



## **PROTECTION DES RESSOURCES EN EAU ET DEVELOPPEMENT LOCAL :**

**transposer l'expérience acquise dans le domaine des eaux minérales**

**Seizièmes Journées Techniques du Comité Français  
de l'Association Internationale des Hydrogéologues**

**16-17 octobre 2009**

**Palais Lumière, Evian, France**

<http://www.cfh-aih.fr/>

*Edité par :*

*Patrick Lachassagne et Gérard Nicoud, secrétaires du colloque*

### **Comité d'organisation**

BARAN Nicole  
BELEY Jean-Jacques  
BLAVOUX Bernard  
CHERY Laurence  
LACHASSAGNE Patrick  
LECLERC Bruno  
NICOUUD Gérard  
ROUX Jean-Claude  
VIDAL Olivier

BRGM, secrétaire adjointe CFH-AIH  
Danone Research  
Université d'Avignon, CFH - AIH  
BRGM, secrétaire CFH-AIH  
Evian Volvic Sources, CFH - AIH  
Géo-Hyd, Trésorier du CFH-AIH  
Université de Savoie Chambéry, CFH  
Président du CFH-AIH  
Nestlé Waters France/Belgique, CFH - AIH

### **Parrainages**

Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse  
BRGM  
Direction Générale de la Santé  
Evian Volvic Sources – Danone Research  
MEEDDM  
Nestlé Waters France  
Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques

*Actes des journées techniques du Comité Français d'Hydrogéologie de l'Association Internationale des Hydrogéologues « PROTECTION DES RESSOURCES EN EAU ET DEVELOPPEMENT LOCAL : transposer l'expérience acquise dans le domaine des eaux minérales », 16-17 octobre 2009.*



**PROTECTION DES RESSOURCES EN EAU  
ET DEVELOPPEMENT LOCAL :**  
**transposer l'expérience acquise dans le domaine des eaux minérales**

Le colloque a trois principaux objectifs :

- proposer un état de l'art des avancées récentes (hydrodynamique, géochimie, modélisation, etc.) appliquées à la connaissance de la structure et du fonctionnement, à la mise en valeur, la gestion et la protection des hydrosystèmes complexes et variés tels que les différents types d'aquifères minéraux et thermaux ;
- faire le point sur les évolutions réglementaires récentes intervenues en France et en Europe dans le domaine des eaux minérales (déconcentration notamment) et proposer le cas échéant des orientations ou des actions destinées à infléchir certains de leurs éventuels points faibles ;
- présenter les principaux types de politiques de protection des eaux minérales, leurs apports en terme de développement local et tenter un parallèle avec les démarches (hydrologiques, socio-économiques, etc.) destinées à la mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau. Rechercher ainsi des axes d'enrichissement mutuel des différents types de politiques.

Le colloque s'articule autour de communications orales (sur invitation du Comité d'Organisation), de sessions posters et de tables rondes ouvertes à la participation des congressistes.

La journée du 17 octobre est consacrée à une excursion de terrain.

**Comité scientifique**

ALCAYDE Gilbert	Membre du Comité d'experts spécialisé "Eaux" de l'AFSSA. Président du groupe de travail "Eaux minérales naturelles". ETH – Zurich, Suisse
BALDERER Werner	ENGREF, Paris
BARRAQUE Bernard	Université d'Avignon
BLAVOUX Bernard	Université d'Evora, Portugal
CHAMBEL Antonio	INRA - Thonon-les-Bains
DORIOZ Jean Marcel	Université de Paris VI – Thonon-les Bains
DRAY Martial	Université de Bordeaux III
FRANCESCHI Michel	Université de Paris VI
MARSILY de Ghislain	Université de Paris XI
MICHELOT Jean Luc	Université de Franche Comté
MUDRY Jacques	Université de Savoie Chambéry
NICOUD Gérard	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse
PARRIAUX Aurèle	Université de Montpellier II
PISTRE Séverin	Nestlé Waters France/Belgique
VIDAL Olivier	Université de Venise, Italie
ZUPPI Gian Maria	



## PROTECTION DES RESSOURCES EN EAU ET DEVELOPPEMENT LOCAL :

**transposer l'expérience acquise dans le domaine des eaux minérales**

**Seizièmes Journées Techniques du Comité Français  
de l'Association Internationale des Hydrogéologues**

**16-17 octobre 2009**

**Palais Lumière, Evian, France**

<http://www.cfh-aih.fr/>

### Programme de la Journée technique

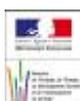
Vendredi 16 octobre	
08h15	<b>Accueil des participants</b>
08h45	<b>Ouverture du Colloque</b> <b>J.P. Deffis</b> ( <i>PDG Evian Volvic Sources</i> ), <b>M. Francina</b> ( <i>Député Maire d'Evian</i> ), <b>G. Lacroix</b> ( <i>Conseiller Général, Maire de Publier</i> ), <b>J.Y. Moracchini</b> ( <i>Sous Préfet de Thonon</i> )  <b>Jean-Claude ROUX</b> , <i>Président du Comité français de l'AIH</i>
09h15	<b>Conférence introductive</b> Les Eaux Minérales  <b>Bernard Blavoux</b> , <i>Université d'Avignon</i>
9h30	<b>Session 1 - Eaux minérales, aspects réglementaires</b>  <b>Président de séance : Bernard BLAVOUX, Université d'Avignon</b>
9h30-9h40	Qualité des eaux minérales et évolutions réglementaires récentes sur les Eaux Minérales en France et en Europe. <b>Laetitia Guillotin</b> , Bureau de la Qualité des eaux, <i>Direction Générale de la Santé</i> .
9h40-9h50	Déconcentration des procédures eaux minérales - Mise en œuvre départementale - Exemple de la Loire. <b>Michel Ferrand</b> , <i>Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales de la Loire</i> .
9h50-10h00	Lignes directrices pour l'évaluation des eaux minérales au regard de la Sécurité Sanitaire. <b>Juliette Hospitalier</b> , <i>Unité d'évaluation des risques liés à l'eau. AFSSA</i>
10h00-10h40	<b>Table ronde (avec participation des congressistes)</b>



	<p align="center"><b>Animateur : Philippe VIGOUROUX, BRGM</b></p> <p align="center"><b>Eaux Minérales et évolutions réglementaires : déconcentration, régionalisation, etc.. Avantages, inconvénients. Que proposer pour une transition efficace ?</b></p> <p align="center"><b>Participants :</b></p> <p><b>Gilbert Alcayde</b> - Membre du Comité d'experts spécialisé "Eaux" de l'AFSSA. Président du groupe de travail "Eaux minérales naturelles". (sous réserve)  <b>Christine Barbet</b> - Evian Volvic Sources  <b>Michel Ferrand</b> - Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales de la Loire  <b>Patrick Guilleminot</b> - Hydrogéologue agréé ; départements. 09, 32, 82  <b>Laetitia Guillotin</b> - Bureau de la Qualité des eaux. Sous-direction de la Prévention des risques liés à l'environnement et à l'alimentation Direction Générale de la Santé  <b>Pierre Yves Poulard</b> - Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes  <b>Wainer Tabone</b> – Délégué Général – Conseil National des Exploitants Thermaux  <b>Olivier Vidal</b> - Ressources en Eau - Nestlé Waters France/Belgique</p>
10h40-11h20	<p><b>Introduction de la session POSTERS</b> Pause café</p>
11h20	<p><b>Session 2 - Eaux Minérales, diversité des gisements, diversité des outils/approches techniques</b></p> <p><b>Président de séance : Aurèle PARIAUX (EPFL, Lausanne, Suisse)</b></p>
11h20-11h40	Géologie et hydrogéologie d'un complexe glaciaire remarquable : le site d'Evian. <b>Gérard Nicoud</b> , Université de Savoie - <b>Bernard Blavoux</b> , Université d'Avignon - <b>Jean-Christophe Bligny</b> , Danone - <b>Jean-Jacques Beley</b> , Danone Research - <b>Anne Guyomard</b> , SIAC – <b>C. Barbet</b> , <b>P. Lachassagne</b> , Evian Volvic Sources - <b>D. Peton</b> , Université de Savoie - <b>Anne Triganon</b>
11h40-12h00	Structure et fonctionnement hydrogéologique de l'hydrosystème minéral volcanique de Volvic. Perspectives pour sa modélisation. <b>P. Lachassagne</b> , Evian Volvic Sources.
12h00-12h20	Géologie-hydrogéologie du bassin hydrominéral de Vittel-Contrexéville - <b>Olivier Vidal</b> - Ressources en eau - Nestlé Waters France/Belgique
12h20-12h40	San Pellegrino, hydrogéologie et exploitation d'une ressource minérale unique - <b>Ronan Le Fanic</b> - Corporate hydrogeologist - Nestlé Waters M.T.
12h45 - 13h15	<b>Remise des Prix Castany et Archambault</b>
13h15 -14h30	<b>Déjeuner au Palais Lumière</b>
14h30	<p><b>Session 2 - Eaux Minérales, diversité des gisements, diversité des outils/approches techniques (suite)</b></p> <p><b>Présidents de séance : Aurèle PARIAUX (EPFL, Lausanne, Suisse), Patrick LACHASSAGNE (Evian Volvic Sources)</b></p>
14h30-14h50	Gestion durable des eaux minérales de Spadel (« Spa » - Belgique - et « Grandes Source de Wattwiller » - Alsace). <b>Patrick Jobé</b> , SPA Monopole NV
14h50-15h10	Géologie, Hydrodynamique, Hydrochimie et Modélisation thermique : des outils complémentaires pour la compréhension du fonctionnement des systèmes thermo-minéraux : exemple du site de la Léchère. – <b>E. Thiébaud</b> , <b>M. Dzikowski</b> , <b>D. Gasquet</b> (Université de Savoie), <b>J.L. Garnier</b> (Directeur Technique de la Communauté de Communes des Vallées d'Aigueblanche)
15h10-15h30	Modélisation numérique d'un site thermal (Dax, Landes) - <b>A. Dupuy</b> , Université de



15h30-15h40	<i>Bordeaux III</i>  Synthèse - <b>Patrick Lachassagne</b> , <i>Evian Volvic Sources</i>
15h40-16h05	<b>Session POSTERS</b> <i>Pause café</i>
16h05	<b>Session 3 - Politiques de protection des eaux, Aires d'alimentation des captages.</b> <b>Président de séance : Olivier VIDAL, Nestlé Waters France/Belgique</b>
16h05-16h25	Le concept de « Parc Naturel Hydrogéologique » : mythe ou réalité ? - <b>G. de Marsily</b> , <i>Université de Paris VI.</i>
16h25-16h45	Politique de protection des ressources en eau, avec projection du film de 2008 sur AGRIVAIR - <b>Olivier Vidal</b> - <i>Ressources en eau - Nestlé Waters France/Belgique</i>
16h45-17h05	Evian, Volvic, modèles de protection des ressources en eau du Groupe Danone. <b>C. Le Hec</b> , <i>Evian Volvic Sources</i> – <b>J.J. Beley</b> , <i>Danone Research</i>
17h05-17h25	Politique nationale de préservation des captages AEP vis-à-vis des pollutions diffuses par les nitrates et les produits phytosanitaires. - <b>Rémi Buchet</b> <i>Bureau des eaux souterraines et de la ressource en eau, Ministère de l'environnement</i> – <b>MEEDDM, Caroline Henry de Villeneuve</b> - <i>DIREN Bassin Rhône Méditerranée</i>
17h25-17h40	Démarche de préservation des ressources en eau pour la satisfaction des besoins futurs. <b>Laurent Cadilhac</b> , <i>Agence de l'eau RM&amp;C</i>
17h40-18h00	Socio-économie. Comparaison des processus de redistribution aval/amont des minéraliers et processus DCE - <b>Marc Benoit</b> , <i>INRA Mirecourt</i>
18h00-18h55	<b>Table ronde (avec participation des congressistes)</b> <b>Animateur : Laurent Cadilhac, Agence de l'Eau RM&amp;C</b> <b>Quels enseignements tirer des politiques de protection des eaux minérales dans le cadre de la mise en œuvre de la DCE ?</b> <b>Participants :</b> <b>Jean-Jacques Beley</b> - <i>Danone Research</i> <b>Marc Benoit</b> - <i>INRA Mirecourt</i> <b>Rémi Buchet</b> - <i>Direction de l'eau et de la biodiversité / MEEDDM</i> <b>Laetitia Guillotin</b> – <i>Bureau de la qualité des eaux, Direction Générale de la Santé</i> <b>Patrick Jobé</b> - <i>SPA Monopole NV</i> <b>Cathy Le Hec</b> - <i>Evian Volvic Sources</i> <b>Ghislain de Marsily</b> - <i>Université de Paris VI</i> <b>Olivier Vidal</b> - <i>Nestlé Waters France/Belgique</i>
19h00	<i>Fin de la journée technique</i>



## PROTECTION DES RESSOURCES EN EAU ET DEVELOPPEMENT LOCAL :

**transposer l'expérience acquise dans le domaine des eaux minérales**

**Seizièmes Journées Techniques du Comité Français  
de l'Association Internationale des Hydrogéologues**

**16-17 octobre 2009**

**Palais Lumière, Evian, France**

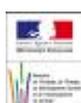
<http://www.cfh-aih.fr/>

### Table des matières

	Page
<b>Conférences introductives</b>	
<b>Session 1 – Eaux Minérales, aspects réglementaires.</b>	11
Présentation et spécificités du domaine des eaux minérales – <b>B. BLAVOUX</b>	13
Eaux minérales naturelles : évolutions réglementaires et qualité des eaux – <b>L. GUILLOTIN</b>	19
Déconcentration des procédures relatives aux Eaux Minérales. Mise en œuvre départementale – <b>M. FERRAND</b>	21
Lignes directrices par l'évaluation des eaux minérales au regard de la sécurité sanitaire – <b>J. HOSPITALIER-RIVILLON, G. ALCAYDÉ, J-L. BOUDENNE, J. CARRÉ, P. CHAMBON, J-F. DUHAMEL, S. DUBROU, P. LEROY, A. MARCELLI, A. MONTIEL, J-N. MUDRY, J-F. MUNOZ, M-P. SAUVANT-ROCHAT, X. DAUCHY, R. MÉHUT, G. POPOFF, C. ROSIN, R. TARDIVEL</b>	27
<b>Session 2 – Eaux Minérales, diversité des gisements, diversité des outils/approches techniques.</b>	33
Géologie et hydrogéologie d'un complexe glaciaire remarquable : Le site d'Evian – <b>G. NICOUD, B. BLAVOUX, J-C. BLIGNY, J-J. BELLEY, Ch. BARBET, P. LACHASSAGNE, F. GUITER, A. GUYOMARD, D. PETON, A. TRIGANON</b>	35



Structure et fonctionnement hydrogéologique de l'hydrosystème minéral volcanique de Volvic. Perspectives pour sa modélisation. <b>P. LACHASSAGNE</b>	37
Géologie- hydrogéologie du bassin hydrominéral de Vittel – Contrexéville - <b>O. VIDAL, M. ALLEMMOZ</b>	45
San Pellegrino, hydrogéologie et exploitation d'une ressource minérale unique – <b>R. LE FANIC</b>	53
La gestion durable des eaux minérales de SPADEL (spa en Belgique et les grandes sources de Wattwiller en Alsace) – <b>P. JOBE</b>	61
Géologie, hydrodynamique, hydrochimie et modélisation thermique : des outils complémentaires pour la compréhension du fonctionnement des systèmes thermominéraux : exemple du site de la Léchère – <b>E. THIEBAUD, M. DZIKOWSKI, D. GASQUET, J-L. GARNIER</b>	67
Modélisation numérique d'un site thermal (Dax, Landes) – <b>A. DUPUY</b>	75
<b>Session 3 – Politiques de protection des eaux, Aires d'alimentation des captages.</b>	<b>83</b>
Le concept du Parc Naturel Hydrogéologique : Mythe ou réalité ? – <b>G. DE MARSILY</b>	85
Nestlé Waters France : Politique de protection des ressources en eau – <b>O. VIDAL, P. PIERRE</b>	89
Evian : Modèle de protection des ressources en eau du Groupe Danone - <b>J-J. BELEY, C. LE HEC</b>	95
Démarche de préservation des ressources en eau souterraine pour la satisfaction des besoins futurs. Les travaux engagés sur le bassin Rhône-Méditerranée – <b>L. CADILHAC</b>	103
Politique nationale de préservation des captages AEP vis à vis des pollutions diffuses par les nitrates et pesticides – <b>R. BUCHET, C. HENRY DE VILLENEUVE</b>	109
Territorialisation de l'activité agricole et maîtrise des cycles biochimiques : Enjeux majeurs de la gestion des territoires d'eaux minérales et potables – <b>M. BENOIT</b>	117
<b>POSTERS.</b>	<b>125</b>



Un projet de recherche pluridisciplinaire pour la connaissance du site carbo-gazeux de Quézac – <b>N. COURTOIS, P. AUDIGANE, B. BOURGINE, B. DEWANDEL, A. GENNA, B. LADOUCHE, P. LE STRAT, J. LIONS</b>	127
Parc Naturel Hydrogéologique du Forchat (Haute-Savoie, France) : contexte, cadre géographique, hydrogéologie et outil d'aide à la décision – <b>B. DEVILLE</b>	135
Périmètres de protection en Afrique : exemple de la source Tangui (Cameroun) – <b>A. GUTIERREZ, P. PROVEUR, S. NOUADJAN</b>	141
Aspects réglementaires relatifs à la prévention de la qualité des eaux minérales en Algérie – <b>M.I. HASSANI</b>	147
Embouteillage et soins thermaux : une même ressource pour plusieurs usages – <b>N. MAURILLON, C. OHAYON-COURTES</b>	153
Fluorimètre de terrain pour multi-traçages hydrogéologiques au moyen de traceurs incolores - <b>P-A. SCHNEGG, P. MEUS</b>	161
La vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région Tébassa-Hammamet (Est Algérie) : caractérisation et mesure de protection – <b>K. SEGHIR</b>	165
Les sources minérales dans la région de Tébassa (NE Algérien) : caractérisation géologique, hydrogéologique, hydro chimique – <b>K. SEGHIR</b>	173
Etat des lieux et bilan de la mise en œuvre de la directive nitrate en France - <b>C. SIMOENS, P. JANNOT</b>	181
<b>H2I</b>	189
Prospection SF <sub>6</sub> - <sup>85</sup> Kr des structures et dynamiques de masses d'eau souterraines – <b>F. BARBECOT</b>	191

**PROTECTION DES RESSOURCES EN EAU ET DEVELOPPEMENT  
LOCAL :**

**transposer l'expérience acquise dans le domaine des eaux minérales**

Seizièmes Journées Techniques du Comité Français  
de l'Association Internationale des Hydrogéologues

**16-17 octobre 2009**  
**Palais Lumière, Evian, France**  
<http://www.cfh-aih.fr/>

***ARTICLES***

**PRESENTATIONS ORALES**



## **Session 1**

### **Eaux Minérales, aspects réglementaires**



# Présentation et spécificités du domaine des eaux minérales

**Bernard Blavoux**

Professeur Emérite à l'Université d'Avignon et des pays de Vaucluse

J'ai abordé pour la première fois le domaine des eaux minérales à l'automne 1962 en débutant ma thèse de 3<sup>ème</sup> cycle d'hydrogéologie sur les sources minérales d'Evian. Mes activités de recherche fondamentale et appliquée se sont poursuivies jusqu'à aujourd'hui sur ce thème des eaux minérales mais se sont partagées entre les différents champs d'expérimentation du traçage naturel chimique et isotopique des eaux souterraines, karsts, aquifères alluviaux, aquifères profonds, avec des applications dans le domaine public comme dans le domaine privé. Fort de ces expériences comparées et témoin de l'évolution des concepts et de la législation de l'eau minérale, je compléterai cette introduction sur la présentation de la ressource et de ses contraintes réglementaires par quelques réflexions sur les spécificités de l'étude et de la protection de l'eau minérale.

## **1. LA RESSOURCE MINERALE ET SON EXPLOITATION**

La France est riche en eaux minérales de compositions et de températures très variées. Elle le doit à la grande diversité de sa géologie et aux conséquences directes ou indirectes des orogénèses pyrénéenne et alpine. Les sources d'eau minérale reconnues lors du dernier recensement de 1998 sont au nombre de 720 dont environ 400 sont exploitées (1200 ont été inventoriées précédemment).

La carte des principaux producteurs d'eau minérale montre leur localisation au Sud-est d'une ligne Bordeaux- Sedan, dans les zones montagneuses plissées et les massifs anciens où une fracturation a été créée ou réactivée par une tectonique active.

L'eau minérale est la matière première de deux activités économiques importantes, le thermalisme et l'embouteillage.

### **1.1 Le thermalisme**

La France compte 107 stations thermales reconnues par la Caisse Nationale d'Assurance Maladie qui reçoivent près de 550.000 curistes par an. Le thermalisme génère près de 10.000 emplois directs, 50.000 emplois indirects (hébergement, restauration) et 50.000 emplois annexes. Son chiffre d'affaires est estimé à 1 milliard d'euros.

### **1.2 L'embouteillage de l'eau minérale**

La production d'eau minérale embouteillée s'élevait en 2005 à 6,7 milliards de litres, 4,5 milliards pour la consommation interne et 2,2 milliards pour l'exportation. Elle se répartit à raison de 85% pour les eaux plates et 15% pour les eaux gazeuses. Cette activité occupe 10.000 emplois directs (usines d'embouteillage) et plus de 30.000 emplois indirects pour un chiffre d'affaires de 3,5 milliards d'euros, soit 2,5% du total de l'industrie agroalimentaire. Les sites de conditionnement de l'eau minérale en bouteilles sont au nombre de 50. Certains sites parmi les plus connus connaissant les deux activités, il existe en France 135 gisements d'eau minérale naturelle en exploitation. Ce regroupement est bien normal puisque thermalisme et conditionnement d'eau en bouteille sont les aboutissements modernes de traditions très anciennes liées à la santé. On doit souligner que la valorisation de ce patrimoine hydrominéral est créatrice d'activités non délocalisables dans des zones où bien souvent le maintien d'une vie économique ne pourrait trouver place selon les critères actuels.

Figure 1 : Carte des stations thermales en France



## 2. LE CADRE LEGISLATIF

### 2.1 Les critères de l'eau minérale naturelle

L'Union Européenne a harmonisé les réglementations sur les eaux minérales naturelles par une Directive de 1980 amendée en 1996 et en 2003 qui a permis la libre circulation entre les pays membres. Elle énonce les critères que doit remplir une eau pour se prévaloir de l'appellation d'eau minérale naturelle :

- pureté originelle (origine souterraine à l'abri de tout risque de pollution)
- composition caractéristique constante
- température constante à l'émergence
- microbiologiquement saine (absence de pathogènes)
- naturelle (interdiction de stériliser ou de faire un traitement de potabilisation, autorisation de séparer les éléments instables comme le fer, le manganèse)
- reconnue minérale dans son pays d'origine.



	<i>Eau du robinet</i>	<i>Eau de source</i>	<i>Eau minérale naturelle</i>
<i>origine</i>	multiples : lacs, rivières, nappes phréatiques, etc..	souterraine	souterraine
<i>protection naturelle</i>	---	obligatoire	obligatoire
<i>traitements chimiques</i>	traitements de potabilisation (plus désinfection chimique pour transport)	aucun traitement de potabilisation	aucun traitement de potabilisation
<i>composition minérale</i>	variable	pas nécessairement stable	obligatoirement stable
<i>effet reconnu sur la santé</i>	---	---	effet favorable à la santé reconnu par l'Académie de Médecine

Figure 3 – Définition réglementaire des différents types d'eau

## 2.2 La procédure d'autorisation d'une source minérale

Le décret de 1997 relatif à la déconcentration des décisions administratives individuelles a profondément modifié les procédures d'autorisation de nouvelles sources ou de renouvellement.

Précédemment l'exploitation était autorisée par un Arrêté du Ministre de la Santé après un avis favorable de l'Académie Nationale de Médecine et une consultation du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique. La DRIRE (ex Service des Mines) instruisait les autorisations à l'émergence, de transport, de mélange ou de traitement alors que la DDASS instruisait la demande d'autorisation d'embouteillage. Désormais c'est le Préfet qui accorde l'autorisation. La DDASS instruit le dossier ; elle désigne un hydrogéologue agréé du département pour donner son avis et consulte le Comité Départemental d'Hygiène.

Il était important dans le cadre de ce colloque d'ouvrir un débat sur toutes ces évolutions réglementaires récentes. Ces précisions et jugements concernent en premier lieu les hydrogéologues qui préparent les dossiers et les hydrogéologues agréés pour le département qui donnent désormais un premier avis.

## 3. LES GISEMENTS D'EAU MINERALE

### 3.1 Diversité, originalité et complexité des hydrosystèmes minéraux

L'appellation hydrosystème minéral et ou thermal est plus explicite que celle de gisement puisqu'il s'agit d'une structure géologique traversée par un flux d'eau de pluie infiltrée qui y acquiert sa minéralisation et sa température. C'est une ressource renouvelable à la différence du gisement qui implique une accumulation passée.

La nature, la concentration des sels dissous et la température des sources minérales sont très diverses en France, d'abord en raison de la diversité géologique de notre territoire et ensuite du fait que leur qualification reposait sur des qualités favorables à la santé et ne tenait pas compte de valeurs seuil ou limite pour ces paramètres physico chimiques. Toutefois, la source minérale est originale dans son environnement hydrogéologique de sources banales dont elle se distingue par la constance de sa composition chimique caractéristique et par le caractère souvent artésien de son émergence.

L'hydrosystème minéral est naturellement protégé de la pollution et son fonctionnement permet le contrôle permanent de la minéralisation de l'eau. Pour posséder ces qualités, l'occurrence de nombreux facteurs est nécessaire et donne lieu à une infinité de combinaisons. Chaque système est unique. La présentation

hydrogéologique de quelques sites d'exploitation d'eau minérale montrera la diversité et la complexité des situations.

### 3.2 Des besoins particuliers de connaissance et des méthodes d'approche spécifiques ?

Pour bien protéger et gérer la ressource thermique il faut bien la connaître. Cette connaissance doit être globale. Elle concerne la structure géologique du réservoir avec **la localisation de l'aire d'alimentation**, le fonctionnement hydrodynamique et hydrochimique du circuit et l'analyse des processus complexes qui peuvent résulter des **mélanges naturels dans la zone d'émergences**. Tous les outils de l'hydrogéologie moderne, la géologie en premier lieu, la géophysique, l'hydrodynamique et la géochimie doivent être mis en œuvre et leurs indications combinées pour valider l'interprétation proposée. Le marquage naturel chimique et isotopique de l'eau et des éléments dissous est tout particulièrement performant pour reconstituer la genèse du produit thermal et son histoire au cours de son trajet jusqu'à l'émergence. **Une fonction de transfert** caractérisant le transfert de pression et surtout le transit de la molécule d'eau entre entrée et sortie (**âge de l'eau**) constitue la carte d'identité de chaque système.

Les exemples présentés montrent que les méthodes d'étude s'adaptent au milieu étudié. Elles ne sont pas différentes de celles utilisées en hydrogéologie de tous les jours, mais toutes celles pouvant apporter un indice, même parmi les plus sophistiquées y sont mises en œuvre. Pour rappel, certains outils comme par exemple les isotopes stables de la molécule d'eau pour la détermination de l'altitude de l'impluvium ou le tritium pour l'évaluation du temps de séjour de l'eau ont été expérimentés sur des sites d'eau minérale avant de passer dans le domaine courant. La complexité du circuit de l'eau minérale est bien réelle, mais est-elle spécifique à ce milieu ou tout simplement mise en évidence par les attentions et moyens apportés à sa connaissance ? Par les mécanismes que l'on y décrit l'étude des eaux minérales est un creuset d'idées nouvelles pour l'hydrogéologie.

## 4. LA PROTECTION DE LA RESSOURCE MINERALE

La protection de l'eau minérale est l'unique garantie de sa qualité puisque l'eau ne peut pas être traitée pour remédier à une détérioration

### 4.1 La protection de la zone d'émergence

C'est à l'émergence lors du retour final à la surface que l'eau minérale est la plus vulnérable car elle traverse un environnement d'eaux banales superficielles.

Une solution consiste à réaliser un **forage** parfaitement étanche dans les premières dizaines de mètres pour aller capter le conduit de l'eau minérale avant ses divergences dans la zone de décompression de surface. Une bonne gestion commande de conserver à l'eau minérale sa pression d'origine supérieure à celle des eaux superficielles.

Autour du captage est mis en place un **périmètre sanitaire** d'émergence, propriété de l'exploitant.

### 4.2 La protection rapprochée réglementaire

Les exploitants d'eau minérale peuvent s'appuyer sur une réglementation spécifique pour mettre en place un **périmètre de protection étendu**. Ce périmètre est assigné par un décret pris en Conseil d'Etat après qu'une déclaration d'intérêt public (**DIP**) des différentes émergences ait été prononcée suivant la même procédure suite à une enquête publique et la consultation de plusieurs instances locales et nationales. Pour assurer la conservation de la source d'un point de vue quantitatif aussi bien que qualitatif, les activités humaines y sont réglementées, certaines pouvant être interdites. Ceci permet par exemple d'éviter la réalisation de travaux souterrains dommageables (forages, constructions) ou de contrôler des activités à risque (les installations classées à risque pour l'environnement sont soumises à autorisation). Sur les 706 sources figurant à l'inventaire de 1998, 158 bénéficient d'une DIP alors que le nombre de sites disposant d'un périmètre de protection s'élève à 38 et intéresse 105 sources. Le plus petit périmètre connu couvre à peine 1 ha et le plus grand celui de Vichy 15.600 ha.

### 4.3 Les politiques de protection partenariale de l'impluvium.

En complément de cette protection rapprochée réglementaire les exploitants d'eau minérale embouteillée ont développé et financent des actions en partenariat avec les acteurs locaux, communes, agriculteurs et autorités afin de promouvoir une gestion durable des activités anthropiques et des écosystèmes de l'impluvium de leurs sources. De telles politiques de protection environnementale ont été initiées dès 1992 à Vittel Contrexéville et à Evian qui nous rendront compte de leur mise en place.

Dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau des démarches analogues ont plus récemment été mises en œuvre pour la protection des bassins d'alimentation des captages AEP contre les pollutions diffuses. Des enrichissements mutuels dans les domaines, technique, opérationnel et socio économique sont attendus de la comparaison de ces politiques environnementales. Un débat qui promet d'être animé est organisé dans ce but.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- *Terroirs et Thermalisme de France 1992* : sous la direction de Charles Pomerol et Jean Ricour , Ed. BRGM, 288 p.
- *La Houille Blanche*, 2-3-1995 : Eaux minérales et thermales
- *Réalités Industrielles*, mai 1998, une série des Annales des Mines, ISSN 1148-7941 : Les eaux minérales naturelles et l'inventaire des sources d'eau minérale naturelle en France, Ed. ESKA.
- 10<sup>ème</sup> journée technique du Comité Français de l'Association Internationale des Hydrogéologues: Circulations Hydrothermales en terrains calcaires, Colloque, **28 novembre 2003**, Carcassonne.
- Livre Blanc- Janvier **2008** de la Chambre Syndicale des Eaux Minérales : *L'eau minérale naturelle*

# **EAUX MINÉRALES NATURELLES : ÉVOLUTIONS RÉGLEMENTAIRES ET QUALITÉ DES EAUX**

**Laëtitia GUILLOTIN**

Chef du bureau de la qualité des eaux  
de la Direction Générale de la Santé  
14, avenue Duquesne - 75350 PARIS 07 SP – Tel. : 01.40.56.58.19 –  
laetitia.guillotin@sante.gouv.fr

La présentation s'attachera à rappeler le contexte réglementaire applicable aux eaux minérales naturelles en insistant plus particulièrement sur les modifications récentes et perspectives d'évolution, au niveau européen et national.

Les eaux minérales naturelles sont soumises à deux directives européennes. La directive 2003/40/CE du 16 mai 2003 fixe la liste, les limites de concentration et les mentions d'étiquetage pour les constituants des eaux minérales naturelles, ainsi que les conditions d'utilisation de l'air enrichi en ozone. La directive 2009/54/CE du 18 juin 2009 relative à l'exploitation et à la mise dans le commerce des eaux minérales naturelles (qui remplace la directive 80/777/CEE du 15 juillet 1980 modifiée) donne la définition d'une eau minérale naturelle, fixe les limites microbiologiques de l'eau à l'émergence et définit les catégories de traitements autorisés, ainsi que les conditions dans lesquelles ceux-ci doivent être utilisés. La principale modification introduite par la directive 2009/54/CE par rapport à la directive 80/777/CEE porte sur ce dernier point : les modalités de mise en œuvre des traitements autorisés sont fixées par la Commission européenne (CE), après avis de l'Autorité européenne de sécurité des aliments. C'est dans ce cadre que la CE a rédigé un projet de règlement européen énonçant les conditions d'utilisation de l'alumine activée pour l'élimination des fluorures.

Au niveau national, la DGS envisage d'introduire la notion de pureté dans l'arrêté du 14 mars 2007, en définissant des limites de qualité pour les micropolluants organiques. Le projet d'arrêté modificatif reprend en partie les lignes directrices de l'AFSSA (rapport en date du 28 mai 2008) et son avis du 17 décembre 2008, qui préconisent de retenir 30 % de la limite de qualité définies pour l'eau destinée à la consommation humaine (application du principe du Codex alimentarius) pour certains micropolluants. En ce qui concerne les pesticides, il fixe la limite de qualité à 0,1 µg/L pour la somme des pesticides et de leurs métabolites. Une enquête nationale réalisée en 2007 et 2008 par le laboratoire d'étude et de recherche en hydrogéologie (LERH) de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA), à la demande de la direction générale de la santé (DGS), permet de montrer que toutes les eaux minérales naturelles conditionnées françaises devraient respecter ces futures valeurs limites.

Enfin, le bilan national du contrôle sanitaire des eaux minérales naturelles piloté par les Directions départementales des affaires sanitaires et sociales (DDASS) pour l'année 2008 sera également présenté.



# **DECONCENTRATION DES PROCEDURES RELATIVES AUX EAUX MINERALES MISE EN OEUVRE DEPARTEMENTALE**

**Michel FERRAND**

DDASS de la Loire

Les modifications du code de la santé publique apportées par le décret du 11 janvier 2007 relatif à la sécurité sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine, ont principalement concerné la réglementation relative aux eaux minérales naturelles.

Les procédures administratives ont été harmonisées pour toutes les eaux destinées à la consommation humaine et toutes les eaux minérales naturelles, y compris les eaux utilisées dans un établissement thermal à des fins thérapeutiques, en tenant compte des spécificités de chaque secteur.

Ceci concerne en particulier l'exploitation des eaux minérales naturelles pour :

1. Le conditionnement de l'eau,
2. L'utilisation de l'eau dans un établissement thermal,
3. La distribution de l'eau en buvette publique, en dehors d'une cure thermale.

## **1. L'AUTORISATION PREFECTORALE**

La réforme de la procédure d'autorisation porte essentiellement sur la globalité de l'instruction par type d'exploitation, sur la complète déconcentration de la décision administrative, sur l'apport de la preuve du respect des exigences réglementaires par le demandeur, sur la délivrance de l'autorisation avant la réalisation du projet, et sur la vérification sur place du respect de l'autorisation administrative avant la distribution de l'eau.

L'autorisation préfectorale porte sur l'ensemble des étapes de l'exploitation, du captage jusqu'au point d'usage. D'autre part, l'autorisation globale d'exploiter vaut reconnaissance de la qualité d'eau minérale naturelle. L'objet du code de la santé publique est de garantir la sécurité sanitaire des eaux de consommation humaine.

La procédure globale est conduite par le préfet /direction départementale des affaires sanitaires et sociales. Elle comprend l'examen de l'ensemble des conditions d'exploitation d'une source, pour un usage annoncé par le demandeur. Le contenu du dossier de demande d'autorisation est précisé par l'arrêté du 5 mars 2007. Il revient au demandeur, lors du dépôt de son dossier, d'apporter la preuve que l'eau présente les caractéristiques d'une eau minérale naturelle. Il s'engage à respecter les règles spécifiques à chaque type d'exploitation grâce aux documents fournis :

- l'étude sur les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du secteur aquifère,
- la nature des terrains et constituants de l'eau minérale,
- les éléments d'information relatifs à chaque captage ou émergence,
- le suivi sur une période de 12 mois du débit, de la température, du niveau piézométrique et de la conductivité,
- 12 analyses physico-chimiques et microbiologiques,
- éventuellement les études cliniques s'il y a utilisation en établissement thermal,
- la justification des procédés de traitement à mettre éventuellement en oeuvre s'il y a conditionnement,
- la procédure de surveillance par l'exploitant,

-les preuves du respect des exigences réglementaires.

Un hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique est désigné par le préfet pour formuler un avis destiné à l'éclairer sur le dossier de demande d'autorisation d'exploiter une source d'eau minérale naturelle. Le rapport de l'hydrogéologue est établi au vu des informations contenues dans le dossier qui lui a été communiqué et des observations qu'il a recueillies sur le terrain. Il porte notamment sur les conditions de la stabilité des caractéristiques de l'eau et sur le débit maximum d'exploitation, ainsi que sur le périmètre sanitaire d'urgence proposé ou sur le périmètre de protection, la vulnérabilité de la ressource et les mesures de protection à mettre en oeuvre.

L'autorisation d'exploiter une eau minérale naturelle est accordée sur dossier. Elle ne vaut de plein droit qu'à l'issue d'une visite de vérification des installations et des résultats d'analyse de l'eau prévue à l'article R. 1322-9. L'accord du préfet pour la distribution de l'eau au public est notifié au titulaire de l'autorisation par lettre accompagnant le procès-verbal de la visite, l'informant que les installations et les résultats d'analyses sont conformes au projet autorisé.

Parallèlement le demandeur doit déposer un dossier en application des dispositions de la police de l'eau. Le prélèvement d'eau dans les milieux naturels est soumis à une procédure de déclaration ou d'autorisation prévue par les articles L. 214-1 et suivants du code de l'environnement.

### **1.1 La protection de la ressource**

Le périmètre sanitaire d'urgence fait partie des conditions d'exploitation réglementaire d'une source d'eau minérale, tandis que l'instauration d'un périmètre de protection d'une source déclarée d'intérêt public est une possibilité supplémentaire offerte par la loi.

### **1.2 Le traitement des eaux minérales**

Les types de traitements des eaux minérales naturelles font l'objet de listes positives fixées par des arrêtés ministériels en fonction du type d'exploitation de l'eau. Lors de la demande d'autorisation d'exploiter les exploitants doivent apporter la justification du recours au traitement et la preuve de leur capacité à maîtriser leur utilisation. Le traitement de l'eau minérale naturelle conditionnée par des procédés employant l'adsorption sélective sur les supports de filtration recouverts d'oxydes métalliques peut être autorisé au cas par cas et à titre transitoire.

### **1.3 La démarche d'assurance qualité**

L'eau minérale naturelle conditionnée est une denrée alimentaire au sens du règlement (CE) n° 852/2004 du 29 avril 2004 relatif à l'hygiène des denrées alimentaires. Il impose aux usines de conditionnement, une obligation de résultats plutôt que des moyens, et la mise en oeuvre de la démarche d'assurance qualité, fondée sur les principes HACCP d'analyse des risques et de maîtrise des points critiques. L'élaboration de guides de bonnes pratiques professionnelles par les exploitants est encouragée.

## **2. L'EXPLOITATION DES GISEMENTS SOUTERRAINS PAR LES SOURCES D'EAU MINERALE DANS LE DEPARTEMENT DE LA LOIRE**

### **2.1 Le contexte géologique et hydrogéologique**

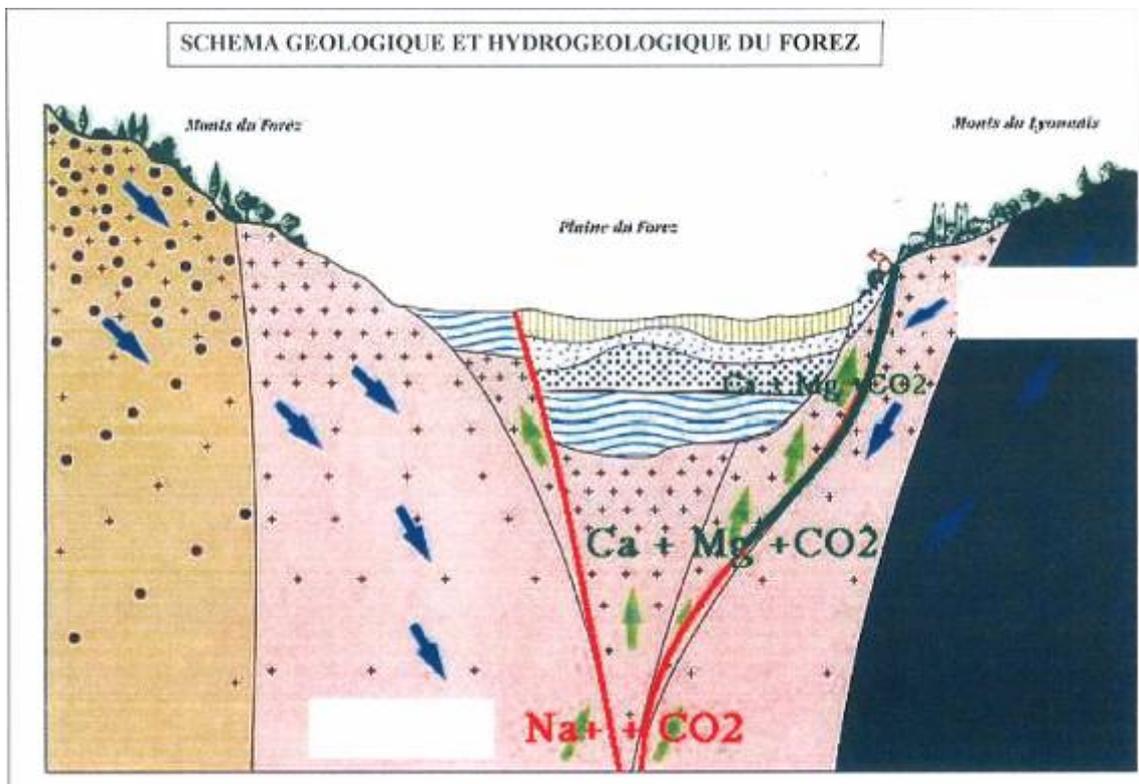
La plaine du Forez, est un bassin d'effondrement tertiaire entouré de massifs cristallins. L'épaisseur totale de la sédimentation peut atteindre 700 mètres. Des épisodes volcaniques sont venus troubler les différentes phases de sédimentation.

Les eaux météoriques s'infiltrent depuis les monts du Forez et les monts du Lyonnais, et descendent à une grande profondeur sous la plaine d'effondrement. Les géothermomètres suggèrent que l'eau minérale est issue de réservoirs à l'équilibre à 3000 mètres de profondeur.

La circulation de l'eau dans le granite se fait essentiellement par les fissures de la roche. L'importance de la fracturation va conditionner les flux d'eaux superficielles et profondes. Le gaz carbonique remonte de la croûte profonde. Certaines fissures conduisent des eaux faiblement minéralisées, d'autres des eaux fortement minéralisées avec du CO<sub>2</sub>. Des mélanges en toutes proportions ont lieu dans les fissures.

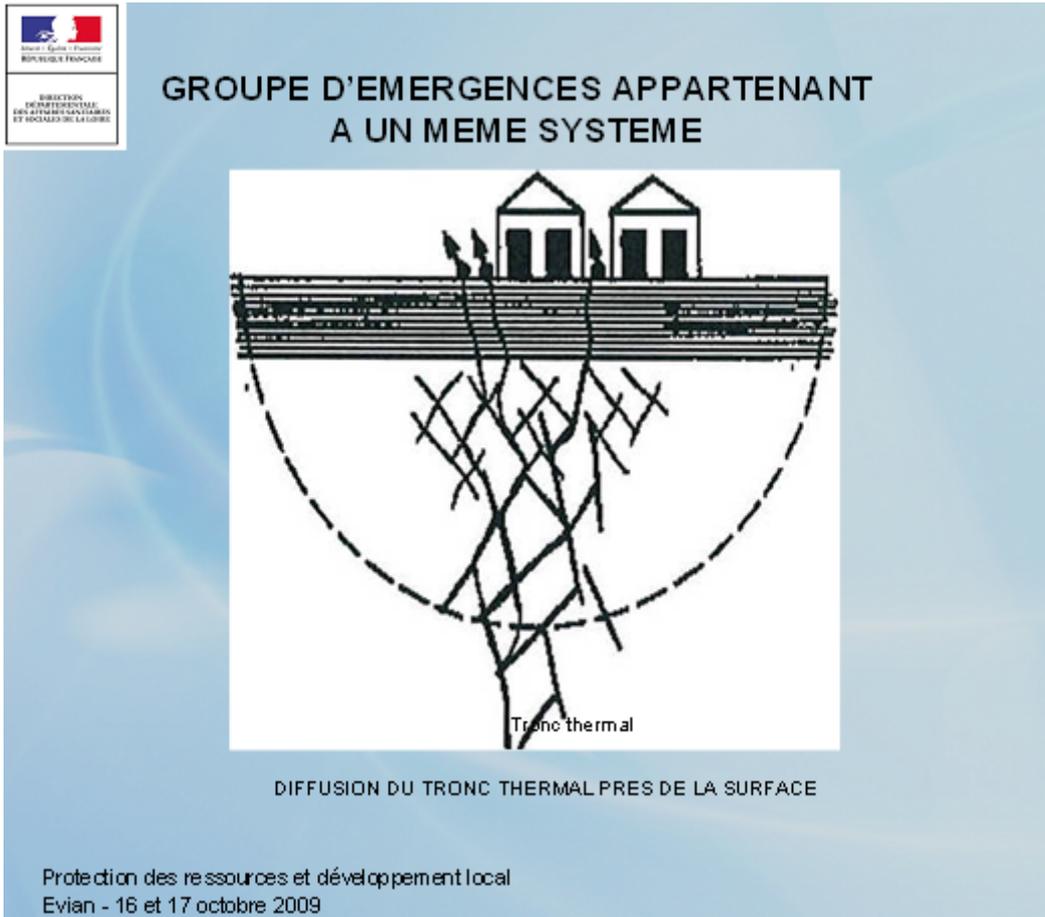
Une différenciation nette se produit au niveau du parcours des eaux minérales et des conditions hydrodynamiques. Des familles d'eau différentes peuvent être rencontrées selon les sondages. La venue d'eau minéralisée vers 200 mètres de profondeur n'est pas systématique. Il y a une présomption que les eaux qui suivent des filons de lamprophyres très magnésiens et aussi plus calciques que les granites donnent un faciès mixte bicarbonaté calcique, sodique et magnésien, alors que les eaux circulant dans d'autres fissures ont un faciès marqué bicarbonaté sodique. Pour certaines eaux minéralisées, les conditions hydrodynamiques se révéleraient plus rapides au niveau de la remontée. Des précipitations de silice peuvent se produire dans les fissures.

Dans le sédimentaire, des niveaux aquifères sableux, sans doute lenticulaires, sont alimentés par les fractures du granit sous-jacent et par des eaux d'infiltration.



## 2.2 Les évolutions intervenues depuis le XIXe siècle dans l'exploitation des gisements

On retrouve trace dans les archives de plus d'une centaine de sources d'eau minérale exploitées au XIXe siècle. Au niveau de chaque émergence la composition de l'eau minérale prélevée sans pompage, était la résultante du mélange en proportion constante des eaux minéralisées profondes et des eaux sub superficielles.



Dans la deuxième moitié du XXe siècle, l'augmentation de la commercialisation des eaux minérales a entraîné la réalisation de forages, ayant pour objectif à la fois d'améliorer la sécurité sanitaire et d'augmenter les débits prélevés. Selon la profondeur et la localisation des forages, les eaux obtenues sont parfois identiques aux sources initiales. Mais ce n'est pas le cas général, et les forages délivrent le plus souvent des eaux plus ou moins concentrées ou diluées par rapport à la source initiale. Les concentrations des paramètres caractéristiques des eaux (Ca, Na, HCO<sub>3</sub>...) peuvent s'échelonner de 1 à 2, voire de 1 à 10 selon les émergences que constituent les nouveaux forages. Ces derniers s'éloignent progressivement du lieu d'implantation de la source initiale, et le gisement s'élargit. Les connaissances sur le contexte géologique et hydrogéologique se renforcent, mais ne sont pas complètes et de nombreuses hypothèses sont faites sur l'impluvium et sur la circulation des eaux.

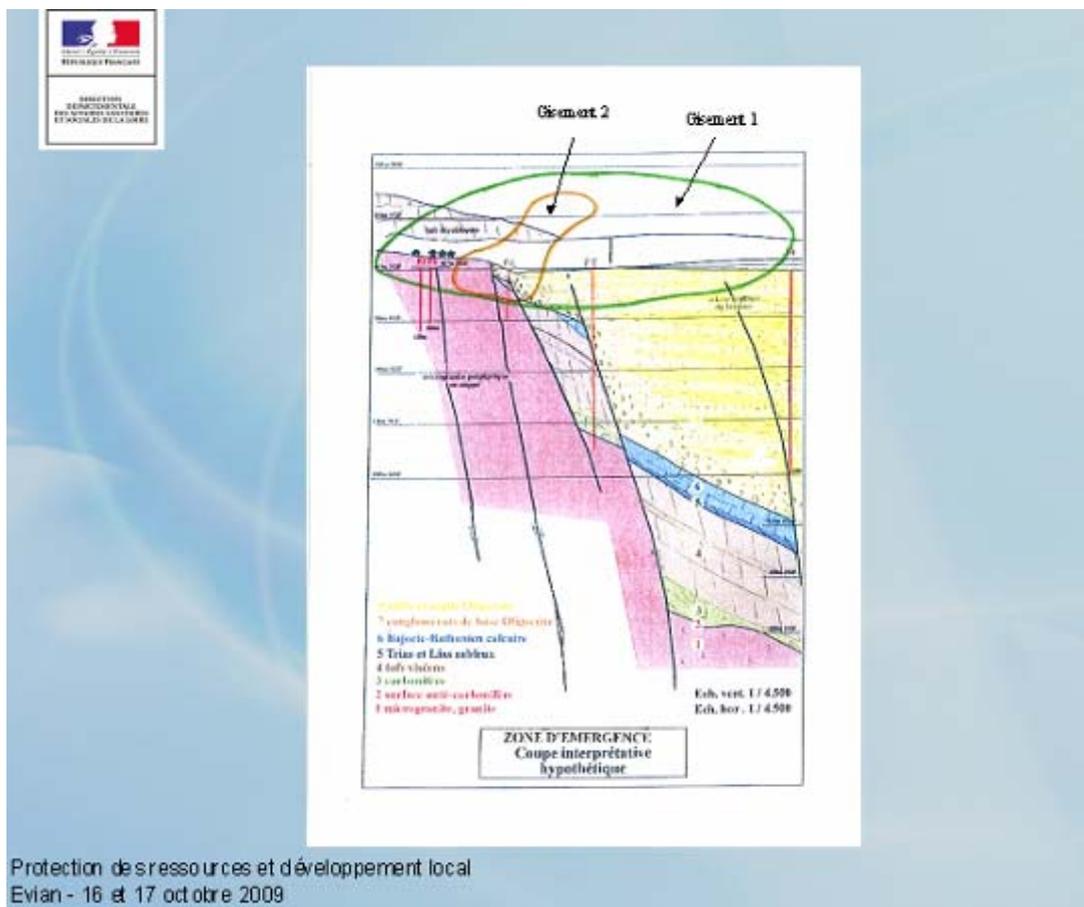
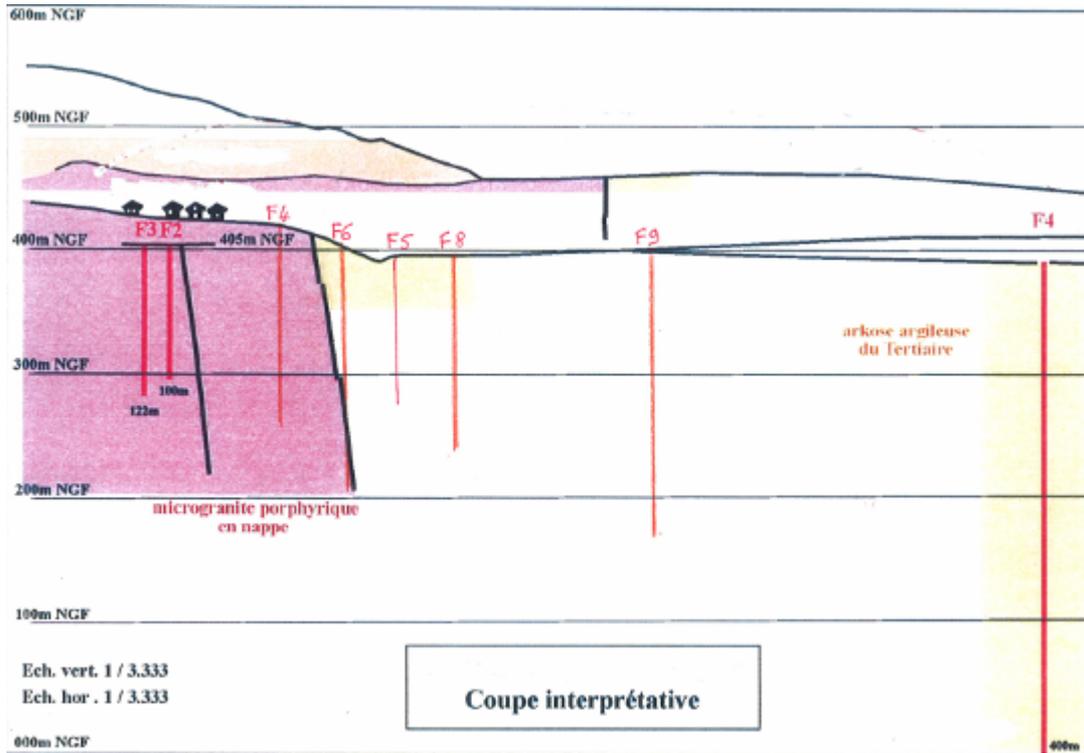
Par ailleurs, la stabilité de l'eau d'une émergence exploitée par un pompage se vérifie sur 12 mois tel que demandé dans les dossiers de demande d'autorisation. Mais sur une période de 15 ou 20 ans, on peut observer des augmentations ou des diminutions des concentrations, allant de 20 à 40 % de l'eau de certains forages.

### **3. L'APPLICATION DES DISPOSITIONS DU CODE DE LA SANTE PUBLIQUE DANS LE CONTEXTE GEOLOGIQUE HYDROGEOLOGIQUE DU DEPARTEMENT DE LA LOIRE ET PLUS GLOBALEMENT A CERTAINS SECTEURS DU MASSIF CENTRAL**

#### **3.1 Un cas particulier ; l'existence de gisements juxtaposés ou imbriqués**

On peut également observer sur certains secteurs en fonction des terrains traversés par les eaux profondes remontant avec le gaz carbonique des différences de composition sensibles selon les forages réalisés dans une même zone géographique (calcium, sodium...). Ces différences proviennent des types de filons dans lesquels transitent les eaux profondes chargées en CO<sub>2</sub>. On peut donc en conclure que l'on se trouve en

présence d'au moins deux gisements sur un même secteur. Ces gisements peuvent être juxtaposés ou imbriqués.



Par ailleurs, la stabilité de l'eau d'une émergence exploitée par un pompage se vérifie sur 12 mois tel que demandé dans les dossiers de demande d'autorisation. Mais sur une période de 15 ou 20 ans, on peut

observer des augmentations ou des diminutions des concentrations, allant de 20 à 40 % de l'eau de certains forages.

### 3.2 Le cas général ; comment la ou les sources exploitent-elles respectivement le ou les gisements :

On constate au niveau des situations existantes deux cas de figure :  
- la constitution d'une seule source, mélange dans des proportions fixes des eaux de tous les forages situés dans une même zone géographique,  
- la constitution de plusieurs sources dans un même secteur géographique ; chaque source correspondant à une émergence (ou forage).

### 3.3 Quelle limite du gisement souterrain

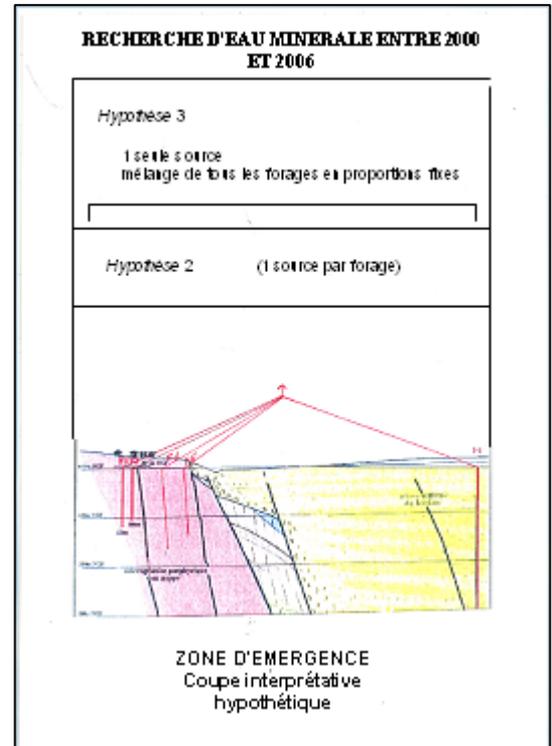
Lorsque les eaux provenant des émergences que sont les nouveaux forages, ont des compositions similaires, les concentrations des paramètres caractéristiques présentent une homothétie, c'est-à-dire que la qualité de l'eau des émergences ne diffère que par l'effet de la dilution plus ou moins importante des eaux des racines profondes par les eaux sub-superficielles. Dans ce cadre, jusqu'où peut-on admettre qu'une émergence, peu minéralisée soit considérée comme faisant effectivement partie du gisement ?

**En conclusion**, dans le contexte hydrogéologique de certains secteurs du Massif central, où l'eau minéralisée des émergences est la résultante d'un mélange entre des eaux profondes et des eaux sub superficielles, il serait souhaitable de préciser deux notions :

- d'une part ce que recouvre un gisement souterrain et plus particulièrement, quelles sont ses limites. Est-il constitué par l'ensemble des secteurs qui fournissent des eaux dont les paramètres caractéristiques présentent une homothétie, c'est-à-dire qu'elles sont plus ou moins concentrées, ou bien y a-t-il autant de gisements que d'eaux de qualités différentes produites par des émergences.

- d'autre part, ce qu'est la constitution ou la reconstitution d'une source en présence de plusieurs émergences, à savoir :

- soit le mélange d'eaux de composition strictement identique,
- soit le mélange d'eaux de composition similaire, ayant la même origine et la même « signature ».



# Lignes directrices pour l'évaluation des eaux minérales au regard de la sécurité sanitaire

**Juliette HOSPITALIER-RIVILLON<sup>1</sup>, Gilbert ALCAYDÉ<sup>2</sup>, Jean-Luc BOUDENNE<sup>3</sup>,  
Jean CARRÉ<sup>3</sup>, Paul CHAMBON<sup>3</sup>, Jean-François DUHAMEL<sup>3</sup>, Sylvie DUBROU<sup>3</sup>,  
Pierre LEROY<sup>3</sup>, Aline MARCELLI<sup>3</sup>, Antoine MONTIEL<sup>3</sup>, Jacques-Noël MUDRY<sup>3</sup>,  
Jean-François MUNOZ<sup>3</sup>, Marie-Pierre SAUVANT-ROCHAT<sup>3</sup>, Xavier DAUCHY<sup>3</sup>,  
Romain MÉHUT<sup>3</sup>, Georges POPOFF<sup>3</sup>, Christophe ROSIN<sup>3</sup>, Roselyne TARDIVEL<sup>3</sup>.**

Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA)  
27-31 avenue du Général Leclerc  
94701 MAISONS-ALFORT

- <sup>1</sup> Unité d'évaluation des risques liés à l'eau [j.hospitalier@afssa.fr](mailto:j.hospitalier@afssa.fr)  
<sup>2</sup> Président du groupe de travail Eaux Minérales Naturelles de l'Afssa  
<sup>3</sup> Membres du groupe de travail Eaux Minérales Naturelles de l'Afssa

## 1. INTRODUCTION

### 1.1 Méthode d'élaboration du rapport

Le rapport de l'Afssa sur les eaux minérales naturelles (EMN) intitulé « Lignes directrices pour l'évaluation des eaux minérales naturelles au regard de la sécurité sanitaire » a été publié en mai 2008. Il a été élaboré par un groupe de travail (GT) qui a fonctionné d'octobre 2003 à février 2008 avec pour missions:

- l'élaboration des lignes directrices dans le cadre de l'appui technique et scientifique à la Direction Générale de la Santé (DGS) visant à faire évoluer la réglementation relative à l'exploitation des eaux minérales naturelles,
- l'examen technique des saisines de la DGS concernant les demandes d'autorisation d'exploitation des eaux minérales naturelles.

Durant son mandat, ce groupe a également répondu en urgence aux questions posées en vue de la modification des dispositions du code de la santé publique relatives aux eaux minérales naturelles.

### 1.2 Structure du rapport

Le rapport comporte:

- 5 parties :
  - Historique et réglementation,
  - Contexte hydrogéologique, vulnérabilité du système aquifère et captage des EMN,
  - Caractéristiques physico-chimiques, stabilité et pureté des EMN,
  - Traitements et adjonctions,
  - Conditions d'exploitation des EMN.

- 2 annexes relatives à:
- quelques concepts et méthodes utilisés en hydrogéologie,
- l'étude du LERH sur la validation du critère de pureté.

## 2. HISTORIQUE ET RÉGLEMENTATION

La loi n° 2004-806 du 9 août 2004 a instauré :

- la mise en place de dispositions pour les procédures de reconnaissance et d'autorisation des EMN,
- l'obligation d'une demande de révision de la reconnaissance et de l'autorisation d'exploitation en cas de modification notable des caractéristiques de l'EMN et de tout changement notable des conditions d'exploitation.

La réglementation des EMN a été modifiée en 2007 après les recommandations du groupe de travail de l'Afssa. Ainsi, elle définit les obligations des exploitants et prévoit des sanctions administratives et pénales en cas de non respect des obligations légales et réglementaires ou des prescriptions individuelles.

La définition réglementaire d'une EMN qui figure dans l'article R. 1322-2 du code de la santé aborde notamment les notions de stabilité et de pureté originelle, ces caractéristiques étant conservées intactes en raison de l'origine de l'eau qui a été tenue à l'abri de tout risque de pollution.

## 3. AU NIVEAU DES CAPTAGES

Une bonne connaissance du contexte hydrogéologique est la base de la maîtrise de la qualité d'une EMN au regard de la sécurité sanitaire et c'est pour cette raison que le rapport présente la typologie des systèmes aquifères ainsi que les investigations nécessaires à la connaissance de l'origine et de la vulnérabilité des EMN au regard du risque sanitaire. Les conditions de captage, les modes d'exploitation et les équipements sont également présentés.

D'un point de vue réglementaire, les EMN ne peuvent être protégées qu'au niveau de leur émergence par un « périmètre sanitaire d'émergence » de faible superficie. Pour améliorer une telle situation, le propriétaire d'une source peut demander que celle-ci soit déclarée d'« intérêt public » par décret en Conseil d'État. Il est alors défini un périmètre de protection dans lequel des interdictions ou réglementations peuvent viser les activités susceptibles de porter atteinte à la qualité de l'EMN.

## 4. STABILITÉ ET PURETÉ D'UNE EMN

### 4.1 Caractéristiques essentielles

Elles sont représentées par:

- des paramètres physico-chimiques : température, pH, conductivité, résidu sec et potentiel d'oxydo-réduction;
- les éléments majeurs essentiels anioniques (hydrogénocarbonates, sulfates, chlorures, fluorures) et cationiques (calcium, magnésium, sodium, potassium) ;
- dans certains cas: la teneur en dioxyde de carbone et en éléments mineurs spécifiques (sulfures, arsenic, lithium, etc.).

Les EMN peuvent également présenter une radioactivité naturelle. Aucune limite réglementaire de qualité n'a été fixée mais les deux arrêtés pris en 2007 :

- imposent pour le calcul de la DTI (dose totale indicative) la détermination des activités  $\alpha$  et  $\beta$  globales, de la teneur en tritium et autres radionucléides,
- fixent les exigences de qualité et les mentions d'étiquetage relatives à l'alimentation des nourrissons.

## 4.2 Stabilité

Bien que la notion de stabilité de la composition d'une EMN soit un critère important de la définition réglementaire, elle est délicate à évaluer. En effet, elle doit prendre en compte le fait que les eaux souterraines présentent des fluctuations de composition qui peuvent être soit d'origine géologique, soit liées au régime d'exploitation. Enfin l'incertitude liée à l'échantillonnage et aux conditions analytiques intervient également dans les variations observées.

Quoi qu'il en soit, le suivi de la stabilité s'avère nécessaire car toute variation est un indicateur de la dégradation de la ressource.

Jusqu'à présent une tolérance arbitraire de 10% a été utilisée mais pose des difficultés, car elle est parfois inférieure aux incertitudes analytiques.

Le groupe de travail a donc proposé une méthodologie pour la caractérisation de la stabilité des paramètres, quelle que soit leurs niveaux de concentration. Celle-ci repose sur le calcul d'un critère de stabilité S prenant en compte notamment le coefficient de variation des données, la variation de la concentration de chaque élément par rapport à l'incertitude analytique. Trois cas peuvent se présenter en fonction de la valeur de S:

- le paramètre est stable au cours du temps,
- le paramètre présente une instabilité marquée,
- le paramètre présente une dérive au cours du temps.

La méthode conclut qu'il y a fluctuations anormales et signes d'instabilité si plus de la moitié des caractéristiques essentielles sont instables. Cette méthodologie est une aide à la décision et non un critère strict de jugement et n'est pas applicable aux EMN carbo-gazeuses.

## 4.3 Pureté

La pureté originelle des EMN est jugée sur trois critères:

- la pureté microbiologique,
- les paramètres physico-chimiques (éléments minéraux toxiques et sous-produits de l'ozonation),
- les substances organiques pour lesquelles il n'existe pas actuellement de critères permettant de juger de la pureté originelle de l'EMN.

Pour les critères microbiologiques, les textes précisent qu'à l'émergence et au cours de leur commercialisation, les EMN doivent être exemptes de germes de contamination fécale, de parasites et de micro-organismes pathogènes.

Pour les critères physico-chimiques réglementaires, l'arrêté du 14 mars 2007 fixe des limites de concentration et des mentions d'étiquetage pour des éléments minéraux tels que As, Se, Ni, F, et des méthodes de traitement en vue de leur élimination sont agréées ou en cours d'agrément.

Par ailleurs des limites maximales sont fixées pour les résidus de traitement des EMN par l'air enrichi en ozone.

Cependant des critères physico-chimiques non réglementés peuvent être présents dans les EMN à l'état dissous ou particulaire et qui peuvent traduire une contamination liée aux traitements ou aux activités anthropiques.

Pour cette raison, le GT a conduit une réflexion en vue de l'évaluation de la pureté en tenant compte de la norme du *Codex alimentarius* qui fixe un niveau d'exigence pour les paramètres résultant d'une contamination, avec le souci de proposer des valeurs seuil indépendantes des performances analytiques des laboratoires.

Le *Codex alimentarius* indique qu'une EMN peut être considérée comme pure dès que pour un élément la concentration se situe à un niveau inférieur à celui de la limite de quantification de la méthode. De plus, la

limite de quantification correspond à 3 fois la limite de détection de la méthode d'analyse et la limite de détection doit correspondre classiquement à 10% de la valeur guide OMS « eau potable ». En appliquant cette méthode la limite de 0,03 µg/L par substance individualisée peut être considérée comme « indicateur de risque de pollution nécessitant des mesures de suivi et de protection adaptées » pour les produits organiques émergents et les composés non référencés dans la réglementation européenne.

## 5. TRAITEMENTS ET EXPLOITATION

### 5.1 Les traitements

Une EMN peut faire l'objet d'un traitement sous réserve qu'il soit spécifiquement autorisé pour l'élimination d'un élément particulier (Fe, Mn, etc.). Tous les traitements applicables aux eaux de consommation ne le sont donc pas pour les EMN et, en particulier doivent être écartés :

- les traitements de désinfection,
- les traitements utilisant des réactifs chimiques rémanents,
- les traitements qui ont un impact important sur la minéralisation de l'eau (coagulation-floculation, techniques membranaires de déminéralisation, etc.).

Outre les traitements actuellement autorisés pour les EMN qui figurent dans la réglementation, les traitements de séparation des éléments indésirables par adsorption sélective sur des médias-filtrants, à base d'oxyde de manganèse, d'oxyhydroxyde de fer ou d'alumine activée en vue de l'élimination de l'arsenic, du fluor, du sélénium, de l'antimoine, du nickel, de l'uranium et du radium, ont été évalués au niveau européen et devraient progressivement s'ajouter à la liste des traitements autorisés.

Le groupe de travail recommande que la profession s'attache à la rédaction de guides techniques concernant les traitements.

### 5.2 Les conditions d'exploitation

En ce qui concerne l'exploitation des EMN, le code de la santé publique ne fixe pas d'obligations de moyens mais une obligation de résultats.

L'Afssa a souhaité attirer l'attention sur des points critiques en terme de santé publique.

- En cas de mélange d'eaux provenant de plusieurs émergences celles-ci doivent, entre autres, avoir la même origine géologique, provenir d'un même gisement et respecter séparément tous les critères d'une EMN,
- Ces eaux peuvent être mélangées en toutes proportions uniquement si elles ont une composition identique et stable. Si elles ont le même profil physico-chimique mais à des niveaux de concentration différents, alors les proportions de mélange sont définies et fixes.
- En aucun cas, la stabilité ne doit être artificiellement maintenue par asservissement des débits à la mesure de la conductivité car cela pourrait masquer l'instabilité de la composition de l'eau d'une ou de plusieurs émergences. Dans tous les cas, le mélange devra témoigner de la stabilité de ses caractéristiques essentielles.

En ce qui concerne les équipements d'exploitation et en raison des risques d'altération des matériaux utilisés pour transporter les EMN (canalisation) et des risques de relargage et de migration de composés organiques, le groupe de travail a estimé qu'il est nécessaire de réaliser une étude préalable au cas par cas afin de choisir et d'adapter les matériaux aux caractéristiques de l'EMN (qualité physico-chimique, température, etc.).

Enfin, en matière de surveillance et de contrôle des équipements d'exploitation, le groupe de travail a relevé qu'à ce jour, aucun guide de bonnes pratiques d'hygiène (GBPH) pour les eaux conditionnées n'est validé alors qu'il permettrait aux professionnels de mettre en place les mesures de maîtrise adaptées pour atteindre les objectifs fixés par la réglementation.

## 6. CONCLUSION

Dans le domaine des eaux minérales naturelles et de leur embouteillage, une longue expérience a été accumulée par les exploitants et les administrations. L'Afssa a traité de nombreuses demandes d'autorisation avant la refonte de code de la santé publique en 2007, ce qui lui a permis d'assister le ministère dans la révision réglementaire. Aujourd'hui, cette compétence est mise au service du ministère dans le cadre d'un accompagnement scientifique et technique au niveau européen.

Il apparaît clairement que l'objectif de pureté qui est affiché pour les EMN passe d'abord par une maîtrise de la protection de la ressource et la mise en place d'outils d'alerte permettant de réagir rapidement en cas de dérive. En effet, une EMN est irrémédiablement touchée si une source de pollution n'est pas détectée et qu'elle parvient à contaminer la ressource. C'est toute l'expérience de l'Afssa qui est traduite dans le rapport présenté et qui déroule les points importants à surveiller, depuis le captage jusqu'à la distribution en passant par la production des EMN.



## **Session 2**

# **Eaux Minérales, diversité des gisements, diversités des outils/approches techniques**



## **Géologie et hydrogéologie d'un complexe glaciaire remarquable : le gisement d'Evian (France).**

**Nicoud G.<sup>1</sup>, Blavoux B.<sup>2</sup>, Bligny J. Ch.<sup>3</sup>, Beley J. J.<sup>4</sup>, Barbet Ch.<sup>5</sup>, Lachassagne P.<sup>5</sup>, Guiter F.<sup>6</sup>, Guyomard A.<sup>7</sup>, Peton D.<sup>1</sup> et Triganon A.<sup>8</sup>.**

<sup>1</sup>. EDYTEM - Université de Savoie ; <sup>2</sup>. Université d'Avignon ; <sup>3</sup>. Danone ; <sup>4</sup>. Danone Research ; <sup>5</sup>. Evian Volvic sources ; <sup>6</sup>. Université d'Aix-Marseille ; <sup>7</sup>. SIA Chablais ; <sup>8</sup>. Maintenant à Véolia Eau.

Le site hydrominéral d'Evian se tient dans le Bas-Chablais, en rive méridionale du lac Léman, entre 375 m et 1200 m d'altitude. Il présente un large versant à regard nord et un vaste plateau (plateau Gavot) dominé à l'Est par la Montagne des Mémises (1675 m) et tranché au Sud et à l'Ouest par les vallées d'Ugine et de la Dranse.

L'eau minérale émerge d'un puissant ensemble détritique glaciaire et glacio-lacustre construit lors des fluctuations glaciaires würmiennes. Il repose sur un substratum de nappes de charriage. L'eau infiltrée sur les parties hautes du site va circuler dans les différents terrains plus ou moins facilement. Mais c'est bien dans l'ensemble détritique que l'eau d'Evian s'homogénéise et équilibre ses paramètres physico-chimiques.

Les formations du substratum correspondent à un empilement de nappes de charriage, à pendage vers le SE. De la base vers le haut, ont été retrouvées en sondages sur le site d'Evian ou en coupes le long de la Dranse à l'Ouest et vers Saint Gingolph à l'Est :

- au NW, des marnes bariolées à lits d'anhydrite et des marnes gréseuses à faciès molassique. Cette molasse parautochtone est développée au SW (Publier), parallèlement au lac. Elle disparaît vers le Nord peu après Evian (Maxilly),
- une nappe de flyschs du Gurnigel constituée de schistes gréseux localement conglomératiques (Les Voirons), rencontrés uniquement en forages dans le versant d'Evian (Champanges, Saint Paul en Chablais...). Des wildflyschs schisteux sont susceptibles d'être positionnés en écaillés à la base, au contact de la molasse. Ils sont décrits dans la basse vallée de la Dranse,
- et au SE, la nappe des Préalpes Médiannes Plastiques où alternent des calcaires siliceux, des dolomies et beaucoup de marnes. Cette nappe est décollée sur un coussinet de cargneules et de gypses triasiques. Elle constitue la montagne des Mémises, le Mont Bénant et affleure aussi sur le plateau Gavot (Vinzier) et le long de la Dranse.

Les formations détritiques ont été appréhendées surtout à partir des nombreux forages et des reconnaissances géophysiques. Les recherches fondamentales suivies depuis 1960 ont permis assez récemment à proposer un modèle géologique qui intègre l'ensemble des données lithostratigraphiques et hydrogéologiques. Il s'articule autour :

- d'un complexe inférieur glaciaire et glacio-lacustre, reposant sur les terrains du substratum. La base est constituée d'une moraine de fond argilo-caillouteuse surconsolidée systématiquement retrouvée en forages au-dessous de 850 m d'altitude et à l'affleurement au-dessus. Elle recouvre alors tout le haut du plateau Gavot et des lignites interglaciaires (Maravant, Chez Portay). L'altitude atteinte par ce premier et puissant glacier würmien est de 1250 m environ. Au retrait de ce glacier d'extension considérable, a succédé un vaste lac de cote égale ou supérieure à 404 m dans lequel se sont décantés argiles, silts et sables sur une

épaisseur hectométrique. Ce gisement de sédiments fins détermine une bande parallèle au lac, de 1200 m de large environ. Elle se poursuit dans le lac. Son épaisseur conservée est plus forte à l'Ouest, l'érosion glaciaire postérieure ayant été plus active à l'Est. Les débris de bois rencontrés en sondages fournissent tous des âges supérieurs à 30000 ans BP. Ils correspondent à des éléments ligniteux interglaciaires repris par érosion,

- du complexe du plateau Gavot glaciaire, fluvio-glaciaire à palustre, d'altitude comprise entre 420 m et 850 m. Il est constitué d'une alternance de dépôts morainiques de fond argilo-caillouteux, de cailloux et blocs attribués à des moraines latérales ou à des épandages fluvio-glaciaires latéraux à la marge glaciaire et de limons argilo-sableux à lits tourbeux décimétriques surconsolidés. Ces sédiments correspondent aux pulsations d'un glacier du Rhône récurrent où l'on peut distinguer treize avancées et douze retraits partiels, malgré des érosions localisées. Parallèlement à la construction de l'édifice du plateau Gavot, le glacier a barré les vallées des Dranses et créé des lacs de grande longueur, de cote 850 m. En témoignent les dépôts argileux laminés instables des versants des Dranses (Bellevaux, Vailly, Vacheresse...). Le glacier a atteint Genève. Ce complexe du plateau Gavot est aujourd'hui perché. Il repose tantôt sur le substratum rocheux de la nappe des Préalpes Médiannes Plastiques en particulier, tantôt sur la moraine de fond du complexe inférieur. Mais il est disposé latéralement aux sédiments glacio-lacustres de ce complexe inférieur et à plus haute altitude. Son épaisseur maximum dépasse 240 m sur le versant pour devenir nulle autour de l'altitude 850 m. Les niveaux tourbeux interstadiques fournissent des âges compris entre 30000 et 27000 ans BP. La déglaciation du plateau Gavot s'est effectuée par étapes, comme en témoignent les rides morainiques latérales sur le versant d'Evian et les "terrasses" de Thonon à l'Ouest, alimentées par la Dranse en cours d'encaissement,

- et d'un complexe emboîté glacio-lacustre et glaciaire, constitué de limons sableux à rares passées graveleuses surmontés d'un manteau morainique de fond imperméable. Les matériaux fins correspondent à l'installation d'un lac proglaciaire de cote voisine 490 m lors d'un troisième retour du glacier. Ces sédiments s'étendent parallèlement à la rive du lac, sur 1000 m de large. Ils sont plus profonds à l'Est, la base étant sous le niveau du lac Léman actuel à 375 m et remontent à l'Ouest au-dessus de 375 m. La couverture morainique s'est développée jusqu'à 650 m d'altitude environ et témoigne d'une ultime récurrence glaciaire (Stade du Petit Lac). Elle va protéger l'aquifère glacio-lacustre emboîté daté entre 25000 et 21000 ans BP. Mais son épaisseur est localement réduite, facilitant l'émergence des sources minérales (Evian Cachat...). Le retrait glaciaire s'est lui aussi effectué par étapes (rides morainiques sur le bas d'Evian, "terrasses" basses de Thonon et tout au long du versant d'Evian). Cet aquifère emboîté s'appuie sur le bas du versant contre le complexe du plateau Gavot. Il repose le plus souvent sur un horizon morainique de fond attribué à la mise en place du complexe du plateau Gavot et quelquefois directement sur les sédiments fins du complexe inférieur.

Les eaux infiltrées sur le haut du plateau Gavot et sur le Mont Bénant transitent pour partie dans les calcaires siliceux, les dolomies et les cargneules de la nappe de Préalpes Médiannes Plastiques et pour une plus large part dans les niveaux perméables du complexe du plateau Gavot. Elles diffusent ensuite dans les complexes inférieur et emboîté. La grande variété des sédiments confère à l'ensemble détritique des perméabilités hétérogènes plutôt faibles. Les échanges entre complexes sont compliqués, avec des temps de séjour de quelques dizaines d'années. C'est le complexe emboîté, un peu plus perméable, qui récupère in fine la ressource minérale Evian, captive sous le manteau morainique, avec un faciès bicarbonaté calcique et magnésien, un rapport Mg/Ca proche de 0,5 et une teneur en silice dissoute de 13,5 mg/l. La production totale autorisée, à partir de sources originelles et de forages, est de 230 m<sup>3</sup>/h.

La relative bonne connaissance des dépôts et de leur agencement sur l'ensemble du site d'Evian a conduit la Société Evian à mettre en place une protection ciblée autour des points d'émergences mais aussi et surtout sur le plateau de Gavot, là où la lithologie des sédiments est hétérogène et leur épaisseur de plus en plus réduite. Néanmoins, études et recherches se poursuivent pour améliorer encore la maîtrise des eaux souterraines.

Une **bibliographie de base** est à consulter dans la revue "Géologues", n° 161, 6-9 : Le gisement hydrominéral d'Evian.

# Structure et fonctionnement hydrogéologique de l'hydrosystème minéral volcanique de Volvic. Perspectives pour sa modélisation

Lachassagne Patrick<sup>(1)</sup>

(1) Evian – Volvic Sources – Service Environnement et Ressources en Eau  
BP 87 – 11 Av. Général Dupas – 74503 Evian Cedex. [Patrick.lachassagne@danone.com](mailto:Patrick.lachassagne@danone.com)

## 1. INTRODUCTION

Les eaux minérales naturelles de Volvic (commune de Volvic, Puy de Dôme) sont issues d'un aquifère volcanique situé au nord de la Chaîne des Puys (Figure 1) qui correspond à un alignement nord-sud de 80 volcans mis en place au quaternaire, sur 37 km de longueur (Boivin, Besson et al., 2009).

L'embouteillage a été réalisé, dès la fin des années 1930 (1938), par captage au sein d'une galerie souterraine de près de 800 m de longueur. A partir des années soixante, l'eau minérale naturelle Volvic est prélevée au moyen de forages qui recoupent l'ensemble de la série volcanique.

Initialement embouteillée sur le site du Goulet de Volvic, à proximité immédiate de la galerie puis des forages, l'eau minérale naturelle est maintenant conditionnée au centre d'embouteillage du Chancet, situé à environ 2500 m en aval. Elle y est acheminée par une conduite spéciale en acier inoxydable, puis directement conditionnée. Les bouteilles en PET (polyéthylène téréphtalate) sont fabriquées sur place par injection-soufflage. Elles sont ensuite dirigées sous atmosphère protégée vers les chaînes d'embouteillage. A l'abri de tout contact extérieur depuis son captage, l'eau est distribuée sur plusieurs soutireuses dans des salles d'embouteillage dont l'atmosphère filtrée et en surpression permet de préserver la qualité microbiologique de l'eau minérale. L'expédition en France, mais aussi en Allemagne et au Japon (principaux pays vers lesquels Volvic est exportée) se fait en privilégiant le transport par rail.

Comme toutes les eaux minérales naturelles, Volvic se distingue par sa pureté naturelle (elle ne subit aucun traitement microbiologique ou chimique), son origine (elle provient d'un site unique et est embouteillée à proximité de son captage), sa composition minérale garantie.

Par ailleurs, l'Académie de Médecine lui a reconnu des propriétés favorables à la santé. Du fait de sa faible minéralisation, Volvic est une eau sans contre-indication. Chacun peut donc en boire à volonté et tout au long de sa vie.

Oligominérale<sup>1</sup>, Volvic convient tout particulièrement à certains régimes, notamment pour les affections urinaires (calculs) en raison de sa faible teneur en calcium, dans les régimes et troubles des maladies de la nutrition (elle favorise l'élimination des déchets métaboliques, voir par exemple Dabadie et al., 1994, Durin, 1986) et dans tous les régimes qui motivent une restriction sodée (affections cardio-vasculaires, hypertension artérielle, néphropaties, etc.). Elle est aussi indiquée sous forme de tampon, pulvérisation, nébulisation pour les soins dermatologiques (action décongestionnante et sédative sur les lésions cutanées inflammatoires). Elle est ainsi utilisée en dermatologie (Bélaïch, 1979) en tant qu'adjuvant de la thérapeutique et aussi pour les soins journaliers de la peau et les soins esthétiques. En laboratoire, l'eau minérale naturelle Volvic est souvent utilisée pour la reconstitution des milieux biologiques.

---

<sup>1</sup> Une eau est dite oligominérale ou faiblement minéralisée si sa minéralisation totale (résidu sec) est comprise entre 50 et 500 mg/l.

## 2. HYDROGEOLOGIE DE L'AQUIFERE DE VOLVIC

Situé au cœur du Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne, à une vingtaine de kilomètres au Nord-Nord-Ouest de Clermont Ferrand, le bassin de Volvic appartient à la partie la plus septentrionale de la Chaîne des Puys, qui constitue elle-même la plus septentrionale des grandes unités volcaniques du massif Central Français (Figure 1).

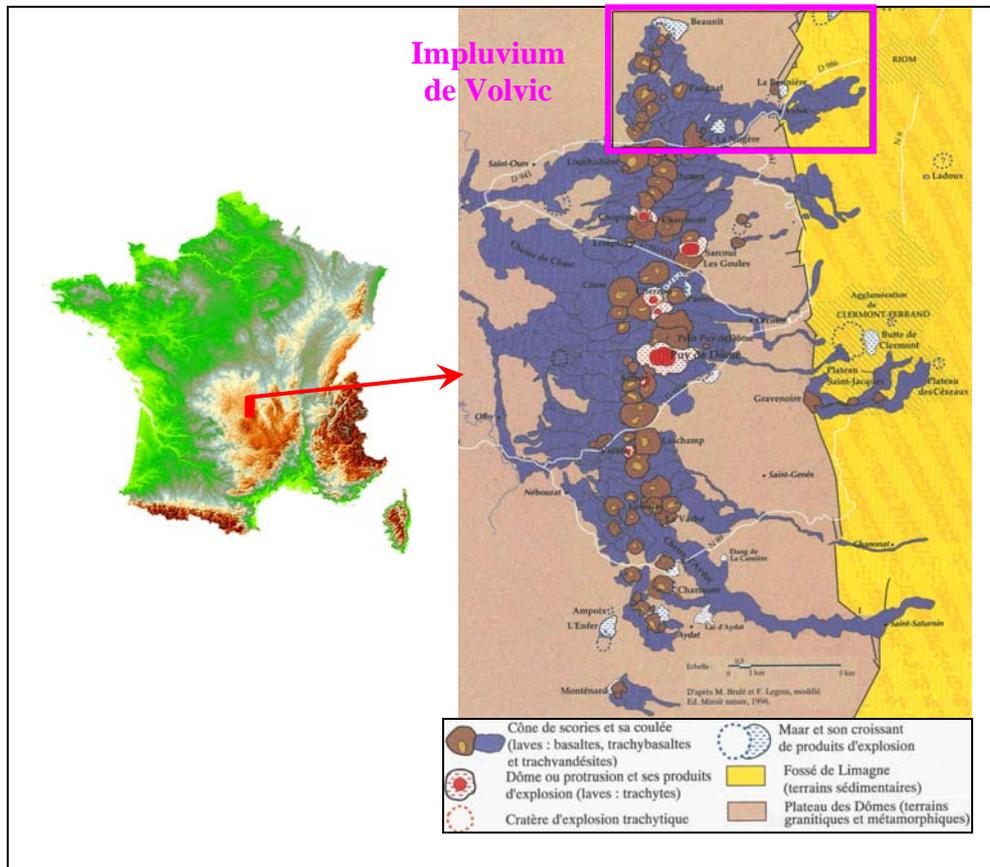


Figure 1 – Localisation du bassin de Volvic sur la carte volcanologique de la Chaîne des Puys (d'après Boivin et al., 2004)

### 2.1 Contexte géologique

L'histoire géologique régionale peut être résumée comme suit (Jeambrun et al., 1973 ; Boivin, Besson et al., 2009) (Figure 1) :

- le substratum de la Chaîne des Puys est formé d'un socle métamorphique (anatexites et gneiss migmatitiques) antéhercynien intrudé par des roches éruptives hercyniennes (notamment, dans le secteur de Volvic, un granite monzonitique à biotite, porphyrique ou non, et une syéno-diorite à hornblende et chlorite),
- ce substratum a été pénéplané avant le Trias, puis probablement couvert de sédiments secondaires, avant de subir à nouveau une exhumation et des processus d'altération intenses depuis la fin du Crétacé jusqu'à l'Eocène. De ces processus résulte très probablement la paléomorphologie du substratum (pénéplaine) qui est encore bien visible dans le paysage,
- cette pénéplaine se disloque de l'Eocène supérieur à l'Aquitaniens sous l'effet de mouvements distensifs, précurseurs notamment de l'ouverture de la Méditerranée occidentale. Des failles varisques (notamment Nord-Sud, Figure 1) jouent à cette occasion et provoquent la subsidence des grabens de la Limagne, à l'Est de la future Chaîne des Puys, et du bassin d'Olby, à l'Ouest, individualisant ainsi notamment le futur « Plateau des Dômes » sur lequel repose la Chaîne des Puys.

Ces mouvements ne créent pas de relief notable mais conduisent néanmoins à des accumulations sédimentaires qui peuvent atteindre 3000 m,

- au Miocène (et plus particulièrement au Tortonien), le Massif Central subit un soulèvement généralisé (paroxysme alpin) accompagné de nombreux rejeux de failles. Les horsts, dont celui situé au droit de la future Chaîne des Puys, se rehaussent et leurs marges se découpent en gradins, comme le montre la partie orientale du Plateau des Dômes. Ces conditions fortement érosives permettent le déblaiement partiel des sédiments oligocènes et surtout le creusement de profondes vallées, notamment sur les marges des horsts. Cet enfoncement des cours d'eau se poursuit au Quaternaire,
- enfin, au quaternaire récent (il y a moins de 100 000 ans), une phase de volcanisme de presque 80000 ans, donne lieu à la mise en place des volcans de la chaîne des Puys. Les formations volcaniques s'alignent sur le horst du Plateau des Dômes, viennent notamment combler les reliefs antérieurs et tout particulièrement les vallées pliocènes et quaternaires. La majorité des points de sortie de la Chaîne des Puys se regroupe sur une traînée méridienne d'une trentaine de kilomètres de longueur sur trois ou quatre de largeur, parallèle à la faille majeure qui limite le horst et la Limagne.

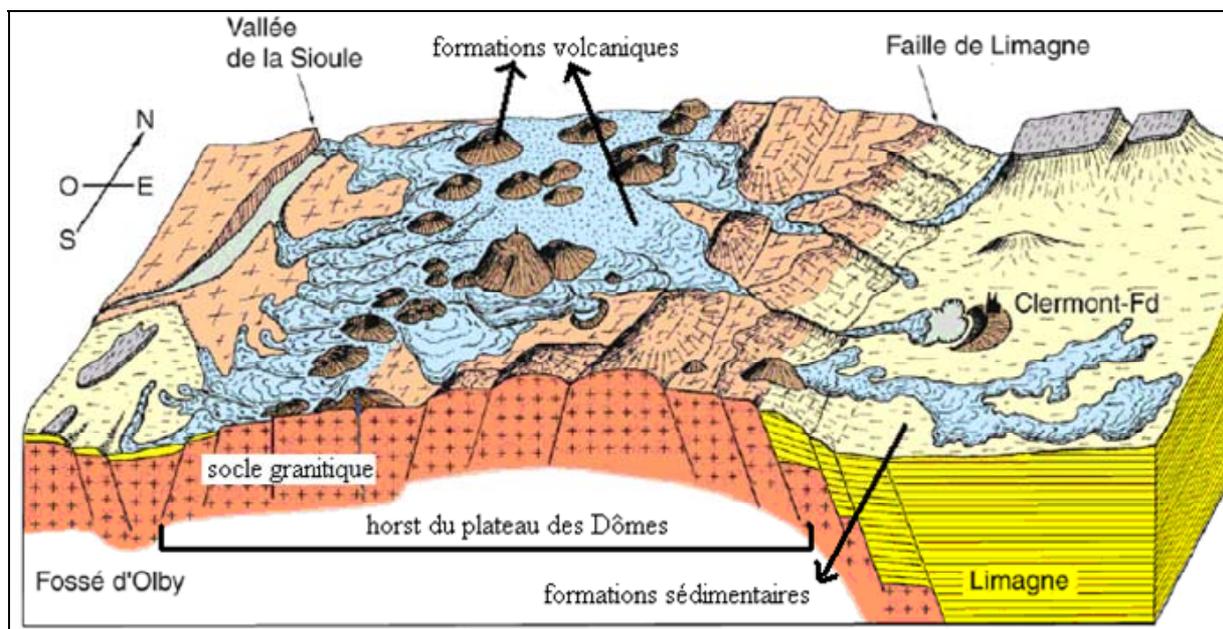


Figure 2 - Description morpho-structurale de la Chaîne des Puys (d'après Boivin et al., 2004)

## 2.2 Les formations volcaniques de la Chaîne des Puys

Les laves émises par les volcans de la Chaîne des Puys forment une série magmatique relativement continue (série magmatique alcaline à tendance potassique), montrant des processus de différenciation au cours du temps (Boivin, Besson et al., 2009).

Dans ce cadre, l'activité volcanique a été principalement de deux types :

- phréatomagmatique, caractérisé par un volcanisme explosif dû à la rencontre d'un magma ascendant et de l'eau d'un aquifère sous jacent ou d'un cours d'eau. Ce volcanisme donne lieu à la formation de maars et d'anneaux de projections pyroclastiques, c'est-à-dire de débris d'origine volcanique tels que scories cendres, ainsi que de produits résultant de la destruction partielle des formations sous jacentes, à savoir le socle granitique,
- strombolienne, avec la formation de cônes de scories (les Puys) et de coulées de lave pouvant être relativement fluide, qui ont donc emprunté les vallées et ont pu, pour certaines d'entre elles, atteindre la plaine de la Limagne.

Des dômes et protrusions trachytiques existent aussi (Puy de Dôme par exemple), mais ne sont néanmoins pas représentées sur le bassin de Volvic.

## 2.3 Structure et fonctionnement hydrogéologique

Les formations volcaniques de la Chaîne des Puys, très récentes, présentent, en règle générale, une perméabilité significative, notamment lorsqu'on les compare au substratum cristallin sous-jacent, qui peut être considéré comme un imperméable relatif.

Les eaux de pluie et résultant de la fonte des neiges traversent les formations volcaniques (cônes de scories, laves, formations scoriacées et pyroclastiques interstratifiées entre les coulées de lave) et rejoignent, sous ces produits, le socle relativement imperméable. Là, elles rejoignent le cœur des anciennes vallées et constituent ainsi une nappe dont l'écoulement est régi par la paléomorphologie antévolcanique (paléovallées). Des sources de « front de coulée » émergent à la terminaison du remplissage volcanique des paléovallées.

Le bassin de Volvic comprend ainsi (Figure 3) :

- des cônes volcaniques composés de scories (en marron sur les Figure 1 et 2), perméables et présentant une forte porosité efficace (jusqu'à plus de 30%). Ces formations, non saturées sur de très fortes épaisseurs (jusqu'à quelques centaines de mètres), au sein desquelles l'infiltration est par conséquent lente, assurent une forte régulation du système hydrogéologique (Josnin et al., 2007). Le temps de transit au sein de cette zone non saturée peut atteindre plusieurs années ;
- des coulées de lave, basaltique ou trachyandésitique, qui alternent faciès très peu perméables au droit de leurs parties massives et zones plus perméables là où elles sont fissurées (figures de flux et/ou de refroidissement). Par ailleurs, les intercoulées sont en général composés de formations scoriacées (toit et mur de coulées, dépôts pyroclastiques d'origine plus distale) qui présentent en général aussi une bonne perméabilité, mais peuvent localement avoir été imperméabilisés (paléosols, formations pyroclastiques de faible granulométrie, niveaux de recuit). Cet empilement de coulées dépasse fréquemment une centaine de mètres d'épaisseur dans l'axe des paléovallées les plus profondes. Du haut vers le bas, sur un profil vertical, les écoulements sont successivement verticaux (en zone non saturée, qui peut, là aussi atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur) puis subhorizontaux en zone saturée. Localement, aux forages, la transmissivité est en général forte ( $10^{-2}$  à  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s) (Joux, 2002). Les gradients hydrauliques élevés à l'échelle de l'aquifère traduisent néanmoins l'existence de discontinuités hydrauliques (tuilage entre coulées successives, faciès fissurés discontinus, etc.) ;
- enfin, les formations de socle affleurantes présentent essentiellement des écoulements de surface ou de subsurface qui percolent tôt ou tard vers les formations volcaniques, en traversant là encore leur épaisse zone non saturée.

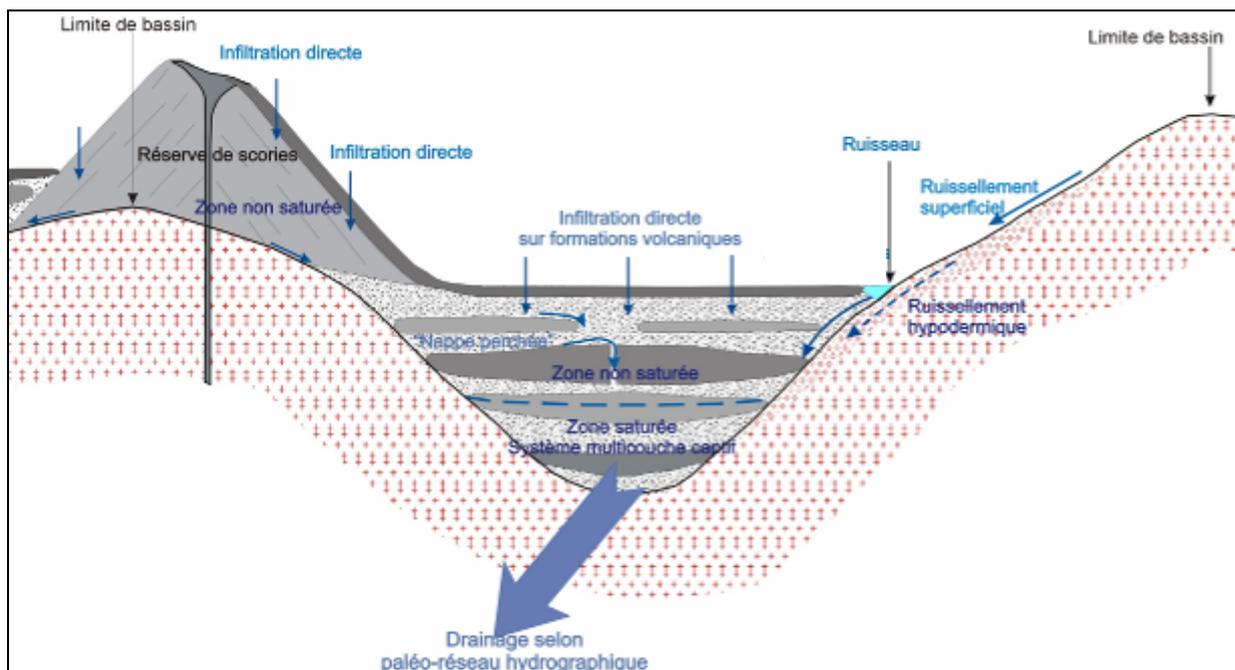


Figure 3 - Coupe schématique transversale du système de Volvic (d'après Joux, 2001)

La paléomorphologie antévolcanique, qui régit les axes d'écoulement des eaux souterraines au sein des formations volcaniques, a été cartographiée en détail en combinant approches géophysiques (Polarisation Spontanée notamment), géologiques et par sondages de reconnaissance. Le bassin versant de Volvic comprend ainsi plus de 50 sondages mécaniques ayant atteint le substratum antévolcanique. Sa superficie a ainsi pu être évaluée (38,5 km<sup>2</sup>) et ses limites définies avec une précision très satisfaisante (Joux, 2002). La proportion de l'impluvium recouverte de formations volcaniques est de 80%, sur les 20% restants, c'est le socle plutonique et métamorphique qui affleure.

Le bassin versant de Volvic étant situé sur le flanc est de la Chaîne des Puys, il est soumis à des effets orographiques et de foehn très significatifs. Les précipitations moyennes interannuelles évoluent entre plus de 1100 mm dans sa partie la plus élevée, qui atteint localement 1100 m d'altitude, et moins de 600 mm dans sa partie la plus avale, à moins de 400 m d'altitude (Joux, 2002). La lame d'eau moyenne précipitée (1993-2000) est de 970 mm environ, les pluies efficaces contribuant à la recharge étant évaluées à environ 40-45% des précipitations. Compte tenu de la distribution spatiale des précipitations et des températures, Joux (2002) montre qu'une forte majorité de l'infiltration efficace se produit sur les formations volcaniques d'altitude supérieure à 800 m.

Le cheminement des eaux souterraines se termine par leur émergence en front de coulées, à proximité de la ville de Riom dans le cas du système de Volvic (Figure 1). Certaines des sources de front de coulée de Volvic ont fait l'objet d'un suivi hydrologique. Une chronique de plus de 35 ans est ainsi disponible (Banque Hydro du Ministère de l'Environnement) et est en cours d'étude (Stouls, 2009 ; Rouquet, thèse en cours).

Dans leur partie aval, au sein de la plaine de la Limagne, les formations volcaniques sont peu épaisses et sont donc plus vulnérables. Elles sont en outre soumises à de plus fortes pressions anthropiques (urbanisation, agriculture). Les eaux minérales sont captées au moyen de forages profonds d'une centaine de mètres, au droit du principal resserrement de la paléovallée (socle atteint en moyenne à 130 m de profondeur, paléovallée large de moins de 400 m), où la zone saturée de l'aquifère volcanique présente une épaisseur maximale (une quarantaine de mètres).

Une première interprétation des données de débit des sources de front de coulée (Stouls, 2009 ; Lachassagne et Stouls, 2009), en mettant notamment en œuvre des techniques de traitement du signal, montre le caractère fortement inertiel du système aquifère : en particulier, les variations du débit de pompage aux forages d'exploitation de la Société des eaux de Volvic n'ont aucune incidence perceptible sur le débit des sources de front de coulée. Celui-ci est principalement influencé par le régime des précipitations efficaces, avec un décalage d'environ 40 à 50 jours entre le pic de précipitations efficaces et le transfert de pression au niveau des sources ; le temps moyen de transit des eaux minérales (transfert de matière) au sein du système étant évalué à environ 5 ans en moyenne.

### **3. POLITIQUES DE PROTECTION**

Des politiques de protection ont été mises en place, depuis plusieurs années, sur le bassin versant (ou impluvium) de Volvic, selon un schéma de principe similaire à celui implémenté à Evian (Beley et al., 2009).

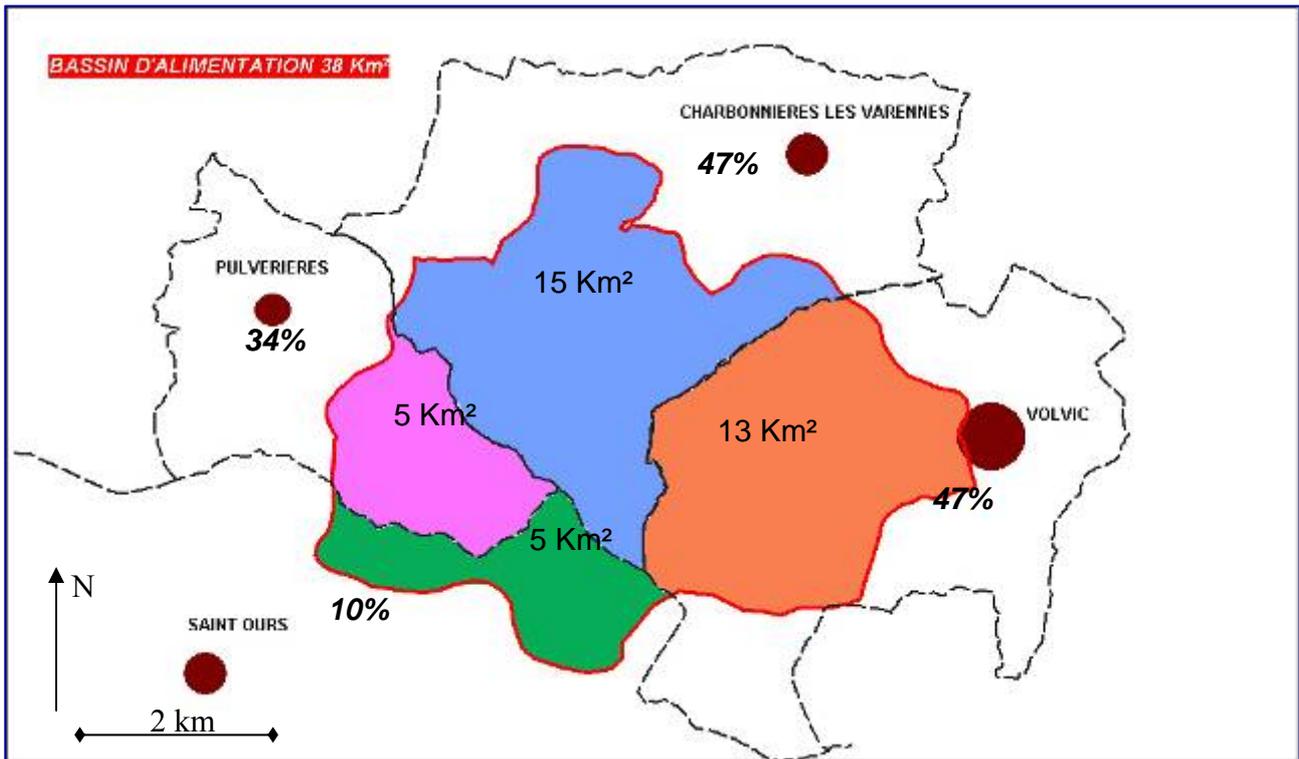


Figure 4 – Impluvium de Volvic et découpage communal. En rouge : limites de l'impluvium, en traitillé : limites communales

Ainsi, le CEPIV (Comité Environnement pour la Protection de l'Impluvium de Volvic) regroupe la commune d'émergence (Volvic), les communes de l'impluvium (Charbonnières les Varennes, Pulvérières, Saint Ours, Volvic) et la Société des eaux de Volvic (SEV) au sein d'une association qui constitue de fait une sorte de « commission locale de l'eau » (Figure 4). Cette association, dont le budget est assuré par la ville de Volvic (1/3) et par la SEV (2/3), finance des projets destinés à la protection de la ressource en eau, à la mise en valeur, la protection et, le cas échéant, la restauration des espaces naturels, au développement local, etc.. Le territoire de l'impluvium, ses acteurs et habitants bénéficient ainsi de l'expertise scientifique et technique des experts du groupe Danone et des organismes techniques (établissements de recherche, bureaux d'études, etc.) missionnés par Danone ou par le CEPIV.

#### 4. PERSPECTIVES EN TERMES DE MODELISATION DU SYSTEME MINERAL. LE PROJET LIFE SEMEAU

Le bassin versant de Volvic est relativement bien connu du point de vue hydrogéologique. Par ailleurs, il est caractérisé par un couvert forestier important (la forêt occupe ainsi environ 51% de la superficie de l'impluvium – Figure 5). Son sous-sol étant constitué à la fois de formations volcaniques et de socle, il est bien représentatif du contexte (climatique, hydrologique, en termes d'occupation du sol et d'activités, etc.) de type collinéen ou de moyenne montagne qui prévaut dans de nombreuses régions européennes de socle cristallin (Massif Central, Forêt Noire, Bohême, etc.).

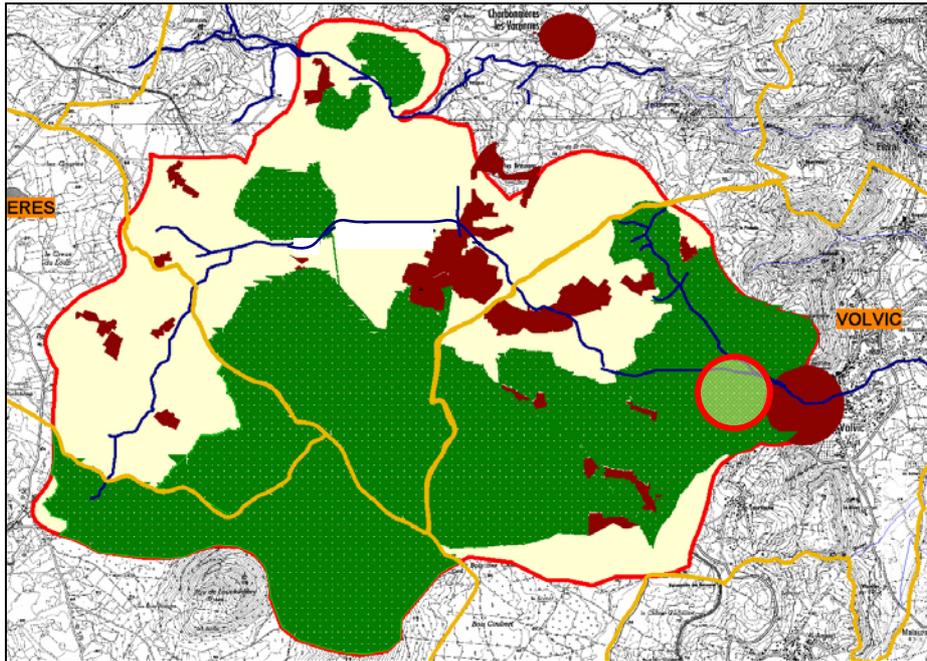


Figure 5 – Occupation des sols sur l'impluvium de Volvic. Vert, 51% de la superficie : forêts ; blanc : activité agricole, 43% (prairies principalement) ; rouge foncé : zones de bâti (hameaux), ville de Volvic, 6% ; cercle rouge : zone des forages d'exploitation de l'eau minérale Volvic. Pour l'échelle, se référer à la Figure 4

En conséquence, cet hydrosystème a été retenu comme site expérimental principal dans le cadre d'un projet européen de type LIFE+ Environnement, le projet SEMEAU ([www.life-semeau.eu](http://www.life-semeau.eu)), 2009-2012, dont l'objectif central est d'élaborer, tester et diffuser une méthode de « modélisation totale d'une masse d'eau » (eaux de surface, eaux souterraines), dans ce type de contexte, et avec pour principale ambition d'être utilisé pour la mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau. Le cœur de l'action de modélisation portera sur l'impluvium de Volvic, la SEV étant à cet égard le bénéficiaire principal du projet ; cette action s'enrichira de la diversité des sites et des acteurs rencontrés chez les deux bénéficiaires associés du projet : le SITHERE (site des eaux thermales et minérales de Vals les Bains) et la Ville de Saint Etienne, avec le bassin versant du Furan, utilisé pour l'Alimentation en Eau Potable de cette collectivité.

Après un stage de Master 2 (Stouls, 2009), une thèse de doctorat (Rouquet S.), menée en partenariat avec l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, débute sur ce sujet. Si la forêt occupe la moitié de la superficie de l'impluvium, elle est en effet restée à ce jour peu prise en compte dans les réflexions, notamment en ce qui concerne les politiques de protection. L'ambition de ce travail de recherche est donc d'apporter, pour la modélisation et sur l'impluvium, une attention particulière aux interactions entre eau (de surface, notamment celles des cours d'eau des sous bassins versants de socle, et souterraines, en intégrant bien entendu les eaux minérales) et couvert forestier, eau et gestion forestière, tant du point de vue quantitatif que qualitatif. Les dynamiques à long terme de l'impluvium seront prises en considération, notamment celles liées aux changements climatiques (avec leurs rétroactions éventuelles sur le couvert forestier) et anthropiques (prospectives d'évolution des activités sur l'impluvium).

Dans l'état actuel d'avancement du projet (recueil des données disponibles sur l'impluvium et préfiguration des options qui seront prises pour la modélisation), on s'oriente vers la mise en place d'un schéma de surface (de type « MODSUR »), destiné à modéliser les interactions sols – couvert végétal – atmosphère ainsi que les écoulements de surface, couplé (MODCOU) avec un modèle 3D (NEWSAM) représentant les écoulements souterrains, principalement a sein des formations volcaniques (Ledoux et al., 2007). Sur le plan des paramètres hydrogéochimiques, la modélisation intégrera a priori des traceurs conservatifs, notamment ceux apportés par les précipitations (chlorures en particulier), les éléments du cycle de l'azote, les phosphates, au moins en ce qui concerne leur fraction dissoute (la problématique « phosphates » étant tout particulièrement d'intérêt pour la ville de Saint Etienne et des données sur les eaux de surface et souterraines étant disponibles sur l'impluvium de Volvic) ainsi que des traceurs spécifiques du couvert forestier, dont l'identification est en cours.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Bélaïch S. (1979).**- Intérêt de l'utilisation d'une eau minérale oligo-métallique en dermatologie (Hôpital Saint Louis, Paris).- *Gazette Médicale de France*, N°6.

**Beley J.J., Le Hec C. (2009).**- Evian, Evian : modèle de protection des ressources en eau du Groupe Danone.- *Actes des 16<sup>èmes</sup> Journées Techniques du Comité Français de l'AIH : « Protection Des Ressources En Eau Et Développement Local : transposer l'expérience acquise dans le domaine des eaux minérales », Evian, 16 octobre 2009.*

**Boivin, Besson et al. (2009).**- Volcanologie de la Chaîne des Puys. Volcanology of the Chaîne des Puys.- 5<sup>ème</sup> édition – 2009. *Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne*, 196 p., 1 carte.

**Dabadie H., Dang-Trang K.M., Lacomère R.P., Paccalin J. (1994).**- La cure hydrique a-t-elle un intérêt sur le sujet obèse ? Etude de l'eau Volvic dans la cure d'amaigrissement en milieu hospitalier (Bordeaux).- *Presse Thermale et Climatique*, N°4.

**Durin S. (1986).**- L'eau minérale Volvic, ses propriétés et ses usages.- *Thèse de pharmacie.*

**Joux M. (2002).**- Structure et fonctionnement hydrogéologique du système aquifère volcanique des eaux minérales de Volvic (Chaîne des Puys, Massif Central Français). *Doctorat Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse*, 227 p..

**Jembrun, Giot et al. (1973).**- Carte Géologique de la France (1/50 000), feuille Clermont-Ferrand (693). *Orléans* : BRGM. Notice explicative par Jembrun, Giot et al., 63 p..

**Josnin J.Y., Livet M., Besson J.C. (2007).**- Characterizing unsaturated flow from packed scoriated lapilli: application to strombolian cone hydrodynamic behaviour. *Journal of Hydrology*, 335, 3-4, pp. 225-239.

**Lachassagne P., Stouls A. (2009).**- Aquifère minéral de Volvic (Puy de Dôme). Evaluation de l'incidence, à court et moyen termes, des pompages aux forages de la Société des Eaux de Volvic sur le débit des sources de front de coulée. *Rapport Société des Eaux de Volvic, Service Environnement et Ressources en Eau, Ref. DQE/E&RE/N059/09\_PL*, 59 p..

**Ledoux E., Gomez E., Monget J.M., Viavattene C., Viennot P., Ducharne A., Benoit M., Mignolet C., Schott C., Mary B.**-Agriculture and groundwater nitrate contamination in the Seine basin. The STICS-MODCOU modelling chain.- *Science of The Total Environment*, Vol. 375, pp. 33 – 47.

**Rouquet S. (2009-2012).**- Thèse en cours dans le cadre du projet LIFE+ SEMEAU. *Ecole Doctorale Géosciences et Ressources Naturelles, Paris.*

**Stouls A. (2009).**- Conceptualisation de la structure et du fonctionnement de l'aquifère de Volvic (Puy de Dôme) dans la perspective de sa modélisation. *Master 2 Sciences de l'Univers, Environnement, Ecologie. Parcours Hydrologie – Hydrogéologie, Université Pierre et Marie Curie Paris VI*, 53 p..

# Géologie-hydrogéologie du bassin hydrominéral de Vittel-Contrexéville

Olivier Vidal<sup>1</sup>, Michel Allemmoz<sup>2</sup>

1 – Nestlé Waters Services – Zone aéroport de Garons – 30128 Garons - France  
2 – Antea - Agence Nord Est - 1, rue du Parc de Brabois – 54500 Vandoeuvre – France

Le bassin de Vittel-Contrexéville prend place à l'extrémité ouest du département des Vosges sur la bordure est du bassin de Paris (figure 1), au pied des contreforts du Massif vosgien. Il est constitué de grès et de séquences carbonatées du Trias et forme une structure monoclinale de faible pente en direction du nord-ouest affectée d'un accident transversal majeur : la faille de Vittel qui joue un rôle primordial dans l'organisation des écoulements souterrains et la délimitation des gîtes hydrominéraux. Ce bassin est drainé par les ruisseaux du Vair (Contrexéville) et du Petit-Vair (Vittel) qui appartiennent au réseau hydrographique de la Meuse.

Figure 1. Localisation du secteur de Vittel-Contrexéville.



## 1. HISTOIRE STRUCTURALE

Dès le cycle varisque ayant affecté l'écorce terrestre de la France il y a 360 millions d'années, la faille de Vittel est individualisée, se prolongeant au nord-est en Allemagne et vers l'ouest, par la faille du Pays de Bray, sous la Manche jusqu'au sud de la Cornouaille.

Lors du cycle alpin, cette faille est encore présente depuis les Vosges à l'est et à travers le bassin de Paris jusqu'à l'île de Wight.

La faille de Vittel, localement une double faille en écailles, qui, d'après Edel (1982), est un important accident de socle cisailant dextre, ne présente pas un rejet vertical actuel important (sub-nul à quelques dizaines de mètres par endroit).

## 2. GEOLOGIE REGIONALE

Le bassin de Vittel-Contrexéville est situé sur la bordure est de celui de Paris qui correspond à une très forte accumulation de sédiments d'âge mésozoïque et cénozoïque (figure 2).

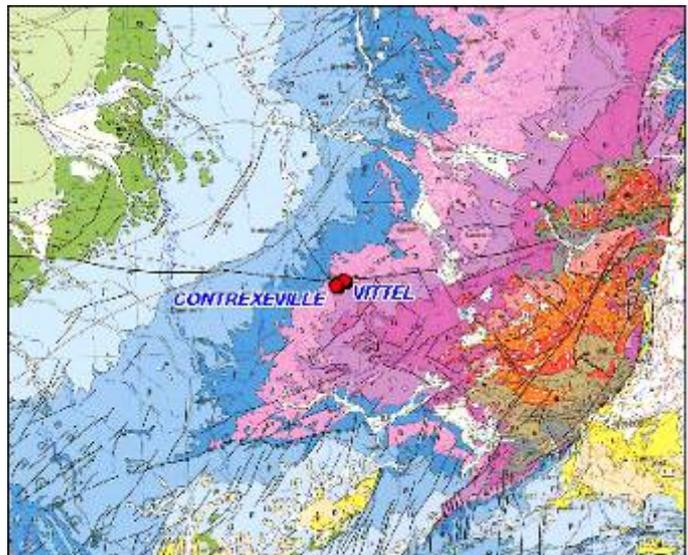


Figure 2. Extrait de la carte géologique de la France au 1/1000000.

L'alternance d'ensembles à dominante argileuse et d'ensembles carbonatés, tous affectés d'un léger pendage

occidental a déterminé le relief caractéristique lorrain : une succession de plaines et de plateaux séparés par des côtes (figure 3).

Aux dépôts continentaux qui prévalent au Permien et au Buntsandstein font suite des dépôts marins résultant de la transgression venue de l'est de la Mer Germanique. Le domaine est franchement marin au Muschelkalk inférieur et supérieur avec des épisodes lagunaires au Muschelkalk moyen et au Keuper engendrant des dépôts évaporitiques.

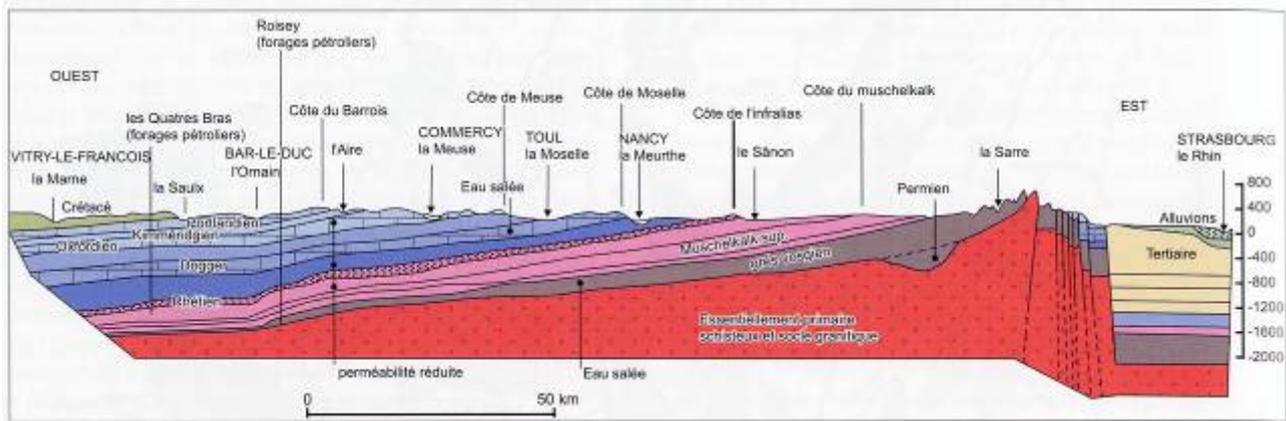


Figure 3. Coupe générale ouest-est de la Lorraine.



Figure 4. Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de Vittel

### 3. SUCCESSION GEOLOGIQUE LOCALE

La succession des terrains sur le secteur de Contrexéville et Vittel est connue grâce aux nombreux sondages de reconnaissance ou d'exploitation d'eau minérale ou potable, qui permettent de compléter les informations données par la carte géologique à 1/50 000 de Vittel (figure 4)

Des terrains les plus récents aux plus anciens, la succession est la suivante (figure 5) :

**Quaternaire** : alluvions de vallée et matériaux de dégradation des séries marneuses et calcaréo-dolomitiques. Ces alluvions sont surtout présentes en aval des agglomérations de Vittel et Contrexéville.

**Keuper inférieur** (*Marnes irisées inférieures*, 75-85 m) : marnes gris-verdâtre, en alternance avec des plaquettes et concrétions dolomitiques et gypseuses, passant insensiblement à des marnes vertes marquant le passage à la Lettenkohle. Localement, la déstructuration des marnes par dissolution des concrétions gypseuses crée des zones de forte perméabilité.

Figure 5. Succession stratigraphique locale

**Lettenkohle** (6-8 m) : deux horizons dolomitiques (supérieur et inférieur) encadrant une formation argilo-schisteuse.

**Muschelkalk supérieur** (48-53 m), comprend trois niveaux :

- *Dolomie blanc-crème* (ou *Dolomie de Vittel*, 6-7 m) : calcaires dolomitiques en bancs plus ou moins épais et régulièrement lités. Dans l'ensemble, ces calcaires sont très poreux et la dissolution du gypse a favorisé la création de dolines et de réseaux karstiques bien développés. Sous couverture, la formation est moins perméable du fait de l'imprégnation des terrains par le gypse.
- *Couches à Cératites* (ou *Calcaires à Cératites*, 25-27 m) : franchement dolomitiques dans leur partie supérieure, elles passent à un faciès classique calcaire et marneux, les horizons les plus marneux se trouvant dans la partie médiane.
- *Couches à entroques* (ou *Calcaires à entroques*, 17-19 m) : calcaires à entroques, compacts, plus ou moins durs, gris-bleu ou jaunâtres, parfois blanchâtres, en bancs épais. La partie inférieure est souvent représentée par un calcaire gréseux qui peut parfois faire place à un calcaire cristallin bicolore (beige à brunâtre et gris-bleu) ou bien à un calcaire franchement oolithique avec des constituants magnésiens. Les intercalations marneuses sont minces ; l'ensemble est parfois largement diaclasé (fissures verticales ouvertes ou remplies d'argile).

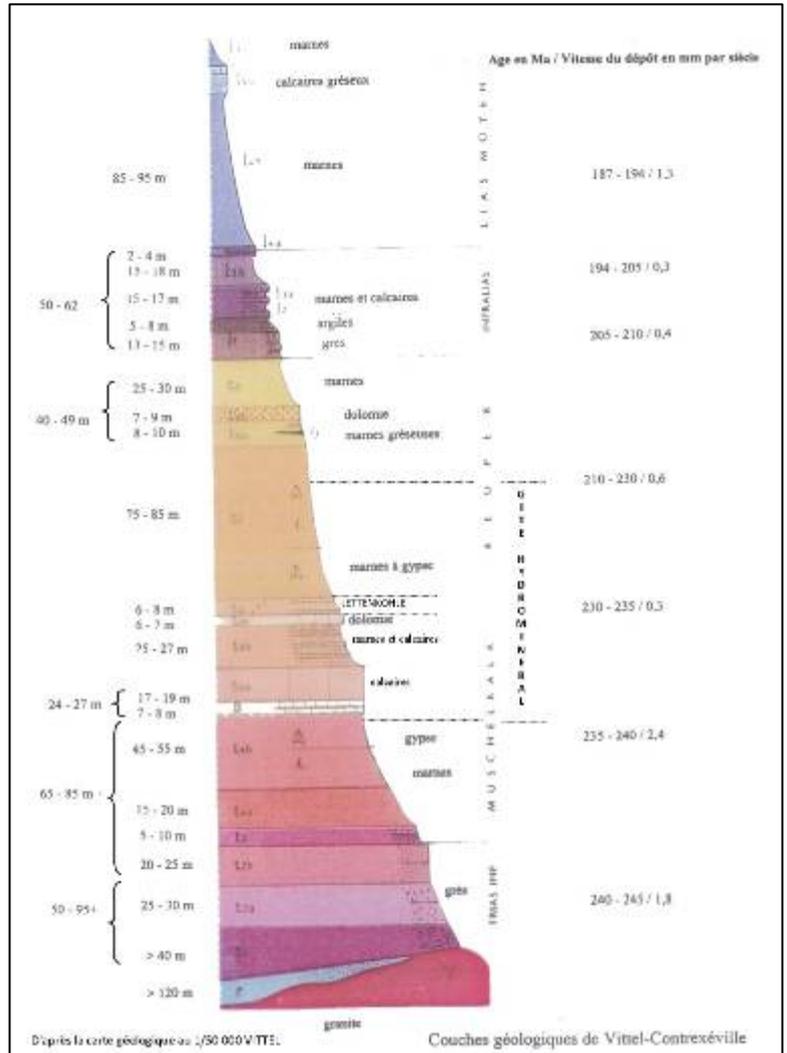
**Muschelkalk moyen** (67- 83 m), comprend trois niveaux :

- *Couches blanches* (7-8 m), dolomie de couleur claire, tendre, à structure vacuolaire, souvent fissurée à l'affleurement.
- *Couches grises* (45-55 m) : assises argilo-marneuses et dolomitiques en alternance très variable avec de très abondantes passées (filets, couches ou bancs) de gypse et d'anhydrite. Des passées bariolées fugaces à -15 mètres du mur des couches blanches et un repère rouge franc à -20 mètres marquent la base du gîte hydrominéral.
- *Couches rouges* (15 à 20 m) encore appelées « *Argiles bariolées* ».

**Muschelkalk inférieur** (10 m au maximum) : constitué de grès et argiles rouges.

**Trias inférieur**, puissant massif gréseux et conglomératique qui comprend :

- les *Grès bigarrés* (20 – 25 m) avec à la base des poudingues de teinte claire encore appelés « conglomérats des couches intermédiaires » ;



- les *Grès vosgiens*, d'épaisseur totale de l'ordre de 40 à 50 mètres dans le secteur de Contrexéville et Vittel.

Le Trias inférieur est transgressif sur le socle granitique ou sur le Permien gréseux.

#### 4. STRUCTURE LOCALE

Les couches plongent vers le N-NW à l'est du Vair, selon un pendage de l'ordre de 2,5/2,6 %, et vers l'W-NW à l'ouest de ce même cours d'eau, selon un pendage plus modeste, de l'ordre de 1,7 %. Les isohypses du toit des Calcaires à entroques donnent une bonne image de cette organisation qui, par ailleurs, est perturbée par quelques discontinuités (figure 6) :

- un accident majeur W-E, la faille de Vittel, qui abaisse les terrains côté nord et surélève les terrains côté sud, selon des rejets très variables (sub-nuls à quelques dizaines de mètres selon les endroits) ; comme vu précédemment, il s'agit d'un accident de socle très ancien affecté de rejeux multiples et qui joue un rôle primordial dans l'organisation des écoulements souterrains et la délimitation des gîtes hydrominéraux ;

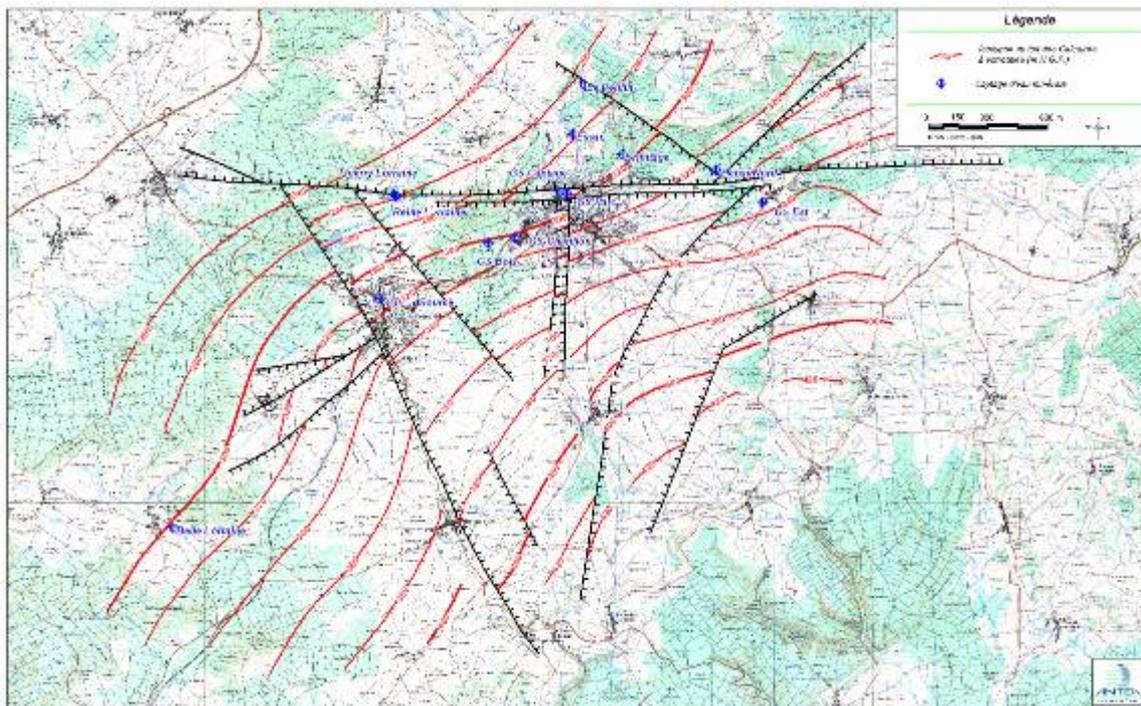


Figure 6. Structure générale du bassin

- non indiquées sur la carte géologique, mais néanmoins connues :
  - o des failles orientées NW-SE comme celle de Contrexéville – Dombrot-le-Sec - Viviers-le-Gras ;
  - o des failles orientées NE-SW comme l'accident Lignéville – Haréville ;
  - o des failles N-S comme celle qui transite par la ville de Vittel.

#### 5. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

La nature lithologique des formations présentes détermine directement l'existence des différents aquifères et influe sur la qualité des eaux souterraines qu'ils contiennent.

Les alluvions de fond de vallée des rivières Vair et Petit-Vair, ainsi que la tranche superficielle altérée des terrains marneux ou marno-calcaires en affleurement, peuvent livrer de faibles ressources parfois exploitées par puits. Mais, ce sont les terrains du Keuper, de la Lettenkohle et du Muschelkalk supérieur et moyen qui constituent les gîtes hydrominéraux de Contrexéville (source Contrex) et Vittel (source Grande Source et source Hépar), avec, de haut en bas :

1. le Keuper inférieur marneux, dans les zones où la dissolution du gypse a entraîné la désagrégation des terrains ;
2. les niveaux dolomitiques de la Lettenkohle et de la Dolomie de Vittel (Muschelkalk supérieur) ;
3. la partie sommitale dolomitique des Couches à cératites (Muschelkalk supérieur) ;
4. les Calcaires à entroques (Muschelkalk supérieur) ;
5. les Couches blanches dolomitiques (Muschelkalk moyen) ;
6. le sommet marno-dolomitique des Couches grises (Muschelkalk moyen).

Les aquifères sont alimentés en fonction de la perméabilité des formations affleurantes. En Sud de faille de Vittel, les écoulements souterrains s'exercent globalement du Sud-Est vers le Nord-Ouest, selon un gradient moyen de l'ordre de 0,7 à 1,3 %. En Nord de faille, la situation est beaucoup moins claire, l'aquifère Hépar pouvant être par endroit discontinu (figure 7).

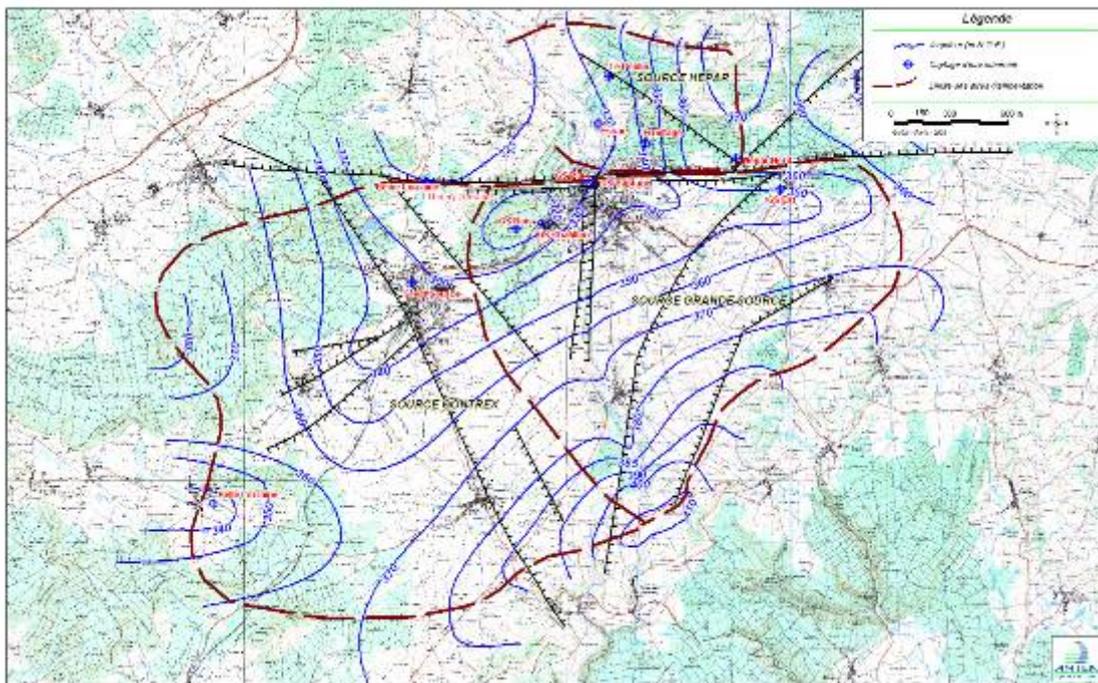


Figure 7. Carte piézométrique des gîtes hydrominéraux

Les terrains du Trias inférieur constituent l'aquifère profond dit des « Grès vosgiens » qui alimente la source Bonne Source ; formé par les grès bigarrés et grès vosgiens, il se situe à plus de 150 m de profondeur au droit des villes de Vittel et Contrexéville.

## 6. LES DIFFERENTS GITES HYDROMINERAUX

### 6.1 Source Hépar

Situés en Nord de faille de Vittel, les captages de cette source peuvent mobiliser les eaux circulant au sein du Keuper inférieur marneux, dans les zones où la dissolution du gypse a entraîné la désagrégation des terrains, et/ou celles des niveaux dolomitiques de la Lettenkohle, de la Dolomie de Vittel et de la partie sommitale des Couches à cératites du Muschelkalk supérieur (figure 8).

Ces eaux montrent une forte minéralisation (2,5 g/l) avec un faciès sulfaté calcique et magnésien très prononcé directement acquis au contact des gypses et dolomies caractérisant le réservoir.

L'alimentation de ce gîte, appelé « gîte A », se fait à partir des infiltrations sur les collines marneuses situées immédiatement au nord de l'agglomération vitteloise.

La protection naturelle de la ressource est assurée par la couverture argileuse des niveaux du Keuper inférieur surmontant les niveaux déstructurés sous-jacents et les dolomies de la Lettenkohle et du toit du Muschelkalk.

### 6.2 Source Grande Source

Situés en Sud de faille de Vittel, les captages de cette source peuvent mobiliser les eaux circulant

dans les Calcaires à entroques du Muschelkalk supérieur et/ou les Couches blanches dolomitiques ainsi que le sommet marno-dolomitique des Couches grises du Muschelkalk moyen (figure 8).

Ces eaux montrent une minéralisation moyenne (0,8 g/l) avec un faciès bicarbonaté et sulfaté calcique acquis au contact des calcaires et évaporites caractérisant le réservoir.

L'alimentation de ce gîte, appelé « gîte B », se fait sur le plateau qui s'étend sur quelques kilomètres au Sud de Vittel.

La protection naturelle du gîte B n'est assurée que dans les secteurs où affleurent les marnes et marno-calcaires des Couches à cératites ; ces niveaux couvrent une grande partie de l'aire d'alimentation à l'exception de boutonnières en fond de vallon qui sont des zones d'infiltration préférentielles, ce qui a conduit Nestlé Waters à mener très tôt une politique globale de protection de la ressource.

### 6.3 Source Contrex

Situés en Sud de faille de Vittel, les captages de cette source peuvent mobiliser les eaux circulant au sein du Keuper inférieur marneux, celles des niveaux dolomitiques de la Lettenkohle, mais aussi les eaux circulant dans les Calcaires à entroques du Muschelkalk supérieur, les Couches blanches dolomitiques ainsi que le sommet marno-dolomitique des Couches grises du Muschelkalk moyen (figure 8).

Ces eaux montrent une forte minéralisation (2 g/l) avec un faciès sulfaté calcique bien prononcé acquis par dissolution des gypses imprégnant les différentes formations.

L'alimentation de ce gîte se fait sur le plateau et les collines situées respectivement au Sud et à l'ouest de Contrexéville.

Dans toute la partie ouest de l'aire d'alimentation, la protection naturelle de la ressource est assurée par la couverture argileuse des niveaux du Keuper inférieur. Pour ce qui est de la partie est de l'impluvium, la problématique est identique à celle évoquée précédemment pour la source Grande Source.

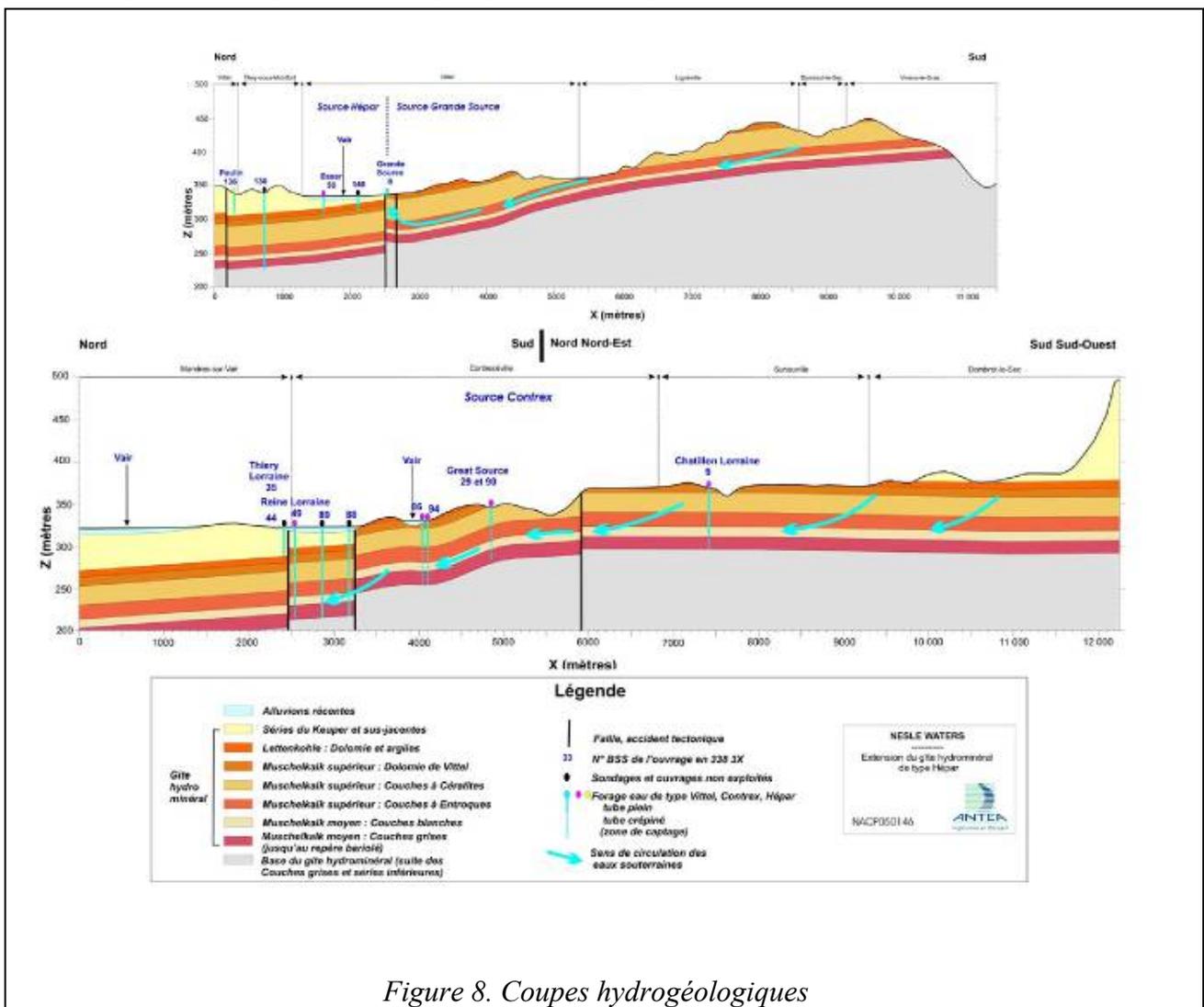


Figure 8. Coupes hydrogéologiques

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

---

**BRGM (1979).** Carte géologique de la France à 1/50 000. Vittel.

**BRGM (2006).** Carte géologique de la France à 1/1 000 000.

**Jean-Bernard Edel (1982).** « Le socle varisque de l'Europe moyenne – Apports du magnétisme et de la gravimétrie ». *Sciences géologiques*. Bulletin 35(4) : 18 pages.

**Matte et al. (1986).** « La faille NW-SE du Pays de Bray, un décrochement ductile dextre hercynien : déformation à 330 millions d'années d'un granite à 570 millions d'années dans le sondage Pays de Bray 201 ». *Bulletin de la Société Géologique de France* 8, t. 2(1) : 9 pages.

**Claude Mégnien (1980).** Synthèse géologique du bassin de Paris.

Ouvrage collectif sous la direction de **Jean-Claude Roux (2006)**. « Aquifères et eaux souterraines en France ». *Collection Scientifique et Technique, BRGM éditions* : 944 pages.

**Nestlé Waters Supply Est (2006).** « Protection des ressources en eau des gîtes hydrominéraux de Contrexéville et Vittel ». *Géologues n° 149* : 5 pages.

**Nestlé Waters France (2004).** « Source Contrex – rapport hydrogéologique – Contrexéville (Vosges) ». *Rapport ANTEA n° A35052/B* : 30 pages (rapport confidentiel).

**Nestlé Waters France (2005).** « Extension du gisement d'eau de type Hépar – coupes géologiques ». *Rapport ANTEA n° A39912/A* : 12 pages (rapport confidentiel).

**Nestlé Waters France (2004).** « Vittel et Contrexéville - Etudes hydrogéologiques de vulnérabilité des gîtes d'eaux minérales. *ANTEA et SOGREAH n° 0730097* : 45 pages (rapport confidentiel).



# San Pellegrino, hydrogéologie et exploitation d'une ressource minérale unique

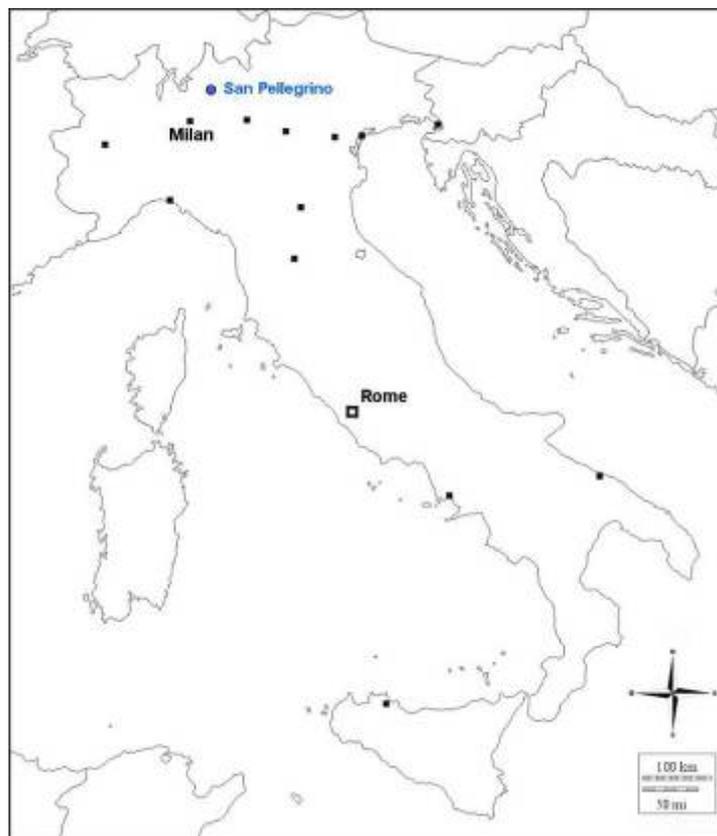
**Ronan Le Fanic**

Nestlé Waters Management & Technology  
PTC Water, BP 101, 88804 Vittel, France  
Email: [ronan.lefanic@waters.nestle.com](mailto:ronan.lefanic@waters.nestle.com)

## 1. INTRODUCTION

### 1.1. Localisation de San Pellegrino

San Pellegrino Terme se situe dans une des vallées de la “Bergamasca”, au pied des Préalpes Orobiques, laquelle prend son nom du fleuve Brembo qui la parcourt sur toute sa longueur. Le territoire de San Pellegrino Terme est disposé sur les deux rives du fleuve. La petite ville se trouve à 70 kilomètres au nord-est de Milan (Figure 1). Centre d'une économie rurale jusqu'à la fin du 19ème siècle, San Pellegrino Terme est devenue grâce à l'exploitation de ses eaux minérales, une des villes thermales les plus renommées de la Lombardie.



*Figure 1: Localisation de San Pellegrino*

## 1.2. Une source historique

L'eau minérale San Pellegrino est produite depuis plus de 600 ans. San Pellegrino doit son nom à un moine italien du nom de Pellegrino qui a redécouvert les vertus d'une source d'eau minérale de Bergame. Leonardo da Vinci, à la recherche d'un paysage pour un tableau, visita la ville en 1509 pour examiner l'eau "miraculeuse" (Protti, 2006).

Les analyses actuelles montrent que l'eau est similaire aux échantillons pris en 1782, la première année où il y eut une campagne d'échantillonnage. Dès 1899, 35000 bouteilles furent produites.

L'affirmation sans cesse croissante de San Pellegrino Terme en tant que localité de villégiature et de bien-être, de même que les exigences dictées par le commerce et par les industries locales poussèrent - en 1903 - les administrations publiques à promouvoir la création d'un ouvrage d'infrastructure tout à fait innovant, à savoir la ligne ferroviaire électrique de 30 kilomètres qui relie Bergame à San Pellegrino.

Dès le début du XXe siècle l'exportation de San Pellegrino commença vers la Chine, les Etats-Unis d'Amérique, le Brésil, l'Inde, l'Australie... En 1997, la compagnie San Pellegrino Spa a rejoint le groupe Nestlé, leader mondial de l'eau embouteillé. Aujourd'hui, plus de 650 millions de bouteilles de San Pellegrino sont vendus dans 120 pays. Plus de 520 millions de litres de cette eau minérale naturelle gazéifiée ont été produits en 2008.

## 2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

L'usine de San Pellegrino est implantée dans une étroite vallée alpine (Figure 2). L'altitude du captage historique, appelé SP1, est de 360 mASL. La zone de recharge de l'aquifère thermal à une altitude moyenne de 1000 mASL.

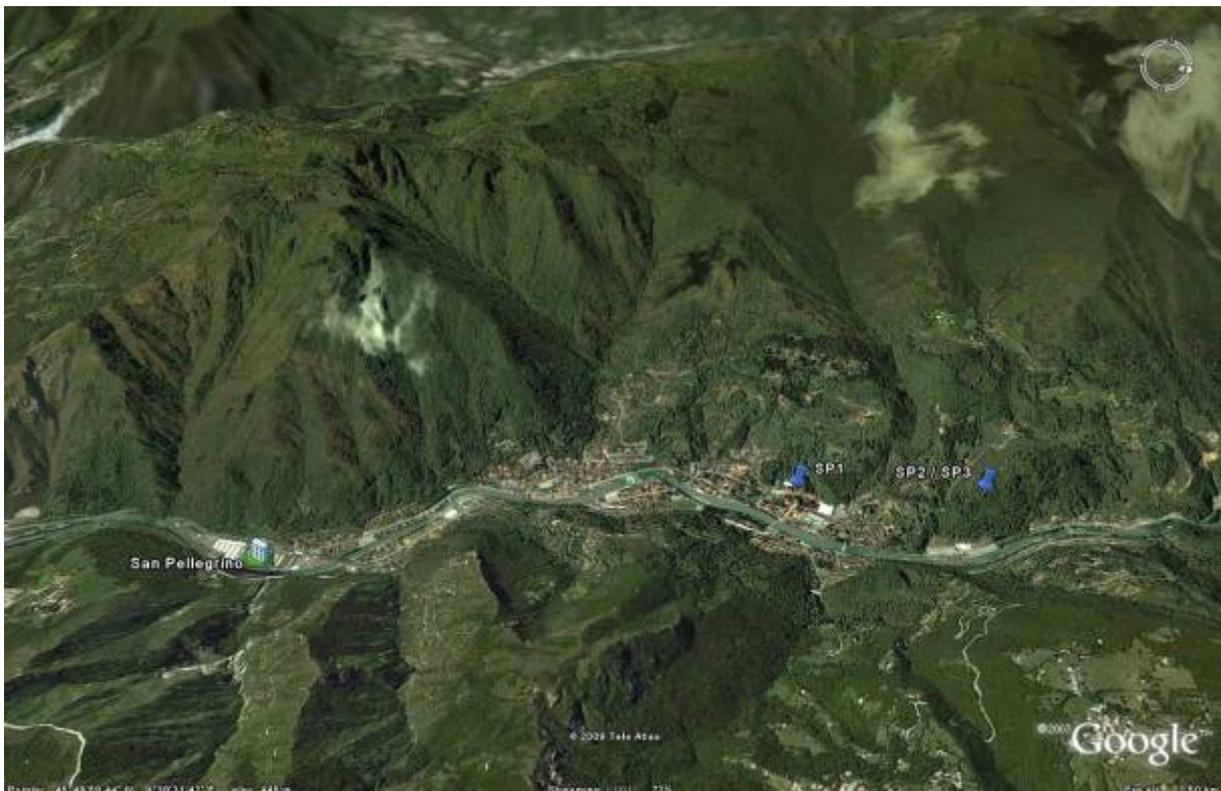


Figure 2 : Vue Sud-Nord de la vallée de San Pellegrino et des captages

L'eau minérale est extraite d'un aquifère dolomitique fracturé daté du Trias supérieur. L'épaisseur de cette formation varie de 400 m à 1000 m. Le gîte minéral est recouvert localement par des calcaires et des schistes dont l'épaisseur peut atteindre 400 m. L'ensemble de cette séquence stratigraphique dont l'âge s'étend du

Carnien au Rhétien (- 220 à - 200 millions d'années) a été largement déformée par la tectonique alpine (Barla, 2000).

Cette histoire géologique mouvementée explique le partitionnement en blocs du système aquifère à la faveur de nombreuses failles (Barla & Naldi, 1996). La faille principale Nord-Sud dont le rejet est d'environ 300 m sépare le compartiment Ouest du compartiment Est (Figure 3).

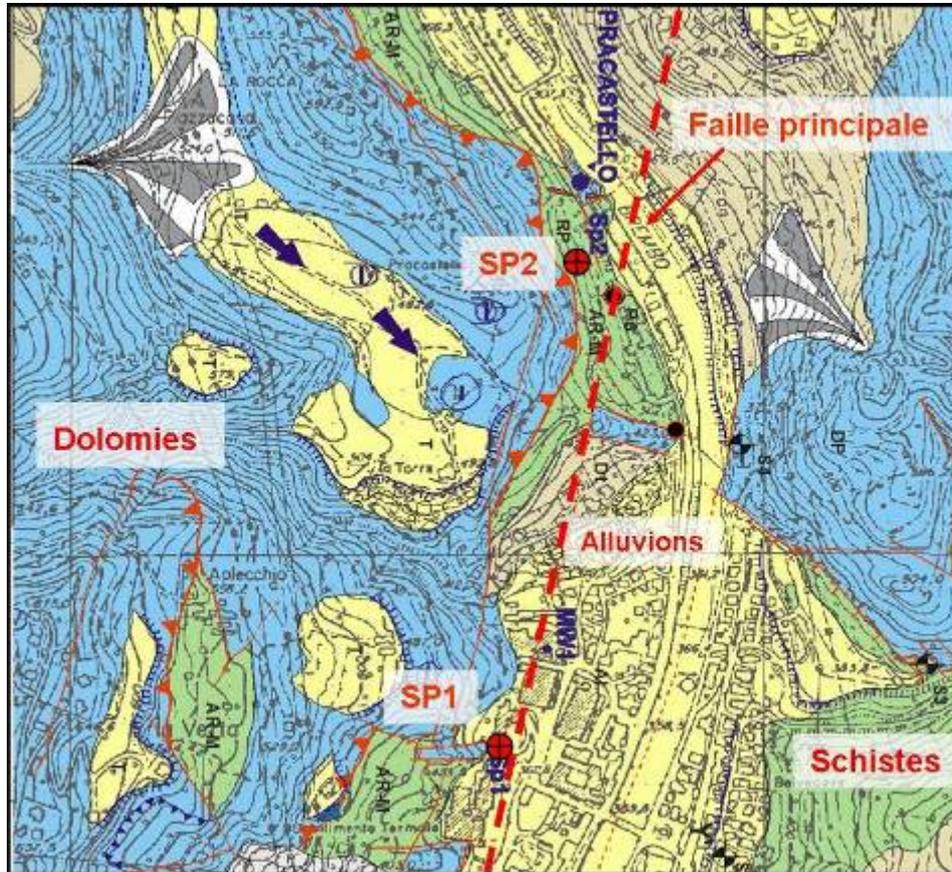
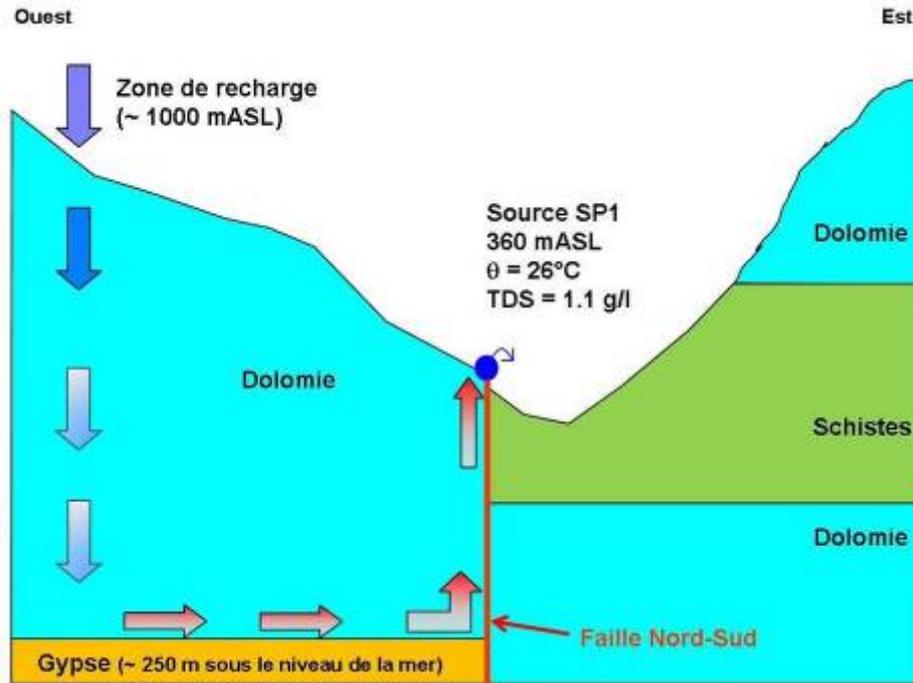


Figure 3: Carte géologique de San Pellegrino

### 3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

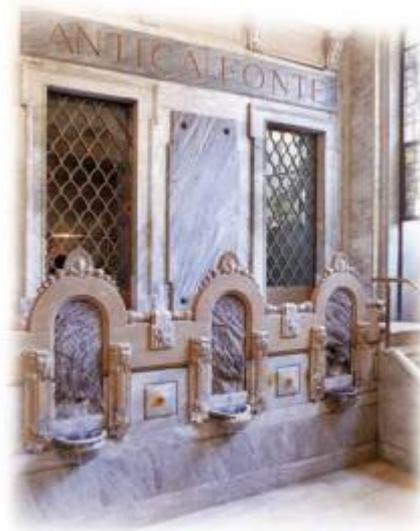
L'alimentation du système aquifère utilisé pour l'embouteillage d'eau minérale naturelle est locale. Des analyses géochimiques ont permis d'attribuer un âge à l'eau minérale San Pellegrino d'environ 30 ans. La zone de recharge est située sur le flanc ouest de la vallée où les formations dolomitiques affleurent (Figure 3). L'eau s'infiltré dans ces dolomies fracturées. Une partie de l'eau circule ensuite dans l'aquifère minéral jusqu'à atteindre des profondeurs comprises entre 1200 et 1500 mètres (Figure 4). Durant ce trajet, l'eau se minéralise progressivement au contact des dolomies et se réchauffe également dû fait du gradient géothermique.

A une profondeur d'environ 250 m sous le niveau de la mer, la circulation verticale de l'eau est brusquement interrompue par une couche géologique composée de gypse d'âge Triasique. La circulation au contact du gypse, accompagnée de phénomènes de dissolution, permet à l'eau minérale d'acquérir une teneur élevée en sulfates (~ 445 ppm) et en calcium (~ 180 ppm). Cette barrière imperméable entraîne alors un écoulement vers l'Est jusqu'à intercepter la principale faille Nord-Sud. Les propriétés hydrauliques de cet accident tectonique permettent la remontée de l'eau minérale et l'existence d'une résurgence naturelle : la source historique SP1.



*Figure 4 : Fonctionnement hydrogéologique de San Pellegrino*

La source SP1 est utilisée de nos jours pour l'activité d'embouteillage. Elle est située au centre-ville de San Pellegrino dans le bâtiment des thermes (Figure 4). Il s'agissait autrefois d'un griffon naturel où affleurerait la dolomie thermique sous une faible couverture d'alluvions. Dans les années 90, afin d'augmenter le débit et de faciliter l'exploitation, le captage SP1 a été légèrement approfondi pour atteindre aujourd'hui une profondeur totale de 12,50 m. Une pompe a été installée directement au droit de la fracture principale.



*Figure 5 : SP1, la source historique de San Pellegrino*

## 4. EXPLOITATION DE LA RESSOURCE MINÉRALE.

### 4.1 Une ressource unique

Afin de mieux comprendre le caractère unique de la ressource minérale San Pellegrino, il est important de savoir que SP1 constituait le seul exutoire connu de ce système aquifère thermal. Aucune autre résurgence n'a été trouvée par exemple dans la nappe alluviale la rivière Brembo qui traverse la ville.

Afin d'assurer l'approvisionnement de l'usine il a été décidé en 1999 de réaliser un forage pour essayer de capter l'eau minérale plus en profondeur. Ces travaux commencèrent par de nombreuses campagnes de géophysique et la réalisation de quelques forages de reconnaissance. L'emplacement choisi finalement pour la réalisation de SP2 est situé 800 m au Nord de SP1 (Figure 2). L'aquifère thermal a été détecté sous une écaïlle de schistes d'une centaine de mètres d'épaisseur qui assura localement la protection de la ressource. SP2 est un forage de 130 m de profondeur (Figure 6) avec un débit artésien de 20 m<sup>3</sup>/h. Il capte l'aquifère thermal de 105 m à 130m.

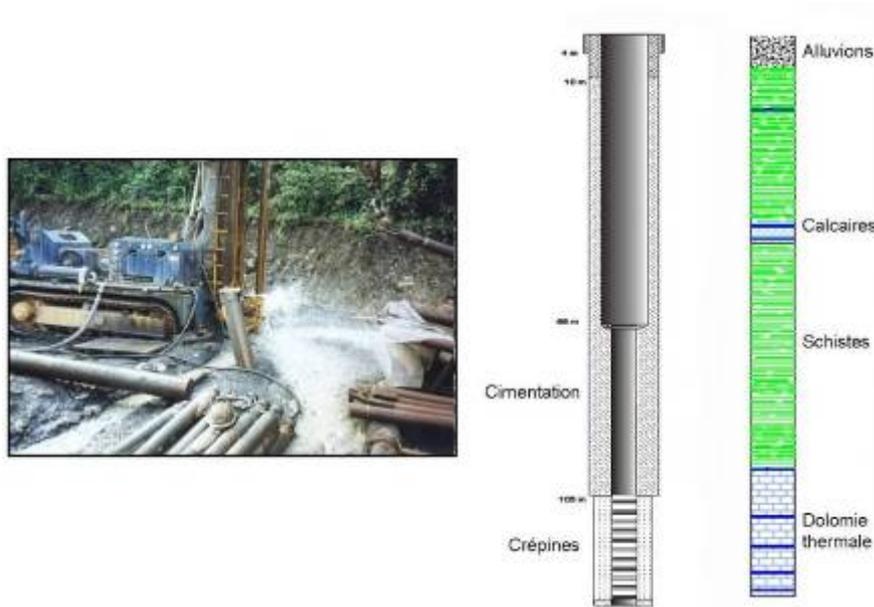


Figure 6 : Forage SP2: débit artésien, équipement et géologie simplifiée

Aujourd'hui l'embouteillage de l'eau minérale naturelle San Pellegrino repose sur ces 2 captages de production SP1 et SP2 pour un débit moyen total de 90 m<sup>3</sup>/h. D'un point de vue chimique, SP1 et SP2 ont des compositions similaires (Figure 7).

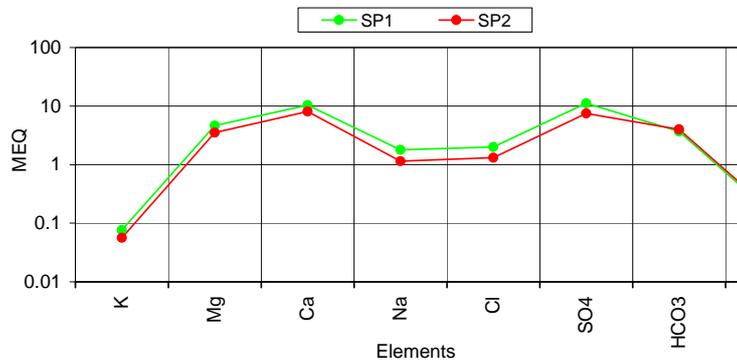


Figure 7 : Diagramme de Schoeller de SP1 et SP2

Un mélange SP1/SP2 est réalisé en continu afin d'assurer la composition constante de la San Pellegrino comme exigé par la législation italienne et européenne. Ce mélange est optimisé pour permettre le débit instantané maximal afin de répondre aux besoins de production, garantir la qualité du produit fini et assurer le management durable de cette ressource.

#### 4.2 Une ressource sous surveillance

Nestlé Waters a toujours considéré les ressources en eau comme une activité stratégique du Groupe. De ce fait, les captages SP1 et SP2 répondent à des standards très stricts en termes de suivi :

- Quantité : débits, niveaux d'eau, pressions, pourcentage de mélange SP1/SP2 ;

- Qualité : matériau utilisé pour les équipements de forage, les conduites et les cuves de stockage (inox 316L), filtration de l'air sur les têtes de forage, connexions sanitaires, stockage d'eau avec surpression d'air stérile, analyses chimiques et microbiologiques ;
- Sécurité : mesures passives (porte blindée, serrure renforcée), mesures actives (alarme anti-intrusion sur les portes, capteur de mouvement dans les captages avec mise en décharge automatique de l'ouvrage en cas d'alerte, enregistrement vidéo, société de sécurité 24h/7j).

La zone de recharge de l'aquifère thermal fait également l'objet d'études spécifiques. Comme toutes les concessions minérales italiennes, le suivi météorologique (température, précipitations) est obligatoire. Toute activité industrielle potentiellement dangereuse pour la ressource en eau y est strictement interdite.

En consolidant les données de pluviométrie sur la zone de recharge qui existent depuis 1921, une valeur moyenne de précipitations de 1562 mm par an a pu être obtenue (Figure 8). Entre 2003 et 2007, la valeur moyenne des précipitations a été d'environ 1200 mm par an suite correspondant à une période plus sèche.

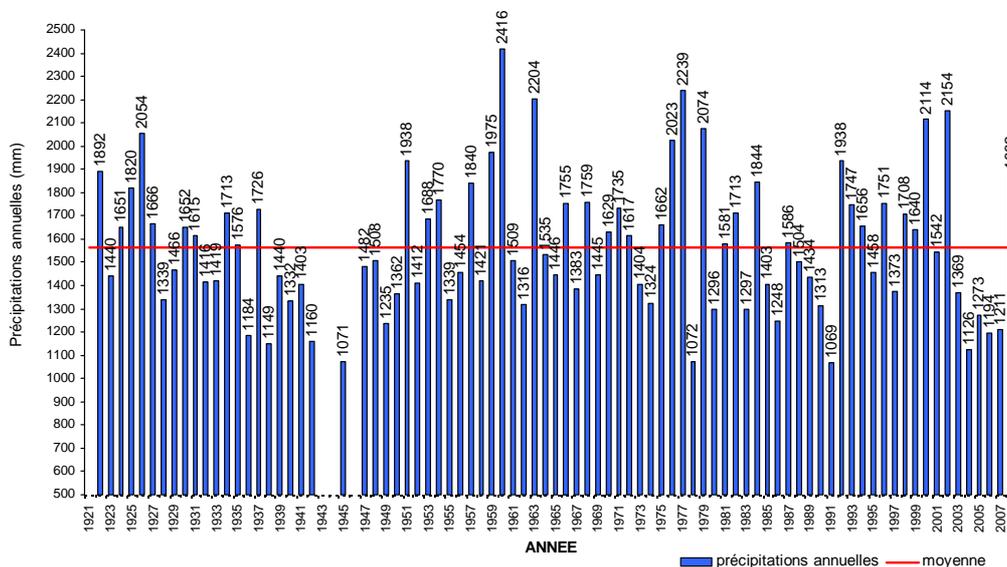


Figure 8 : Précipitations annuelles à San Pellegrino - Période 1921-2008

Cette baisse significative (-23 %) a poussé Nestlé Waters à envisager rapidement la réalisation d'un deuxième forage de production (SP3) afin d'assurer l'alimentation de l'usine sur le long terme. De nouvelles investigations géophysiques ont été entreprises avec toujours le double objectif : même qualité d'eau que SP1/SP2 et une protection naturelle de la ressource.

De nombreux sondages électromagnétiques en domaine temporel (TDEM) ont été réalisés afin de localiser la dolomie et les failles principales délimitant les différents compartiments (Figure 9). Un forage d'exploration a également été effectué jusqu'à 640 m. Il a traversé totalement l'aquifère dolomitique (480 m) et la couche de gypse sur 60 m. Cet ouvrage, ayant finalement capté le même compartiment géologique que SP2, est utilisé comme forage d'observation.

SP3 a finalement été foré en 2008 à quelques dizaines de mètres de SP2 (Figure 10). La méthode utilisée a été la rotoperçusion en circulation inverse avec comme fluide de l'eau minérale. Un contrôle qualité continu sur SP1 et SP2 a été réalisé lors de cette opération afin de suivre d'éventuelles interférences entre les ouvrages ou la moindre variation physico-chimique de l'eau minérale.

SP3 est actuellement en cours de validation par les Autorités et par Nestlé Waters. Il a également donné un débit artésien de 20 m<sup>3</sup>/h avec une composition chimique identique aux forages de production actuels. Plusieurs pompages d'essai ont été réalisés. La capacité de SP3 est telle qu'à 100 m<sup>3</sup>/h aucun rabattement piézométrique n'a été observé.

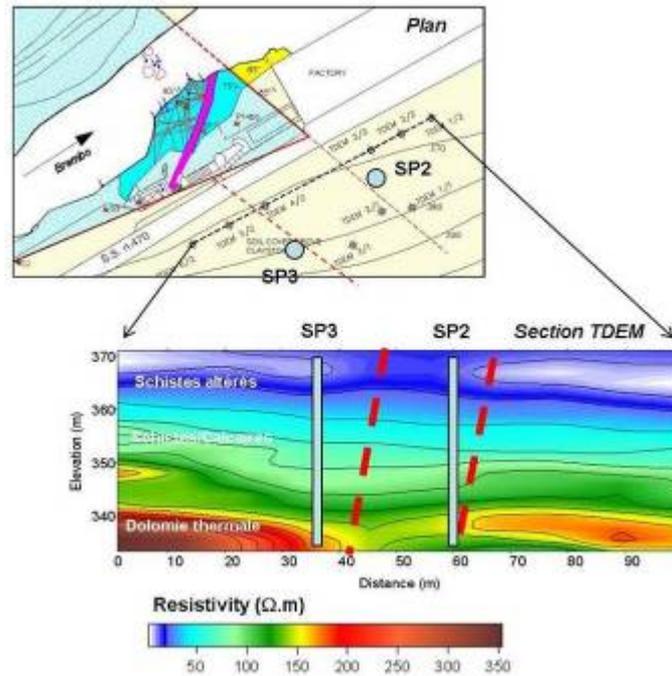


Figure 9 : Investigations géophysiques (TDEM) pour la réalisation de SP3

## 5. CONCLUSION

Basé sur une longue histoire thermique, l'exploitation de la ressource en eau à San Pellegrino a dû faire appel aux cours des dernières années aux technologies de pointe en matière d'exploration, de réalisation de captage et de suivi quantité et qualité.

Aujourd'hui, l'activité d'embouteillage d'eau minérale naturelle repose sur deux captages SP1 et SP2. La mise en production de SP3 devrait bientôt intervenir afin de pérenniser cette exploitation pour les prochaines années.

Le management durable de cette ressource unique repose des activités quotidiennes (suivi des ouvrages, contrôle qualité, sécurité, données météorologiques). L'interprétation de toutes ces informations se fait en continu afin de répondre au mieux au besoin de la production et d'observer toutes variations éventuelles tant en terme qualitatif que quantitatif.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Barla G., 2000**, Lessons learnt from the excavation of a large diameter TBM tunnel in complex hydrogeological conditions, *GeoEng 2000, Melbourne, 58 pages*

**Barla G., Naldi M.**, Tunneling near the San Pellegrino thermal springs (Italy), *proceedings EUROCK '96, 1996, Vol. II, pp. 1425-1432*, Balkema (Rotterdam)

**Le Fanic R., 2009**, Water Resources Management in the Bottled Water Business, 5<sup>th</sup> International Conference on Sustainable Water Resources Management, WESSEX Institute of Technology, UK, *11 pages.*

**Protti D., 2006**, *Le bien-être en Lombardie aux temps de l'Art Nouveau: les thermes de San Pellegrino*, Région de Lombardie (Direction Générale de la Culture, de l'Identité et de l'Autonomie), *7 pages.*

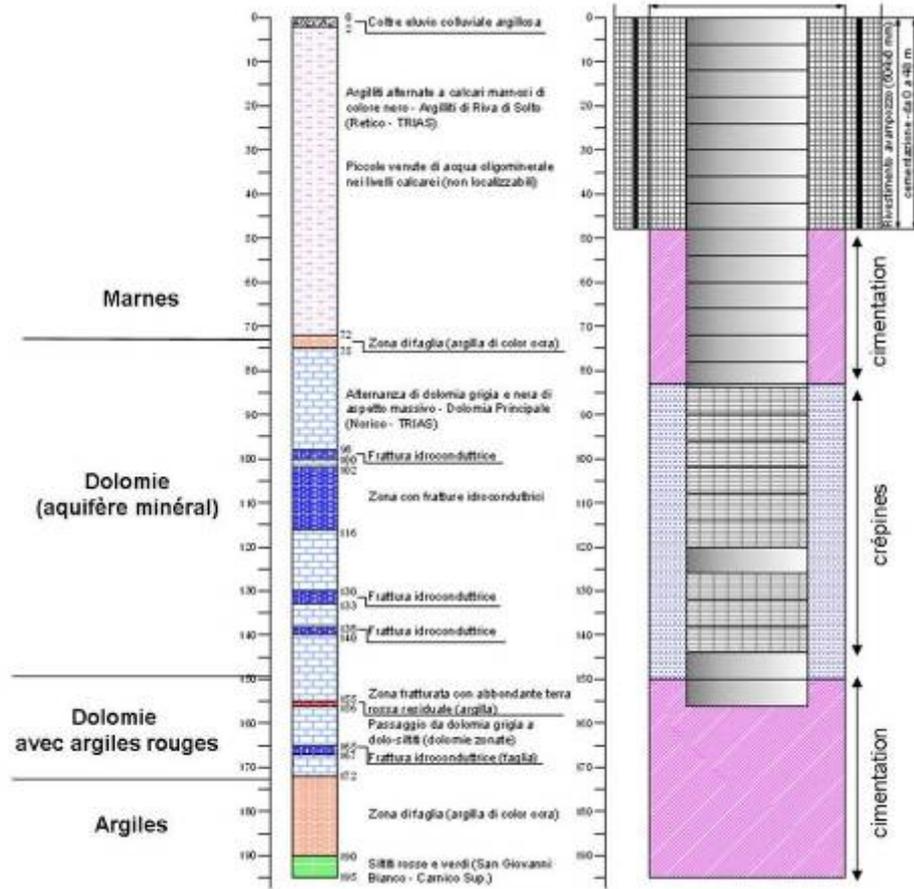


Figure 10 : Stratigraphie et équipement de SP3

# **LA GESTION DURABLE DES EAUX MINÉRALES DE SPADEL (Spa en Belgique et les Grandes Sources de Wattwiller en Alsace)**

**Patrick Jobé**

Conseiller en Hydrogéologie

Spa Monopole SA/ Spadel, rue A.Laporte 4900 Spa Belgique. Email : p.jobé@spawater.com

## **1. INTRODUCTION**

La gestion durable de l'environnement a toujours été une préoccupation majeure des exploitants d'eau minérale naturelle et des stations thermales. Dans bien des pays d'Europe, ils sont souvent des pionniers dans la préservation des ressources aquifères dont les effets favorables sur la santé sont largement reconnus. La gageure permanente était et reste toujours de distribuer au consommateur, cette eau pure naturellement c'est à dire sans altération ni traitement chimique et microbiologique.

L'exploitant des eaux minérales et thermales de Spa (leader pour le marché belge, néerlandais et luxembourgeois) joue encore son rôle de précurseur et a été reconnu début 2009 en obtenant le premier Prix Européen « Qualité des Eaux Minérales Naturelles » pour entre autre, sa politique de développement durable. Depuis quelques années, différentes stratégies de préservation sont également mises en œuvre, en Alsace, aux Grandes Sources de Wattwiller qui ont rejoint, en 2004, le groupe Spadel [Spa (B), Bru-Chevron (B), Brecon (GB)]

## **2. LES PRECURSEURS**

Les 16<sup>e</sup> et le 17<sup>e</sup> siècles voient naître les premières mesures de protection des eaux minérales et thermales de Spa.

Mais la première avancée importante date de 1772, année où le Prince Evêque de Liège publia un premier décret/loi qui sera à la base de la législation belge de préservation. Dans celui-ci, il était stipulé « *faire défense d'entreprendre tous travaux dans les endroits où coulent les sources d'eau minérale de Spa sans avoir préalablement fait constater qu'il ne peut en résulter aucun effet préjudiciable aux dites sources* ».

Par la suite, en 1889, le tout premier périmètre de protection belge fut mis en place à Spa. D'une superficie de 34 hectares, il concernait le Pouhon Pierre-le-Grand (eau thermale naturellement gazeuse et ferrugineuse). La protection était simplement quantitative afin d'empêcher toute réalisation de fouilles, de sondages ou de creusements de puits au delà de 2 m de profondeur.

C'est sur ces fondements que fut adoptée en 1924, la loi relative à la « Protection des Eaux minérales et Thermales ». Celle-ci élargit le périmètre de protection de toutes les sources d'un bassin qui, sur avis conforme de l'Académie Royale de Médecine, seront reconnues d'utilité publique.

Spa étant à la base de cette nouvelle législation, ils en furent les premiers bénéficiaires en obtenant la protection de la Source d'eau minérale et thermale Marie-Henriette (Arrêtés Royaux des 20 mai et 10

novembre 1925). Par la suite, plusieurs autres émergences spadoises furent successivement protégées par de nouvelles zones jusqu'à atteindre, en 1937, un périmètre d'une surface de 3400 hectares (figure 1). Il s'agissait d'une protection quantitative mais également qualitative. En effet, dans le périmètre ainsi déterminé, il était stipulé *qu'il ne pouvait être entrepris, sans autorisation préalable du gouvernement, aucun travail qui pourrait avoir pour résultat de réduire le débit des sources et d'altérer la qualité de l'eau qu'elles fournissent. Sont interdits tous drainages, sondages, creusements de puits, travaux souterrains, fouilles dont la profondeur excéderait deux mètres, modification au régime des ruisseaux, à l'écoulement des eaux de surface et à la situation actuelle des « mofettes » d'acide carbonique (venues sèches de gaz).*

La création de ces périmètres de protection favorisèrent d'autres mesures de préservation comme par exemple ; la mise en place de l'égouttage collectif et l'impossibilité d'enfouir des citernes à mazout (interdiction de creuser au delà de 2m de profondeur)



© www.spa.be

Figure 1 : évolution au cours des décennies des différents périmètres de protection (en gris foncé : 34 hectares en 1889, en gris moyen : 3400 hectares en 1937 et en gris clair : 13177 hectares en 2001)

### 3. LA PROTECTION AUJOURD'HUI EN BELGIQUE

En avril 1990, la Région Wallonne (partie sud de la Belgique), consciente de la nécessité de protéger ses réserves aquifères, a instauré, par son décret relatif à la protection et l'exploitation des eaux potabilisables, une politique rigoureuse de protection. Ce décret poursuit un double objectif : il vise non seulement à renforcer la protection des eaux potabilisables contre toute pollution mais, en outre, à assurer l'exploitation rationnelle de ces eaux et leur répartition équitable entre les producteurs. Toute prise d'eau est soumise à une autorisation préalable du Gouvernement Wallon, lequel détermine le volume d'eau qui peut être prélevé, ainsi que les modalités de contrôle du volume d'eau captée.

Ce décret impose la délimitation de zones de protection pour les prises d'eau souterraine. Ainsi, en nappe libre, des zones de prévention doivent être déterminées pour toute prise d'eau à usage de distribution publique ou d'embouteillage. En nappe captive, cette détermination reste facultative.

Sous l'impulsion de Spa, au travers de sa Fédération Professionnelle, la notion de zone de surveillance sera intégrée à cette nouvelle législation. Elle permet aux exploitants d'eau minérale, d'eau thermale et d'eau de source de préserver les ressources aquifères futures qui seront un jour exploitées.

Pour les minéraliers, quatre zones « concentriques » sont donc implantées autour de l'ouvrage de prise d'eau. Les modalités de délimitation de ces zones sont décrites ci-après en annexe 1.

Aujourd'hui, grâce à cette législation, les eaux de Spa sont protégées par une zone III de surveillance de 13.177 hectares (figure 1). Cette dernière s'étend sur 6 communes.

#### **4. LA RECHERCHE DU RISQUE ZERO**

Parallèlement à ces obligations légales, le groupe Spadel a initié 2 projets novateurs pour aller encore plus loin dans la protection de son patrimoine aquifère et environnemental. Ces derniers ont été mis en place dans les 2 sites belges (Spa et Bru-Chevron) depuis plusieurs dizaines d'années et depuis peu, aux Grandes Sources de Wattwiller en Alsace. Ces projets font appel à une collaboration étroite entre les différents acteurs publics et privés des sites minéraliers mais également avec la communauté scientifique.

##### **4.1 Modus Vivendi et réserve naturelle hydrogéologique**

En 1967, après avoir racheté la dernière petite exploitation fermière de la zone d'alimentation, Spa passa un accord avec l'Administration des Eaux et Forêts pour une gestion concertée de la forêt et du cycle de l'eau. Cet accord (Modus Vivendi) est en perpétuelle évolution et fut amendé en 1978 et 2001 afin de mieux correspondre aux connaissances et aux législations actuelles.

4 objectifs principaux ont été ciblés et développés avec comme but ; la préservation de l'environnement et des ressources aquifères.

##### **4.1.1 Protection du patrimoine hydrogéologique**

Les mesures principales sont les suivantes :

- Interdiction d'utilisation de pesticides, d'engrais et pas d'amendements. Uniquement une lutte biologique contre les nuisibles est autorisée (exemple : piège à scolytes)
- Interdiction de l'utilisation des sels de déneigement (remplacés par du sable)
- Imperméabilisation des zones de parage avec collecte des eaux de ruissellement vers un déshuileur.
- Bâtiments existants : raccordement à un égout étanche (PEHD et non béton) et abandon des énergies fossiles au profit des énergies vertes.
- Instauration d'un périmètre de protection rapprochée d'un hectare autour de chaque captage.
- Autorisation pour la mise en place d'une clôture autour des captages.
- Utilisation pour les empièvements des matériaux régionaux de nature schisto-gréseuse (pas de calcaire car sol acide).
- Mise en place dans le massif forestier d'une conduite d'eau avec des bornes d'incendie.

##### **4.1.2 Gestion des biens forestiers**

Les mesures principales sont les suivantes :

- Préservation et mise en valeur des zones humides (landes et tourbières) :
  - Arrêt des drainages et des plantations
  - Elimination des semis éoliens
- Réduction de la population de résineux à moins de 50 % au profit des feuillus en vue de favoriser la biodiversité et l'infiltration souterraine.
- Limitation des densités de plantations.
- Limiter les surfaces de mises à blanc (afin de réduire les largages naturels de nitrates et l'érosion des sols).
- Lors des exploitations forestières :
  - Obligation d'utilisation d'huiles biodégradables pour les engins et les outils.
  - Interdiction des dépôts d'hydrocarbures.
  - Les remplissages doivent se faire sur une aire étanche.

### 4.1.3 Education environnementale

Spa a cédé les bâtiments de l'ancienne ferme à l'Administration des Eaux & Forêts afin qu'elle puisse en faire des bureaux, un centre de surveillance et un musée dédié à la forêt et à l'eau minérale naturelle.

Une maison de la nature a également été construite en vue d'informer, de sensibiliser et de former à l'environnement les groupes scolaires ainsi que le grand public. De nombreuses activités et installations sont dédiées aux thèmes de l'eau, de la forêt, des fagnes (landes et tourbières) et de la faune (<http://www.berinzenne.be>). Spa est un partenaire actif de cet outil d'éducation à la gestion durable.

### 4.1.4 Réserve naturelle hydrogéologique

Spa a également souhaité la création d'une réserve naturelle hydrogéologique comme l'a jadis proposé le Professeur de Marsily. Cette future réserve intégrera une gestion orientée dans un but de protection prioritaire des ressources aquifères et de leur environnement.

## 4.2 Plan d'Urgence et d'Intervention

Début des années 90, toujours dans la recherche du risque zéro, la Ville de Spa et les eaux minérales de Spa ont initié la mise en oeuvre d'un plan catastrophe consacré à la protection des ressources aquifères de Spa et de leur environnement.

Ce plan a été élaboré en concertation avec les Autorités (Pompiers, Protection Civile, Police, 5 Communes, les différents Départements de la Région Wallonne (Eaux, Forêts, Pollution)) et des conseillers scientifiques.

Le but de ce projet est d'agir le plus rapidement et le plus efficacement possible en cas de pollution. En effet, dans ce cas de figure, votre ennemi c'est le temps.

4 objectifs principaux sont ciblés :

- a) Mettre en place une intervention multidisciplinaire mobilisable 24h sur 24.
- b) Sensibiliser et former les différents intervenants.
- c) Mettre en place une amélioration continue des processus d'intervention et de décision.
- d) Créer des schémas de fonctionnement prédéfinis en fonction du type de pollution.

Pour ce dernier point, 3 scénarii ont été développés :

- a) La pollution par produits chimiques et essentiellement les hydrocarbures.
- b) L'incendie (risque d'altération des installations mais également risque de minéralisation du sol et du sous-sol).
- c) Le crash d'un avion (ce point reprend les 2 risques précédents auxquels il faut ajouter un impact humain grave et une accessibilité difficile).

Depuis une quinzaine d'années, ce plan a montré sa grande efficacité. Il permet aux gens de terrain de poser les bons gestes aux bons moments.

En moyenne, le plan est déclenché une dizaine de fois par an pour des missions qui vont de la fuite d'huile suite à la rupture d'un carter de voiture à l'accident d'un camion citerne, au crash d'un petit avion de tourisme.

Après chaque évènement, le comité de pilotage réalise un débriefing avec la mise en place d'un plan d'action.

En 2007, dans un but d'amélioration continue, un exercice « grandeur nature » a été réalisé sur le site de Spa et des Grandes Sources de Wattwiller. Une nouvelle sensibilisation et une remise à niveau des différents acteurs ont pu être ainsi effectuées.

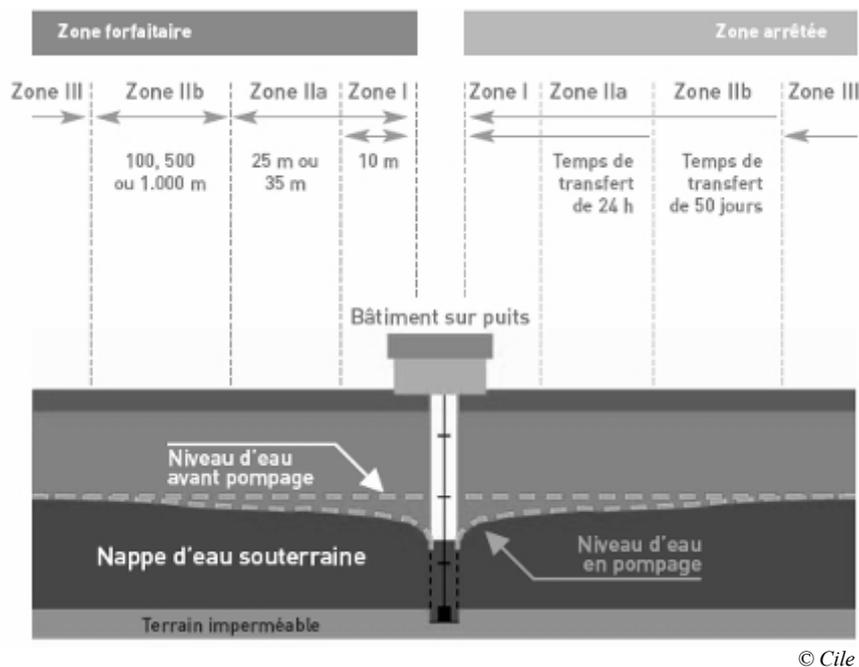
## 5 CONCLUSIONS

La gestion durable de l'environnement est une véritable vocation pour Spadel. Ce combat de tous les jours doit être obligatoirement mené en étroite collaboration avec tous les acteurs des sites minéraliers (politique, économique, particuliers, scientifiques...) avec le partage d'une vision commune et la mise en œuvre de moyens efficaces de protection et de prévention.

Il faut être en permanence imaginatif car la préservation est une histoire sans fin avec comme ambition: permettre à nos petits et arrières petits enfants de boire une eau naturellement pure c'est à dire sans subir de traitement.

### ANNEXE 1

#### Modalités de délimitation des zones de protection dans la partie sud de la Belgique



La zone de prise d'eau (appelée I).

La zone de prise d'eau (10 m autour de la source, de la galerie drainante ou du forage dont on extrait l'eau) doit être clôturée et seules les activités de prise d'eau sont autorisées. La société (ou la personne physique) exploitant le captage doit être propriétaire de ce terrain. Dans cette zone, tout est interdit sauf les activités liées à l'exploitation de la prise d'eau.

**La zone de prévention (appelée IIa & IIb).**

La zone de prévention est subdivisée en zone rapprochée et éloignée.

La zone IIa s'étend jusqu'à une ligne située à une distance de l'ouvrage de prise d'eau correspondant à un temps de transfert de l'eau souterraine jusqu'à l'ouvrage, égal à 24 heures dans le sol saturé. A défaut de données suffisantes, cette zone est délimitée par une ligne située à une distance horizontale minimale de 35 mètres à partir des installations de surface.

**La zone IIb englobe tout le périmètre extérieur de la zone d'appel de la prise d'eau. Toutefois ce périmètre ne peut être situé à une distance de l'ouvrage supérieure à celle correspondant à un temps de transfert de cinquante jours dans le sol saturé. A défaut de données suffisantes, le périmètre de cette zone est de :**

- **100 mètres pour les formations aquifères sableuses,**
- **500 mètres pour les formations aquifères graveleuses ou de**
- **1000 mètres pour les formations aquifères fissurées ou karstiques.**

Lorsqu'il existe des axes d'écoulement préférentiel de circulation des eaux souterraines alimentant l'ouvrage de prise d'eau, la zone IIb est étendue le long de ces axes sur une distance maximale de 1.000 mètres et sur une largeur au moins égale à celle de la zone IIa.

Autour de chaque captage, la délimitation des zones de protection doit faire l'objet d'un Arrêté ministériel pour être légalement reconnue. Un ensemble de mesures et d'interdictions sont alors appliquées dans la zone IIa et IIb, pour assurer la pérennité des eaux du captage.

Ces mesures couvrent l'interdiction ou la réglementation de diverses activités : épuration individuelle, usage d'hydrocarbures, activités agricoles, décharges, cimetières, terrains de sports, utilisation de substances polluantes.

#### La zone de surveillance (appelée III).

Enfin, il faut signaler la possibilité pour le Gouvernement Wallon de délimiter des zones de surveillance, notamment pour les producteurs d'eau de source, d'eau minérale et d'eau thermale. Celles - ci sont définies comme des aires géographiques comprenant les bassins ou parties de bassins d'alimentation des zones de prise d'eau existantes ou en projet. Les propositions de zones de surveillance doivent également faire l'objet d'une enquête publique et d'Arrêtés de délimitation du Gouvernement Wallon. Dans ces zones de surveillance, les épandages d'effluents d'élevage, d'engrais azotés et de pesticides ne peuvent dépasser certaines doses maximales.

Par définition, la zone de surveillance couvre le bassin d'alimentation du captage. Contrairement aux zones de prévention qui se basent essentiellement sur le transfert possible de polluants en zone saturée, la zone de surveillance permet également de tenir compte des risques de contamination indirecte liée aux ruissellements en surface ainsi qu'à l'infiltration à travers la zone non saturée.

# Géologie, hydrodynamique, hydrochimie et modélisation thermique : des outils complémentaires pour la compréhension du fonctionnement des systèmes thermo-minéraux : exemple du site de La Léchère

Emilie Thiébaud <sup>(1)\*</sup>, Marc Dzikowski <sup>(1)</sup>, Dominique Gasquet <sup>(1)</sup> et Jean-Louis Garnier <sup>(2)</sup>

(1) Université de Savoie, laboratoire EDYTEM

(2) Service Technique de la Communauté de Communes des Vallées d'Aigueblanche  
\* 28 rue Jeanne d'Arc, 63 140 CHATELGUYON, e.thiebaud@yahoo.fr

## 1. INTRODUCTION

La station thermale de la Léchère accueille chaque année 6000 curistes, principalement pour des soins thérapeutiques tels que la rhumatologie (pathologie majoritairement concernée par les cures thermales en France), mais également la phlébologie et la gynécologie. Cette fréquentation de 6000 curistes par an est légèrement plus élevée que celle de la majorité des établissements français qui s'inscrit entre 1000 et 5000 curistes par an.

La Léchère se situe en Savoie (73), dans la vallée de la Tarentaise, à environ 70 km de Chambéry, entre les villes d'Albertville et de Moûtiers. Ce site thermal est positionné à l'intersection entre une zone de failles régionale (la "faille" de la Léchère) et la vallée de l'Isère.

La ressource thermale de la Léchère est connue depuis 1869, date à laquelle un effondrement a conduit à la formation d'un lac d'eau chaude en rive gauche de l'Isère. Depuis cette date, 11 forages thermaux ont été réalisés aux alentours du lac sous les recommandations des divers bureaux d'étude ayant étudié le site (Poul et Iundt 1985, Corrignan 1995 et SOGREAH 2003). Les premiers n'atteignaient que 15 à 20m de profondeur. Par la suite, des forages de plus en plus profonds ont été réalisés pour tenter de capter les eaux directement dans le substratum. Après un problème de contamination bactériologique et une fermeture de l'établissement en 1998, les anciens forages ont été cimentés et le forage Natacha a été réalisé. Actuellement, il est le seul exploité avec un débit artésien bridé de 45m<sup>3</sup>/h ; il permet de capter, à 200m de profondeur, des eaux de 60°C, présentant un faciès sulfaté calcique et magnésien. L'ancien forage RVII, contaminé par des *Legionella Pneumophilla*, est maintenu comme forage de surveillance. Bien que le problème de contamination ait été écarté par la réalisation du forage Natacha, la compréhension du système thermal est apparue nécessaire afin de mieux appréhender, pour le futur, le risque de détérioration de la ressource. Dans cet objectif, l'ensemble des outils nécessaires à une étude hydrogéologique ont alors été mis en œuvre : analyse de la structure géologique, analyse du comportement hydrodynamique, détermination du mode de minéralisation et modélisation numérique hydrodynamique et thermique. Les informations apportées par ces différentes approches ont été confrontées les unes aux autres et ont permis de proposer un mode de fonctionnement cohérent aussi bien à l'échelle globale qu'à l'échelle de la zone d'émergence. Seuls les résultats les plus significatifs sont présentés ici.

## 2. FONCTIONNEMENT GLOBAL DU SYSTEME

### 2.1 Structure géologique

Le secteur de la Léchère est marqué par une forte diversité géologique. En effet, le socle cristallin et son tégument permo-carbonifère sont en contact tectonique, jalonné de dépôts triasiques évaporitiques, avec la couverture delphino-helvétique essentiellement carbonatée. Les dépôts quaternaires recouvrent l'ensemble

(figure 1a et b). Le socle est constitué par des granites, gneiss et micaschistes, et le tégument permocarbonifère par des conglomérats et grès contenant localement des niveaux charbonneux. Les dépôts triasiques, ayant servi de niveau de décollement, sont constitués de dolomie, cargneule, gypse et anhydrite. La couverture delphino-helvétique présente une alternance de calcaires et de schistes. Les dépôts quaternaires sont constitués, sur le secteur, de dépôts liés à la présence de glaciers (dépôts glaciaires, proglaciaires et périglaciaires), de dépôts gravitaires mais aussi de travertins.

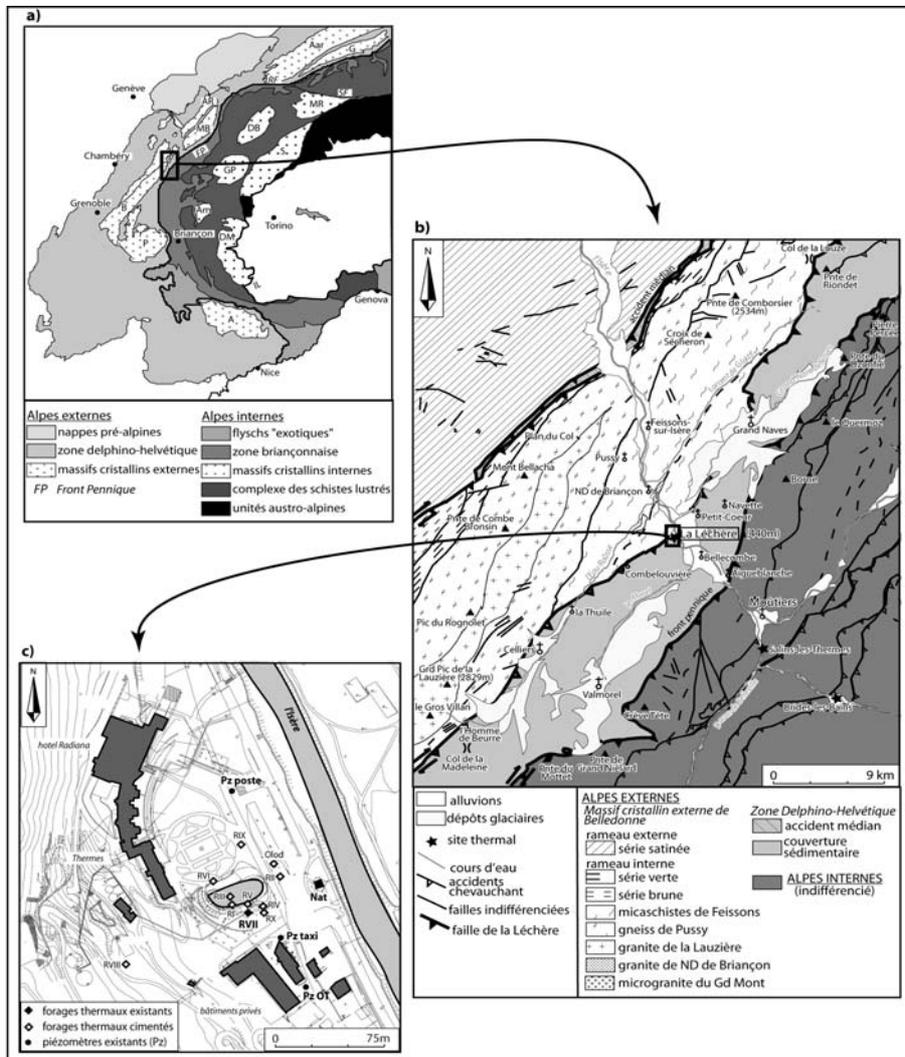


Figure 1 : a) Localisation du site thermal de la Léchère dans les Alpes Françaises. b) Contexte géologique du site thermal de la Léchère, d'après Barféty et al., 1984, Debelmas et al., 1989, Antoine et al., 1992, Doudoux et al., 1999. c) Implantation des différents forages thermaux réalisés sur le site thermal de la Léchère

La cartographie au 1/10 000 du secteur d'étude a permis d'apporter des améliorations aux cartes BRGM au 1/50 000. Tout d'abord, au sein des micaschistes de Feissons-sur-Isère (MFI), des plis pincés de Permo-Carbonifère ont été observés. De plus, le contact entre socle et couverture n'est pas un simple accident. Il se divise en plusieurs accidents associés, formant les différentes écailles du secteur. Pour finir, la zone de faille de la Léchère est affectée par des plis dont les axes, espacés d'environ 500 m, plongent faiblement vers le NE. Ce phénomène correspond à une structure à pendages opposés de chaque côté de l'Eau Rousse. Ces plans plissés s'enracinent dans le plan de décollement basal situé entre 4 et 5 km de profondeur (Ménard, 1988 et Tardy et al., 1999). La géométrie des différents contacts est marquée par une forte variabilité latérale et en profondeur.

En ce qui concerne l'analyse de la fracturation, les différentes structures observées sur le secteur de la Léchère ont été formées par la succession des quatre phases de déformation alpine, identifiées dans la

littérature. Au sein du socle cristallin, les possibilités de circulation semblent donc nombreuses. En effet, deux familles de fractures permettent aux eaux de circuler aussi bien dans la direction SSW-NNE que dans la direction WNW-ESE. A ces dernières, sont associées les veines alpines. Le réseau est complexe et relativement dense mais la connectivité entre ces différentes structures est difficile à estimer. Néanmoins, ce réseau de fractures semble pouvoir guider les eaux infiltrées sur le socle en direction de l'accident de la Léchère et des écailles associées. Quant aux matériaux carbonatés de la couverture delphino-helvétique, ils ne présentent pas une fracturation suffisamment importante pour participer de manière conséquente aux circulations souterraines du secteur.

## 2.2 Comportement hydrodynamique

Les cours d'eau des deux versants (Eau Rousse et Grand Nant de Naves) s'écoulent au niveau du contact tectonique de la Léchère (figure 1b). La réalisation de 2 campagnes de jaugeage a permis d'identifier une zone de perte et une zone d'apport sur le réseau hydrographique du versant SW.

En complément, l'enregistrement en continu des niveaux piézométriques des forages RVII et Nat permet d'accéder à des informations sur le comportement hydrodynamique du système. Ainsi, sur l'année d'enregistrement de 2006 (figure 2), les pics présentent deux formes différentes : des pics à forme arrondie (a), marqués par une récession lente et des pics aigus (b), correspondant à une récession rapide (24/05/06 et 07/03/07). Les pics aigus n'apparaissent que lorsque le niveau piézométrique du forage Natacha dépasse la valeur seuil de 439m.

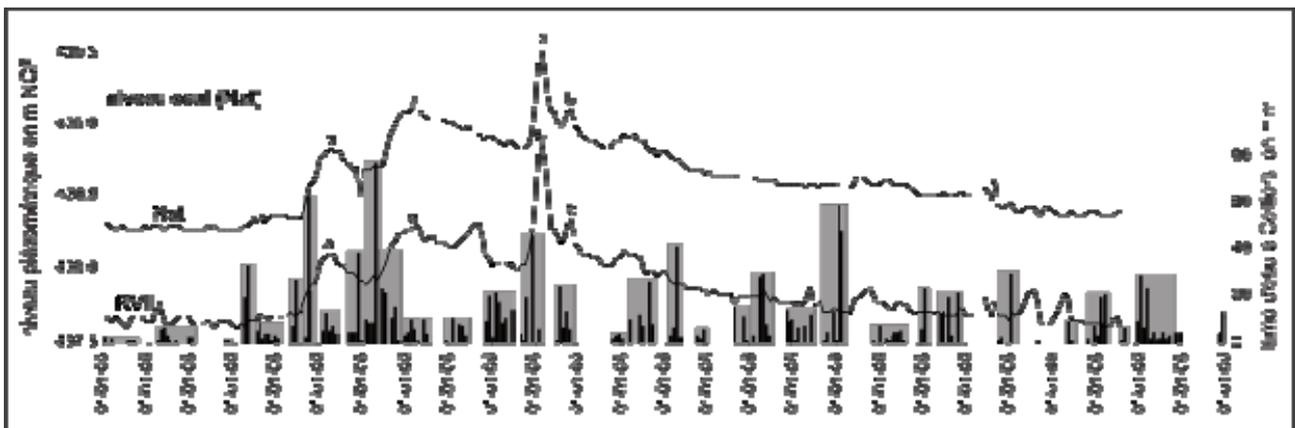


Figure 2: Enregistrements des niveaux piézométriques des forages Natacha et RVII du 01/01/06 au 31/12/06, pluviométrie à la station de Celliers(1400m)

Ces deux observations suggèrent que le secteur étudié est marqué par **des circulations profondes**, comme en atteste la présence de l'émergence thermique, et par **des circulations superficielles**, mises en évidence par les différentes sources froides et les apports identifiés sur le réseau hydrographique. Une fois ce constat réalisé, il convient de comprendre le lien entre ces deux types de circulation. Tout d'abord, toutes deux transitent dans le même milieu : la fracturation des MFI et les parois des failles, constituées par la zone broyée des MFI ainsi que par les dolomies, cargneules et gypses du contact lui-même. Cependant, il est classiquement observé que la conductivité hydraulique des roches cristallophylliennes diminue en profondeur (Maréchal, 1998) du fait de la décompression des roches en surface (environ 600m d'épaisseur au niveau des sommets). Ainsi, la présence d'une zone décompressée dans la zone de recharge sert de trop-plein à l'ensemble du système et explique les pics à vidange rapide enregistrés dans le forage Natacha. Les circulations superficielles observées correspondent aux circulations dans cette zone décompressée. L'ensemble de ce double système est alimenté à la fois de façon diffuse par les infiltrations dans le réseau de fractures des MFI et de façon ponctuelle par les pertes du réseau hydrographique, présentes au Crozat (1300m) et sur le ruisseau de la Rave (1700m).

## 2.3 Minéralisation

Afin de définir les interactions fluide-roche, les différents faciès de roches et d'eaux, présents sur le secteur étudié, ont été analysés, aussi bien en ce qui concerne les éléments majeurs, les éléments traces que les isotopes stables ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{34}\text{S}$ ) et les isotopes radioactifs ( $^3\text{H}$  et  $^{14}\text{C}$ ).

**Les eaux issues des carbonates et des MFI** présentent un faciès bicarbonaté calcique ( $\text{Ca-HCO}_3$ ), très peu minéralisé (300 à 400 $\mu\text{S/cm}$ ). Du fait de leur court temps de séjour, elles ne sont marquées que par les éléments facilement mobilisables dans les roches qu'elles traversent.

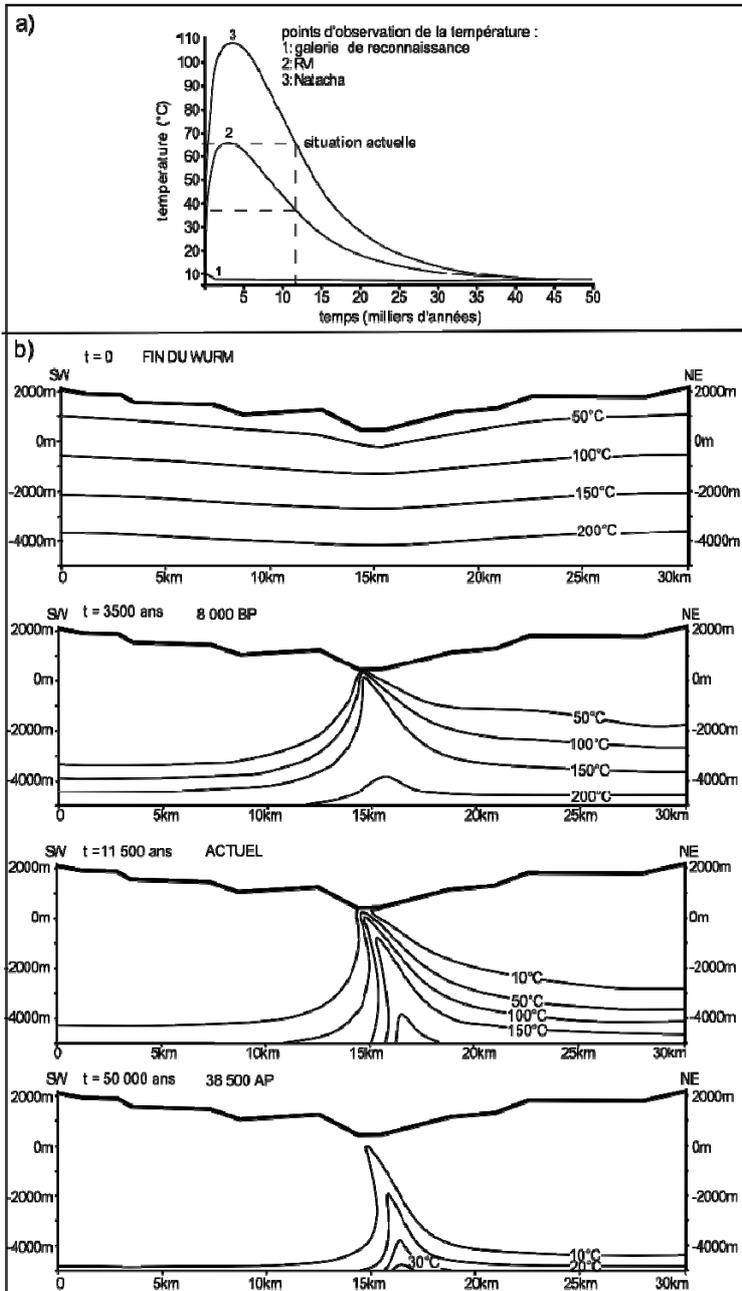
**Les eaux triasiques superficielles (ETS)** regroupent toutes les eaux superficielles issues des formations triasiques (cargneules, dolomies et gypses). Les contacts tectoniques, jalonnés d'évaporites, drainent les eaux circulant dans les fissures et fractures des MFI du socle mais aussi, dans une moindre proportion, celles des carbonates de la couverture. Les ETS sont donc marquées majoritairement par les gypses et les dolomies du contact tectonique qui leur confèrent un faciès sulfaté calcique magnésien légèrement bicarbonaté ( $\text{Ca-Mg-SO}_4 + \text{HCO}_3$ ), enrichi en B, Br, Mn et Sr. L'implication des carbonates et des MFI permet aux ETS de se charger respectivement en Ca et  $\text{HCO}_3$ , d'une part, et en Ba, d'autre part. Ces ETS se retrouvent en système fermé par rapport à l'atmosphère et précipitent de la calcite à leur émergence. Les eaux se sont infiltrées à une altitude moyenne comprise entre 1100 et 1500m (d'après les données  $^{18}\text{O}$  et  $^2\text{H}$ ) et leur temps de séjour est de quelques années (moins de 10 ans d'après les données en  $^3\text{H}$ ).

**Les eaux thermales de la Léchère**, comme les ETS, regroupent les eaux drainées par les accidents tectoniques, mais cette fois à grande profondeur. La différenciation entre ETS et eaux thermales est uniquement due à cet étagement des écoulements. Tout d'abord, la géométrie des contacts tectoniques est très variable et correspond à des écaillés discontinues. En profondeur, les eaux thermales ne sont alors plus (ou peu) en contact avec les dolomies et les carbonates. Par contre, elles atteignent la halite ( $\text{NaCl}$ ) qui est généralement présente en profondeur, le long des chevauchements alpins (Razack et Dazy, 1990). Deuxièmement, la température élevée des eaux et leur temps de séjour de plusieurs milliers d'années (moins de 10000 ans) facilite les possibilités d'échanges entre Ca et Na sur les argiles des MFI et l'acquisition de la silice des roches métamorphiques (MFI, gneiss et granites). Les eaux thermales ont donc un faciès sulfaté calcique et sodique, avec également un peu de Cl, K et Si. Troisièmement, les eaux thermales sont marquées par des échanges avec de la matière organique (MO), présente dans les roches permo-carbonifères, comme en atteste la présence de  $\text{NH}_4$  et  $\text{CH}_4$  dans les eaux du forage Natacha. Cet échange avec de la MO rend alors possible la réduction bactérienne des sulfates en sulfures. Pour finir, les eaux thermales se chargent en Rn et en  $\text{CO}_2$  en profondeur. En contact avec des roches du socle et du contact tectonique, les eaux thermales acquièrent un faciès sulfaté calcique et sodique, enrichi par la présence de nombreux éléments ( $\text{SiO}_2$ , K, F, Cl,  $\text{NH}_4$ , B, Ba, Br, F, Mn et Sr) ainsi que de gaz dissous ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  et Rn). En remontant à la surface où elles sont captées par le forage Natacha, les eaux thermales passent de 90°C à 60°C et précipitent probablement de la calcite. Si l'on considère que les eaux se sont infiltrées après la dernière glaciation (d'après les données  $^{14}\text{C}$ ), l'altitude moyenne de l'aire d'alimentation est comprise entre 1400 et 1600m (d'après les données  $^{18}\text{O}$  et  $^2\text{H}$ ).

## 2.4 Modélisation numérique hydrodynamique et thermique

Un modèle conceptuel est construit à partir des informations issues des observations précédentes. Ce modèle suppose un fonctionnement impliquant les deux versants, avec des circulations superficielles dans la zone décomprimée et des circulations profondes dans la zone comprimée. La modélisation numérique du système de la Léchère a permis de vérifier que ce modèle conceptuel permet d'obtenir une bonne simulation de l'état de charge et des temps de transfert. Il reste également cohérent lors de la phase de modélisation couplée hydrodynamique / thermique.

Cette modélisation a également amené des éléments supplémentaires dans la compréhension du fonctionnement du système. En effet, les pertes, identifiées sur le réseau hydrographique, ne participent pas



ou peu à l'alimentation du circuit profond. Celui-ci est alimenté uniquement par les eaux infiltrées sur les points les plus hauts. L'eau thermique de la Léchère résulte d'un mélange d'eaux issues des deux versants, circulant à différentes profondeurs et avec des temps de transfert variables, mais de plusieurs milliers d'années. Du point de vue thermique, la simulation rend compte de l'importance des périodes glaciaires dans la mise en place de systèmes thermaux de montagne. En effet, dans la situation actuelle, le système est en pleine évolution thermique. La dernière glaciation du Würm a permis la mise en place d'un gradient thermique non perturbé par les circulations d'eau. A la fin de cette glaciation, les circulations d'eau refroidissent les versants et poussent les eaux chaudes vers la vallée. Après avoir atteint un maximum de température en 3500 ans, les eaux profondes de la zone d'émergence thermique se refroidissent. A l'heure actuelle (11500 ans après la fin de la glaciation), le système thermal est situé au coeur de cette diminution de température. Bien que les hypothèses climatiques soient simplifiées (températures et infiltration constantes dans le temps), le système est destiné à se refroidir encore, jusqu'à atteindre, au bout de 50000 ans, un régime permanent correspondant au refroidissement total de l'aquifère thermal.

Le fonctionnement du système dans sa globalité est ainsi bien appréhendé. Avec la même démarche, le fonctionnement de la zone d'émergence a été précisé.

Figure 3 : Evolution thermique depuis le Würm, simulée par le modèle. a) Évolution de la température au niveau des points d'observation : galerie de reconnaissance, RVII et Natacha. b) Évolution de la répartition de la température dans le système

### 3. FONCTIONNEMENT DE LA ZONE D'EMERGENCE

#### 3.1 Structure géologique

Les données des forages présents dans la zone d'émergence (forages thermaux, forages géotechniques ou piézomètres) ont permis de définir la structure et la dynamique de remplissage de l'ombilic glaciaire (figure 4). La qualité variable des descriptions a mené à une part d'interprétation basée sur la description de la taille des éléments rencontrés, de leur nature (siliceux ou non) et/ ou de leur forme (anguleuse ou émoussée). Des sables fins ont été décrits en fond d'ombilic sur environ 20m d'épaisseur. Ils correspondent à des dépôts glacio-lacustres et constituent une barrière imperméable à semi-imperméable entre le substratum et les

dépôts quaternaires. On observe ensuite sur environ 50m des graviers fluvio-glaciaires qui sont de plus en plus grossiers en s'approchant de la surface. Viennent enfin les galets déposés par l'Isère sur 20 à 25m d'épaisseur. Sur le versant SW, des "éboulis de marnes" et des "éboulis polygéniques" sont décrits dans les forages RVII et RVIII (Eberentz, 1987 et Corrignan, 1995). Nous considérons que ces descriptions correspondent à un écoulement ancien de 15 à 20m d'épaisseur.

Il semble alors que seule la présence d'un écoulement ancien permet aux eaux thermales de franchir latéralement la barrière semi-imperméable des sables glacio-lacustres, pour se diffuser ensuite dans les graviers et galets constituant la nappe alluviale de l'Isère.

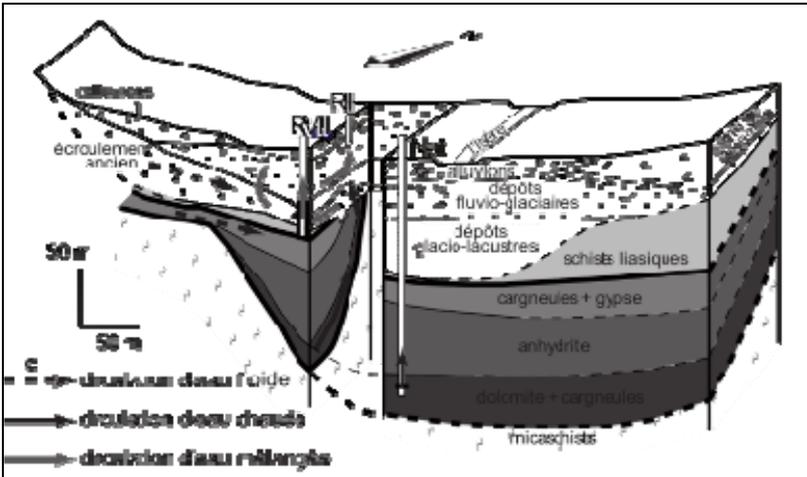
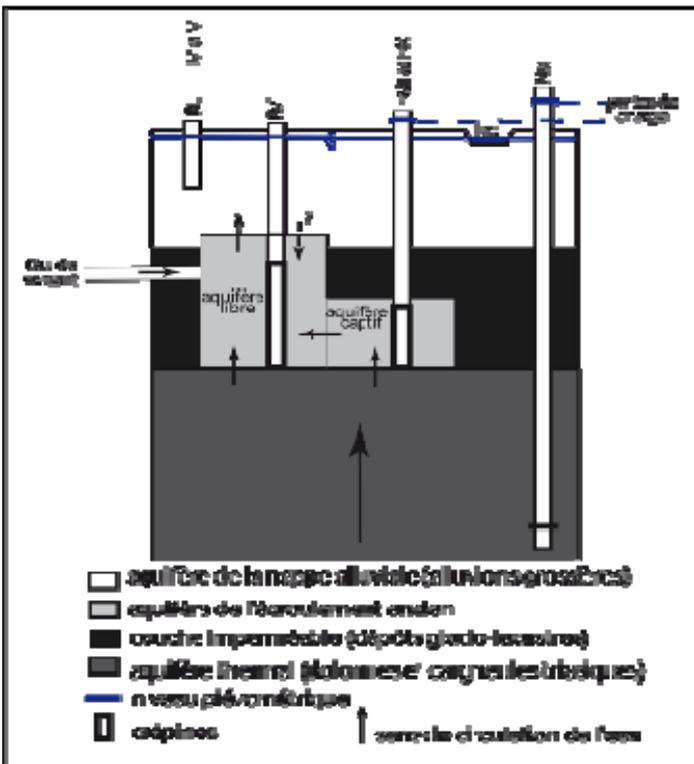


Figure 6: Bloc diagramme de la structure géologique dans la zone d'émergence établi à partir de la réinterprétation des données de forage

## 2.2 Comportement hydrodynamique

La compréhension de la structure géologique permet de proposer un modèle de circulation dans la zone d'émergence qui va être validé par les données hydrodynamiques et hydrochimiques.

## 3.2 Comportement hydrodynamique



Dans la zone d'émergence, trois aquifères sont donc présents (figure 5) :

Figure 5 : Relations hydrodynamiques entre les différents aquifères de la zone d'émergence

la faille, contenant les eaux thermales ;

- l'écoulement ancien dans lequel se diffusent les eaux superficielles du versant ;

- les dolomies et carnéoules présentes le long de

- les alluvions grossières contenant les eaux de **la nappe d'accompagnement de l'Isère**.

Au niveau du forage Natacha, l'aquifère thermal dolomitique est captif sous une épaisseur de 60m d'anhydrite surmontée par les dépôts glacio-lacustres. L'écroulement ancien est captif lorsqu'il est surmonté par les dépôts glacio-lacustres imperméables et libre lorsqu'il est directement en contact avec les dépôts grossiers. Ainsi, du point de vue hydrodynamique, deux aquifères sont définis : (i) les alluvions grossières associées à la partie libre de l'écroulement (RII et RVI, figure 5) et (ii) l'aquifère thermal dolomitique associé à la partie captive de l'écroulement ancien (Natacha et RVII, figure 5). L'écroulement ancien est le siège des échanges entre les deux aquifères ainsi définis. Les circulations sont ascendantes depuis l'aquifère thermal vers l'écroulement puis la nappe alluviale.

### **3.3 Minéralisation**

Le remplissage quaternaire de l'ombilic est caractérisé par le mélange de trois faciès d'eau : l'eau thermale, les eaux superficielles du versant circulant dans la zone décomprimée et les eaux de la nappe alluviale. L'ensemble des données physico-chimiques a permis de définir la nature de ces mélanges et de confirmer la logique de la structure géologique décrite précédemment. Ainsi, l'écroulement ancien contient un mélange, capté par les forages RVI et RVII, entre les eaux thermales et les eaux superficielles du versant. A proximité de l'écroulement, les eaux des dépôts fluvio-glaciaires et fluviales récents sont constituées d'un mélange entre les eaux thermales, les eaux superficielles du versant et les eaux de la nappe alluviale, capté par le forage ancien RII ainsi que par les piézomètres. La formation du lac d'eau tiède, suite à l'effondrement de 1869, a mis en évidence ce mélange à trois pôles.

### **3.4 Modélisation thermique**

La simulation thermique en 2 dimensions décrit de manière qualitative l'évolution thermique du système, depuis sa mise en place jusqu'à sa disparition. Ce modèle simple a également mis en évidence que la mise en exploitation de la ressource thermique accélère le processus naturel de refroidissement. Cependant, seul un modèle en 3 dimensions, actuellement en cours de réalisation, permettra d'évaluer l'importance de cet impact sur le comportement thermique du système.

## **4. CONCLUSION**

Aussi bien à l'échelle globale qu'à l'échelle de la zone d'émergence, la confrontation de données géologiques, hydrodynamiques, hydrochimiques et numériques a mené à la proposition d'un modèle de fonctionnement solide et validé par l'ensemble des observations. Cette amélioration de la compréhension du système thermo-minéral de la Léchère a conduit à la prise de conscience du caractère localisé et éphémère, à l'échelle des temps géologiques, de la ressource et de proposer des consignes précises aux exploitants pour une exploitation durable.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Antoine, P., Barféty, J. C., Vivier, G., Debelmas, J., Desmons, J., Fabre, J., Loubat, H. et Vautrelle, C. (1992).** Carte géologique de Bourg-Saint-Maurice, 1/50000. *Editions du BRGM, Orléans.*
- Barféty, J. C., Blaise, J., Fourneaux, J. C. et Meloux, J. (1984).** Carte géologique de la Rochette, 1/50000. *Editions du BRGM, Orléans.*
- Corrignan, P. (1995).** Synthèse des informations majeures concernant le site de La Léchère compte-tenu des données acquises lors de la réalisation des forages Radiana VIII et IX. Stratégie de développement de la ressource. *Rapport ANTEA n°A 03219, 11p.*
- Debelmas, J., Barféty, J. C., Dabrowski, H., Desmons, J., Ellenberger, F., Goffe, B., Guillot, F., Jaillard, E., Pachoud, A., Raoult, J. F. et Vautrelle, C. (1989).** Carte géologique de Moûtiers, 1/50000. *Editions du BRGM, Orléans.*
- Doudoux, B., Barféty, J. C., Vivier, G., Carfantan, J. C., Nicoud, G. et Tardy, M. (1999).** Carte géologique d'Albertville, 1/50000. *Editions du BRGM, Orléans.*
- Eberentz, P. (1987).** Exécution des forages d'eau thermale de La Léchère : Radiana VI-Radiana VII-Forage du parc. Résultats techniques. *Rapport BRGM n°87 SGN 376 RHA, 25p.*
- Maréchal, J. C. (1998).** Les circulations d'eau dans les massifs cristallins alpins et leurs relations avec les ouvrages souterrains. *Thèse de Doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 174p.*
- Ménard, G. (1988).** *Structure et cinématique d'une chaîne de collision, les Alpes occidentales et centrales. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Grenoble, 268p.*
- Poul, X. et Iundt, F. (1985).** Ressources en eaux thermales de la station de la Léchère. *Rapport BRGM n°85 SGN 089 RHA, 90p.*
- Razack, M. et Dazy, J. (1990).** Hydrochemical characterization of groundwater mixing in sedimentary and metamorphic reservoirs with combined use of Piper's principle and factor analysis. *J. Hydrol., 114, 371-393.*
- SOGREAH (2003).** Captage Natacha : dossier de demande d'autorisation d'exploitation. *Rapport SOGREAH n°0730118 R2.*
- Tardy, M., Bertrand, J. M., Deville, E., Fudral, S., Ganne, J., Jouanne, F., Paillet, A. et Philippe, Y. (1999).** Coupe crustale des Alpes occidentales franco-italiennes -Transect île Crémieu - Torino. *Colloque Géofrance 3D, Résultats et perspectives, ENS Lyon, Document BRGM, 293, 52-63.*

# Modélisation numérique d'un site thermal (Dax, Landes)

Alain DUPUY

Institut EGID, Université Michel de Montaigne, Bordeaux 3  
1, allée Daguin, F-33607 PESSAC  
[dupuy@egid.u-bordeaux3.fr](mailto:dupuy@egid.u-bordeaux3.fr)

## 1. INTRODUCTION

Dans le sud du Bassin d'Aquitaine (France), de nombreuses émergences importantes dont le débit cumulé naturel est de l'ordre de 350 m<sup>3</sup>/h, sont situées au voisinage du fleuve Adour. Cette concentration de sources dont certaines sont qualifiées de thermales, est le résultat d'une conjonction exceptionnelle entre des phénomènes géologiques et structuraux associés à un système aquifère singulier. Au sein de ce complexe, le site thermal de Dax apparaît comme une singularité majeure tant par sa configuration structurale, sa disposition géologique ou encore ses propriétés hydrogéologiques. La compréhension du fonctionnement hydrodynamique d'une telle singularité hydrogéologique a depuis longtemps fait l'objet de nombreuses approches par la communauté des hydrogéologues. La modélisation hydrodynamique de ce système a nécessité la prise en considération du champ thermique terrestre afin de correctement restituer les phénomènes hydrogéologiques observés. Plusieurs étapes ont ainsi été nécessaires pour aboutir à un outil de quantification des flux hydrodynamique et thermique, et in fine à un modèle de gestion/protection de la zone d'émergence.

## 2. GEOLOGIE

### 2.1 Contexte géologique étendu

Le secteur Sud du bassin Aquitain fait partie de l'avant-pays plissé pyrénéen. La géodynamique de cette zone est donc intimement liée à celle de l'orogénèse pyrénéenne qui y a façonné une succession de rides et de petits bassins d'orientation sensiblement Est-Ouest. Le bassin de l'Adour correspond à une zone de transition entre le domaine pyrénéen fortement affecté par la tectonique et le domaine sédimentaire aquitain de plate-forme.

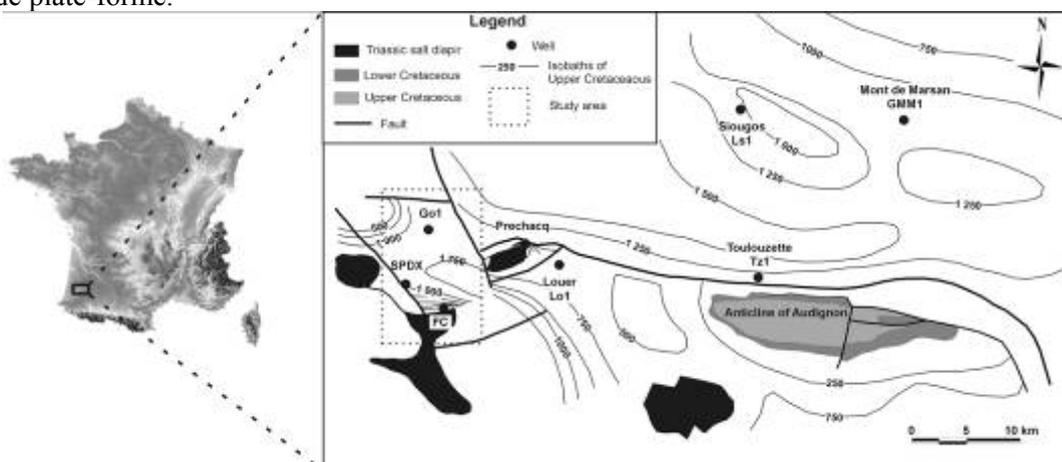


Figure 1 : Carte structurale et isobathes du Crétacé supérieur

D'après les données géophysiques, le socle se situerait vers 5000 m de profondeur dans la zone de Dax. Le Trias se présente sous forme d'une épaisse série salifère dans laquelle s'intercalent des dolomies et des

calcaires vacuolaires. L'Albien, et tout le Crétacé supérieur sont de faciès carbonatés. Ces formations sont fréquemment dolomitisées et constituent de très bons niveaux réservoir. Du Crétacé supérieur au Tertiaire, l'évolution structurale du bassin et l'avancée des chevauchements favorisent localement la migration des évaporites triasiques vers la surface par halocinèse, créant ainsi de nombreuses structures au centre du Bassin (Figure 1). Le Paléocène est essentiellement représenté par des dépôts carbonatés, parfois dolomitisés. Au cours du Tertiaire, le même cadre paléogéographique se maintient mais le talus continental se déplace d'Est en Ouest car l'avant fosse océanique est, peu à peu, comblée par des sédiments progradants.

## 2.2 Cadre structural

La région du Bas-Adour a été le siège d'une intense halocinèse. Des remontées diapiriques sont venues perturber l'architecture des terrains post-triasiques. Les masses argilo-salifères du Keuper ont commandé les principaux traits structuraux de cette zone par migration ascendante par la reprise de failles anciennes qui affectaient le socle. La structure de Dax correspond à un massif triasique diapir, partiellement oblitéré par les alluvions de l'Adour. Le dôme salifère affecterait en subsurface une zone de 4,5 km d'allongement Est-Ouest, et sur environ 3 km en Nord-Sud (Figure 1). L'ensemble des émergences hydrothermales de Dax est lié à l'existence d'une lame de dolomie, attribuée au Sénonien supérieur, redressée en position subverticale le long du flanc Nord de la structure. Le contact se fait selon une faille baptisée « faille thermique » (Figure 2). La profondeur du toit de la formation varie de l'affleurement à l'aplomb des structures antiformes du bassin du Bas-Adour (Audignon, ride Roquefort - Créon - Barbotan) jusqu'à atteindre plus de 2 000 mètres dans les zones synclinales. Son épaisseur varie aussi considérablement de 50mètres environs sur le flanc des structures triasiques (Dax, Sébastopol) à plus de 600 mètres dans les zones basses (Go1, GDX) (Figure 1). Dans la région dacquoise, les aquifères paléocène et sénonien supérieur sont séparés par une formation de marnes et de calcaires marneux dont l'épaisseur varie entre 140 mètres au Nord (Seblbis) et 204 mètres au Sud (GDX) (Alezine, 1987).

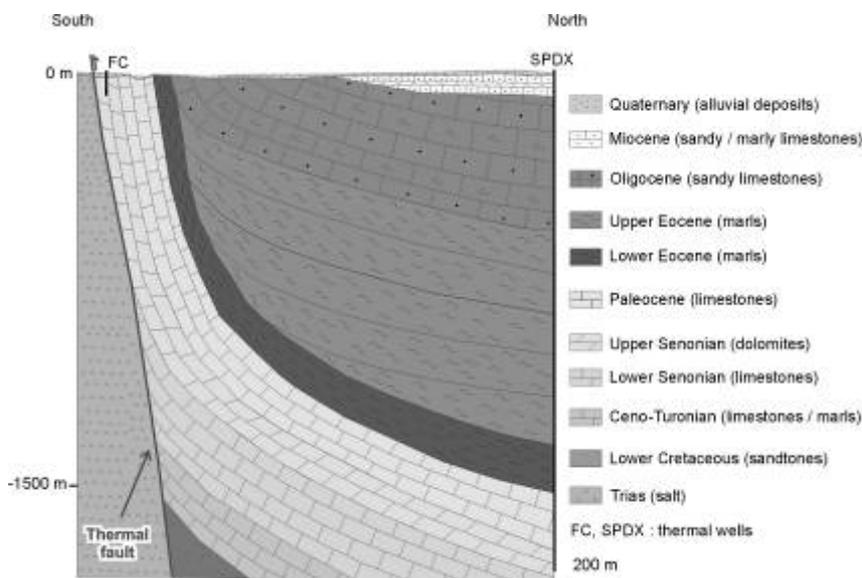


Figure 2: Coupe simplifiée du flanc nord du diapir de Dax (d'après Pouchan, 1995)

L'horizon thermal dolomitique présente d'importantes discontinuités, jusqu'à se cisailer en différentes écailles. Celle-ci se présente à l'affleurement comme une lame d'une centaine de mètres de largeur sur 1600 m de long. Elle disparaît brusquement vers l'Ouest et s'estompe progressivement vers l'Est en direction du forage du Stade où elle se trouve déjà à 500 m de profondeur environ (Figure 3).

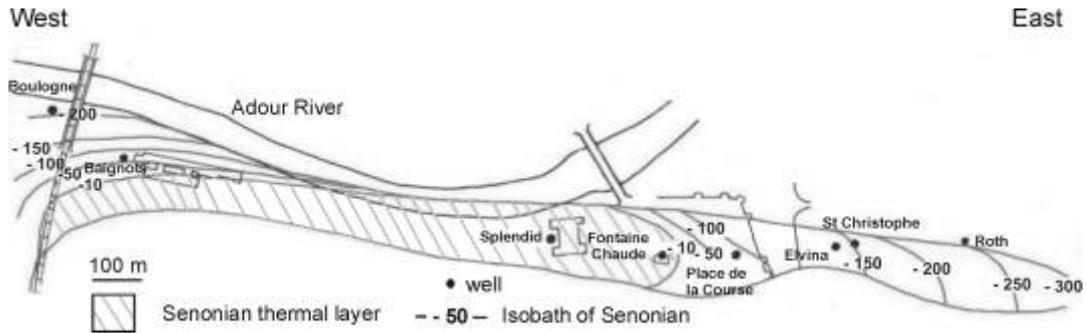


Figure 3: Carte schématique des isobathes du toit du Sénonien supérieur

### 3. HYDROGEOLOGIE

#### 3.1 Hydrodynamique

Au cours de l'évolution géologique du bassin du Bas-Adour, un système aquifère multicouche complexe, s'est mis en place. La zone d'étude est donc définie comme un aquifère multicouche qui comprend quatre principaux niveaux aquifères : les dépôts du Plio-Quaternaire, l'Oligocène à faciès carbonaté, le Paléocène et le Crétacé supérieur tous deux dolomités. Le dernier horizon correspond à l'aquifère thermal de la région dacquoise. Comme souvent dans le Bas-Adour, les flancs des structures synclinales, sont le siège de dolomitisation avancée et de fracturation intense du Paléocène et du Crétacé supérieur. Ce sont des lieux qui doivent participer de façon importante à la mise en charge de ces aquifères profonds. Ces flux inter aquifères à la faveur des fractures, des failles ou des contacts directs par lacune d'éponte sont très difficiles à quantifier y compris avec l'aide d'outil de modélisation.

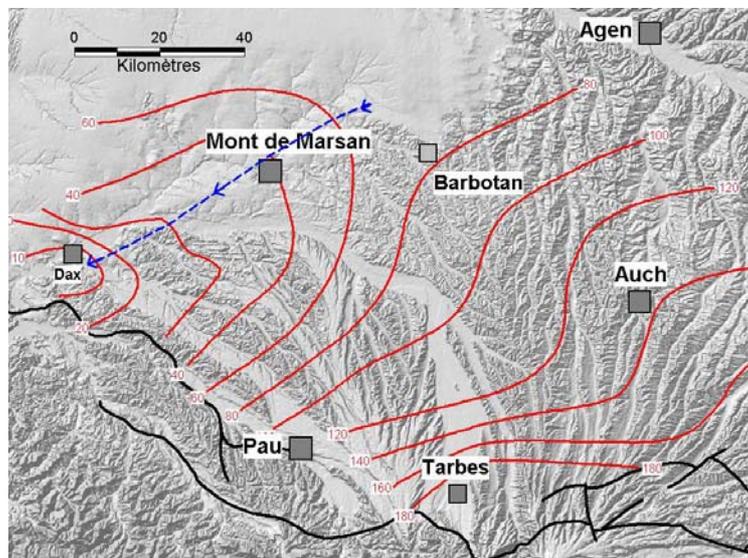


Figure 4 : Piézométrie régionale de l'aquifère du Crétacé supérieur

L'examen des cartes piézométriques régionales (Figure 4) suggère un écoulement général de l'aquifère crétacé orienté d'Est en Ouest avec une amorce d'axe de drainage sensiblement parallèle au tracé de l'Adour. En de nombreux endroits il est impossible de différencier les aquifères fractures et dolomités du Crétacé de ceux du Paléocène. Des analyses chimiques sur échantillons ont prouvé la continuité hydraulique entre les deux formations. A Dax, la lame de dolomie sénonienne est sub affleurante notamment le long du flanc Nord de la faille thermique bordière, au lieu dit Fontaine Chaude, qui constitue le point origine historique du gisement thermal dacquoise (Figure 5).

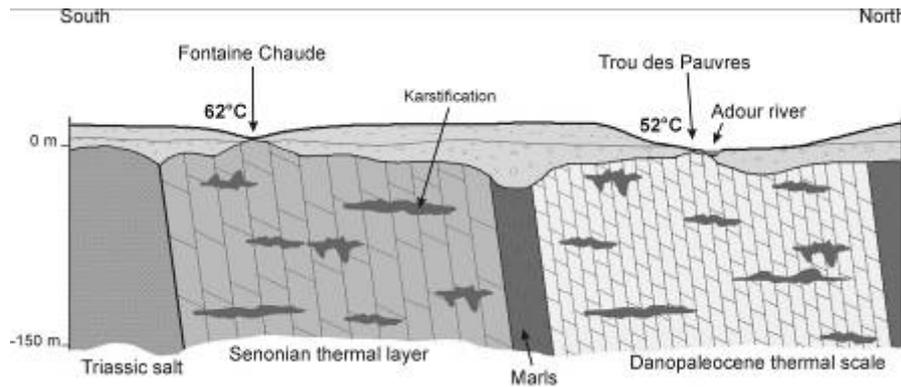


Figure 5 : Coupe schématique du pointement dolomitique originel de Fontaine Chaude (d'après Le Fanic, 2005)

Le débit global des sources thermales dacquoises est estimé à 5000 m<sup>3</sup> par jour en moyenne, d'une eau chlorurée sulfatée calcique d'environ 1 g/l de minéralisation totale et d'une température variable de 52 °C à 64 °C selon les sites (Dupouy-Camet, 1952). Une caractéristique de l'eau minérale dacquoise est la dominance de l'ion sulfate qui en fait sa spécificité tant géochimique que médicale. Cette dominance est retrouvée dans l'aquifère du Crétacé supérieur dolomitique dont il marque l'extension régionale ainsi que la continuité hydrogéologique. Ceci est observé aux forages profonds, tant pétroliers que géothermiques tels les ouvrages de Saint Paul Lès Dax (SPDX), Gourbera (Go1), Mont-de-Marsan (MM1, MM2,) etc.

### 3.2 Thermique

La structure dacquoise est caractérisée par la montée sur son flanc Nord d'eaux chaudes dont la température avoisine ou dépasse 62°C. L'émergence localement concentrée d'eau à cette température induit une importante anomalie positive dans le champ géothermique local. Le cadre géothermique régional précise que la moyenne du gradient géothermique est proche de 0,027°C/m. Il s'agit d'un gradient régional conductif. Des données thermiques et des gradients géothermiques pour la zone thermique de Dax ont été rassemblés dans le tableau 1.

Forage	Température d'émergence (°C)	Profondeur top crépines (m/sol)	Gradient géothermique (°C/m)
Boulogne	57,0	160	0,27
Baignots	52,0	34,0	1,13
Fontaine Chaude	62,0	77,0	0,63
Place de la Course	62,0	51,3	0,95
Elvina	62,0	60,0	0,81
Saint Christophe	57,0	149	0,29

Tableau 1 – Gradients géothermiques dans la zone thermique de Dax

Les températures sont les moyennes des températures d'émergence obtenues à chaque forage. Les profondeurs correspondent à celles du sommet des crépines.

Les valeurs de gradient obtenues sont ici très élevées : il s'agit de gradients convectifs. La valeur moyenne pour l'ensemble des forages thermaux est de 0,68°C/m soit plus de vingt fois le gradient géothermique moyen du Bas-Adour.

### 3.3 Effets du champ thermique sur l'hydrodynamique souterraine

La hauteur piézométrique  $H$  [L] se définit comme : 
$$H = \frac{p}{\rho^f \cdot g} + z \quad (1)$$

avec  $\rho^f$  masse volumique du fluide [ $M.L^{-3}$ ],  $g$  accélération de la pesanteur [ $L.T^{-2}$ ],  $z$  altitude du point de mesure [L] and  $p$  pression hydrostatique induite par le fluide au point de mesure [ $M.L^{-1}.T^{-2}$ ]. La masse volumique du fluide  $\rho^f$  est de plus fonction de la température  $T$  à la profondeur  $z$ , ainsi que de la concentration en éléments dissous  $C$  [ $M.L^{-3}$ ]. On peut la calculer par :

$$\rho^f = \rho_0^f \left[ 1 + \bar{\gamma} (H - H_0) + \frac{\bar{\alpha}}{(C_s - C_0)} (C - C_0) - \bar{\beta} (T - T_0) \right] \quad (2)$$

avec  $\rho_0^f$  masse volumique de référence du fluide [ $M.L^{-3}$ ],  $\bar{\gamma}$  compressibilité du fluide [ $L^{-1}$ ],  $C_s$  et  $C_0$  concentrations maximale et de référence [ $M.L^{-3}$ ],  $\bar{\alpha}$  rapport relatif de variation de masse volumique [-],  $\bar{\beta}$  coefficient d'expansion thermique du fluide [ $\Theta^{-1}$ ] et  $T_0$  température de référence [ $\Theta$ ]. L'eau thermale ayant par définition une concentration constante, l'influence de ce paramètre sur  $\rho^f$  et  $\square$  est négligeable en comparaison avec celle de la température. On aboutit ainsi à une définition de la masse volumique fonction de la hauteur piézométrique et de la température :

$$\rho^f = \rho_0^f \left[ 1 + \bar{\gamma} (H - H_0) - \bar{\beta} (T - T_0) \right] \quad (3)$$

On peut ainsi expliquer les importantes différences de niveau piézométrique observées sur deux puits thermaux voisins, l'un après une période de non pompage (puits froid), l'autre en repos entre deux périodes de pompage. Ces différences piézométriques sont dues à l'inertie de la variation de masse volumique au sein de la colonne d'eau dans le puits. La conductivité hydraulique  $K$  [ $L.T^{-1}$ ] d'un aquifère se définit par :

$$K = \frac{k \cdot \rho_0^f \cdot g}{\mu_0} \quad (4)$$

avec  $k$  perméabilité intrinsèque du matériau aquifère [ $L^2$ ] et  $\mu_0$  viscosité dynamique de référence du fluide [ $M.L^{-1}.T^{-1}$ ]. En négligeant toujours l'effet de la variation de concentration, on obtient :

$$K_{(T)} = \frac{k \cdot \rho_{(H,T)}^f \cdot g}{\mu_{(T)}} \quad (5)$$

L'effet de la température sur la viscosité dynamique du fluide  $\square$  induit donc une variation de la conductivité hydraulique  $K$  :

$$K_{(T)} = K \cdot \frac{\mu_{(T_0)}}{\mu_{(T)}} \quad (6)$$

L'hydrodynamique souterraine et la thermique sont donc intimement liées dans de tels systèmes ; les deux parties interagissant l'une sur l'autre. Afin d'appréhender ces systèmes hydrogéologiques complexes, les outils de modélisation sont utilisés pour lever étape par étape, les hypothèses et les interrogations sur le fonctionnement du système.

## 4. MODELISATIONS

### 4.1 Modèle hydrodynamique et thermique régional

Dans une première approche, le cadre régional de la zone du Bas-Adour a été appréhendé en termes d'hydrodynamique souterraine, architecture géologique et également thermique souterraine. Un modèle numérique hydrodynamique et thermique a ainsi été utilisé afin de répondre aux contraintes précédemment énoncées. Le système modélisé correspond à un aquifère monocouche (Crétacé supérieur) affecté par une géométrie locale très contrastée (prise en compte des diapirs, failles et structures), et surtout qui permet une prise en compte d'un gradient géothermique régional en relation avec les profondeurs d'enfouissement reconnues sur la zone (Dupuy, 2001). Le code de calcul utilisant un maillage en éléments finis est ainsi

utilisé pour rendre compte de la géométrie très particulière de la zone (Figure 6). Dans cette approche, l'équation de diffusivité est tout d'abord résolue sans tenir compte des contraintes thermiques. Puis le champ thermique est appliqué, les modifications sur les charges piézométriques étaient ainsi déduites permettant d'obtenir une nouvelle piézométrie « chaude ». La boucle de calcul continuait ainsi pour obtenir un régime hydraulique permanent chaud dépendant de l'architecture géologique et du gradient géothermique.

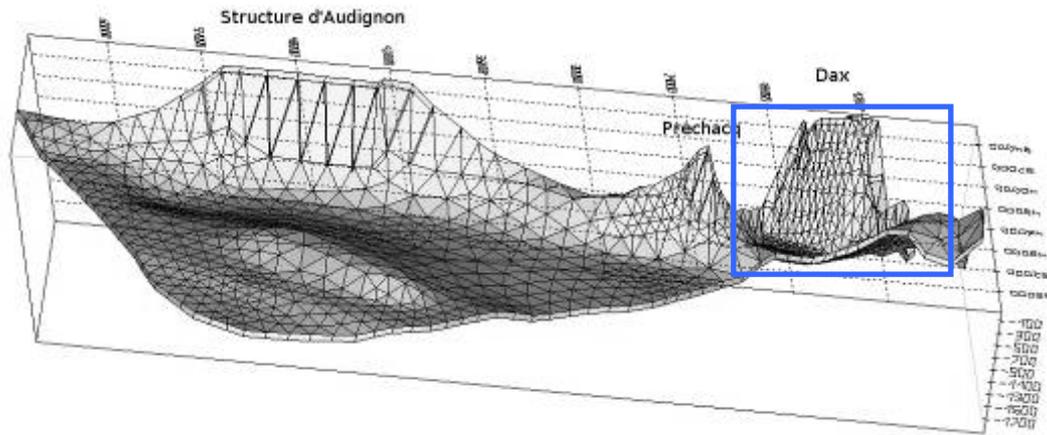


Figure 6 : Maillage du modèle régional et zonage du modèle local

Cet outil heuristique a permis notamment d'appréhender le rôle de la structure anticlinale d'Audignon à la recharge de cet aquifère ainsi que des failles associées dans la forme des écoulements régionaux. Cette méthodologie a également permis d'obtenir une première estimation du champ des températures de l'eau au sein de l'aquifère du Crétacé supérieur en tenant compte des perturbations induites par l'écoulement. Les sources thermales du Bas-Adour ont également clairement été identifiées comme des exutoires d'un aquifère « chaud ». Le fonctionnement hydrodynamique « froid » - sans tenir compte du gradient géothermique sur l'écoulement – ne permettant pas de restituer le fonctionnement naturel du système et des sources.

#### 4.2 Modèle couplé hydro-thermique local

Afin d'appréhender le fonctionnement en détail du système thermal de Dax, une approche beaucoup plus détaillée et complexe était nécessaire. Outre une géométrie particulièrement fine de la lame thermique dolomitique au voisinage immédiat de la structure, une approche hydrodynamique et thermique couplée est obligatoire pour élaborer un modèle capable de restituer le fonctionnement du système thermal en mode transitoire (charges, rabattements et températures d'émergence). Une étape préliminaire basée sur une approche en 2D vertical (Le Fanic et Dupuy, 2003) a été nécessaire avant de basculer dans un modèle purement 3D géologie-hydrodynamique-thermique. Cette étape a notamment servi de test pour le fonctionnement en régime transitoire du système avec une géométrie géologique relativement proche des modèles géologiques. Parmi les résultats importants obtenus, on notera que la déformation du champ de température à proximité du diapir est mise en évidence, et que les isothermes sont modifiées par le champ de vitesse des écoulements depuis les zones profondes en directions des points d'émergences.

Suite à cette étape, une reconstruction la plus exhaustive possible a été réalisée sur le système thermal de Dax du point de vue géométrie géologique, hydrodynamique souterraine et fonctionnement géothermique. Elle intègre le massif salifère, les principales failles, l'aquifère thermal, l'aquifère oligocène ainsi que l'éponte éocène.

Le modèle s'étend vers le Nord-Est jusqu'au forage Go1 et vers le Sud jusqu'aux forages thermaux de Dax. Les données géologiques profondes disponibles dans le secteur (Seb102, GDX) sont également intégrées. La partie Est de la structure de Sébastopol (Seb1bis) et de celle de Magescq (Mq1) font partie de la zone modélisée. Plusieurs profils sismiques réinterprétés renseignent les profondeurs des principaux horizons dans les zones synclinales profondes (Figure 7).

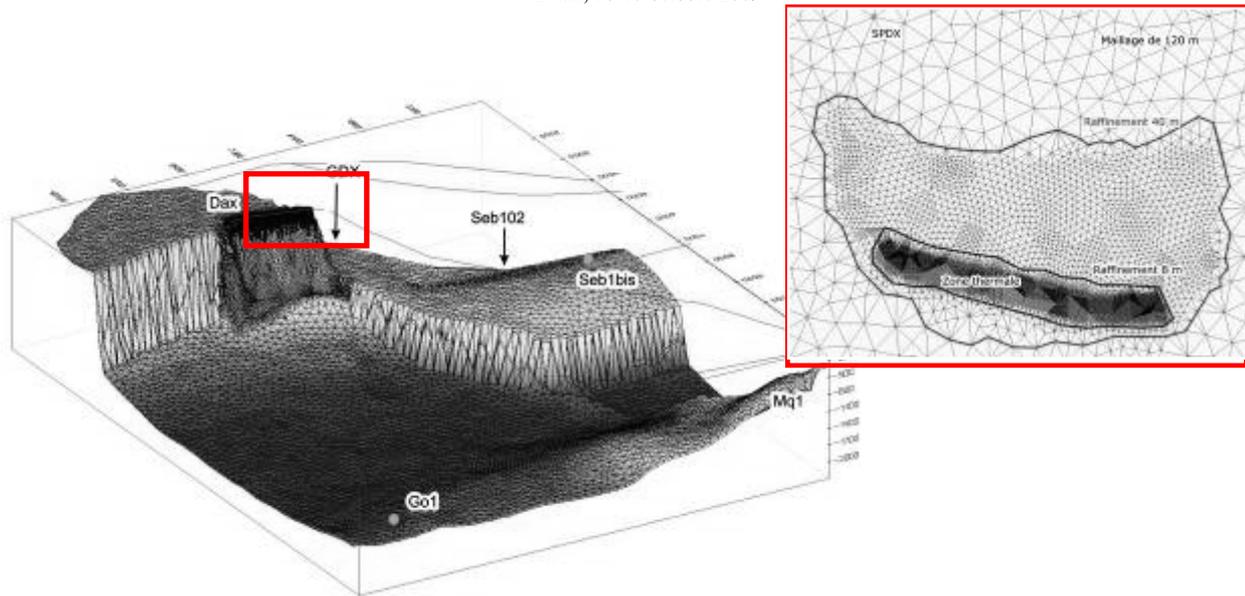


Figure 7 : Maillage du modèle local et maillage de la zone thermique de Dax

Ce modèle entièrement couplé hydrogéologique et thermique (hauteur piézométrique, masse volumique et viscosité du fluide, conductivité hydraulique ...) de la structure hydrothermale de Dax a donc permis l'étude et la compréhension de son mode de fonctionnement. Le couplage hydrodynamique / thermique permet la restitution du gradient géothermique local ainsi que les températures observées. La surimposition du champ de températures s'avère indispensable à la simulation de l'hydrodynamisme de l'aquifère thermal.

Le logiciel FEFLOW© utilisé a permis d'intégrer dans le modèle une architecture géologique complexe et contrastée (contexte tectonique d'halocinèse) par la prise en considération de l'ensemble des couches géologiques au sein du modèle (14 couches de calcul) avec leur géométrie spécifique. Le comportement fissuré/fracturé de l'aquifère thermal a également pu être restitué. Ce modèle a également fourni une approche hydrodynamique de l'aquifère oligocène ressource principale pour l'alimentation en eau potable de la région et aquifère de contrôle. Les niveaux piézométriques et les températures sont ainsi restitués en tenant compte du fonctionnement d'ensemble du système aquifère multicouche.

Cet outil 3D hydrodynamique et thermique couplé du système thermal a ensuite permis la réalisation d'un modèle de la zone thermique de Dax sensu stricto (lame dolomitique subaffleurante – Figure 3). Ceci a été obtenu par l'intermédiaire d'un ultime modèle spécifique imbriqué dans le précédent afin d'obtenir le degré de précision nécessaire (figure 7). A cette échelle de travail (maillage de 5 m environ) les conditions limites souterraines du modèle correspondent à des flux ou potentiels extraits du modèle 3D global. A cette échelle, les interférences entre puits et les interconnexions entre aquifères peuvent être simulées tant du point de vue quantitatif (charge hydraulique) que qualitatif (température).

## 5. CONCLUSION

La modélisation du site thermal de Dax a été réalisée en vue d'obtenir un outil permettant une gestion raisonnée de la ressource thermique. Cette modélisation s'est déroulée en plusieurs étapes : étapes rendues nécessaires par l'interdépendance des phénomènes hydrodynamiques et thermiques mis en jeu ainsi que par la géométrie géologique du site particulièrement complexe. Au final, l'aboutissement de la démarche de modélisation est un modèle local imbriqué au sein d'un modèle plus général. Il couvre exclusivement la zone de la lame thermique de Dax et permet de tenir compte des relations qui existent entre l'Adour et l'aquifère thermal dans la zone où la dolomie est subaffleurante.

Les phénomènes de flux inter-aquifères, sources éventuelles de venues d'eau froide et donc de pollutions diverses tant thermiques que bactériologiques ou chimiques, basés sur les gradients hydrauliques locaux sont ainsi simulés à des fins de gestion.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

---

**Alezine Th., 1987.** Influences de particularités hydrodynamiques et structurales sur la distribution des températures du sous-sol; Application à deux exemples aquitains. **Thèse, Université Michel de Montaigne, Bordeaux 3, 334 pp.**

**Dupouy-Camet J., 1952,** Recherches structurales sur les accidents triasiques du sud-ouest de l'Aquitaine, **Bulletin de la carte géologique, 233, XLIX, pp 249-531.**

**Dupuy A., 2001,** Global modeling of the behaviour of a complex geothermal system : exemple of Dax area, S-W of France - Heuristic model, in Seiler et Wohnlich, eds., **New approaches characterizing groundwater flow, vol. 2, pp 931-934.**

**Le Fanic R., 2005.** Hydrogéologie d'un système thermal et modélisation couplée hydrodynamique – thermique en vue de la gestion de la ressource : application au système de Dax-Saint Paul Lès Dax. **Thèse, Université Michel de Montaigne, Bordeaux 3, 285 pp.**

**Le Fanic R. et Dupuy A., 2003,** Essai de modélisation couplée des circulations hydrothermales dans un aquifère dolomitique au voisinage d'une structure diapir : Application au système hydrothermal de Dax - Saint-Paul-Lès-Dax, dans **10ème journée technique du Comité français de l'AIH – Circulations hydrothermales en terrains calcaires, Carcassonne.**

**Le Fanic R. et Dupuy A., 2005,** Hydrogeological modeling of a fissured and karstic thermal system adjacent to a salt diapir (Dax - Saint-Paul-L`es-Dax - France), in **European Geosciences Union, General Assembly, Vienne, Autriche, 24 - 29 Avril 2005.**

**Pouchan P., Canellas J. et Nguyen Ba C., 1991,** Aspects de l'hydrothermalisme landais, **Journal Français d'Hydrologie, 22 (1), pp 9-16.**

**Pouchan P. 1995.** L'émergence thermominérale. **La Houille Blanche (2, 3): pp 46-50**

## **Session 3**

# **Politiques de protection des eaux, Aires d'alimentation des captages**



# Le concept de Parc Naturel Hydrogéologique : Mythe ou réalité ?

Gh. de Marsily<sup>(1)</sup>

(1) Université Paris VI, UMR SISYPHE, et Académie des Sciences

## 1. Rappel des origines du concept

L'idée de créer des « Parcs Naturels Hydrogéologiques (PNH) », ayant pour but d'y protéger dans les zones « d'impluvium » les nappes souterraines afin d'en préserver la qualité, date de 1991, et a été publiée un petit nombre de fois dans des journaux ou colloques en France ou à l'étranger (voir liste en références). Elle n'a pourtant pas soulevé les foules... ! Elle a même été sévèrement critiquée dès sa parution par Margat et Collin (1991) dans un article au titre évocateur : *L'eau souterraine serait-elle « Indienne » ?* En simplifiant à l'extrême, ces deux collègues et amis disaient, à juste titre peut-être, que si l'on protégeait de façon très forte les eaux souterraines en certains lieux choisis (les PNH), alors on donnait du même coup le « droit de tuer les nappes » en les polluant sans limite ailleurs, de la même façon qu'en Amérique, les Indiens n'étaient à l'abri des tueries que dans les réserves...

L'origine de cette idée est multiple :

Peut-être d'abord le « tuyau Chirac »... Il s'agit d'un projet élaboré par Jacques Chirac, alors qu'il était Maire de Paris, qui était parti du constat suivant : Paris est alimenté en été par les Grands Lacs de Seine, ces grands barrages Seine, Marne et Aube construits dans la deuxième moitié du 20<sup>ème</sup> siècle pour à la fois protéger Paris contre les crues et soutenir les étiages de la Seine. Dans les barrages, l'eau était propre et de bonne qualité. En arrivant à Paris, elle avait été souillée par tous les rejets urbains des villes s'échelonnant le long du fleuve, et par le drainage des nappes affectées par les intrants agricoles (nitrates, pesticides). Pour Chirac, la solution était simple, on construit un tuyau qui amène directement les eaux à Paris, sans les laisser souiller en cours de route, c'était le « tuyau Chirac ». Cette idée, par certains côtés attractive, n'a plu à personne. Le principal reproche : entre les grands barrages et Paris, en étiage, le débit de la Seine serait pratiquement réduit à peu de choses, l'essentiel coulant dans le « tuyau », au grand dam des riverains et des écosystèmes... Bref, ce tuyau n'a jamais vu le jour...

L'exemple des eaux minérales. Le premier déclic a été la lutte menée par Bernard Blavoux pour protéger les eaux de Volvic, et empêcher le passage de l'autoroute Paris-Clermont sur l'impluvium des sources. Il faut dire que pour les eaux minérales, protéger l'impluvium est fondamental, dans la mesure où ces eaux ne peuvent pas, selon la réglementation, être traitées pour en extraire les polluants anthropiques. Ensuite est venu le cas de Vittel, et le premier exemple d'une action volontaire de maîtrise foncière et de l'activité anthropique pour enrayer la dégradation de la qualité des eaux par principalement les nitrates. Au même moment, Evian se préoccupait de chercher à localiser précisément l'impluvium des sources et de les protéger. Puis est venu le cas de Perrier et de l'incident du benzène, parfois attribué (à tort je crois) à une pollution anthropique.

Un questionnement sur le principe même du traitement des eaux polluées pour les rendre potables. Un bref historique très partiel nous rappelle qu'au 19<sup>ème</sup> siècle, la grande crainte était la qualité bactériologique de l'eau, et les risques de maladies associées (choléra...). On allait chercher l'eau loin, là où elle était « saine », c'est à dire non polluée par l'homme. Pour Paris, ce furent les aqueducs des sources de la Vanne dans l'Yonne et de l'Arve dans l'Eure, longs chacun de plus de 100 km. Puis vint, avec la guerre de 14, la découverte de l'effet désinfectant de l'eau de Javel, qui permettait de faire de l'eau « propre » avec de l'eau « sale » en simplement ajoutant quelques gouttes de chlore... On a alors construit partout des stations de pompages dans les rivières, proches des villes, sans trop se soucier de la qualité des eaux : on chlorait

abondamment ! Jusqu'au jour où des américains, 30 ans après, on découvert qu'en chlorant des eaux brutes, chargées en matière organique, on fabriquait des organo-chlorés, les chloramines, hautement cancérigènes... Pendant 30 ans, on avait fait boire en toute bonne foi aux gens des eaux dangereuses, sans le savoir, seulement pour s'éviter d'aller chercher un peu plus loin des eaux réellement « propres ». Le problème a maintenant été corrigé, on élimine la matière organique avant de chlorer, et on surveille de près les chloramines... Mais cette histoire donne à penser que la correction des erreurs, on la fera toujours avec un train de retard, quand on se sera aperçu qu'il y avait problème, pas avant : on ne peut *a priori* pas imaginer toutes les problèmes qu'une action anthropiques peut engendrer. Pour prendre un exemple plus actuel, on se pose aujourd'hui beaucoup de questions sur les « perturbateurs endocriniens », catégorie où l'on range de nombreuses molécules que l'on retrouve en trace dans les eaux usuelles, issues de certains médicaments, de certains plastiques ou autre produits courants. Ont-ils un effet sur la santé ? A vrai dire, personne n'en sait rien. Si un effet existe, il doit être faible, puisque les buveurs d'eau ne meurent pas comme des mouches, et semblent au contraire se porter de mieux en mieux. Mais, dans 30 ans, va-t-on accuser ces mêmes perturbateurs d'avoir été la cause de ...??? La question mérite d'être posée.

Les exemples étrangers. La Ville de Spa en Belgique est alimentée par un massif forestier bien délimité, impluvium des sources de la Ville, et aussi de celui des eaux minérales de Spa. Cette forêt est entièrement protégée, les tronçonneuses pour couper les arbres par exemple y sont interdites. La Ville de Belfast en Irlande du Nord est alimentée par une retenue superficielle, dans un bassin versant protégé, où il est interdit de se promener. Même chose pour la Ville de Perth en Australie. Les exemples abondent, où ce souci de protéger les eaux a été mis en pratique.

L'idée du PNH est assez simple : si on ne pollue pas les eaux, il n'y aura pas grand chose à en retirer, peu de traitements à leur faire subir, et pas beaucoup de craintes d'y trouver des produits indésirables ou simplement inconnus<sup>2</sup>. Notre territoire national est assez vaste, il existe des zones peu polluées, avec peu d'activité anthropique dangereuse, pourquoi ne pas leur donner un rôle privilégié de production d'eau potable, ne nécessitant qu'un traitement sommaire des eaux avant distribution ? En faisant un calcul simpliste, Margat (2006) estime la recharge totale des nappes en France à 100 km<sup>3</sup>/an ; les prélèvements d'eau domestiques en France, en 2001-2002 toutes origines confondues, étaient de 6,3 km<sup>3</sup>/an (IFEN, 2005) ; il suffirait donc d'environ 6% de la surface de la France pour l'alimenter en eaux protégées, en fait probablement beaucoup moins si l'on équipe aussi les PNH de petites retenues collinaires pour récupérer les eaux de ruissellement. C'est beaucoup, mais pas dément. Bien sûr, il ne s'agit pas de spécialiser une région unique pour alimenter toute la France, mais de trouver, auprès de chaque Ville ou agglomération, une zone protégeable adaptée. La distance de transport de l'eau pour l'amener en ville pose bien sûr deux problèmes. (i) Celui du coût, mais il me semble secondaire, car on était prêt, dans l'empire de Rome, ou dans ce lui de Napoléon III, à payer des constructions d'aqueducs dépassant la centaine de km sans rechigner. Si cela est devenu trop cher pour nous aujourd'hui, alors que la technologie du transport à distance de l'eau a fait d'immense progrès<sup>3</sup>, c'est que nos priorités sont ailleurs. (ii) Celui de la propriété foncière. Le droit d'une commune de venir prendre de l'eau sur le territoire d'une autre n'est pas établi ni facile. La construction par exemple des Grands Lacs de Seine sur le territoire des départements en amont de Paris, dans le seul objectif de protéger ou d'alimenter Paris, a pu se faire, mais reste un exercice politique difficile, auquel les élus seront peu enclins à s'engager, sauf nécessité absolue.

Reste la question posée par Margat et Collin : la construction des PNH va-t-elle engendrer la Saint Barthélemy du reste de eaux souterraines ? J'en vois le risque, mais pas la nécessité. Au contraire, la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (2000) oblige les états membres à rétablir la qualité chimique et écologique des eaux sur l'ensemble des territoires, indépendamment de leur usage ; et l'on constate que, dans les *programmes de mesure* que sont en train d'élaborer en France les DIREN et Agences de l'eau, on met en plus l'accent sur la protection des « BAC », les bassins d'alimentation des captages, qui en quelques sortes seraient des territoires privilégiés au sein de chaque Pays. N'est-ce pas un premier pas vers les PNH ???

<sup>2</sup> Rien n'étant parfait, il y aura quand même, dans un PNH, une influence des retombées atmosphériques sèches ou humides, qui peuvent contenir par mal de choses, en particulier des pesticides, des PCB, des PAH, etc. Mais en tout état de cause, les concentrations seront beaucoup plus faibles que sur les espaces où ces mêmes molécules sont épandues ou dispersées...

<sup>3</sup> Voir par exemple les projets de la petite start-up Française Via Marina, qui veut transporter l'eau douce en mer par des tuyaux souples de gros diamètres posés (et lestés) au fond de la mer, à des coûts environ cinq à dix fois moins cher que ceux d'un aqueduc à terre.

## 2. Etats des lieux aujourd'hui

Dans la présentation orale seront résumés les (rares) cas de mise en œuvre, partielle ou totale, du concept de PNH.

Le premier sera le cas de l'aquifère de la Plaine du Saulce, alimentant les champs captants de la Communauté des Communes de l'Auxerrois. Il ne s'agit pas vraiment d'un PNH, mais plutôt de la mise en place d'un programme de maîtrise de la pollution diffuse d'origine agricole, dans un territoire de grandes cultures céréalières, de vignoble, et d'arboriculture, afin de rétablir la qualité des eaux souterraines dans le champ captant, et d'éviter de devoir aller chercher ailleurs la ressource en eau, ou de devoir mettre en œuvre des traitements coûteux.

Le second concerne les travaux menés par la Ville de Lons-le-Saulnier pour protéger ses captages.

Le troisième sera le véritable PNH en cours de mise en place grâce aux efforts de notre collègue Martial Dray, sur une zone protégée très proche d'ici, le massif forestier des Moises, pour la Ville de Thonon.

Je ne parlerai pas des PNH (ou assimilés) mis en place sur les impluviums des sources d'eau minérales ou de table, d'autres le feront pendant ce colloque bien mieux que moi.

Je conclurai sur quelques exemples de sites favorables ou au contraire menacés, et sur une réflexion sur les relations entre PNH et Périmètres de Protection des captages.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- DCE (2000) La Directive Cadre Européenne sur l'eau : <http://www.ecologie.gouv.fr/La-directive-cadre-sur-l-eau.html>
- IFEN, Institut Français de l'Environnement, (2005) Les prélèvements d'eau en France et en Europe. *Les données de l'Environnement, n° 104, Orléans, 2005*
- Margat, J. (2006) Exploitation des eaux souterraines, in J.C. Roux, Ed., Aquifères et eaux souterraines en France. *Association Internationale des Hydrogéologues et BRGM, Orléans.*
- Margat, J., Collin, J.J. (1991) L'eau souterraine est-elle Indienne ? *REED, Bulletin SRETIE INFO, Recherche Etudes Environnement Développement, Ministère de l'Environnement, décembre 1991, 5-7.*
- Marsily, G. de (1991) Création de "parcs naturels hydrogéologiques". Plaidoyer. *REED, Bulletin SRETIE INFO, Recherche Etudes Environnement Développement, Ministère de l'Environnement, juin 1991, 5-7.*
- Marsily, G. de (1992) Creation of Hydrogeological Nature Reserves : a plea for the defense of Ground Water. *Guest Editorial, Ground Water, 30, 5, 658-659, sept.-oct. 92.*
- Marsily, G. de (1991) Can we still hope to preserve unpolluted groundwater resources for the next generation ? *Conférence invitée, Int. Symp. on groundwater resources, Perth, Australie, octobre 1991.*
- Marsily, G. de (1992) Des Parcs Naturels Hydrogéologiques ? *Les Enjeux de l'Europe, no. printemps 92, numéro spécial "L'eau en Europe", 78-83.*
- Marsily, G. de (1993) Is it safe to drink the Water ? *European Geophysical Society, XVIII General Assembly, Wiesbaden, May 3-7, 1993, résumé.*
- Marsily, G. de (1995) La protection des eaux minérales et des eaux de source : des zones de protection renforcées. *La Houille Blanche, no 2/3-1995, 77-80.*
- Marsily, G. de (1997) Préservation de la qualité des eaux souterraines dans le cadre régional. *Colloque AIH "La protection Régionale des Eaux Souterraines, Paris, Novembre 1997.*

- Marsily, G. de (1998)** Water for the Next Millennium : where from, how much, how safe ? *The 17<sup>th</sup> Kisiel Lecture, The University of Arizona, Tucson (conférence invitée)*.
- Marsily, G. de (1998)** Les Parcs Naturels Hydrogéologiques : Mythes ou réalités ? *Colloque "Eau 50", Nancy, Octobre 98*.
- Marsily, G. de (1998)** Introduction au débat sur la protection régionale des eaux souterraines. Des périmètres de protection aux « Parcs Naturels Hydrogéologiques » *Hydrogéologie, n°4, 7-9*.
- Marsily, G. de (1999)** L'Etat veut-il tuer les eaux minérales ? Libre opinion, *Le Monde, 22 Juillet 1999*.
- Marsily, G. de (1999)** La protection des eaux souterraines. *Hydrogéologie, Septembre 1999*.
- Marsily, G. de (2000)** La protection des eaux souterraines : Les Parcs Naturels Hydrogéologiques. *Colloque International « L'eau de la cellule au paysage, E NS St Cloud, 24-26 Mai 2000*.
- Marsily, G. de (2000)** Protection de la qualité des eaux souterraines : Des périmètres de protection aux « Parcs Naturels Hydrogéologiques ». *Revue des Ingénieurs, Juin 2000*.
- Marsily, G. de (2000)** Les eaux cachées : nappes souterraines et eaux minérales. *Revue des Deux Mondes, Septembre 2000*.

# **Nestlé Waters France : Politique de protection des ressources en eau**

**Olivier Vidal<sup>1</sup>, Philippe Pierre<sup>2</sup>**

1 – Nestlé Waters Services – Zone aéroport de Garons – 30128 Garons - France

2 – Agrivair – La Ferme de Grésil – 88000 Valleroy le Sec - France

Si l'eau est la matière principale de Nestlé Waters, elle est aussi une ressource vitale pour toutes les communautés au sein desquelles les sites d'embouteillage de Nestlé Waters sont implantés. C'est pour ces deux raisons indissociables que l'entreprise s'engage à la préserver et la protéger durablement. On distingue traditionnellement trois niveaux de protection des ressources :

## **1. LA PROTECTION NATURELLE ET TECHNIQUE**

Une eau minérale naturelle est par définition une eau souterraine disposant d'une très efficace protection naturelle liée aux conditions géologiques spécifiques des différents gîtes hydrominéraux, à savoir long temps de parcours souterrain, quelquefois à grande profondeur, terrains très peu perméables, filtrants, etc.

La bonne connaissance de la géologie et de l'hydrogéologie de nos sites permet d'évaluer finement leur protection naturelle et par là même de définir et cibler les actions de protection.

Partout dans le monde notre société fait toujours appel à des experts, en interne ou en externe, pour ses captages, qui sont réalisés dans les règles de l'art selon des normes développées par le Groupe Nestlé Waters.

Ainsi, les captages d'eaux minérales sont de plus en plus des forages qui permettent, lorsqu'ils sont réalisés dans les règles de l'art, de s'affranchir des possibles pollutions de surface dans la zone d'émergence. Cet aspect très technique est d'une importance capitale car un captage mal réalisé peut mettre en relation plusieurs aquifères entre eux ou même représenter un lien direct entre la surface et la profondeur. L'importance de ce sujet vis à vis de la protection des eaux souterraines tant en terme de qualité que de quantité fait que plusieurs experts de Nestlé Waters ont récemment collaboré à l'élaboration de la Norme AFNOR NF X10-999 concernant la réalisation, le suivi et l'abandon d'ouvrage de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forage ainsi qu'à l'élaboration du fascicule de documentation FD X10-990 concernant plus spécifiquement les captages d'eau minérale et d'eau de source.

Par ailleurs, tous nos captages sont protégés par une dalle béton de plusieurs m<sup>2</sup> sur laquelle est édifié un abri sécurisé.

## **2. LA PROTECTION REGLEMENTAIRE**

Au plan européen, la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) fixe un cadre minimal applicable à tous les états membres.

En France, la gestion de l'eau est encadrée de façon encore plus rigoureuse par les pouvoirs publics<sup>4</sup>. L'exploitation des sources est soumise à une réglementation très stricte, subordonnée à des autorisations et au respect de nombreuses obligations.

Concernant la protection des sources, les règlements en vigueur stipulent que tous les captages d'eau minérale naturelle doivent comporter un périmètre sanitaire d'émergence (PSE), surface clôturée ou close autour du captage destinée à en assurer la protection sanitaire et la sécurité et dont l'exploitant doit être

---

<sup>4</sup> Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt, Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales, Directions Régionales de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement

propriétaire ou bénéficiaire d'une servitude qui, juridiquement, lui permet d'assurer cette protection. À l'intérieur de ce périmètre, uniquement accessible aux personnes dûment autorisées, tous travaux autres que ceux destinés à son entretien ou à celui de la source sont strictement interdits (figure 1).



*Figure 1. Une émergence Hépar protégée par un abri sécurisé et le PSE clôturé*

De plus, l'exploitant de la source peut instaurer un périmètre de protection (PP) lié à une déclaration d'intérêt public (DIP) délivrée par les autorités compétentes<sup>5</sup>. Ce périmètre de protection vise à interdire ou réglementer toutes activités, dépôts, forages ou installations de nature à nuire, directement ou indirectement, à la qualité de l'eau.

Notons enfin la protection indirecte et complémentaire de l'impluvium de nos sources par l'intermédiaire des périmètres de protection des captages d'alimentation en eau potable (AEP) qui bénéficient d'une déclaration d'utilité publique (DUP).

### **3. LA PROTECTION PARTENARIALE EN FAISANT INTERVENIR LES ACTEURS LOCAUX**

Au-delà de ces protections, les exploitants peuvent se donner pour objectif de favoriser la création ou le développement de structures ayant pour vocation la définition et l'aide au financement d'aménagements et de pratiques jugées utiles à une meilleure protection de la ressource en eau.

Les axes d'actions de ces structures, dont les partenaires peuvent être agriculteurs, industriels, collectivités locales ou encore résidents, concernent d'une manière générale :

- l'amélioration de la protection de l'environnement
- le développement d'une agriculture respectueuse de l'environnement.

Chacune des sources exploitées par Nestlé Waters demande une protection spécifique adaptée à sa problématique régionale ; un exemple de ce type de politique mené en France dans les Vosges par Nestlé Waters France est présenté.

#### **Protection des ressources en eau et développement local : l'exemple d'Agrivair, filiale de Nestlé Waters France**

Dans le cadre d'une démarche de valeur partagée, Nestlé Waters France a initié et développé dans les Vosges, et en précurseur, le programme Agrivair destiné à concilier pérennité des ressources et développement local durable (figure 2).

<sup>5</sup> Conseil d'Etat, Ministère de la Santé



*Figure 2. Localisation d'Agrivair*

Au cours des années 80, le territoire autour des sources Vittel, Contrex et Hépar comportait de nombreuses exploitations agricoles qui étaient en phase de développement intensif, augmentation des surfaces, de la productivité du lait, de la viande et des céréales. De nouvelles pratiques agricoles risquaient d'altérer les ressources en eau du territoire. Nestlé a lancé une démarche préventive afin de proposer des alternatives à ces nouvelles pratiques tout en garantissant le revenu des acteurs locaux ainsi que le maintien du nombre d'actif. Le développement du tourisme thermal, avec la création de golfs et d'un hippodrome constituait une menace supplémentaire. Menace à laquelle s'ajoutaient de nombreux autres risques, tels que l'éventualité de fuite des citernes de fioul domestique des particuliers, les accidents sur les routes nationales susceptibles de répandre du carburant, jusqu'au désherbage de plusieurs centaines d'hectares d'espaces verts et des voies de chemin de fer réalisé avec des herbicides. La nécessité de protéger ses sources contre le déploiement des activités humaines devint donc une priorité pour Nestlé Waters France.

Un partenariat fut noué avec l'INRA et des équipes pluridisciplinaires, impliquant historiens, sociologues, économistes, agronomes et zootechniciens, qui effectuèrent toutes sortes de recherches et d'études sur la zone concernée. En 1992, une filiale de Nestlé Waters France, nommée Agrivair, fut créée afin de mettre en pratique avec les acteurs locaux leurs préconisations dans le but de protéger durablement l'aire d'alimentation des sources, à savoir :

1. Supprimer la culture du maïs
2. Composter les déjections animales
3. Maximum d'une unité de gros bétail (1 UGB) par hectare
4. Zéro produit phytosanitaire
5. Mettre en place une rotation à base de luzerne
6. Equilibrer la ration des animaux
7. Mettre aux normes les bâtiments de l'exploitation

L'originalité d'Agrivair a consisté à lever les freins au changement, en collaboration avec les parties prenantes, en conseillant, proposant, convainquant, sans jamais imposer l'impossible. D'importants moyens financiers furent consacrés à l'opération pour acheter des parcelles, les mettre gratuitement à la disposition des agriculteurs<sup>6</sup> et financer la conversion à l'agriculture raisonnée « zéro pesticide » où les engrais à base d'azote minéral, en dosage limité de façon à ce qu'il n'y ait pas de diffusion

<sup>6</sup> Agrivair a démontré qu'en se portant acquéreur de 50% du foncier sur du très long terme, on levait les principaux freins au changement qui se situent au niveau de l'endettement des exploitations et de l'image sociale des agriculteurs participants.

dans l'aquifère, sont autorisés ; sans cet adjuvant, il n'aurait pas été possible de continuer une agriculture « intensive » et il aurait fallu opérer des transformations plus importantes, ce qu'Agrivair ne voulait pas imposer à ses partenaires agriculteurs.

A présent, on protège la biodiversité et on cultive des plantes qui piègent les nitrates, comme bien évidemment la luzerne<sup>7</sup>, mais aussi le chanvre. On remet à l'honneur des recettes anciennes et on invente de nouveaux procédés. Par exemple les grands-ducs empêchent la prolifération de mulots, les coccinelles exterminent les pucerons, sur les greens le sur-semis étouffe les mauvaises herbes. Le désherbage des voies ferrées de la SNCF, de même que celui des voiries municipales, est aujourd'hui effectué avec une machine thermique aux infrarouges, sans aucun produit chimique (figure 3).



*Figure 3. Désherbage thermique*

La collecte des déchets verts permet la fabrication de compost, un fertilisant naturel. Les opérations de compostage s'effectuent également sur l'exploitation.

L'ensemble de ces mesures a permis une réduction drastique du taux de nitrates dans les ruisseaux et les sourcettes de l'impluvium.

Agrivair s'adresse aussi aux particuliers, en partenariat avec GDF et les collectivités locales, en remplaçant gratuitement les citernes de fioul par des installations de chauffage au gaz sans risque pour l'environnement. Il a suffi de quelques années pour inverser la tendance. La région est devenue une « zone à haute vertu environnementale ». On a même assisté au retour des abeilles sauvages, un indicateur très sûr de la qualité environnementale.

Aujourd'hui, ce sont au total près de 10 000 hectares sur 11 communes qui sont protégés par l'action d'Agrivair et de ses partenaires locaux, soit 95% de l'impluvium de Vittel et 90% de l'impluvium de Contrex (figure 4).

---

<sup>7</sup>La réintroduction de la luzerne en tête de rotation des sols, à la place du maïs, outre qu'elle permet une agriculture « verte », fournit suffisamment de nourriture pour un cheptel. La luzerne est ainsi une véritable source de protéines (allant jusqu'au 55%), de calcium et de vitamine A (carotène). Les excroissances situées sur ses racines servent à fixer l'azote de l'air et « à piéger les nitrates ».

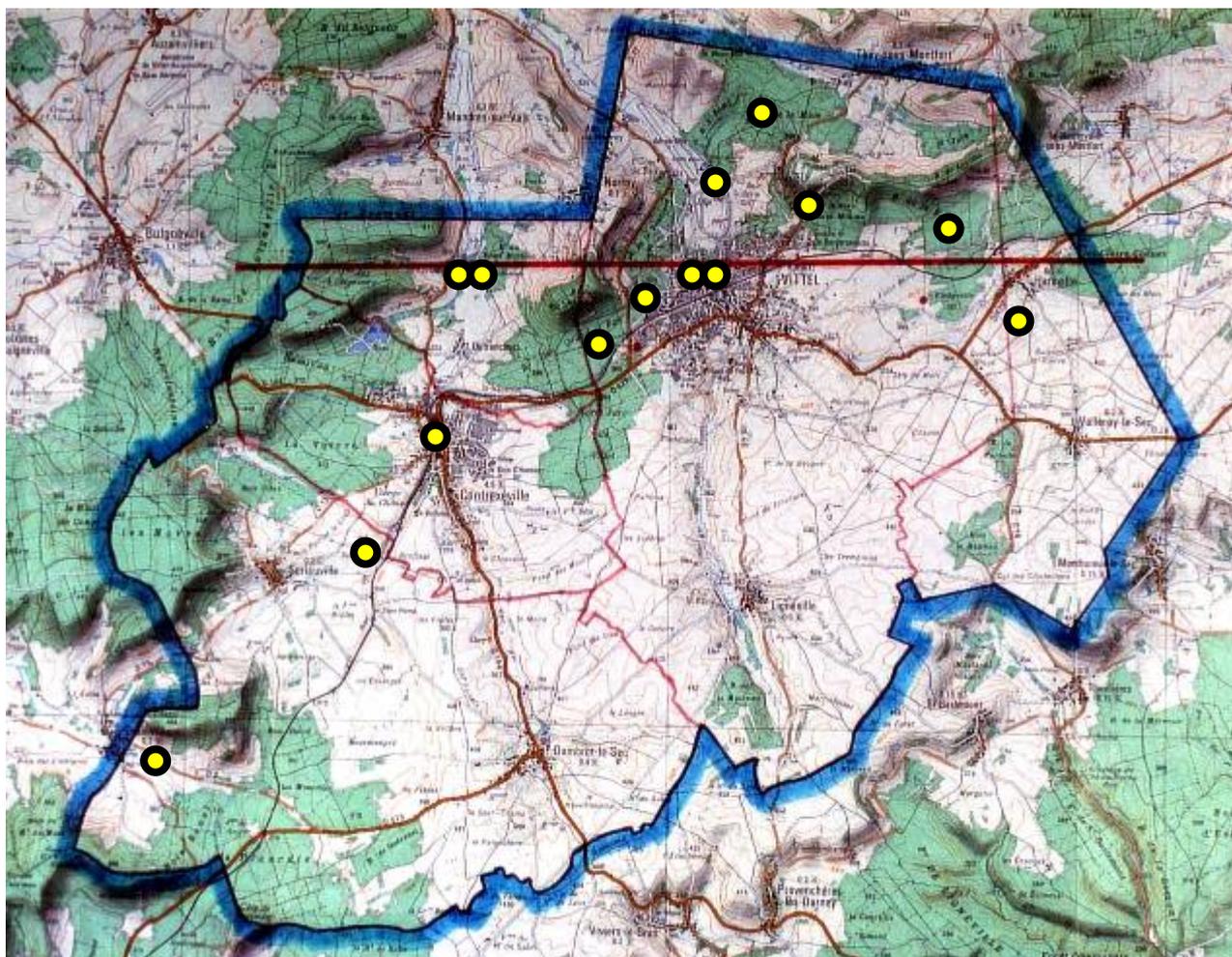


Figure 4. Périmètre d'intervention d'Agrivair (près de 10 000 hectares)

Cet original pacte écologique entre industrie et agriculture est indéniablement un succès désormais cité en modèle dans les réflexions sur la rétribution des services environnementaux. Ce qui a rendu possible cette transformation généralisée des pratiques, c'est le fait que tout le monde y trouve son compte. Les agriculteurs ont pu maintenir leurs revenus grâce au soutien financier d'Agrivair et aux économies réalisées par la suppression des produits phytosanitaires. Contrairement à ce qu'ont connu d'autres régions de France, le nombre d'exploitations agricoles est demeuré stable. Grâce à une approche collégiale, les collectivités locales, les particuliers, la SNCF, mais aussi les horticulteurs, les paysagistes, les gestionnaires d'espace verts ont tous accepté de jouer le jeu pour le bien-être commun. De son côté, Nestlé Waters France a investi des sommes importantes<sup>8</sup> et mis en place un véritable service d'assistance technique gratuit<sup>9</sup> pouvant ainsi anticiper tout risque d'altération de la qualité et de la pureté originelle des eaux minérales naturelle Vittel, Contrex et Hépar.

<sup>8</sup> Aide au maintien du revenu agricole, mise aux normes et achats de nouveaux équipements, acquisition/rachat de terres et d'exploitations.

<sup>9</sup> Conseil agronomique (alimentation du bétail, rotation des cultures, plan annuel de fertilisation, ect), accompagnement sur des problématiques de développement/aménagement (mis aux normes, séchage en grange), service de compostage et d'épandage

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Danièle Perrot-Maître (2006).** « The Vittel payments for ecosystem services: a “perfect” PES case? ». *International Institute for Environment and Development, London, UK : 24 pages.*

**Fascicule de documentation FD X10-990 (2007).** « Forage d'eau et de géothermie – Réalisation, suivi et abandon d'ouvrage de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages – Captage d'eau minérale ou d'eau de source ». *AFNOR : 7 pages.*

**INRA (1997).** *Les Dossiers de l'Environnement de l'INRA, n° 14.*

**Lefeuvre J.C. (2009) :** « L'eau douce en France : histoire d'un long combat ». *Milan Terre Sauvage.*

**Nestlé Waters (2007).** « Agrivair: presentation of a water conservation programme ». *Geneva Environment Network, Switzerland.*

**Nestlé Waters Supply Est (2006).** « Protection des ressources en eau des gîtes hydrominéraux de Contrexéville et Vittel ». *Géologues n° 149 : 5 pages.*

**Norme NF X10-999 (2007).** « Forage d'eau et de géothermie – Réalisation, suivi et abandon d'ouvrage de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages ». *AFNOR : 55 pages.*

# Evian : modèle de protection des ressources en eau du Groupe Danone

Jean-Jacques BELEY <sup>(1)</sup>, Cathy LE HEC <sup>(2)</sup>

(1) Danone Research - Plate-forme Ressources et Procédés Eaux  
BP 87 - Place de la Gare - 74503 Evian cedex <mailto:jean-jacques.beley@danone.com>

(2) Evian – Volvic Sources – Service Environnement et Ressources en Eau  
BP 87 – 11 Av. Général Dupas – 74503 Evian Cedex

## 1. ORIGINE DU MODELE : LE SITE D'EVIAN.

La politique de protection des ressources en eau du Groupe Danone a pris vraiment naissance à Evian où la Société des Eaux Minérales d'Evian (SAEME) exploite la source Cachat.

Antérieurement, la première protection de la source d'eau minérale remonte à 1926 avec la fixation d'un périmètre de protection associé à la déclaration d'intérêt public (DIP). Ce périmètre, étendu en 1964, vise alors à protéger la partie terminale du système, la zone des émergences d'eau minérale, en particulier contre tout risque de dégradation de la couverture morainique, d'épaisseur décamétrique et tout risque de prélèvement adverse.

### 1.1 Connaissance du site

Le Pr Blavoux identifie dès 1965 le modèle de fonctionnement du système au sein des structures quaternaires juxtaglaciaires, avec une zone d'alimentation sur le plateau de Gavot, ici appelée l'impluvium, et une zone de transit sous couvert morainique jusqu'à Evian (Blavoux, 1965) (figure 1). Cette connaissance du système est une donnée d'entrée majeure pour définir la protection nécessaire, elle est affirmée dès les débuts des réflexions et son étude se poursuit en permanence (Nicoud, 2009).

Sur la partie inférieure, qui bénéficie déjà d'une protection naturelle de plusieurs dizaines de mètres de moraine de fond, la protection nécessaire consiste surtout à prévenir la perforation de cette couche. Le périmètre de protection de la DIP assure réglementairement cette fonction. Il est en cours d'extension sur toute la zone de transit.

Sur l'impluvium en revanche, s'infiltré l'eau météorique qui va transiter pendant des dizaines d'années dans le système, s'y purifier et s'y minéraliser. Des études menées par l'INRA de Thonon sur la pédologie (non publié) et l'Université de Lausanne en géophysique (non publié) montrent que la zone de recharge n'est pas localisée mais irrégulièrement distribuée en mosaïque diffuse. Les risques s'expriment à grande échelle et à long terme : modifications quantitative du régime des eaux d'une part et qualitatives d'autre part (modifications des intrants). Or ce territoire est occupé depuis des siècles par une agriculture traditionnelle sans qu'aucune perturbation ne soit notée aux émergences. Mais une analyse de la structure de cette société à base agricole, menée par l'INRA, met alors en évidence une tendance à l'intensification et à l'urbanisation. Les zones de forêts, prés et zones humides dominent toutefois encore largement le paysage (Figure 2).



Figure 1 – Localisation des zones d'alimentation et de transit du système d'Evian

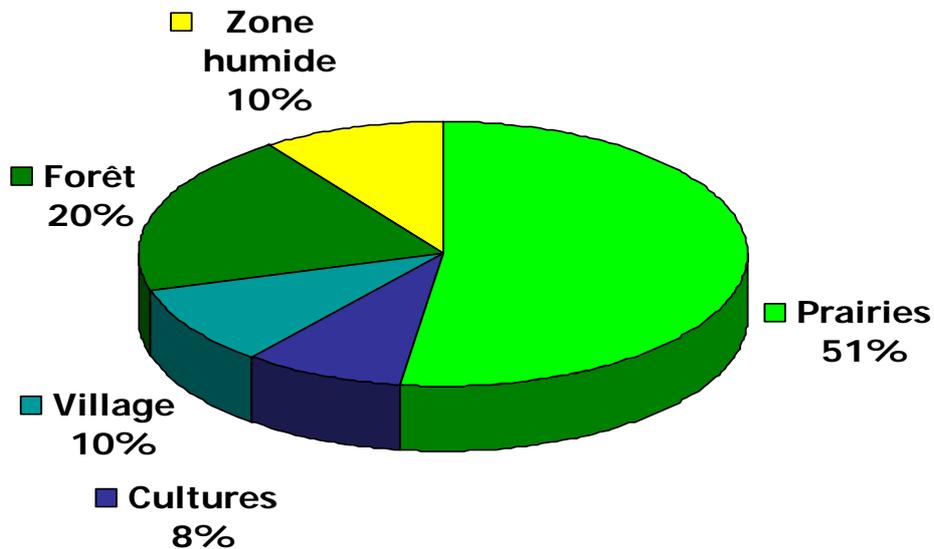


Figure 2 - Répartition des modes d'occupation des sols sur l'impluvium d'Evian (d'après INRA).

Après la connaissance de l'hydrogéologie, la connaissance de l'environnement naturel et humain est une autre donnée d'entrée incontournable. Devant la taille de la zone considérée (environ 90 km<sup>2</sup>) et la complexité des actions à mener, une autre stratégie doit être développée.

## 1.2 Protection de l'impluvium

C'est une approche partenariale qui est retenue. Le principe est de :

- associer les communes d'émergences aux communes de l'impluvium dans une démarche commune avec la SAEME pour créer un organe de concertation et de subvention d'actions de protection ;
- promouvoir un schéma de développement local qui pérennise les ressources en eau en qualité et capacité.

L'organe de concertation est fondé en 1992, après une longue période de négociations avec les communes. Il est baptisé Association de Protection de l'Impluvium des Eaux Minérales d'Evian (APIEME). Outre la SAEME, cette structure intègre les quatre communes possédant des émergences, les communes du plateau et, plus récemment, d'autres communes riveraines, toutes ces communes représentées par leurs maires, et l'administration, représentée par le sous-préfet, ainsi que le conseiller général du canton d'Evian (Figure 3).

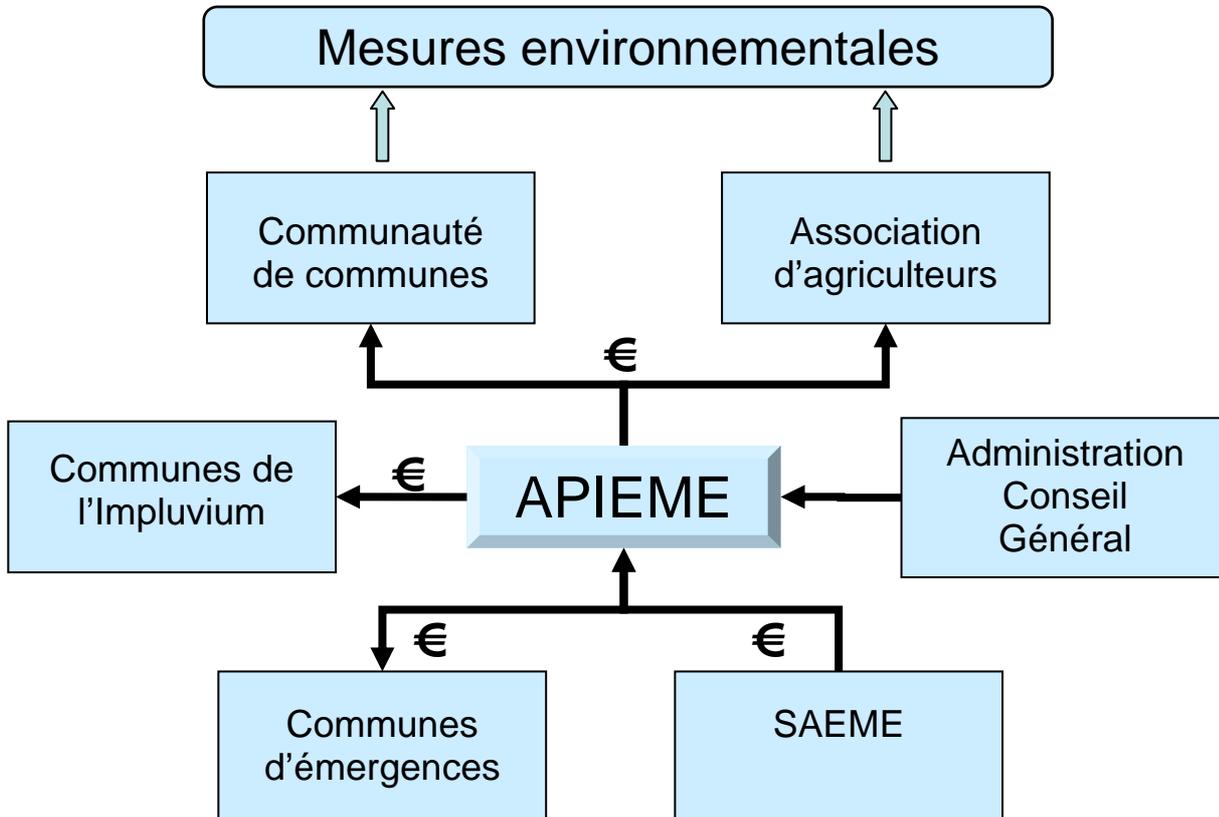


Figure 3 – Schéma de fonctionnement de l'APIEME

L'APIEME a donc pour rôle de :

- collecter des fonds de la part de la SAEME et des communes d'émergences qui perçoivent des taxes sur les eaux minérales,
- débattre des actions à mener et prioriser les attributions de subventions.

L'association n'a pas vocation de maître d'ouvrage mais joue le rôle d'un fonds qui permet d'accélérer des travaux, de lancer des études ou d'élargir le champ de mesures partiellement subventionnées.

Ces actions s'exercent principalement dans trois domaines :

### 1.2.1 Aménagement du territoire et collectivités :

Ces mesures couvrent principalement les risques associés à la population résidente sur le plateau, quelques actions majeures à titre d'exemple :

La protection de la ressource est prise en compte dans les Plans Locaux d'Urbanisme (PLU) et Schémas de COhérence Territoriale (SCOT). Les communes maîtrisent leur urbanisation en favorisant les centres et hameaux et en évitant le mitage, et partagent intelligemment leurs infrastructures (collège du Gavot, syndicat intercommunal).

L'extension du réseau d'assainissement est accélérée et une nouvelle station de traitement des eaux usées est créée.

Une prime est distribuée aux particuliers, par l'intermédiaire des communes, pour remplacer les anciennes cuves de fuel domestique par des cuves double enveloppe placées en surface et inerte les anciennes. Le réseau de gaz de ville est étendu.

Un ancien incinérateur est supprimé et le terrain réhabilité, une déchetterie est créée avec entre autres une récupération des huiles usagées. Un projet de compostage des déchets verts est en cours.

Des opérations de sensibilisation sont menées auprès des jardiniers amateurs pour réduire ou supprimer l'usage des pesticides.

Pour l'entretien des voiries, les talus sont fauchés mécaniquement et l'usage de sels de déverglaçage est limité.

### 1.2.2 Agriculture

Comme il l'a été mentionné plus haut, l'agriculture d'élevage traditionnel a toujours existé sur le plateau, sans inconvénient pour la ressource ; elle peut même être considérée comme un avantage car elle constitue une garantie de bon état du territoire. La stratégie est donc de promouvoir le maintien de cette agriculture en lui permettant d'être rentable ; elle s'inscrit donc en profondeur dans le développement local. La filière fromagère (AOC Reblochon, Abondance, Tomme de Savoie) est à la base une des plus favorables de la filière lait, mais la nécessité de passer aux normes européennes requiert une rénovation des ateliers de transformation (les fruitières) dont l'investissement n'est pas toujours à la portée des agriculteurs. Les subventions apportées par l'APIEME permettent de maintenir cette filière grâce à la création de nouveaux ateliers aux normes d'hygiène et à la mise aux normes environnementales des bâtiments d'élevage (extension et étanchéification des aires de stockage des fumiers, récupération du purin). En échange, l'accord avec la profession instaure un cahier des charges de bonnes pratiques agricoles. Les contraintes des AOC complètent le dispositif en limitant encore l'intensification des pratiques en faveur de la qualité du lait. Globalement, une réduction des intrants est ainsi organisée ; elle passe par une meilleure gestion des fumures grâce à la création de stockages (cf. ci-dessus) et à l'achat de matériel d'épandage, et par une analyse des reliquats azotés en fin de cycle végétatif, ce qui permet le cas échéant de réduire les apports d'azote d'origine minérale. Un projet de compostage réparti sur plusieurs stations permettra de limiter les nuisances liées aux épandages, d'optimiser les apports d'azote aux prairies, tout en favorisant l'appétence du bétail et en réduisant la charge de travail des agriculteurs ; il associera les déchets verts cités plus haut. Un projet d'optimisation des effluents d'élevages est en cours d'élaboration. Celui-ci repose sur la mise en place de 2 unités de méthanisation associés à une filière collective d'épandage. Le projet de génération de biogaz vise à produire de l'énergie verte destinée à la collectivité (collège de Gavot) tout en optimisant la valorisation des effluents organiques et en réduisant la consommation de carbone fossile.

Pour l'entretien des prairies un système de piégeage des campagnols souterrains (rats taupiers) a été financé pour limiter leurs pullulations sans avoir recours aux rotendicides (bromadiolone).

Ces mesures sont prises en concertation avec la profession au travers de la Chambre d'Agriculture et d'un syndicat local et souvent définies après des études financées par l'APIEME.

### 1.2.3 Patrimoine naturel

Une des caractéristiques du plateau de Gavot est l'existence de nombreuses zones humides originales : « lacs », tourbières ou marais alcalins, liés à des dépressions formées par le dernier retrait glaciaire. Elles représentent 10% de la surface du plateau mais concentrent une forte proportion des eaux de surface pour lesquelles elles jouent un vrai rôle de tampon. Leur importance sur le plan du patrimoine naturel n'a été reconnue que dans les années 1980 avec la création d'arrêtés de biotope. L'APIEME a d'abord financé les études destinées à l'inventaire faunistique et floristique et à proposer un plan de gestion. Puis l'association a fortement subventionné un poste de technicien en charge d'assurer l'entretien de ces zones humides et d'en faire connaître leur valeur. Des aménagements pédagogiques ont ainsi été réalisés, notamment à proximité immédiate du collège de Gavot, de même que des opérations de sensibilisation auprès des écoles et du public.

Depuis un an, cette mosaïque de zones humides a même été labélisée zone RAMSAR, bénéficiant ainsi de la reconnaissance de l'état français et de cette convention internationale pour la protection des zones humides.

La sauvegarde de ce patrimoine naturel associé à la création de parcours pédestres, de vélo tout-terrain et de ski de fond, au maintien d'une agriculture vivante, permet de jouer la carte du tourisme vert et de combiner

protection du milieu, sensibilisation du public (et en premier lieu de la population du plateau) et développement local, notamment touristique ; il s'insère bien entre celui des stations de bord de lac et celles de montagne.

#### **1.2.4 Observatoire**

Afin de pouvoir évaluer les résultats de cette politique de protection un observatoire a été créé (Le Hec, 2001). Il prend en compte d'une part des paramètres physico-chimiques contrôlés sur un réseau de surveillance (eaux de surface, piézomètres, sols) et d'autre part des données relatives à l'évolution des pratiques agricoles, de l'occupation des sols, de l'urbanisation et des activités humaines diverses. Ces paramètres sont consolidés sous forme d'indicateurs qui définissent un tableau de bord. Celui-ci est utilisé par l'APIEME pour évaluer l'efficacité de son action et l'orienter pour l'avenir.

#### **1.3 Déploiement**

Cette action partenariale joue un rôle bien plus puissant qu'une protection réglementaire, car elle vise à inciter les acteurs locaux à agir en commun dans le même sens en faveur d'un meilleur environnement. Celui-ci valorise non seulement la ressource en eau mais également l'agriculture, le cadre de vie et le patrimoine naturel. C'est un vrai projet commun de société.

Ce modèle est également déployé sur Volvic avec des adaptations au contexte local. L'association, qui s'intitule Comité Environnement pour la Protection de l'Impluvium de Volvic (CEPIV), a déjà contribué à la réalisation de diagnostics (agricoles, environnementaux, en termes d'assainissement), à l'identification d'écosystèmes remarquables, qui font d'ores et déjà l'objet d'actions de mise en valeur, de protection et de réhabilitation, et à la mise en œuvre de plans d'action dans différents domaines (assainissement des hameaux, entretien de la voie ferrée, agriculture, etc.).

Des politiques similaires, bien que moins avancées, sont en cours d'implémentation sur les sites d'eaux gazeuses (Badoit, Salvetat), dont le fonctionnement est plus complexe et la composante de faible profondeur moins importante.

### **2. POLITIQUE DU GROUPE DANONE**

Sur ces bases établies en France et enrichies d'autres expériences à l'étranger, en particulier en Espagne, le Groupe Danone a édicté en 2004 une charte sur la politique de protection de ses ressources en eau souterraine. Danone considère que l'exploitation de ressources naturelles patrimoniales impose le devoir d'en assurer une gestion durable et d'être engagé dans le développement local.

#### **2.1 Charte de protection des ressources en eau souterraines du Groupe Danone**

Cette charte fixe une série d'objectifs à atteindre et de moyens à mettre en œuvre :

##### Objectifs :

- Garantir la pureté et la qualité de l'eau en vue d'assurer la qualité des produits et la sécurité des consommateurs ;
- Garantir la pérennité des ressources ;
- Renforcer l'image du Groupe Danone et de ses marques ;
- Exercer notre responsabilité sociale au plan local ;
- Protéger et valoriser les patrimoines naturels des sites.

##### Moyens d'action :

- Connaître l'hydrogéologie de la ressource et l'environnement naturel et humain du site ;
- Développer des liens durables avec les acteurs locaux et contribuer au développement local ;
- Mener des actions de protection pour chaque ressource en eau en fonction des conditions locales ;
- Ne pas prélever plus que ce que la ressource peut naturellement produire ;
- Mettre en place les moyens nécessaires sous la responsabilité d'un manager identifié ;

- Contrôler et évaluer périodiquement les accomplissements des objectifs de la politique.

## 2.2 Programme de protection

Pour déployer cette politique dans tous les sites de production, un plan d'action guide est défini. Il reprend cinq axes majeurs :

- Connaissance de la ressource et de son environnement ;
- Gestion de la ressource ;
- Actions de protection ;
- Développement local ;
- Organisation.

Un sixième axe, appelé maîtrise des risques, a été ajouté pour prendre spécifiquement en compte l'existence de risques identifiés localement et les plans d'action afférents.

Pour permettre aux sites de progresser de façon cohérente trois niveaux sont définis :

- Niveau 1 : Gestion basique des ouvrages ;
- Niveau 2 : Maîtrise locale de la ressource ;
- Niveau 3 : Gestion intégrée de la ressource.

Enfin, grâce à une grille d'autoévaluation commune, chaque site peut suivre et guider sa progression. Des experts au niveau central assistent les sociétés dans leur démarche.

Parmi les points requis, il est intéressant, sous l'angle de l'hydrogéologue, de considérer en particulier deux d'entre eux :

### 2.2.1. Connaissance

Comme dans le cas d'Evian, l'objectif est d'acquérir une connaissance suffisante du système hydrogéologique et de l'environnement de surface pour mener des actions pertinentes.

Au premier niveau, l'attention se porte sur le captage en lui-même (coupe technique et géologique, données hydrodynamiques) ainsi que sur l'environnement proche (autres prélèvements, activités à risque).

Au deuxième, il est demandé de fournir un rapport hydrogéologique qui définisse la zone de vulnérabilité autour du captage. Sur cette zone, l'occupation des sols et les activités à risque doivent être inventoriées.

Pour atteindre le troisième niveau, des études hydrogéologiques doivent avoir permis d'obtenir une connaissance globale du système (zone d'alimentation, temps de séjour, modèle conceptuel, vulnérabilité) et des évaluations socio-environnementales auront identifié sur toute la zone les risques potentiels et les conflits éventuels.

Toutes ces données et celles issues de l'exploitation seront prochainement archivées et exploitées à partir d'un système d'information qui intégrera des modules de base de données, de cartographie et de gestion documentaire.

### 2.2.2 Protection

Les actions en faveur de la protection couvrent un large domaine, elles incluent les plans de contrôle qui valident les résultats de ces actions.

Au premier niveau, elles concernent la protection physique des captages et de leur périmètre sanitaire, leur entretien et leur inspection régulière.

Pour atteindre le niveau 2, la zone de vulnérabilité doit être protégée par des réglementations ou par propriété foncière et régulièrement inspectée. Des relations sont entretenues avec les autres acteurs locaux.

Au niveau 3, les relations locales sont formalisées dans une structure partenariale. C'est le lieu de rencontre et de discussion autour de la gestion de la ressource en eau. Les actions de protection sont intégrées dans un plan contractuel de développement avec les partenaires locaux. L'organisation peut aussi financer des actions communes. Les évolutions sont détectées par un réseau de surveillance (pluie, eaux de surface, sols,

piézomètres) et au travers d'enquêtes régulières pour les activités humaines, l'occupation des sols, les pratiques culturelles.

### 2.3 Discussion

Cette politique de protection est clairement inspirée de l'expérience d'Evian. Elle vise à assurer, quel que soit le contexte naturel, social et réglementaire, la pérennité d'une ressource en eau de qualité. Elle associe des protections « dures » pour les captages et leur zone proximale, à la protection partenariale de la majeure partie du système. Cette dernière approche est certes plus difficile à faire comprendre et accepter dans des pays où le dialogue social est peu pratiqué. Elle requiert au préalable que les équipes internes locales soient persuadées de son bien fondé. Un dialogue approfondi doit alors convaincre les partenaires qu'ils participent à une recherche sincère d'une coopération bénéfique à tous. L'appui d'un partenaire reconnu pour son autorité scientifique, exercé par exemple au travers d'une étude sur l'état de la ressource et de ses usages, peut permettre d'amorcer le dialogue sur des bases indiscutables.

Pour supporter cette approche, l'hydrogéologue, au delà de son champ d'action technique, doit le plus souvent faire appel à ses qualités pédagogiques, d'écoute, de conviction et ne peut pas se contenter d'édicter ses règles.

Cette démarche conforte celle qui est proposée par les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux, avec la création de Commissions Locales de l'Eau. La vision commune d'un objectif partagé constitue la base de la stratégie, elle est souvent plus difficile à obtenir qu'une obligation légale mais elle s'inscrit plus en profondeur et dans la durée si elle est bien entretenue.

### **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

---

**Blavoux B. (1965).**- Les sources minérales d'Evian. Etude climatologique, hydrogéologique et hydrochimique des formations fluvio-glaciaires quaternaires du Bas-Chablais - *Thèse de doctorat 3<sup>e</sup> cycle Université de Paris*, 366p..

**Fabre-Le Hec C. (2001).**- Conception d'un système d'indicateurs pour la mise en place d'un observatoire. *Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, 213p..*

**Nicoud G., Blavoux B. (2009).**- Géologie et hydrogéologie d'un complexe glaciaire remarquable : le site d'Evian. *Actes des 16<sup>èmes</sup> Journées Techniques du Comité Français de l'AIH : « Protection Des Ressources En Eau Et Développement Local : transposer l'expérience acquise dans le domaine des eaux minérales », Evian, 16 octobre 2009.*



# **Démarche de préservation des ressources en eau souterraine pour la satisfaction des besoins futurs Les travaux engagés sur le bassin Rhône - Méditerranée**

**Laurent Cadilhac<sup>10</sup>**

Agence de l'eau Rhône-Méditerranée & Corse

## **1. LE CONTEXTE**

Dans le bassin Rhône-Méditerranée, 80 % de l'eau utilisée pour la production d'eau potable provient de ressources d'origine souterraine faisant le plus souvent l'objet de traitements réduits.

On constate toutefois, sur de nombreux territoires du bassin (en particulier dans les plaines alluviales des grands cours d'eau et sur le littoral), une évolution rapide et continue de la nature de l'occupation des sols : expansion de l'urbanisation, des zones d'activité industrielles, artisanales ou commerciales, des infrastructures de transport, ...

Le développement des pressions liées à l'accroissement de la démographie et des activités économiques sur les aires de recharge d'aquifères aujourd'hui largement utilisés pour la satisfaction des besoins actuels en eau potable ou à forte potentialité pour les usages futurs, représente une menace pour la pérennité de l'usage production d'eau potable.

A l'occasion de la préparation du Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) qui couvrira la période 2010-2015, il est donc apparu comme particulièrement important, conformément à ce que demande la Directive européenne cadre sur l'eau (DCE), d'identifier les ressources les plus importantes pour la satisfaction des besoins en eau potable actuels et futurs et d'organiser leur préservation sur le long terme.

Une démarche a donc été lancée sur le bassin Rhône Méditerranée (RMed), qui vise à désigner précisément les ressources majeures à préserver pour la production de l'eau potable actuelle et future, à donner un statut particulier aux territoires sur lesquels se constituent ou sont (seront) puisées ces ressources afin d'en organiser la gestion, en lançant lorsque nécessaire des programmes d'actions spécifiques et en réglementant certaines implantations ou activités afin de créer les conditions optimales pour les conserver en qualité et quantité satisfaisantes.

## **2. LA NOTION DE RESSOURCE MAJEURE A PRESERVER POUR LA PRODUCTION D'EAU POTABLE CE QUE DIT LE SDAGE (Comité de bassin Rmed, 2007)**

La notion de ressource majeure à préserver pour l'eau potable désigne des ressources d'enjeu départemental ou régional :

- importantes en quantité
- bien situées par rapport aux zones de forte consommation (actuelles ou futures) pour des coûts d'exploitation acceptables
- dont la qualité chimique est conforme ou encore proche des critères de qualité des eaux distribuées tels que fixés dans la directive 98/83/CE

---

<sup>10</sup> 2-4 allée de Lodz 69363 Lyon Cedex 07, [laurent.cadilhac@eaurmc.fr](mailto:laurent.cadilhac@eaurmc.fr),

Parmi ces ressources il faut distinguer celles qui sont :

- d'ores et déjà fortement sollicitées et dont l'altération poserait des problèmes immédiats pour les importantes populations qui en dépendent ;
- faiblement ou non sollicitées à ce stade mais à forte potentialités, préservées à ce jour du fait de leur faible vulnérabilité naturelle ou de l'absence de pression humaine et à réserver en l'état pour la satisfaction des besoins futurs à moyen et long terme.

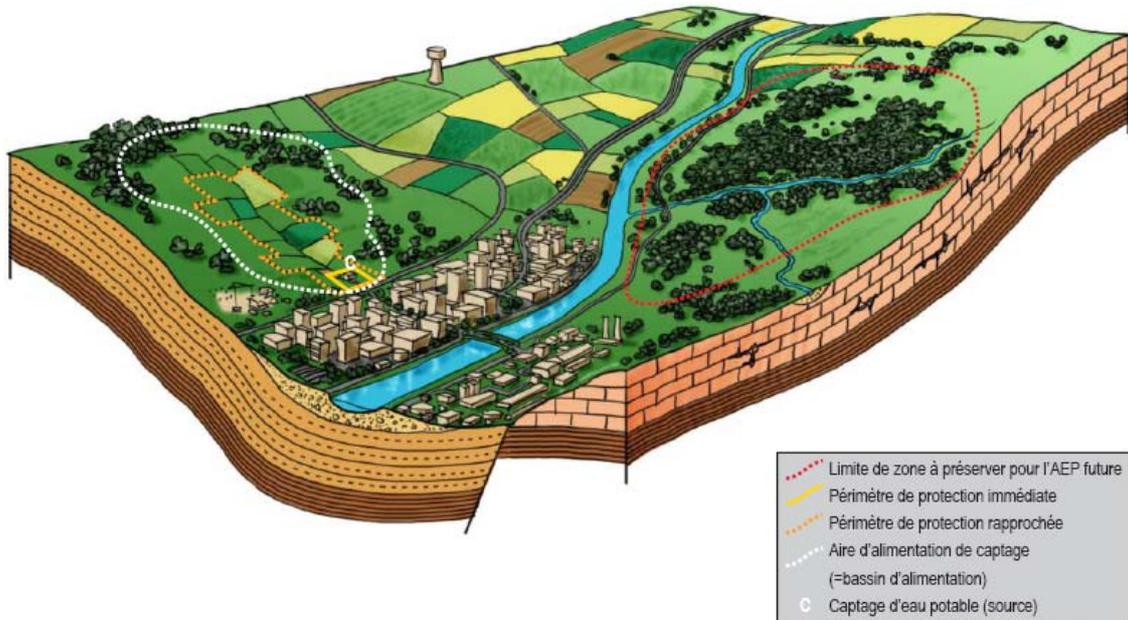


Figure 1. - Illustration ressource majeure à préserver pour l'alimentation en eau future

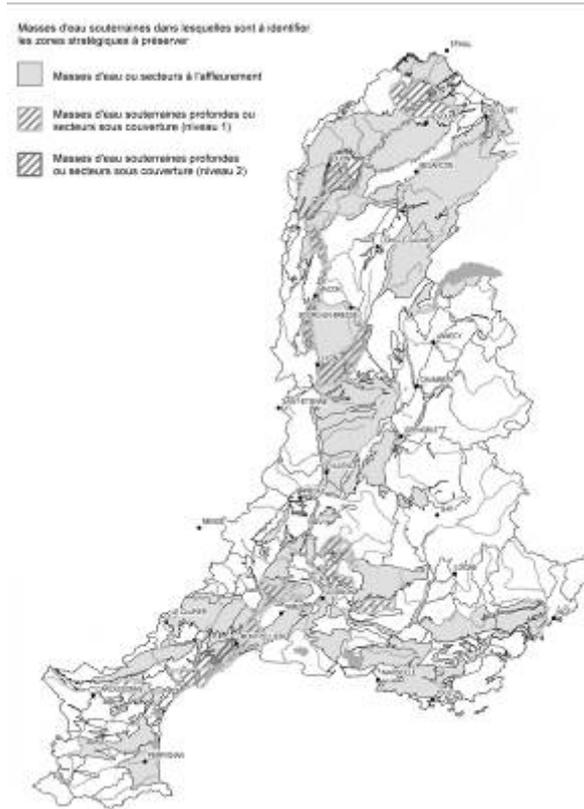
Pour ces ressources, la satisfaction des besoins pour l'eau potable doit être reconnue comme prioritaire par rapport à d'autres usages éventuellement en concurrence (activités industrielles, agricoles, récréatives ou autres). Les plans locaux d'urbanisme, les schémas de cohérence territoriale, les directives territoriales d'aménagement devront prendre en compte, lors de leur renouvellement ou de leur élaboration, les enjeux attachés à ces ressources pour établir les scénarios de développement et les zonages.

L'objectif est de se donner les moyens d'agir au-delà des bassins d'alimentation des captages existants, sur des zones suffisamment vastes pour assurer sur le long terme la préservation des ressources qui aujourd'hui permettent d'approvisionner en eau potable d'importantes concentration humaines et de celles non encore utilisées mais géographiquement bien situées qui seraient à même de satisfaire les besoins dans l'avenir.

### 3. LA DEMARCHE ENGAGEE SUR LE BASSIN RHONE- MEDITERRANEE.

Suite a concertation à l'échelle du bassin, dans le cadre de préparation du SDAGE a été établi une liste des masses d'eau souterraines, recelant des ressources majeures à préserver pour l'usage alimentation en eau potable actuel et futur (Fig. . 2).

Dans ces masses d'eau il s'agit maintenant d'individualiser précisément le périmètre des zones à préserver et d'organiser les actions de sauvegarde ou de restauration à mettre en place.



*Figure 2 - Bassin Rhône-Méditerranée - Ressources majeures d'enjeu départemental à régional à préserver pour l'alimentation en eau potable.*

La démarche retenue s'organise autour des trois étapes qui suivent :

- l'identification, la caractérisation et la délimitation dans les masses d'eau retenues par le SDAGE, des ressources indispensables à préserver pour les besoins actuels et futurs ;
- la réalisation d'un diagnostic sur les potentialités, l'occupation des sols et les menaces éventuelles pesant sur ces ressources ;
- la réalisation d'études complémentaires si nécessaires et la mise en œuvre de plan de protection ou de restauration des ressources en eau.

Pour conduire ces travaux, l'Agence s'appuie sur les collectivités ou structures qui souhaitent s'engager dans la préservation de leurs ressources, auxquelles elle apporte un soutien technique et financier<sup>11</sup>.

La démarche est engagée sur le terrain suite à concertation, avec l'ensemble des collectivités, les services de l'Etat, les acteurs socio-économiques et leurs structures représentatives présents sur les territoires.

### **3.1 Les études lancées**

Deux études pilotes ont été lancées en 2008 sur deux masses d'eau à fort enjeu : les alluvions du Rhône (maîtrise d'ouvrage Agence de l'eau) et de la Saône (maîtrise d'ouvrage EPTB Saône-Doubs). D'autres masses d'eau du bassin font aujourd'hui l'objet des mêmes travaux.

<sup>11</sup> subvention de 80 % du montant des travaux sur les volets études préalables, identification, proposition et mise en œuvre des programmes d'action

Ces études ont pour objectif :

- d'identifier et délimiter sur les masses d'eau retenues (Fig. 3), les secteurs à faire valoir comme stratégiques pour l'alimentation en eau potable (ressources déjà exploitées et ressources à préserver en raison de leur potentialité, de leur qualité et de leur situation pour les usages futurs) ;
- d'établir, pour chaque secteur identifié, un bilan de leur situation en terme de potentialité, qualité, vulnérabilité, risques en fonction de l'évolution des pressions d'usage et de l'occupation des sols mais aussi de leur statut actuel par rapport aux documents de planification et d'urbanisme (schémas directeurs d'alimentation en eau potable, schéma d'orientation des carrières, SCOT, PLU, ...) ;
- de proposer, en fonction des situations rencontrées, les stratégies d'intervention les mieux adaptées pour la préservation des zones identifiées ;
- de rechercher et de proposer les porteurs de projet (collectivités, usagers, services de l'Etat) qui pourront intervenir dans un deuxième temps pour la mise en oeuvre des actions de préservation ou de restauration pour garantir l'usage en eau potable.

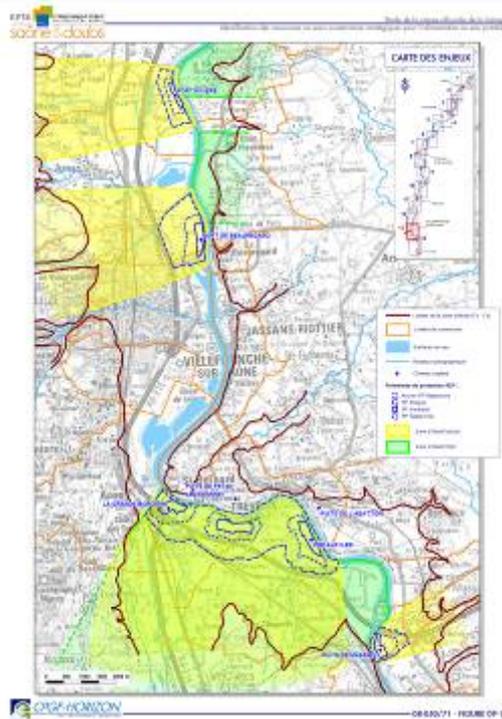


Figure 3. Val de Saône - Exemple de proposition de zones à préserver pour l'AEP actuelle et future

### 3.2 Les suites à venir

Une fois les études préalables conduites il s'agira avec les structures de gestion des milieux aquatiques, les autres porteurs de projet et les services de l'Etat de convenir des actions à engager et de mobiliser les outils réglementaires adaptés pour la préservation des zones ciblées.

### 3.3 La réglementation en vigueur et ses limites pour permettre la préservation des zones pour l'alimentation en eau future

Dans le cadre de l'étude lancée sur les alluvions du Rhône, un bilan et une réflexion ont été conduits sur les outils existants qui pourraient permettre le zonage et la préservation des zones stratégiques pour l'AEP (SEPIA, 2009)

Il faut tout d'abord signaler que la DCE demande que les Etats membres désignent dans chaque district hydrographique les masses d'eau utilisées pour l'eau potable ou destinées, pour le futur, à un tel usage. Les zones identifiées doivent être intégrées au « registre des zones protégées » prévu à l'article 6 de la DCE et vis-à-vis des objectifs applicables aux zones AEP, l'article 7.3 de la DCE demande aux Etats membres d'« assurer la protection nécessaire afin de prévenir la détérioration de la qualité de manière à réduire le degré de traitement de purification nécessaire à la production d'eau potable ».

Le texte de la DCE implique par conséquent, que les eaux captées dans ces zones devront se trouver dans un état ne nécessitant qu'un traitement minimum avant leur mise en distribution pour satisfaire les exigences de qualité fixées pour les eaux distribuées par la directive AEP 98/83/CE.

Cette exigence sous-tend qu'il est nécessaire d'apporter autant d'attention à la préservation des impluviums des ressources d'ores et déjà utilisées pour l'eau potable qu'aux impluviums des ressources à réserver/préserver pour le futur.

En l'état actuel des choses la réglementation française en vigueur pour la préservation des ressources en eau potable est d'abord orientée vers celle de l'eau des captages déjà établis en particulier vis-à-vis des risques de pollutions accidentelles ou bactériennes. Même si des avancées sont aujourd'hui à signaler sur les outils mobilisables pour lutter contre les pollutions diffuses à l'échelle des bassins d'alimentation (captages prioritaires) ou contre la dégradation des ressources de manière générale par le biais des PAGD<sup>12</sup> et les règlements des SAGE<sup>13</sup> sur les territoires où il en existe, les moyens restent encore limités pour empêcher les évolutions défavorables de l'occupation des sols à l'amont des sites de prélèvement avec l'implantation de projets ou d'aménagement à risque vis-à-vis de l'usage eau potable (hors acquisition foncière).

L'enquête menée par le cabinet SEPIA en 2009 montre qu'à ce jour il n'y a pas d'expérience totalement satisfaisante qui ait permis de protéger de manière durable une ressource non exploitée en France.

L'ensemble des acteurs engagés dans la réflexion s'accorde sur la nécessité d'informer et de sensibiliser les élus, leurs administrés et les différents acteurs de l'aménagement du territoire aux besoins de préservation des territoires sur lesquels se constituent les ressources en eau qu'on pourra parfois croiser avec des enjeux de préservation de la biodiversité pour engager le maximum d'action sur la base du volontariat.

Toutefois la sauvegarde des ressources stratégiques en eau implique nécessairement des contraintes sur l'aménagement du territoire, la plupart des activités humaines étant en effet susceptibles de dégrader une ressource lorsqu'elle est naturellement peu protégée.

Ces contraintes pouvant aller à l'encontre de projets de développement économiques poursuivis par les collectivités par ailleurs, il nous semblerait intéressant de compléter les textes réglementaires pour permettre de réglementer de manière forte l'occupation des sols dans les territoires à préserver, qui pourrait s'imposer aux élus lorsque nécessaire pour permettre de préserver efficacement les zones prioritaires vis-à-vis de la ressource en eau.

Dans l'attente de cette évolution réglementaire que nous appelons de nos vœux, l'urgence est déjà de donner un statut particulier aux zones identifiées comme majeures pour l'alimentation en eau potable en informant au fur et à mesure sur la localisation de ces zones et leurs caractéristiques via des « porter à connaissance ». On veillera aussi à la retranscription des enjeux ressources pour l'eau potable dans les documents d'urbanisme, en particulier les SCOT<sup>14</sup> et PLU<sup>15</sup>.

<sup>12</sup> PAGD : plan d'aménagement et de gestion durable

<sup>13</sup> SAGE : schéma d'aménagement et de gestion des eaux

<sup>14</sup> SCOT : schéma de cohérence territoriale

#### 4. CONCLUSION

Le développement des pressions liées à l'accroissement de la démographie et des activités économiques sur les aires de recharge d'aquifères aujourd'hui largement utilisés pour la satisfaction des besoins actuels en eau potable ou à forte potentialité pour les usages futurs, représente une menace pour la pérennité de l'usage production d'eau potable.

Il est aujourd'hui indispensable comme le demande la DCE de préserver et de restaurer à la fois les zones déjà utilisées pour l'eau potable comme les zones à fortes potentialités et bien situées géographiquement qui pourront constituer les ressources futures.

La démarche d'identification et de préservation des ressources majeures pour l'alimentation en eau potable engagée sur le bassin Rhône - Méditerranée est une démarche ambitieuse.

Il s'agit de créer les conditions qui permettront de garantir l'exploitation raisonnée et la gestion durable de ces ressources sur le long terme en mettant en œuvre des politiques de protection adaptées, avec le souci de rendre cohérentes les politiques d'aménagement du territoire et de développement économique avec la protection des ressources souterraines indispensable à nos alimentations en eau actuelle ou future.

Cette démarche ne pourra toutefois être menée à son terme, en l'absence de volonté locale de préservation, qu'avec le soutien de l'Etat, par la voie de nouveaux textes réglementaires.

#### **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

---

**1. Comité de bassin Rhône - Méditerranée (2007)** - Projet de schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux 2010 - 2015, 351 p, 1 annexe

**2. SEPIA Conseils (2009)** - Etude nappes alluviales du Rhône - Identification et protection des ressources en eau stratégiques pour l'alimentation en eau potable - Rapport de phase 3 : synthèse des outils permettant le zonage et la préservation des zones stratégiques, Agence de l'eau Rhône-Méditerranée & Corse, 43 p., 1 annexe

---

<sup>15</sup> PLU : plan local d'urbanisme

# Politique nationale de préservation des captages AEP vis à vis des pollutions diffuses par les nitrates et pesticides

Rémi Buchet <sup>(1)</sup>, Caroline Henry de Villeneuve <sup>(2)</sup>

**(1) Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat, Direction de l'Eau et de la Biodiversité, Bureau des Eaux Souterraines et de la Ressource en Eau**

**(2) Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de Rhône-Alpes, Délégation de Bassin Rhône-Méditerranée**

## *Résumé*

La directive européenne 2000/60/CE, dite « Directive Cadre sur l'Eau », fixe des objectifs ambitieux en matière de reconquête de la qualité de la ressource en eau. La France a ainsi complété son dispositif législatif via la loi n°2006-1772 sur l'eau et les milieux aquatiques. L'article 21 permet au préfet de délimiter des zones porteuses d'enjeux environnementaux forts, parmi lesquelles figurent les aires d'alimentation de captages (AAC). Sur ces territoires, il peut arrêter un programme d'action agricole basé dans un premier temps sur le volontariat, et pouvant devenir obligatoire dans le cas d'une mise en œuvre jugée insuffisante au regard de l'objectif environnemental visé. Ce dispositif sera mobilisé en priorité pour les aires d'alimentation des captages identifiés comme prioritaires dans le cadre de l'engagement n°101 du Grenelle de l'environnement. Ces enjeux forts vis à vis de la restauration de la qualité de l'eau face aux pollutions diffuses nitrates et pesticides sont relayés sur le bassin Rhône-Méditerranée dans le projet de SDAGE qui précise les priorités d'action et leur territorialisation pour environ 230 captages les plus menacés du bassin regroupés sur environ 200 aires d'alimentation.

## Abstract

The European Directive 2000/60/CE, also called "Water Framework Directive", sets ambitious objectives in terms of restoration of the water resource quality. In 2006 France adopted a new law n°2006-1772 on water and aquatic environment. The Article 21 of this law makes it possible for local state authorities to identify areas, such as the Drinking Water Catchment Areas, with strong environmental issues. In these areas, the local state authorities can define a volunteer-based programme of action. The interest of the approach is that the programme of action can become compulsory if its implementation is insufficient in light of the environmental objectives initially set up. This tool will be used first and foremost for the priority DWCAAs identified in the framework of the commitment n°101 of the French "Grenelle de l'Environnement".

## **1. HISTORIQUE**

La réglementation européenne en matière de préservation des ressources en eau s'est pendant 25 ans (1975-2000) établie selon deux logiques : une approche ciblée sur certains usages de l'eau comme l'eau potable (directive 75/440/CEE sur la qualité des eaux superficielles destinées à la production d'eau potable)..., une approche de lutte contre les substances dangereuses ou polluantes pour l'environnement aquatique. On retrouve comme directives sectorielles la directive eaux résiduaires urbaines (Directive 91/271/CEE du 21 mai 1991), la Directive Nitrates concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole (Directive 91/676/CEE du 12 décembre 1991), la directive concernant la protection des eaux souterraines vis à vis des pollutions par les rejets directs et indirects de certaines substances dangereuses (Directive 80/68/CE).

La réglementation française, jusqu'en 2000, en a été largement inspirée. Celle concernant la préservation des captages d'eau potable a donc été naturellement orientée vers un objectif de protection de la santé publique, et des outils ciblés sur les pollutions ponctuelles à proximité des zones de prélèvement d'eau potable.

A partir des années 70-80, le problème des pollutions diffuses a commencé à émerger : les nitrates en premier lieu puis les pesticides sont apparus à des concentrations croissantes dans les puits de captages de certaines régions en particulier. Si leur nécessaire mise en œuvre est à réaffirmer, l'outil réglementaire que sont les périmètres de protection, s'est alors trouvé insuffisant et inadapté vis à vis de ce type de pollution, en particulier dans de nombreux contextes hydrogéologiques comme les zones de calcaires fissurés...

Devant ces constats, entre 2000 et 2001, une évaluation coordonnée par le commissariat général du Plan a été menée sur la politique de préservation des ressources en eau potable en France métropolitaine pour le compte du Conseil national de l'évaluation<sup>(16)</sup>. L'instance chargée de cette évaluation, après avoir constaté l'inadaptation des outils réglementaires existants en matière de lutte contre les pollutions diffuses, a proposé des adaptations de la réglementation.

Concomitamment, l'adoption de la directive cadre sur l'eau le 23 octobre 2000 a permis de dresser un cadre structurant à ces différentes directives sectorielles, et surtout d'introduire un objectif global de préservation de la ressource en eau, assigné d'objectifs de résultats à l'échéance de 2015 voire de 2021, à l'issue d'un ou 2 plans de gestion successifs d'une durée de 6 ans.

C'est dans ce cadre que s'inscrivent les nouveaux outils réglementaires décrits ci-après.

Le rapport d'évaluation préconisait une adaptation législative et réglementaire sur les points suivants :

- la nécessité d'une procédure simplifiée pour l'établissement des périmètres de protection qui, dans certains cas, pouvait aboutir à une protection immédiate seule dans des contextes où l'environnement y est favorable,
- le droit de préemption des collectivités sur les mutations de parcelles situées à l'intérieur des zones de protection,
- soustraire du statut du fermage les parcelles acquises par les collectivités pour assurer ces protections particulières de la ressource en eau (eau potable, zones humides...)
- renforcer l'outil des zones de sauvegarde, zones de protection à l'échelle de l'aire d'alimentation de captages ou groupes de captages.

Ces adaptations ont été introduites successivement dans les différentes lois suivantes : loi de santé publique adoptée par le Sénat et l'assemblée le 30 juillet 2004<sup>(17)</sup>, loi sur le développement des territoires ruraux adoptée en février 2005<sup>(18)</sup>, loi sur l'eau et les milieux aquatiques adoptée en décembre 2006<sup>(19)</sup>.

## 2. LES OBJECTIFS AMBITIEUX FIXÉS PAR LA RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE

La **Directive 2000/60/CE (DCE)**, qui établit un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, fixe des objectifs ambitieux en matière de reconquête de la qualité de la ressource destinée à l'eau potable. Conformément à son **article 7**, les points de captage fournissant plus de 10 m<sup>3</sup>/jour ou desservant plus de 50 personnes pour l'alimentation en eau ont été recensés dans le registre des zones protégées (article 6 de la DCE), dans le cadre de la réalisation de l'état des lieux de l'ensemble des bassins hydrographiques. Le point 7.3. de l'article précise que les États membres doivent assurer la protection de ces points de captage afin de **réduire le degré de traitement nécessaire à la production d'eau potable**, et peuvent à cette fin définir des **zones de sauvegarde des captages**.

---

<sup>16</sup> Commissariat général du Plan : « Politique de préservation de la ressource en eau destinée à la consommation humaine », Rapport d'évaluation, septembre 2001

<sup>17</sup> Loi relative à la santé publique n°2004-806 parue le 9 août 2004

<sup>18</sup> Loi n°2005-157 du 23 février 2005 relative au développement des territoires ruraux

<sup>19</sup> Loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques

Par ailleurs, les normes imposées par la réglementation pour les eaux distribuées, issues notamment des dispositions de la **directive 98/83/CE** <sup>(20)</sup>, doivent être respectées.

Il s'avère donc nécessaire, pour atteindre ces objectifs européens ambitieux, de conduire une politique volontariste de reconquête de la qualité des ressources destinées à la production d'eau potable dans les zones atteintes par les pollutions.

### **3. UN NOUVEL OUTIL ISSU DE LA LOI SUR L'EAU ET LES MILIEUX AQUATIQUES DU 30 DÉCEMBRE 2006**

A cet effet, la France a complété son dispositif législatif via la **loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006** (4).

L'**article 21** de la loi (codifié en l'**article L. 211-3, II-5° du code de l'environnement**) a ainsi renforcé les dispositifs de gestion de la ressource, en définissant les conditions dans lesquelles l'autorité administrative peut :

- délimiter des zones où il est nécessaire d'assurer la protection **qualitative** et **quantitative** des aires d'alimentation des captages d'eau potable présentant une importance particulière pour l'**approvisionnement actuel ou futur**,
- établir sur ces zones un programme d'action dans les conditions prévues à l'**article L. 114-1 du code rural**.

L'article 21 a de cette manière introduit des dispositions similaires à celles en vigueur pour la **protection des zones humides d'intérêt environnemental particulier (ZHIEP)**, selon les termes de la **loi du 23 février 2005** relative au développement des territoires ruraux (3).

L'**article L. 144-1 du code rural** concernant la protection des sols contre le risque érosif, pour un enjeu de dommages aux biens et aux personnes (dispositions issues de la **loi n°2003-699 du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages**), présente également des dispositions comparables.

Les modalités de mise en œuvre du dispositif issu de l'article 21 sont précisées dans le **décret n° 2007-882 du 14 mai 2007** relatif à « **certaines zones soumises à contraintes environnementales et modifiant le code rural (ZSCE)** ».

Ce décret, en élargissant le champ d'application des articles préexistants du code rural et en adaptant en conséquence leurs modalités d'application, permet de disposer désormais d'un cadre d'action commun permettant de répondre à **trois enjeux souvent interdépendants** et contribuant à l'atteinte des objectifs de bon état et de bon potentiel des eaux requis par la DCE :

- dommages aux biens et aux personnes liés à un **risque érosif**,
- **protection qualitative et quantitative des aires d'alimentation de captage**,
- protection des **zones humides d'intérêt environnemental particulier**.

Les dispositions prévues par ce décret sont désormais codifiées dans la partie réglementaire du **code rural (chapitre IV du titre I<sup>er</sup> du livre I<sup>er</sup>, articles R.114-1 à R.114-10** : « L'agriculture de certaines zones soumises à des contraintes environnementales »).

La circulaire d'application correspondante, en date du **30 mai 2008**, expose les conditions de mise en œuvre du décret. Elle précise un cadre d'action réglementaire commun qui permet à l'**autorité administrative**, en s'appuyant sur des consultations menées au niveau départemental ou local :

- de **délimiter (figure n°1) des zones porteuses d'enjeux environnementaux forts** (aires d'alimentation de captages, zones érosives, zones humides d'intérêt environnemental particulier),
- d'établir sur ces zones un **programme d'action**,

---

<sup>20</sup> Directive 98/83/CE du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine

- **le cas échéant**, de rendre obligatoire tout ou partie de ce programme, dans un délai variable selon les situations (**trois ans** dans le cas général, **un an** au plus dans le cas des aires d'alimentation de captages pour lesquels il y a utilisation d'**eaux brutes non conformes aux limites de qualité**).

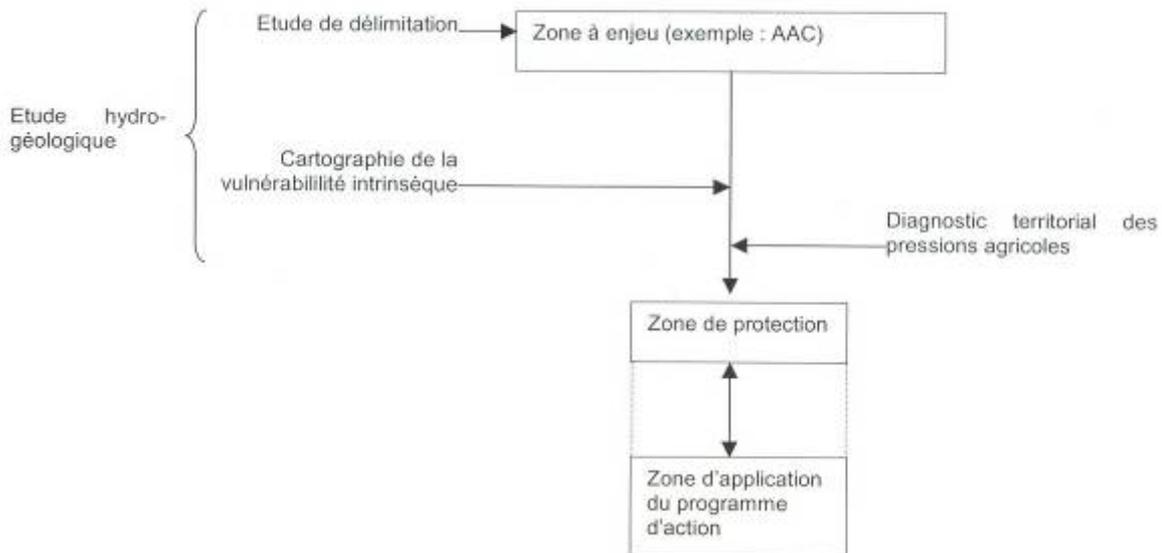


Figure 1 : Méthodologie de définition des différents zonages pour la protection des AAC contre les pollutions diffuses

#### 4. RELATIONS ENTRE « ZONES DE PROTECTION DES AIRES D'ALIMENTATION DE CAPTAGES » ET « PÉRIMÈTRES DE PROTECTION DE CAPTAGES »

Les périmètres de protection de captages (**article L.1321-2 du code de la santé publique**) visent principalement à éviter l'impact de **pollutions ponctuelles**, qu'elles soient **chroniques** ou **accidentelles**, en éloignant les sources potentielles de ces pollutions des points de captage.

Il s'agit d'empêcher l'introduction de substances polluantes ou de réduire le risque de migration de ces substances jusqu'au captage (pour les périmètres de protection rapprochée, en considérant généralement un **temps de transfert** des eaux de **50 jours**).

Les **zones de protection des aires d'alimentation de captages** visant quant à elles les **pollutions diffuses**, peuvent concerner par définition la totalité de ces aires d'alimentation. La surface d'action concernée dépasse donc largement celle du seul périmètre de protection rapprochée sauf dans certains cas particuliers de bassin versant, en domaine de socle par exemple.

Par souci de cohérence entre ces deux outils de politique publique, la ou les zones de protection d'une aire d'alimentation de captages doivent englober les **périmètres de protection rapprochée (PPR)** existants pour ces captages.

Par ailleurs, le niveau d'exigence des mesures du programme d'actions doit être calibré au regard de celui instauré par les éventuelles prescriptions réglementant les activités agricoles contenues dans l'arrêté PPC :

- au niveau du **périmètre de protection rapprochée** : la similitude entre les prescriptions de l'arrêté PPC et les mesures du programme d'action doit être **exceptionnelle**, car un périmètre de protection et une zone de protection d'aire d'alimentation de captage ne protègent pas du même type de pollution.
- au niveau du **périmètre de protection éloignée**, le niveau d'exigence des mesures du programme d'action devra être supérieur à celui de prescriptions réglementaires répondant aux mêmes enjeux, parfois définies dans l'arrêté de DUP. En effet, cette précaution permettra d'envisager sur cette zone la contractualisation de Mesures Agro-Environnementales.

## 5. UN OBJECTIF ISSU DU GRENELLE DE L'ENVIRONNEMENT : ASSURER UNE PROTECTION EFFECTIVE DE 500 CAPTAGES À L'HORIZON 2012

L'engagement n°101 du Grenelle de l'environnement préconisant de « **protéger l'aire d'alimentation des 500 captages les plus menacés d'ici 2012** », a été consolidé dans l'article 27 de la loi n°2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement.

Une démarche d'identification de captages menacés par les pollutions diffuses a été conduite à l'échelle nationale en 2008 sur la base de trois critères : état de la ressource vis à vis des pollutions par les **nitrates** ou **pesticides** ; caractère **stratégique** de la ressource au vu de la population desservie et de la substituabilité de la ressource ; volonté de **reconquérir certains captages abandonnés**. La hiérarchisation des listes de captages ainsi obtenue a ensuite eu pour objectif d'identifier en moyenne, dans chaque département, **6 à 10 captages parmi les plus menacés**.

Une liste nationale de 507 captages « Grenelle », par ailleurs intégrée dans les **listes de captages prioritaires au titre des Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) des bassins hydrographiques**, a ainsi été établie. D'ici à 2012, des programmes d'action agricoles devront être mis en œuvre sur l'ensemble de ces captages « Grenelle ».

A cette fin, le dispositif réglementaire relatif aux zones soumises à contraintes environnementales (ZSCE) sera mobilisé en priorité pour définir puis mettre en œuvre les programmes d'action. Néanmoins, d'autres outils d'action tels que des **programmes agro-environnementaux territorialisés** (MAET, programmes de développement de l'agriculture biologique) ou le **volet agricole de plans de gestion** (liés aux autorisations exceptionnelles d'utilisation d'eaux brutes non conformes) pourront être retenus, à condition :

- qu'ils soient d'ores et déjà mis en œuvre avec une **dynamique satisfaisante** ou que la **concertation locale** soit bien engagée,
- que leur **niveau d'exigence** permette de mettre en place, sans aucun doute possible, une protection efficace des captages prioritaires dans les **délais prévus**.

Dans tous les cas, une évaluation de leur niveau de mise en œuvre devra être effectuée au plus tard en 2011 afin, si nécessaire, de renforcer le mode d'action par la mise en place du dispositif ZSCE.

La liste des 507 captages n'est pas une liste ferme et définitive. Elle constitue une première étape, l'objectif à terme étant de protéger l'ensemble des captages menacés par les pollutions diffuses, avec des moyens appropriés.

## 6. LA DEMARCHE MENEESUR LE BASSIN RHONE-MEDITERRANEE

La démarche suivie sur le bassin Rhône-Méditerranée a privilégié dans la sélection des captages prioritaires du bassin les deux premiers critères préconisés par la Direction Générale de la Santé et la Direction de l'eau dans leur circulaire conjointe du 18 octobre 2007 <sup>(21)</sup> :

- le constat de la dégradation de la ressource en eau au point de captage de paramètres nitrates et pesticides,
- le caractère stratégique de la ressource en eau.

L'objectif de la démarche poursuivie sous le terme de « captages prioritaires » consistait bien à l'identification de captages rencontrant des problèmes de qualité des eaux captées (« eaux brutes ») d'origine diffuse en application de l'article 7.3 de la DCE. En effet, cet article demande qu'une protection renforcée soit mise en place pour prévenir la détérioration de la qualité de l'eau servant à la production d'eau potable (notamment par les nitrates et les pesticides) afin de minimiser les traitements pour l'obtention d'une eau de

---

<sup>21</sup> Circulaire DGS/DE du 18 octobre 2007 relative à l'identification et la protection des captages prioritaires

qualité alimentaire. De plus, l'arrêté du 17 mars 2006 demande explicitement que ces captages rencontrant des problèmes de pollutions diffuses soient adossés au SDAGE ainsi que les zones afférentes <sup>(22)</sup>.

Dans le cadre du projet de SDAGE Rhône-Méditerranée, cet enjeu est repris par la disposition 5E-02 en ces termes : « engager des actions de restauration et de protection dans les aires d'alimentation des captages d'eau potable affectés par des pollutions diffuses ». Ces actions sont à mener par les collectivités sur les captages ou groupes de captages « dont la qualité ne répond pas aux exigences sanitaires et où un programme de restauration doit être mis en œuvre ».

Les captages visés sont les plus menacés par les pollutions diffuses sur la base de critères objectifs de concentration de la qualité des eaux brutes au captage en nitrates (supérieure à 37,5 mg/l) et en pesticides (supérieure à 0,1 µg/l par substance et 0,5 µg/l pour le total des substances). Pour les eaux captées dans les plans d'eau, ont été examinées si des situations de développement de toxines algales perturbant cet usage et conséquence de phénomènes d'eutrophisation et étaient identifiées.

Les captages ou groupes de captages <sup>(23)</sup> répondant à ces critères sur le bassin et intégrés au projet de SDAGE sont au nombre de 234 (soit à titre indicatif environ 8 captages en moyenne par département, le nombre pouvant varier de 0 à une vingtaine). La grande majorité d'entre eux captent des eaux souterraines à l'exception de 3 prises d'eau superficielle : la prise de Mathay sur le Doubs en amont de la ville de Montbéliard, la prise d'eau de Marquens sur l'Aude pour la ville de Carcassonne, et la prise dans le lac de Carcès pour la ville de Toulon.

Ils représentent 198 Aires d'Alimentation de Captages (AAC) qui devront faire l'objet d'une délimitation, et sur lesquelles des programmes d'actions sont à mener :

- vis à vis de la pollution azotée pour 22% d'entre elles,
- vis à vis de la pollution par les pesticides pour 54 %,
- vis à vis des pollutions nitrates et pesticides pour 24 %.

Aucun cas de problème de toxines algales par eutrophisation n'a été signalé sur le bassin.

Au sein de cette liste de captages, il a été demandé de **sélectionner** quelques captages ou groupes de captages par département, pour lesquels la mise en œuvre du dispositif ZSCE pourra se mettre en place dans les meilleurs délais et dans de bonnes conditions techniques et opérationnelles, dans un souci double d'**exemplarité** de cette démarche nouvelle et d'enjeux forts pour les collectivités. Ce sont les captages dits « Grenelle ». Au sein de la liste de captages prioritaires du SDAGE, environ 50 % ont été sélectionnés au titre des captages Grenelle soit 100 aires d'alimentation de captages pour le bassin (131 captages).

Pour les captages dits « Grenelle », les délais étant très serrés, dès la consolidation de cette liste des captages les plus menacés vis à vis des pollutions par les pesticides et les nitrates, et l'adoption du SDAGE fin 2009 sont à engager :

- des études de délimitation des Aires d'Alimentation des Captages (AAC),
- l'élaboration de programmes d'actions sur ces aires répondant aux objectifs fixés. Il est également nécessaire parallèlement et par anticipation de s'assurer des crédits mobilisables au niveau régional dans le cadre du Programme de Développement Rural Hexagonal (PDRH).
- La mise en œuvre de programmes d'action sur ces AAC prioritaires à l'horizon 2012.

---

<sup>22</sup> L'article 10 de l'arrêté du 17 mars 2006 précise : « Les objectifs spécifiques aux zones de protection des prélèvements d'eau destinés à la consommation humaine sont présentés d'une part sous la forme d'une carte des zones pour lesquelles des objectifs plus stricts sont fixés afin de réduire le traitement nécessaire à la protection d'eau potable, d'autre part sous la forme d'une carte des zones à préserver en vue de leur utilisation dans le futur pour des captages d'eau destinée à la consommation humaine. »

<sup>23</sup> Un "groupe de captages" détermine l'ensemble des captages appartenant à la même Aire d'Alimentation de Captage (AAC) donc puisant dans la même ressource souterraine ou superficielle, notion spatiale qui peut être beaucoup plus large qu'un champs captant (groupe de forages) ou un ensemble de sources.

Les études nécessaires à la délimitation des aires d'alimentation des captages ou groupes de captages sont à démarrer au plus vite, pour une finalisation de celles-ci en 2010. Les programmes d'action sont à démarrer au point de vue opérationnel en 2012 en tenant compte d'un délai de 1 an pour l'élaboration et l'approbation du programme d'actions sur l'aire d'alimentation du captage.

Un des outils de préservation des ressources en eau est la maîtrise foncière sur les secteurs à forts enjeux. Pour faciliter sa mise en œuvre opérationnelle, l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse a établi une convention de partenariat avec les SAFER du bassin. Celles-ci seraient chargées, en appui aux collectivités concernées, d'exercer une veille foncière sur les aires d'alimentation des captages.

Le bassin est dans son ensemble dans une situation générale favorable par rapport à ce type de pollutions comparées à d'autres bassins français. Les problématiques locales qui se poseront seront de trouver des itinéraires techniques compatibles avec la préservation de la ressource vis à vis de certains modes de production.

Parmi les fuites importantes de pesticides enregistrées, sont identifiés des secteurs viticoles en région Languedoc-Roussillon, des zones de maraîchage et de serres sur la bordure méditerranéenne, des cultures de melon et de lavande sur le nord de la Provence. Par ailleurs, on enregistre des pollutions ponctuelles en pesticides sur les zones karstiques le long de la vallée du Doubs et en Haute-Saône entre la Saône et l'Ognon. Concernant les fuites de nitrates dominantes, celles-ci se retrouvent au nord du bassin (sud de la Haute-Marne), dans une zone d'élevages et de maïs. Les pollutions mixtes nitrates et pesticides sont majoritairement rencontrées dans des secteurs de grandes cultures, le long de la vallée du Rhône moyen et aval.

## **CONCLUSION**

Globalement et en guise de conclusion, à l'heure d'aujourd'hui l'arsenal juridique permet une adaptation aux différentes situations de préservation de la ressource en eau contre les pollutions diffuses. Par ailleurs, certaines politiques comme les lois Grenelle 1 et 2 ainsi que le plan Ecophyto 2018 fixent des objectifs ambitieux qui à terme devraient converger avec les objectifs de restauration et préservation de la ressource. En effet, les objectifs du Grenelle sont la réduction de 50 % de l'usage des pesticides en 10 ans, l'augmentation de la surface cultivée par l'agriculture biologique (6% de la SAU en 2012 et 20 % en 2020), la certification environnementale des exploitations (objectif : 50 % des exploitations en 2012), et le développement de bandes enherbées.

L'enjeu désormais est la mobilisation des collectivités afin qu'elles fédèrent l'ensemble des groupes d'acteurs locaux autour de ces objectifs de préservation de la ressource et de santé publique.

D'un point de vue réglementaire, il serait intéressant de poursuivre la réflexion afin de permettre à l'échelle de ces nouvelles zones que sont les aires d'alimentation de captages une protection élargie à d'autres types de pollutions ou impacts potentiels.



# Territorialisation de l'activité agricole et maîtrise des cycles biochimiques: Enjeux majeurs de la gestion des territoires d'eaux minérales et potables

Marc Benoît

(Synopsis de la présentation aux seizièmes Journées Techniques du Comité Français de  
l'Association internationale des hydrogéologues)

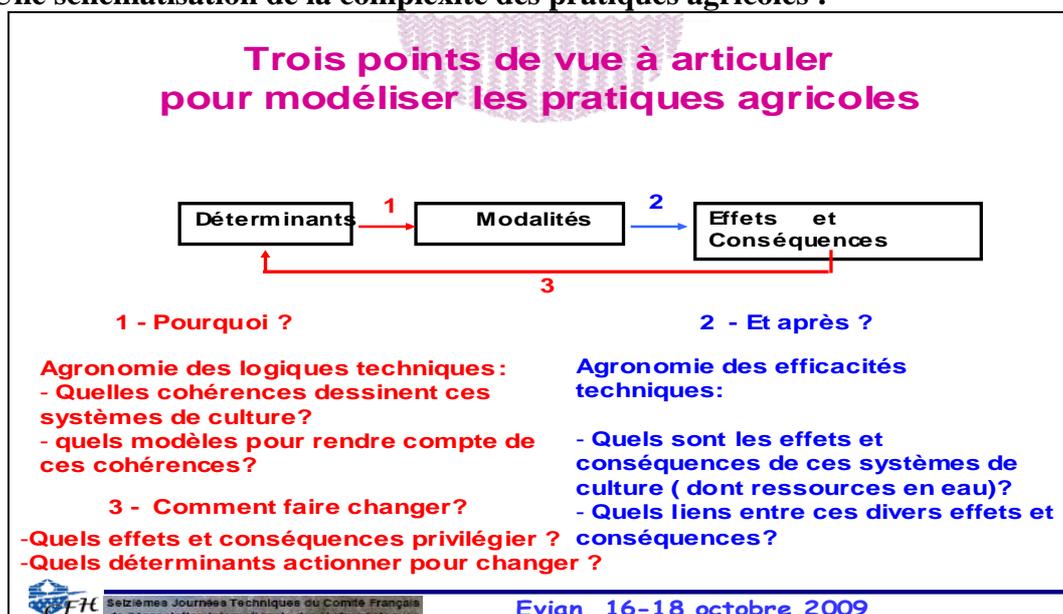
INRA Science pour l'Action et le Développement (SAD), Unité ASTER, 88500 MIRECOURT ;  
[benoit@mirecourt.inra.fr](mailto:benoit@mirecourt.inra.fr)

## 1. INTRODUCTION

### 1.1 Une posture de recherche finalisée : « Comprendre, c'est changer un peu... ».

- Telle est la définition de la recherche finalisée ou des recherches orientés par la recherche d'un effet dans et pour des collectifs humains.
- Les connaissances ne sont donc pas produites strictement en fonction de la dynamique d'un champ de connaissances mais en fonction d'un rapport à l'action collective, et pour nous à l'innovation et au développement en agriculture.
- Quand, de plus, la question de l'adéquation ou de l'efficacité de cette production de connaissances à un contexte de décision, d'action collective ou bien à une situation, se pose alors la question de penser l'agronomie en tant que technologie et ingénierie.

### 1.2 Une schématisation de la complexité des pratiques agricoles :



## **2. LA MISE EN PROTECTION DEFINITIVE D'UN GITE = UNE GESTION DURABLE DES RELATIONS SOCIETES-TERRITOIRES**

Nous avons distingué 5 phases dans la progression vers une mise en protection du g<sup>^</sup>site hydrominéral de Vittel, ces 5 phases nous semblent structurantes d'une gestion durable des relations sociétés-territoires au sein des bassins des ressources en eau (Deffontaines et al, 1993 ; Benoît, Claude, 2002). Ces 5 phases ont été sur le gîte de Vittel :

- 1) Diagnostiquer les pratiques à risque: 1989-1993
- 2) Proposer les changements à mettre en œuvre:1992-1996
- 3) Analyser la mise en œuvre des changements de système agricole:1996-1998
- 4) Evaluer les effets du changement :1998-2001
- 5) Donner les outils de pilotage du système agricole: 2002-2004.

Résumons le contenu des principales questions traitées pour chacune de ces phases :

### **2.1 Diagnostiquer les pratiques à risque: 1989-1993**

- Mise en place d'un observatoire in situ:
  - Pratiques agricoles,
  - Sols,
  - Ressources en eau (SITES A BOUGIES POREUSES, sourcettes de surface)
- Rôle central des S.I.G. pour coordonner les questions et informations.

### **2.2 Proposer les changements à mettre en œuvre: 1992-1996**

- transformer les éléments du diagnostic en des propositions de nouveaux systèmes techniques,
- changements majeurs proposés:
  - \* gestion des déjections animales (10-15t/ha de compost) pour le paramètre nitrate,
  - \* système fourrager à base d'herbe (disparition du maïs ensilage) pour les paramètres nitrate et pesticides (Schott et al, 2007), d'où nouvelles successions culturales, et nouveaux équipements (compostage, séchage en grange),
  - \* arrêt du recours aux produits phytosanitaires,

### **2.3 Analyser la mise en œuvre des changements de système agricole:1996-1998**

- conditions techniques : apprentissage des nouveaux systèmes techniques: compostage, désherbage sans herbicides, pâturage (PIL/PEL) ( Benoît, 2007),

En relation avec les:

- conditions économiques de ces changements : payer « le saut » par financement des équipements,-
- conditions sociales du changement: être attentif au nouveau statut du métier d'agriculteur,

### **2.4 Evaluer les effets du changement : 1998-2001**

- Effets sur les ressources en eau:
- Effets sur les systèmes techniques: basculement progressif vers un bassin de production en Agriculture Biologique

### **2.5 Donner les outils de pilotage du système agricole : 2002-2004**

- fournir un modèle ergonomique liant système de culture-sol-climat et qualité des eaux,
- élaborer un SIG de gestion territoriale d'un système agricole.

### 3. L'ENJEU-CLE DE LA MAITRISE DES CHOIX ET DE LA LOCALISATION DES SYSTEMES DE CULTURE

**L'enjeu-clé de la maîtrise des protections de ressources en eau se traduit en une nécessité de modéliser la localisation des systèmes de culture et ses changements au cours du temps à l'échelle de territoires continus, afin de contribuer à analyser leurs interactions avec des enjeux environnementaux (Benoît, Kockmann, 2008 ; Benoît et al, 2001 ; Mignolet et al, 2001a, 2001b)**

- La notion centrale de localisation des systèmes de culture (Mignolet et al, 2004 ; Ducharne et al, 2007 ; Durand et al, 2007):

- décrire comment se répartissent les systèmes de culture au sein d'un territoire
- comprendre comment cette répartition s'est construite sous l'influence de différents facteurs et ... pourrait se construire à l'avenir (scénarios territoriaux)

2 La notion de système de culture inclut trois objets majeurs (Mari et al, 2002 ;

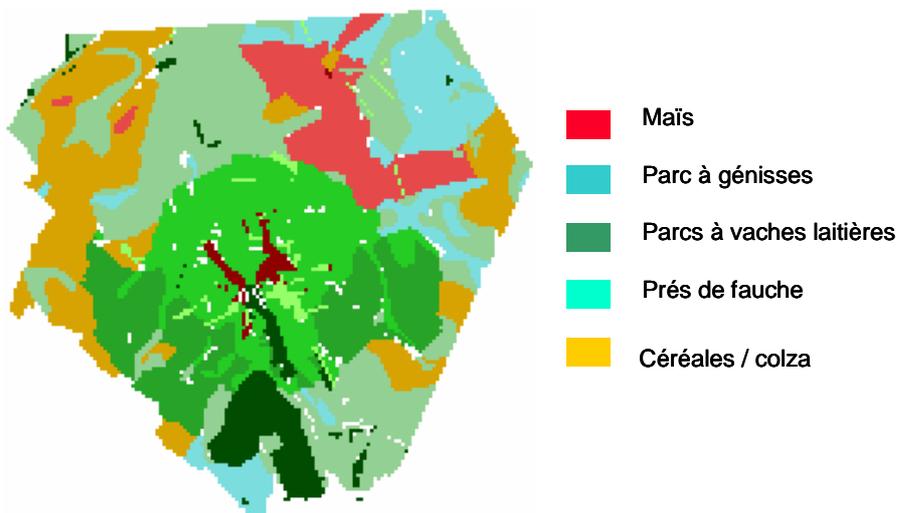
- assolement
- successions culturales
- itinéraires techniques

3 Nous proposons de développer 3 postures de recherche :

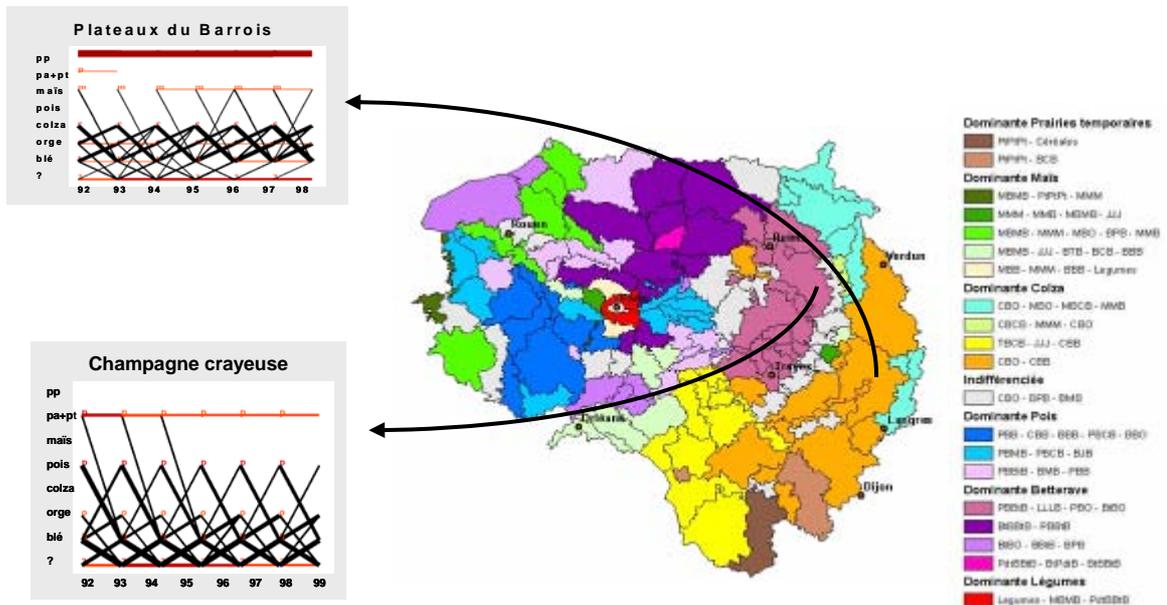
- analyser les facteurs explicatifs de la localisation des systèmes de culture
- rechercher les régularités spatiales et temporelles dans l'organisation des systèmes de culture à partir d'une grande quantité de données existantes
- construire des scénarios territoriaux de localisation des systèmes de culture pour implémenter des modèles de culture ...et instruire les effets de scénarios.

**Exemple de la modélisation experte de l'organisation spatiale d'un territoire d'exploitation : le système MOSTAR (Le Ber et Benoît, 1998)**

#### **Modèle d'organisation du territoire de la commune de Lignéville-périmètre de Vittel (Vosges)**

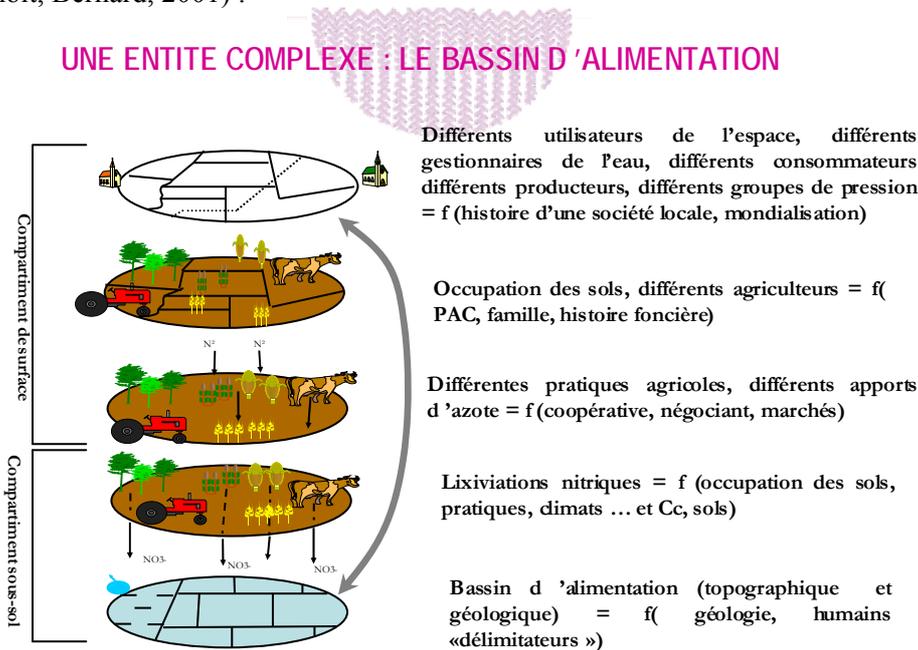


## Exemple de différenciation de régions selon la diversité des successions culturales sur le bassin de la Seine dans les années 1990 (Le Ber *et al.*, 2006; Mignolet *et al.*, 2007)



### 4. CONCLUSION

- Le bassin d'alimentation doit être traité comme un objet complexe, donc interdisciplinaire (Benoît, Bernard, 2001) :



- Les traits communs et différences : DCE/ Protection du gîte de Vittel

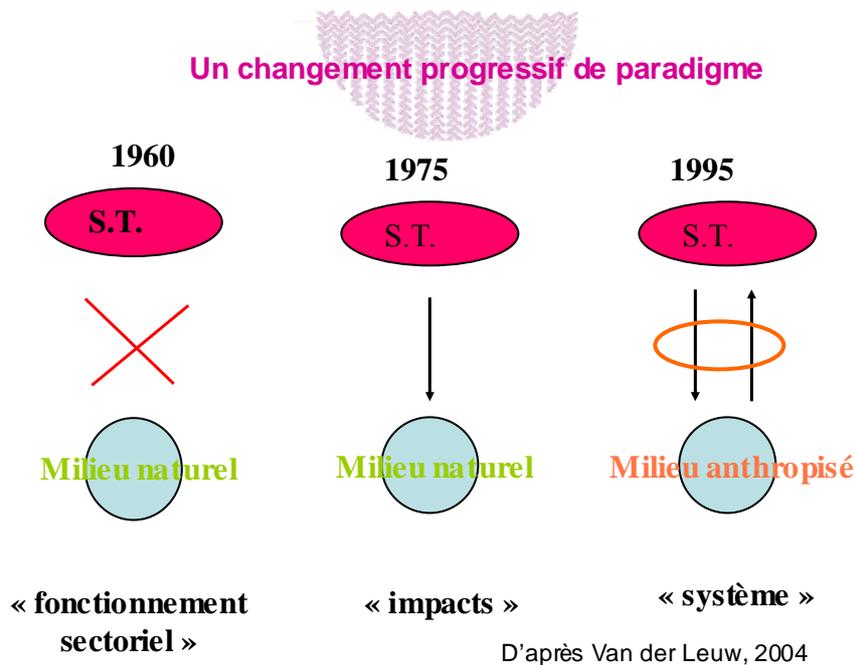
Les traits communs sont :

- ↳ Obligation de résultats
- ↳ Mobiliser l'ensemble du bassin (Benoît, 2006 et 2007b)
- ↳ Informer les acteurs territoriaux (Benoît, Brossier, 2006 ; Benoît 2007c)
- ↳ Une difficulté d'agir sur l'amont: filières agricoles, ...

Les traits différenciés sont :

- fixer une date, ... ou tendre vers un seuil réajustable (Ledoux et al, 2007)
- agir sur les changements de pratiques agricoles ... ou sur l'ensemble des pratiques (Billen et al, 2007)
- une information centrée sur l'agriculture ... une communication délicate où le tour de bassin s'avère une méthode interactive efficace (Benoît, Bernard, 2001).

#### 4.1 Un changement de paradigme (Husson, Benoît, 2004 ; Benoît et al, 2008):



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Benoît M., Kockmann F., 2008.** L'organisation des systèmes de culture dans les bassins d'alimentation de captages : innovations, retours d'expériences et leçons à tirer. **Ingénieries EAT.**

**Benoît M., Caneill J., Doré T., Marshall E., Prévost P., 2008.** *Agronomes de demain. QUAE. 146p.*

**Durand, V. ; Mercat-rommens, C. ; Curmi, P. ; Benoît, M. ; Briand, B. (2007).** Modelling Regional Impacts of Radioactive Pollution on Permanent Grassland. *Journal of Agronomy, 6 (1) : 11- 20*

**Benoît, M. (2007a).** Prairies et qualité des eaux : mesures parcellaires, assolement, et observatoires des pratiques. *Fourrages, 189 : 33-50.*

**Schott, C. ; Mignolet, C. ; Rat, A. ; Ledoux, E. ; Benoît, M., 2007.** Modélisation des pratiques phytosanitaires sur le bassin versant de la Vesle. In : Oturan Mehmet A. (dir.), Mouchel J.M. (dir.), *Pesticides : impacts environnementaux, gestion et traitements. Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées : 207-223.*

**Benoît M., Amigues J.P., Balent G., Menaut J.C., Morand S., 2007.** Pour une gestion des territoires : de l'assolement à la biodiversité. In : AMIGUES JP, LE QUEAU D., MAZZEGA P., MENAUT J.C (eds) *Sociétés-Environnement. Regards croisés.* Paris. *L'Harmattan ; 2007 : 168-194.*

**Benoît M., 2007b.** Elaborations d'innovations territoriales pour protéger les ressources naturelles : de nouveaux objets et dispositifs de recherche pour les agronomes. In : AMIGUES JP, LE QUEAU D., MAZZEGA P., MENAUT J.C (eds) *Sociétés-Environnement. Regards croisés.* Paris. *L'Harmattan ; 2007 : 195-223.*

**Benoît, M. (2007c).** Les assolements co-produits de la réglementation et déterminants des états des ressources naturelles. In : Doussan I. (dir.), Dubois J. (dir.), *Conservation de la biodiversité et politique agricole commune de l'Union européenne.* Editions La Documentation Française, Collection : Monde européen et international : *231-252.*

**Schott, C. ; Mignolet, C. ; Rat, A. ; Ledoux, E. ; Benoît, M. (2007).** Modélisation des pratiques phytosanitaires sur le bassin versant de la Vesle. In : Oturan Mehmet A. (dir.), Mouchel J.M. (dir.), *Pesticides : impacts environnementaux, gestion et traitements.* Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées : 207-223. Benoît, M. (2007). Prairies et qualité des eaux : mesures parcellaires, assolement, et observatoires des pratiques. *Fourrages, 189 : 33-50.*

**Ducharne, A. ; Baubion, C. ; Benoît, M. ; Billen, G. ; Brisson, N. ; Garnier, J. ; Kieken, H. ; Lebonvallet, S. ; Ledoux, E. ; Mary, B. ; Mignolet, C. ; Poux, X. ; Sauboua, E. ; Schott, C. ; Théry, S. ; Viennot, P. (2007).** Long term prospective of the Seine River system : Confronting climatic and direct anthropogenic changes. In : Billen G., Garnier J., Mouchel J.M., Human activity and material fluxes in a regional river basin : The Seine River watershed. Seine Special Issue, *Science of the Total Environment, 375 (1-3) : 292-311.*

**Ledoux, E. ; Gomez, E. ; Monget, J.M. ; Viavattene, C. ; Viennot, P. ; Benoît, M. ; Mignolet, C. ; Schott, C. ; Mary, B. (2007).** Agriculture and groundwater nitrate contamination in the Seine basin, The STICS-MODCOU modelling chain. In : Billen G., Garnier J., Mouchel J.M., *Human activity and material fluxes in a regional river basin : The Seine River watershed.* Seine Special Issue, *Science of the Total Environment, 375 (1-3) : 33-47.*

**Billen, G. ; Garnier, J. ; Nemery, J. ; Sebilo, M. ; Sferratore, A. ; Barles, S. ; Benoit, P. ; Benoît, M. (2007).** A long-term view of nutrient transfers through the Seine river continuum. In : Billen G., Garnier J., Mouchel J.M., Human activity and material fluxes in a regional river basin : The Seine River watershed, Special Issue : *Science for the Total Environment, 375(1-3) : 80 – 97.*

**Mignolet, C.; Schott, C.; Benoît, M. (2007).** Spatial dynamics of farming practices in the Seine basin : Methods for agronomic approaches on a regional scale. In : Billen G., Garnier J., Mouchel J.M., Human activity and material fluxes in a regional river basin : The Seine River watershed. Seine Special Issue, *Science of the Total Environment, 375 (1-3) : 13-32.*

**Benoît M., Deffontaines J.P., Lardon S., 2006.** Acteurs et territoires locaux. Vers une géoagronomie de l'aménagement. *QUAE ed., 176 pages.*

**Benoît M. ; Brossier J. 2006.** Modéliser et agir dans des systèmes complexes : cas de l'agro-hydro-gestion. *In : Morin E. et Le Moigne J.L., Intelligence de la complexité. Epistémologie et pragmatique.* Editions de l'Aube, Collection Société et Territoire. Chapitre 3 : 322-326.

**Husson J.-P., Benoît M., 2004.** Les risques en systèmes de grandes cultures. IN *La géographie des risques dans le monde* (G. Wackermann, ed.) : Dossier n°4 : 287- 302.

**Mignolet C., Schott C., Benoît M., 2004.** Spatial dynamics of agricultural practices on a basin territory : a retrospective study to implement models simulating nitrate flow. The case of the Seine basin. *Agronomie 24 (2004) 219-236.*

**Benoît M., Claude C., 2002.** Approche méthodologique de l'organisation des systèmes de culture afin de préserver la qualité des eaux souterraines. *Revue Géographique de l'Est.* Tome XLII (3) : 111-125.

**Mari JF, Le Ber F, Benoît M, 2002.** Segmentation temporelle et spatiale de données agricoles. *Revue Internationale de Géomatique*, 12 (4) :439-460.

**Benoît M., Lefranc C., Bernard P.-Y., Husson J.-P., 2002.** De l'assolement observé à l'assolement à expliquer : agronomes et géographes à la croisée des préoccupations environnementales et paysagères. 2<sup>ème</sup> éditions des entretiens du Pradel : « **Agronomes et Territoires** » 12 et 13/9/2002. Publié aux Comptes-rendus de l'Académie d'Agriculture de France (en ligne sur [www.academie-agriculture.fr](http://www.academie-agriculture.fr))

**Mignolet C. ; Benoît M. ; Bornerand C. (2001a).** Différenciation du bassin de la Seine selon les dynamiques des systèmes de production agricoles. *Cahiers Agricultures*, 10 : 377-387.

**Mignolet C. ; Bornerand C. ; Benoît M. (2001b).** Dynamique spatiale et temporelle de l'activité agricole dans le bassin de la Seine au cours des trente dernières années. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 87 (1): 99-109.

**Benoît M., Bernard P.Y. (avec la collaboration de Küng-Benoît A., Lemaire Ph.), 2001.** Le tour de bassin d'alimentation. Une méthode interactive de communication pour la préservation de la qualité des ressources en eau. *Courrier de l'Environnement de l'INRA* 42 : 79-82

**Deffontaines J.-P., Benoît M., Brossier J., Chia E., Gras F., Roux M.(Ed.), 1993.** *Agriculture et qualité des eaux; diagnostic et propositions pour un périmètre de protection.* INRA : 334 p.



**PROTECTION DES RESSOURCES EN EAU ET DEVELOPPEMENT  
LOCAL :**

**transposer l'expérience acquise dans le domaine des eaux minérales**

Seizièmes Journées Techniques du Comité Français  
de l'Association Internationale des Hydrogéologues

**16-17 octobre 2009**  
**Palais Lumière, Evian, France**  
<http://www.cfh-aih.fr/>

***ARTICLES***

**POSTERS**



# Un projet de recherche pluridisciplinaire pour la connaissance du site carbo-gazeux de Quézac

**COURTOIS Nathalie<sup>(1)</sup>, AUDIGANE Pascal<sup>(2)</sup>, BOURGINE Bernard<sup>(2)</sup>,  
DEWANDEL Benoît<sup>(1)</sup>, GENNA Antonin<sup>(2)</sup>, LADOUCHE Bernard<sup>(1)</sup>,  
LE STRAT Paul<sup>(1)</sup>, LIONS Julie<sup>(2)</sup>**

(1) Brgm - 1039, rue de Pinville - 34000 Montpellier – France - [n.courtois@brgm.fr](mailto:n.courtois@brgm.fr)

(2) Brgm – Avenue Claude Guillemin – BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 02 - France

## 1. INTRODUCTION

### 1.1 Contexte

Comme la plupart des eaux minérales naturelles, celles de Quézac résultent de circulations profondes dans des aquifères complexes. Leur caractère carbo-gazeux ajoute une dimension supplémentaire. La connaissance de la structure et du fonctionnement de l'hydrosystème menant à la formation de ces eaux constitue un plus pour l'entreprise exploitante. C'est dans ce cadre que le Brgm mène un projet de recherche pluridisciplinaire axé sur l'acquisition de connaissances complémentaires pour approfondir la compréhension du fonctionnement du site de Quézac.

### 1.2 Méthodologie

Cet article propose une présentation globale de la méthodologie développée lors de ce projet de recherche. Elle combine des approches géologiques, géochimiques, et hydrogéologiques, déclinées en 4 principales étapes.

1. La compréhension géologique du site constitue à la fois la première étape et le cœur de l'ensemble du projet de recherche. Elle est basée sur des approches pétrographiques et structurales pour définir la géométrie et la nature des aquifères (socle, sédimentaire), les failles et fractures, la nature des contacts entre les différentes formations géologiques. L'objectif est de bâtir un modèle géologique conceptuel du site.
2. En seconde étape, l'analyse géologique conduit à la définition et à la construction d'un modèle géologique géométrique et numérique 3D, étape indispensable dans le cas d'un système aquifère complexe.
3. Un modèle hydrogéologique est élaboré en troisième étape, sur la base du modèle géologique 3D, et avec des hypothèses sur : (i) la nature, les géométries, et l'éventuel fractionnement des réservoirs et (ii) les circulations d'eaux et de gaz, les mélanges (réactifs ou non), entre les différents compartiments. Pour confirmer ou infirmer ces hypothèses, on a fait appel à différentes méthodes et outils : analyses géochimiques sur les eaux et les gaz (majeurs, traces et isotopes), analyses minéralogiques sur cuttings de forages, interprétation d'essais de pompage.
4. Enfin, sur la base des modèles géologique 3D et hydrogéologique conceptuel, deux modèles numériques séparés ont été élaborés : (i) un modèle hydrodynamique, dont le maillage et les couches sont directement tirés du modèle géologique 3D, et (ii) un modèle géochimique, qui simule « en batch » (sans écoulement) les réactions géochimiques susceptibles de se produire dans les réservoirs (mélanges d'eaux, contact avec l'encaissant, etc.). A travers ces modélisations, l'objectif est d'approfondir la compréhension du fonctionnement de l'ensemble de l'hydrosystème, à la fois sur les plans géochimiques et hydrodynamiques.

La méthodologie développée dans le cadre de ce projet de recherche pluridisciplinaire est résumée sur la figure suivante, avec ces 4 étapes, ainsi que les outils et méthodes utilisés (Figure 1).

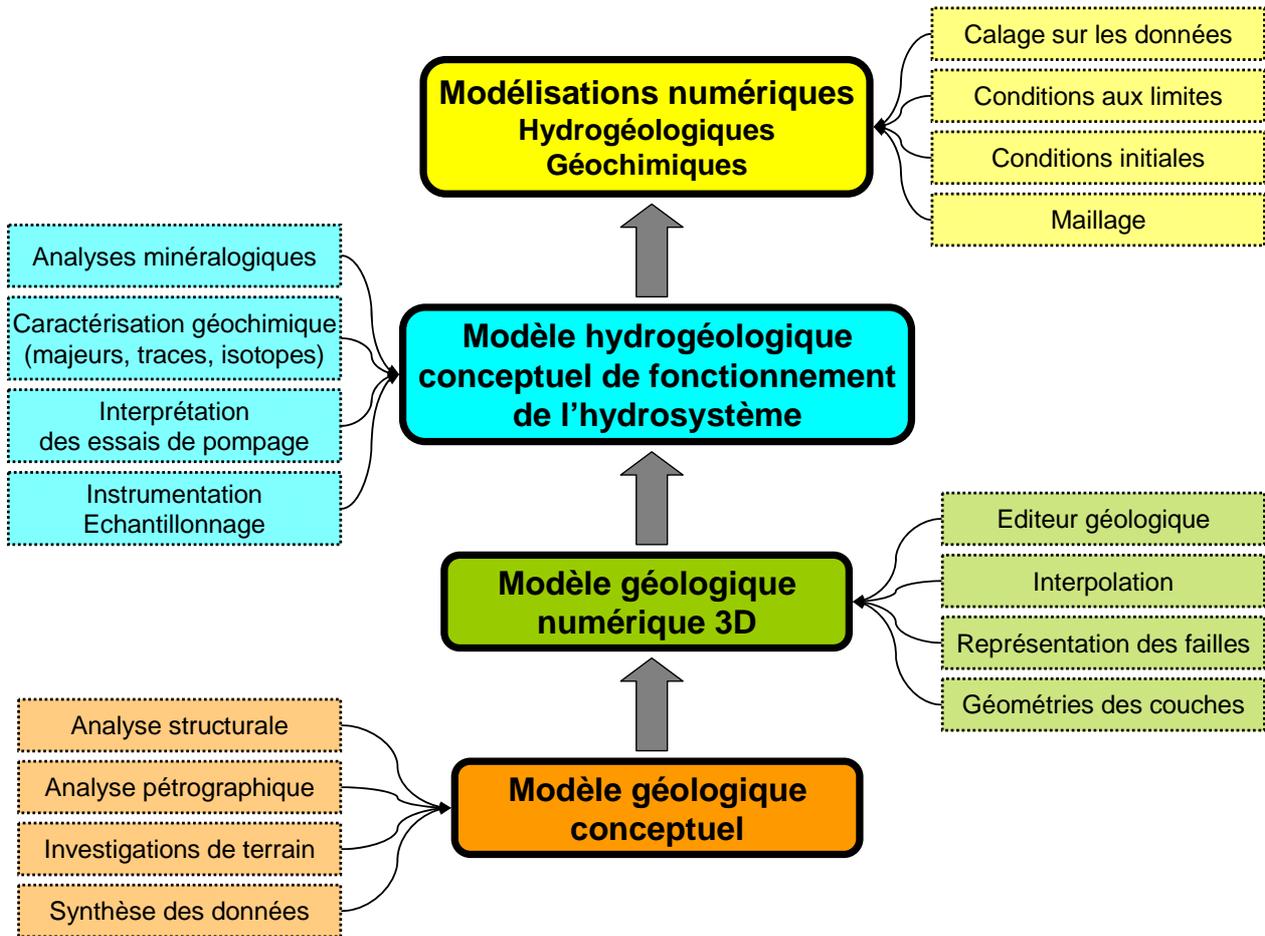


Figure 7 : Une approche pluridisciplinaire pour un projet de recherche

## 2. MODELE GEOLOGIQUE : DE L'ANALYSE DU CONTEXTE A LA MODELISATION NUMERIQUE 3D

### 2.1 Vers un modèle géologique conceptuel

L'approche géologique a été menée depuis l'échelle locale jusqu'à l'échelle régionale, afin de replacer la compréhension de la structure actuelle du site dans l'histoire géologique régionale. Cette approche fait appel à différents outils et méthodes :

1. synthèse bibliographique ;
2. investigations de terrain (affleurements, failles, brèches, etc.), analyse pétrographique, analyse structurale (microstations), interprétation de paysages ;
3. valorisation des forages existants (cuttings et diagraphies), pour identifier les différentes formations géologiques : épaisseurs, natures (présence de zones faillées, de brèches, etc.), et minéraux caractéristiques (analyses minéralogiques) ;
4. analyse des reconnaissances géophysiques existantes (électrique, sismique) sur le site, à la lumière des nouveaux concepts développés dans le cadre du projet de recherche.

L'analyse du contexte géologique conduit à l'élaboration d'un modèle géologique conceptuel du site, avec la définition des différentes formations géologiques, de leurs géométries respectives, et de leur structure d'ensemble. Une coupe géologique synthétique du site est présentée sur la figure suivante (Figure 2). Cette

coupe illustre le rôle primordial joué par les nombreuses failles identifiées à l'échelle du site, ainsi qu'à l'échelle régionale. Les failles les plus importantes sont majoritairement des failles normales, dont le jeu a conduit à une large structuration des formations géologiques, et à des décalages verticaux qui peuvent atteindre 250 m. Ces failles, initialement normales, ont acquis un caractère listrique lors des périodes de distension, caractère marqué par une forme convexe caractéristique, résultante de leur ancrage en profondeur dans des couches ductiles (schistes ampéliteux paléozoïques par exemple en ce qui concerne le socle) et de processus de cisaillement. Deux conséquences majeures résultent de la présence de ces failles listriques :

5. la présence associée de grabens et de failles conjuguées, conduisant à une « structure en fleur » (Figure 3) ;
6. leur ancrage, pour les plus profondes, dans les couches ductiles du socle (à une profondeur de l'ordre de 400 m, comme évaluée sur les profils sismiques), les désigne comme des drains potentiels des flux d'eaux minéralisées et/ou de gaz d'origine profonde.

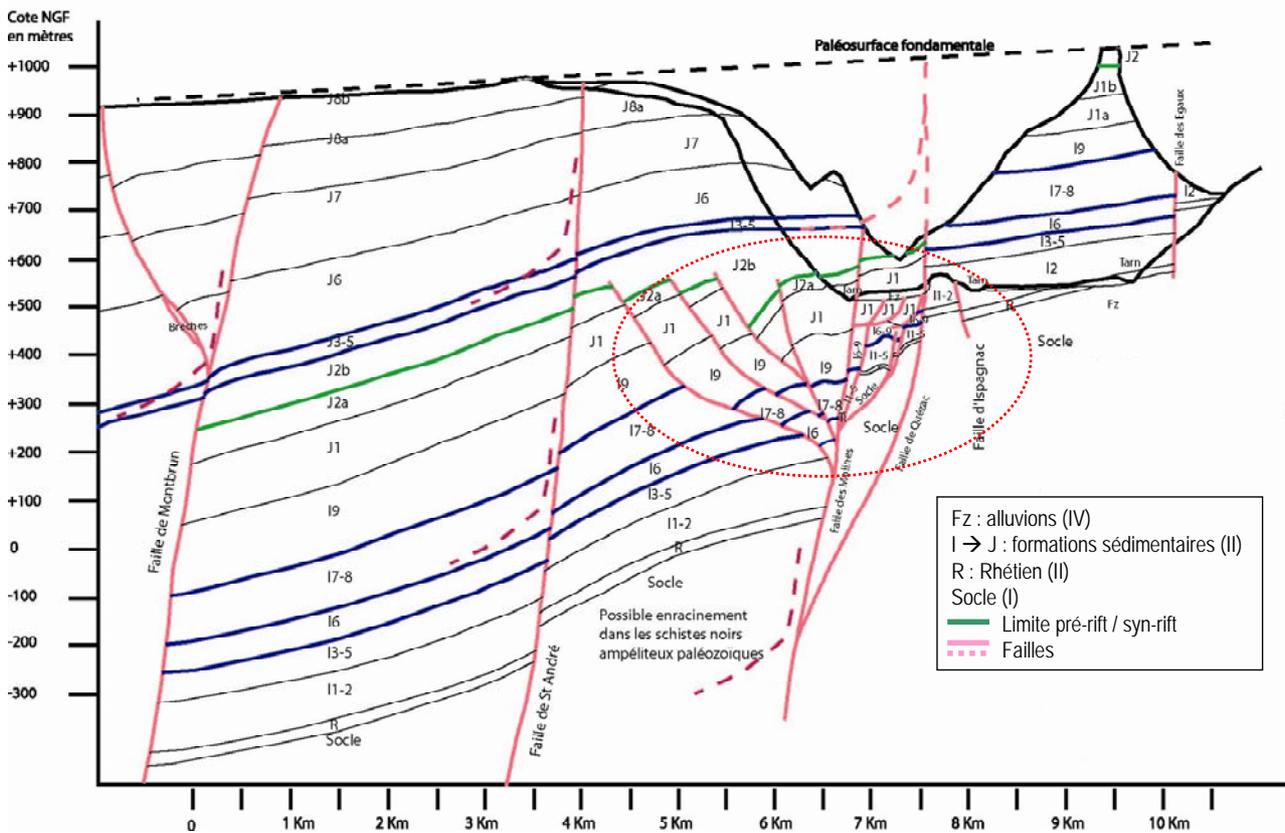


Figure 8 : Coupe géologique de synthèse

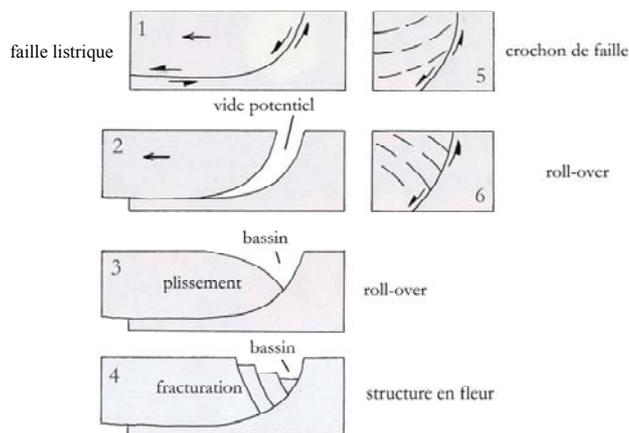


Figure 9 : Schéma de principe simplifié de la genèse de « failles en fleur »

## 2.2 Vers un modèle géologique numérique en 3D

Une fois élaboré un modèle géologique conceptuel cohérent, une version numérique en 3D peut être envisagée, selon trois étapes.

1. La première étape concerne la définition des objets géologiques à modéliser, car il n'est ni possible, ni nécessairement utile, de modéliser tous les éléments géologiques en détail. La modélisation est alors centrée sur les objets géologiques les plus importants pour l'objectif final visé, ici la compréhension du site, et sa restitution en 3D sur laquelle baser la modélisation hydrogéologique. Le modèle géologique retenu couvre un rectangle de 6 km x 7 km, incluant l'ensemble des forages existants, ainsi que les failles dont les jeux sont à prendre en compte.
2. La seconde étape concerne la compilation des données appropriées pour la modélisation, à l'aide du logiciel MultiLayer, développé par le Brgm : Modèle Numérique de Terrain au pas de 50 m x 50 m et avec une précision verticale de l'ordre de la dizaine de mètres, affleurements, points de contacts entre formations géologiques, traces des principales failles.
3. Enfin, la troisième et dernière étape concerne la modélisation numérique stricto sensu, qui consiste à construire un schéma 3D des failles et des formations géologiques qui tienne compte de l'ensemble des informations ponctuelles disponibles (affleurements, forages existants, cartes géologiques, etc.). Elle requiert la réalisation de cartes interpolées (iso-épaisseurs, iso-altitudes), dont la validité est contrôlée sur des coupes et des visualisations 3D.

La figure suivante montre des exemples de visualisation issus du modèle numérique 3D :

- le toit du socle (Figure 4a) fait apparaître des différentes « marches » qui résultent du jeu vertical des failles ;
- la figure 4b montre le toit de la formation carbonatée surmontant le socle, et fait apparaître le jeu vertical (250 m) de la faille majeure qui borde le méandre en rive droite.

Il est à noter que les failles identifiées comme listriques (cf. figure 2) ont été simplifiées en failles verticales dans le modèle numérique, d'une part du fait des incertitudes qui demeurent quant à leur forme réelle et à leur profondeur d'ancrage, et d'autre part du fait que la prise en compte d'une forme convexe aurait apporté plus de difficultés que de plus-value dans la modélisation hydrodynamique (cf. §4.1).

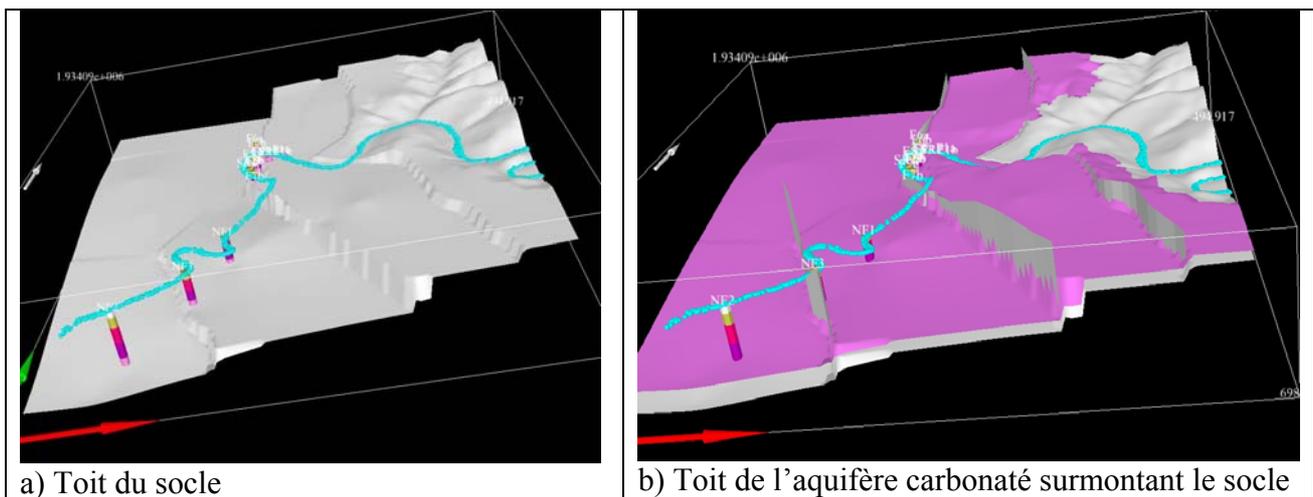


Figure 10 : Exemples de visualisation du modèle géologique numérique en 3D

## 3. MODELE HYDROGEOLOGIQUE CONCEPTUEL

### 3.1 Identification du modèle et estimation des paramètres aquifères

Le modèle géologique numérique 3D constitue une base essentielle pour l'élaboration d'un modèle hydrogéologique conceptuel de fonctionnement du système. L'identification de ce modèle est menée en

valorisant les données hydrogéologiques existantes, en particulier (i) les essais de pompages de courte et longue durée, et (ii) les données du suivi (débit, piézométrie, conductivité) assuré par la société exploitante. Les méthodes utilisées sont principalement (i) le diagnostic aquifère et l'interprétation des essais de pompage par des méthodes innovantes dérivées du domaine pétrolier (Bourdet et al., 1983, 1989 ; Deruyk et al., 1992 ; Schlumberger, 2002 ; Spane and Wurstner, 1993), et (ii) le traitement du signal sur les données historiques (chroniques longues). Ces méthodes permettent d'évaluer les phénomènes d'interférence entre les forages, et d'estimer les paramètres des différents « réservoirs » qui constituent le système : identification du(es) type(s) d'aquifères (isotrope, double porosité, etc.), effets de limites (alimentées, étanches, etc.) permettant d'identifier le rôle joué par les failles, paramètres hydrauliques (perméabilité, coefficient d'emmagasinement).

### 3.2 Caractérisation géochimique

Les outils géochimiques apportent une « brique » supplémentaire pour compléter la compréhension du fonctionnement, en permettant l'identification et la caractérisation des différents « pôles » qui contribuent aux ressources minérales carbogazeuses exploitées, selon deux pistes méthodologiques :

4. la caractérisation géochimiques des eaux et des gaz dissous à travers une large gamme d'outils : majeurs, traces, et surtout isotopes ( $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ , B, Sr,  $^{13}\text{C}$ , etc.) ;
5. la caractérisation minéralogique des différents réservoirs (socle, sédimentaire) sur la base d'échantillons de cuttings des forages existants ; l'objectif étant d'identifier les minéraux caractéristiques présents dans ces formations, et qui constitueront une donnée d'entrée pour la modélisation géochimique, que nous verrons plus loin dans l'article (cf. §4.2).

Un exemple d'utilisation des outils isotopiques est montré ci-après.

Les variations du rapport isotopique du strontium  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  apportent des informations précieuses sur (i) l'origine et les proportions de mélanges de différents types d'eau et (ii) la nature et l'intensité de l'interaction eau/roche liée aux phénomènes d'altération, dissolution, etc. La figure suivante (Figure 5) montre les signatures isotopiques sur la zone d'étude : (i) une source minérale carbogazeuse proche du site et utilisée comme « référence socle », qui apparaît la plus radiogénique, (ii) des sources karstiques issues des formations carbonatées, qui apparaissent les moins radiogéniques, et (iii) les eaux carbogazeuses exploitées. Celles-ci présentent une signature isotopique intermédiaire, ce qui suggère qu'elles peuvent s'expliquer par une contribution d'eaux minérales carbogazeuses issues du socle (flux profond) dans des formations carbonatées.

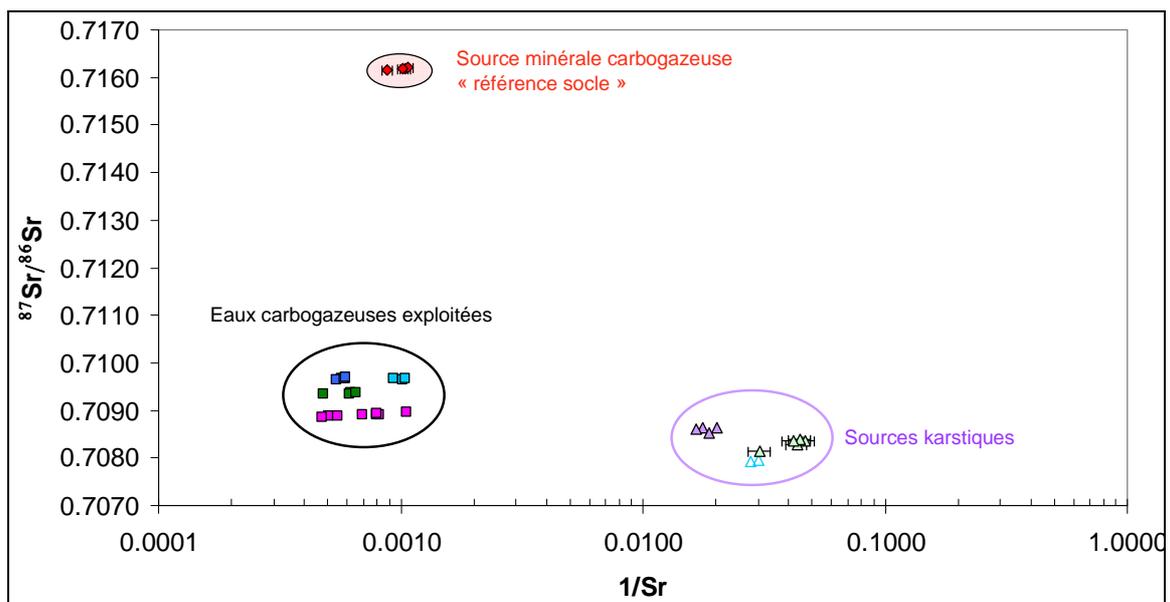


Figure 11 : Signatures isotopiques du strontium ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) sur la zone d'étude

## 4. MODELE HYDROGEOLOGIQUE

### 4.1 Modélisation hydrogéologique : écoulement et transport

Un modèle hydrogéologique numérique a été bâti avec le logiciel MARTHE, développé par le Brgm (Thiéry, 2007). La définition des formations géologiques (natures et géométries) ainsi que le maillage correspondant (Figure 6), sont directement issus du modèle géologique numérique 3D (cf. §2.2). Les propriétés hydrauliques (perméabilités, coefficients d'emmagasinement), sont celles qui ont été estimées d'après les essais de pompage (cf. §3.1).

Le modèle final contient 12 couches, soit 31 000 mailles à pas constant 20 m x 20 m. Le socle est supposé constituer un substratum imperméable, et les arrivées de flux d'eaux minéralisées et de CO<sub>2</sub> sont autorisées uniquement le long des failles qui sont prises en compte dans le modèle via les décalages des formations qu'elles ont engendrés. Comme leurs rôles respectifs de drains ou de limites étanches n'ont pas forcément pu être identifiés, ils sont alors testés sur des scénarios de modélisation, avec un calage sur les données historiques et les chroniques d'exploitation.

Le modèle prend en compte le transport, mais dans une hypothèse non-réactivité (c'est-à-dire sans interaction de l'eau avec l'encaissant). Pour cela, les teneurs en chlorures sont utilisées, cet élément étant jugé caractéristique des flux profonds, et conservatif. Des simulations de transport de chlorures effectuées avec une extrapolation pour les 10 prochaines années conduisent à des temps de simulation maximum de 45 mn.

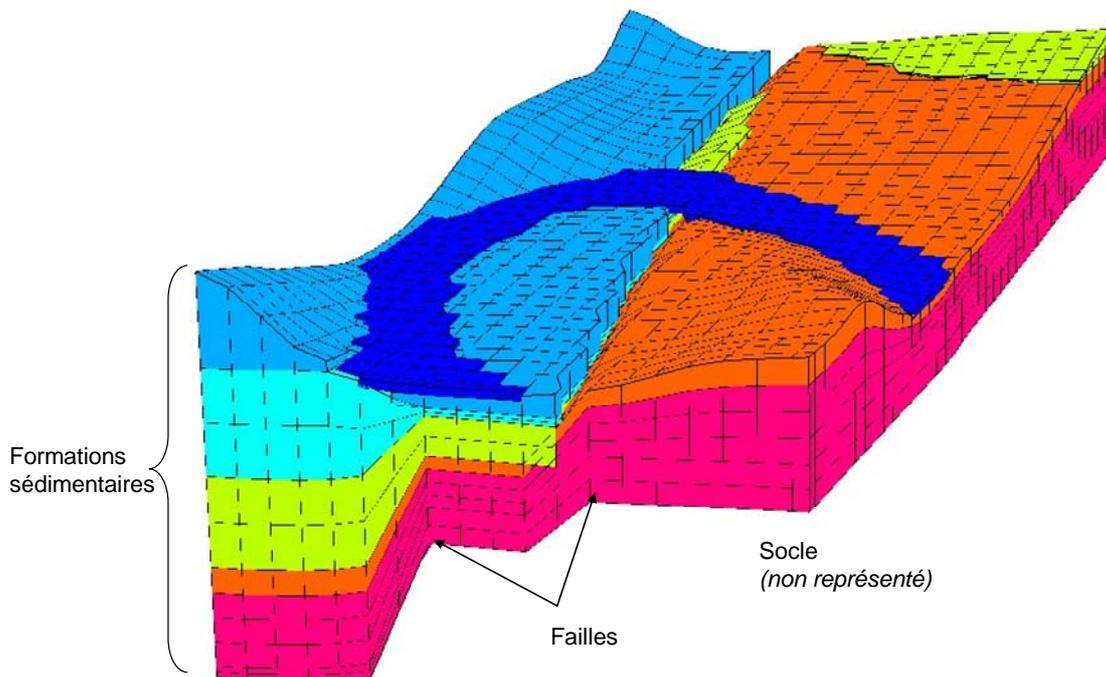


Figure 12 : Maillage du modèle hydrogéologique, calqué sur le modèle géologique numérique 3D

### 4.2 Modélisation géochimique

La caractérisation géochimique présentée dans la partie précédente (§ 3.2) a permis d'identifier les différents « pôles » (socle, et formations carbonatées) qui peuvent expliquer la signature des eaux minérales carbogazeuses exploitées, à partir d'un panel d'analyses menées sur des échantillons d'eaux et de gaz. Cependant, ces analyses ne permettent pas d'avoir accès à des « pôles purs », ce qui peut entraîner des incertitudes sur les processus géochimiques. La modélisation géochimique est donc utilisée pour (re)créer

ces « pôles purs », et reproduire toute la chaîne de processus (interactions eaux/roches, mélanges réactifs, etc.) qui conduisent aux eaux minérales actuelles (Figure 7). Les interactions géochimiques et les mélanges sont modélisés à l'aide du logiciel PHREEQC (Parkush and Appelo 1999), en supposant des équilibres instantanés et une absence d'écoulement (batch). Différents assemblages minéralogiques sont testés pour les réservoirs « socle » et « Hettangien carbonaté », sur la base des indications données par les analyses minéralogiques effectuées sur les cuttings de forages (cf. §3.2).

La première étape est de reproduire la composition « réelle » du flux d'eau minérale carbogazeuse d'origine profonde qui contribue à la ressource exploitée. Pour cela, nous avons utilisé la méthode globale d'estimation de température de réservoir proposée par Michard et al. (1981), basée sur l'élaboration d'un modèle géochimique permettant d'expliquer la composition chimique des eaux minérales sur la base d'un équilibre avec l'assemblage minéralogique équivalent du réservoir.

La figure 8a montre la composition de l'eau minérale en équilibre avec l'assemblage minéralogique « socle », modélisée pour différentes hypothèses de températures de réservoirs allant de 50 à 225 °C (lignes continues), et comparée aux teneurs mesurées à la source minérale qui sert de « référence socle » (triangles). L'assemblage minéralogique équivalent du réservoir « socle » est constitué de quartz, muscovite désordonnée, albite, phlogopite, microcline, barytine, fluorite, pyrite, et strontianite. En présence de CO<sub>2</sub> à la pression partielle équivalente à 6,8 bars, l'assemblage minéralogique permet de reproduire correctement les concentrations en Na et K à une température de 195°C du fait de l'équilibre avec les alumino-silicates sodiques (albite) et potassiques (micas, microcline). On note que les teneurs en Si, Sr, S et F sont quant à elles surestimées, cet écart étant probablement dû aux réactions géochimiques susceptibles d'intervenir lors de la remontée des eaux et de leur refroidissement, par exemple la précipitation de silice, de barytine ou de fluorite.

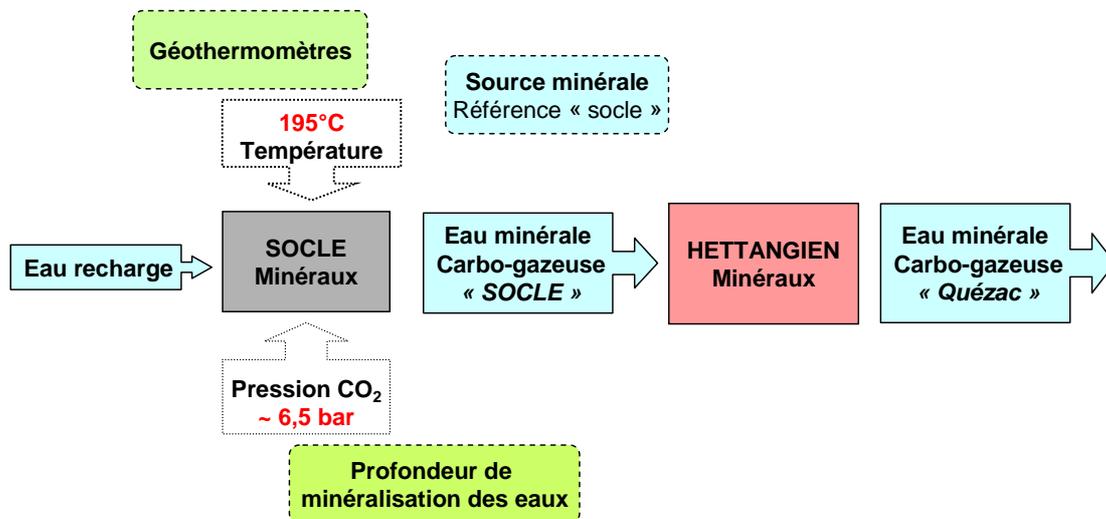


Figure 13 : Démarche de modélisation géochimique (logiciel PHREEQC)

La figure 8b montre la composition de l'eau minérale « socle » modélisée avec une genèse à 195°C (ligne rouge épaisse), suivie d'un refroidissement de 75°C à 10°C afin de simuler une remontée vers la surface (10°C étant proche de la température d'émergence de la source minérale « référence socle »). La précipitation de calcédoine, sidérite, barytine, et fluorite, ainsi que la mise à l'équilibre avec la dolomite, sont prises en compte dans le modèle, et permettent d'obtenir une bonne cohérence entre les teneurs finales modélisées et celles qui sont mesurées à la source minérale qui sert de « référence socle » (triangles).

Cette première étape de modélisation a permis d'évaluer la température de mise à l'équilibre des fluides profonds autour de 195°C sous pression partielle de CO<sub>2</sub> de 6,8 bars. En considérant un gradient géothermique moyen de l'ordre de +3°C à +4°C/100 m, on peut ainsi estimer que la profondeur du réservoir est de l'ordre de 4 à 7 km.

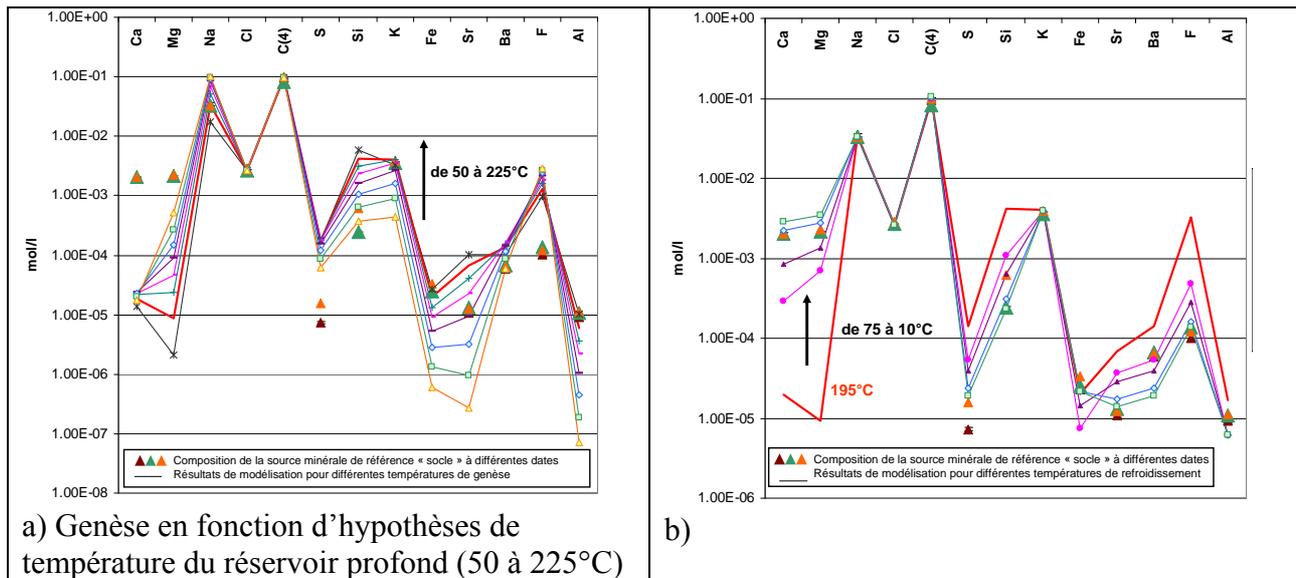


Figure 14 : Compositions modélisées de l'eau carbogazeuse « socle » en équilibre avec l'assemblage minéralogique équivalent du réservoir « socle »

## 5. CONCLUSION

Ce projet de recherche pluridisciplinaire a permis d'améliorer très significativement la connaissance et la compréhension du système minéral carbogazeux exploité, et d'en proposer un modèle conceptuel cohérent des points de vue géologique, structural, hydrogéologique et géochimique. Les modélisations numériques ont permis : (i) d'identifier la chaîne des processus géochimiques (interactions eaux/roches, mélanges réactifs) qui mène aux eaux minérales exploitées, et (ii) de quantifier les flux d'eau pendant les phases de production. Au final, des scénarios d'exploitation ont été proposés pour les 10 prochaines années.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bourdet, Whittle T.M., Dougals, A.A., Pirard V.M., (1983).**- A new set of type curves simplifies well test analysis, World Oil.
- Bourdet D., Ayoud J.A. and Prirard Y.M., (1989).**- Use of pressure derivative in well-test interpretation. SPE, 293-302.
- Deruyck B., Ehlig-Economides C. and Joseph J., (1992).**- Testing design and analysis. Oilfield abd analysis. 28-45.
- Maréchal J.C., B. Dewandel, K. Subrahmanyam, (2004).**- Contribution of hydraulic tests at different scale to the characterisation of fracture network properties in hard-rock aquifers. *Water Resources Research*, vol.40 W11508, 1-17.
- Michard, G., Fouillac, C., Grimaud, D. et al. (1981).**- Une méthode globale d'estimation des températures des réservoirs alimentant les sources thermales. Exemple du Massif Central Français: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45 :1199-1207.
- Parkhurst, D.L. and Appelo, C.A.J. (1999).**- User's guide to PHREEQC (version 2) -a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: U.S. Geol. Surv. Water-Resources Investigations Report 99-4259, 312 p.
- Schlumberger. (2002).**- Well test interpretation. Schlumberger Rep., 122 p.
- Serra, H., Sanjuan, B. (2004).**- Synthèse bibliographique des géothermomètres chimiques appliqués aux eaux géothermales. Rapport final. BRGM/RP-52430-FR.
- Spane F.A. and Wurstner S.K., (1993).**- DERIV: a computer program for calculating pressures derivatives fir use in hydraulic test analysis.
- Thiery, D. (2007).**- Tutorial for the WinMarthe v4.0 pre-processor. BRGM/RP-54652-EN.

# Parc Naturel Hydrogéologique du Forchat (Haute-Savoie, France) : Contexte, cadre géographique, hydrogéologie et outil d'aide à la décision

Bertrand DEVILLE

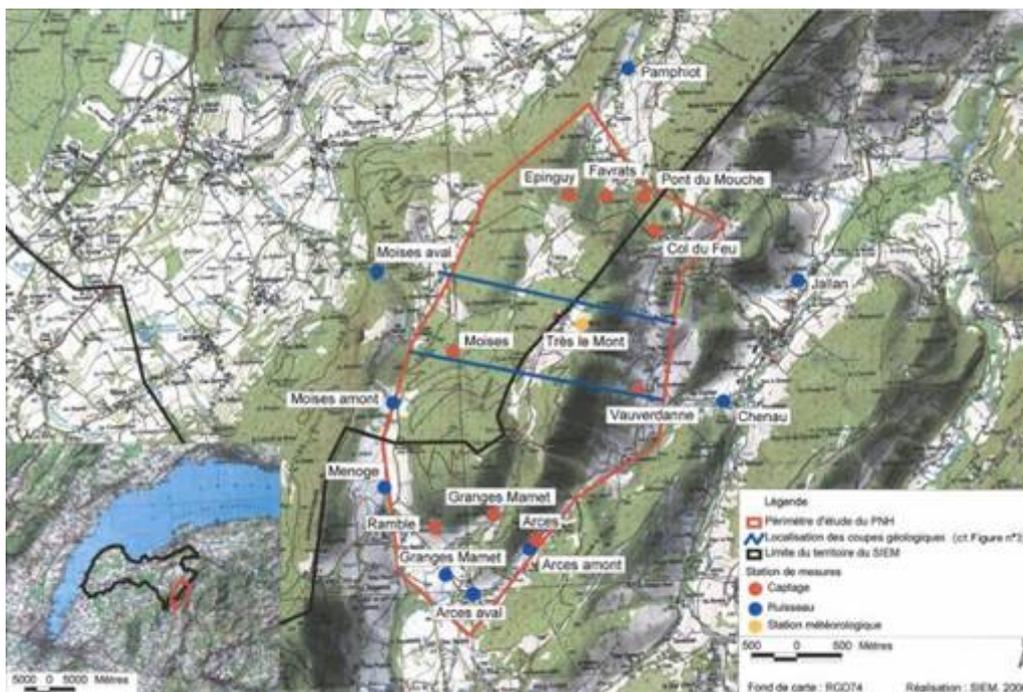
([bdeville@eaux-moises.com](mailto:bdeville@eaux-moises.com))

Syndicat Intercommunal des Eaux des Moises  
Zone industrielle  
74550 PERRIGNIER

L'apparition de la procédure des périmètres de protection autour des captages d'eau potable a pour objet de protéger les ressources en eau contre les risques de pollution et de surexploitation. Dans la pratique, elle se heurte à une appropriation difficile voire à des conflits entre acteurs locaux. En moyenne montagne, le constat est réel. D'un côté, ces espaces peuvent constituer de véritables châteaux d'eau. De l'autre, l'érosion des versants peut donner des pics de turbidité au niveau des sources et le développement des activités humaines entraîne des réflexions sur les impacts éventuels sur les hydrosystèmes.

## 1. CONTEXTE

En 2003, les communes de Draillant, Habère-Poche, Lullin et Orcier, se sont associées avec le Syndicat Intercommunal des Eaux des Moises (SIEM) pour pérenniser les ressources en eau du massif du Forchat. Pour cela, les structures envisagent la création d'un espace protégé, le Parc Naturel Hydrogéologique (PNH) du Forchat. Le périmètre d'étude (cf. Figure 1) constitue une entité hydrogéologique de 12 km<sup>2</sup> au sein de laquelle on dénombre 8 sources d'eau potable qui peuvent alimenter annuellement environ 40 000 personnes.

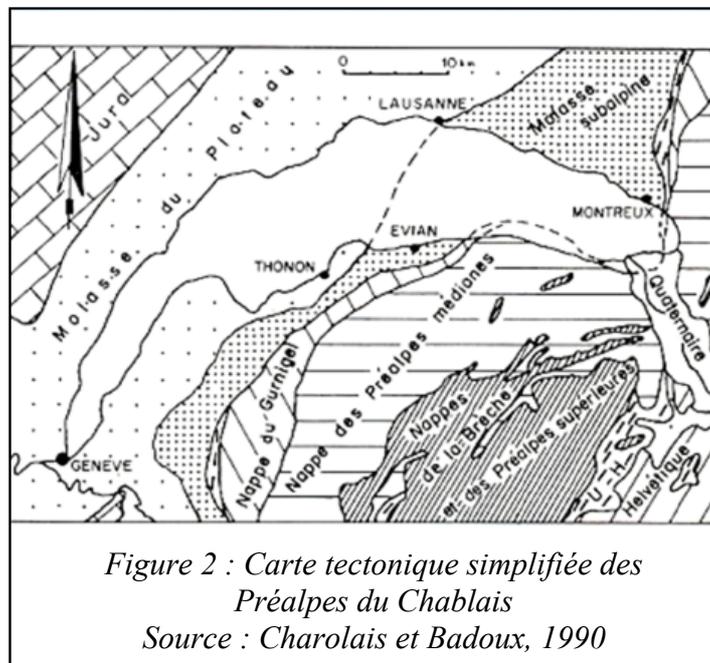


## 2. CADRE GEOGRAPHIQUE

### 2.1 Contexte géologique et géomorphologique

Les Préalpes du Nord se caractérisent par la superposition de nombreuses nappes de charriage dont celle des Préalpes médianes (cf. Figure 2). Cette unité présente à la fois de grandes variations de faciès et de nombreux plis symétriques souples dont l'anticlinal du Forchat (cf. Figure 3). Le cœur de la structure est composé par les roches du Trias supérieur (Dolomie, cargneule et gypse). Puis, on observe les schistes noirs du Rhétien, les marnes et les calcaires marneux de l'Hettangien, et les calcaires du Lias. L'ensemble est partiellement recouvert par des dépôts morainiques hérités par les phases de glaciation et de déglaciation durant le Quaternaire.

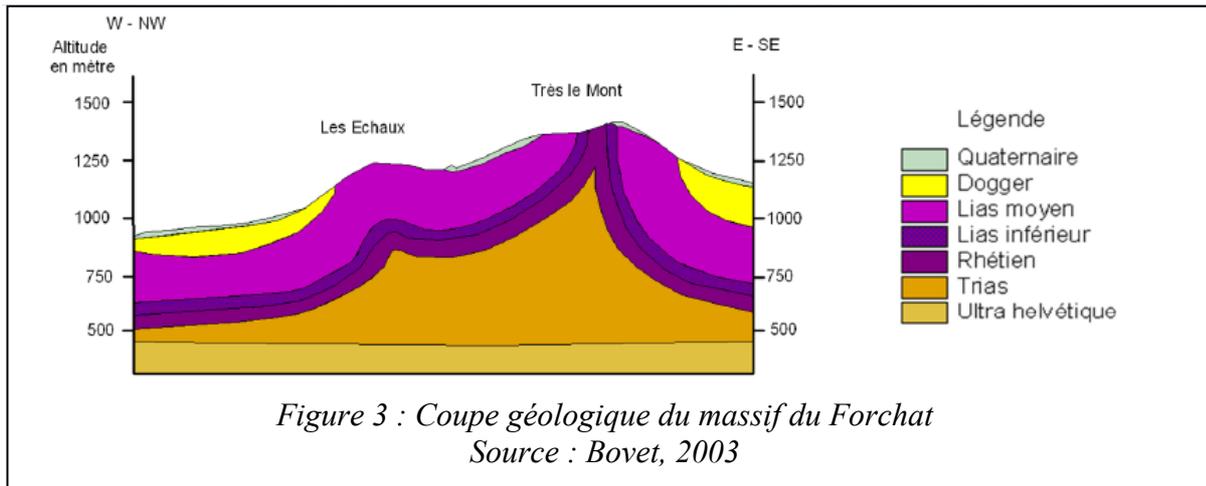
L'empreinte des héritages glaciaires et périglaciaires se perçoit dans le paysage en-dessous de 1350 m. avec la présence de moraines de fond et de blocs erratiques. La moraine a perdu parfois son argile par délavage. De nombreuses traces d'érosion subsistent comme des cannelures, des éboulis, des sillons et des ravines de diffluence.



### 2.2 Contexte climatique et biogéographique

La région lémanique est sous l'influence du régime météorologique du Sud-ouest, provoquant de fortes précipitations au printemps et en été. A 350 m. d'altitude, il pleut 990 mm d'eau par an avec un gradient de 60 mm/100 m. La température moyenne annuelle est de 11.2°C avec un gradient de -0.5°C/100 m. Le taux d'humidité annuelle varie peu, il se situe autour de 80 %.

Le Forchat se situe dans l'étage montagnard (série de la hêtraie-sapinière). Au-delà de 1500 m. d'altitude, nous atteignons l'étage subalpin. Les essences forestières principales sont l'épicéa, l'hêtre et le sapin. Un certain nombre de parcelles ont été reboisées vers 1950 en épicéa. Il ressort de ce contexte des sols variés (rendzine, podzol, brun calcique).



### 3. HYDROGEOLOGIE

D'un point de vue hydrogéologique, les eaux souterraines se localisent principalement dans le réservoir puissant des calcaires du Lias. Afin d'améliorer la connaissance des aquifères, de préciser l'état sanitaire des ressources et de caractériser l'impact quantitatif des prélèvements sur les milieux aquatiques, une étude hydrogéologique est en cours. Financée par l'Agence de l'Eau, la Région Rhône-Alpes, le département de la Haute-Savoie et les collectivités locales (SIEM), l'étude repose sur le suivi de 17 points de mesures pendant un cycle hydrologique (cf. Figure 1).

Concrètement, une mesure régulière et continue du débit aux points de mesures est effectuée afin de quantifier les volumes écoulés, les volumes potentiellement exploitables, les temps de transit, les débits d'étiage, et de façon qualitative les relations qui existent avec l'environnement. Des analyses physico-chimiques, bactériologiques et isotopiques sont réalisées afin de préciser la délimitation des bassins versants, les relations entre pertes et exutoires, l'origine profonde ou superficielle des eaux, les conditions d'infiltrations (lente, rapide, différée), le temps de séjour et la vitesse de circulation, les impacts anthropiques.

### 4. OUTIL D'AIDE A LA DECISION

En 2004, un diagnostic pastoral a été réalisé par la Société d'Economie Alpestre, la Chambre d'Agriculture et un hydrogéologue agréé. L'étude a révélé le problème de l'alimentation en eau du bétail sur l'alpage de Très le Mont et elle a proposé la mise en place d'abreuvoirs. Afin de faciliter la prise de décision et de définir la localisation et le nombre d'installation, une modélisation spatiale a été conçue en 2 étapes.

Le premier modèle a cherché à préciser les zones favorables et le second à calculer le temps nécessaire aux bovins pour se rendre à l'abreuvoir le plus proche. Pour une implantation défavorable (cf. Figure 4), les critères suivants ont été retenus :

- Plus de 20 % de couverture boisée et sols nus
- Pentés supérieures à 40 %
- Sols sensibles (rendzines, dolines, zones humides)
- Moins de 50 m. du bâti, moins de 10 m. des sentiers et moins de 30 m. des cours d'eau

Pour calculer le temps de parcours des bovins (cf. Figure du dessous), les critères suivants ont été retenus :

- Sur de l'herbe, un bovin met 1 secondes pour parcourir 1 m.
- Dans une couverture boisée de 0 à 20 %, un bovin met 2 s/m.
- Dans une couverture boisée de 20 à 50 %, un bovin met 3 s/m.
- Au-delà de 50 % de couverture boisée, un bovin n'avance pas
- Sur des pentes inférieures à 10°, un bovin ne perd pas de vitesse
- Sur une pente comprise entre 10 et 25°, un bovin perd 1s/m.

- De 25 à 35°, un bovin perd 2 s/m. puis de 35 à 40°, il perd 3 s/m.
- De 40 à 45°, un bovin perd 4 s/m. et de 45 à 50°, il perd 5 s/m.
- Au-delà de 50°, le bovin n'avance pas

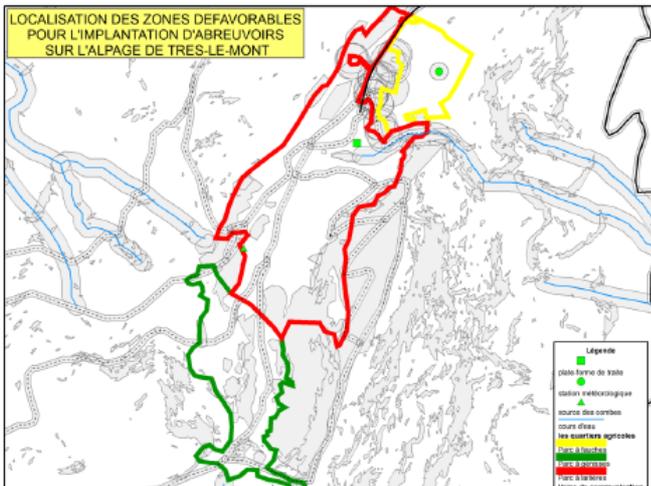


Figure 4 : Localisation des zones défavorables à l'implantation d'abreuvoirs sur l'alpage de Très le Mont  
Source : Bovet, 2003

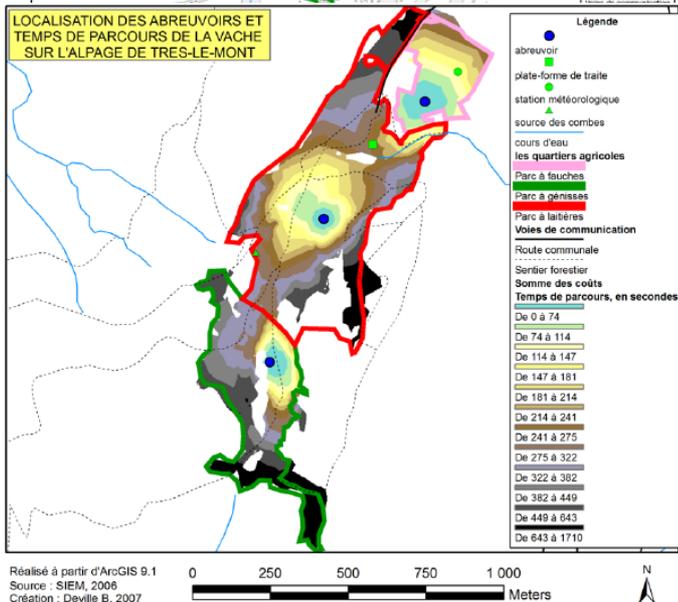


Figure 5 : Localisation de trois abreuvoirs et temps de parcours de la vache sur l'alpage de Très le Mont  
Source : Bovet, 2003

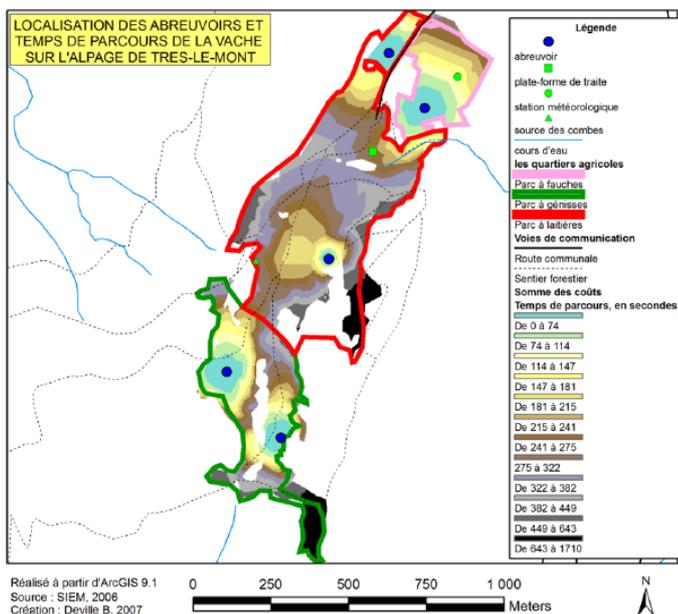


Figure 6 : Localisation de cinq abreuvoirs et temps de parcours de la vache sur l'alpage de Très le Mont  
Source : Bovet, 2003

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

---

**Bovet A. (2003).** "Rapport sur la structure hydrogéologique de l'Espace Forchat". Rapport 1ère année ESIGEC, Chambéry.

**Charolais J. et Badoux H. (1990).** "Guides géologiques régionaux. Suisse lémanique, Pays de Genève et Chablais". Paris, Masson.

**Deville B. (2002).** "Avenir de la qualité des eaux souterraines dans le Bas-Chablais". Maîtrise de Géographie, Chambéry  
Dunoyer F. (2003). "Caractérisation des sols et du bassin versant de la source des Moises". Licence IUT Montagne, Chambéry

**Dray M. (1970).** " Etude hydrogéologique du quaternaire de la région de Thonon". Thèse de Doctorat, Paris VI.

**Jéremie (1976).** "Contribution à l'étude des paramètres hydrologiques du bassin lémanique". Thèse de Doctorat, Paris VI.

**Régie Départementale d'Assistance de la Haute-Savoie (2004).** "Programme d'intervention pour l'étude de la structure et du fonctionnement des aquifères du Mont Forchat". Annecy.

**Société d'Economie Alpestre (2004).** "Diagnostic pastoral de l'alpage de Très le Mont". Annecy.



# Périmètres de protection en Afrique : Exemple de la source Tangui (Cameroun)

A.Gutierrez<sup>(1)</sup>; P.Prouveur<sup>(2)</sup>; S.Nouadjou<sup>(2)</sup>

(1) BRGM – Service Eau – a.gutierrez@brgm.fr

(2) Société des Eaux Minérales du Cameroun (SEMC)

**En Afrique, les périmètres de protection existent parfois dans les textes réglementaires mais ils sont rarement appliqués sur le terrain. Le secteur privé joue un rôle précurseur dans ce domaine.**

## 1. PROTEGER LA RESSOURCE POUR PROTEGER LA SANTE.

L'alimentation en eau des populations en quantité suffisante a longtemps été la préoccupation principale des



autorités, devant les aspects qualitatifs. Les captages fréquemment situés à proximité des villes pour des facilités d'adduction ont progressivement été envahis par le tissu urbain. La fourniture d'une eau propre à la consommation est devenue un challenge de plus en plus difficile face au développement rapide et souvent anarchique des centres urbains, à l'assainissement défailant de ces zones périphériques et au développement croissant des industries. L'absence de protection des ouvrages de captage ainsi que leur réalisation technique médiocre constitue une menace pour la santé publique des populations concernées. L'Unicef considère qu'une part importante de la mortalité infantile est imputable aux maladies associées à

l'eau, en particulier la diarrhée, l'une des deux causes principales de décès chez l'enfant de moins de 5 ans avec la pneumonie.

L'OMS et l'Unicef classifient les ouvrages tubés et protégés dans les critères d'amélioration de la distribution d'eau, mais cette classification est délicate à considérer en l'absence de la mise en application d'une réglementation spécifique. S'il est aisé en France de comptabiliser les ouvrages bénéficiant d'un périmètre de protection, l'exercice est bien différent dans les pays africains. Ainsi, il serait bien ambitieux de prétendre traiter le sujet des périmètres de protection en Afrique vue l'hétérogénéité des réglementations lorsqu'elles existent et le décalage entre la législation et le terrain. Les quelques exemples présentés ici ont pour seul objectif d'illustrer une situation dans laquelle la protection des captages apparaît exceptionnelle. Seul le secteur privé a pris la mesure du danger et tente, comme au Cameroun, de prévenir les risques de pollution par l'instauration de périmètres de protection.

## **2. UNE LEGISLATION EN PROGRES MAIS DONT LA MISE EN APPLICATION FAIT DEFAUT.**

Les périmètres de protection constituent la mesure réglementaire principale en matière de protection des captages (puits, forages, sources) destinées à l'alimentation humaine contre les pollutions de surface. Elle consiste en la détermination de surfaces (généralement sur des critères hydrogéologiques) à l'intérieur desquelles certaines activités peuvent être interdites ou réglementées.

Plusieurs états africains ont introduit dans leurs textes réglementaires des mesures de protection des captages d'eau potable (cf Tableau 1). C'est au Maghreb que l'avancement semble le plus marqué. Les périmètres de protection y sont inclus dans les textes de lois depuis longtemps. En Algérie, le principal texte législatif constituant l'établissement des périmètres de protection date de 1983. En Tunisie, le texte de loi date de 1975. Tous deux reprennent le modèle français. Le Maroc, en revanche, en est plus éloigné. Il distingue des périmètres de protection quantitative (articles 49 et 50 de la loi sur l'eau) de périmètres pour la protection qualitative de la ressource en eau souterraine (article 63). Pour les premiers des périmètres d'interdiction peuvent être instaurés face à une situation de surexploitation des nappes. Pour les seconds, le périmètre immédiat a pour objet une protection vis-à-vis des pollutions bactériennes tandis que le périmètre rapproché vise à protéger le captage des pollutions d'origine chimique.

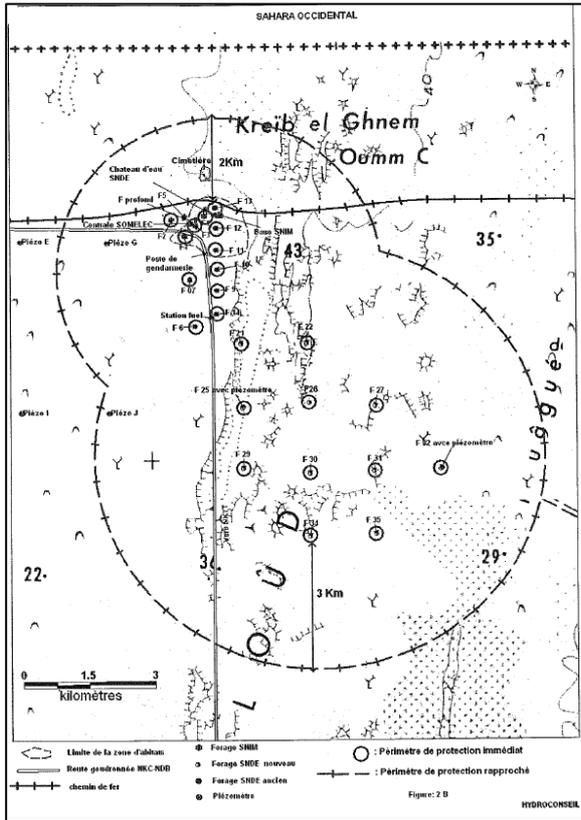
En Mauritanie, l'article 40 du Code de l'eau définit le principe de périmètres de protection dans ce pays. Au Tchad, les articles 20 à 27 du code de l'eau définissent l'objectif (protection qualitative et quantitative) et les servitudes applicables aux périmètres de protection, fixés par arrêtés ministériels. En pratique cependant ces périmètres ne sont pas connus des opérateurs locaux. Au Mali et au Burkina, la situation semble identique. A Madagascar, le code de l'eau définit les trois périmètres immédiat, rapproché et éloigné. Au Bénin, la réflexion est en cours. En Cote d'Ivoire, la Loi 98-755 du 23 décembre 1998 assure: la préservation des écosystèmes aquatiques et des zones humides; la protection, la mobilisation et la gestion des ressources en eau; le développement et la protection des aménagements hydrauliques; la valorisation de l'eau et sa répartition entre les divers usages.

Dans ces pays de l'Afrique francophone, les réglementations lorsqu'elles existent sont calquées sur la loi sur l'eau française de 1992, plus ou moins modifiée, comprise ou étendue. Les décrets d'application restent vagues et parfois confus. Ainsi au Cameroun, le décret N°2001/163/PM du 8 Mai 2001 définit le périmètre immédiat comme la zone dans laquelle les ouvrages peuvent être atteint par tout polluant sans que celui-ci puisse être dégradé, dissout (!) ou retiré de manière efficace. Le périmètre de protection rapproché consiste en tout ou partie du bassin susceptible d'alimenter le captage et le périmètre éloigné est une aire de contrôle « hors zone de surveillance ». A Madagascar, le décret N° 2003/940 étend les périmètres de protections aux « impluviums, retenues de barrages, réservoirs enterrés » qui participent à l'alimentation en eau potable : des domaines parfois très vastes peuvent alors être concernés. En conséquence, les lois peuvent être interprétées de manière variable et la volonté politique de leur mise en application est souvent absente. Dans la plupart des cas, sur le terrain, même le périmètre de protection immédiat fait défaut. La raison majeure en est que les textes législatifs ne définissent que des principes généraux difficilement applicables sur le terrain.

Dans certains pays cependant, des ressources souterraines ont fait l'objet de protection plus avancées. La Mauritanie a institué des périmètres de protection autour de captages stratégiques. Ainsi, des arrêtés ministériels de 2005 fixent les périmètres de protection rapprochés du champ captant d'Idini qui alimente Nouakchott (Arrêté N° 2057), ainsi que des captages de 6 autres villes mauritaniennes (cf Figure 1).

En cote d'Ivoire, Le gouvernement a pris des mesures pour empêcher la pollution des ressources en eau douce dans la région de la capitale Abidjan, en délimitant un périmètre de protection de la nappe phréatique, et en soumettant tout forage à autorisation.

Au Maroc, l'ONEP – principal organisme national de production d'eau potable- a sollicité de la coopération allemande un appui pour la définition de périmètres de protection comme par exemple à Sidi Taïbi, proche de Kénitra (ONEP/GTZ, 1995 ; Echaïbi, 2005), Oulad Teïma dans la plaine du Souss (ONEP/GTZ, 1998), ou de la ville de Rich à l'ouest d'Errachidia (ONEP/SCET, 2000). Mais les experts locaux soulignent que, si les instruments juridiques et législatifs sont bien développés au Maghreb, il manque un cadre institutionnel pour leur mise en place sur le terrain (El Bennoury, 2002).



L'efficacité de ces mesures est parfois contestée (Hasani et Mebrouk, 1999). D'une manière générale, l'absence de politique globale de gestion et de protection de la ressource participe à l'inefficacité de mesures ponctuelles plus ou moins adaptées au contexte hydrogéologique. L'ignorance des textes de loi, la multiplicité des intervenants (administrations, pouvoirs locaux, utilisateurs), les conflits d'usage et de propriété, le manque de sensibilisation des collectivités locales, les contraintes économiques limitent considérablement la mise en place des périmètres de protection.

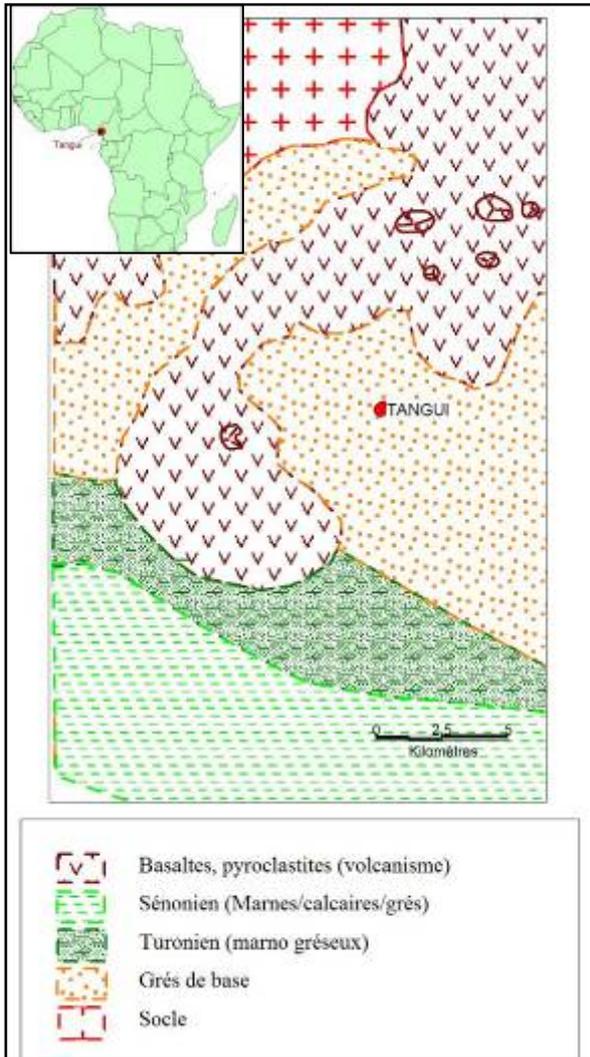
Figure 1 : Périmètre de protection de Boulanoir (Mauritanie).

Pays	Lois
Algérie	Loi n° 05-12 du 4 Août 2005 (Articles 38 à 42). Loi du 5 février 1983 (article 43) sur la protection de l'environnement. Loi 83.17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux (modifiée par l'ordonnance n° 96-13 du 15 juin 1996)
Cameroun	Loi n° 98 / 005 du 14 avril 1998 portant régime de l'eau Décret N°2001/163/PM du 8 Mai 2001
Cote d'Ivoire	Loi 98-755 du 23 décembre 1998
Madagascar	Loi 98-029 du 20 janvier 1999 portant code de l'eau. Décret N°2003/940
Maroc	Loi 10-95 sur l'eau du 20 septembre 1995 (Articles 49, 50 et 63). Décret n° 2-97-657 du 4 février 1998 (Articles 1 à 15)
Mauritanie	Loi n°2005-030 du 2 Février 2005 (Article 40)
Tchad	Loi n° 016/PR/99 du 18 Août 1999 (Articles 20 à 27)
Tunisie	Loi n°16-75 du 31 mars 1975 (code des eaux) Article 121. Modifié et amendé par les lois 87-35 du 6 juillet 1987, 88-94 du 2 Août 1988 et 2001-116 du 26 novembre 2001

Tableau 1 : Quelques références réglementaires concernant les périmètres de protection en Afrique

### 3. LE SECTEUR PRIVE DONNE L'EXEMPLE

Soucieux de préserver une ressource menacée par la modernisation des activités agricoles ou l'extension des cités, les embouteilleurs d'eau sont parmi les premiers à faire appliquer les textes réglementaires. Ainsi, la Société des Eaux Minérale du Cameroun qui exploite et embouteille l'eau minérale naturelle Tanguai extraite par deux captages de 150 m de profondeur a-t-elle effectué en 2006 auprès du ministère de l'Industrie, des Mines et du Développement Technologique une demande d'attribution d'un périmètre de protection dont l'étude préalable à la délimitation a été confiée au BRGM (Gutierrez, 2007).



L'aquifère capté à Tangui est constitué de plusieurs niveaux gréseux relativement profonds appartenant aux « grés de base » (cf. figure 2) qui contiennent une nappe, localement captive dont l'alimentation semble provenir d'infiltration d'eau percolant à travers des coulées volcaniques de surface, ainsi que de circulations profondes au contact grés/socle. Le socle affleure à moins de 10 km au nord de Tangui. La nappe est artésienne vers le sud ouest (Mbanga).

Les grés sont drainés par les cours d'eau de surface au nord-ouest et au sud-est (rivières Mungo et Mbomé). Une ligne de partage des eaux sépare ainsi deux bassins souterrains. L'origine incertaine de la recharge ainsi que les incertitudes sur les directions d'écoulement liées au faible nombre de points d'observation de la nappe conduisent à considérer un vaste bassin hydrogéologique, résultant de plusieurs hypothèses sur les écoulements souterrains.

Figure 2 : Esquisse géologique.

En surface, les sources de pollution potentielles sont constituées de l'axe routier Douala – Bafoussam, et de l'occupation du sol des terrains volcaniques voisins, essentiellement agricole. D'immenses bananeraies dont certaines existent depuis plus de 50 ans, telles les plantations du Haut Penja, à 5 km au nord-est poussent sur ces formations volcaniques à grands renforts de pesticides et de fertilisants. Néanmoins, l'aquifère apparaît comme faiblement vulnérable vis-à-vis des pollutions depuis la surface en raison de son caractère

captif et des faibles vitesses de l'écoulement souterrain. Le danger réside davantage dans le risque de réalisation de forages mal conçus dans le voisinage (tel le forage non autorisé de Mbanga, 5 km à l'ouest).

L'ensemble des considérations hydrogéologiques a amené à la proposition des trois périmètres (cf. figure 3) intégrant les deux captages distants seulement de 150 m :

- un périmètre immédiat qui coïncide avec la structure existante (une surface arborée de 2 ha environ bordée de murailles),
- un périmètre rapproché assimilé à un cercle de 300 m de rayon, calculé sur la base des isochrone 365 jours pour chacun des 2 captages,
- un périmètre éloigné constitué de la zone d'appel des captages, tenant compte des différentes hypothèses sur les écoulements et s'étendant jusqu'à la ligne de partage des eaux.

#### 4. CONCLUSION

Le cas de Tangui illustre la difficulté de déterminer, sur le plan technique, des périmètres de protection dans un contexte africain. Le faible nombre de points d'observation, le manque d'information hydrogéologique, l'absence de contrôle des ouvrages réalisés (en dehors des forages de Tangui), induisent un surdimensionnement des zones d'appel pour tenir compte de toutes les incertitudes. Pourtant, les aspects techniques ne sont pas les plus difficiles dans l'établissement des périmètres de protection en Afrique.

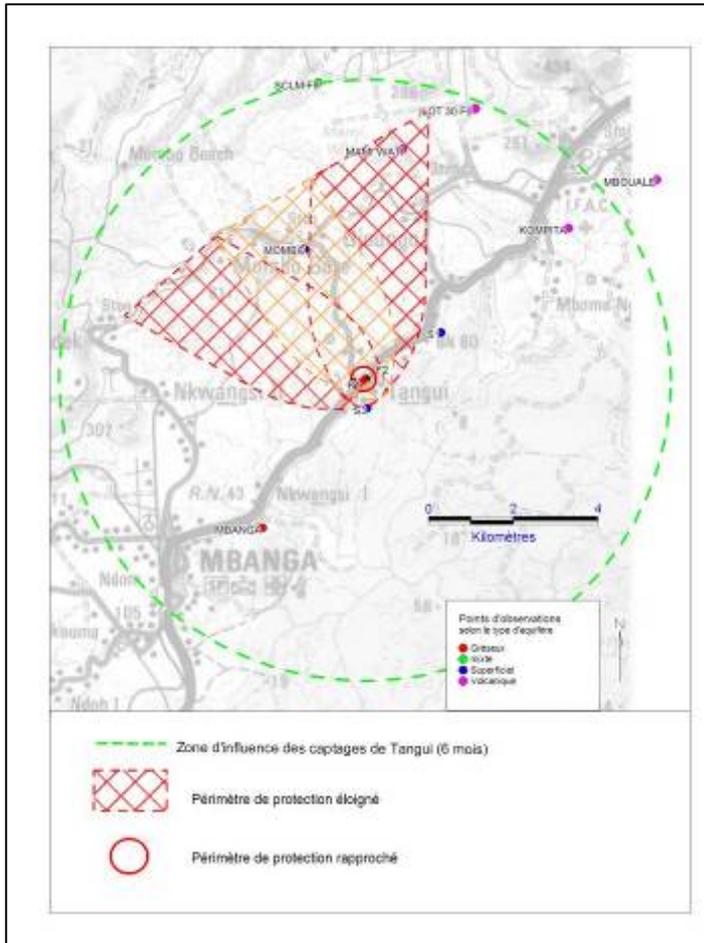


Figure 3 : Périmètres de protection proposés pour les captages de Tanguï (Cameroun)

Les exemples cités, les informations glanées auprès d'hydrogéologues expatriés, de bureaux d'études locaux ou d'agents des administrations concernées, ainsi que les observations réalisées lors de missions professionnelles confirment une situation générale défailante. Dans l'ensemble des cas examinés, qui concernent tous l'Afrique francophone, les textes réglementaires sont inspirés des lois françaises. Ils font appel à la notion de périmètre de protection mais incluent parfois des nuances significatives sur leur définition et leur champ d'application. Toutes les expériences collectées convergent pour affirmer que la mise en application des textes réglementaires est quasi inexistante du fait de textes trop vagues et de l'absence d'une réelle volonté politique.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Echihabi M. (2005)** Protection des captages : Cas du champ captant de Sidi Taïbi Documents de travail de l'OIEAU <http://www.oieau.fr/ciedd/contributions/at1/contribution/onep1.htm>

**El Bennoury, A. (2002).** Protection des captages d'eau souterraine destinés à l'alimentation humaine. *Revue H.T.E n° 122*. Mars 2002.

**Gutierrez A. (2007)** - Délimitation de périmètres de protections pour les captages d'eau minérale Tanguï (Cameroun). *Rapport BRGM/RC-55736-FR, 58 pages*, 15 illustrations, 2 annexes

**Hassani M.I., Mebrouk N., (1999).** Limits of rules concerning the protection of the water catchments designed for the human consumption: Maghreb case. Acts XXIX Congress of IAH, *Hydrogeology and land use management*, September, Bratislava.

**ONEP/GTZ (1995)** Dossier technique relatif à la délimitation des zones de protection du champ de Sidi Taïbi, Maroc.

**ONEP/GTZ (1998)** Dossier technique relatif à la délimitation des zones de protection du champ d'Oulad Teïma. Version préliminaire. Mission Allemande. Maroc.

**ONEP/SCET (2000).** Alimentation en eau potable de la ville de Rich – Etude de protection des captages ONEP.



# Aspects réglementaires relatifs à la préservation de la qualité des eaux minérales en Algérie

**Moulay Idriss Hassani**

Département des Sciences de la Terre, FSTGAT  
Université d'Oran, B.P 1524 Oran El Mnaouer - Algérie  
hassanid@hotmail.com

## 1. INTRODUCTION

De par sa diversité géologique, l'Algérie dispose de ressources en eaux minérales et de source aux compositions et températures très variables selon les provinces hydrominérales. Parallèlement, des considérations climatiques, géographiques et de gestion de la ressource hydrique ont entraîné d'énormes contraintes dans l'alimentation régulière de la population en eau potable. En plus de l'indisponibilité fréquente de l'eau de robinet dans certaines régions du pays, l'engouement pour l'eau embouteillée s'explique également par le manque de fiabilité et parfois la qualité gustative médiocre de l'eau de distribution publique (eau de robinet). Ces conditions n'ont pas manqué d'entraîner depuis les années 1990 une rapide hausse de consommation d'eau mise en bouteille embouteillée. En 2004, la consommation nationale en eau embouteillée était de 4,5 millions d'hectolitre. Entre 1988 et 2006, cette consommation est passée de 0,9 à 22 litre par habitant par an. Actuellement, le nombre de concessions d'exploitation à des fins commerciales octroyées par les pouvoirs publics est de 21 pour les eaux minérales et de 27 pour les eaux de sources. Si ces deux catégories d'eau sont intrinsèquement saines et naturellement protégées, il n'en demeure pas moins que les conditions de leur exploitation, à l'émergence et au sein de leur gisement, sont fonction du contexte environnemental local, d'où une nécessité impérieuse d'assurer une protection renforcée de cette ressource par la mise en place de procédures réglementaires strictes.

## 2. LEGISLATION ET REGLEMENTATION REGISSANT LA PROTECTION DE LA QUALITE DES EAUX MINERALES ET DE SOURCE

Les eaux minérales et de source sont avant tout des eaux souterraines. Elles peuvent être affectées par nombre de pollutions, d'origine anthropique et de natures multiformes : bactériologique, matières azotées et phosphorées, hydrocarbures, etc. Dans un cadre général, en vue d'assurer une protection qualitative des eaux souterraines, les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (WHO, 2006), ainsi que les prescriptions réglementaires en cours dans différents pays pourvus d'une réglementation avancée dans ce domaine (pays de l'Union Européenne, Suisse, Etats-Unis, etc.), concordent à réduire les risques de pollution autour des points de prélèvement d'eau destinée à l'alimentation humaine par la mise en place de zones de protection hiérarchisées en fonction des risques et délimitées par trois périmètres (Lallemand-Barres A., 1989, US-EPA, 1993, OFEFP, 2004).

En Algérie, de nombreux de textes législatifs et réglementaires régissent la protection de la qualité des eaux souterraines (loi de protection de l'environnement, code de l'eau, code de la santé, etc.). Ces textes instituent également la mise en place de périmètres de protection autour des ouvrages de captage d'eau souterraine.

Les principales prescriptions à cet effet sont énumérés et détaillées dans :

- les articles 32 à 34 de la "*loi 85-05 du 16 février 1985 relative à la protection et promotion de la santé*",
- les articles 43 et 44 de la "*Loi 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement*",

- les articles 109 à 118 de la "*Loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 portant code de l'eau*", modifiée et complétée par l'"*Ordonnance n° 96-13 du 15 juin 1996*",
- les articles 38 à 42 de la "*Loi 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau*",
- l'ensemble des articles du "*Décret exécutif n° 07-399 du 23 décembre 2007 relatif aux périmètres de protection qualitative des ressources en eau*".

Dans un cadre plus spécifique, la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source est quant à elle régie par les dispositions réglementaire du "*Décret exécutif n° 04-196 du 15 juillet 2004 relatif à l'exploitation et à la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source*".

Ce décret a été promulgué par les pouvoirs publics en vue de réglementer le secteur des eaux embouteillées. En fait, la majorité des entreprises d'exploitation de ces eaux avaient entamé la commercialisation de leurs produits avant la mise en place du dispositif réglementaire et opérationnel y afférant. Ce texte est venu, en premier lieu, préciser la nomenclature de ces catégories d'eau et, en deuxième lieu, réglementer leur exploitation et leur protection.

Les dispositions relatives à la protection de ces deux catégories d'eau sont groupées au chapitre 5 dudit décret (3 articles). A travers ses articles 26 et 27, ce texte fait obligation d'établissement autour de chaque point d'eau minérale naturelle ou d'eau de sources de périmètres de protection qualitative conformément aux dispositions d'articles de la "*Loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 portant code de l'eau*".

L'article 26 renvoie de fait à l'article 114 de la "*Loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 portant code de l'eau*" qui renvoie lui-même à l'article 43 de la "*Loi 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement*". Ce dernier précise que l'acte portant déclaration d'utilité publique des travaux de prélèvement d'eau destinée à l'alimentation des collectivités locales détermine autour des points de prélèvement :

- un périmètre de protection immédiate dont les terrains sont à acquérir en pleine propriété,
- un périmètre de protection rapprochée à l'intérieur duquel doivent être interdits ou réglementés toutes activités et tous dépôts ou installations de nature à nuire, directement ou indirectement, à la qualité des eaux,
- un périmètre de protection éloignée à l'intérieur duquel peuvent être réglementées les activités, dépôts ou installations précitées.

L'article 26 précise que la délimitation de la zone de protection est définie par un cahier des charges particulier établi sur la base d'une étude hydrogéologique et d'une étude d'impact. A cet égard, il est relevé dans un autre article du décret que l'étude hydrogéologique pour la connaissance de la ressource, la définition des points de prélèvement et la délimitation des zones de protection doit être réalisée par une institution habilitée ou un hydrogéologue agréé.

Quant à l'article 27, il renvoie à l'article 111 de la "*Loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 portant code de l'eau*". Ce dernier article stipule que les activités pouvant faire l'objet d'interdiction ou de réglementation à l'intérieur des périmètres de protection concernent notamment :

- l'exécution des puits ou forages,
- l'exploitation des carrières,
- l'installation des canalisations d'eaux usées de toute nature,
- l'établissement de toute construction,
- l'épandage de fumier, engrais, etc.,
- les dépôts d'ordures, immondices, détritiques, produits radioactifs et, d'une manière générale, tout produit et matière susceptibles d'altérer la qualité de l'eau.

Contrairement à l'article 111 suscitée, l'article 27 spécifie l'interdiction à l'intérieur des périmètres de protection de toute activité, rejet ou dépôt susceptible d'altérer la qualité des eaux. Il ne fait pas cas de la réglementation (limitation) de ces activités.

Parallèlement à l'établissement des périmètres de protection, dans d'autres de ses dispositions, le "*Décret n° 04-196 du 15 juillet 2004 relatif à l'exploitation et à la protection des eaux minérales naturelles*

*et des eaux de source* " oblige le concessionnaire à installer et à faire fonctionner, lors de l'exploitation d'un captage d'eau minérale ou de source, un système de contrôle interne de la qualité de l'eau (minéralisation, qualité bactériologique, etc.), à tous les niveaux de la production, comportant un laboratoire intégré à l'usine de conditionnement. Ce contrôle est effectué sous la supervision des services concernés de l'Etat et notamment ceux relevant du ministère chargé des ressources en eau, du ministère chargé de la santé et du ministère chargé de la protection du consommateur. Toute variation constatée dans les caractéristiques de l'eau minérale naturelle ou l'eau de source peut aboutir à un nouveau classement de cette eau ou à une suspension de la concession jusqu'à rétablissement de la qualité de l'eau qui prévalait auparavant. En cas extrême, s'il est fait constat d'une perte définitive des qualités reconnues de l'eau concernée, la concession est résiliée. Cette dernière peut également être suspendue après mise en demeure puis résiliée dans les autres cas suivants :

- en cas de non-respect des clauses contenues dans le cahier des charges particulier,
- lorsque la source est restée inexploitée ou insuffisamment exploitée pendant deux (2) ans,
  - lorsque le concessionnaire s'abstient de faire procéder aux analyses prévues par le cahier des charges particulier ou à l'exécution des mesures, procédures ou travaux d'entretien requis par les organes de contrôle et de surveillance,
  - lorsque l'entretien des ouvrages est insuffisant et qu'il peut en résulter des conséquences dommageables à l'hygiène et à la conservation de la nappe souterraine.

Le texte interdit également toutes utilisations agricoles ou industrielles des eaux reconnues comme étant des eaux minérales naturelles ou des eaux de source et mais précise, par ailleurs, qu'en cas de sécheresse ou autres calamités, ou si l'intérêt public l'exige, les quantités de prélèvement autorisées peuvent exceptionnellement être réduites.

Il importe de signaler à propos de l'institution des périmètres de protection que le "*Décret exécutif n° 04-196 du 15 juillet 2004 relatif à l'exploitation et à la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source*" a été promulgué antérieurement au nouveau code de l'eau, soit la "*Loi 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau*", et au "*Décret exécutif n° 07-399 du 23 décembre 2007 relatif aux périmètres de protection qualitative des ressources en eau*".

Ces deux derniers textes reviennent définir l'établissement des périmètres de protection mais avec quelques variations et nuances par rapport aux textes précédents. Ainsi l'article 38 de la "*Loi 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau*" stipule qu'il doit être établi autour des ouvrages et installations de mobilisation, de traitement et de stockage d'eau souterraine ou superficielle ainsi que de certaines parties vulnérables des nappes aquifères et des oueds, une zone de protection qualitative comprenant, selon les nécessités de prévention des risques de pollution :

- un périmètre de protection immédiate dont les terrains doivent être acquis par l'Etat et protégés par une personne physique ou morale chargée de l'exploitation des ouvrages et installations concernés,
- un périmètre de protection rapprochée à l'intérieur duquel sont interdits ou réglementés les dépôts, activités ou installations susceptibles de polluer les eaux, de façon chronique ou accidentelle,
- un périmètre de protection éloignée à l'intérieur duquel sont réglementés les dépôts, activités ou installations visés à l'alinéa précédent.

L'article 39 de cette même loi, définit également les activités pouvant être réglementées ou interdites à l'intérieur de ces périmètres, à savoir : l'installation de canalisations d'eaux usées, l'installation de canalisations et réservoirs d'hydrocarbures, l'établissement de toutes constructions à usage industriel, l'épandage d'effluents et tous produits susceptibles d'altérer la qualité de l'eau, l'exploitation de carrières, etc. Cette liste reste donc non exhaustive.

Quant au "*Décret exécutif n° 07-399 du 23 décembre 2007 relatif aux périmètres de protection qualitative des ressources en eau*", il a pour objet de fixer les conditions et les modalités de création et de délimitation des périmètres de protection qualitative des ressources en eau, la définition de leur nomenclature ainsi que les mesures de réglementation d'activités dans chaque périmètre de protection qualitative. Son article 2 définit ainsi les trois types de périmètre de protection :

- un périmètre de protection immédiate qui a pour but d'empêcher l'introduction directe de substances polluantes dans l'eau. Son étendue est constituée par les terrains d'emprise des ouvrages et installations de **mobilisation, de traitement et de stockage d'eau** ;
- un périmètre de protection rapprochée qui a pour but d'empêcher la dégradation de la qualité de l'eau par migration souterraine ou superficielle de substances dangereuses, toxiques ou indésirables à partir des lieux d'émission des pollutions. Son étendue est déterminée notamment sur la base du temps de migration entre le lieu d'émission de la pollution et le point de prélèvement de la ressource en eau ; celle-ci correspond, pour les eaux **souterraines, à la zone d'appel du captage** ;
- un périmètre de protection éloignée qui a pour but de prolonger le périmètre de protection rapprochée pour renforcer la protection contre les risques de pollutions chroniques, diffuses ou accidentelles. Son étendue correspond à la surface comprise entre la limite du périmètre de protection rapprochée et la limite du bassin versant pour les eaux superficielles ou du bassin **d'alimentation pour les nappes d'eau souterraine**.

### 3. ANALYSE DES PRINCIPALES PRESCRIPTIONS REGLEMENTAIRES

Une lecture de détail des principaux textes suscités permet de relever les remarques et observations suivantes :

1 - Dans tous les cas suscités, les périmètres de protection sont institués indistinctivement pour les points de prélèvement des eaux souterraines et pour les eaux de surface, stagnantes ou non. Or, dans tous les cas, la diversité des contextes hydrologiques et hydrogéologiques, et par conséquent des phénomènes de transfert et de dégradation des substances polluantes, doit conduire à une nette spécification entre protection des eaux souterraines et des eaux superficielles. Seul l'article 38 de la "*Loi 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau*" signale l'extension de la mise en place des périmètres de protection à "certaines parties vulnérables des nappes aquifère",

**2 - les activités ou installations susceptibles de constituer une source de pollution pour les eaux et qui seraient à interdire ou à réglementer à l'intérieur des périmètres de protection sont énumérées pour l'ensemble des périmètres et non par périmètre,**

3 - dans les deux derniers textes promulgués, la définition des périmètres de protection est établie sans différenciation aucune entre ouvrages de captage, de traitement et de stockage des eaux. De la même façon, la distinction entre les points de prélèvement d'eau destinée à tous les usages et celle destinée à l'alimentation humaine n'est pas mise en exergue. Par ailleurs, les critères de délimitation des périmètres de protection, en particulier celui de la protection rapprochée, restent inappropriés ou ambiguës (Hassani M.I., 2001, 2007).

4 - à travers les dispositions du "*Décret exécutif n° 04-196 du 15 juillet 2004 relatif à l'exploitation et à la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source*", la particularité de ces eaux n'est pas nettement mise en exergue dans le sens d'une protection renforcée en termes de mise en œuvre de périmètres de protection. En effet, les prescriptions définies restent tout à fait similaires à celles imposées pour les captages d'eau destinés à l'alimentation des collectivités locales. Or, le cas des eaux minérales et de source est particulier car, d'une part, ces eaux sont en général rares, d'autre part, il ne peut être question d'en corriger la qualité par traitement si celle-ci venait à être dégradée. Ainsi, il est d'usage à travers les réglementations de nombreux de pays (France, etc.) d'assurer rigoureusement la sécurité physique de l'ouvrage (S.S) de captage d'eau minérale ou de source, en établissant un "périmètre sanitaire d'urgence" qui a pour objectif de préserver la qualité de l'eau en son point de captage (DNEMT, 1996). A cet effet, le choix de la technique et la conception du captage ainsi que les conditions d'exploitation doivent être adaptées afin d'assurer des conditions optimisées de sécurité de la qualité de l'eau. Dans le décret suscité, il n'est pas nettement fait mention de ce périmètre sanitaire d'urgence qui ne peut être assimilé au périmètre de protection immédiate tel que défini par le décret. Néanmoins, cette lacune peut être palliée par le fait qu'à travers l'article 25 du décret, il est fait obligation au concessionnaire d'effectuer sous le contrôle des services compétents et suivant leurs instructions : 1- la surveillance et l'entretien des griffons, de la chambre et de la galerie de captage et de

l'état des canalisations, 2- tous les travaux d'installation ou de rénovation nécessaires à la porte de la galerie de captage pour l'embouteillage de l'eau, 3- toute mesure ayant pour objet la protection environnementale du site, de la ressource ou des installations,

5 - la lecture des deux articles : 25 et 26 du "*Décret exécutif n° 04-196 du 15 juillet 2004 relatif à l'exploitation et à la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source*" devrait normalement se faire à la lumière des nouvelles dispositions du nouveau code de l'eau promulgué en 2005 et du "*Décret n° 07-399 du 23 décembre 2007 relatif aux périmètres de protection qualitative des ressources en eau*". Néanmoins, il est nettement précisé dans l'article 6 de ce dernier décret que "la protection qualitative autour des captages d'eaux minérales naturelles et d'eau de source reste régie conformément à la réglementation en vigueur". Ceci constitue une ambiguïté de taille dans la mesure où ce décret 04-196 se réfère en termes de moyens réglementaires pour la mise en place des périmètres de protection à l'ancien code de l'eau, promulgué en 1983.

Cette énumération de remarques et d'observations reste non exhaustive.

#### **4. CONCLUSION**

Ces dernières années, le cadre réglementaire relatif à la protection des eaux souterraines, en général, et des eaux minérales et eaux de source, en particulier, a été notablement renforcé par les pouvoirs publics en vue d'assurer une gestion raisonnée, durable et non conflictuelle de ces catégories de la ressource hydrique. Néanmoins, le recensement et l'analyse de détail du dispositif réglementaire se rapportant à l'institution des périmètres de protection et des mesures de protection proposées font ressortir des nombreuses lacunes et incohérences ainsi qu'un manque d'harmonisation de leurs nombreuses dispositions. Par ailleurs, les prescriptions réglementaires ne définissent souvent que des principes généraux. Ainsi, le flou technique entourant la mise en place des périmètres de protection, essentiellement leur délimitation, rendent difficile la faisabilité des injonctions réglementaires et peuvent annihiler toute action volontariste dans ce domaine. Ceci explique, d'une façon significative, la très faible, sinon exceptionnelle, mise en œuvre des périmètres de protection des eaux souterraines à travers l'ensemble du territoire national, même dans le cas de croissance avérée de l'état de dégradation de la qualité des eaux autour de très nombreux points de captage d'eau potable. Cette situation risque d'avoir des prolongements, et de façon plus problématique, dans le cas spécifique des eaux minérales et de sources. La relative rareté de ces dernières, l'impossibilité de leurs traitements ultérieurs ainsi que leur forte valeur ajoutée à mettant en jeu d'importants intérêts commerciaux exacerberont, d'autant plus, de prévisibles conflits en termes de préservation de leur qualité. Dans beaucoup de cas, la mise en place des périmètres de protection, selon les règles de l'art, induira d'énormes contraintes économiques et des conflits d'usage et d'occupation des sols d'autant plus forts que les ouvrages de captage seront situés sur des secteurs à forte vulnérabilité des nappes d'eau souterraine ou à forte valeur foncière (zones urbaines, etc.). A cet effet, une bonne mise en œuvre des dispositions réglementaires, et par suite leur contrôlabilité, nécessitent une harmonisation et un renforcement de leurs injonctions qui devront être exhaustives et précises autant que possible. A l'instar des pays où la mise en œuvre des périmètres de protection est effective, les prescriptions réglementaires devront se baser essentiellement sur des critères scientifiques dépendant de la diversité des contextes hydrogéologiques, à savoir, la vitesse de transit et de dégradation des substances polluantes autour des points de captage. Ces règles doivent être réactualisables en fonction de l'évolution des connaissances hydrogéologiques et techniques. Par ailleurs, les moyens réglementaires devront être conséquemment renforcés par les moyens administratifs habituels (police de l'eau, services instructeurs, etc.).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Anonyme (1983).**- Loi 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement. *Journal Officiel de la République Algérienne n° 6 - Alger.*
- Anonyme (1983).**- Loi 83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux. *Journal Officiel de la République Algérienne n° 8 - Alger.*
- Anonyme (1985).**- Loi 85-05 relative à la protection et à la promotion de la santé. *Journal Officiel de la République Algérienne n° 5 - Alger.*
- Anonyme (2004).**- Décret exécutif 04-196 du 15 juillet 2004 relatif à l'exploitation et à la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source. *Journal Officiel de la République Algérienne n° 45 - Alger.*
- Anonyme (2005).**- Loi 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau relative à l'eau. *Journal Officiel de la République Algérienne n° 60 - Alger.*
- Anonyme (2007).**- Décret exécutif 07-399 du 23 décembre 2007 relatif aux périmètres de protection qualitative des ressources en eau. *Journal Officiel de la République Algérienne n°80 - Alger.*
- DNEMT (1996).**- Périmètre sanitaire d'urgence. *Note technique n° 6, Division nationale des eaux minérales et thermales. Min. de l'Economie des Finances et l'Industrie, juillet 1996, Paris.*
- Hassani M.I. (2001).**- La protection de la qualité des eaux minérales et de source : de la notion de source à la notion de gisement. *Actes Sém. Nat. "Eaux de consommation conditionnées"- Alger.*
- Hassani M. I. (2007).**- La protection de la qualité des eaux souterraines dans les pays du Maghreb : aspects législatifs et réglementaires. *Rencontre internationale sur la gestion durable de l'eau en Méditerranée, 19-20 mars, Université de Constantine.*
- Lallemand-Barres A. (1989).**- Législation et réglementation concernant la protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine dans différents pays européens. *Hydrogéologie n°2 Paris.*
- OFEFP (2004).**- Instructions pratiques pour la protection des eaux, *document de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne.*
- US - EPA (1993).**- Guidelines for delineation of wellhead protection areas. *EPA 440/5-93-001, Washington.*
- World Health Organization (2006).**- Protecting Groundwater for Health: Managing the Quality of Drinking-water Sources. *Edited by O. Schmoll, G. Howard, J. Chilton and I. Chorus. ISBN : 1843390795. Published by IWA Publishing, London, UK.*

# Embouteillage et soins thermaux : une même ressource pour plusieurs usages

Nicolas Maurillon(1), Céline Ohayon-Courtès(2)

(1) ICS'eau, 7 rue de Bethmann 33600 Pessac  
n.maurillon@icseau.fr

(2) LHE – Université de Bordeaux 2, 146 rue Léo Saignat, 33076 Bordeaux Cedex  
[Celine.Ohayon@lhe.u-bordeaux2.fr](mailto:Celine.Ohayon@lhe.u-bordeaux2.fr)

La norme AFNOR en vigueur définit un gisement d'eau minérale comme « l'ensemble de la structure géologique souterraine situé au droit d'une zone géographique délimitée et de laquelle il est possible d'extraire moyennant la mise en œuvre de techniques appropriées de l'eau minérale naturelle. » [ ]

Ce gisement peut être exploité pour plusieurs finalités ou usages tels :

- des « usines d'embouteillage » afin de commercialiser cette eau pour la consommation humaine ;
- des « établissements thermaux » pour utiliser cette eau à des fins thérapeutiques dans le cadre d'un établissement thermal ;
- des « établissements thermo-ludiques » utilisant cette eau à des fins de confort ;
- des « laboratoires » en vue d'inclure cette eau dans la formulation de produits à usage cosmétologique ;

De plus, des municipalités peuvent, au nom d'un droit d'usage « ancien », distribuer cette ressource en « buvette publique » suivant certains critères.

L'eau de ce gisement thermal est donc un bien commun que doivent savoir partager plusieurs usagers. De là, des tensions peuvent apparaître autour de cette ressource, liées aux problématiques du partage des eaux pour des usages avec des enjeux et des contraintes différentes.

Si l'on fait un parallèle, toutes proportions gardées, avec la gestion des bassins hydrographiques réalisée par les Agences de l'Eau, ces différents usages induisent la notion et la nécessité de « partage concerté » de cette ressource. Outre cette vision quantitative de la gestion de la ressource, il est important de considérer que l'image de chacun, quel qu'en soit l'utilisation, est associée directement au prestige de celle-ci. Qu'un seul utilisateur se rende coupable d'une gestion hasardeuse induisant des conséquences sanitaires graves, et c'est l'image et la réputation de tous qui peut être ternie.

Au final, afin de mener à bien un processus de concertation cohérent pour une meilleure gestion du gisement, il est nécessaire que tous les acteurs aient une compréhension commune et partagée des enjeux, des techniques et des gestions menées par les différents usagers.

Pour ne parler que de deux types d'usager des eaux minérales naturelles, il existe en France 135 Gisements d'Eaux Minérales Naturelles [ ] dont environ 105 sont utilisés à des fins thermales et 48 à des fins d'embouteillage. Il est à souligner qu'une quarantaine de ces gisements sont exploités pour ces deux usages.

Il est donc intéressant d'éclaircir certaines données, notamment :

- Les usages liés aux Eaux Minérales Naturelles (EMN) dans ces cadres ;
- Les interprétations réglementaires des textes vis-à-vis de ces usages ;
- Les gestions sanitaires mises en œuvre par ces usagers ;
- La diversité de situation vis-à-vis de différents gisements d'EMN.

## 1. UNE RESSOURCE PLUSIEURS USAGES

### 1.1 Définition du terme « Eau Minérale Naturelle » (EMN)

Le terme « Eau Minérale Naturelle » est une appellation « codifiée » par le Code de la Santé Publique (article R 1322-2) : « Une EMN est une eau microbiologiquement saine, répondant aux conditions fixées par l'article R. 1322-3 (critères de qualité), provenant d'une nappe ou d'un gisement souterrain exploité à partir d'une ou plusieurs émergences naturelles ou forées constituant la source. Elle témoigne, dans le cadre des fluctuations naturelles connues, d'une stabilité de ses caractéristiques essentielles, notamment de sa composition et de sa température à l'émergence, qui n'est pas affectée par le débit de l'eau prélevée.

Elle se distingue des autres eaux destinées à la consommation humaine :

1. Par sa nature, caractérisée par sa teneur en minéraux, oligoéléments ou autres constituants ;
2. Par sa pureté originelle,

L'une et l'autre de ces caractéristiques ayant été conservées intactes en raison de l'origine souterraine de cette eau qui a été tenue à l'abri de tout risque de pollution."

Ces caractéristiques doivent avoir été appréciées sur les plans géologique et hydrogéologique, physique, chimique, microbiologique et, si nécessaire, pharmacologique, physiologique et clinique [...] ».

Ces eaux peuvent être utilisées :

- en soins dans des établissements thermaux ;
- pour la consommation humaine après embouteillage ;
- pour la distribution en buvette publique ;

après obtention d'une reconnaissance et d'une autorisation d'exploiter au titre des Eaux Minérales Naturelles délivrée par le Préfet [ ].

Ainsi sur la base de cette définition de l'EMN, il est intéressant de mettre en exergue le fait que les EMN ne sont pas (selon les usages) tenues de respecter les critères de potabilité des eaux de distribution pour leur composition chimique (sodium, calcium, magnésium, fluor, fer). Les eaux faiblement minéralisées et non gazeuses comme Volvic, Evian ou Thonon répondent aux critères de potabilité définis pour les eaux destinées à la consommation humaine [ ] alors que les eaux de Vittel-Hépar ou Contrexéville (pour exemple) ne pourraient y prétendre en raison de leur teneur excessive en sulfate, même si elles peuvent être consommées sans excès [ ]. Cependant, ces eaux ne doivent pas contenir de micropolluant (pesticides, hydrocarbures,...) ni de germes pathogènes.

Cette reconnaissance présente un aspect purement juridique ou administratif. En effet deux eaux d'origine souterraine ayant rigoureusement la même composition chimique, y compris en éléments traces, peuvent - selon les cas et les autorisations délivrées - être ou pas « Minérale ». Dans ces conditions, une définition plus concise se retrouve dans la littérature : « Une eau minérale est une eau qui peut être exploitée comme telle sous couvert d'une autorisation administrative » [ ].

C'est pourquoi certains, afin de pouvoir distinguer les EMN préfèrent utiliser d'autres dénominations que celle d'« Eau Minérale Naturelle » comme :

- « Eau thermale » : une définition assez « floue ». Elle désigne généralement toute eau utilisée dans un établissement de soins, quelle que soit sa température ;
- « Eau Thermominérale » : terme ne répondant pas non plus à une définition précise. Il désigne un groupe d'eaux qui se distinguent, par leur température ou leur minéralisation, des eaux des nappes phréatiques d'une région donnée.

Cependant ces termes n'étant pas normés et/ou réglementés et pouvant être sujets à polémique, il est préférable de ne pas les utiliser.

## 1.2 L'usage « thermal »

Le Code de la Santé Publique définit l'usage thermal comme l'utilisation thérapeutique d'une EMN, sur place ou par adduction directe, ou d'éléments liés à son gisement (gaz, boues, péloïdes, eaux-mères ou tout « dérivé thermal ») à l'intérieur d'un établissement thermal. Cet usage est encadré par une réglementation spécifique française [ ].

Les indications thérapeutiques concernent la rhumatologie et les séquelles de traumatismes ostéo-articulaires, les voies respiratoires, la dermatologie et la stomatologie, la phlébologie, la neurologie, les affections psychosomatiques, les maladies cardioartérielles, les maladies de l'appareil digestif, les maladies métaboliques et maladies de l'appareil urinaire, la gynécologie, les troubles du développement de l'enfant et les affections des muqueuses bucco-linguales. Sauf quelques exceptions, les stations thermales sont reconnues pour deux de ces différentes orientations. Prise en charge financièrement par la sécurité sociale, chaque cure fait suite à une demande établie par un médecin dans le cadre d'un forfait thermal, pour des établissements ayant été agréés et conventionnés pour cette orientation [ ]. Respectant la Convention Nationale Thermale, ces soins sont normés par cette convention dans leur forme d'application (3 à 6 soins par jours appelés « forfait thermal »), leur durée, leur encadrement et la durée totale d'administration de ces soins (18 jours).

Chaque station, dans chacune de ses orientations thérapeutiques offre donc un éventail de « soins » spécifiques et différents. Ces éléments ne doivent avoir subi aucun traitement, à l'exception de quelques usages ou l'administration autorise un traitement en amont immédiat du point d'usage.

### **1.3 L'usage « eau embouteillée »**

Les EMN préemballées doivent être détenues en vue de la vente, mises en vente, vendues ou distribuées à titre gratuit, sous l'une des dénominations suivantes :

1° « Eau minérale naturelle » ou « eau minérale naturelle non gazeuse » qui désigne une eau minérale naturelle non effervescente, c'est-à-dire ne dégageant pas spontanément de gaz carbonique à l'émergence de façon nettement perceptible dans des conditions normales ;

2° « Eau minérale naturelle naturellement gazeuse » ou « eau minérale naturelle gazeuse », qui désigne une eau effervescente dont la teneur en gaz carbonique provenant de la source, après décantation éventuelle et embouteillage, est la même qu'à l'émergence, compte tenu, s'il y a lieu, de la réincorporation d'une quantité de gaz provenant de la même nappe ou du même gisement équivalente à celle du gaz libéré au cours de ces opérations et sous réserve des tolérances techniques usuelles ;

3° « Eau minérale naturelle renforcée au gaz de la source », qui désigne une eau effervescente dont la teneur en gaz carbonique provenant de la même nappe ou du même gisement, après décantation éventuelle et embouteillage, est supérieure à celle constatée à l'émergence ;

4° « Eau minérale naturelle avec adjonction de gaz carbonique » qui désigne une eau rendue effervescente par l'addition de gaz carbonique d'une autre origine que la nappe ou le gisement dont elle provient. La dénomination de vente est accompagnée de la mention « totalement dégazéifiée », lorsque l'eau à laquelle ladite mention s'applique a fait l'objet d'un traitement d'élimination totale de son gaz carbonique libre, ou bien par la mention « partiellement dégazéifiée » lorsque cette élimination est partielle. Les éliminations précitées ne peuvent résulter que de l'emploi de procédés exclusivement physiques.

Ces EMN doivent être obligatoirement embouteillées à la source dans un récipient destiné au consommateur final sans traitement, à l'exception de la séparation d'éléments instables ou indésirables présents naturellement et de l'adjonction de CO<sub>2</sub>. De plus, les eaux conditionnées sont des produits alimentaires et elles doivent respecter la réglementation des denrées alimentaires. Elles sont également soumises à une réglementation spécifique au niveau international et européen.

## **2. POUR UNE MÊME RÉGLEMENTATION, DES INTERPRÉTATIONS DIVERGENTES**

### **2.1 Une réglementation générale, avec des particularités**

Comme défini plus haut, le Code de la Santé Publique a établi une définition unique de l'EMN et réglementé trois usages différents :

- le conditionnement de l'eau ;
- l'utilisation à des fins thérapeutiques dans un établissement thermal ;
- et la distribution en buvette publique.

Toutefois, les textes prévoient une procédure commune d'autorisation, basée sur l'établissement d'un dossier instruit sous l'autorité du Préfet. Ce dossier doit préciser l'usage qui sera fait de l'EMN et le descriptif des installations et des modalités d'exploitation. Par ailleurs, le législateur a prévu la révision de l'autorisation, quel que soit l'usage, si une quelconque « modification notable des caractéristiques de l'eau minérale naturelle ou tout changement notable des conditions d'exploitation de la source » est constatée, ce qui peut englober la mise en place d'un nouvel usage et suppose donc que l'exploitant en fasse la déclaration.

Seuls les aspects « qualités thérapeutiques et propriétés favorables à la santé » diffèrent selon l'usage et leur démonstration n'est exigée que pour l'utilisation en soins thermaux. En effet, pour l'embouteillage, ces études ne sont exigées que si le demandeur souhaite faire état d'allégations d'effet favorables pour la santé. Ainsi, pour les usages non prévus par le Code de la Santé Publique, les études pharmacologiques et/ou cliniques ne sont pas nécessaires, ce qui peut paraître anormal pour une utilisation cosmétique. Cependant, l'usage cosmétique est souvent associé à l'image thérapeutique du thermalisme.

Enfin, la réglementation des eaux minérales a également prévu des critères de qualité physico-chimique et microbiologique dans le Code de la Santé Publique (article R1322-3) et plus précisément par arrêté ministériel en précisant que « les constituants physico-chimiques faisant l'objet d'une limite réglementaire de concentration sont naturellement présents dans l'EMN et ne résultent ni d'une contamination de la source ni d'un traitement ». Ainsi, de cette dernière particularité découle la notion de l'interdiction de traitement correctif. Elle conserve ainsi sa pureté originelle, à l'origine de son image de marque.

Cependant, quelques traitements ou adjonctions, initialement justifiés pour satisfaire les contraintes de l'embouteillage, ont été autorisés à condition qu'ils ne modifient pas la composition de l'EMN dans ses constituants essentiels et qu'ils n'aient pas pour but de modifier les caractéristiques microbiologiques de l'eau. Ils visent en particulier, exclusivement pour les eaux embouteillées, à :

1. La séparation des éléments instables, par décantation ou filtration, éventuellement précédée d'une oxygénation, ce traitement ne devant pas avoir pour effet de modifier la composition de l'eau dans ses constituants essentiels ;
2. L'élimination de gaz carbonique libre par des procédés exclusivement physiques ;
3. L'incorporation ou la réincorporation de gaz carbonique ;
4. La séparation des composés du fer, du manganèse, du soufre et de l'arsenic, à l'aide d'air enrichi en ozone ;
5. La séparation de constituants indésirables.

Plus récemment, des traitements ont également été prévus pour un usage thermal et uniquement au plus près des points d'usage. Ils visent à :

1. La séparation des éléments instables, par décantation, filtration, éventuellement précédée d'une oxygénation ;
2. L'adsorption sélective sur supports de filtration recouverts d'oxydes métalliques ;
3. L'élimination de gaz carbonique libre par des procédés exclusivement physiques ;
4. L'incorporation ou la réincorporation de gaz carbonique ;
5. La désinfection visant à prévenir les risques sanitaires spécifiques à certains soins.

## **2.2 Certaines divergences d'interprétations**

Compte tenu de la réglementation exposée précédemment, un exploitant qui possède une eau minérale autorisée pour un usage réglementé ne peut pas se lancer dans une seconde activité "non réglementée" sans une révision de son autorisation, mais tous les services administratifs ont-elles la même interprétation de ce point ? De même pour le positionnement et la nature des traitements mis en place dans une station thermale ?

## **3. UNE MEME PREOCCUPATION SANITAIRE MAIS DES GESTIONS DIFFERENTES**

Les usines d'embouteillage et les stations thermales ont donc cette même obligation de mise en oeuvre d'une démarche d'analyse et de maîtrise des risques sanitaires de type HACCP pour leur différents process (obligation de moyens) depuis janvier 2007 [ ]. Les deux professions ont séparément réalisés un guide des bonnes pratiques d'hygiène [ ], [ ] tenant compte de leurs spécificités et de leurs différences de gestion de cette ressource.

### **3.1 Flux tendu, consommations lissée ou utilisation par à-coup ?**

Une des principales spécificités qui différencient ces deux usages apparaît est la notion de « temps » d'utilisation. Cette contrainte a une répercussion directe dans cette gestion.

Premièrement, on peut souligner la notion de saisonnalité, réalité forte pour les établissements thermaux et moindres pour les usines d'embouteillages. La saison des cures thermales suivant les orientations, ne se déroule que quelques mois dans l'année et seuls quelques établissements restent ouverts annuellement. L'un des cas extrême est illustré par l'établissement de la Bourboule, qui recevant majoritairement des enfants,

fonctionne principalement durant les périodes des vacances scolaires [ ]. En terme de gestion de ressource, ces établissements transposent généralement cette saisonnalité dans leur gestion des captages en préférant solliciter davantage le gisement durant la saison des cures et dans une moindre mesure hors saison. Dans le même ordre d'idée, la majorité des établissements ont un fonctionnement journalier basé sur la matinée et un fonctionnement réduit l'après midi. Plusieurs établissements préfèrent, alors avoir un débit instantané ponctuel plus important durant la matinée et un débit moyen journalier plus faible ou lissé. De plus, ces établissements ne peuvent facilement arrêter l'activité que cela soit durant la période de cure ou durant la saison thermale. Ainsi, ils préfèrent repousser certains entretiens lourds et chronophages à l'intersaison dont la durée de ce fait devient incompressible. Il est important de souligner qu'à la différence des usines d'embouteillage, les résultats d'un contrôle analytique bactériologiques (généralement 2 à 10 jours après le prélèvement suivant les germes recherchés), l'eau a déjà été utilisée par l'utilisateur final. Afin de gérer ce risque sanitaire, les services administratifs demandent aux établissements thermaux de mettre en place une adduction directe entre la ressource et l'utilisateur (plus particulièrement pour les buvettes et les soins pour les voies respiratoires).

Ensuite, autant les consommations instantanées peuvent être « lissées » dans le processus d'une usine d'embouteillage, autant un établissement thermal doit gérer des consommations instantanées importantes dues aux soins proposés (douche au jet, remplissage piscine,...). Les Agences de l'Eau considèrent par exemple, qu'un curiste consomme 500 l/jour durant sa cure. Certains établissements thermaux préfèrent donc avoir un débit instantané ponctuel plus important et un débit moyen journalier plus faible en faisant varier dans la journée les débits d'exploitation de leurs ouvrages malgré les risques que cela pourrait occasionner.

Pour finir, il est important de dire que la notion d'urgence est très présente dans la gestion d'un établissement thermal afin de respecter la « continuité des soins », que ne connaît pas dans la même mesure une usine d'embouteillage. « J'ai 100 curistes ce matin, j'ai une fuite, comment est ce que j'interviens ? ». De là, des protocoles d'interventions différents entre les deux processus, l'établissement thermal préférant poursuivre l'activité en mettant en place un protocole transitoire préventif, repoussant l'intervention pérenne à la fin des soins.

### **3.2 La notion de stockage**

Du fait de ces « temps » de gestions différents entre les deux processus, les stockages dans un établissement thermal et une usine d'embouteillage ne sont pas utilisés de la même manière.

Au nom du principe « d'adduction directe », un établissement thermal cherchera à supprimer ou limiter tout stockage à au maximum une seule journée de consommation. Généralement situé au plus près du point d'usage, ce stockage peut revêtir plusieurs formes (inox, bache souple, béton) suivant les caractéristiques de la ressource (carbogazeuse, chlorurée,...).

Les usines d'embouteillages [XIV] peuvent utiliser plusieurs stockages avec comme forme de stockage ultime les lots d'eaux embouteillées.

### **3.3 Utilisation d'outils de gestion différents**

Du fait des « temps » de gestions différents et des moyens financiers en jeux, les protocoles de gestions mis en places ne sont pas les mêmes dans leur déroulement et leur application.

Sans parler des « traitements » autorisés pour chaque usage qui ne se positionnent pas aux mêmes phases du Process et n'ont pas forcément les mêmes finalités.

Figures : processus d'un établissement thermal et d'une usine d'embouteillage

Pour finir, il est à noter l'outil qui représente la traçabilité des lots sortant des usines d'embouteillage permettant d'avoir un suivi différencié et rétroactif de la qualité de l'eau.

### **3.4 Notions de contrôle et surveillance**

Même si les deux processus ont les mêmes indicateurs pour les dossiers d'autorisation de leurs ressources, cela n'est pas le cas pour le contrôle sanitaire du fait de deux particularités :

- La recherche des *Pseudomonas aeruginosa*, différée de 72 h après prélèvement pour le contrôle sanitaire des eaux embouteillées et pas pour le thermalisme ;

- La recherche des légionella pour le contrôle sanitaire du thermalisme seulement.
- Sans parler de la surveillance sanitaire (réalisée par l'exploitant lui-même), qui, aujourd'hui s'impose à tous les exploitants, quel que soit l'usage de l'eau.
- De plus, comme déjà évoqué, à la différence des usines d'embouteillage, lors de l'arrivée d'un contrôle analytique bactériologiques (généralement 2 à 10 jours après le prélèvement suivant les germes recherchés), l'eau a déjà été utilisée par l'utilisateur final. De ce fait les établissements thermaux préfèrent mettre en place des indicateurs préjugés (généralement physico-chimique), rapide et aisée à suivre, en prenant comme hypothèse de travail que leur variation est un indicateur d'un phénomène pouvant entraîner une non-conformité sanitaire. Alors qu'une usine d'embouteillage peut, plus aisément, avoir les résultats analytiques (généralement par lots) avant distribution auprès des usagers finaux.

#### **4. UNE MÊME PROBLÉMATIQUE SANITAIRE MAIS DES SITUATIONS DIFFÉRENTES**

Comme nous l'avons vu précédemment de nombreuses ressources sont utilisées pour un usage double « embouteillage » et « thermalisme ». On peut trouver les différents cas de figures suivants :

##### **4.1 Une ressource, deux usages deux captages**

La même ressource est partagée par l'usine d'embouteillage et l'établissement thermal.

On peut s'interroger alors sur la gestion commune de ces captages qui ne répond pas aux mêmes besoins.

L'obligation de protection microbiologique des captages et donc de la ressource est indispensable au même titre que l'obligation de préservation et de gestion quantitative du gisement pour ces deux usagers.

Cependant, il sera indispensable que les deux utilisateurs s'entendent sur les débits prélevés, notamment le débit instantané. En effet, la saisonnalité de l'activité thermique avec ses besoins ponctuels importants pourrait, si elle était simplement rajoutée aux prélèvements de l'usine d'embouteillage, participer à un rabattement pouvant porter atteinte à l'intégrité de la ressource.

##### **4.2 Une ressource deux usages un captage**

Aux problématiques précédentes, s'ajoute le problème de la gestion du captage et du transport : « Qui gère le captage et le ou les transports », l'usine d'embouteillage ou l'établissement thermal ou encore une tierce partie comme la commune ?

Dans ce cas, l'usine d'embouteillage, pourra éventuellement mettre en place une filtration en entrée d'établissement contrairement à l'établissement thermal.

Le transport pourra être dimensionné sur un "petit débit" pour l'embouteilleur mais devra être "surdimensionné" s'il alimente en même temps l'établissement thermal nécessitant des débits instantanés conséquents.

Que penser d'une ressource sensible potentiellement contaminée par des coliformes et utilisée en commun par la buvette d'un établissement thermal et pour un embouteillage. Buvette, qui est régulièrement fermée par les autorités sanitaires ?

Une crise sanitaire, nécessitant l'arrêt d'une buvette, ne devrait-elle pas engendrer également un arrêt de l'embouteillage réalisé avec la même ressource ?

Pour mémoire on peut citer aussi les établissements thermaux qui font des cures de boissons et embouteillent de l'EMN pour leurs curistes.

#### **5. UNE OBLIGATION DE CONCERTATION FUTURE**

Cette concertation est indispensable, en effet, autant la disponibilité, la qualité de la ressource et l'image de ces deux usagers sont communs. Si un établissement thermal dont le nom est associé à une marque d'eau célèbre ferme, l'impact sur la commercialisation risque d'être désastreux. De même dans le sens inverse, les réservations pour la saison à venir risquent de chuter de façon catastrophique.

Il sera donc nécessaire dans un cas comme dans l'autre que ces deux usagers s'entendent sur :

- la gestion quantitative de ce gisement ;
- la gestion sanitaire de cette ressource ;

- leur communication auprès de leurs clients, des médias et des services administratifs.  
La politique de protection du gisement thermal doit rentrer dans une démarche de développement local en accord avec la Directive Cadre sur l'Eau, afin d'avoir une gestion cohérente de cette ressource qui est et restera "un bien commun".

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

---

**AFNOR, NF X50-910** (Septembre 2000). Établissements thermaux – Terminologie. *12p.*

**CNETH**, Guide des bonnes pratiques thermales, *Editions hospitalières, 55 pages.*

**Code de la Santé Publique**, articles R1322-28 à R1322-34.

**Code de la Santé Publique**, article R1322-44-9.

**Code de la Santé Publique**, article 1322-52.

**Féneyrou (1989).**- La vie des eaux thermominérales. *Edition ERES, 197 pages.*

Guide des bonnes pratiques d'hygiène dans l'industrie des eaux embouteillées, *février 2007, 95 pages.*

**Groupe Impact Médecin (1999).**- Guide du thermalisme. *Edition Groupe Impact Médecin, 458 pages.*

**Ministère de la Santé (2003).**- Convention nationale Thermale. *Journal Officiel, 200 pages.*

**Ministère de la Santé et Secrétariat d'état à l'Industrie** (Mai 1998). Inventaire des sources d'eaux minérales en France au 1<sup>er</sup> avril 1998. *Annales des Mines, pp73-115.*

**Ministère de la Santé.** Arrêté du 27 février 2007 relatif aux traitements de l'eau minérale naturelle utilisée à des fins thérapeutiques dans les établissements thermaux. *Journal Officiel, 27 mars 2007.*

**Ministère de la Santé.** Arrêté du 5 mars 2007 relatif à la constitution du dossier de demande d'autorisation d'exploiter une source d'eau minérale naturelle pour le conditionnement, l'utilisation à des fins thérapeutiques dans un établissement thermal ou la distribution en buvette publique. *Journal Officiel, 27 mars 2007.*

**Ministère de la Santé.** Arrêté du 14 mars 2007 relatif aux critères de qualité des eaux conditionnées, aux traitements et mentions d'étiquetage particuliers des eaux minérales naturelles et de source conditionnées ainsi que de l'eau minérale naturelle distribuée en buvette publique. *Journal Officiel, 5 avril 2007.*

**Pomerol (1992).**- Terroirs et thermalisme de France. *Edition du Brgm, 288 pages.* **Vigouroux (2005).**- Guide qualité pour la ressource en eau minérale et thermale. *Edition du Brgm, 80 pages.*



# Fluorimètre de terrain pour multi-traçages hydrogéologiques au moyen de traceurs incolores

**Pierre-André SCHNEGG<sup>1</sup> et Philippe MEUS<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Centre d'Hydrogéologie et de Géothermie (CHYN)  
Institut de Géologie et d'Hydrogéologie  
Université de Neuchâtel  
Rue Emile-Argand 11 – CP 158  
CH - 2009 Neuchâtel - Switzerland  
Tél. ++41 (0)32 718 26 02  
Fax ++41 (0)32 718 26 03  
[Pierre.schnegg@unine.ch](mailto:Pierre.schnegg@unine.ch)*

<sup>2</sup>European Water Tracing Services

## 1. INTRODUCTION

Motivés par une demande accrue de traçages hydrogéologiques discrets, nous avons développé des fluorimètres de terrain capables de détecter et séparer deux ou trois traceurs incolores.

Bien que la plupart des traceurs hydrogéologiques colorés soient inoffensifs pour l'environnement (Behrens et al. 2001, FOEN Report 2002), leur visibilité a un impact négatif sur la population.

L'apparition récente de LED à lumière UV rend possible l'excitation de substances dont la fluorescence est pratiquement invisible.

Il y a quelques années, les bureaux ne pouvaient pas offrir de multi-traçages, à cause des frais de laboratoire. Avec le fluorimètre de terrain, le multi-traçage devient la règle (Schnegg and Doerfliger 1997). Cependant, la séparation de traceurs suppose des caractéristiques spectrales différenciées (Schnegg 2003). Une sélection soignée des traceurs reste nécessaire.

Dans ce travail, nous décrivons le choix de traceurs incolores, leur optique associée, et les performances obtenues.

## 2. LA METHODE

Le fluorimètre de terrain remplace avantageusement l'échantillonneur mécanique. Avec cet instrument, il n'est plus besoin de prélever d'eau ni d'analyses de laboratoire. Une résolution temporelle très élevée constitue un avantage. Il est vrai que la séparation de plusieurs traceurs ne peut pas atteindre la même résolution que le spectrofluorimètre de laboratoire. En effet, l'optique du fluorimètre de terrain se distingue par l'utilisation de filtres passe-bande. Pour séparer deux ou trois traceurs, le fluorimètre utilise deux ou trois sources lumineuses (généralement des LED). Chaque voie optique est équipée de filtres adéquats. La concentration de chaque traceur est la solution de systèmes de deux ou trois équations linéaires (Schnegg 2003).

Pour atteindre une séparation optimale des traceurs, le déterminant du système d'équations doit être maximal. Des valeurs trop petites sont caractéristiques d'un choix inadéquat de traceurs. Par exemple, il est illusoire de vouloir séparer la sulforhodamine B, l'amidorhodamine G et la rhodamine WT.

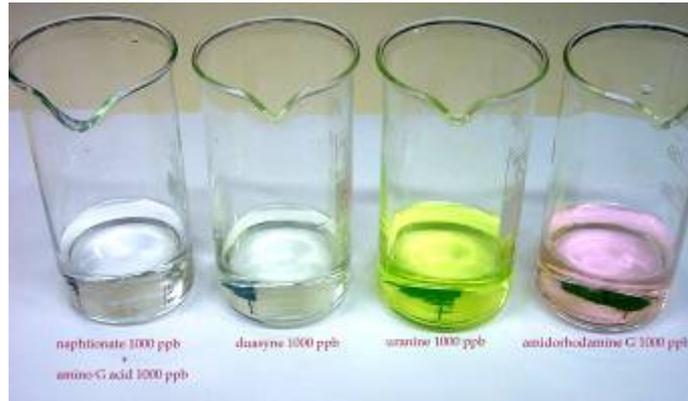


Figure 1 : Visibilité de traceurs usuels (concentration: 1000 ppb). L'impact est élevé pour l'uranine (vert) et l'amidorhodamine G (rouge), mais nul pour la duasyne, le naphthionate et l' amino G acide.

Les traceurs les plus courants sont l'uranine, l'éosine, la sulforhodamine B, l'amidorhodamine G, la rhodamine WT, la duasyne, le tinopal, l' amino G acide (Käss 1998). Le problème avec la plupart d'entre eux, c'est leur visibilité dans les eaux de surface, et particulièrement au voisinage du site d'injection (ils disparaissent au-dessous de 10 µg/L) (Figure 1). Deux d'entre eux, le naphthionate et l' amino G acide sont bien plus discrets dans l'environnement, parce que leur bande d'émission est voisine de la limite bleue de sensibilité de la vue.

Les informations qui suivent proviennent d'un fluorimètre de terrain équipé de trois LED émettant des UV à 316, 365 et 425 nm. Comme on le voit à la Fig. 2, les longueurs d'onde de 316 et 365 nm sont appropriées pour exciter respectivement la fluorescence du naphthionate et de l' amino G acide. A 425 nm on excite la duasyne (excitation/émission: 449/474 nm), un troisième traceur, quasi invisible, qui peut être utilisé simultanément avec les deux autres.

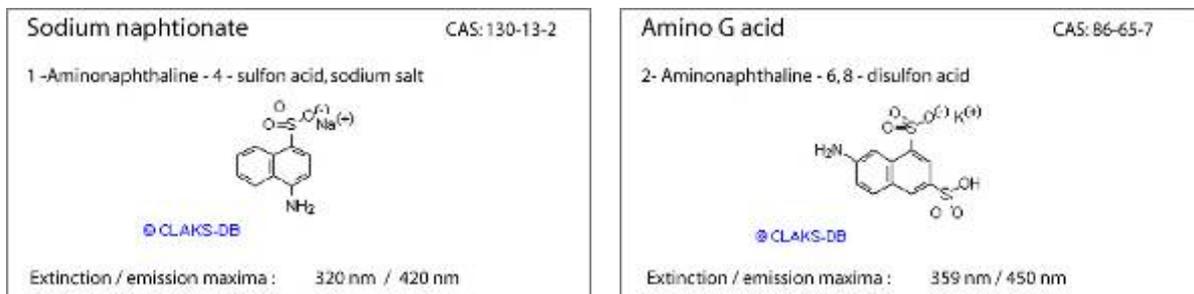


Figure 2 : Formules et caractéristiques spectrales de deux traceurs incolores.

Les synchro-scans de la Fig. 3 montrent que la LED à 365 nm excite préférentiellement l'amido G acide, alors que la 316 nm excite les deux traceurs. Le long intervalle entre les maxima d'émission (30 nm) permet la séparation des fluorescences au moyen de simples filtres Wratten (N° 2A, naphthionate, N° 44, amido G acide).

La Fig. 4 montre la réponse en fluorescence à l'excitation par différentes LED (après soustraction du bruit de fond de l'eau pure). Puisque chaque traceur a sa LED « favorite » (365 nm pour l' amino G acide, et 316 nm pour le naphthionate) et son optique de détection, le déterminant est optimal. Il en est de même pour le pouvoir de séparation.

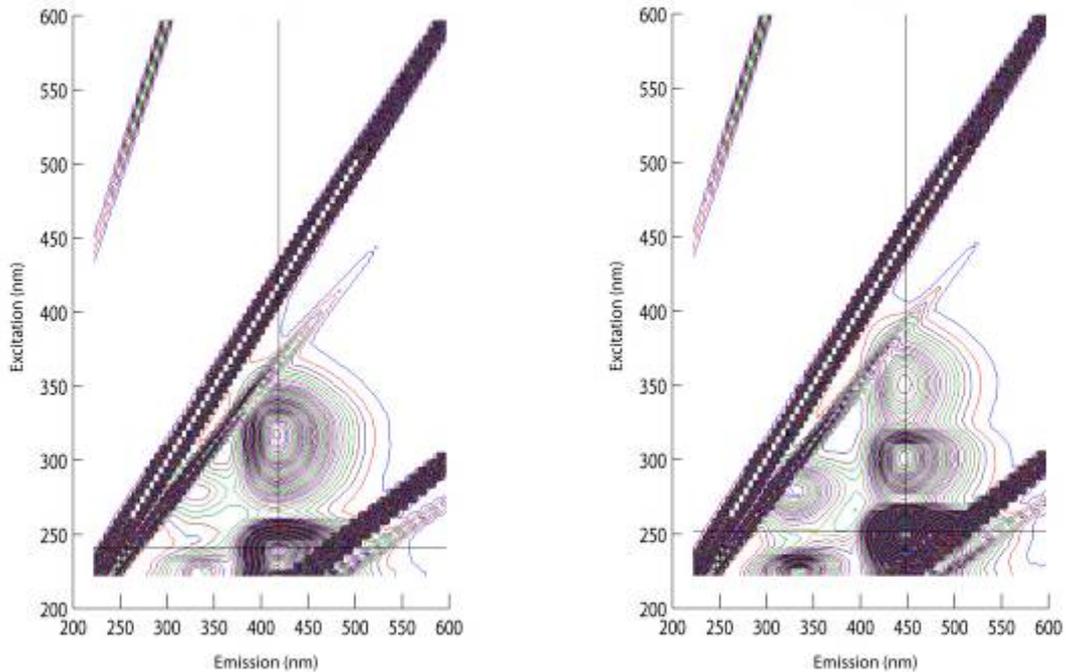


Figure 3 : Synchro-scan du naphthionate (gauche) et de l'acide aminé G (droite) par un spectrofluorimètre de laboratoire.

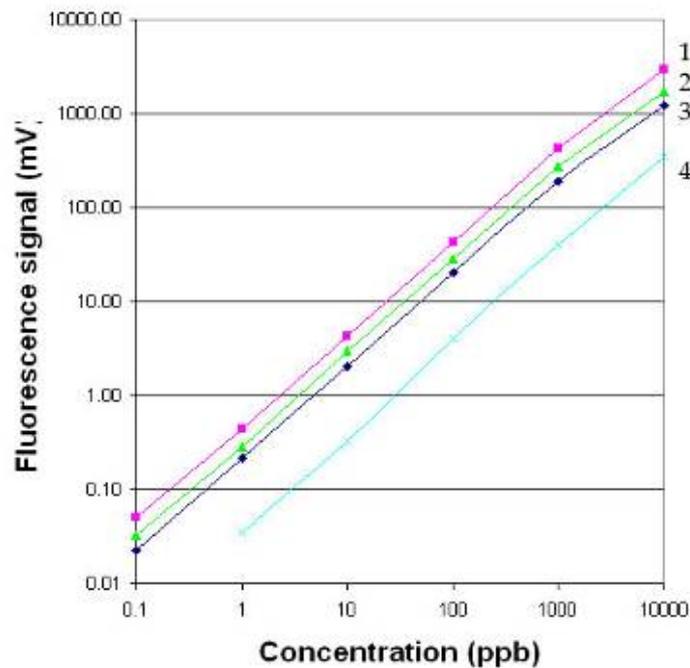


Figure 4 : Fluorescence du naphthionate (NAP) et de l'acide aminé G (AGA) à l'excitation par différentes LEDS : 1. AGA-365nm 2. AGA-316nm 3. NAP-316nm 4. NAP-365 nm. Le signal de l'eau pure (0.2 mV) a été préalablement soustrait. Noter la légère saturation au-delà de 1000 ppb.

### 3. EXEMPLE

Un test réel a été conduit dans un cours d'eau de surface (100 litres / s) sur une distance de 300 m. La duasyne, un troisième traceur, a été utilisée conjointement aux deux autres. Des masses de 1 et 10 mg de chaque traceur ont été injectées à tour de rôle à un intervalle de 2 minutes, de manière à obtenir un certain recouvrement des courbes de restitution, afin de tester la méthode de séparation. Comme attendu, les traceurs

se manifestent par des courbes de restitution identiques. Pour atteindre un degré élevé de qualité, il est important d'effectuer une calibration soignée du fluorimètre.

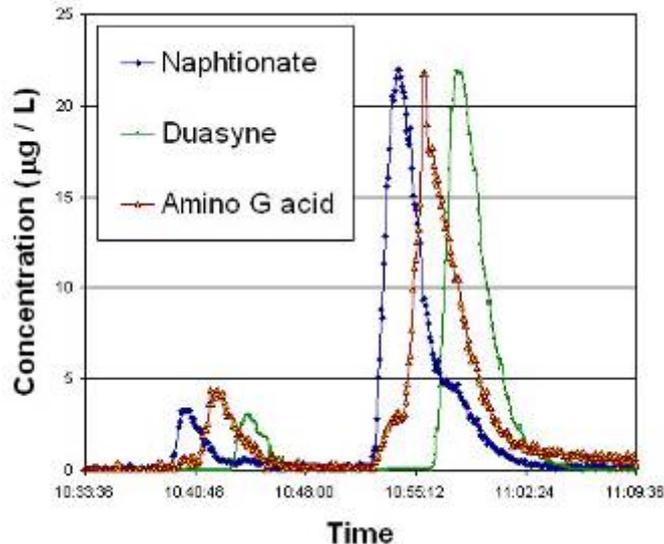


Figure 5 : Courbes de restitution dans un cours d'eau de 100 litres / s, après séparation des trois composantes. Les traceurs ont été injectés à 300 m en deux groupes. 1<sup>er</sup> groupe : 1 mg 2<sup>e</sup> groupe 10 mg.

#### 4. CONCLUSION

Dix ans après l'apparition de LED bleues et vertes sur le marché, l'industrie offre maintenant des LED UV qui peuvent équiper avec succès les fluorimètres de terrain. Cette percée ouvre la voie aux traçages économiques et discrets.

Il faut encore signaler qu'il existe également une LED à 280 nm, longueur d'onde qui rend possible la détection d'infimes concentrations d'hydrocarbures aromatiques polycycliques, que l'on trouve dans le gasoil. La limite de détection est de l'ordre du ppb.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

H. Behrens, H., U. Beims, H. Dieter, G. Dietze, T. Eikmann, T. Grummt, H. Hanisch, H. Henseling, W. Käß, H. Kerndorff, C. Leibundgut, U. Müller-Wegener, I. Rönnefahrt, B. Scharenberg, R. Schleyer, W. Schloz, and F. Tilkes, 2001. Toxicological and ecotoxicological assessment of water tracers. *Hydrogeology Journal* 9, 321–325. DOI 10.1007/s100400100126.

FOEN, Arbeitsgruppe Tracer der Schweizerischen Gesellschaft für Hydrogeologie SGH, 2002. *Einsatz künstlicher Tracer in der Hydrogeologie Praxishilfe. Utilisation des traceurs artificiels en hydrogéologie, Guide pratique*. Berichte des BWG, Serie Geologie Nr. 3 – Bern. Available at <http://www.bafu.admin.ch/hydrologie/01835/02126/index.html?lang=en>

Käss, W, 1998. *Tracing technique in Geohydrology*. Balkema, Rotterdam.

Schnegg, P.-A. and N. Doerfliger, 1997. An inexpensive flow-through field fluorometer. Proceedings of the Sixième colloque d'hydrologie en pays calcaire et milieu fissuré, la Chaux-de-Fonds.

Schnegg, P.-A., 2003. A new field fluorometer for multi-tracer tests and turbidity measurement applied to hydrogeological problems. Proceedings of the Eighth International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro.

# La vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région Tébessa-Hammamet (Est Algérien) : Caractérisation et mesures de protection

**Seghir Karima**

Maître des conférences, Faculté des Sciences exactes et Sciences de la Nature et de la vie,  
Université de Tébessa, Algérie. Email : [seghir\\_karima@yahoo.fr](mailto:seghir_karima@yahoo.fr)

## 1. RESUME

Comme dans toutes les régions de l'Afrique du Nord, notamment du Maghreb, la région du grand bassin Méllègue a connu au cours des vingt dernières années une sécheresse très intense et persistante. Cette sécheresse est caractérisée par un déficit pluviométrique considérable, a eu un impact très négatif sur les régimes d'écoulement des oueds et des sources et sur l'alimentation des nappes aquifères. Ce déficit hydro pluviométrique s'est répercuté sur l'ensemble des activités socio-économiques de cette région surtout sur son développement agricole. Par ailleurs ce phénomène a eu ainsi un impact écologique en dégradant, en générale, l'environnement et en favorisant notamment, la pollution des eaux et le dépérissement du milieu naturel. Devant la gravité de cette situation qui intervient dans une période où les besoins en eau pour les différents usages sont considérablement accrus, il est important de mettre en place une politique qui permettrait d'accroître et protéger nos ressources en eau. Dans le but de localiser les zones vulnérables à la pollution et leurs origine, des campagnes d'échantillonnage d'eaux et des mesures piézométriques ont été réalisées pendant les périodes des Hautes et Basses Eaux des années 2005, 2006. L'indice de contamination calculé nous a permis de dresser des cartes de vulnérabilité sur lesquelles on a distingué trois zones à degré de contamination croissant. D'autre part, le calcul du pouvoir épurateur de la couche superficielle de la nappe selon la méthode de RHESE 1977 a montré que la zone est bien protégée, cela nous a laissé poser autant de questions sur l'origine de la pollution des eaux et les points responsable de leur diffusion dans la nappe.

**Mots clés** : vulnérabilité, pollution, indice de contamination, pouvoir épurateur, protection.

## 2. INTRODUCTION

Beaucoup de phénomènes météorologiques sont soudains et momentanés tandis que la sécheresse est plus insidieuse, car elle frappe progressivement une région et maintient son influence au fil du temps. Dans les cas graves, elle peut durer de nombreuses années.

La salinité des eaux souterraines constitue l'un de ces conséquences et un problème plus répandu ces dernières années dans les régions Méditerranéennes. Elle est souvent liée à la nature des formations géologiques, et à l'effet alterné des deux phénomènes d'origine climatique à savoir : évaporation, lessivage [Seghir K.2005].

La région de Tébessa est située NE Algérien, elle appartient au domaine de l'Atlas saharien oriental aux confins Algéro-Tunisiens. Elle est comprise entre les coordonnées géographiques suivantes : (longitude 7° 50- 8° 10 Est ; Latitude 35° 24 – 35° 35 Nord) (Figure.1).

### 2.1 Aperçu géologique

La région d'étude fait partie du bassin d'effondrement Tébessa-Hammamet-Morsott, qui est comblé par des sédiments d'origine continentale à caractéristiques hydrodynamiques très importantes (K,T,S...).

Cette zone comprend une série stratigraphique qui s'échelonne du Trias au Quaternaire recouvrant ainsi plusieurs formations aquifères dont les plus importantes sont datés du Maastrichtien (calcaires fissurés aux bordures), et les alluvions datées du Mio-Pliocène qui sont constituées de cailloutis de calcaires enveloppés dans une matrice plus ou moins argileuse, avec une épaisseur qui dépasse dans quelques zones 350m, et qui forme la structure de la plaine (Figure 2) [Seghir.K.2004,2006,2008]

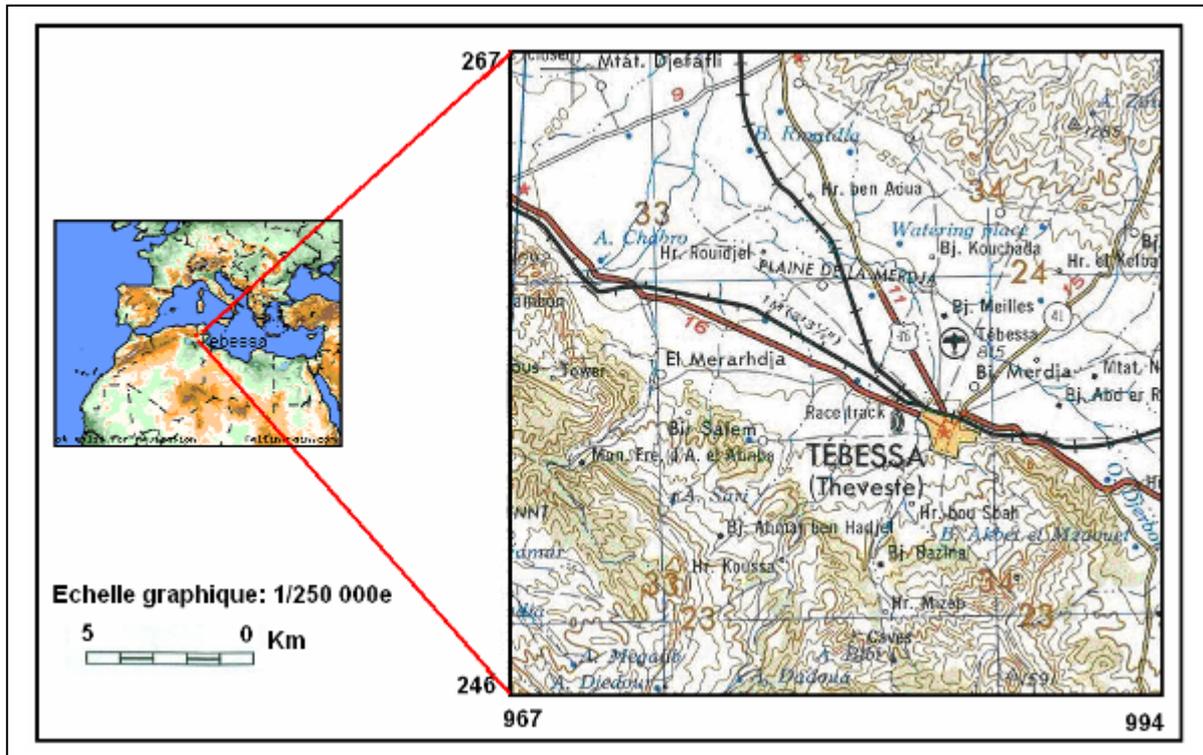


Figure 1 : Situation géographique de Tébessa (NE Algérien)

## 2.2 Aperçu climatologique

la région d'étude est caractérisée par un climat semi-aride de type continental avec une moyenne de précipitations égale 350 mm. Le calcul du bilan hydrique, selon la méthode de Thornthwaite, a montré que l'évapotranspiration réelle (ETR) consomme pratiquement toutes les précipitations tombées donnant ainsi un déficit agricole de l'ordre de 545 mm ; les ruissellements (R) et les infiltrations (I) sont négligeables voire nuls d'ordre de 16,6mm (4,5% de totale des précipitations)

## 3. MATERIELS ET METHODES

L'étude hydrochimique des eaux de la nappe a été menée selon la disponibilité et la répartition des points d'eau dans la zone d'étude. Quarante deux puits et forages ont fait l'objet d'un suivi de la composition chimique des eaux pendant les années 2005,2006.

Quatre campagnes piézométriques ont été réalisées en parallèle. Les paramètres physico-chimiques (pH, T°C, conductivité, Eh, TDS, Salinité, O<sub>2</sub>) ont été mesurés in situ à l'aide d'un appareil multiparamètres de type WTW. Les niveaux piézométriques ont été mesurés sur place à l'aide d'une sonde électrique.

Les analyses des éléments majeurs (cations, anions) ont été effectuées dans trois laboratoires spécialisés [Laboratoire de l'Université de Genève (Suisse), Laboratoire LGIT à l'Université Joseph Fourier à Grenoble (France), et au Laboratoire des Sciences de la Terre à l'Université de Tébessa, en Algérie]

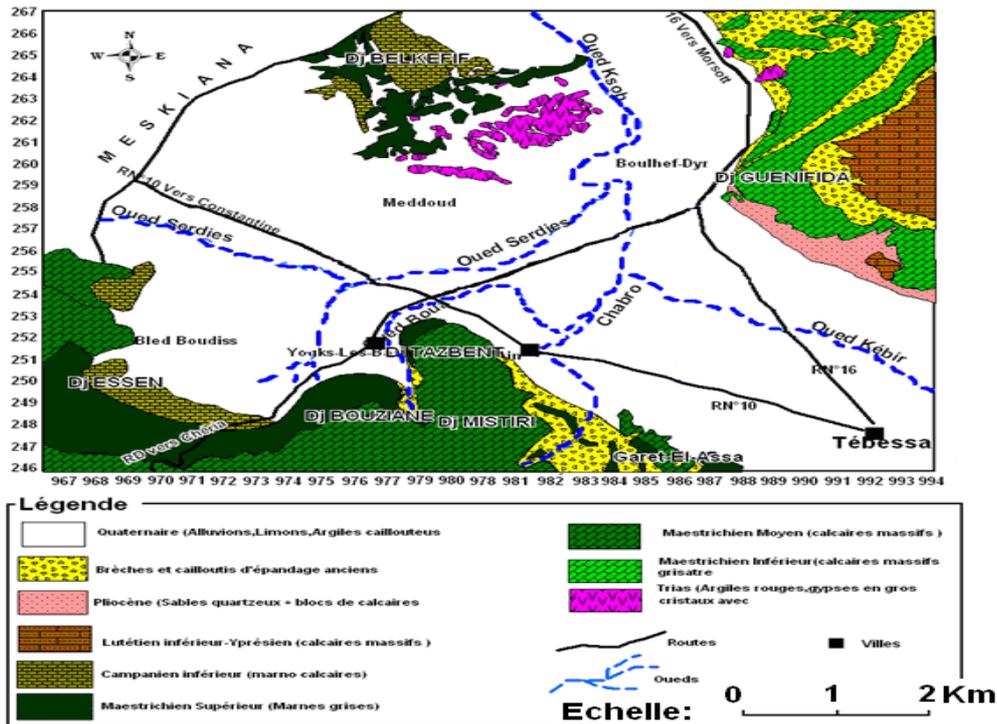


Figure 2 : Localisation et contexte géologique de la région d'étude

## 4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

### 4.1 Caractérisation hydrogéologique

La nappe aquifère de Tébessa – Morsott -Hammamet couvre pratiquement l'ensemble de sous bassin versant d'oued Chabro et Bouakous. Elle est constituée essentiellement de remplissage de quaternaire.

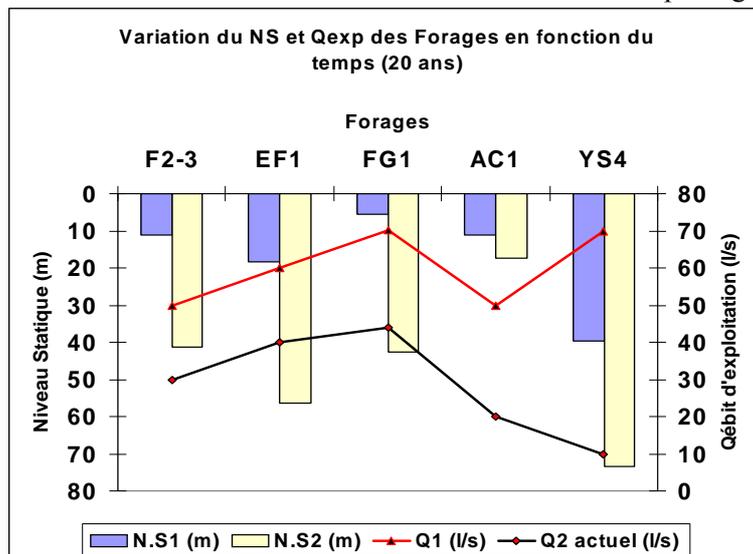


Figure 3 : Variation du niveau statique

La figure ci-dessus (Fig.3) présente une comparaison entre le débit d'exploitation et le niveau statique dans quelques forages. Cette simple approche nous montre clairement :

- Un rabattement fort du niveau statique de 30 m à peu près ;
- Une diminution de débits très distinctifs de 70 l/s à 10 l/s.

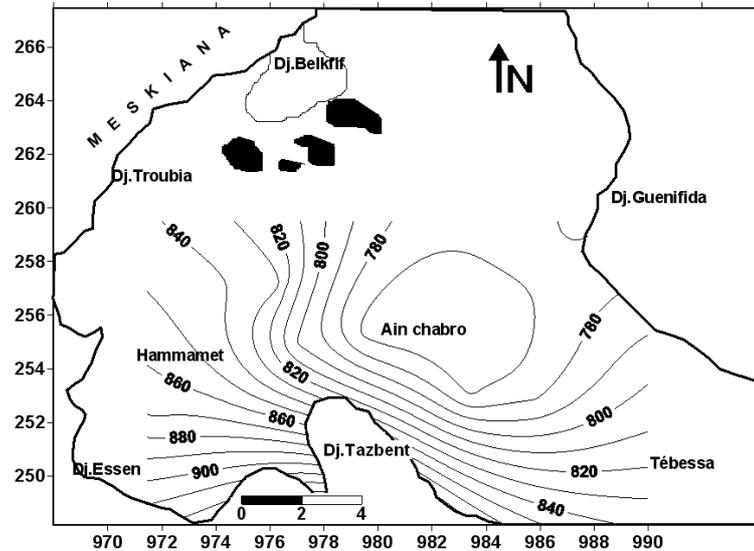


Figure 4 : Carte piézométrique (Mai, 2006)

D'autre part, sur le plan hydrodynamique, les mesures piézométriques montrent que la profondeur de la surface piézométrique, par rapport au sol, est très variable dans l'espace et dans le temps. Il varie entre 1,5 et 25m en période des hautes eaux et entre 9 à 45 m en période des basses eaux.

L'analyse de la carte piézométrique relative à la période hautes eaux 2006 (Fig.4) a montré que le sens d'écoulement général des eaux est Sud-Est/Nord-Ouest avec l'existence d'un autre sens d'écoulement secondaire orienté de l'ouest vers l'est (de Hammamet vers Ain chabro) ; avec la présence des dépressions au niveau des forage (J<sub>2-3</sub> bis, et E<sub>1</sub>) cela est due certainement à une surexploitation. La perméabilité du sol est de l'ordre de  $10^{-2}$  à  $10^{-3}$  m.s<sup>-1</sup> et la transmissivité de l'ordre de  $10^{-3}$  à  $10^{-4}$  m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup> Cet aquifère joue un rôle très important dans l'alimentation en eau potable des agglomérations.

## 4.2. Caractérisation hydrochimique

Nous avons essayé de comparer les teneurs des éléments chimiques entre eux et par rapport aux normes précisées selon l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) ; par ailleurs, voir leurs évolutions dans le temps et dans l'espace.

L'ensemble des résultats montre surtout, des valeurs élevées de la conductivité avec un maximum atteint 9120  $\mu$ S/cm dans les puits et 2500  $\mu$ S/cm dans les forages. Les fortes teneurs de la salinité sont très marquées dans les eaux des puits avec un maximum de 4g/l et une moyenne de 1,12g/l. La variation des concentrations en éléments majeurs des eaux sur deux périodes différentes (Hautes et basses eaux) montre bien qu'il y ait une forte liaison entre les teneurs des éléments chimiques et celles des conductivités.

D'autre part, on a constaté des teneurs élevées des sulfates en période hautes eaux et des sodiums pendant la période basses eaux. Cela ne peut s'expliquer que par l'effet de lessivage et l'évaporation.

Les eaux de la nappe montrent deux faciès chimiques dominants : chloruré sodique, sulfaté calcique (eaux salées) Cela a été bien confirmé dans la partie centrale et le Nord de la plaine où l'influence des terrains triasiques salifères riches en halites est fortement sentie vu la proximité des points d'eau aux affleurements triasiques du Dj. Belkefif. En s'éloignant vers l'amont (le long de la route Nationale N°10 vers la partie Ouest de la plaine), l'influence du Trias s'amortit et le faciès devient plutôt bicarbonaté calcique traduisant ainsi l'influence de la matrice carbonatée des bordures Sud-Ouest de la nappe qui constituent une limite à flux entrant (recharge naturelle par les eaux météoriques).

## 5. INDICE DE CONTAMINATION DE LA NAPPE

La vulnérabilité d'une nappe à la pollution dépend du type de nappe (libre ou captive), de l'épaisseur de la zone non saturée et de sa composition lithologique, et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère.

Pour étudier la contamination des eaux de la nappe nous avons calculé l'indice de contamination en utilisant l'ensemble des éléments chimiques considérés comme étant d'origine anthropique :

$$I.C = [Na^+] + [SO_4^{-2}] + [Cl^-] + [NO_3^-] \quad (1)$$

Les éléments chimiques analysés parus en abondance et qui semblent liés au lessivage des roches magasins et à l'activité humaine (élevage, épandage d'engrais) sont :  $Na^+$ ,  $SO_4^{-2}$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ . En admettant des intervalles de classes en mg/l pour chaque élément et en les additionnant on peut repérer les indices de contamination. Plus cet indice est élevé et plus le point de prélèvement est contaminé donc pollué (Khérici N., 1993).

Nous avons tracé trois cartes de répartition des indices de contamination dans la région d'étude:  
Selon les cartes établies, on peut diviser la région d'étude en trois zones distinctes selon l'intensité de l'indice de contamination calculé:

- La zone de faible indice de contamination (3-6), qui caractérise la zone de Hammamet, dans la partie ouest de la ville de Tébessa. Cette zone est faiblement vulnérable à la pollution éventuelle ;
- La zone de moyenne indice de contamination (6-9) qui caractérise la zone de Ain chabro, dans la partie centrale de la plaine de Tébessa. Elle est donc moyennement vulnérable à la pollution ;
- La zone de fort indice de contamination (10 - 19), qui caractérise la partie Est de la plaine de Tébessa. Cela montre bien que cette partie de la plaine est très exposée et plus vulnérable à la pollution. Elle nécessite donc des mesures de protections très rapides.

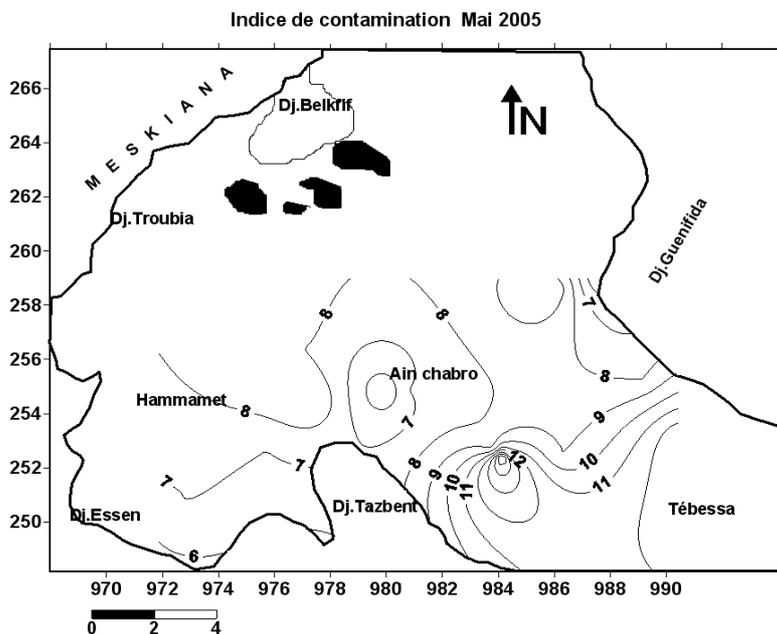


Figure 5 : Carte d'indice de contamination pour la campagne de Mai 2005

## 6. POUVOIR EPURATEUR DU SOL CONTRE LES POLLUTIONS EVENTUELLES

Le sol constitue un puissant moyen d'épuration et de recyclage des eaux. Les argiles, les hydroxydes et la matière organique adsorbent les cations ( $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ , métaux lourds) et certaines molécules organiques. Les germes pathogènes introduits dans le sol sont éliminés quand les conditions de survie sont défavorables.

Une méthode empirique mise au point par Rehse (1977) consiste à estimer dans quelle mesure un polluant déversé en surface du sol verra sa teneur diminuer après un parcours vertical jusqu'à la nappe, puis après un parcours horizontal dans la nappe jusqu'au point de prélèvement.

Pour cela des index sont attribués aux différents types de roches qui sont implicitement liés à la perméabilité et au pouvoir de rétention des constituants des matériaux et qui tiennent compte de l'épaisseur. Les quatre premiers mètres qui constituent la frange de terrain, pouvant être affectés par des travaux de terrassement ou canalisation, ne sont pas pris en compte dans le calcul [Seghir K.2008] Le pouvoir épurateur des terrains est calculé par :

$$M_x = (M_d + M_r) \quad (2)$$

Avec :

$M_x$  : pouvoir épurateur sur la totalité du transfert ;

$M_d$  : pouvoir épurateur sur le trajet vertical ;

$M_r$  : pouvoir épurateur sur la distance horizontal.

- Si  $M_d$  est supérieur à 1, cela signifie que l'épuration est totale dans les couches de couverture et qu'un périmètre de protection rapproché n'est pas nécessaire selon Rehse ;
- Si  $M_d$  est inférieur à 1, la dépollution n'est pas totale et doit se poursuivre dans la roche aquifère lors du transfert horizontal.

Toutes les valeurs de  $M_d$  calculées sont supérieures à 1, ce qui signifie que, le pouvoir épurateur du sol, sur le trajet vertical, est total et la nappe est bien protégée contre les pollutions éventuelles.

Cela nous a laissé poser autant de questions sur l'origine de la contamination des eaux de la nappe ? D'où vient cette contamination si la couche superficielle du sol est importante et protège bien la nappe ??

La carte du pouvoir épurateur établie (Fig.6) a montré que le pouvoir épurateur du remplissage quaternaire est satisfaisant dans toute la plaine. Ceci se corrèle bien avec la carte du remplissage quaternaire (qui montre que son épaisseur est très importante et atteint 550m (Fig.8), et contradictoire avec ce qui est trouvé sur la carte de contamination ?

Suite à ces données nous ne pouvons dire que la pollution des eaux de la nappe est causée principalement par les rejets des eaux usées souvent non prétraitées (par exemple des puits abandonnés, connexion oued nappe, etc.) dans ce cas là, on ne peut que dire que les points de pollution sont ponctuels. Sans oublier l'effet de la nature lithologique des formations géologiques et leurs influence par les écoulements intermittents (lessivage) [Seghir k ; 2008]

## **7. CONCLUSION**

L'analyse des eaux a révélé une salinité importante d'origine géologique et a mis en évidence les effets négatifs de la pollution causée par l'homme (eaux usées rejetées sans traitement, décharges publiques).

L'épaisseur du remplissage quaternaire est importante et joue son rôle de protection. La carte du pouvoir épurateur établie a bien montré cette constatation. Selon la carte du pouvoir épurateur du sol, la nappe est généralement protégée, et nous avons constaté que la pollution des eaux de la nappe (selon les cartes d'indice de contamination) est causée, très probablement, par les rejets des eaux usées non traitées au niveau des puits abandonnés et aux connexions oued/ nappe.

En somme, à la base de tous ces résultats, nous sommes dans l'obligation de recommander aux autorités locales de la région de prendre des mesures de protection des ressources hydriques existantes et d'améliorer leur qualité chimique par deux possibilités :

- la protection de la nappe contre les pollutions anthropiques de surface (rejet des eaux usées, décharges, engrais chimiques, ...) par l'interdiction des rejets vulgaires de décharge, et eaux usées dans la nature ; l'établissement des périmètres de protection (rapprochée, éloignée) et l'installation des stations d'épuration des eaux usées ;
- l'amélioration du rendement de la nappe par la recharge artificielle en utilisant des eaux de surface de bonne qualité ou bien le captage des eaux de pluie (notons que l'étude de faisabilité de cette proposition fait partie de notre étude de recherche en cours) [Seghir K,2008 a,b].

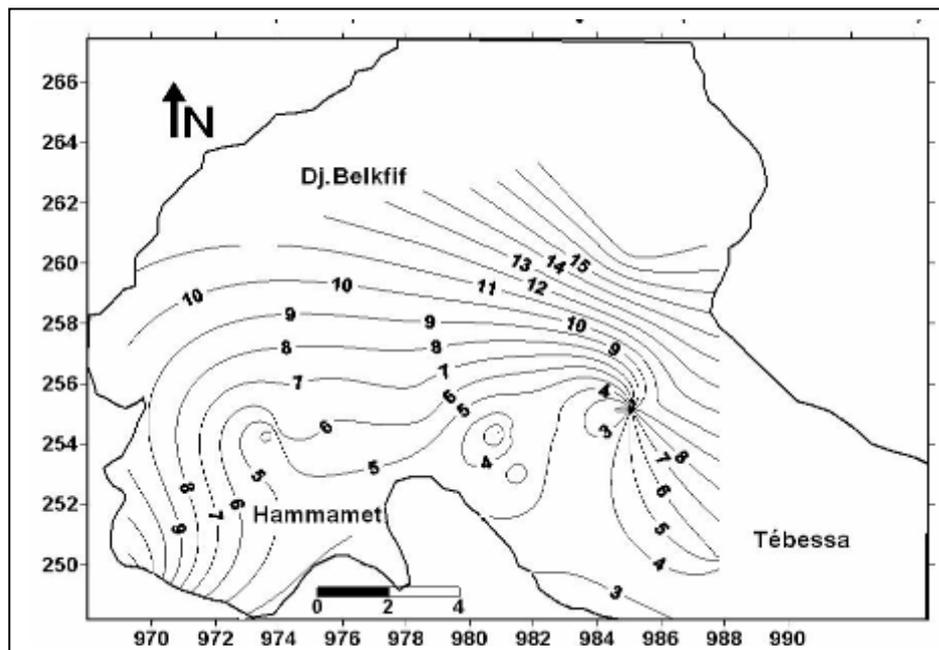


Figure 6 : Carte du pouvoir épurateur de la zone non saturée dans la région d'étude

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Castany G. 1979.**Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod

**Kherici N. 1993.**Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole (Annaba - La Mafragh) Nord-Est Algérien. Th. Doct. Es-Sciences, Université d'Annaba, 170p.

**Marsily de G. 1981.** Hydrogéologie quantitative. Edition Masson.

**Remini B. 2005.**La problématique de l'eau en Algérie. Edition Office des Publications Universitaires.

**Rodier J. 1981.**Analyse de l'eau (eaux naturelles, résiduelles eaux de mer). Edition 8

**Seghir.K. 2008a.** La réalimentation artificielle des nappes phréatiques dans le Nord-Est Algérien.Visions croisées, Université Joseph Fourier, Grenoble,France, Mai 2008, P8

**Seghir K. 2008b.** Vulnérabilité, protection des ressources en eaux, essai de gestion active du sous système aquifère Hammamet Ain chabro (Est Algérien). Thèse de doctorat hydrogéologie, Université de Annaba, 152p



# Les sources minérales dans la région de Tébessa (NE Algérien) : Caractérisation géologique, hydrogéologique, hydrochimique

**Seghir Karima**

Maître des conférences, Faculté des Sciences exactes et Sciences de la Nature et de la vie,  
Université de Tébessa, Algérie. Email : [seghir\\_karima@yahoo.fr](mailto:seghir_karima@yahoo.fr)

## 1. RESUME

Le Nord Est Algérien possède des potentialités énormes en eau minérales et thermales dont la majorité des sources sont captées d'une façon artisanale et parfois complètement dépourvues de captage.

La région de Tébessa est caractérisée par un climat semi-aride de type continental. Elle a connu au cours de ces dernières années (1980/2000) une sécheresse très intense qui s'est traduite par : un rabattement général du niveau statique des nappes, et un tarissement des plus importantes sources minérales parmi les plus exploiter sont celles de Ain chabro, Youkous, Gaagaa, Gastel, Elkhanga.

De point de vue géologique, la région d'étude comprend une série stratigraphique qui s'échelonne du Trias au Quaternaire, recouvrant ainsi plusieurs formations aquifères dont les plus importantes sont datés du Mæstrichtien, Turonien et éocènes (calcaires fissurés aux bordures). Les coupes géologiques établies montrent que les sources minérales existantes dans la région sont émergentes à la faveur d'accidents tectoniques profonds.

Des mesures in situ du débit des sources et son régime d'évolution, ainsi que des analyses chimiques et bactériologiques ont été réalisés. L'interprétation des résultats montre que ces fameuses sources ont subi des fluctuations saisonnières des débits et des températures ainsi que leur chimisme indiquant, par conséquent, leur alimentation par les eaux superficielles.

**Mots clés** : Sécheresse, calcaires fissurés, sources minérales, débit, pollution, protection.

## 2. INTRODUCTION

L'histoire a montré que l'homme cherchait ses sources de vie dans la nature, chose qui se continue jusqu'à la fin de la vie. Parmi les besoins qui ont poussé l'homme à exploité la nature est le besoin en eau, qui est une nécessité vitale pour chacun de nous, chose à laquelle l'homme a consacré son génie et son développement économique pour découvrir les quantités fabuleuses d'eau indispensable pour l'alimentation en eau potable [Castany,1979 ; Marsily, 1981 ; Seghir 2008].

La région de Tébessa est située à l'extrémité Nord-Est du territoire Algérien. Elle fait partie du grand bassin versant de oued Medjerda et de sous bassin de Mellègue, les bordures sont constitués des montagnes culminantes composées des calcaires Mæstrichtien et Eocène. Les limites géomorphologiques aux bordures de la vallée de Tébessa peuvent être définies comme suite : Au Nord par Dj.Dyr et Bourbai, à l'Est par Dj.Gouray, Draa Ain Sedjera ; à l'Ouest par Dj.Doukkane à Tébessa et Dj.Tazbent, Dj.Troubia et Dj.Gourigueur dans la région de Hammamet.

## 3. CARACTERISATION GEOLOGIQUE

En se référant aux anciens travaux géologiques régionaux de nombreux auteurs nous citerons essentiellement les travaux de G.Duruzoy, 1956 ; FLEURY, 1971 ; KASHER, 1970 [Seghir K.2008], la plaine par rapport aux bordures constitue un effondrement avec comblement par des sédiments d'origine continentale entourée

par des reliefs importants ceux-ci formés d'un ensemble de synclinaux et d'anticlinaux à faciès prédominants calcaires et calcaires marneux du crétacé inférieur à l'éocène moyen.

Dans la région d'étude on distingue deux grands ensembles :

- le premier est constitué par les affleurements de bordure composée essentiellement par des formations crétacées et tertiaires ;
- le deuxième ensemble est constitué par des formations quaternaires de la plaine.

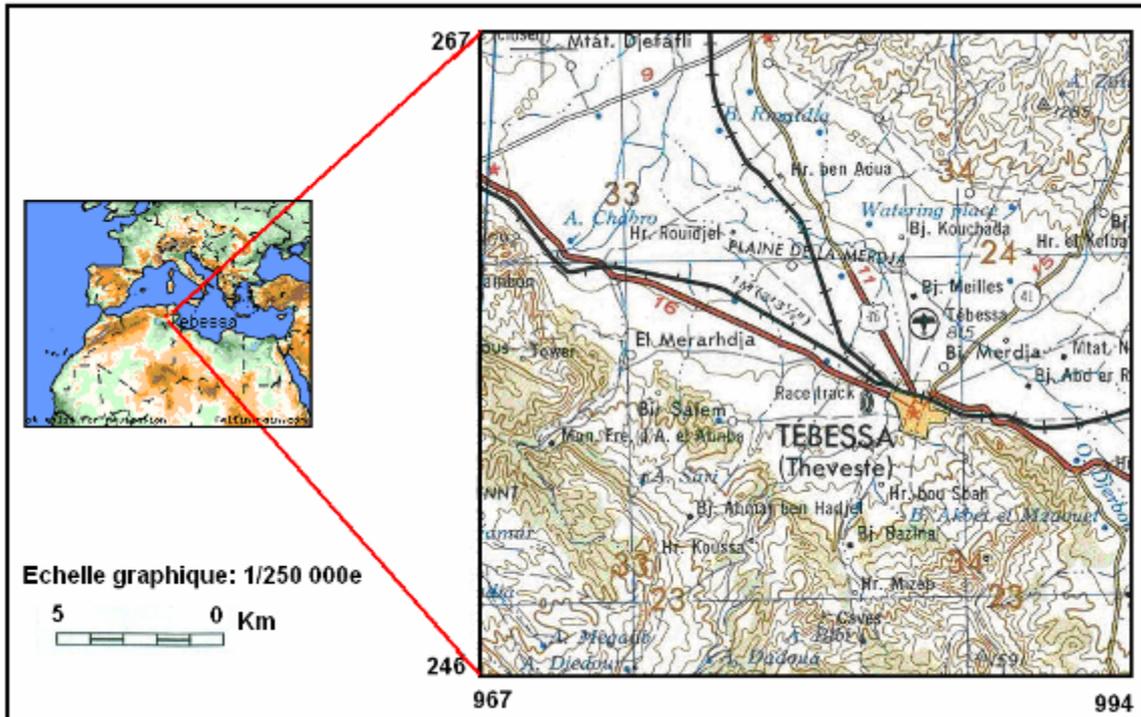


Figure 1 : Situation géographique de la région de Tébessa (Seghir K.2008)

Ces deux ensembles forment une série stratigraphique complète (fig. 2), cette série nous a permis d'identifier des formations perméables susceptibles d'être aquifères qui sont (les calcaires Turonien, Maastrichtien, et éocènes qui constituent les synclinaux de Troubia, Tazbent, Dj. Dokkane, Dj. dyr), les formations gréseuses du miocène, les formations quaternaires qui s'étendent sur la totalité de la plaine. Les lignes des sources qui apparaissent en bordure au contact calcaire Maastrichtien et Eocène.

La tectonique qu'a subie la région avait une influence très importante sur l'hydrogéologie de la région, c'est l'origine d'une perméabilité de fissures (karstification), ce phénomène a dû débuter après le dépôt des séries tertiaires et ceci durant la période où les assises du crétacé étaient émergées (Fig.2).

Dans le bassin d'effondrement, les aquifères des calcaires sont recouvertes par des sédiments mio-pliocène qui renferment en même temps des nappes superficielles dont leur importance hydrogéologique varie suivant l'épaisseur des sédiments et leur perméabilité.

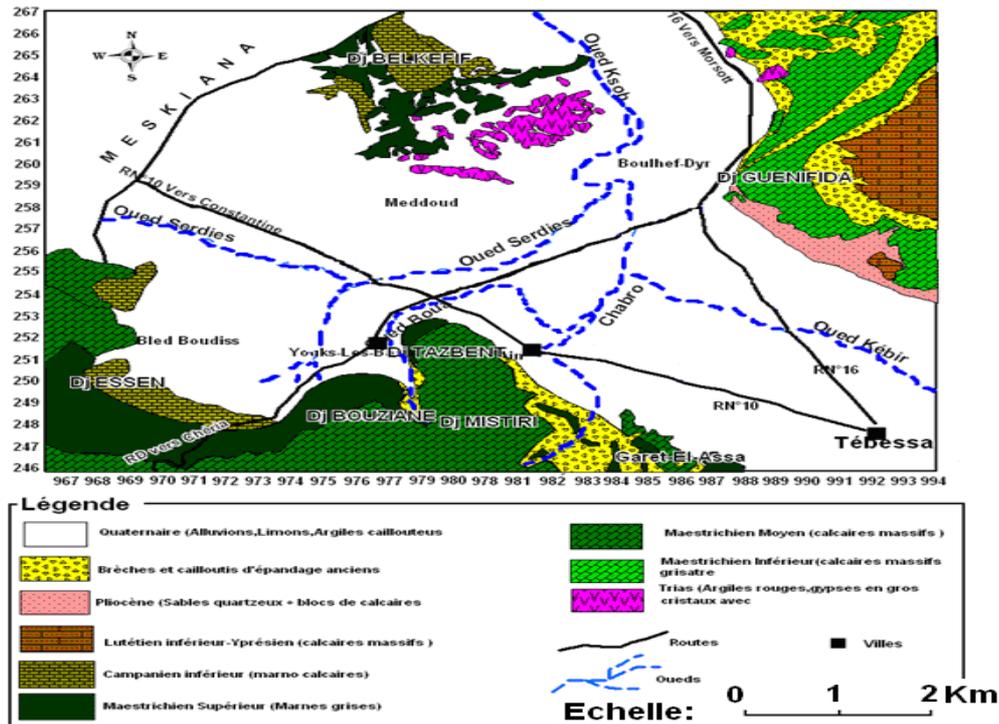
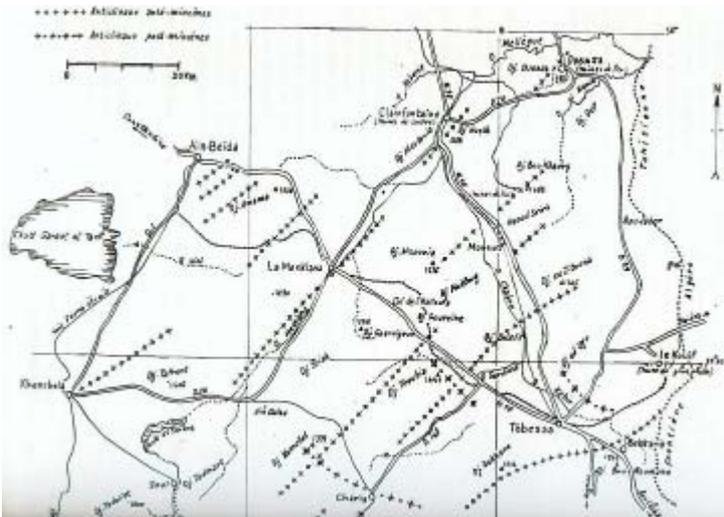


Figure 2 : Localisation et contexte géologique de la région d'étude



La région d'étude constitue une ligne de partage des eaux entre deux bassins versants de directions opposées : l'un méditerranéen et l'autre est saharien. Le pendage vertical (très incliné) des couches des calcaires qui affleurent sur les lignes des crêtes, est favorable à l'infiltration des eaux de pluie.

Figure 3 : Esquisse Tectonique de la région de Tébessa (d'après G. DUROZOY, 1952)

En aval des couches de calcaires de crétaé affleurent des marnes imperméables, le long desquelles affleurent un nombre très important de sources qui servent à l'alimentation permanente des oueds grâce à leurs débits importants :

- A l'Ouest deux gros affleurements favorisés la circulation souterraine de type karstique et bénéficient des failles pour ressurgir la source de youkous et celle de Ain zarouk ;
- Au Sud affleurement des sources Ain Anba, Ain sari et Ain Dalia dans les calcaires à Inocérames ;
- Au Nord : Ain Gouraye, Guettar, Kissa, et Guenifida affleurent dans les calcaires Mæstrichtien à la limite des marnes du campanien sur le flanc sud du synclinal dyr ;
- A l'Est, des couches de calcaires et de calcaire marneux d'âge crétaé occupant la ligne de relief. un contact discordant entre les couches calcareuses et du marnes ainsi les dépôts alluvionnaires au niveau de la plaine ont donné naissance de plusieurs sources parmi les plus connu sont : Ain Bekkaria dite Elkhanga, Ain Benfalia.

Ces sources sont issues des calcaires qui pour fortes pluies apportent un soutien important au débit des oueds.

#### 4. CARACTERISATION HYDROGEOLOGIQUE

Les sources n'ont pas toujours un débit constant durant l'année, elles subissent des variations saisonnières consécutives aux variations saisonnières de l'alimentation des nappes ou du réseau aquifère qui leur donnent naissance.

D'après la carte de répartition de calcaire mæstrichtien et éocène, le nombre de sources est très important et englobe plus de 35 sources, leur répartition est irrégulière car prenant des directions différentes d'après l'ordre suivant :

- Au Nord-Ouest de Tébessa comme Ain Guettara, Ain D'hab, Ain Annba,
- Au Nord –Est de Hammamet comme Ain Jadida, Ain Bouakous, Ain Gaaga,
- Au nord-Est de Morsott, leur répartition s'effectue d'une manière régulière autour de Dj.dyr comme Ain Trab, Ain Snaura, Ain Chouhada,
- Au sud de Meskiana près de Dj.Gourigueur comme Ain Dhalaa.

L'inventaire de ces sources est présenté sur le tableau (Tab.1) la majorité des sources jaillissantes résultent d'un contact entre les calcaires Mæstrichtien et les marnes campaniens comme s'est le cas de Tébessa et Hammamet, par contre, pour la région de Morsott, les sources résultent d'un contact entre les calcaires éocènes et les marnes de Dana-Mantien.

Dans cette même région, nous avons inventorié de sources captées sous forme de puits tel que le puits de Bir Djabar ainsi que celui de Ain Sari.

Leurs débits varient actuellement entre 0,11/s et 10l/s, influencé par la sécheresse qu'a connue la région durant une période très longue. Elles sont très importantes dans la région de Hammamet et Morsott par rapport à celles de Tébessa. Toutes ces sources sont utilisées pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation.

- **La source de Gaaga** est issue d'un contact entre les marnes du Mæstrichtien inférieur d'une couleur grise et les calcaires de Mæstrichtien moyen d'une couleur également grise. La source est située aux pieds de Dj.Gaaga d'où son nom à une hauteur relative de 450m, et d'un pendage des couches de 27°. Les effets de l'altération chimique sont très forts, le degré de fissuration est important, ces facteurs ont donné un débit important. La source de Gaaga considéré comme source ascendante et caractérisée par un régime régulier et est utilisé pour l'AEP, ses conditions sanitaires sont bonnes.
- **La source de Ain Djedida** est située aux pieds du versant de Dj.Bouziane et au dessous du versant gauche de l'oued Bouakous. La stratification des couches suit un ordre qui se répète dans toute la région de Hammamet avec la même direction du plongement des couches vers le sud à Chéria (pendage estimé à 45°). La fissuration ainsi que l'altération chimique sont deux facteurs qui laissent des traces très visibles sur la falaise d'où la conclusion que cette source est issue des fissures. Ain Djedida est une source accidentée captée par une chambre de captage de 2\*2m dans des conditions sanitaires excellentes. Caractérisée par un débit important, qui arrive jusqu'à 100 l/s en période hivernale, et un régime régulier, cette eau est utilisée pour l'AEP. Des analyses bactériologiques ont été faites ont montré la bonne qualité des eaux des sources.
- **La source n°3.4 sur la rive gauche de oued Bouakous** : ces deux sources affleurent directement au contact des calcaires Mæstrichtien moyen et les marnes de Mæstrichtien inférieur. Ces sources sont caractérisées par un débit moyen varie entre 0,2 à 0,5 l/s et d'un régime régulier, elles sont utilisées pour l'AEP, et alimente directement oued Bouakous. Il faut noter qu'à l'instar de ces deux sources, affleurent le long des rives gauche et droite de oued Bouakous plusieurs autres sources dans les mêmes conditions et avec les mêmes caractéristiques.

Nom Source	Coordonnées Lambert			Débits (l/s)
	X (m)	Y (m)	Z (m)	
Ain Gaaga A55	970800	24610	1300	80
Ain Jdida A94	97790	24820	1010	40-200
AinBouakous(grotte)	97890	24720	1050	40-100
Ain Trab A81	99770	26110	1300	3
Ain Guettara A77	99650	25692	1180	0,1
Ain D'hab	99760	25770	1250	1
Ain sari A 61	984320	24510	1150	0,5
Ain AnbaA62	981	24640	1200	0,4
Ain KissaA64	99184	25738	1000	30
Ain Chabro A75	99206	26052	1200	50
Ain Zerga A132	1003500	275	850	20-40
Ain Saoura A72	99386	26146	1300	2
Ain Kebacha A69	99546	25960	1300	0,5
Ain Ras laioun	1006900	261475	1000	8-10
Ain BourouhA99	972600	24055	1200	1
Ain Gueddach A96	97790	24820	1280	
Ain Sejra A84	100706	25618	1050	1
Ain Trab2A80	99738	26078	1200	4
Ain Erkel	997600	264900	1150	7
Ain Youks	977900	248300	900	40-100
Ain Khanga	10102	2399	1150	80

Tableau 1 : Les coordonnées et débit des sources d'eau dans la région de Tébessa

- **La source de Bekkaria dite ElKhangha** : l'étude géologique ainsi que des paramètres hydro pluviométriques et hydro chimiques nous a permis de mettre en évidence les conditions d'émergence de la source qui sont d'ordre morphologiques : la surélévation de substratum imperméable marneux du Turonien et Emschérien, un levé topographique en formant de dépression en donnant le col de Bekkaria, et un levé piézométrique convergeant au niveau de la source et divergeant au niveau de Hennchir Hajra Safra. L'écoulement de la source suit un régime d'irrégularité soutenu par les précipitations, le débit de la source a connu une baisse très rapide durant la période de sécheresse qu'a connu la région. Les eaux de la source sont de qualité bicarbonatée calcique où les calcaires fissurés du Turonien moyen jouent un rôle dans l'évolution du chimisme de l'eau de la source.
- Les conditions de formations du karst ne sont pas, pourtant, identiques car la nature des roches, leurs compositions, le milieu est des facteurs qui influencent le processus de formations du karst. La grotte de Bouakous qui forme une partie très importante de la vallée présente un témoignage remarquable sur l'évolution des phénomènes du karstification locale. Située en amont de l'oued Bouakous la grotte d'origine karstifiée de formations calcaires Mæstrichtien. Les failles, les fissurations tous comme les autres facteurs influencent directement le processus de développement de cette opération. Ceci permet à l'eau de s'infiltrer et d'exercer son activité de dissolution en profondeur les fissures s'élargissent et deviennent des voies de circulation encore plus favorable.
- L'estimation des ressources naturelles de tous le réservoir des calcaires Eocène est donné par la formule suivante :  $W = S \cdot h \cdot m_e$  (1) où,  
 $S$  : la superficie totale des calcaires éocène (=99,5Km<sup>2</sup>)  
 $h$  : l'épaisseur de la couche mouillée (=150m)  
 $m_e$  : le coefficient de la porosité (=2\*10<sup>-4</sup>)  
 $W = 2,985 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
- L'alimentation de l'aquifère des calcaires Mæstrichtien est faites par les pluies, également par les précipitations neigeuses qui joue un rôle important si l'on considère la superficie des montagnes



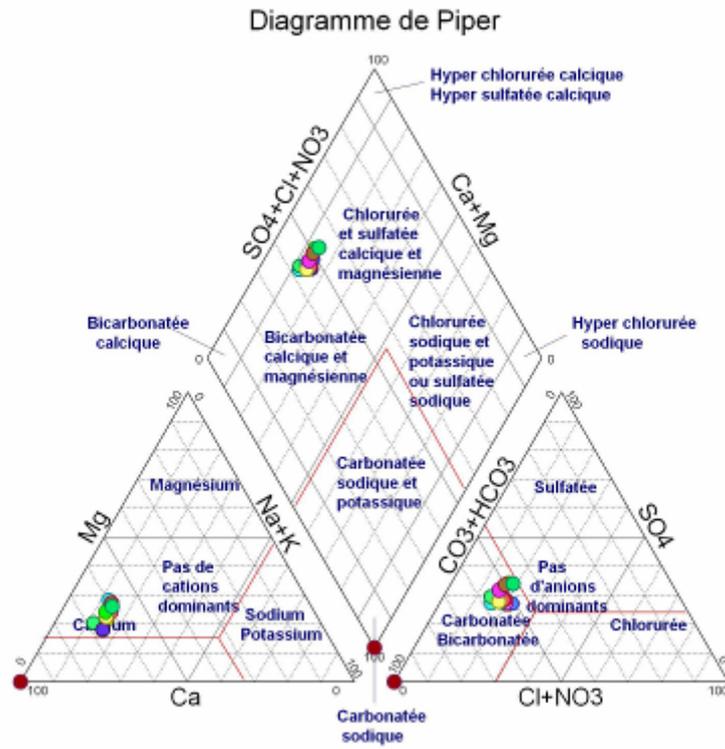


Figure 5 : Qualité chimique des eaux de la source Elkhanga [Seghir K. 1997]

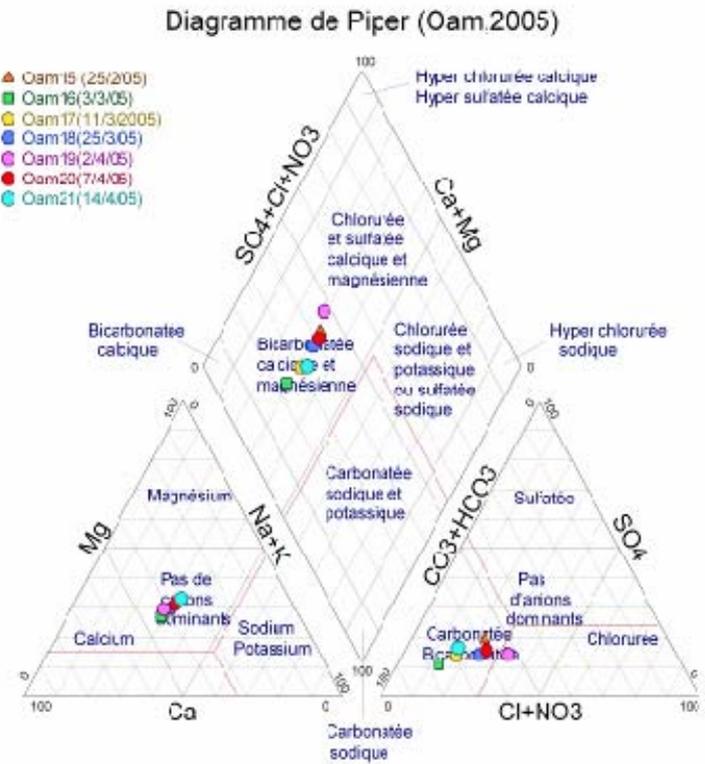


Figure 6 : Qualité chimique des eaux de la source de Bouakous [Seghir K. 2008]

## 6. CONCLUSION

Ces études ont contribué beaucoup à la bonne connaissance ainsi que l'actualisation des données hydrogéologiques et hydrochimiques, des réservoirs aquifères des calcaires éocènes et Mæstrichtien, localisées aux bordures de la plaine de Tébessa afin de les valoriser pour l'AEP.

Ces ressources naturelles dépendent essentiellement du degré de fissuration et karstification (la structure du réservoir aux bordures) et les bonnes conditions d'alimentation naturelles (précipitations, influence de la sécheresse sur leurs débits).

Ces ressources sont dotées d'une bonne qualité chimique et minérale et contribuent efficacement, malgré l'influence de la sécheresse sur leurs débits, dans le développement local de la région (AEP, irrigation, tourisme.)

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Castany G.1979.**Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod.

**Kherici N. 1993.**Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole (Annaba - La Mafragh) Nord-Est Algérien. Thèse de Doctorat hydrogéologie, Université D'Annaba, 170p.

**Mansouri F ; Redjeb S .1993.**Analyse des données hydrogéologiques concernant les calcaires Mæstrichtiens et éocènes aux bordures de la vallée de Tébessa. Mémoire DEUA, hydrogéologie, Université de Tébessa, 180 p.

**Marsily de G.1981.** Hydrogéologie quantitative. Edition Masson.

**Rodier J. 1981.**Analyse de l'eau (eaux naturelles, résiduelles eaux de mer). Edition 8.

**Seghir.K. 2008a.** La réalimentation artificielle des nappes phréatiques dans le Nord-Est Algérien. Visions croisées, Université Joseph Fourier, Grenoble, France, Mai 2008, P8

**Seghir K.2008b.** Vulnérabilité, protection des ressources en eaux, essai de gestion active du sous système aquifère Hammamet Ain chabro (Est Algérien). Thèse de doctorat hydrogéologie, Université de Annaba, 152p.

**Seghir K. ; Bayaza R. 1997.** Essai d'étude des conditions physico-chimiques de l'émergence de la source de Bekkaria à travers un suivi in situ des quatre derniers mois « février mai » de la période des hautes eaux de l'année 1996-1997. Mémoire d'ingénieur en hydrogéologie, Université de Tébessa, 130P

# Etat des lieux et bilan de la mise en œuvre de la directive nitrates en France

**Christine SIMOENS<sup>(1)</sup>, Philippe JANNOT<sup>(2)</sup>**

(1) 1 SOGREAH–6 rue de Lorraine– 38130 Echirolles, christine.simoens@sogreah.fr

(2) Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durables et de la Mer - MEEDDM/DEB, Bureau des ressources naturelles et agriculture, La Grande Arche - Paroi Sud 92055 La Défense Cedex, philippe.jannot@developpement-durable.gouv.fr

**Mots clés :** directive nitrates, pratiques agricoles, qualité eau

## **1. ENJEUX, MESURES ET OBJECTIFS VISES PAR L'APPLICATION DE LA DIRECTIVE NITRATES EN FRANCE**

En France, depuis le début des années soixante-dix, la qualité des ressources en eau vis-à-vis des nitrates s'est dégradée (figure 2). Certaines ressources en eau souterraine dépassent actuellement la norme de 50 mg/l fixée pour définir le bon état chimique des eaux souterraines au titre de la directive cadre sur l'eau (DCE). Ce seuil de 50 mg/l est également appliqué à l'eau distribuée et tout dépassement implique un traitement de l'eau avant distribution. Les excès de nitrates, alliés aux phosphates, sont enfin à l'origine de l'eutrophisation des eaux superficielles (développement d'algues...).

Les nitrates proviennent essentiellement des activités agricoles. La politique de lutte contre les nitrates d'origine agricole repose depuis une quinzaine d'années sur la combinaison de trois dispositifs : actions volontaires, incitations financières et actions réglementaires à travers la directive 91/676/CEE du 12 décembre 1991 dite directive « nitrates ». Cette directive a conduit à délimiter, dès 1994, des zones vulnérables (figure 1) où s'appliquent des programmes d'action. Ces programmes visent notamment l'équilibre de la fertilisation azotée, les conditions d'épandage des effluents organiques et le plafonnement des apports organiques d'origine animale et la gestion de l'interculture (figure 3). La directive nitrates constitue aujourd'hui le principal outil réglementaire pour atteindre les objectifs de la DCE vis-à-vis des nitrates.

Le bilan concerne les trois premiers programmes d'action mis en œuvre au cours de la période (1996-2007). Il a été décliné selon le modèle pression (bilans azotés), état (résultats sur la qualité de l'eau), réponse (changements des pratiques agricoles).

## **2. LA DIRECTIVE « NITRATES » S'APPLIQUE AUX REGIONS AGRICOLES LES PLUS INTENSIVES**

La délimitation des zones vulnérables concernées par le 3<sup>ème</sup> programme d'action qui repose sur la prise en compte de la dégradation de la qualité des eaux, intègre les principales pressions agricoles car elle regroupe 50% des exploitations et près de 55% de la SAU, dont 73% des surfaces en grandes cultures et 77% en cultures légumières, plus de 75% des élevages hors sol et 50% des élevages bovins, essentiellement laitiers. L'agriculture en zone vulnérable se caractérise par des évolutions à la fois favorables vis-à-vis de la couverture des sols en hiver (la régression des cultures de printemps au profit des cultures d'hiver), mais défavorables vis à vis des consommations d'azote (le développement des surfaces en céréales au détriment des surfaces en prairies).



## DIRECTIVE NITRATES ZONES VULNÉRABLES 2007

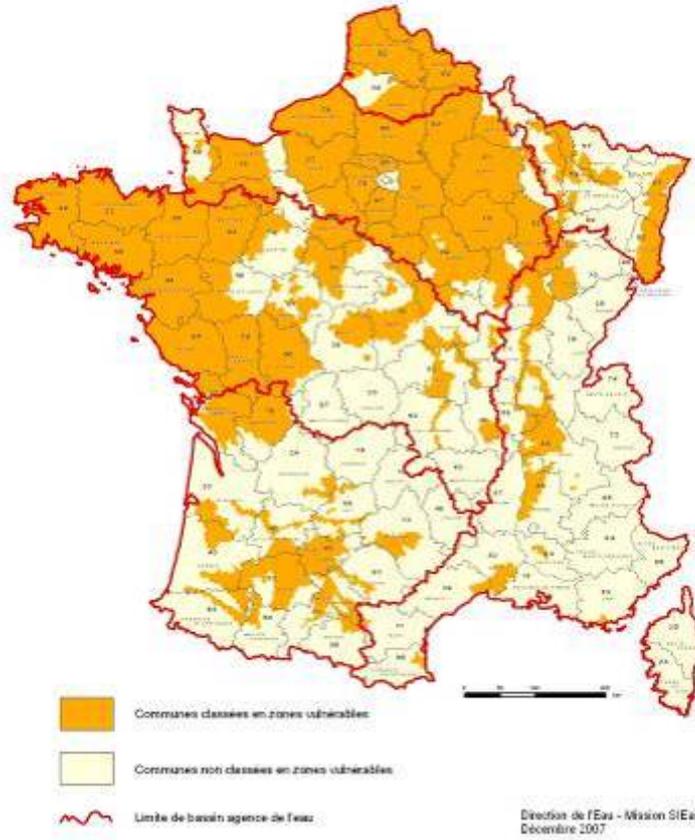


Figure 1 : les zones vulnérables en France (source : MEEDDEM)



Figure 2 : des ressources en eau à protéger



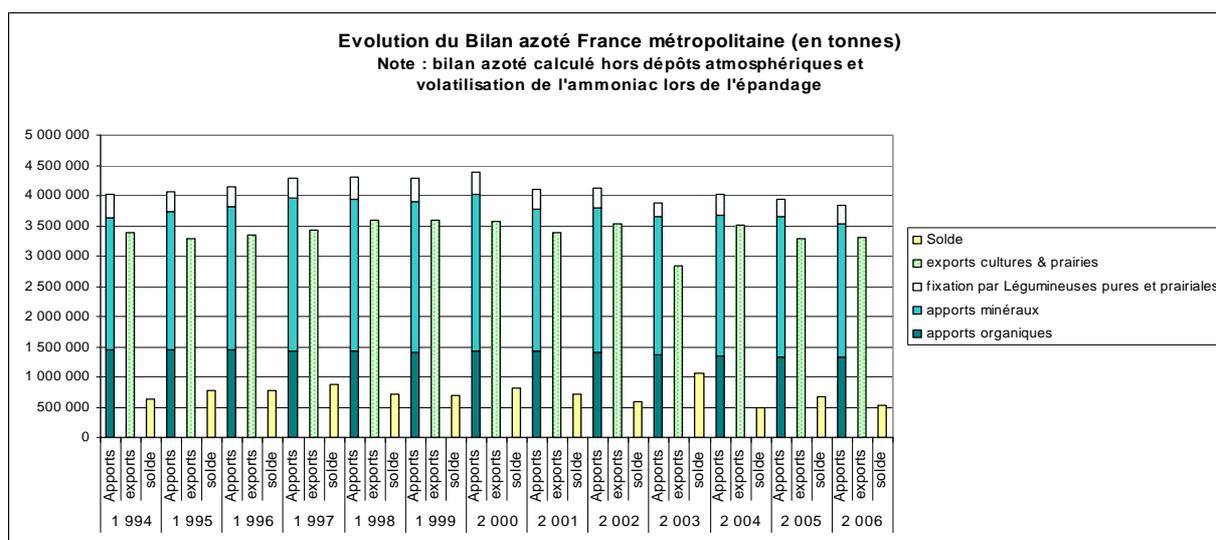
*Gestion de fertilisation... des effluents d'élevage et des terres.*

*Figure 3 : mesures obligatoires dans les zones vulnérables*

### 3. UNE DIMINUTION DE LA PRESSION AZOTÉE EN FRANCE

L'évolution des pressions azotées en France montre depuis plusieurs années une diminution généralisée des pressions azotées (figure 4), liée à la diminution des consommations d'azote minéral en agriculture et à la diminution de la production d'effluents organiques liée à la baisse du cheptel.

Même si le Grand Ouest de la France reste en tête des pressions azotées, cette évolution est nette dans cette région : en 12 ans (1994-2006), on assiste à une baisse régulière de la production d'azote organique (-12%), de la consommation d'azote minéral (-18%) et du solde du bilan azoté (-44%). Ceci est lié aux restrictions vis-à-vis des effectifs animaux dans les zones d'excédent structurel et aux actions bassin versant menées depuis les années 90, couvrant la quasi-totalité de la Bretagne, ainsi que, pour ce qui concerne le solde du bilan azoté, à l'augmentation progressive des rendements des cultures.



*Figure 4 : Evolution du bilan azoté en France de 1994 à 2006*

#### 4. UNE AMELIORATION DES PRATIQUES AGRICOLES EN ZONE VULNERABLE

L'analyse montre aussi une tendance à l'amélioration pour certaines pratiques vis-à-vis des risques de pertes d'azote :

- une tendance à la baisse des doses d'azote minéral et notamment des doses les plus élevées, ainsi que des doses d'azote total (minéral et organique), liée à une meilleure prise en compte de la valeur fertilisante des effluents organiques,
- une meilleure gestion des effluents organiques : augmentation et des surfaces réceptrices d'apports organiques, ce qui permet de diversifier les cultures réceptrices et diminuer les apports organiques par unité de surface,
- un meilleur ajustement des dates d'épandage des effluents organiques aux périodes de besoins des cultures ; cet ajustement est permis par l'accroissement des capacités de stockage auquel le programme de maîtrise des pollutions d'origine agricole (PMPOA) a contribué,
- le développement des cultures intermédiaires piège à nitrates (CIPAN) dont les surfaces ont été multipliées par cinq en zone vulnérable et atteignent près d'un quart des sols nus avant une culture de printemps (figures 5 et 6).

Néanmoins, d'autres pratiques agricoles contribuent à la dégradation de la qualité de l'eau comme la gestion de la fertilisation azotée pour les blés de qualité (blé tendre et blé dur pour lesquels les soldes azotés sont particulièrement élevés).

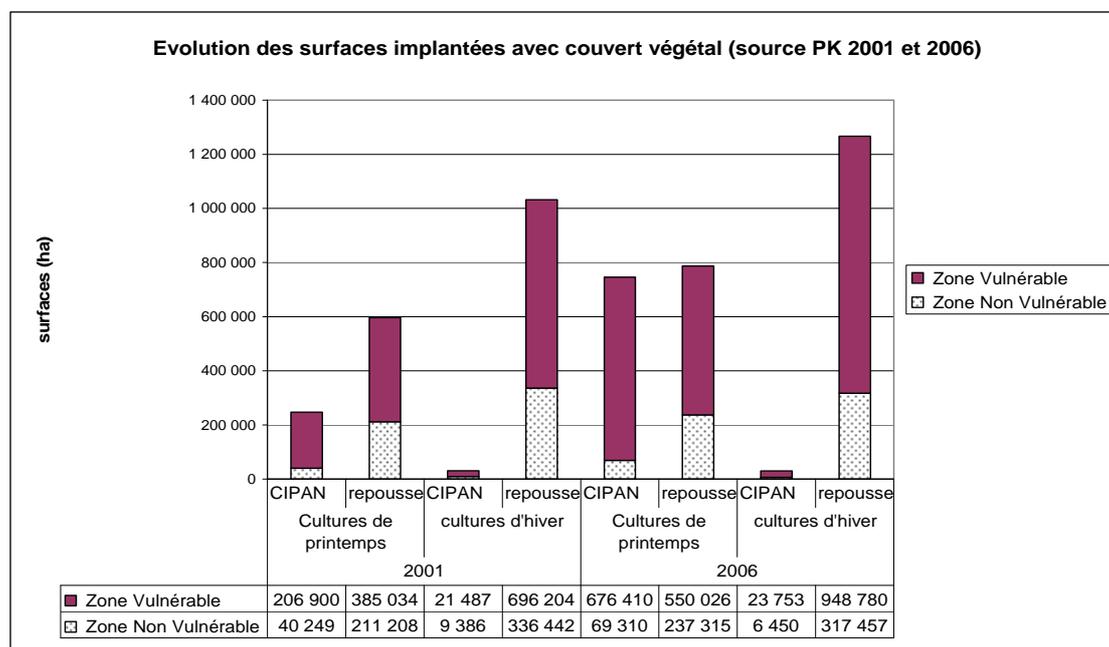


Figure 5 : évolution des surfaces avec couvert végétal pendant l'interculture, d'après les résultats de l'enquête « pratiques culturales » (PK)

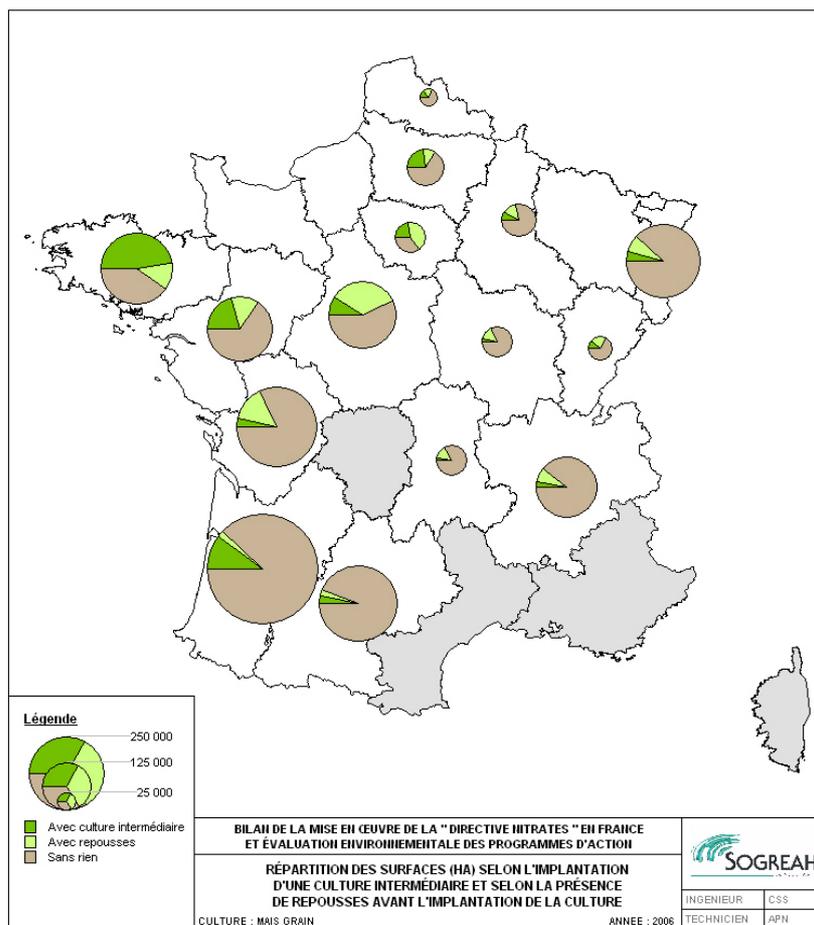


Figure 6 : principales régions concernées par la mise en place de cultures intermédiaires piège à nitrates ou de repousse avant maïs grain.

## 5. UNE BAISSÉ DES TENEURS EN NITRATES DANS L'OUEST DE LA FRANCE

L'analyse de la qualité de l'eau confirme que les efforts menés vis-à-vis de l'azote commencent à porter aujourd'hui leur fruit, dans les régions de l'Ouest de la France et notamment en Bretagne, avec une tendance à la baisse des teneurs en nitrates en eaux superficielles, même si ce résultat nécessite d'être confirmé et surtout amplifié pour atteindre un niveau acceptable (figures 7 et 8).

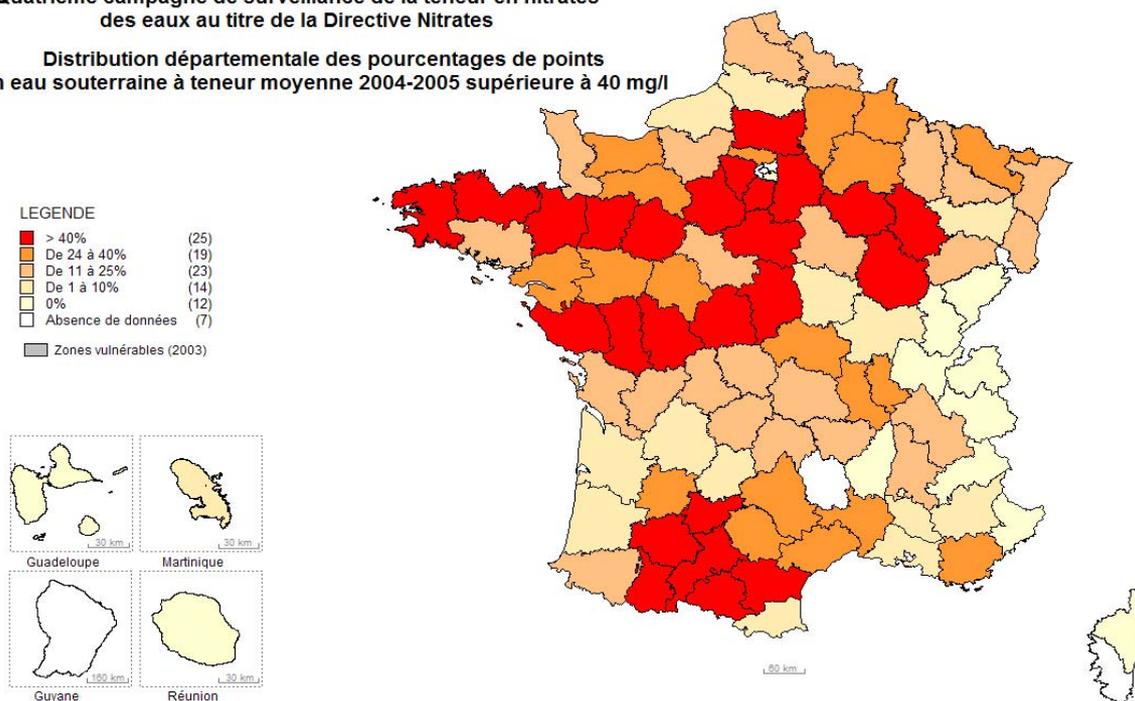
Les régions de l'Ouest de la France ont notamment bénéficié d'aides à l'implantation de couverts végétaux à travers les ICCS (indemnité compensatoire de couverture des sols). Elles ont aussi été largement concernées par les aides du PMPOA I qui ont visé les élevages hors sol de plus grande taille pour lesquels les travaux sont achevés<sup>24</sup>. Les résultats positifs s'expliquent aussi en partie par le fait que les ressources en eau dominantes sont superficielles et présentent des réponses assez rapides, du moins sur certains bassins versants.

Par contre, dans d'autres régions comme les plaines céréalières du Bassin Parisien ou de Poitou Charente et les zones de polyculture élevage bovin laitier intensif de Normandie ou du Sud Ouest, aucune tendance positive aussi nette ne se dessine conjointement vis-à-vis de la qualité de l'eau et de l'évolution des pratiques agricoles. On y observe même une poursuite de la dégradation des teneurs en nitrates en eaux souterraines comme en eaux superficielles qui peuvent s'expliquer en partie par la reconduction des mesures du 2<sup>ème</sup> programme d'action dans le 3<sup>ème</sup> programme d'action, mesures qui s'avèrent insuffisantes pour inverser la tendance à l'augmentation des teneurs en nitrates.

<sup>24</sup> Les élevages ayant bénéficié des aides du PMPOA II sont en cours de réalisation des travaux.

**Quatrième campagne de surveillance de la teneur en nitrates  
des eaux au titre de la Directive Nitrates**

**Distribution départementale des pourcentages de points  
en eau souterraine à teneur moyenne 2004-2005 supérieure à 40 mg/l**



Source : carte établie par l'OIEau à partir des données fournies par les Agences de l'Eau, les DIREN et les DRASS

Octobre 2006

Figure 7 : Qualité des eaux vis-à-vis du paramètre nitrates en France (source : OIEau)

## 6. LA NECESSITE DE RENFORCER LES MESURES DE LA DIRECTIVE NITRATES

Les résultats actuels de mise en œuvre de la directive nitrates montrent ponctuellement des signes encourageants mais nettement insuffisants pour répondre aux objectifs de la Directive Cadre sur l'Eau. Par ailleurs la nécessité de maintenir une agriculture fortement productive pour répondre à la croissance de la demande alimentaire mondiale sous peine d'explosion des prix des denrées agricoles impose de veiller aux effets négatifs sur la qualité de l'eau.

La hausse des prix a conduit à l'augmentation des surfaces en céréales au détriment notamment des jachères qui devraient être supprimées dans le cadre de la révision de la PAC en cours de discussion, avec à la clé une hausse globale<sup>25</sup> des apports azotés (et de l'emploi de produits phytosanitaires). La suppression envisagée des quotas laitiers va également dans le sens d'une concentration du cheptel bovin et des rejets d'azote organique.

<sup>25</sup> La suppression de l'aide aux cultures industrielles, destinée à favoriser la production alimentaire, nuance l'augmentation des apports liés à la disparition des jachères. D'après la dernière note de conjoncture du SCEES (mai 2008), la superficie en jachères serait déjà en recul de 20% par rapport à 2007 (999 000 ha en 2008 contre 1 232 000 ha en 2007 et 1 254 000 ha en moyenne de 2003 à 2007).

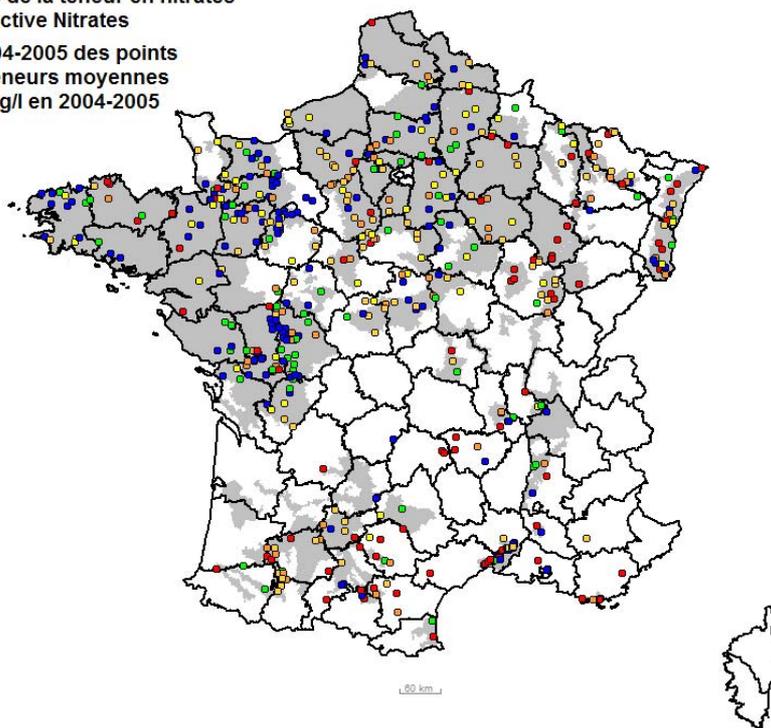
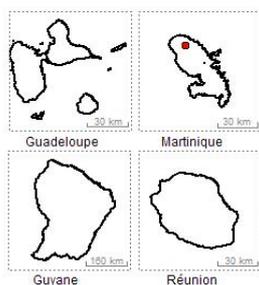
**Quatrième campagne de surveillance de la teneur en nitrates  
des eaux au titre de la Directive Nitrates**

**Evolution entre 2000-2001 et 2004-2005 des points  
en eau souterraine ayant des teneurs moyennes  
en nitrates supérieures à 40 mg/l en 2004-2005**

**LEGENDE**

- Diminution forte  $x \leq -5$  mg/l (148)
- Diminution faible  $-1 > x > -5$  mg/l (78)
- Stabilité  $-1 \leq x \leq 1$  mg/l (60)
- Augmentation faible  $1 < x < 5$  mg/l (103)
- Augmentation forte  $5 \leq x \leq 10$  mg/l (68)
- Augmentation très forte  $x > 10$  mg/l (100)

■ Zones vulnérables (2003)



Source : carte établie par l'OIEau à partir des données fournies par les Agences de l'Eau, les DIREN et les DRASS

Octobre 2006

Figure 8 : Evolution de la qualité des eaux vis-à-vis du paramètre nitrates en France (source : OIEau)

En conséquence, le 4<sup>ème</sup> programme d'action devrait comporter un renforcement des prescriptions pour limiter les fuites de nitrates dans les eaux : couverture des sols en période de drainage, bandes végétalisées (figure 9) le long des cours d'eau définis au titre des Bonnes Conditions Agri-Environnementales, limitation des apports d'azote.



Figure 9 : bandes enherbées

## 7. CONCLUSION

L'application de la directive « nitrates » a eu des effets positifs sur l'évolution des pressions azotées et des pratiques agricoles, avec une tendance à la baisse des consommations d'azote total en France et une diminution des situations à risque de fuites de nitrates (augmentation des surfaces couvertes en période de risque de lessivage de nitrates). Elle se traduit encore par peu d'améliorations notables sur la qualité de l'eau mais par une tendance à la stabilisation des teneurs en nitrates dans les eaux

souterraines et quelques améliorations ponctuelles des teneurs en nitrates dans les eaux superficielles dans l'Ouest de la France.

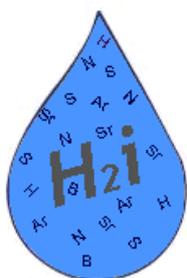
## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

---

**MEDD, 2004** – Evaluation de la mise en œuvre de la directive nitrates "2000-2003".

**SCEES, 2008.** -Graph agri 2008, Agreste-cahiers no 2, juin 2001 et Agreste-primeur no 123, avril 2003.

**SOGREAH, 2008** – bilan de la mise en œuvre de la directive nitrates en France, "2004-2007".



# Groupe Français d'Hydrologie Isotopique

***H2i : Hydrologie, Hydrogéologie, Isotopes***



# Prospection SF<sub>6</sub>-<sup>85</sup>Kr des structures et dynamiques de masses d'eau souterraines

Florent Barbecot,

CNRS/UPS UMR 8148 IDES Interactions et Dynamique des Environnements de Surface,  
Université Paris-Sud, Bât. 504. [florent.barbecot@u-psud.fr](mailto:florent.barbecot@u-psud.fr)

Au cours de la dernière décennie, les développements analytiques et méthodologiques ont souligné l'intérêt de deux gaz d'origine anthropique, SF<sub>6</sub> et <sup>85</sup>Kr, pour la datation des eaux souterraines récentes (quelques dizaines d'années ; Cook and Solomon, 1997 ; Hinsby *et al*, 2001). Ces gaz, principalement issus de l'activité anthropique sont bien distribués dans l'atmosphère. Contrairement aux CFC, leurs concentrations atmosphériques (quelques ppt<sub>v</sub> pour le SF<sub>6</sub> et Bq.m<sup>-3</sup><sub>air</sub> pour le <sup>85</sup>Kr) sont strictement croissantes depuis les années 50 (Darling and Gooddy, 2007 ; Corcho Alvarado *et al*, 2007). Bien que peu solubles, ils se retrouvent piégés dans les eaux de recharge, et les nappes d'eau souterraines à hauteur de 0,1 Bq.m<sup>-3</sup><sub>eau</sub> pour le <sup>85</sup>Kr et de la fmole.L<sup>-1</sup> pour le SF<sub>6</sub>. Si pour ce dernier l'analyse est réalisée en chromatographie en phase gazeuse sur des volumes d'échantillons de moins de 0.5 L (Hofer and Kipfer, 2007 ; Labasque *et al*, 2008), la mesure en routine du <sup>85</sup>Kr (comptage  $\beta$  ; Du *et al*, 2003) requiert l'extraction des gaz dissous dans l'eau d'échantillons importants (plusieurs centaines de litres). L'estimation des âges apparents implique alors :

- pour le SF<sub>6</sub>, de s'assurer de l'absence de pollutions localisées (Santella *et al*, 2008), d'identifier les températures de recharge et l'existence éventuelle d'un excès d'air en solution (mesures des gaz rares ; Hofer and Kipfer, 2007). L'âge apparent de l'échantillon est obtenu par comparaison des valeurs analytiques aux chroniques atmosphériques en tenant compte du coefficient de solubilité des gaz à la température de recharge.
- pour le <sup>85</sup>Kr, la mesure étant normalisée au Kr total, il n'est pas nécessaire de considérer la solubilité à la température de recharge. Élément radioactif, sa période de désintégration de 10,76 ans est prise en compte lors de la comparaison aux chroniques atmosphériques.

Toutefois cette détermination des âges apparents sous-tend un mode de circulation assez peu exprimé dans le cas des eaux récentes. Pour proposer des âges « vrais », il est nécessaire de considérer une fonction de distribution des écoulements (Corcho Alvarado *et al*, 2007 ; Gooddy *et al*, 2006) dans le calcul initial, étape préalable à la comparaison des résultats analytiques aux modélisations hydrogéologiques et/ou contraintes environnementales (Gourcy *et al*, 2009 ; Corcho Alvarado *et al*, 2009).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Cook P.G. and Solomon D.K., 1997.** Recent advances in dating young groundwater: CFCs,  $^3\text{H}/^3\text{He}$  and  $^{85}\text{Kr}$ . *J. hydrol.* 191, 245-265.
- Corcho Alvarado J., Barbecot F., Purtschert R., Gillon M., Aeschbach-Hertig W., and Kipfer R., 2009.** European climate variations over the past half-millennium reconstructed from groundwater, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 36, L15703, doi:10.1029/2009GL038826, 2009
- Corcho Alvarado J., Purtschert R., Barbecot F., Chabault C., Ruuedi J., Schneider V., Aeschbach-Hertig W., Kipfer R., Loosli H.H., 2007.** Constraining the age distribution of highly mixed groundwater using multiple environmental tracer ( $^3\text{H}/^3\text{He}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{39}\text{Ar}$  and  $^{14}\text{C}$ ) study in the semi-confined Fontainebleau Sands aquifer (France). *Water Resources Research*, vol. 43. W03427, 16 p.
- Darling W. G. and Goody D. C., 2007.** "Assessing the applicability of global CFC and  $\text{SF}_6$  input functions to groundwater dating in the UK." *Science of the Total Environment* 387(1-3): 353-362.
- Du X., Purtschert R., Bailey K., Lehmann B. E., Lorenzo R., Lu Z.-T., Mueller P., O'connor T. P., Sturchio N. C. and Young L., 2003.** A new method of measuring  $^{81}\text{Kr}$  and  $^{85}\text{Kr}$  abundances in environmental samples; *Geophysical research letters*, vol. 30, no20, pp. HLS4.1-HLS4.4
- Goody, D. C., W. G. Darling, Abesser C. and Lapworth D. J., 2006.** Using chlorofluorocarbons (CFCs) and sulphur hexafluoride ( $\text{SF}_6$ ) to characterise groundwater movement and residence time in a lowland Chalk catchment. *Journal of Hydrology* 330(1-2): 44-52.
- Gourcy, L., N. Baran, and Vittecoq B., 2009.** Improving the knowledge of pesticide and nitrate transfer processes using age-dating tools (CFC,  $\text{SF}_6$ ,  $^3\text{H}$ ) in a volcanic island (Martinique, French West Indies). *J Contam Hydrol* 108(3-4): 107-17.
- Hinsby K., Edmunds W. M., Loosli H. H., Manzano M., Condesso De Melo M. T. and Barbecot F., 2001.** The modern water interface: recognition, protection and development — advance of modern waters in European aquifer systems. *Geological Society, London, Special Publications*, DOI: 10.1144/GSL.SP.2001.189.01.12; 189: p. 271 - 288.
- Hofer, M. and Kipfer R., 2007.** Simultaneous determination of noble gases,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{SF}_6$ , CFC-11 and CFC-12 in water by GC-MS/ECD; *Proceedings of the 4th Mini Conference on Noble Gases in the Hydrosphere and in Natural Gas Reservoirs*, held at GFZ Potsdam, GERMANY, 28.02.-02.03.2007
- Labasque T., Vergnaud V. and Aquilina L., 2008.** Recent methodology developed in Rennes (France) at Geosciences laboratory in groundwater dating using CFCs,  $\text{SF}_6$  and dissolved gases ( $\text{Ne}$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  and  $\text{N}_2\text{O}$ ). *G-DAT 2008, Leipzig, conference proceedings*, p31.
- Santella, N., Ho D. T., Schlosser P. and Stute M., 2008.** Widespread elevated atmospheric  $\text{SF}_6$  mixing ratios in the Northeastern United States: Implications for groundwater dating. *Journal of Hydrology*, 349(1-2): 139-146.



