

APPEL ECCOREV 2010

CEREGE-EMMAH

Titre du Projet : Etude des circulations et du renouvellement des eaux souterraines du Bassin de Sais (Moyen Atlas, Maroc) par couplage de mesures isotopiques et tomographie électromagnétique multi-échelle. Région de Fès-Meknès

Coordinateurs du projet:

Mme **Nom:** SARACCO **Prénom:** Ginette
Fonction: Chargée de Recherche (CR1), HdR

Laboratoire: Centre d'Enseignement et de Recherche en Geosciences de l'Environnement
SIGLE: CEREGE, CNRS-UMR6635
Adresse: Europole de l'Arbois, BP 80, 13545 Aix en Provence cedex 4

Courriel: saracco@cerege.fr
Tél: 0442 971 755
Fax: 0442 971 559

Mr **Nom:** Travi **Prénom:** Yves
Fonction: Professeur

Laboratoire: Environnement Méditerranéen et Modélisation des Agros-Hydrosystèmes, INRA, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse,

SIGLE: EMMAH-UAPV, CNRS-UMR_A 1114
Adresse: 33 rue Pasteur, 84000 Avignon

Courriel: yves.travi@univ-avignon.fr
Tél: 04 9014 44 88
Fax: 04 9014 44 89

Projet scientifique: Etude et des circulations et du renouvellement des eaux souterraines du Bassin de Saïs (Moyen Atlas, Maroc) par couplage des mesures isotopiques et tomographie multi-échelle électromagnétique: Région de Meknès-Fès.

Contexte et intérêt scientifique: L'accroissement rapide de la population dans la région de Meknès-Fès et l'aridité croissante du climat observé ces dernières années se sont accompagnés de l'augmentation du nombre de forages nécessaires à un développement agricole plus diversifié et intensif. Dans ce contexte la connaissance des modes de circulation et des variations saisonnières des ressources hydriques souterraines devient un enjeu primordial pour la maîtrise et le contrôle d'une possible désertification ou appauvrissement du sol, et pour assurer une alimentation durable en eau, d'une qualité suffisante pour les villages et villes environnantes. Dans cette région, les flux hydriques souterrains sont conditionnés par les réseaux de fractures, ces dernières jouant fréquemment le rôle de drains.

On s'intéresse, en particulier, à l'aquifère profond du bassin de Saïs, alimenté par les causses du Moyen-Atlas. Il constitue l'un des sites prioritaires pour lequel il est crucial d'étudier le fonctionnement et le renouvellement des nappes qui se vidangent au niveau des sources. En effet, il est exploité de façon intensive pour l'alimentation en eau des villes de Meknès et de Fès (plus de 1.5 millions d'habitants) et nécessite une surveillance accrue du fait des problèmes de sécheresse récurrents au Maroc. Ces causses d'une superficie de 1500km² constituent un plateau formé essentiellement de calcaires et de dolomies liasiques, jouant un rôle hydrologique important comme réservoir fracturé. La circulation des eaux se fait préférentiellement dans les grosses fractures qui jouent le rôle de drains. Le bilan hydraulique en année moyenne au niveau des causses est actuellement estimé à 32-35m³/s, dont un débit moyen de l'ordre de 10m³/s transite en profondeur vers la plaine de Fès-Meknès.

La décharge de l'aquifère se fait essentiellement au niveau d'un système complexe de sources situées dans sa bordure nord. Il s'agit du complexe de Ribaa-Bittit dont le débit est estimé à 1600 l/s pour l'année 2004. Le débit spécifique souterrain des calcaires et dolomies est élevé et peut atteindre 8,3 à 9,3 l/s/km² dans l'ensemble du Moyen Atlas tabulaire. Le prolongement du Lias sous le bassin du Saïs constitue une nappe captive de grande importance et très sollicitée pour l'agriculture et l'alimentation en eau potable des deux grandes villes de Fès et Meknès (Boualoul *et al* 2003). Le Lias est situé sous une épaisse série marneuse tertiaire (1000m maximum dans la plaine de Fès) (Fig. 1).

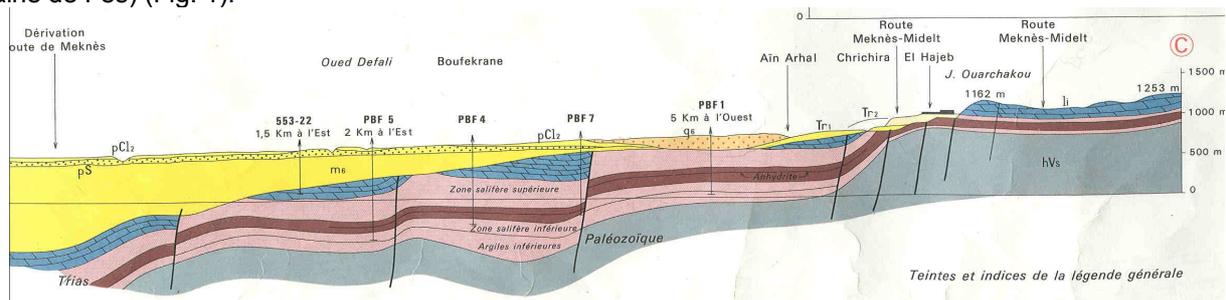


Fig.1 Coupe géologique de la transition entre le Bassin du Saïs (à gauche) et les causses du Moyen Atlas (à droite). L'aquifère correspond au Lias représenté en bleu hachuré.

C'est un réservoir compartimenté par de grandes failles, formant des blocs discontinus voire absents par endroit (Boualoul *et al* 2003, Rouai & Dekayir, 2001). Jusqu'à ce jour, sa structure, élément essentiel pour l'évaluation de la ressource, reste assez mal connue en l'absence d'une exploration sismique de détail.

Le présent projet s'inscrit dans le cadre d'une coopération scientifique entre l'université M. Ismail et le CEREGE (Projet BREMEX (2009-2011)). Il se décompose en 2 parties distinctes:

1- L'étude structurale du sous-sol par tomographie de résistivité électrique et potentiel induit, localisation en profondeur des ressources hydriques et caractérisation des écoulements par tomographie multi-échelle électrique (potentiel spontané).

2- L'étude géochimique des eaux à l'aide, en particulier, 1) d'un isotope radioactif naturel (le Radon) mesuré sur les sources et les puits de forages pour la détermination des connexions entre les axes d'écoulements, constitués par les fractures drainantes, ii) des isotopes de l'oxygène pour estimer le renouvellement ou recharge des sources.

Des premières études de tomographie de résistivité électrique allant jusqu'à des profondeurs de 50-60m dans la région de Aïn Bittit (Qarqori *et al*, 2009) ont montré l'existence de zones très conductrices contenues dans des structures géologiques en chenaux ou poches autour de 15-30m de profondeur. En complément des analyses sur la géométrie du réservoir liasique sous le bassin de Saïs et la transition Causses-Bassin, ainsi que des études de déformation de surface (subsidence et remontée) en relation avec le comportement hydrodynamique de la nappe lors de pompages, nous proposons ici d'étudier et de caractériser les écoulements hydriques au sein des structures géologiques hétérogènes poreuses et les fractures ou chenaux actifs, grâce au couplage des études géochimiques utilisant un isotope radioactif naturel à courte période comme le Radon (inférieur à 4jours), et des études géoélectriques (ou électromagnétiques) à partir des variations du potentiel spontané électrique mesuré à la surface du sol à l'aide d'électrodes impolarisables (Pb/CIPb). Les variations de l'activité du Rn permettent de

caractériser des écoulements plus ou moins lents à travers une structure poreuse (Mayer *et al*, 2007, Gattacceca *et al* 2009) tandis que les variations de potentiel électrique permettent de caractériser et de localiser en profondeur les sources de potentiel associées au déplacement de flux hydriques à travers le milieu (Mauri *et al* 2010, Saracco *et al* 2007, 2004, Moreau *et al* 1999).

2) Objectifs. Etudes géophysiques: Des études de prospection géophysique complémentaires (électriques et électromagnétiques) seront effectuées en étroite collaboration entre les deux laboratoires. La tomographie de résistivité électrique (ERT) et du potentiel induit avec espacement entre électrodes de 5 à 20m et les mesures électromagnétiques type Slingram (EM-34) et VLF (Very Low Frequency) nous permettront d'obtenir une meilleure connaissance du réseau de fractures et de la structure poreuse hétérogène du réservoir discontinu des causses et du Lias du Bassin de Saïs, dont la structure profonde reste assez mal définie. L'électrographie de structures géologiques hétérogènes poreuses à partir du potentiel spontané est une des méthodes d'investigation géophysique passive des plus sensibles aux déplacements hydriques, permettant d'accéder à la géométrie interne des circulations d'eaux (Saracco *et al* 2004, Salliac & Marquis 2001, Moreau *et al* 1997, 1999). Le déplacement de flux hydrique au travers d'un milieu poreux génère un champ électrique qui, au moyen d'électrodes impolarisables plantées à la surface du sol, permettent de mesurer les variations (ou anomalies) de potentiel électrique, appelé potentiel spontané (PS). Une des composantes principales du champ est due au phénomène d'électrofiltration (couplage fluide/ions en solution) dans le milieu poreux partiellement ou totalement saturé en eau. A partir des mesures de PS, il est possible par tomographie multi-échelle, méthode combinant théorie du potentiel et théorie des ondelettes (Moreau *et al* 1997, Saracco *et al* 2004, 2007), de déterminer les profondeurs des sources de potentiel et de les caractériser, tandis qu'une tomographie de résistivité électrique et/ou de potentiel induit, méthode active où le courant est injecté dans le milieu hétérogène poreux, permet de mieux caractériser la structure et la nature géologique du milieu (Qarqori *et al* 2009, Rouai *et al* 2007). La circulation du courant se fait dans ce cas, principalement par le déplacement des électrons dans la matrice rocheuse, et secondairement, en intégrant la conductivité électrique de l'eau, par le transport d'ions présents dans la solution.

Les techniques modernes d'inversion par ondelettes, bien adaptées au champ de potentiel, sont largement développées sur le plan méthodologique et expérimental au sein du groupe MIMC du CEREGE, tandis que l'EMMAH est spécialiste en hydrogéophysique et en hydrogéologie des systèmes karstiques.

3) Objectifs. Etudes géochimiques: Le radon, gaz radioactif naturel principalement formé par la désintégration du radium-224, possède une période courte (demi-vie) de 3,8 jours. Il est naturellement présent en très faible concentration dans toutes les eaux souterraines. Il est produit en particulier à partir de la surface d'échange entre l'eau interstitielle et le milieu solide ou structure poreuse (l'encaissant). En général, les roches contiennent une faible concentration d'uranium, et ce descendant radioactif garantit une production continue de radon à l'interface fluide/solide i.e. structure géologique rocheuse/eau de la nappe. Par conséquent, la concentration de radon dans l'eau de nappe augmente avec le temps jusqu'à atteindre une valeur d'équilibre limite, dont le taux de production de radon est égal au taux de sa décroissance radioactive.

Si la roche mère où les sédiments constituant la formation de l'aquifère ont une composition géochimique relativement uniforme (en termes de concentration de U, Th, Ra), et si le degré de fracturation et de microporosité sont relativement constants, la concentration de radon dans les eaux souterraines dépend alors uniquement du temps de résidence des eaux et de la modalité de transport de l'eau dans la nappe (Mayer *et al* 2007). On peut s'attendre à ce que pendant des périodes plus sèches (été), la lente percolation des eaux souterraines au travers de la microporosité de la roche entraîne une teneur de radon relativement élevée, à cause du long temps de résidence de l'eau et du rapport entre surface d'échange et volume d'eau en augmentation. Par contre, pendant les périodes pluvieuses (automne, printemps), l'eau transite rapidement à travers le système de fracturation du milieu géologique, par conséquent la concentration de radon diminue d'une part à cause de la réduction du temps de résidence des eaux dans la structure rocheuse et d'autre part par la diminution du rapport entre surface d'échange et volume d'eau. D'autre part, le couplage de ces données aux mesures de sels totaux dissous dans l'eau de nappe, permettrait en théorie une estimation de la macropérméabilité de la formation géologique en fonction du niveau piézométrique (volume d'eau stocké dans l'aquifère) (Gattacceca *et al* 2009). La détermination de la quantité totale de sels dissout serait effectuée au travers des mesures de conductivité spécifique de l'eau de nappe issue des sources. Les valeurs de conductivité spécifique serviront aussi pour la calibration de modèles d'inversion de la résistivité du sous-sol, obtenus à partir de profils tomographiques de la résistivité apparente.

Nous prévoyons dans un second temps 1) une étude des variations de la composition hydrochimique (anions, cations, traces) entre les différentes sources naturelles et puits artésiens en fonction de la géologie du sol (e.g.. K, Mg, Na, Ca, Fe, Mn, Ba etc.) au laboratoire de Géochimie (ICP-AES) du CEREGE, et 2) des analyses isotopiques de l'oxygène et l'hydrogène. En effet cette méthode analytique permet de différencier les eaux fossiles (non issue d'une recharge actuelle), des eaux actuelles, ce qui permettrait de différencier les sources renouvelables, des sources non renouvelables. Cette étude intéressante sur le plan méthodologique et pour une meilleure connaissance du système hydrologique et géologique du Bassin de Saïs, devient primordiale dans le cas d'une exploitation des nappes dans le contexte des problèmes environnementaux de la région.

4) Plan de recherche et calendrier de réalisation: Ce projet se décompose en trois tâches principales où les

interactions entre les partenaires Français et Marocains sont consolidées par l'intermédiaire d'une plate forme de travail informatique commune (échange de données numériques et expérimentales). D'autre part, des réunions de travail seront organisées alternativement à l'EMMAH (Avignon) et au CEREGE (Aix).

L'université Moulay Ismail de Meknès (Professeurs M. Rouai et A. Dekayir) dont les collaborations scientifiques sont déjà établies (Projet Région BREMEX, 2009-2011) participe aux expériences géophysiques et apporte sa connaissance géologique de ce bassin à structure particulière, pour l'interprétation et l'analyse des données.

Le CEREGE et l'EMMAH sont complémentaires dans les techniques d'exploration géophysique et géochimique. Les taches 1 et 2 correspondent aux mesures géophysiques, à l'exploitation et analyses des données ainsi qu'à l'estimation des circulations hydriques, dans les zones de fractures drainantes et des zones aquifères dans le système karstique. La tache 3 correspond aux prélèvements des eaux dans les puits, les forages et les sources, aux analyses isotopiques sur les écoulements, à l'estimation de la microporosité et de la micropérméabilité et de la conductivité des structures hétérogènes (encaissant).

Les campagnes de mesures électromagnétiques et géochimiques seront effectuées pendant 2 saisons caractéristiques (période sèche et humide) sur les mêmes zones pour affiner la connaissance des structures hydrogéologiques du bassin et déterminer les failles drainantes. En ce qui concerne l'étude des circulations hydriques, nous devons établir un réseau de profils PS le long de boucles fermées pour limiter une dérive électrique des mesures pour l'obtention d'une cartographie de PS ou de tomographie multi-échelle de PS. Concernant les mesures de radon, la différence entre les teneurs mesurées aux cours des deux périodes pourra, dans des cas favorables, permettre d'estimer le temps de résidence des eaux. Le couplage de ces données aux mesures de sels totaux dissous dans l'eau de nappe, permettrait en théorie une estimation de la macropérméabilité de la formation géologique en fonction du niveau piézométrique (volume d'eau stocké dans l'aquifère). La détermination de la quantité totale de sels dissoute serait effectuée au travers des mesures de conductivité spécifique de l'eau de nappe issue des sources. Les valeurs de conductivité spécifique serviront aussi pour la calibration de modèles d'inversion de la résistivité du sous-sol, obtenus à partir de profils tomographiques de la résistivité apparente.

Le CEREGE est pilote dans les méthodes de tomographie de résistivité électrique et de potentiel induit et dans les méthodes de tomographie multi-échelle ondelettes de potentiel spontané (PS). Un laboratoire de géochimie analytique et un ICP-AES existe au CEREGE pour effectuer les études analytiques des eaux. Le CEREGE est spécialiste dans les analyses d'isotopes du Radon.

L'EMMAH est moteur dans les méthodes tomographiques électromagnétiques ainsi que dans les analyses hydrochimiques et isotopiques.

Les expériences de terrain et interprétations des données s'effectueront en étroites collaboration entre les partenaires Français (CEREGE, EMMAH) et Marocains.

Les objectifs de ces études sont:

- une analyse des zones aquifères et de leur profondeur;
- une localisation et caractérisation des fractures « drainantes » permettant l'écoulement et la recharge des nappes;
- une meilleure connaissance de la structure géologique sur les 60 à 200 premiers mètres du Bassin de Saïs et de sa connexion au Causses du Moyen Atlas;
- une analyse de l'origine de l'eau, un contrôle de la qualité des différentes sources et de leurs évolutions possibles sur les prochaines années.

Tache 1: Etude hydrogéologique et hydrogéophysique par tomographique/cartographie électromagnétique (K. Chalikakis, O. Banton, M. Rouai, G. Saracco, Y. Travi)

Tache 2 : Etude hydrogéologique et hydrogéophysique par tomographie électrique (G. Saracco, M. Rouai, K. Chalikakis, O. Banton).

Tache 3: Etude géochimique par isotopes radioactifs de radon et de l'oxygène (A. Mayer, Y. Travi, A. Dekayir, H. Miche, M. Babick, G. Saracco).

5) Points innovants. Prise de risques. Retombées scientifiques et environnementales: Il est d'une grande évidence que la diminution des ressources en eau, due à une demande croissante et aux périodes de sécheresse récurrentes, exige une gestion rationnelle des ressources, et la recherche d'autres types d'aquifères. Les réservoirs **discontinus et karstiques** demeurent des cibles privilégiées. Cependant, comparativement aux aquifères granulaires, ils restent **peu étudiés et difficile à aborder**. C'est dans ce contexte que notre étude s'est portée vers le réservoir karstique et fracturé en bordure des causses du Moyen Atlas, qui alimente plus de 1.7M d'habitants (région de Fès-Meknès). Une meilleure caractérisation des aquifères et des circulations contribuera à l'élaboration d'une stratégie de prospection efficace. Elle constituera un élément fondamental dans un schéma directeur pour l'optimisation des forages à implanter, à l'usage des organismes régionaux et nationaux concernés (agence de bassin, collectivités, région, etc.).

Tandis que le couplage des méthodes tomographiques électriques (ondelettes) et magnétiques (protons) et des méthodes analytiques (Radon, Oxygène, minéraux, ions...) permettrait de déduire un **modèle du système karstique et des circulations** des eaux, l'étude isotopique de l'oxygène nous permettrait d'étudier le **renouvellement** ou **tariissement** en eau des aquifères Liasiques existant entre les causses du Moyen Atlas et le bassin de Saïs. Ce projet est innovant par le développement de méthodes tomographiques multi-échelle

(ondelettes) électriques et/ou magnétiques couplé aux développements de méthodes analytiques d'isotopes (Radon et Oxygène), et par l'enjeu des problèmes climatiques, de population, de ressources en eau, et d'exploitation agricole de la région de Fès-Meknès en plein essor démographique.

Moyens et Budget demandé: Le CEREGE et l'EMMAH, dispose du matériel moderne nécessaire aux expériences de prospections géophysiques (tomographie de résistivité électrique et potentiel induit (ABEM et système multi-électrodes Lund), magnétomètre à vapeur de Césium, tomographie de potentiel spontané (électrodes impolarisables en PB/CIPb et système d'acquisition numérique à haute impédance), tomographie électromagnétique) et des moyens analytiques en géochimie nécessaires (laboratoire analytique de géochimie, d'hydrochimie, ICP-AES) avec une solide expérience de recherche et expérience dans la nouvelle génération d'instrument géophysique à résonance magnétique de protons.

L'université Moulay Ismail de Meknès (Professeurs M. Rouai et A. Dekayir) dont les collaborations scientifiques sont déjà établies (Projet Région BREMEX, 2009-2011) met à notre disposition outre la logistique de base, la connaissance géologique de ce bassin à structure particulière, des outils pour des études complémentaires en prospection géophysique (VLF (mesures basses fréquences) et du Slingram en prospection électromagnétique, résistivimètres Géotrade et Syscal, gravimètres, sismographe Pasi pour la petite sismique, etc.).

Les consommables demandés se rapportent pour la géophysique de terrain, aux batteries, accumulateur et chargeur de batterie, GPS mobile portable, petits outillage, câbles de connexion de rechange, électrodes de rechange, etc.

Les équipements nécessaires en géochimie isotopique du Radon sont déjà opérationnels et disponibles au CEREGE, et sont de plus facilement transportables. Aucun équipement supplémentaire n'est nécessaire pour cette partie (excepté des consommables pour nos expériences).

La demande concerne essentiellement les frais de missions et le transport du matériel via un carnet ATA entre la France et le Maroc, et les publications de rang A avec participations à des congrès internationaux (AGU, Goldschmidt Conference, EGU).

Budget demandé :

Fonctionnement

Nature de la dépense:

-2 missions de terrain pendant 9j (saison sèche et humide) : total: (1600 + 1728 + 324)= **3252€**

• France/ Maroc pour 3 personnes (200x2x4= 1200 euro (voyage avion Marseille-Fès + train Fès-Meknès)

• Hébergement 9j (Meknès) 32x2x3x9=**1728 €**, Repas: 9j: 3x2x2x3x9=**324 €**

-Transport de matériel: 2x 600 euro + carnet ATA : 280 euro (1an) : total =**1480euro**

-Location de voiture 4x4 pour le terrain pour 5 personnes incluant le matériel de géophysique et essence (mesures du potentiel spontané électrique (câbles, électrode, système d'acquisition numérique), mesure du potentiel Redox, température, conductivité, mesure de la résonance magnétique des protons), et matériel pour l'analyse des isotopes du Radon sur place (demi-vie de 3j1/2). (5x2x9 + 2x2x9j) = **126 €**

Analyses géochimiques: Analyses des isotopes de radon, Analyses des échantillons (anion, cations) par ICP-AES (K, Mg, Na, Ca, Fe, Mn, Ba, Sr, As, Sb, Hg, HCO₃, SO₄, NO₃, Cl, Br), analyses des isotopes de l'oxygène ($\delta^{18}O$, δD), 2x18 x nbre de sources x nbre de puits, petits matériels = **300€**

Congres Internationaux (AGU, Goldschmidt Conference, EGU), article de rang A (Geochem.-Geophys.-Geosyst., Water Research, Geophys. J. Int.). : 2 congres int. + 2 articles de rang A (6personnes) **2400 €**

Montant fonctionnement: 7558 €

Equipement:

Nature de la dépense: Electrodes impolarisables PB/CIPb de rechange + une bobine de 100m de fil guindé (en cuivre) en rallonge.

Montant équipement: 2400€

Montant total du projet : 9958 €

Personnels des équipes participant au projet:

Nom, prénom	Statut	% de temps consacré au projet	Thématique	Nom et prénom du responsable	N° d'identification du laboratoire
SARACCO Ginette	CR1	40%	Méthodes géophysiques électriques, TME électrique et magnétique, Analyse et modélisation	Ginette Saracco	CEREGE-UMR 6635 Aix en Provence
MAYER Adriano	CDD	30%	Géochimie-isotopique (Radon et Oxygène), Experimentations laboratoire et terrain	Ginette Saracco	CEREGE-UMR 6635 Aix en Provence
MICHE Hélène	IR	20%	Géochimie/ICP-AES chimie analytique en laboratoire.	Ginette Saracco	CEREGE-UMR6635 Aix en Provence
TRAVI Yves	PR	20%	Hydrogéologie, Hydrogéochimie, Interprétation des traceurs chimiques et isotopiques	Yves Travi	EMMAH-UAPV, UMR 114 Avignon
BANTON Olivier	PR	10%	Hydrologie, Hydro-Physique, Géophysique, Modélisation des eaux souterraines	Yves Travi	EMMAH-UAPV, UMR 114 Avignon
CHALIKAKIS Konstantinos	MC	30%	Hydrogéophysique, Tomographie électromagnétique, Résistivité électrique.	Yves Travi	EMMAH-UAPV, UMR 114 Avignon
BABIC Milanka	AI	15%	Analyses chimiques radioéléments, isotopes de l'Oxygène	Yves Travi	EMMAH-UAPV, UMR 114 Avignon
ROUAI Mohamed	PR	40%	Géologie du Moyen Atlas, Géophysique	Mohamed Rouai	Université M. ISMAIL (Maroc)
DEKAYIR Abdellilah	PR	30%	Géologie du Moyen Atlas, Géochimie	Mohamed Rouai	Université M. ISMAIL (Maroc)

Références

- Boualoul M., M. Rouai & El Maataoui, 2003. Application de la méthode électrique dans la mise en évidence des failles et des contacts anormaux. Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc, N° 452, 217-222.
- Celle jeanton H., Huneau F., Travi Y., Edmunds M., 2009, 20 years of groundwater evolution in the Triassic sandstone aquifer of Lorraine: impacts on baseline water quality. Applied Geochemistry, 24, 7, 1198-1213.
- Chalikakis K., M.R. Nielsen, A. Legchenko, 2009, Investigation of sedimentary aquifers in Denmark using the magnetic resonance sounding method (MRS), C. R. Geoscience 341, 918-927.
- Dekayir A., Rouai M. & Moustier S., 2003, Basalt pore fractal dimensions from image analysis and mercury porosimetry. Arabian Journal for Science & Engineering, 28, 1C, 223-231.
- Gattaceca JC, Vallet-Coulomb C, Mayer A, Claude C, Radakovitch O, Hamelin B, 2009, Isotopic and geochemical characterization of salinization in the shallow aquifers of a reclaimed subsiding zone: The southern Venice Lagoon coastland, J. Hydrol. 378(1-2), 46-61.
- Huneau F & Travi Y., 2008, The Miocene Aquifer of Valréas (France). In Natural Groundwater Quality, M.W. Edmunds and P. Shand Eds, Blackwell Publishing. Chap. 13, p. 287-305.
- Lalbat F., Blavoux B. & Banton O., 2007, Description of a simple hydrochemical indicator to estimate groundwater residence time in carbonate aquifers, Geophys. Res. Lett., 34 (19), L19403.
- Mauri G. Williams-Jones G. Saracco G., Accurately determining the depths of hydrothermal systems by self-potential and multi-scale wavelet tomography, J. VOLC. GEOTHERM. RES., J. Volc. Geotherm. Res., 2010 sous presse
- Mayer A., J. Gattaceca, C. Claude, O. Radakovitch, M. Giada, A. Cucco, L. Tosi & F. Rizzetto, 2005, Radon activity in the southern Lagoon of Venice and the Adriatic Sea. In Scientific Research and Safeguarding of Venice. Co.Ri.La. Research Program 2004-2006, Venice, Ed. P. Campostrini
- Moreau F, Gibert D, Holschneider M & Saracco G., 1999, Identification of sources of potential fields with the continuous wavelet transform: Basic Theory, J. Geophys. Res., 104, B3, 5003-5013.
- Qarqori K, Rouai M., Moreau F, Saracco G, Hermitte D, Boualoul M, Biessy G, Dauteuil O, Sahbi H., 2009, Electrical resistivity tomography of the Karstic Aquifer of Bittit spring (Middle Atlas, Morocco), EGU, Vienne, 19-24 Avril.
- Rouai M., Dekayir A., 2001, Fractal geometry was applied to characterize the porosity of a weathered basalt boulder, Compt. Rendu Acad. Sc. Serie II A- Sc. Terre Planet., 332 (10), 595-600.
- Rouai M. 2006, Application of fractal geometry to 2D fracture networks in the Middle Atlas aquifer (Morocco). Proceedings 9th Agile Int.-Conf. on Geographic Information Science, 20-22 Avril, Visegrad, Hongrie, 339-344.
- Saracco G., Moreau F., Mathé PE, Hermitte D, Michel JM, 2007, Multi-scale tomography of buried magnetic structure: Its use in the localization and characterization of archaeological structures, Geophys. J. Int., 171 (1), 87-103.
- Saracco G., Labazuy P., Moreau F., 2004, Localization of self-potential sources in volcano-electric effect with complex continuous wavelet transform and electrical tomography methods for an active volcano, Geophys. Res. Lett., 31(12), juin, L12610 (5 pages).

Biographie de Ginette SARACCO

Née à Pérrégaux (DZA),
2 enfants

CR1, HdR, Qualification Prof. Section 35 et 60

CNRS-UMR6635, CEREGE
Modélisation & Imagerie
de Milieux Complexes
Tel: 33 442 971 755, Fax: 33 442 971 559
e-mail:saracco@cerege.fr

Thématique de Recherche

Imagerie Géophysique en ondes acoustique, électrique ou magnétique
Etude du champ magnétique terrestre (variation séculaire, forçage orbital, influence en paléomag/paléoclimat)
Propagation /diffusion acoustique en régime transitoire, Déconvolution. Problème inverse en théorie du potentiel
Méthode temps-fréquence/temps-échelle, théorie des ondelettes, Méthodes asymptotiques
Tomographie électrique et acoustique de milieux hétérogènes poreux (systèmes hydrothermaux (volcans),
écosystèmes sédimentaires), Endoscopie sismique 3D. Tomographie multi-échelle (élec., mag.) de PS

Activités et Expériences professionnelles

Sept. 2001 Mobilité Thématique & Géographique: CR1, CNRS-UMR 6635, CEREGE, Aix en Provence
Janv. 1994 Affectée CR1 au CNRS UPR 4661, Géophysique Interne, Géosciences-Rennes (SDU)
1992-93, Associate Researcher, Appl. Res. Lab., Penn-State University, Pennsylvania, USA
1991-1989- Contractuelle du CNRS, UPR 7051, Labo. de Mécanique et d'Acoustique (Acoustique sous-marine
& Ultrasons) Marseille
1989-1986, Contractuelle CNRS, Labo. de Mécanique et d'Acoustique Marseille/DIGILOG et CNRS-Centre de
Phys. Théo., Marseille-Luminy.
1984-1982 Allocataire de Recherche, CNRS-LMA- Marseille, Mécanique du Solide & Thermographie Infrarouge

Administration de la Recherche

2010 Editeur invité de la revue Applied & Computational Harmonic Analysis (Elsevier, USA)
2007-2008 Expert Internationaux (NSERC/CRSNG (Canada), Nationaux (projet Region autre que PACA),
2007-2008 Expert scientifique AERES
2004-2008 Secrétaire Scientifique du Comité National du CNRS section 18;
2004-2008 Membre du Conseil de l'INSU
2000-2004 Membre du Comité National du CNRS section 13;
2000-2004 Membre de Comités d'Evaluation STIC/SPI, SDU/SPI
1998 Editrice scientifique des actes de la Conference Internationale: Perspectives in Mathematical Physics, in honor
of A Grossmann, ISBN, CNRS-UPR 7061, Marseille, Centre de Physique Théorique, no CPT-98/P 3748

Animations et Responsabilités scientifiques

2006- Responsable du groupe: Modélisation & Imagerie Geophys. de Milieux Complexes, CEREGE (7 permanents)
2005- Creation et Developpement du laboratoire d'Acoustique en Géosciences de l'Environnement, CEREGE
2000-2001 Responsable de l'équipe Géophysique Interne de Géosciences-Rennes, Rennes (12 permanents)
2000-2001 Responsable du Groupe de travail : Filtrage multi-echelle en Imagerie Geophysique (Rennes I et II)
1994-2001 Responsable du Laboratoire d'Acoustique de Géosciences-Rennes (Creation et Developpement)
2008 Organisatrice de la Conference Intern. in honor of J. Morlet: Continuous wavelet transform and Morlet's wavelet,
27-28 Oct. 2008, CIRM, Campus de Luminy, Marseille
2002 Organisatrice du Workshop: Solitary waves and shock waves in geophysics: (Theory & Applications to Volcanoes,
Earthquake), 16-17 Dec. 2002, CEREGE.
1997 Organisatrice de la Conference Internationale in honor of A. Grossmann: Perspectives in Mathematical Physics,
CIRM, Campus de Luminy , Marseille July 26th -Aug. 2nd, 1997

**Encadrements scientifiques: Thèses (dir/codir) 8, 1 PhD (Fr/ca), 1 CDD (CEE), 1 Post-doc (INSU),
Masters (Phys., Geophys) et Eleves Ing. (20)**

Publications (3)

Mauri G., Williams-Jones G. & Saracco G., 2010, Accurately determining the depths of hydrothermal systems by self-potential and multi-scale tomography, J. Volc. Geotherm. Res., in press
Saracco G., Moreau F, Mathé PE, Hermitte D & Michel JM, Multi-scale tomography of magnetic buried structures, Geophys. J. Int, 171(1), 87-103.
Moreau F., Gibert D., Holschneider M. & G. Saracco, 1999, Identification of sources of potential fields with the continuous wavelet transform: Basic Theory, J. Geophys. Res., 104, B3, 5003-5013.

Family name: TRAVI

First name: Yves

Université d'Avignon

Laboratoire Hydrogéologie, 33 rue pasteur

Avignon, 84 000

Date of birth : 1948/09/12

Place of birth: HYERES 83 France

Nationality: French

Telephone (office): 33 (0) 4 90144488

Fax: 33 (0) 4 90144489

e-mail: yves.travi@univ-avignon.fr

PROFESSIONAL INFORMATION				
EDUCATION (scientific, technical and professional education)				
Dates attended		Name and location of institution of learning	Academic degrees, certificate or diplomas obtained	Main field of study
From	To			
1971	1972	University of Nice	Master	Geology
1973	1976	University of Nice	PhD	Hydrogeology, hydrochemistry
1981	1988	University of Paris-Sud (Orsay)	Dr Sciences (Doctorat Etat)	Hydrogeochemistry, Isotope hydrology
PROFESSIONAL EXPERIENCE				
From: 1997 To: 2003		Title of position: Professor, Head of teaching Department		
French University, teaching and research		Duties: Teaching, research and administrative organisation.		
1) International Research Activity- EU project GASPAL (ENRICH). Together with Wallingford (Prof. Edmunds) and Sahelian African Countries. Objectives : isotope and chemical data set on groundwater for Palaeohydrology (1998-2001). - European "Palaeaux" & "Baseline" projects (4&5ème PCRD) (1997 -2003) with British Geological Survey, Wallingford, in charge of the French part. (Palaeaux = Management of coastal aquifers in Europe, Pleaewaters, natural control and human influence) - IAEA, Research Agreement N° 11328/R0 (2000-2003) (Coordinated Research programme : Isotopic Precipitation in the Mediterranean Basin in Relation to Air Circulation Patterns and Climate). Expert for the NATO project, "Comparative studies of hydrological and ecological in tectonic lacustrine basins: Sevan (Arménia), Druksiai (Lithuania) (2000-2002).				
2) Main teaching topics General Hydrogeology – Hard rock groundwater Hydraulic - Hydrochemistry and water quality –Hydrology- isotope hydrology,-Environmental water quality-Photogeology and remote sensing - Cartography.				
From: 2004 To: Present time		Title of position: Head of Research laboratory, EA 2665, Lab Hydrogeology up end of 2007.		
		Number and kind of staff supervised: 25, searchers, technical and PhD students		
		Duties: Research and teaching, Administrative management of the Lab Analytical Lab supervision; 3 thesis supervision Member of the Scientific Committee for the French Ministry MAWARI project (Djibouti, Ethiopia, Kenya), 2005-2008		
Lecturing experience : Lectures or seminars for IAEA, UNESCO and French Foreign Ministry in different countries (Ethiopia, Morocco, Tunisia, Haiti, Armenia, Libya, Senegal, Niger..). Duration between one and Three weeks. The main topics are hydrogeology, Isotope Hydrology (fundamentals and applications to water resource management or dam safety)				
Specific experience, not given above, related to the transfer of scientific and technical knowledge with special emphasis on developing countries and on project management: - Acting during 12 years as teacher and scientific technical adviser in Mali and Senegal. Participation to CNRS Research Programmes on the Palaeohydrology of the Sahelian zone, and Expert for a number of IAEA TC projects. - In charge for my Lab or as French co-ordinator of 4 EC projects (1989-2003)				
Special qualifications and skills confirmed by licenses held and membership in professional, civic, public or international societies : Chartered Hydrogeologist for the French administration. Member of IAH (International Association of Hydrogeologist) Reviewer for about ten international publications.				

Publications (3)

Blondel T., Travi Y., Emblanch C., Dudal Y., 2009, Organic matter as a potential complementary tool for $\delta^{18}\text{O}$ data interpretation in heterogeneous aquifer. *Isotopes in Environmental and health Studies*. Accepted.

Huneau F. & Travi Y., 2008, The Miocene Aquifer of Valréas (France). In *Natural Groundwater Quality*, M.W. Edmunds and P. Shand Eds, Blackwell Publishing. Chap. 13, p. 287-305.

Celle jeanton H., Huneau F., Travi Y., Edmunds M., 2009, 20 years of groundwater evolution in the Triassic sandstone aquifer of Lorraine: impacts on baseline water quality. *Applied Geochemistry*, 24, 7, 1198-1213.2.