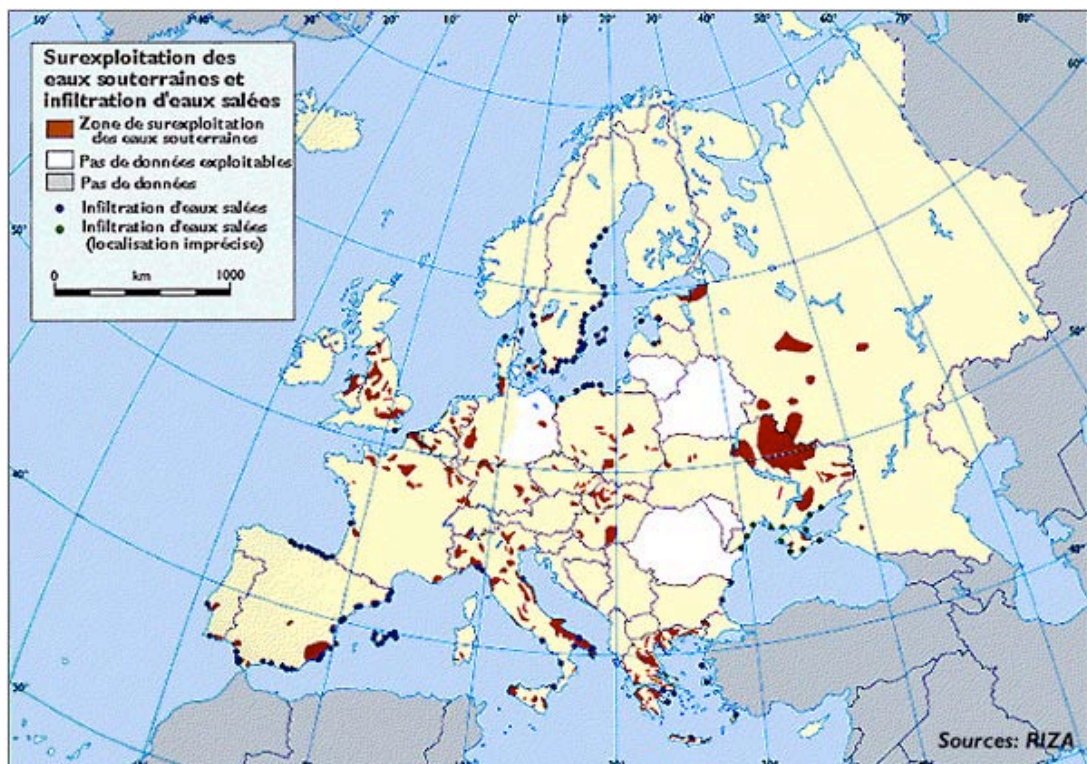
# ■ L'intrusion saline



L'eau salée ( $1.025 \text{ g/cm}^3$ )  
déplace (ou se mélange avec)  
l'eau douce ( $1.00 \text{ g/cm}^3$ )

En zone côtière, l'exploitation des nappes phréatiques est souvent supérieure à la capacité de recharge. La progression de l'eau salée qui en résulte peut provoquer une salinisation partielle ou totale du milieu poreux qui constitue le réservoir d'eau douce. Cette situation est alors difficilement réversible à l'échelle de plusieurs décennies.

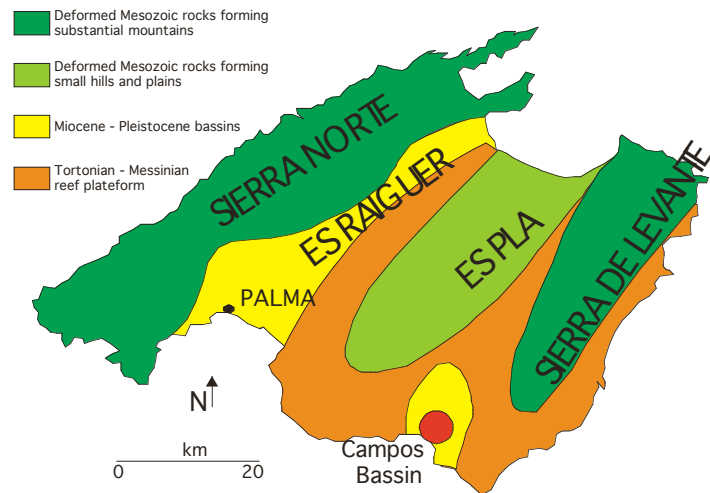
Ce phénomène est courant en Europe, du pourtour méditerranéen à la Grande-Bretagne et jusqu'en Scandinavie. C'est aussi le cas à l'échelle mondiale, que ce soit à Jacksonville (Floride), Dakar (Sénégal), ou Dalian (Chine), par exemple. L'Espagne est tout particulièrement touchée par ce phénomène puisque, pour 82 aquifères côtiers, 15 présentent une intrusion saline généralisée, et 40 souffrent d'une salinisation partielle. Cette problématique tend à s'accroître en situation insulaire.



En Europe,  
les cas  
d'intrusion  
saline sont  
nombreux  
comme le  
montre  
cette carte  
(source  
RIZA)

Contexte du projet

## ■ Exemple de Majorque



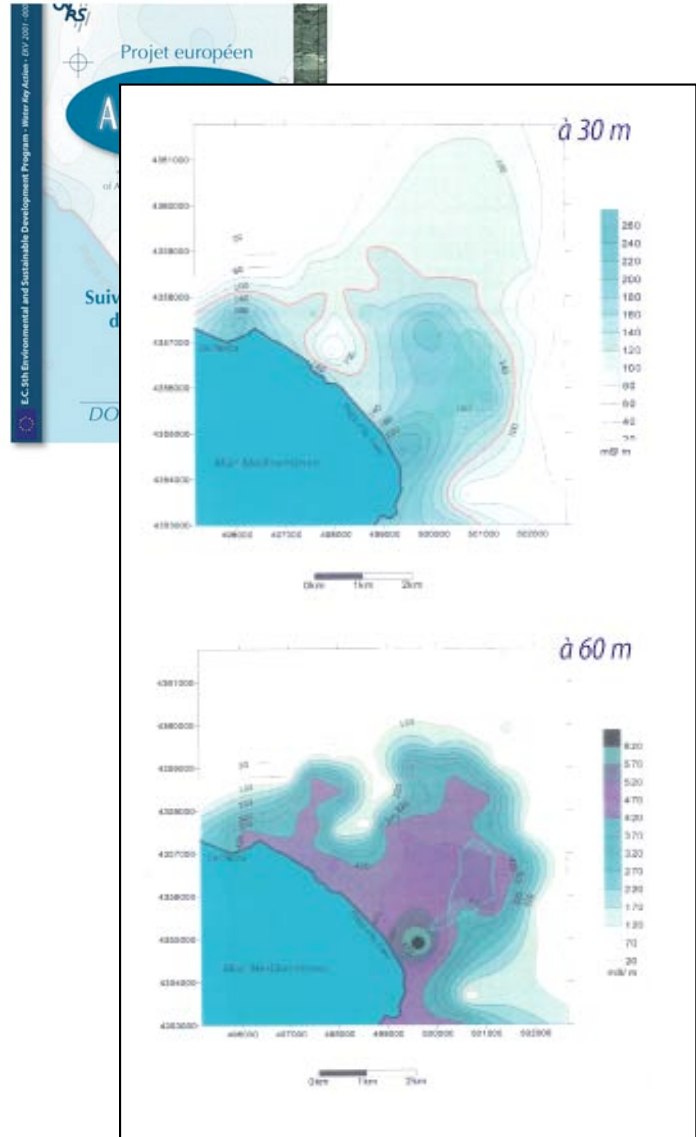
L'île de Majorque (Baléares) subit, pour des raisons touristiques, agricoles et climatiques, ce phénomène d'intrusion saline des nappes côtières depuis plusieurs décennies. Il est plus développé près de la capitale, Palma, ainsi que dans la zone d'exploitation agricole de Campos, au sud-est. Au nord, près de Pollença une source saline (S'Almadrava) est connue depuis l'époque romaine. Cette source est située à la fois à plusieurs km de la côte et à une altitude de 10 m.

A Majorque, le projet européen ALIANCE a développé, près de Pollença et de Campos, 2 sites expérimentaux illustrant la variabilité géologique locale. Au nord, le site de Pollença traverse des carbonates du Lias à la fois peu poreux et fracturés. Au sud, le site de Campos est localisé dans des dépôts péri-récifaux d'origine Miocène, très poreux et perméables. Comme le montrent les 2 cartes (page suivante), l'intrusion saline pénètre au sud-est à plus de 15 kilomètres à l'intérieur de l'île. Cette caractéristique géologique permet une étude expérimentale de terrain des interactions eau/roche en contexte d'intrusion saline.

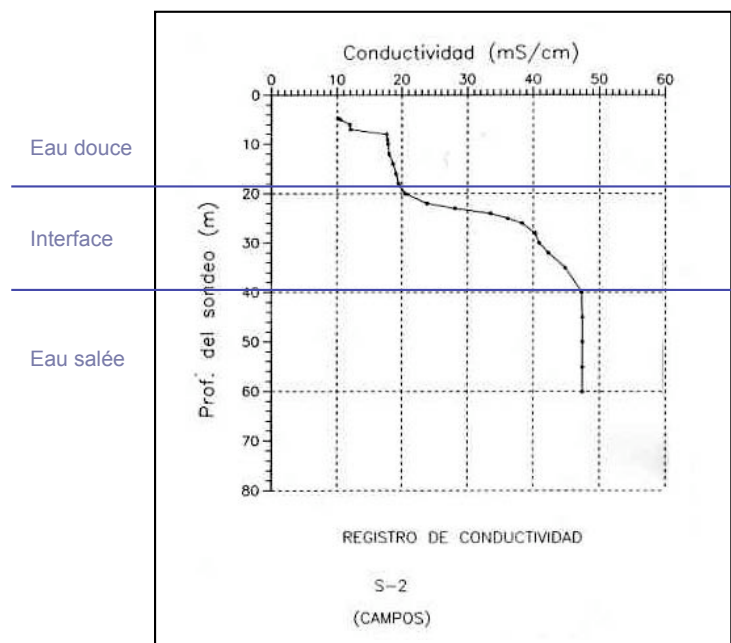


*Les structures récifales forées par ALIANCE près de Campos sont représentées en orange sur la carte et complètement visibles le long d'une falaise de 100 m de haut située au sud de l'île (Cap Blanc).*

■ Cartes isochores (de salinité constante) illustrant la présence de l'intrusion saline dans la région de Campos jusqu'à une distance de plusieurs kilomètres de la côte vers l'intérieur des terres, au sud-est de l'île de Majorque. Ces deux coupes représentent, à 30 et 60 m de profondeur respectivement, la résistivité électrique du sous-sol. La coupe la plus profonde (à 60 m de profondeur) met particulièrement bien en évidence l'intrusion d'eau de mer sous la côte.

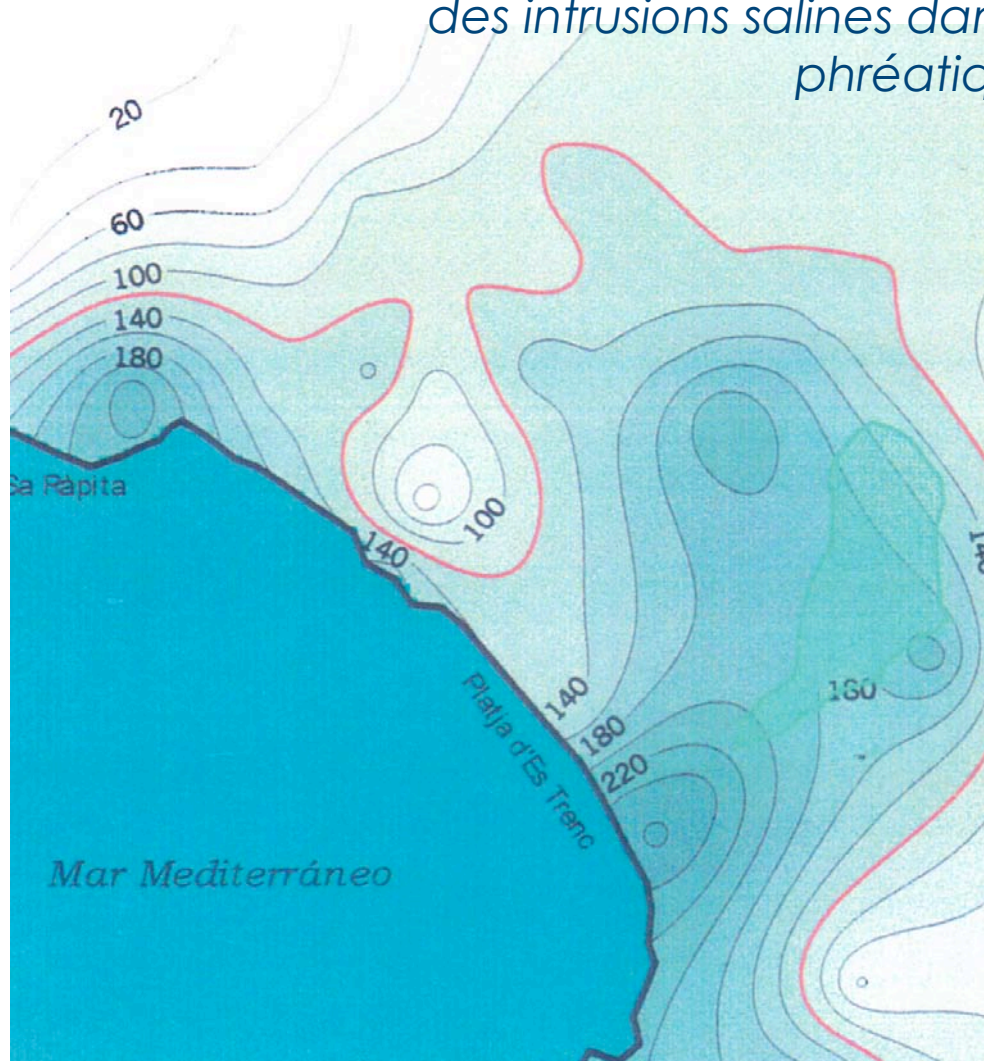


■ Mesures électriques en forage montrant une interface entre eau douce et eau salée à environ 24 m, dans le puits S2 (source: Direccio General de Regim Hidraulic (Gouvernement des Baléares).



## ■ Le projet européen ALIANCE

L'objectif du projet européen ALIANCE est de développer de nouvelles méthodes d'investigation des aquifères à l'aide de nouveaux outils de mesures hydrogéophysiques en forage ainsi que de surveillance à long terme du sous-sol. Ces outils et méthodes doivent permettre d'élaborer des modèles prédictifs d'évolution spatio-temporelle des intrusions salines dans les nappes phréatiques côtières.



# ■ Approche

Développer les méthodes d'investigation des réservoirs du sous-sol par la construction de nouveaux outils, dans le but de :

- Mettre en évidence les structures qui contrôlent les écoulements dans le sous-sol (par imagerie de la paroi des forages et des écoulements, etc... )
- Déterminer les paramètres hydrodynamiques (coefficient de stockage, transmissivité, dispersivité, etc... )
- Mettre en place une stratégie d'observation continue basée sur la détection en surface et en forage des courants électriques spontanés qui circulent dans l'aquifère, afin de suivre les circulations souterraines de fluide et, en particulier, les changements de salinité associés.
- Tester ces nouveaux instruments et ces nouvelles méthodes sur deux sites expérimentaux représentatifs de conditions géologiques et hydrodynamiques extrêmes.

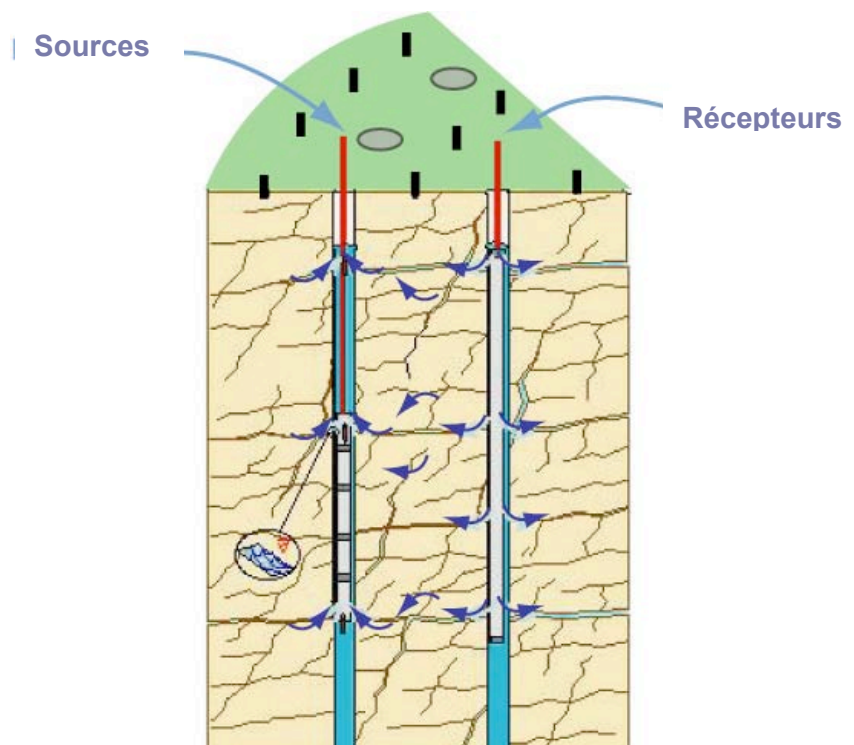
■ Schéma descriptif du principe de mesures hydrogéophysiques avec les sondes « sources » et des sondes « réceptrices » développées dans le cadre du projet ALIANCE.

**Récepteurs :**

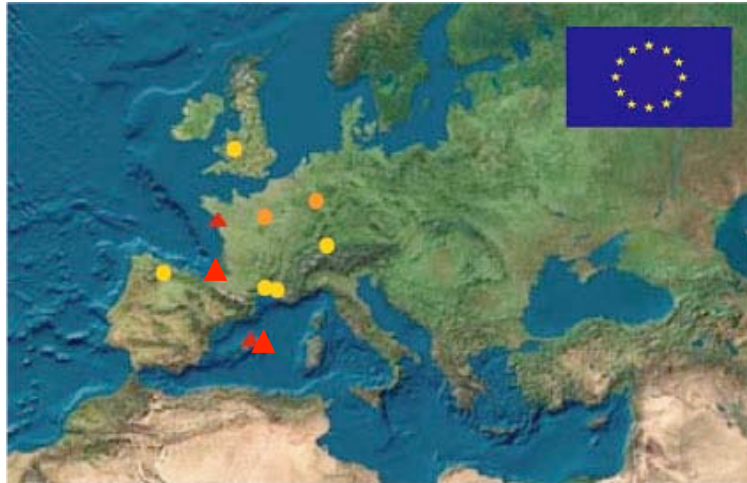
MuSET, DopTV, ShyFT

**Sources :**

CoFIS, H2E



## ■ Sites d'observation



▲ Sites de Forage    ● Partenaires scientifiques    ● Partenaires industriels

Conjointement au programme européen SALTRANS, les 3 sites expérimentaux suivants ont été développés et étudiés dans le cadre d'ALIANCE.

### **Site instrumental de Ploemeur – Bretagne (France)**

Ce site granitique permet d'analyser la réponse d'un milieu fracturé peu réactif au contact de l'eau. Il est dédié aux expériences lors de l'évaluation des nouvelles méthodes.

### **Site côtier de Majorque – Baléares (Espagne)**

Ce site calcaire permet de suivre une intrusion saline d'origine agricole documentée dans un milieu de réactivité à l'eau potentiellement importante. Il est dédié aux expériences et au suivi à long terme des forçages externes et internes du réservoir.

### **Site lagunaire de Montpellier - Languedoc (France)**

Site clastique constitué d'alternances argile/sable, situé sur la frange littorale, entre plage et lagune. Ce site a permis le développement d'observatoires du sous-sol pour un suivi permanent des intrusions salines.

*Ces trois sites seront accessibles à l'ensemble de la communauté scientifique européenne, et les données disponibles sur le web dans le cadre de l'ORE\* H+.*

\*ORE : Observatoire de Recherches Environnementales

## Situation Géographique

**En haut:**

Situation du site instrumental de Ploemeur sur le bord de la côte atlantique, dans les roches du socle (orange) de Bretagne (France).

**En bas:**

Le site instrumental de Stang-er-Brun (point rouge) est situé à proximité du point de contact entre les schistes (en gris, au nord) et le granit (en violet, au sud), loin des la zone municipale de pompage (point bleu) à Kermadoye.

Le site côtier de Courégant (point noir) est situé au sud, à quelques mètres seulement de la bordure atlantique.

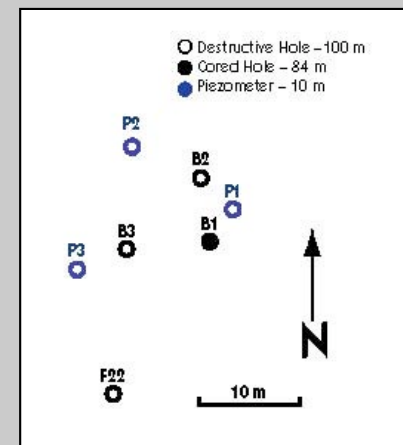
## Site instrumental de PLOEMEUR (Bretagne)

### Stang Er Brun

Le site expérimental de Stang-Er-Brun a été foré loin de la zone urbaine de pompage dans le dessein de fournir à la communauté hydrogéologique un site isolé bien documenté en milieu fracturé peu poreux.

Un total de 6 nouveau puits a été foré à proximité du puits préexistant F22, atteignant 70 m dans le granit. Parmi les 6 puits, 3 sont des piézomètres atteignant seulement 10 m et traversant les sols et le basement supérieur constitué de schistes altérés. Les 3 autres puits ont été tubés dans la partie traversant les schistes altérés et jusqu'à 25 mètres, puis sont ouverts sur la profondeur totale restante. Parmi ces derniers, 2 ont été forés jusqu'à 100 m (B2 & B3) et un a été carotté jusqu'à 84 m (B1).

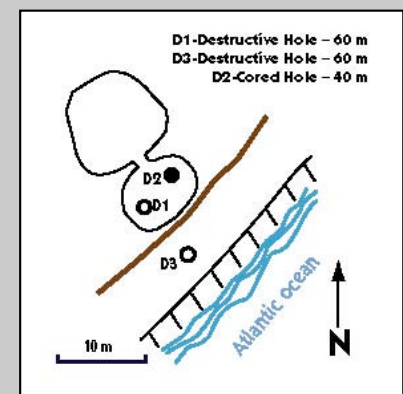
Ce site a été conçu pour pouvoir observer les connexions possibles entre les 3 principaux puits.



### Courégant

Le site côtier de Courégant est dédié à l'étude de l'intrusion saline dans un milieu granitique. Trois puits situés à quelques mètres les uns des autres ont été forés dans une carrière de granit abandonnée.

L'un d'entre eux (D2), d'une profondeur de 40m, a été carotté jusqu'à 17m. D3 a été foré jusqu'à 60 mètres de profondeur, à seulement 5 mètres de l'océan Atlantique, dans le but de traverser le biseau salé. Mais jusqu'à cette profondeur, seule de l'eau douce a été trouvée. Ce puits sera foré ultérieurement plus profondément afin de pouvoir atteindre l'eau salée supposée saturer le granit.



## Nouveaux outils

De nouveaux outils d'investigation hydrogéophysique en forage sont développés dans le cadre du programme ALIANCE.

### 2 sondes "sources"

(fabriquées par le CNRS de Montpellier)

pour l'évaluation hydrodynamique d'un aquifère à l'échelle d'un site (depuis la surface jusqu'à environ 150 m)

#### **CoFIS (Controlled Fluid Injection System)**

Cette sonde est destinée à injecter un fluide à pression et salinité contrôlées afin de simuler, par exemple, une intrusion d'eau douce dans un aquifère perméable affecté par une intrusion saline.

#### **H2E (Harmonic Hydraulic Endoscopy)**

Basée sur la méthode de la perturbation harmonique de la pression, cette sonde permet de déterminer la conductivité hydraulique et la connectivité à l'échelle d'un site, principalement pour les réservoirs fracturés.

### 3 sondes "récepteurs"

pour enregistrer la réponse d'un aquifère face à une excitation donnée (artificielle ou naturelle)

#### **MuSET (Multi Sensor Electrical Tool)**

(fabriquée par ALT-Luxembourg)

Permet de mesurer de façon simultanée le potentiel spontané, la pression, la température, le pH et la conductivité électrique du fluide dans le forage.

#### **SHyFT (Slim Hydraulic Formation Tester)**

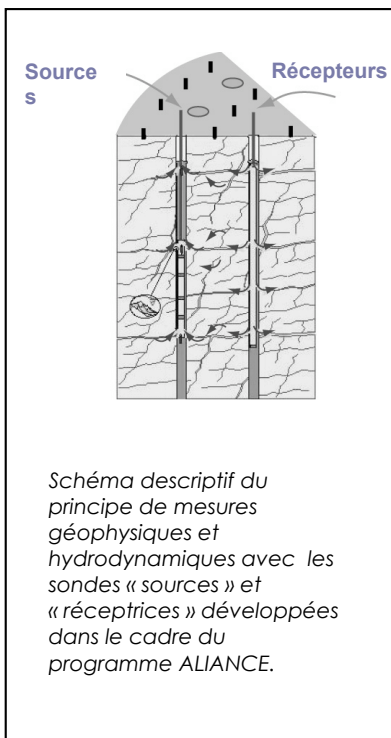
(fabriquée par GEOENERGY-France)

Destinée à mesurer la pression de pore dans des horizons isolés artificiellement pour évaluer la perméabilité in situ, cette sonde permet de prélever des échantillons de fluide pour une analyse ultérieure physico-chimique, biologique ou bactériologique.

#### **DopTV (Doppler TeleViewer)**

(fabriquée par ALT-Luxembourg)

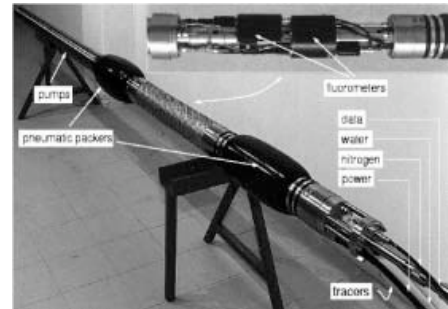
Basée sur l'effet Doppler, elle doit permettre d'identifier les fractures productrices lors de tests hydrogéologiques et de quantifier la vitesse d'écoulement des fractures en paroi de forage.



## Nouvelles Sondes

### Sonde source

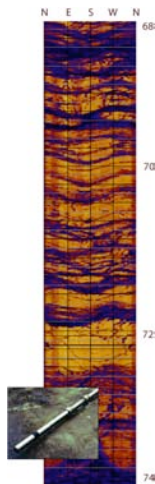
**Sonde CoFIS**  
*Injection contrôlée  
 de fluide monopuit  
 ou entre puits*



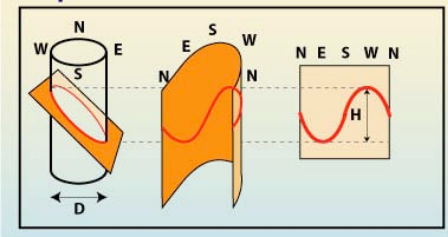
L'évaluation de l'emmagasinement ou des propriétés transmissives et dispersives d'un site à échelle décamétrique à hectométrique peut être réalisée à l'aide d'une sonde permettant de contrôler à la fois la nature et le taux d'injection d'un fluide "traceur" de conductivité fixée. L'influence de cette injection peut être analysée soit à partir du "puits source" par injection et pompage successifs, soit à l'aide de différentes sondes "réceptrices" placées pendant l'expérience dans un puits voisin.

### Sondes réceptrices

**Sonde DopTV**  
*Identification des  
 écoulements en  
 paroi de forage*



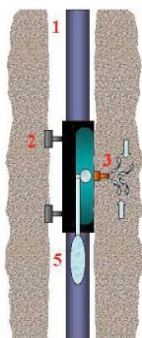
**Du plan à la sinusoïde**



Le contenu fréquentiel du signal traditionnellement utilisé en forage pour restituer des images acoustiques de paroi peut être analysé pour mettre en évidence le décalage lié à l'effet Doppler et venant de circulations de fluide le long de niveaux perméables comme des fractures.

### **Sonde SHyFT**

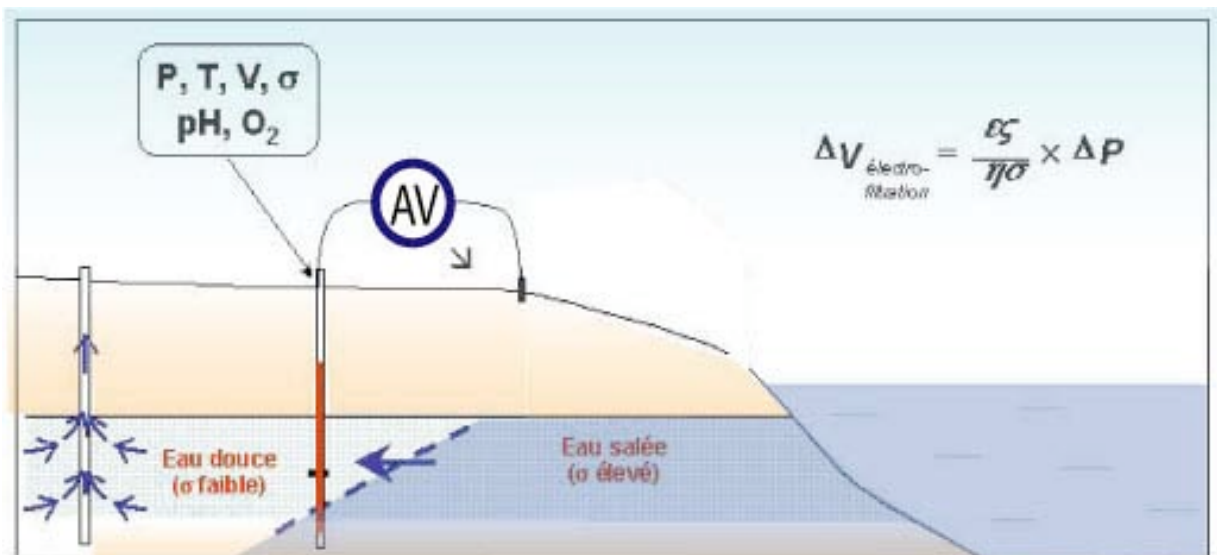
*Echantillonnage de fluide et perméabilité in situ*



L'échantillonnage in situ de fluide poral peut être réalisé à l'aide d'une sonde équipée soit d'un patin (pour les roches perméables) soit d'obturateurs isolant un segment de forage (pour les milieux hétérogènes). Une mesure simultanée de pression et de conductivité électrique du fluide permet d'en contrôler la nature et d'évaluer la perméabilité du milieu à échelle décimétrique à métrique.

## Surveillance des intrusions salines

Après une évaluation détaillée d'un site par géophysique de surface puis carottage, des mesures et des images géophysiques en forage et enfin des essais de puits traditionnels, on cherchera à décrire l'évolution à long terme de paramètres clés tels que pression, température, pH, conductivité électrique du fluide ou potentiel électrique spontané.



Mise en place dans le sous-sol, le long de forages, d'électrodes destinées aux mesures de résistivité répétées pour une observation et une surveillance du milieu à long terme.

Ce suivi temporel et cette approche permettront à long terme de :

- Contribuer à l'évaluation des nouveaux outils d'essais en forage,
- Produire une description de l'évolution dans le temps du biseau salé,
- Permettre l'élaboration de recommandations sur la gestion des nappes phréatiques en zone côtière, qu'elles soient envahies ou seulement menacées par une intrusion saline.