

Document Public









# Acquisition de connaissances sur la nappe de la molasse du territoire du SAGE de l'Est Lyonnais

Rapport final

BRGM/RP-57474-FR

octobre 2009

Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 2008 08EAUI47

Brenot A., Nicolas J., Chrétien M., Dewandel B., Courtois N., Castagnac C. Bourgine B., Couëffe R., Martelet G.

#### Vérificateur:

Nom : Gourcy L.

Date: 10/10/09

Signature

Approbateur:

Nom: Deverly F.

Date: 20. 10. 2009

Signature:

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique, l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.





Mots clés: aquifère de la molasse; Est Lyonnais; modèle géologique 3D; hydrogéologie; hydrogéochimie. En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : Brenot A., Nicolas J., Chrétien M., Dewandel B., Courtois N., Castagnac C. Bourgine B., Couëffe R., Martelet G. (2009). Acquisition de connaissances sur la nappe de la molasse du territoire du SAGE de l'Est Lyonnais. Rapport Final. BRGM/ RP-57291-FR. 165 p., 73 ill., 12 ann. © BRGM, 2009, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## **Synthèse**

L'aquifère de la molasse miocène est un aquifère d'importance régionale qui présente un fort potentiel tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif. Peu d'ouvrages captent actuellement la molasse mais ce nombre tend à augmenter avec la dégradation croissante de la qualité des eaux des aquifères des alluvions du Rhône et des alluvions fluvio-glaciaires (nitrates, pesticides...), ressources en eau exploitées pour l'alimentation en eau potable (AEP) sur l'Est Lyonnais.

Dans le cadre d'une convention de recherche et de développement partagés, le BRGM et le SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux) de l'Est Lyonnais se sont associés pour acquérir de nouvelles connaissances sur la nappe de la molasse. Les objectifs de cette étude visent à :

- Mieux connaître le fonctionnement hydrogéologique, le renouvellement, l'alimentation et les échanges pour l'aquifère de la molasse. De nombreux points restent en effet encore en suspens : Existe-t-il des échanges hydriques entre l'aquifère de la molasse miocène et l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires sus-jacent?, Quel est le rôle joué par le seuil de Vienne-Chamagnieu? Existe-t-il des potentialités d'arrivée d'eau de la molasse dans l'Est Lyonnais par raccordement avec la vallée de la Bourbre? Peut-on isoler ou non des compartiments dans l'aquifère de la molasse liés à des paléochenaux pliocènes moins perméables? Quelles sont les relations entre l'aquifère de la molasse et les rivières sur le bassin versant de l'Ozon?
- > Evaluer les potentialités de l'aquifère molassique, notamment la capacité de la ressource et de son renouvellement.
- Proposer un statut pour assurer sa protection et permettre d'appliquer un certain nombre de prescriptions réglementaires inscrites au SAGE.

L'approche proposée par le BRGM pour répondre à ces objectifs s'articule en 3 phases. La phase 1 vise à caractériser la géométrie de l'aquifère en s'appuyant sur la conception d'un modèle géologique 3D sur l'Est Lyonnais. La phase 2 correspond à l'acquisition de nouvelles données sur l'aquifère molassique. Enfin à partir de la connaissance de la géométrie exacte de l'aquifère molassique et de l'ensemble des données acquises permettant de caractériser le mode de fonctionnement de l'aquifère de la molasse, des recommandations et des propositions de gestion sont formulées à l'issue de la phase 3.

Dans ce rapport, correspondant au rapport final de l'étude, l'ensemble des approches engagées (caractérisation de la géométrie de l'aquifère, acquisition de nouvelles données hydrogéologiques et hydrogéochimiques) pour améliorer la connaissance sur le fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais se trouvent décrites. Ce travail a permis d'aboutir à une synthèse sur le fonctionnement de l'aquifère de la molasse et sur une évaluation des capacités de la ressource et de

son renouvellement. Enfin des recommandations et des propositions de gestion ont été formulées concernant l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais.

En résumé cette étude a permis, tout d'abord, de restreindre la zone géographique correspondant à l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais. Le secteur des « 4 Vallées » au sud et le bassin de la Bourbre à l'Est ne participent, a priori, pas à l'alimentation de l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais. En conséquence, la zone d'alimentation de l'aquifère apparaît restreinte aux affleurements de molasse miocène localisés au Nord du seuil de Vienne-Chamagnieu soit sur une surface estimée de 14 km². Le renouvellement de la ressource reste ainsi très limité (estimé à 4 200 Mm³ pour l'année 2007).

Ensuite, l'approche hydrogéochimique engagée dans cette étude a montré une forte stratification des eaux de l'aquifère de la molasse. Cette stratification induit qu'en fonction de l'épaisseur de l'aquifère captée par un ouvrage, les eaux de l'aquifère de la molasse prélevées drainent des faciès lithologiques différents et présentent des temps de transit variables.

De plus, une communication forte entre l'aquifère de la molasse et l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires a été mise en évidence sur l'ensemble de l'Est Lyonnais sans qu'il ne soit possible de quantifier véritablement ces échanges. La stratification des eaux de l'aquifère de la molasse implique que la contribution de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires est plus importante pour les ouvrages les plus superficiels et ne captant pas toute l'épaisseur de l'aquifère de la molasse (puits incomplets). En conséquence, les eaux les plus profondes, de meilleure qualité, apparaissent actuellement mieux préservées vis-à-vis des contaminations superficielles. Mais si cette ressource est sollicitée davantage, il est fortement probable que progressivement les eaux plus profondes deviennent également contaminées par les pollutions de surface.

Enfin un bilan hydrogéologique de la ressource a été proposé. Compte tenu des connaissances disponibles, on peut retenir que les volumes prélevés dans l'aquifère de la molasse, hors radiers drainant (≈ 1 450 Mm³ pour l'année 2007) représentent au minimum 35% de la réalimentation de la nappe (≈ 4 200 Mm³ pour l'année 2007), ce qui est extrêmement important. Ainsi la capacité de renouvellement de la ressource reste très limitée. Les deux flux majeurs, que constituent (1) les échanges entre les niveaux aquifères de la molasse et des alluvions fluvio-glaciaire et (2) le flux naturel sortant vers la nappe d'accompagnement du Rhône, n'ont pu être quantifié. Or il faudrait connaître ces deux termes pour être à même d'établir un bilan hydrogéologique de la ressource.

Cette étude a montré ainsi que la ressource en eau de l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais est en équilibre instable, son bilan hydrogéologique étant notamment fortement contrôlé par ses relations avec l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires. Ainsi toute modification des flux de ce bilan est susceptible d'accélérer la dégradation de la qualité des eaux de l'aquifère de la molasse. Dans ce contexte, il semble primordial que le SAGE de l'Est Lyonnais prenne les mesures nécessaires pour limiter les prélèvements et assurer le suivi dans le temps de l'aquifère de la molasse afin de

renforcer la préservation de cette ressource. L'usage de l'aquifère de la molasse doit être désormais réservé uniquement à l'alimentation en eau potable collective publique. Si de nouvelles prospections doivent être engagées pour cet usage, on privilégiera les secteurs géographiques des couloirs de Heyrieux et de Décines, là où l'aquifère de la molasse a été identifié comme le plus productif. Pour garantir une eau de bonne qualité, ces nouveaux ouvrages devront correspondre à des puits "complets" (forage traversant toute l'épaisseur de l'aquifère) afin capter les zones les plus profondes, actuellement plus préservées, de l'aquifère. Pour la mise en place de toute nouvelle exploitation de l'aquifère de la molasse, on veillera à caractériser au préalable l'impact des prélèvements sur les relations entre l'aquifère de la molasse et les alluvions fluvio-glaciaires (notamment par la réalisation d'un essai de pompage long comme celui réalisé dans cette étude sur le forage de la piscine de Chassieu).

# **Sommaire**

1.	Introduction	15
2.	Présentation de la zone d'étude	17
3.	Caractérisation de la géométrie de l'aquifère	19
	3.1. STRUCTURE DU RESERVOIR MOLASSIQUE	19
	<ul><li>3.1.2.Organisation par rapport au seuil de Vienne-Chamagnieu</li><li>3.1.3.Organisation par rapport au bassin de la Bourbre</li><li>3.1.4.Organisation géométrique par rapport aux 3 couloirs fluvio-glaciaires.</li></ul>	33
	3.2. NATURE DU SUBSTRATUM	38
	3.3. ESTIMATION DU VOLUME DU RESERVOIR MOLASSIQUE	39
4.	Acquisition de nouvelles données sur l'aquifère de la molasse	41
	4.1. CONCEPTION D'UNE BASE DE DONNEES HYDROGEOLOGIQUE	41
	4.1.1.Liste des données exploitées	41
	4.1.2. Présentation de la base de données	41
	4.2. APPROCHE HYDROGEOLOGIQUE	
	4.2.1.Campagnes piézométriques	44
	4.2.2.Interprétation des chroniques piézométriques existantes sur le site de Chênes »	
	4.2.3. Interprétation de nouveaux pompages d'essai	58
	4.2.4. Réinterprétation d'essais de pompage existants	
	4.2.5.Conclusion	
	4.3. APPROCHE HYDROGEOCHIMIQUE	74
	4.3.1.Stratégie d'échantillonnage	74
	4.3.2. Prélèvement et conditionnement des échantillons	78
	4.3.3.Méthodes analytiques	78
	4.3.4. Conditions d'application des méthodes	80
	4.3.5. Résultats issus de la géochimie élémentaire	84
	4.3.6. Résultats issus de la géochimie isotopique et de l'analyse des gaz dissous	101
	4.3.7. Synthèse des résultats	

5.	Synthèse des connaissances sur l'aquifère molassique	123
	5.1. FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE	123
	5.2. EVALUATION DES CAPACITES DE LA RESSOURCE ET DE SON	404
	RENOUVELLEMENT5.2.1.Bilan quantitatif de l'aquifère de molassique	
	5.2.2.Estimation du stock d'eau disponible	
6.	Recommandations et propositions de gestion	133
	6.1. VULNERABILITE ET PROTECTION	133
	6.2. SUIVI QUANTITATIF ET QUALITATIF	134
	6.3. PROPOSITIONS D'INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES	135
7.	Conclusion	137
8.	Bibliographie	139
L	iste des illustrations	
IIΙι	ustration 1 : Emprise de la zone d'étude « Molasse SAGE de l'Est Lyonnais»	17
IIΙι	ustration 2 : Grille 2D des épaisseurs (isopaques) des Allluvions	21
IIΙι	ustration 3 : Grille 2D des épaisseurs (isopaques) du Fluvio-glaciaire	23
IIΙι	ustration 4 : Grille 2D des épaisseurs (isopaques) du Miocène	25
IIΙι	ustration 5 : Grille 2D des altitudes (isohypses) du mur du Miocène	27
IIΙι	ustration 6 : Notion de puits complet et puits incomplet	29
	ustration 7 : Localisation des coupes proposées pour illustrer les résultats obtenus par modèle géologique	30
IIΙι	ustration 8 : Coupe 1, seuil de Vienne-Chamagnieu (unité de l'échelle en mètre)	32
IIIu	ustration 9 : Coupe 2, bassin de la Bourbre (unité de l'échelle en mètre)	34
	ustration 10 : Coupe 3 perpendiculaire à l'axe des 3 couloirs fluvio-glaciaires (unité l'échelle en mètre)	36
	ustration 11 : Coupe 4 perpendiculaire à l'axe des 3 couloirs fluvio-glaciaires (unité de chelle en mètre).	37
	ustration 12 : Nature du substratum du Miocène proposée par le modèle géologique (orange=EOLG, violet=MSZQ, vert=CARB, rouge=SOCLE, sans	

couleur=substratum non identifie). Contour en rouge = emprise du bassin houiller. Points en rouge correspondant aux ouvrages reportés dans la base de données « ouvrages/géol »	39
Illustration 13 : Liste des champs renseignés dans la base de données « Ouvrages/Hydro»	42
Illustration 14 : Localisation de l'ensemble des ouvrages captant l'aquifère de la molasse inventoriés dans la base de données « ouvrages »	43
Illustration 15 : Carte piézométrique pour l'aquifère de la molasse miocène (campagne piézométrique BRGM automne-hiver 2008-2009).	45
Illustration 16 : Carte piézométrique pour l'aquifère de la molasse miocène (campagne piézométrique BRGM printemps 2009)	47
Illustration 17 : Carte piézométrique proposée pour l'aquifère des alluvions fluvio- glaciaires (campagne octobre-novembre 2008) sur la zone d'étude (BRGM, 2009)	51
Illustration 18 : Localisation des ouvrages sur le site de « 4 Chênes »	53
Illustration 19 : Niveaux piézométriques considérés pour l'aquifère des alluvions fluvio- glaciaires et l'aquifère de la molasse sur le site de « 4 Chênes »	54
Illustration 20 : Niveaux piézométriques des aquifères des alluvions fluvio-glaciaires (FLGL) et de la molasse, comparés aux débits prélevés par le SMHAR et la période de recharge.En jaune, les débits prélevés par le SMHAR	56
Illustration 21 : Niveaux piézométriques des aquifères des alluvions fluvio-glaciaires (FLGL) et de la molasse, comparés aux volumes pompés pour l'AEP par le Grand Lyon et la période de recharge. En rouge les volumes prélevés par le Grand Lyon	56
Illustration 22 : Zoom sur les chroniques piézométriques et de débits prélevés disponibles pour la période septembre 2006 à avril 2007. En jaune, les débits prélevés par le SMHAR ; en rouge les débits prélevés par le Grand Lyon	57
Illustration 23 : Localisation du puits pompé et des points d'observation sur le site de la piscine de Chassieu	58
Illustration 24 : Coupes géologiques simplifiées des points considérés pour les essais de pompage.	59
Illustration 25 : Niveaux piézométriques mesurés sur les deux aquifères lors de l'essai de pompage par paliers.	60
Illustration 26 : Valeurs de débit et de rabattement associé mesurées pour l'essai de pompage court (palier 1 à 3) et la première heure de l'essai de pompage long (palier 4)	61
Illustration 27 : Pertes de charge dans le puits de Chassieu lors d'un pompage à 49 m3/h.	61
Illustration 28 : Méthodologie mise en œuvre pour l'interprétation des essais de pompages.	62
Illustration 29 : Rabattement (s) et débit (Q) de pompage au puits « Nouveau Molasse » en fonction du temps (échelle semi-logarithmique)	64
Illustration 30 : Dérivée du rabattement mesuré au puits de pompage « Nouveau Molasse » en fonction du temps (échelle bi-logarithmique)	65
Illustration 31 : Paramètres mis en jeu dans la modélisation de Hantush à pénétration partielle et leur rôle	68

Illustration 32 : Rabattement (s) mesuré et calculé en fonction du temps, au puits « Nouveau Molasse », à l'aide du modèle de Hantush à pénétration partielle (échelle semi-logarithmique)	69
Illustration 33 : Dérivée du rabattement (s) mesuré et calculé, au puits « Nouveau Molasse », à l'aide du modèle de Hantush à pénétration partielle (échelle bi- logarithmique).	69
Illustration 34 : Paramètres hydrodynamiques calés par le modèle de Hantush à pénétration partielle pour l'ouvrage « Nouveau Molasse » (les distances sont données par rapport au toit de la molasse)	70
Illustration 35 : Tableau regroupant les paramètres hydrodynamiques calés par le modèle de Hantush à pénétration partielle pour les ouvrages « Ancien Molasse » et « Piézo FLGL » ( les distances sont données par rapport au toit de la molasse)	71
Illustration 36 : Régime d'écoulement à long terme lors du pompage de l'aquifère de la molasse sur le site de la piscine de Chassieu	72
Illustration 37 : Dérivée du rabattement (s) au puits de pompage sur le site de la commune de Corbas et son interprétation	73
Illustration 38 : Régime d'écoulement cylindrique avec phénomène de drainance au puits de pompage sur la commune de Corbas	73
Illustration 39 : Type d'analyse réalisé pour chaque point de prélèvements de la campagne d'avril 2009 (BRGM) et de la campagne complémentaire de juillet 2009 (AERMC).	76
Illustration 40 : Localisation des points de prélèvements de la campagne d'avril 2009 (BRGM) et de la campagne complémentaire de juillet 2009 (AERMC)	77
Illustration 41 : Modes opératoires et méthodes d'analyses des éléments majeurs et traces pour les échantillons de la campagne d'avril2009 (BRGM)	79
Illustration 42 : Tableau récapitulatif des méthodes d'analyses d'isotopes et de gaz dissous pour les échantillons de la campagne d'avril2009 (BRGM)	79
Illustration 43 : Echelle de datation pour quelques éléments radioactifs et gazeux et les isotopes stables de la molécule d'eau	81
Illustration 44 : Chroniques de teneur en tritium des eaux de pluie à Ottawa au Canada (plus longue chronique existante) et Thonon-les-Bains (plus proche chronique de l'Est Lyonnais).	82
Illustration 45 : Chronique des concentrations dans l'air des CFC et SF6 (données CMDL/NOAA)	83
Illustration 46 : TDS vs. conductivité électrique de l'eau (a), somme des anions ( $\Sigma$ -) vs. somme des cations ( $\Sigma$ +) (b), balance ionique (NICB) vs. somme des cations ( $\Sigma$ +)	86
Illustration 47 : Diagramme de Piper pour les eaux souterraines de l'aquifère de la molasse (Molasse), de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires (FLGL) et des eaux de rivières du bassin de l'Ozon (Rivières) prélevées lors de la campagne d'avril 2009 comparées aux données de la littérature disponible pour l'aquifère de la molasse (ADES pour l'Est Lyonnais, thèse de de La Vaissière (2006) pour le bassin de Valence, Brenot, 2009 pour le Conseil général de l'Isère).	
Illustration 48 : Cl vs. Na (a), Cl vs. NO <sub>3</sub> (b) pour la campagne de prélèvement d'avril 2009 (BRGM) et la campagne complémentaire de juillet 2009 (AERMC)	90

llustration 49 : NO $_3$ vs. Na/Cl pour la campagne de prelevement d'avril 2009 (BRGM) et la campagne complémentaire de juillet 2009 (AERMC)	90
llustration 50 : Localisation des points de prélèvements de la campagne d'avril 2009 (BRGM) et de la campagne complémentaire de juillet 2009 (AERMC), associée à la contribution supposée de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires à l'alimentation de la molasse	91
llustration 51 : Cl vs. Na (a), Cl vs. NO3 (b), Cl vs. SO4 (c), Cl vs. Ca (d), Cl vs. Mg (e) pour la campagne de prélèvement d'avril 2009 (BRGM) et de la campagne complémentaire de juillet 2009 (AERMC)	94
llustration 52 : Ca vs. Mg pour la campagne de prélèvement d'avril 2009 (BRGM) et de a campagne complémentaire de juillet 2009 (AERMC)	96
llustration 53 : Ca/Mg vs. Indice de saturation (IS) de la calcite (a) et de la dolomite (b) calculé pour la campagne de prélèvement d'avril 2009 par modélisation PHREEQC	97
llustration 54 : Sr/Mg vs. Ca/Mg et Sr/Mg vs. Indice de saturation (IS) de strontianite (b) calculé pour la campagne de prélèvement d'avril 2009 par modélisation PHREEQC	98
llustration 55 : Cl vs. Na (a), Cl vs. NO3 (b), Cl vs. Ca (c), Cl vs. Mg (d), Cl vs. SO4 (e) pour les points MIOC-4, 11 et 12, FLGL-4, 5 et 6, comparaison de la campagne de prélèvement d'avril 2009 avec les données bancarisées dans ADES	100
llustration 56 : $NO_3$ vs. Tritium (a), Mg vs. Tritium (b) pour les points MIOC-1, 2, 3, 14, 15, 16, 17, 18, 19 et 20.	102
llustration 57 : Résumé des âges apparents calculés à partir des isotopes du carbone et modèles de correction d'âge associés	103
llustration 58 : Relation entre A <sup>14</sup> C (pcm) et δ <sup>13</sup> C (‰ vs PDB) pour les eaux de 'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais et sur le bassin de Valence (de La Vaissière, 2006)	105
llustration 59 : Résumé des âges apparents calculés à partir des CFC et des modèles et traceurs utilisés (en gras le résultat le plus favorable)	107
llustration 60 : Ca/Mg vs. âge des eaux apparent (a) et le pourcentage d'eau jeune (b) calculés à partir des modèles d'interprétation des concentrations en CFC respectivement piston (PFM) et mélange binaire (BM)	108
llustration 61 : δ <sup>2</sup> H vs. δ <sup>18</sup> O pour MIOC faible et les rivières (a), pour MIOC fort et FLGL (b) et pour MIOC aucune (c)	111
llustration 62 : <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr vs. 1/Sr (a) et Mg/Sr (b)	114
llustration 63 : <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr vs. p avec p la proportion d'aquifère captée par rapport à 'épaisseur du réservoir molassique (Illustration 6)	
llustration 64 : Mg vs. p (a), Ca/Mg vs. p (b) et Sr/Mg vs. p (c) avec p la proportion d'aquifère captée par rapport à l'épaisseur du réservoir molassique (Illustration 6)	117
llustration 65 : Pourcentage d'eau jeune et âge des eaux vs. p (a) et NO <sub>3</sub> vs. p (b) avec p la proportion d'aquifère captée par rapport à l'épaisseur du réservoir molassique Illustration 6).	118
Ilustration 66 : Pourcentage d'eau jeune et âge des eaux vs. p (a) et Sr/Mg vs. p (b) avec p la proportion d'aquifère captée par rapport à l'épaisseur du réservoir molassique Illustration 6).	120

hydrogéologique de l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais (en rouge la station Météo France de Luzinay)	. 124
Illustration 68 : Proposition de bilan quantitatif pour l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais.	. 125
Illustration 69 : Liste des ouvrages exploités captant l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais.	. 127
Illustration 70 : Localisation des ouvrages exploités et des radiers drainant captant l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais	. 128
Illustration 71 : Répartition des prélèvements selon l'exploitant pour l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais pour l'année 2007. Déclarés à l'AERMC (a) et estimés par les exploitants (b)	. 129
Illustration 72 : Volumes annuels estimés par les exploitants pour les prélèvements des radiers drainants (enquête BRGM)	. 129
Illustration 73 : Evolution des prélèvements (hors radiers drainant) déclarés à l'AERMC pour l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais entre 1998 et 2007	. 130
Liste des annexes	
Annexe 1 Base de données « Ouvrages/Hydro »	. 143
Annexe 2 Estimation du volume du réservoir de l'aquifère molassique	4 4 5
Tamboo 2 Louination da volume da vocervon do raquiroro molacolique	. 145
Annexe 3 Mesures piézométriques sur l'aquifère de la molasse pour les campagnes d'automne-hiver 2008-09 et printemps 2009	
Annexe 3 Mesures piézométriques sur l'aquifère de la molasse pour les campagnes	. 147
Annexe 3 Mesures piézométriques sur l'aquifère de la molasse pour les campagnes d'automne-hiver 2008-09 et printemps 2009	. 147 . 149
Annexe 3 Mesures piézométriques sur l'aquifère de la molasse pour les campagnes d'automne-hiver 2008-09 et printemps 2009	. 147 . 149 . 151
Annexe 3 Mesures piézométriques sur l'aquifère de la molasse pour les campagnes d'automne-hiver 2008-09 et printemps 2009	. 147 . 149 . 151 . 153
Annexe 3 Mesures piézométriques sur l'aquifère de la molasse pour les campagnes d'automne-hiver 2008-09 et printemps 2009	. 147 . 149 . 151 . 153
Annexe 3 Mesures piézométriques sur l'aquifère de la molasse pour les campagnes d'automne-hiver 2008-09 et printemps 2009	. 147 . 149 . 151 . 153 . 155 . 157
Annexe 3 Mesures piézométriques sur l'aquifère de la molasse pour les campagnes d'automne-hiver 2008-09 et printemps 2009	. 147 . 149 . 151 . 153 . 155 . 157
Annexe 3 Mesures piézométriques sur l'aquifère de la molasse pour les campagnes d'automne-hiver 2008-09 et printemps 2009	. 147 . 149 . 151 . 153 . 155 . 157

Annexe 12 Données géochimiques acquises lors de la campagne d'avril 2009......165

### 1. Introduction

L'aquifère de la molasse miocène constitue, pour le bassin Rhône Méditerranée, une ressource en eaux souterraines potentiellement importante d'un point de vue quantitatif et qualitatif. Cette ressource, qualifiée de stratégique, présente un fort caractère patrimonial. La nappe de la molasse, située dans un contexte hydrogéologique très spécifique, a fait l'objet de différentes investigations. Cependant les connaissances actuelles restent encore insuffisantes pour pouvoir convenablement statuer sur la capacité de la ressource et de son renouvellement. Ce manque important de connaissances justifie donc pleinement l'acquisition de nouvelles données. C'est dans ce contexte et compte tenu des enjeux que représente cette nappe au regard notamment de nouvelles ressources en eau potable, que le SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux) de l'Est Lyonnais a jugé prioritaire d'initier une étude détaillée de la nappe de la molasse.

Dans le cadre d'une convention de recherche et de développement partagés, le BRGM et le SAGE de l'Est Lyonnais se sont associés pour acquérir de nouvelles connaissances sur la nappe de la molasse du territoire du SAGE de l'Est Lyonnais. Les objectifs de cette étude sont les suivants :

- Mieux connaître le fonctionnement hydrogéologique, le renouvellement, l'alimentation et les échanges pour l'aquifère de la molasse. De nombreux points restent en effet encore en suspens : existe-t-il des échanges hydriques entre l'aquifère de la molasse miocène et l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires sus-jacent?, quel est le rôle joué par le seuil de Vienne-Chamagnieu? existe-t-il des potentialités d'arrivée d'eau de la molasse dans l'Est Lyonnais par raccordement avec la vallée de la Bourbre? Peut-on isoler ou non des compartiments dans l'aquifère de la molasse liés à des paléochenaux pliocènes moins perméables? Quelles sont les relations entre l'aquifère de la molasse et les rivières sur le bassin versant de l'Ozon?
- Evaluer les potentialités de l'aquifère molassique, notamment la capacité de la ressource et de son renouvellement.
- > De proposer un statut pour assurer sa protection et de permettre d'appliquer un certain nombre de prescriptions réglementaires inscrites au SAGE.

L'approche proposée par le BRGM pour répondre à ces objectifs s'articule en 3 phases. La phase 1 vise à caractériser la géométrie de l'aquifère en s'appuyant sur la conception d'un modèle géologique 3D sur l'Est Lyonnais. La phase 2 correspond à l'acquisition de nouvelles données sur l'aquifère molassique. Enfin à partir de la connaissance de la géométrie de l'aquifère molassique et l'ensemble des données acquises permettant de caractériser le mode de fonctionnement de l'aquifère de la molasse, des recommandations et des propositions de gestion seront formulées à l'issue de la phase 3.

Dans ce rapport, correspondant au rapport final de l'étude, l'ensemble des approches engagées (caractérisation de la géométrie de l'aquifère, acquisition de nouvelles données hydrogéologiques et hydrogéochimiques) pour améliorer la connaissance sur le fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais se trouvent décrites. Ce travail a permis d'aboutir à une synthèse sur le fonctionnement de l'aquifère de la molasse et sur une évaluation des capacités de la ressource et de son renouvellement. Enfin des recommandations et des propositions de gestion ont été formulées concernant l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais.

### 2. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude « Molasse SAGE Est Lyonnais», reportée sur l'Illustration 1, correspond au territoire de l'Est Lyonnais qui s'étend des formations affleurantes du socle à l'Ouest jusqu'aux formations calcaires de l'île Crémieu à l'Est. Au Nord, la zone d'étude s'étend jusqu'à la bordure méridionale de la Dombes; au Sud, elle intègre le seuil de Vienne-Chamagnieu. La zone d'étude considérée s'étend à la fois sur le département du Rhône et celui de l'Isère et elle recouvre le périmètre du SAGE de l'Est Lyonnais et une partie du périmètre du SAGE de la Bourbre.

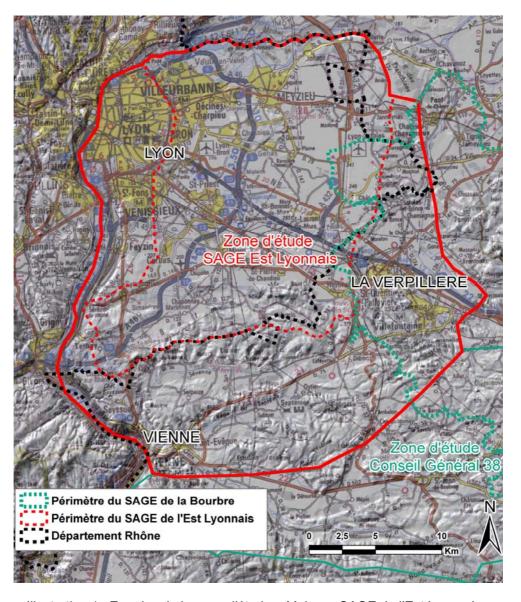


Illustration 1 : Emprise de la zone d'étude « Molasse SAGE de l'Est Lyonnais».

# 3. Caractérisation de la géométrie de l'aquifère

La conception du modèle géologique 3D et de sa notice d'utilisation à l'issue de la phase 1 « Caractérisation de la géométrie de l'aquifère » de l'étude a fait l'objet du rapport BRGM/RP-57291-FR (Castagnac et al. 2009). Dans le présent rapport, les résultats issus de la caractérisation géométrique de l'aquifère vont être détaillés ciaprès. Des figures choisies sont proposées afin d'apporter des éléments de réponse aux différentes questions qui restent en suspens concernant la structure du réservoir molassique. L'enjeu est notamment de statuer sur la structure du réservoir au niveau du seuil de Vienne-Chamagnieu, sur le prolongement éventuel du réservoir vers la vallée de la Bourbre, sur l'existence de paléo-chenaux pliocènes moins perméables qui pourraient modifier l'hydraulique de la nappe molassique et sur la nature du substratum de la molasse (calcaires jurassiques, formations du houiller, oligocènes). Enfin le volume du réservoir molassique, susceptible de renfermer l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais, sera estimé.

#### 3.1. STRUCTURE DU RESERVOIR MOLASSIQUE

#### 3.1.1. Générale

Le modèle géologique 3D établit dans le cadre de cette étude a permis de constituer des cartes (grille 2D, maille 200mx200m) d'épaisseur (isopaque) pour les formations des Alluvions, du Fluvio-glaciaire et du Miocène présentées respectivement dans l'Illustration 2, Illustration 3 et Illustration 4. Sur chacune de ces cartes, toutes les épaisseurs des formations sont représentées en suivant une palette de couleur allant du bleu au rouge et dont chaque couleur correspond à une épaisseur donnée en mètre. Dans la légende des cartes ne sont représentées que certaines valeurs d'épaisseur correspondant à des valeurs entières remarquables.

A titre d'exemple pour la carte des isopaques des Alluvions :

- en rouge, une épaisseur égale ou supérieure à 45m;
- en jaune, une épaisseur égale à 35m;
- en vert, une épaisseur égale à 25m;
- en bleu clair, une épaisseur égale à 15m;
- en bleu foncé, une épaisseur nulle ;

 les couleurs intermédiaires, des épaisseurs correspondant à chaque fourchette de valeurs associées. A titre d'exemple, la couleur orange représente une épaisseur comprise entre 35 et 45 m.

Notons bien entendu que les zones blanches (non coloriées) correspondent aux zones où la grille n'a pas été calculée (en dehors de la zone d'étude, à l'extérieur du polygone cartographique de la formation modélisée, ...).

Les épaisseurs des alluvions récentes varient entre 0 et 45 m. Les épaisseurs des formations Fluvio-glaciaire, Moraines et Quaternaire regroupées varient entre 0 et 194 m. Les épaisseurs du Miocène varient entre 0 et 396 m.

D'après le modèle géologique 3D, le réservoir molassique présente des épaississements importants (entre 300 et 400 m, couleurs allant du jaune au rouge sur l'Illustration 4) à proximité de St Just-Chaleyssin et de Chaponnay au sud de la zone d'étude et à proximité de Quincieu et du Parc de Miribel-Jonage au nord de la zone d'étude. Ces résultats sont en accord avec les épaississements observés dans le secteur de St Just-Chaleyssin (profil 0) sur les profils de géophysique électrique réalisés par CPGF-Horizon (2009). Sur la zone d'étude considérée, l'épaisseur du réservoir molassique se trouve la plus réduite (inférieure à 100 m, couleurs allant du bleu foncé au bleu clair sur l'Illustration 4) dans les secteurs de Vienne, La Verpillère-Villefontaine, Vénissieux et Meyzieu.

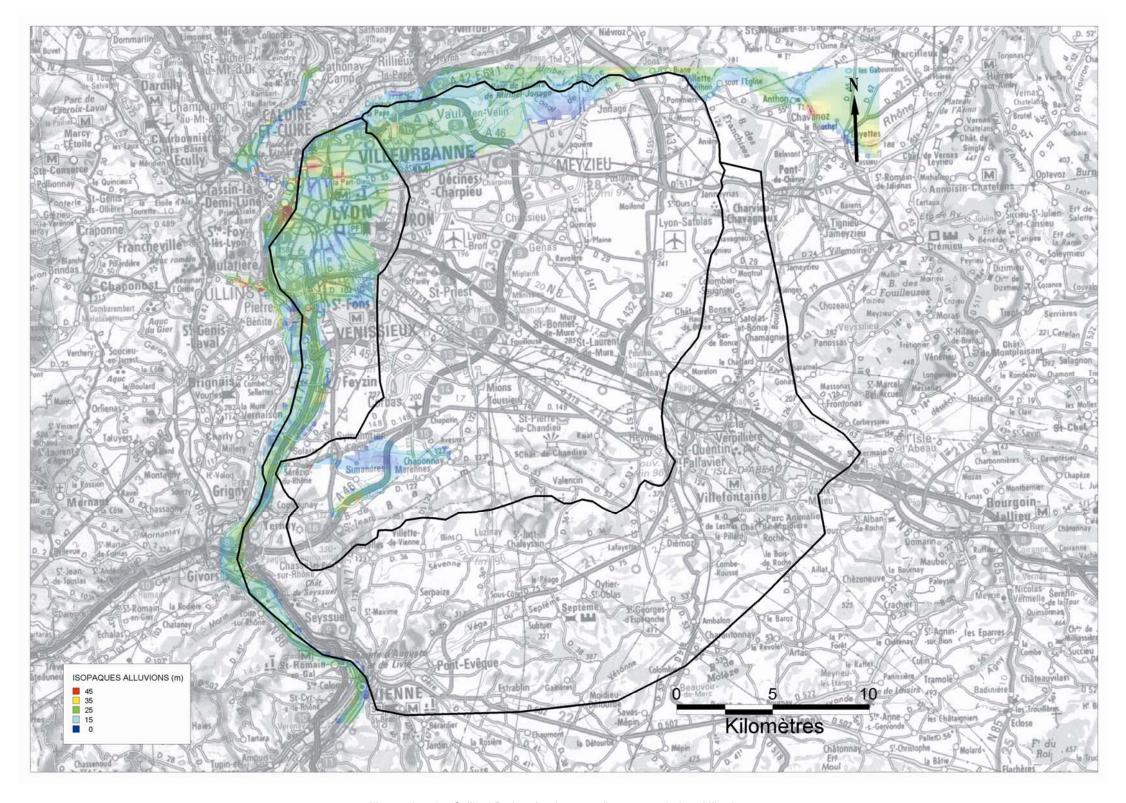


Illustration 2 : Grille 2D des épaisseurs (isopaques) des Allluvions.

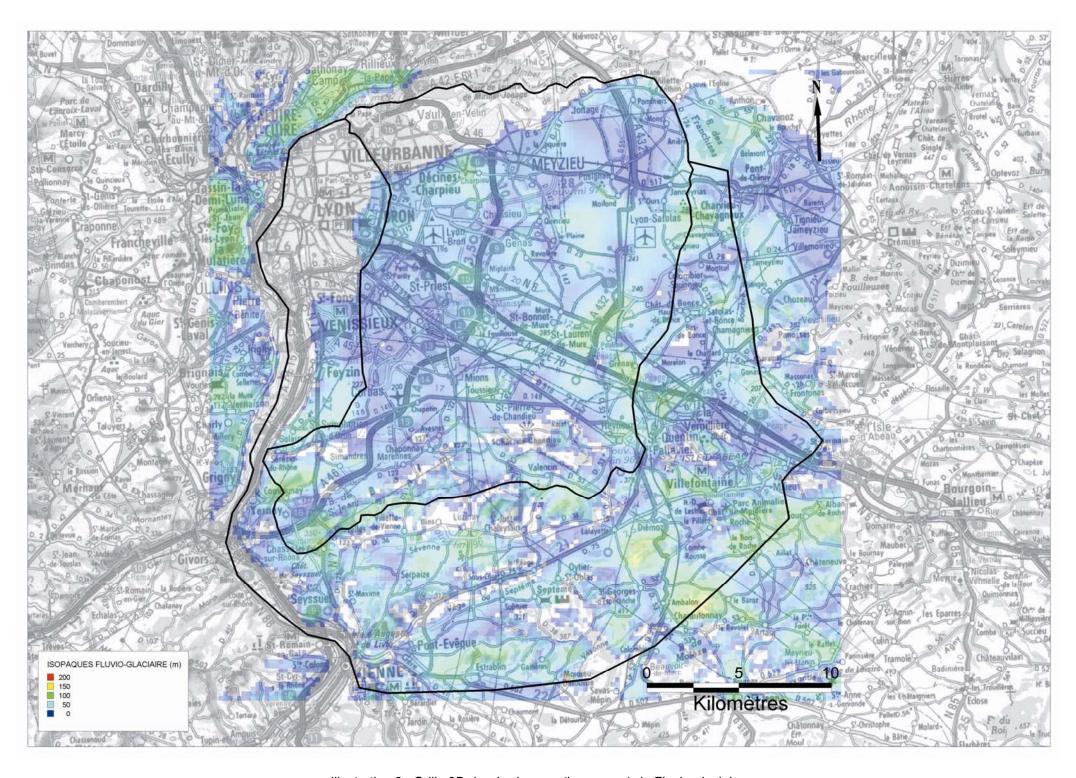


Illustration 3 : Grille 2D des épaisseurs (isopaques) du Fluvio-glaciaire.

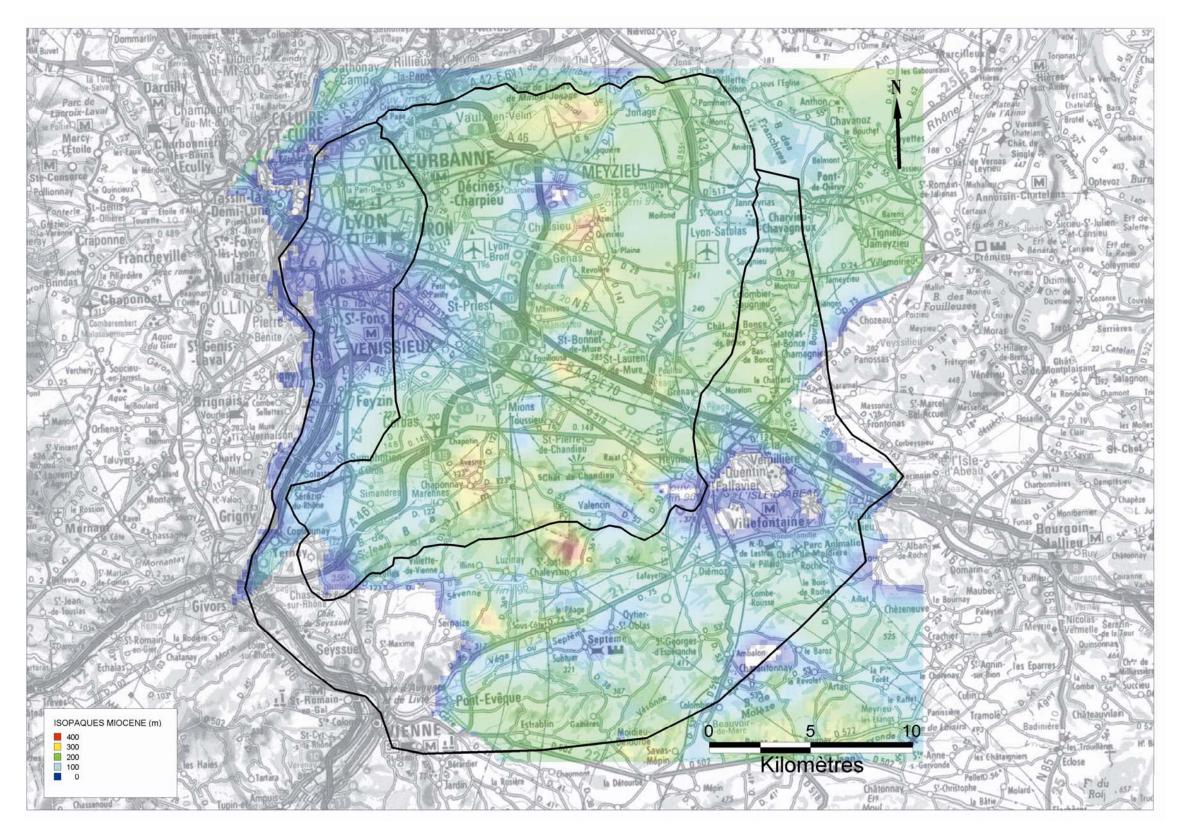


Illustration 4 : Grille 2D des épaisseurs (isopaques) du Miocène.

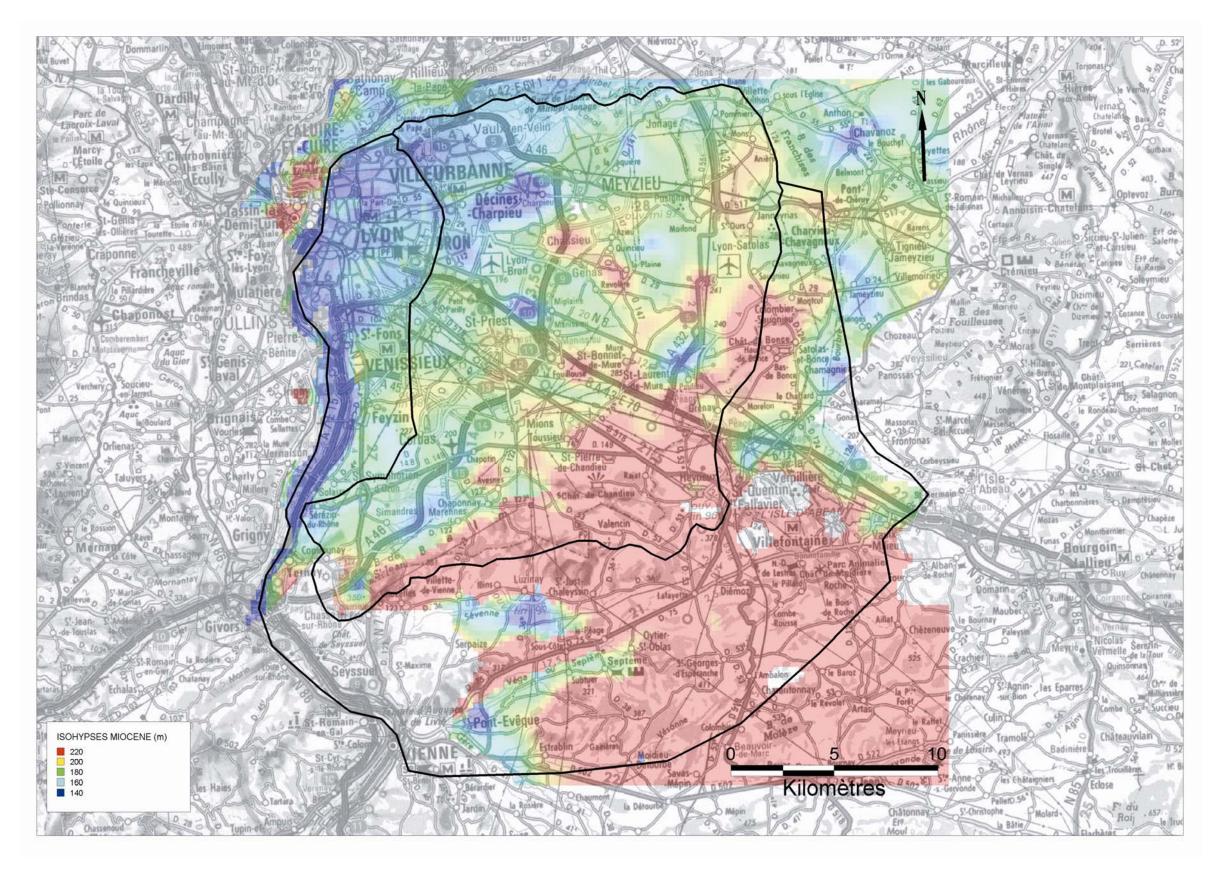


Illustration 5 : Grille 2D des altitudes (isohypses) du mur du Miocène.

A partir du modèle géologique 3D constitué sur l'Est Lyonnais, il a été possible d'estimer, pour chaque ouvrage présentant un intérêt hydrogéologique, l'épaisseur du réservoir molassique au droit de cet ouvrage. Cette information est de première importance pour les approches hydrogéologique et hydrogéochimique engagées dans cette étude et présentées dans la partie 4-Acquisition de nouvelles données sur l'aquifère de la molasse. En effet, l'épaisseur estimée du réservoir molassique au droit d'un ouvrage captant l'aquifère de la molasse permet de déterminer si le puits peut être considéré comme complet<sup>1</sup> ou incomplet<sup>2</sup> (Illustration 6). Ainsi, il a été calculé, pour chaque ouvrage captant l'aquifère de la molasse, la proportion p d'aquifère captée par rapport à l'épaisseur er du réservoir molassique (Illustration 6) suivant l'équation suivante :

$$p = e_c / e_r$$

avec  $e_c$  l'épaisseur de formation molassique captée par l'ouvrage considéré (Illustration 6).

Les valeurs p calculées pour chaque ouvrage captant l'aquifère de la molasse et ayant fait l'objet d'un prélèvement d'eau dans le cadre de cette étude sont reportées dans l'Annexe 12.

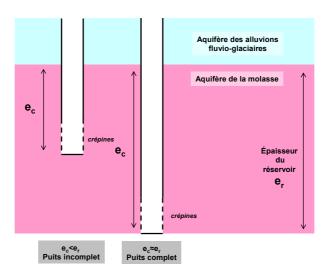


Illustration 6: Notion de puits complet et puits incomplet.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Forage traversant et captant un aquifère sur toute sa hauteur

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Forage ne traversant et/ou ne captant pas un aquifère sur toute la hauteur de sa zone saturée

Ci-après les résultats issus de la caractérisation géométrique de l'aquifère sont détaillés suivant des coupes choisies reportées sur l'Illustration 7, à savoir :

- La coupe 1 (Illustration 7) le long du seuil de Vienne-Chamagnieu et le long du profil géophysique 0&1 (CPGF-Horizon, 2009);
- La coupe 2 (Illustration 7) dans le bassin de la Bourbre le long du le profil géophysique 2 (CPGF-Horizon, 2009);
- Les coupes 3 et 4 (Illustration 7) perpendiculaires à l'axe des trois couloirs fluvio-glaciaires de l'Est Lyonnais au Nord de la zone d'étude. La coupe 4 suit le profil géophysique 3 (CPGF-Horizon, 2009).

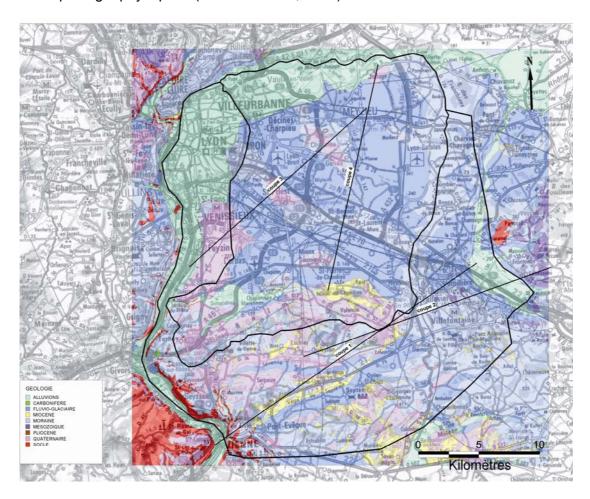


Illustration 7 : Localisation des coupes proposées pour illustrer les résultats obtenus par le modèle géologique

### 3.1.2. Organisation par rapport au seuil de Vienne-Chamagnieu

L'organisation de l'aquifère de la molasse par rapport au seuil de Vienne-Chamagnieu peut être examinée à partir de la coupe 1 présentée sur l'Illustration 8. On observe ainsi que les variations d'épaisseur de la molasse sont importantes, conséquence d'une zone de graben (zone d'effondrement) associée à un réseau de failles complexes. Les profils géophysiques (profils 0&1) réalisés par CPGF-Horizon (2009) mettent clairement en évidence cette forte variabilité d'épaisseur de la molasse, associée à une forte hétérogénéité de faciès (plus ou moins sableux) de cet horizon lithologique. La molasse miocène est absente au Sud-Ouest (secteur de Vienne) et au Nord-Est (secteur de Saint-Quentin-Fallavier) de la coupe 1 (Illustration 8) en raison d'une remontée du substratum. Des épaississements importants de molasse miocène (≈200 m) ont été mis en évidence dans les secteurs de Luzinay et d'Heyrieux. Cependant les profils géophysiques (profils 0&1) réalisés par CPGF-Horizon (2009) montrent que seule la molasse présente au droit de Le Chana (Saint-Just-Chaleyssin) pourrait potentiellement être aquifère, ailleurs les horizons de la molasse étant à dominance argileuse (impliquant vraisemblablement de faibles propriétés aquifères). Ainsi les résultats issus de la modélisation géologique 3D de l'Est Lyonnais, associés aux résultats issus des campagnes de géophysiques électriques réalisées dans le cadre de cette étude (CPGF-Horizon, 2009) montrent que seul le secteur de Le Chana (Saint-Just-Chaleyssin) pourrait potentiellement constituer une zone de communication entre l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais et l'aquifère de la molasse sur le secteur des « 4 Vallées ». Par ailleurs, l'aquifère de la molasse dans le secteur de La Verpillère pourrait être partiellement déconnecté de l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais en raison de la remontée du substratum observée dans le secteur de Saint-Quentin-Fallavier. Ces possibilités seront examinées par la suite pour ce qui est des résultats issus des approches hydrogéologique et hydrogéochimique engagées dans cette étude.

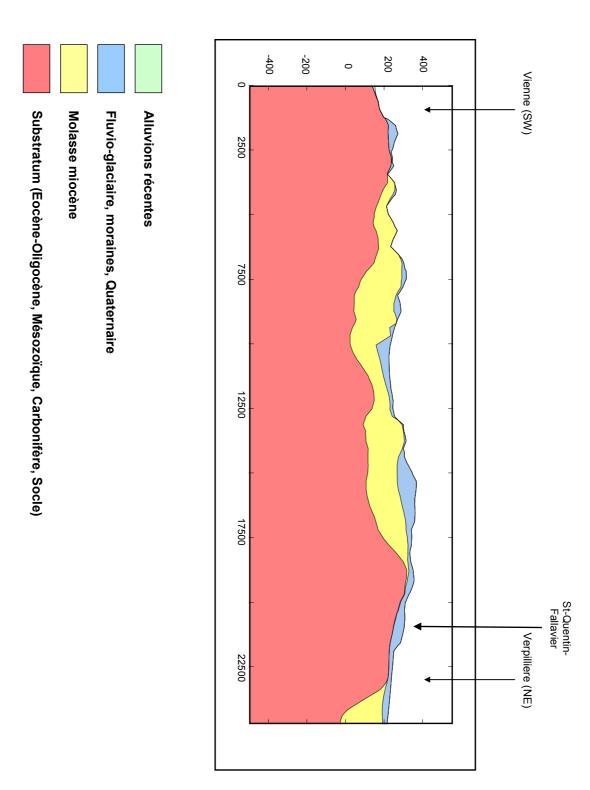


Illustration 8 : Coupe 1, seuil de Vienne-Chamagnieu (unité de l'échelle en mètre)

### 3.1.3. Organisation par rapport au bassin de la Bourbre

L'organisation de l'aquifère de la molasse par rapport au bassin de la Bourbre peut être examinée à partir de la coupe 2 présentée sur l'Illustration 9. Là encore on observe des variations importantes de l'épaisseur de la molasse miocène. Deux bassins molassiques semblent s'individualiser avec une remontée du substratum, sur cette coupe, à proximité du lieu-dit de Ponas (Bonnefamille, 38). L'épaississement molassique du bassin individualisé au Sud-Ouest (Saint-Just-Chaleyssin) apparaît plus prononcé que celui du Nord-Est à proximité de La Verpillière. Ces observations, associées à la remontée du substratum mise en évidence précédemment plus au nord dans le secteur de Saint-Quentin-Fallavier (coupe 1), semblent soutenir l'existence d'une compartimentation de l'aquifère de la molasse entre l'Est Lyonnais et le secteur de la Verpillière. Le profil géophysique (profil 2) réalisé par CPGF-Horizon (2009) montre également cette compartimentation. Ainsi l'hypothèse d'un prolongement de l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais vers le bassin de la Bourbre apparaît peu probable compte tenu de la géométrie du réservoir molassique.

Par ailleurs, le profil géophysique (profil 2) réalisé par CPGF-Horizon met en évidence l'organisation de la molasse en lentilles sableuses sur les deux bassins individualisés (Valencin à l'Ouest ; Saint-Quentin-Fallavier – Villefontaine à l'Est).

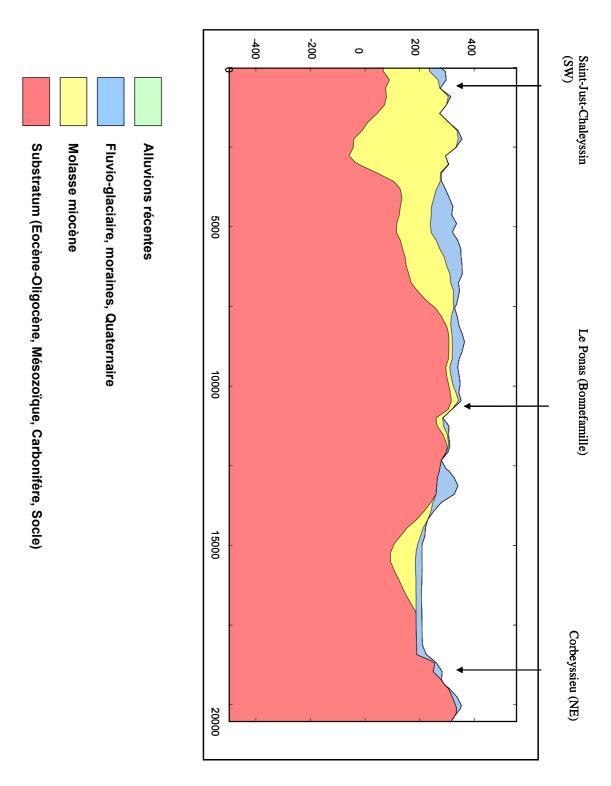


Illustration 9 : Coupe 2, bassin de la Bourbre (unité de l'échelle en mètre)

# 3.1.4. Organisation géométrique par rapport aux 3 couloirs fluvioglaciaires

L'organisation de l'aquifère de la molasse par rapport aux trois couloirs fluvio-glaciaires de l'Est Lyonnais peut être examinée à partir des coupes 3 et 4 présentées respectivement sur l'Illustration 10 et l'Illustration 11. L'épaisseur de la molasse, au droit de ces 2 coupes réalisées, est globalement équivalente sur les trois couloirs fluvio-glaciaires de l'Est Lyonnais (≈50-150 pour la coupe 3, Feyzin-Meyzieu; ≈150-250 pour la coupe 4, St-Pierre de Chandieu-Jonage). Les variations d'épaisseur de la molasse observées sont à rapprocher localement à des zones de surcreusement du substratum.

Le profil géophysique (profil 3) réalisé par CPGF-Horizon (2009) montre que sur les couloirs de Décines et d'Heyrieux, le Miocène s'exprime sous un faciès plutôt sableux (résistivités électriques de l'ordre de 200 Ω.m). De plus, l'interprétation proposée par CPGF-Horizon (2009) suggère une organisation de la molasse dite « sableuse » (susceptible donc de présenter de bonnes qualités aquifères) sous forme de lentilles de grandes extensions au sein d'un faciès miocène plus argileux (résistivités électriques inférieures à 30 Ω.m). Toujours sur le profil géophysique 3, les résistivités électriques mesurées (<30 Ω.m) montrent que pour le secteur géographique correspondant au couloir de Meyzieu le Miocène s'exprime majoritairement sous un faciès argileux. Or sur ce secteur seuls deux ouvrages captant l'aquifère de molasse sont connus (Forage de reconnaissance du centre nautique de Meyzieu et forage de reconnaissance « Orangina », Illustration 14). Ces deux ouvrages se sont révélés non productifs en raison d'une importante épaisseur d'argile. Ainsi il est fortement probable que la faible productivité de l'aquifère molassique, expliquée par un faciès à dominance argileux, puisse s'étendre à l'ensemble du secteur géographique du couloir de Mevzieu.

Par ailleurs les résultats du profil géophysique 3 permettent de documenter localement l'organisation géométrique des alluvions fluvio-glaciaires par rapport à la molasse sableuse. A titre d'exemple ces résultats permettent d'identifier les zones où l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires et de la molasse pourraient être en continuité hydraulique en raison de l'absence de niveaux argileux entre ces deux horizons hydrogéologiques. C'est le cas notamment dans le secteur de Chassieu, où les résultats issus de la caractérisation géométrique et géologique du réservoir de la molasse viendront, par la suite, argumenter l'interprétation des essais de pompages réalisés sur le site de la piscine de Chassieu dans le cadre de cette étude (partie 4-Acquisition de nouvelles données sur l'aquifère de la molasse).

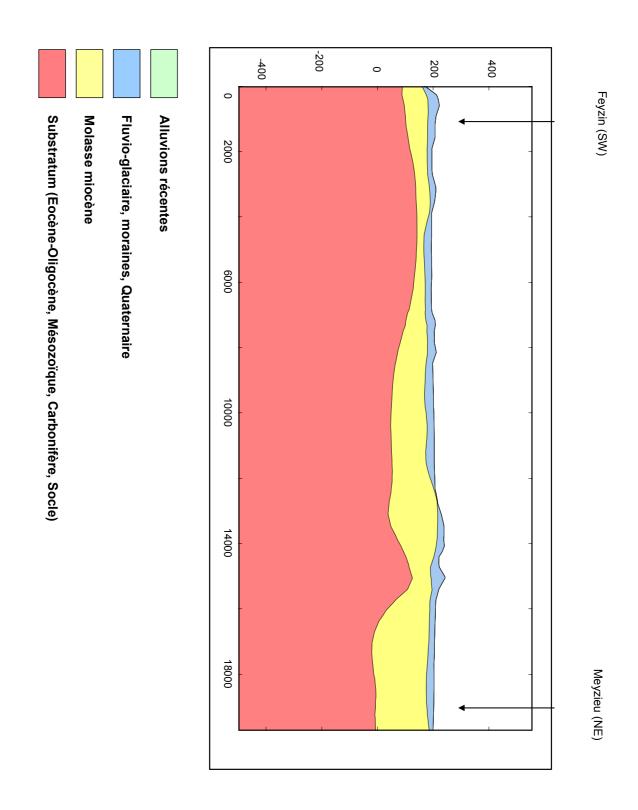


Illustration 10 : Coupe 3 perpendiculaire à l'axe des 3 couloirs fluvio-glaciaires (unité de l'échelle en mètre)

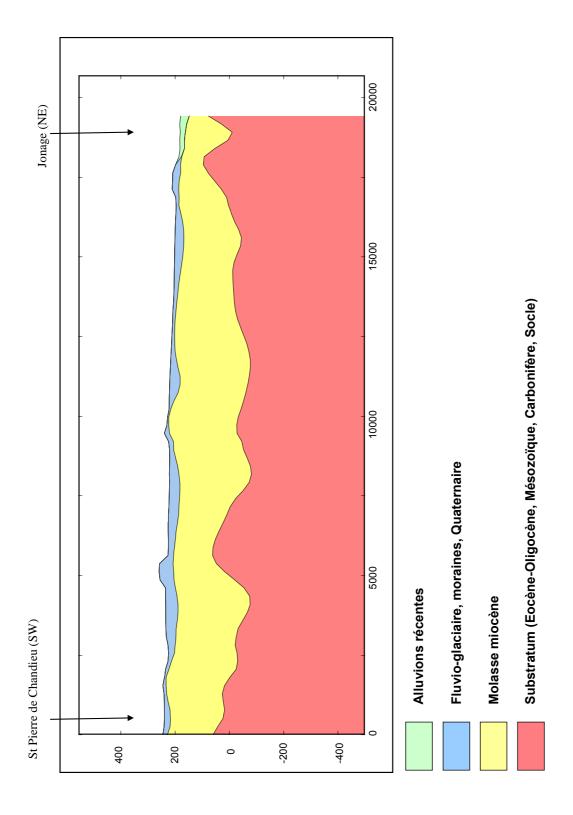


Illustration 11 : Coupe 4 perpendiculaire à l'axe des 3 couloirs fluvio-glaciaires (unité de l'échelle en mètre).

#### 3.2. NATURE DU SUBSTRATUM

La conception du modèle géologique 3D a permis d'apporter des éléments de réponse sur la nature du substratum de la molasse (calcaires jurassiques, formations du houiller, oligocènes). Il faut toutefois rappeler les limites de cette identification, détaillées dans le rapport BRGM/RP-57291-FR (Castagnac et al. 2009). 146 ouvrages, utilisés pour la conception du modèle géologique 3D (Base de données « ouvrages/géol », Annexe 1) atteignent le mur du Miocène (et permettent de documenter la nature du substratum) avec une répartition géographique très hétérogène. Ainsi il n'a pas été possible d'identifier en tout point de la zone d'étude, la nature du substratum. C'est pour cette raison que l'identification des limites d'extension cartographique des formations du Mésozoïque (MSZQ) et du Carbonifère (CARB) s'est limitée à l'emprise du bassin houiller. Sur l'Illustration 12 est reportée la nature du substratum, en vert pour le toit du Carbonifère (CARB), en violet pour le toit du Mésozoïque (MSZQ), en orange pour le toit de l'Eocène-Oligocène (EOLG) et en rouge pour le toit du Socle (SOCLE). A l'extérieur de ces polygones le substratum du Miocène est indifférencié (nature du substratum non renseignée), le logiciel de modélisation n'ayant pas pu calculer le modèle en raison du nombre de données disponibles insuffisant.

Sur la partie Ouest de la zone d'étude (rive droite du Rhône et Nord de Vienne, Illustration 12), les formations du socle constituent le substratum de la molasse miocène. Sur la partie Centre-Est de la zone d'étude (bordure occidentale de l'île Crémieux, Illustration 12), ce sont les formations du Mésozoïque qui ont été identifiées comme formant le substratum. La nature à dominance calcaire de ces formations ne permet pas d'exclure, sur ce secteur, l'alimentation de l'aquifère de la molasse par des arrivées provenant des formations mésozoïques sous-jacentes. Pour la quasi-totalité des sondages électriques réalisés, le substratum présente de fortes résistivités électriques et il n'est pas possible de différentier la nature de ce substratum par les techniques utilisées.

Quelques sondages électriques présentent un niveau intermédiaire moyennement résistant sous les horizons molassiques. Ce niveau est un indicateur d'une possible présence de niveaux calcaires karstifiés. Il s'agit du secteur de Saint-Quentin-Fallavier (profil 0) et de la zone entre Luzais et Satolas-et-Bonce (profil 1). En l'état actuel des connaissances il n'est pas possible de statuer clairement sur l'existence d'une telle alimentation de l'aquifère de la molasse par des arrivées d'eau provenant d'un réseau karstique. Cependant la caractérisation géologique proposée dans cette étude permet de limiter spatialement la zone où un tel processus est possible.

Pour la partie centrale de la zone d'étude, l'identification de la nature du substratum n'a pu être possible que dans la zone ayant fait l'objet de prospections minières pour limiter le bassin houiller (Illustration 12). Au centre du bassin houiller, le substratum de la molasse correspond aux formations de l'Eocène-Oligocène (EOLG) alors que sur les bordures Nord-Est et Sud-Ouest dominent respectivement les formations du Carbonifère (CARB) et du Mésozoïque (MSZQ).

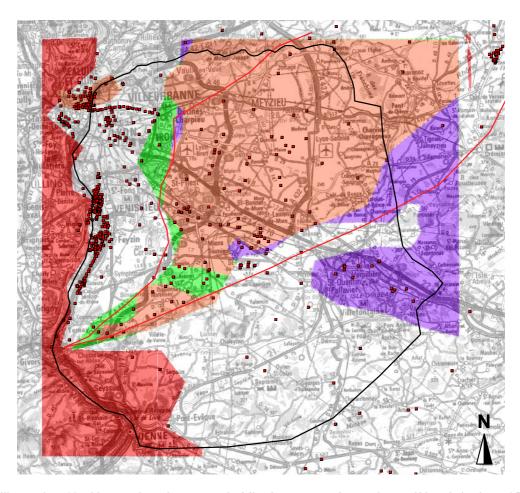


Illustration 12 : Nature du substratum du Miocène proposée par le modèle géologique 3D (orange=EOLG, violet=MSZQ, vert=CARB, rouge=SOCLE, sans couleur=substratum non identifié). Contour en rouge = emprise du bassin houiller. Points en rouge correspondant aux ouvrages reportés dans la base de données « ouvrages/géol ».

### 3.3. ESTIMATION DU VOLUME DU RESERVOIR MOLASSIQUE

A partir des résultats issus du modèle géologique 3D, un dimensionnement du volume total maximal de l'aquifère molassique peut être proposé (Annexe 2). Dans un premier temps nous faisons l'hypothèse que la totalité du réservoir molassique dimensionné par le modèle géologique 3D est aquifère. En effet il n'est pas possible en l'état actuel des connaissances de distinguer dans la molasse miocène les horizons à dominance sableuse des horizons à dominance argileuse avec une vision tridimensionnelle. Le volume ainsi estimé est de 107 km³. Si nous considérons que l'aquifère de la molasse est probablement peu productif sur l'ensemble du secteur géographique correspondant au couloir de Meyzieu, le volume du réservoir serait réduit à 78 km³ (soustraction faite du volume correspondant à l'aquifère de la molasse sur le couloir de Meyzieu). Dans la suite de notre rapport nous verront que les connaissances acquises sur le

fonctionnement de l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais (zone d'alimentation réduite, existence d'une compartimentation de l'aquifère ...) conduisent à restreindre encore davantage ce volume et de proposer une estimation argumentée du volume total de l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais.

# 4. Acquisition de nouvelles données sur l'aquifère de la molasse

# 4.1. CONCEPTION D'UNE BASE DE DONNEES HYDROGEOLOGIQUE

## 4.1.1. Liste des données exploitées

Un inventaire des ouvrages (sondages, forages...) recoupant la formation de la molasse a été réalisé, à partir des ouvrages recencés :

- dans la BSS (Banque de données du Sous-Sol);
- dans les études et les inventaires antérieurs ;
- auprès des foreurs et des bureaux d'étude :
- dans les récépissés de déclaration de travaux (DDAF, DDASS).

Une base de données « Ouvrages/Hydro» a été créée afin de rassembler l'ensemble des informations disponibles sur chaque ouvrage (Annexe 3). Dans la mesure du possible, les points suivants ont été documentés :

- références de l'ouvrage (N°BSS, Dénomination) ;
- localisation géographique (Commune, Département, coordonnées X,Y,Z);
- liste des documents disponibles ;
- coupe technique de l'ouvrage (profondeur, niveaux crépinés etc...);
- coupe géologique de l'ouvrage (toit, mur de la molasse etc...);
- caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère issues de l'interprétation d'essais de pompage, d'essais de perméabilité;
- existence de données géochimiques (pH, T, Eh, conductivité et analyses chimiques en éléments majeurs et traces) ;
- existence de chroniques d'exploitation (débit et niveaux piézométriques).

La campagne de terrain de l'automne-hiver 2008-2009, réalisée par le BRGM, a permis de connaître l'état actuel des ouvrages et de statuer sur la possibilité d'accès à la mesure « quantité » et « qualité » sur l'ouvrage concerné.

## 4.1.2. Présentation de la base de données

La liste des champs renseignés dans la base de données « Ouvrages/Hydro », reportée en Annexe 1, se trouve reportée sur l'Illustration 13.

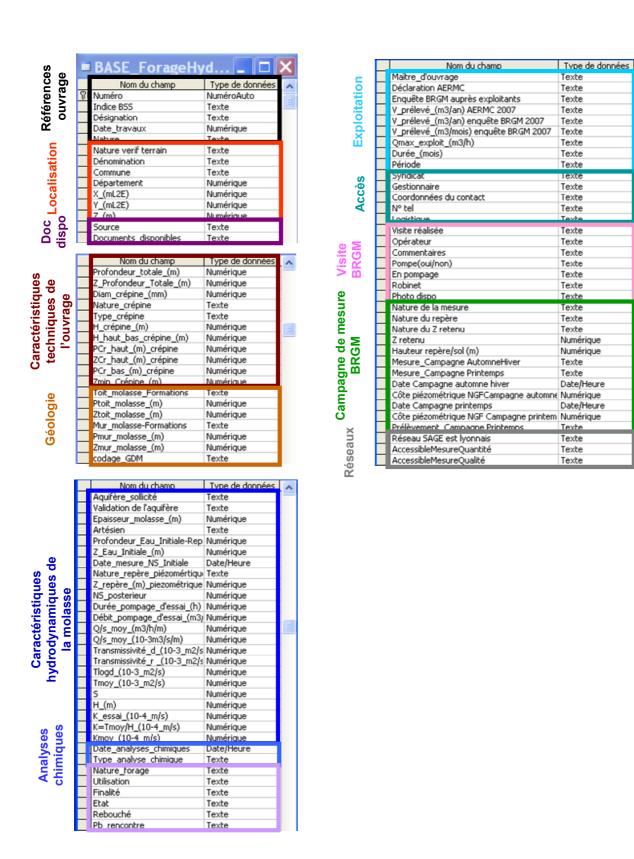


Illustration 13 : Liste des champs renseignés dans la base de données « Ouvrages/Hydro».

Dans la base de données « Ouvrages/Hydro » seuls les ouvrages captant uniquement l'aquifère de la molasse ont été retenus. Cette vérification s'est appuyée sur l'analyse des coupes géologiques et techniques disponibles afin de s'assurer que les crépines de l'ouvrage captent uniquement l'aquifère de la molasse.

L'ensemble des ouvrages inventoriés dans la base de données « Ouvrages/Hydro » se trouve reporté sur l'Illustration 14. Sur la zone d'étude considérée, les ouvrages captant l'aquifère de la molasse (hors radiers drainant) sont au nombre de 51, dont 19 exploités. Sur le périmètre strict du SAGE de l'Est Lyonnais, 36 ouvrages sont référencés dont 12 exploités. On constate que, comparativement aux secteurs géographiques des couloirs d'Heyrieux et de Décines, le secteur géographique du couloir de Meyzieu comporte un nombre limité d'ouvrages captant l'aquifère de la molasse.

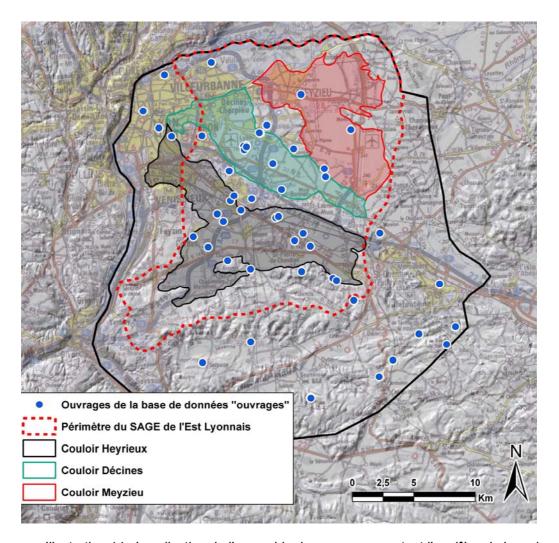


Illustration 14 : Localisation de l'ensemble des ouvrages captant l'aquifère de la molasse inventoriés dans la base de données « ouvrages ».

#### 4.2. APPROCHE HYDROGEOLOGIQUE

# 4.2.1. Campagnes piézométriques

Une première approche consiste à connaître l'écoulement de la nappe de la molasse grâce à sa piézométrie. A l'automne-hiver 2008-2009 et au printemps 2009 des campagnes de mesure des niveaux piézométriques de l'aquifère de la molasse ont été réalisées par le BRGM. Les mesures réalisées se trouvent reportées dans l'Annexe 3 et les esquisses piézométriques proposées pour ces deux campagnes sont reportées sur l'Illustration 15 et l'Illustration 16.

Les niveaux piézométriques évoluent peu entre les deux campagnes bien que les dates de mesure correspondent à des régimes hydrologiques contrastés pour l'Est Lyonnais (Basses eaux/Hautes eaux) (différence inférieure à un mètre, excepté pour le point de N° BSS: 06988C0335/F6 sur le site d'Eurexpo qui présente près de 3,3 m de différence de niveau piézométrique entre les deux campagnes). Compte tenu des mesures observées pour les deux campagnes, une crête piézométrique<sup>3</sup> semble compartimenter l'aquifère de la molasse entre l'Est Lyonnais et le secteur des « 4 Vallées ». Cette crête suit globalement l'axe du seuil de Vienne-Chamagnieu. Au nord de la crête piézométrique supposée, les isopièzes indiquent un écoulement de l'aquifère de la molasse globalement vers le Nord-ouest, en direction du Rhône, avec un gradient hydraulique de 6,5% en moyenne. Au sud de la crête piézométrique, dans le secteur des « 4 Vallées », l'eau s'écoule vers l'Ouest, reprenant globalement le sens d'écoulement de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires sur ce secteur (direction suivant l'axe des couloirs fluvio-glaciaires). Dans le secteur de La Verpillère, le sens d'écoulement de l'aquifère de la molasse ne peut être déterminé en raison du très faible nombre de points de mesure disponibles et des fortes différences de niveau piézométrique observées (notamment plus de 100 m entre les points de N°BSS: 07236X0020/70175 et 07236X0053/F).

A partir des cartes piézométriques établies, la zone d'alimentation de l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais semble ainsi se limiter aux affleurements géologiques de molasse au Nord du seuil de Vienne-Chamagnieu. L'approche hydrogéologique présentée ici aboutit donc à une restriction de la zone d'alimentation de l'aquifère de la molasse par rapport à la zone initialement pressentie par ANTEA (2005). Contrairement à ce que l'on aurait pu supposer, le secteur des « 4 Vallées » ne semble pas participer à l'alimentation de l'aquifère de la molasse de l'Est lyonnais. L'hypothèse d'une compartimentation de l'aquifère de la molasse entre l'Est Lyonnais, le secteur des « 4 Vallées » et le bassin de la Bourbre sera par la suite davantage discutée en s'appuyant sur les résultats issus de l'approche géochimique proposée dans cette étude (interprétation des analyses géochimiques réalisées pour la campagne de prélèvement d'avril 2009).

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Ligne de partage des eaux souterraines, encore appelée ligne à flux hydrogéologique nul séparant deux bassin hydrogéologiques limitrophes.

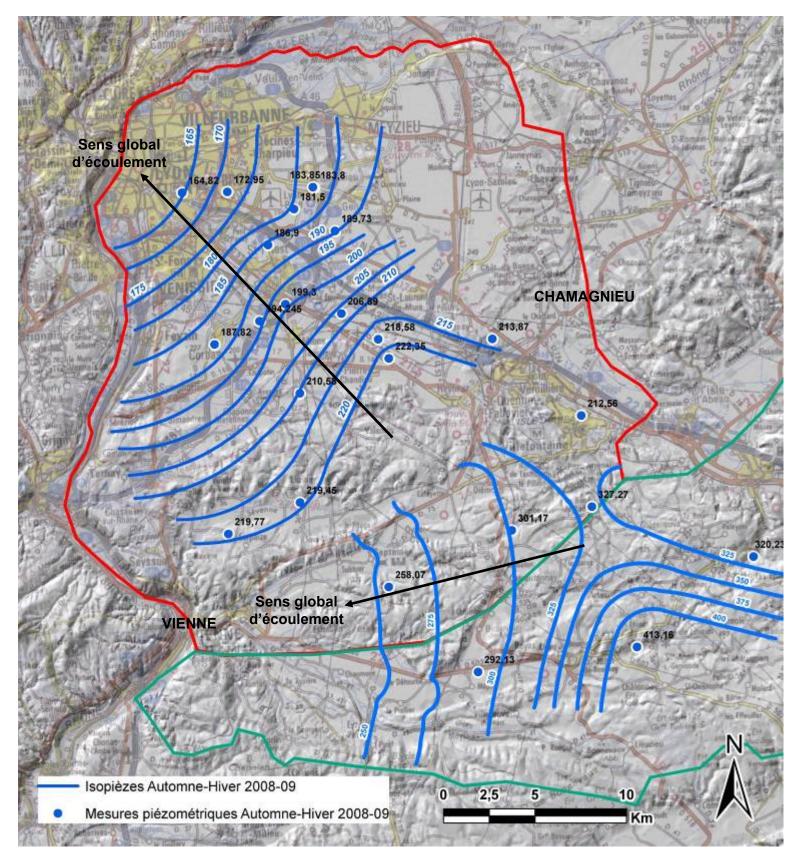


Illustration 15 : Carte piézométrique pour l'aquifère de la molasse miocène (campagne piézométrique BRGM automne-hiver 2008-2009).

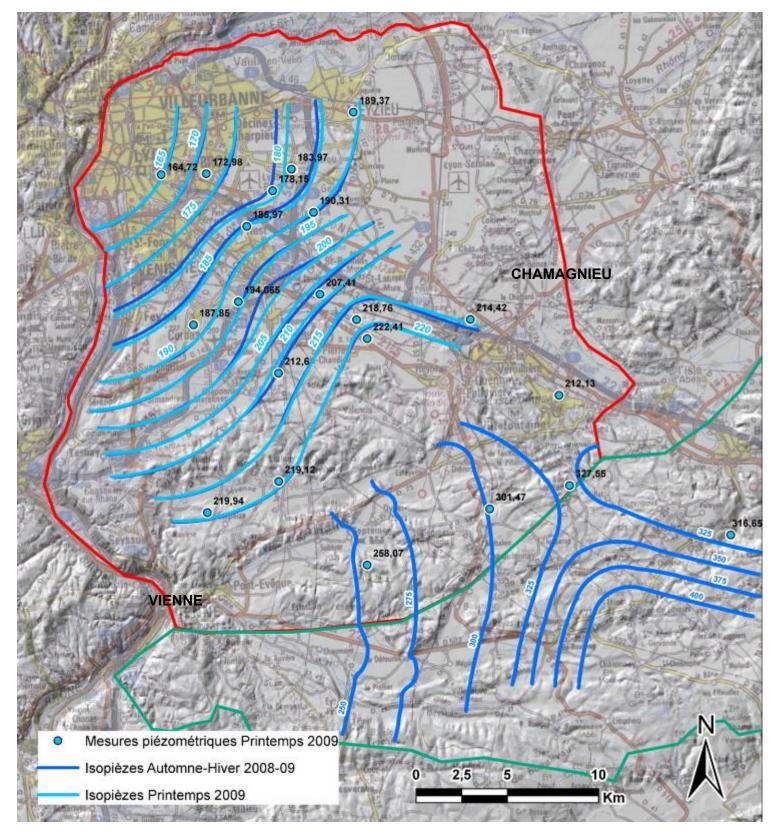


Illustration 16 : Carte piézométrique pour l'aquifère de la molasse miocène (campagne piézométrique BRGM printemps 2009).

En parallèle de la campagne piézométrique d'automne-hiver 2008-09 sur l'aquifère de la molasse, le BRGM a réalisé une campagne piézométrique du 27 octobre au 7 novembre 2008 sur l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires (Illustration 17) des couloirs de l'Est Lyonnais (69) et des 4 Vallées (38) dans le cadre d'un appui police de l'eau (Annexe 4). L'objectif de cette campagne était de mettre à jour les cartes piézométriques existantes et de disposer de mesures synchrones entre l'aquifère de la molasse et l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires.

Sur l'Est lyonnais, le niveau piézométrique de l'aquifère de la molasse se trouve alternativement au dessus et en dessous du niveau piézométrique de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires. Compte tenu du nombre relativement restreint de points mesurés pour l'aquifère de la molasse, il reste difficile de dégager une tendance générale concernant le positionnement relatif des niveaux piézométriques de ces deux aquifères. Cependant ce que l'on peut dire c'est que leurs niveaux piézométriques restent relativement proches, ils diffèrent de 1 à 5 m environ. Ainsi les conditions théoriques nécessaires, pour que la communication entre les niveaux aquifères de la molasse et des alluvions fluvio-glaciaires soit possible, semblent être réunies.

Contrairement à l'Est Lyonnais, sur le secteur des « 4 Vallées » il est possible de statuer sur le positionnement relatif des deux niveaux aquifères. Dans la partie amont des couloirs fluvio-glaciaires, le niveau piézométrique de l'aquifère de la molasse se trouve globalement en dessous du niveau piézométrique de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires alors que dans la partie aval il se trouve globalement au dessus. Ce résultat suggère une modification des relations entre les deux niveaux aquifères. L'aquifère de la molasse pourrait ainsi être alimenté par l'aquifère des alluvions dans la partie amont des couloirs alors qu'il alimenterait l'aquifère des alluvions en aval.

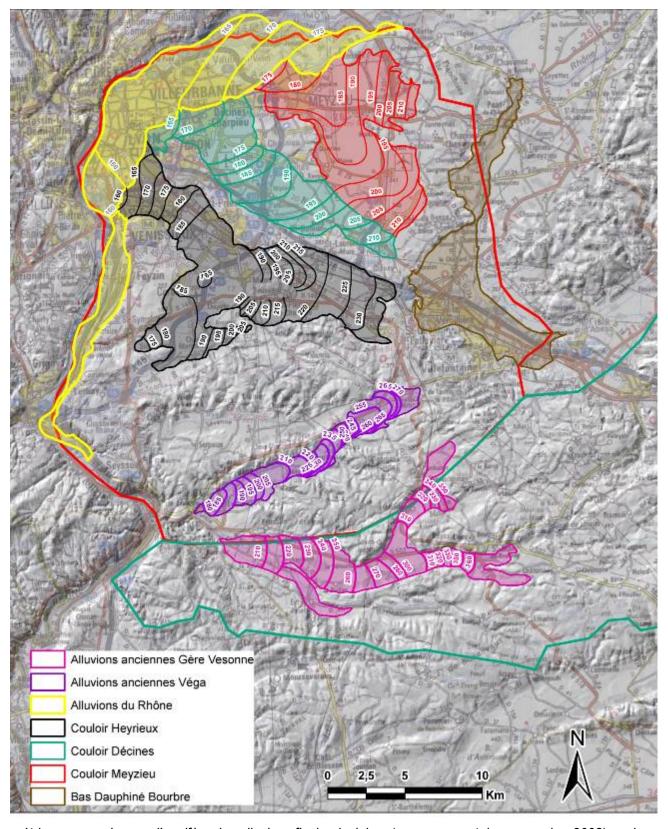


Illustration 17 : Carte piézométrique proposée pour l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires (campagne octobre-novembre 2008) sur la zone d'étude (BRGM, 2009).

# 4.2.2. Interprétation des chroniques piézométriques existantes sur le site de « 4 Chênes »

Le site de « 4 Chênes » se situe au Sud-est de Saint-Priest, dans le couloir fluvioglaciaire d'Heyrieux (Illustration 18). Dans ce secteur les aquifères de la molasse et des alluvions fluvio-glaciaires se trouvent superposés. Sur ce site un certain nombre de forages (Illustration 18), captant soit l'aquifère de la molasse soit l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires, disposent de chroniques sur la piézométrie et sur les volumes d'eau prélevés.

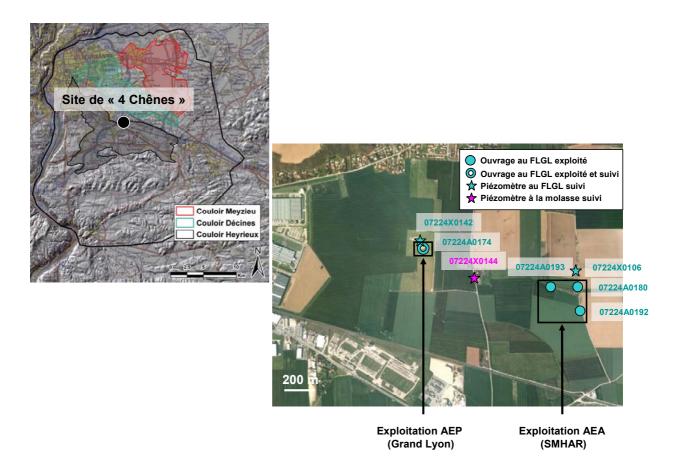


Illustration 18 : Localisation des ouvrages sur le site de « 4 Chênes ».

Sous réserve que tous les points soient déclarés dans la BSS (Banque de données du Sous-Sol), seul l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires se trouve exploité sur le site de « 4 Chênes ». Après vérification de la cohérence des données disponibles, seules les chroniques suivantes ont été retenues pour l'interprétation :

- Chroniques piézométriques sur l'aquifère des alluvions fluvioglaciaires disponibles pour le point de N°BSS: 07224X0142/P suivi par le Grand Lyon et le point de N°BSS: 07224X0106/S suivi par le BRGM;
- Chronique piézométrique sur l'aquifère de la molasse disponible pour le point de N°BSS : 07224X0144/P suivi dans le cadre du SAGE de l'Est Lyonnais ;
- Chroniques de volumes prélevés sur l'aquifère des alluvions fluvioglaciaires disponibles pour les ouvrages exploités pour l'AEA (Alimentation en Eau Agricole) par le SMHAR (Syndicat Mixte d'Hydraulique Agricole du Rhône) et l'AEP (Alimentation en Eau Potable) par le Grand Lyon.

Sur l'Illustration 19 se trouve représenté l'ensemble des chroniques piézométriques retenues, disponibles suivant un pas de temps journalier pour la période de novembre 2005 à novembre 2008.

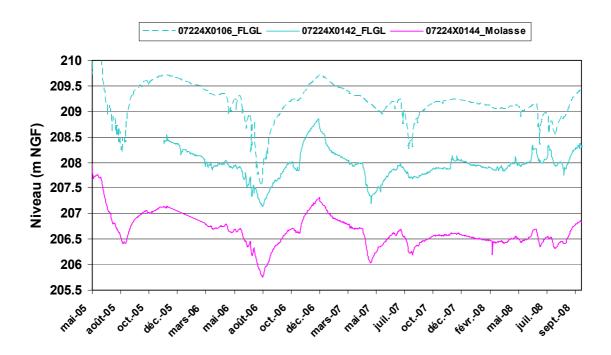


Illustration 19 : Niveaux piézométriques considérés pour l'aquifère des alluvions fluvioglaciaires et l'aquifère de la molasse sur le site de « 4 Chênes ».

Les écarts de niveau piézométrique de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires entre les ouvrages de N°BSS: 07224X0142/P et 07224X0106/S ne dépassent pas 1,5 m. Compte tenu de la distance entre ces deux ouvrages (≈ 1 km), ces écarts peuvent, tout à fait, être expliqués par la pente hydraulique de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires (≈ 1 ‰). Cependant, ces écarts, globalement peu significatifs, pourraient

également s'expliquer par l'incertitude des mesures (i.e. incertitude sur l'altitude des ouvrages en l'absence de nivellement du point 07224X0142/P). De la même manière les différences de niveau piézométrique observées entre l'aquifère de la molasse et l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires, peu significatives (<2 m), peuvent potentiellement être imputées à la pente hydraulique de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires et/ou à des différences sur les altitudes retenues pour ces points (MNT pour les points N°BSS: 07224X0142/P et 07224X0144/P; Nivellement pour le point N°BSS: 07224X0106/S). Ce qu'il faut retenir c'est que sur le site des « 4 Chênes », comme il l'a été précédemment évoqué pour l'ensemble de l'Est Lyonnais, les faibles écarts de niveaux piézométriques entre l'aquifère de la molasse et l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires semblent indiquer de fortes potentialités de relations entre ces deux niveaux aquifères.

Par la suite, seules les variations au cours du temps des niveaux piézométriques en un point d'observation donné font l'objet d'une interprétation. De novembre 2005 à novembre 2008, les niveaux piézométriques de l'aquifère de la molasse et des alluvions fluvio-glaciaires varient de manière relativement synchrone, avec globalement la même amplitude (Illustration 19). Deux hypothèses peuvent être envisagées pour rendre compte de ces chroniques :

- Les deux nappes s'alimentent et se vident de la même manière car elles présentent la même zone d'alimentation et le même mode de vidange ;
- Les deux nappes sont en communication hydraulique.

Sur l'Illustration 20 et l'Illustration 21, les chroniques piézométriques disponibles sont confrontées aux chroniques de volumes prélevés dans l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires avec l'objectif de pouvoir identifier d'éventuelles connexions entre les deux niveaux aquifères en présence. Les ouvrages du SMHAR (N°BSS: 07224A0180/F, 07224A0192/F2 et 07224A0193/F3) sont exploités pour l'irrigation de façon très irrégulière entre mars et octobre de chaque année. En revanche les prélèvements d'eau sur l'ouvrage AEP du Grand Lyon (N°BSS: 07224A0174/FESSAI) se trouvent globalement bien répartis sur l'année, excepté pour les mois de novembre et décembre durant lesquels le forage est arrêté afin de nettoyer les cuves. De plus sur l'Illustration 20 et l'Illustration 21 se trouve reportée la période de recharge préférentielle des aquifères sur l'Est Lyonnais (novembre à avril d'après Burgéap, 2009).

Les baisses des niveaux piézométriques de l'aquifère de la molasse et des alluvions fluvio-glaciaires semblent coïncider avec les périodes de pompage. Ces baisses semblent particulièrement sensibles aux pompages du SMHAR (Illustration 20). En effet, entre mars et octobre de chaque année, les niveaux piézométriques des aquifères des alluvions fluvio-glaciaires et de la molasse baissent simultanément, consécutivement à la reprise des pompages (Illustration 20). Cette baisse est d'autant plus importante que le volume d'eau prélevé est conséquent. Cependant le pompage AEP du Grand Lyon (Illustration 21) pourrait également expliquer certaines variations de niveau piézométrique même si son influence est probablement moins marquée en raison de plus faibles débits de pompage (pompages de l'ordre de 390 m³/h pour l'AEP du Grand Lyon contre environ 1000 m³/h pour l'AEA du SMHAR).

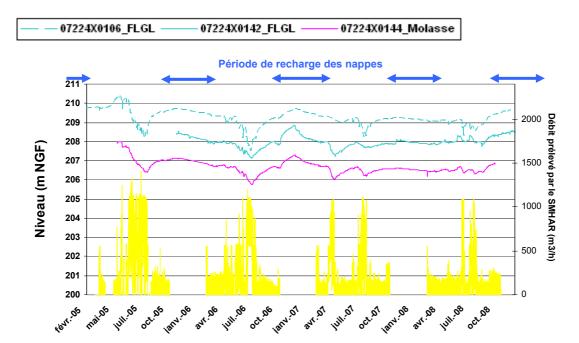


Illustration 20 : Niveaux piézométriques des aquifères des alluvions fluvio-glaciaires (FLGL) et de la molasse, comparés aux débits prélevés par le SMHAR et la période de recharge.En jaune, les débits prélevés par le SMHAR.

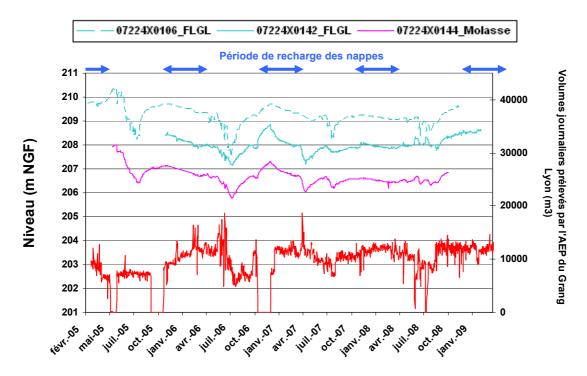


Illustration 21 : Niveaux piézométriques des aquifères des alluvions fluvio-glaciaires (FLGL) et de la molasse, comparés aux volumes pompés pour l'AEP par le Grand Lyon et la période de recharge. En rouge les volumes prélevés par le Grand Lyon.

L'interprétation des données disponibles pour les mois de novembre et décembre 2006 (Illustration 22) permet de discuter les deux hypothèses proposées précédemment pour expliquer les chroniques observées. Début novembre 2006, on observe un arrêt des pompages AEP du Grand Lyon et AEA du SMHAR. A cet arrêt correspond une remontée significative (≈ 1 m) des niveaux piézométriques des aquifères de la molasse et des alluvions fluvio-glaciaires. A la reprise des pompages de l'AEP, mi-décembre 2006, on observe à nouveau une baisse des niveaux piézométriques alors que cette période de l'année correspond à la période de recharge préférentielle de ces aquifères. Ces observations soutiennent donc l'hypothèse d'une forte communication entre les niveaux aquifères de la molasse et des alluvions fluvio-glaciaires car les pompages appliqués uniquement sur les alluvions ont une répercussion immédiate sur les niveaux piézométriques des deux aquifères. Cette hypothèse est également compatible avec l'absence d'horizons imperméable entre les deux niveaux aguifères par la coupe géologique de l'ouvrage de N°BSS : 07224X0144/P qui aurait pu justifier l'absence de continuité hydraulique entre l'aquifère de la molasse et l'aquifère des alluvions fluvioglaciaires.

Ainsi, sur le secteur des « 4 Chênes », les aquifères de la molasse et des alluvions fluvio-glaciaires semblent être en continuité hydraulique.

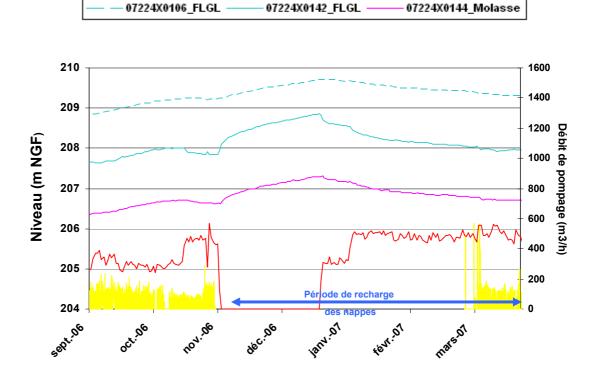


Illustration 22 : Zoom sur les chroniques piézométriques et de débits prélevés disponibles pour la période septembre 2006 à avril 2007. En jaune, les débits prélevés par le SMHAR ; en rouge les débits prélevés par le Grand Lyon.

# 4.2.3. Interprétation de nouveaux pompages d'essai

Dans le cadre de cette étude, le site de la piscine de Chassieu, dans le couloir fluvio-glaciaire de Décines (Illustration 23), a fait l'objet de pompages d'essai couplés dans l'aquifère de la molasse avec interférence sur l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires. Initialement le site de la piscine de Chassieu disposait de deux ouvrages captant l'aquifère de la molasse, l'un exploité (N°BSS: 06988C0342/F2) désigné ci-après « Nouveau Molasse » et l'autre abandonné (N°BSS: 06988C0281/F) désigné ci-après « Ancien Molasse ». Un piézomètre captant l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires a été réalisé (N°BSS: 06988X0343/Pz1), désigné ci-après « Piézo FLGL », afin de disposer d'un point de suivi des niveaux piézométriques de cet aquifère sur le site.

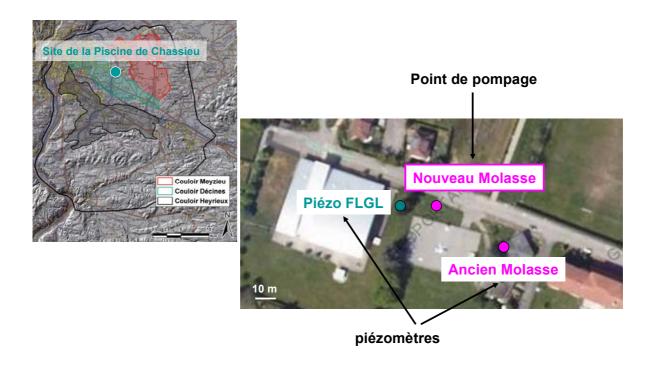


Illustration 23 : Localisation du puits pompé et des points d'observation sur le site de la piscine de Chassieu.

Les coupes géologiques détaillées, ainsi que les coupes techniques des ouvrages « Piézo FLGL » et « Nouveau Molasse », suivis pour les essais de pompage se trouvent reportées respectivement en Annexe 5 et en Annexe 6 (le point « Ancien Molasse » ne dispose ni de coupe géologique, ni de coupe technique). L'Illustration 24 présente de manière simplifiée les coupes géologique et technique des trois ouvrages. Au droit du site de la piscine de Chassieu, les aquifères des alluvions fluvio-glaciaires

et de la molasse se trouvent superposés et une couche plus ou moins argileuse sépare ces deux niveaux aquifères.

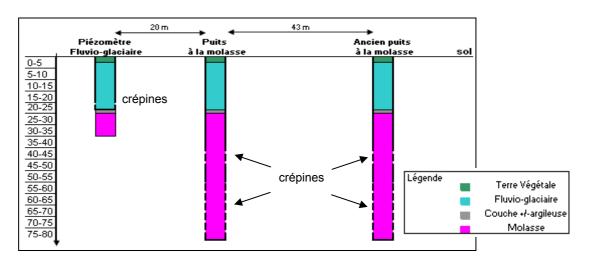


Illustration 24 : Coupes géologiques simplifiées des points considérés pour les essais de pompage.

Deux essais de pompage ont été réalisés : un essai de puits (courte durée), destiné à déterminer les caractéristiques du puits de pompage, et un essai de nappe (longue durée) permettant d'apprécier les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère capté. Pour ces essais, les trois ouvrages ont été équipés d'un dispositif d'enregistrement des niveaux piézométriques au pas de temps de la minute. Par ailleurs, les pompages des ouvrages environnants, susceptibles d'influencer les niveaux piézométriques des nappes au droit du site de la piscine de Chassieu, ont été arrêtés le temps des essais de pompage.

### a) Interprétation de l'essai de pompage par paliers (courte durée)

L'essai de puits consiste à réaliser des pompages à débits croissants d'une heure, chacun interrompu par un arrêt de pompage d'une heure permettant ainsi la remontée de la nappe. Trois paliers de pompage appliqués sur le point « Nouveau Molasse », de débit 15, 30 et 45 m³/h ont été réalisés le mercredi 15 avril 2009 (Illustration 25). Les niveaux piézométriques ont été suivis par des enregistreurs sur les trois ouvrages et, ponctuellement, contrôlés par des mesures manuelles.

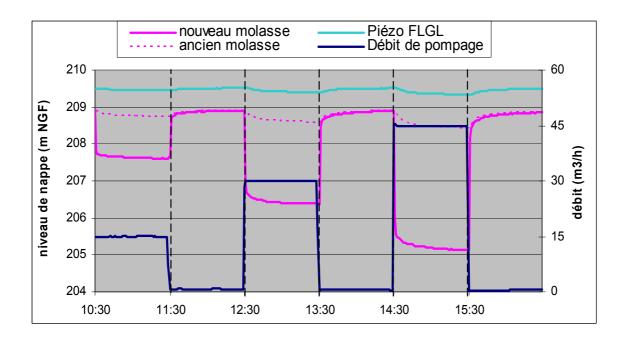


Illustration 25 : Niveaux piézométriques mesurés sur les deux aquifères lors de l'essai de pompage par paliers.

On désigne par le terme « rabattement (s) », la différence positive de niveau entre le niveau piézométrique statique<sup>4</sup> et le niveau piézométrique dynamique<sup>5</sup> de la nappe. Lors d'un essai de puits, le rabattement total (s<sub>total</sub>) mesuré est la somme du rabattement du niveau piézométrique de l'aquifère (perte de charge linéaire) et du rabattement induit par l'équipement de l'ouvrage (perte de charge quadratique liées à un écoulement turbulent). Ainsi le rabattement total (s<sub>total</sub>) a pour expression :

$$s_{total} = s_{aquifère} + s_{\acute{e}quipement} = BQ + CQ^2$$

L'étude des mesures de rabattement observées en fonction du débit de pompage appliqué pour les différents paliers (Illustration 26) vont permettre de déterminer les pertes de charge liées à l'équipement du puits de pompage. En effet en reportant sur un graphique le rabattement spécifique observé (s/Q) en fonction du débit appliqué (Q) on obtient une droite dont l'ordonnée à l'origine permet d'estimer la valeur du coefficient de perte de charge linéaire (B) et dont la pente donne le coefficient de perte de charge quadratique (C).

-

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Niveau de la nappe non soumis à pompage ni à injection

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Niveau atteint par la nappe lors d'un pompage ou d'une injection

Pompage par paliers	Palier 1	Palier 2	Palier 3	Palier 4
Débit (m3/h)	15	30	45	49
Temps de pompage (min)	60	60	60	60
Temps de remontée (min)	60	60	60	
Rabattement observé (m)	1.22	2.53	3.78	4.16

Illustration 26 : Valeurs de débit et de rabattement associé mesurées pour l'essai de pompage court (palier 1 à 3) et la première heure de l'essai de pompage long (palier 4).

Pour l'essai réalisé on calcule ainsi un coefficient de perte de charge quadratique (C) de  $1150 \text{ s}^2/\text{m}^5$ . Ce qui correspond à un rabattement du niveau d'eau dû à l'équipement du puits de 0,22 m (Illustration 27) pour un débit de  $49 \text{ m}^3/\text{h}$ . Le coefficient B est de  $290 \text{ s/m}^2$ .

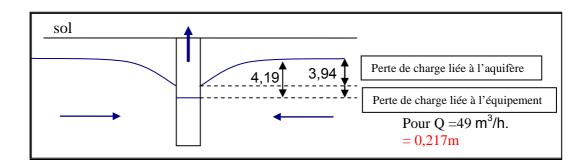


Illustration 27 : Pertes de charge dans le puits de Chassieu lors d'un pompage à 49 m3/h.

# b) Interprétation et modélisation de l'essai de nappe (pompage de longue durée)

L'essai de pompage de longue durée permet d'étudier l'aquifère sollicité dans son ensemble, et ainsi d'estimer ses paramètres hydrodynamiques. L'interprétation des données de cet essai tiendra compte des pertes de charge quadratiques, calculées précédemment.

Pendant plus de 3 jours, du lundi 27 avril matin au jeudi 30 avril 2009 après-midi, l'ouvrage désigné « Nouveau Molasse » a été pompé, sans interruption, à un débit constant de 49 m³/h. La remontée de la nappe a ensuite été observée pendant les 4 jours suivants en l'absence totale de pompage. Durant l'ensemble de l'essai (descente et remontée de la nappe), les niveaux d'eau des trois ouvrages (« Nouveau Molasse », « Ancien Molasse » et « Piézo FLGL ») et le débit de pompage sur le forage

« Nouveau Molasse » ont été enregistrés toutes les minutes. La cohérence des niveaux piézométriques enregistrés a été vérifiée à l'aide des mesures manuelles de terrain, effectuées durant l'essai.

### • Présentation de la méthode d'interprétation de l'essai

La méthode mise en œuvre est décrite dans le schéma suivant (Illustration 28). Elle sera utilisée pour interpréter les tests hydrauliques réalisés sur le site de la piscine de Chassieu, ainsi que pour réinterpréter d'anciens essais de pompage.

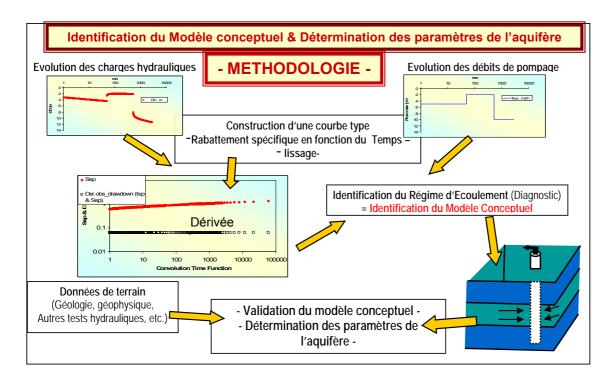


Illustration 28 : Méthodologie mise en œuvre pour l'interprétation des essais de pompages.

L'interprétation des essais de pompage peut être parfois complexe, conséquence de l'empilement de séries à perméabilités différentes ou de la géométrie des dépôts d'alluvions. Ainsi, afin de déterminer les différentes composantes d'écoulements associées aux propriétés hydrauliques de tels aquifères, il est nécessaire de porter une attention toute particulière aux essais de pompage et de poser un diagnostic aussi fin que possible sur les essais. Le diagnostic repose sur l'interprétation de la courbe de dérivée logarithmique des rabattements (ds/dlnt; à la descente ou à la remontée), qui a l'avantage de représenter tous les régimes d'écoulement sur un seul et même graphique bi-logarithmique (Bourdet et al., 1983, 1989; Spane et Wurstner, 1993). L'avantage de cette méthode est que pour chaque type et/ou géométrie d'aquifère (et type de configuration forage-aquifère), il correspond un certain régime ou une

succession de certains régimes d'écoulement qu'il est en général possible d'identifier sur la courbe de dérivée (Deruyck et al., 1992, Shlumberger, 2002).

Le calcul de la dérivée nécessite souvent un traitement par lissage afin d'augmenter le rapport signal sur bruit (engendré soit par des micro-variations du débit et/ou par la sensibilité de l'outil de mesure des niveaux). Ce traitement n'altère en rien la qualité des données originelles. Par contre, lorsque le débit varie de façon significative durant l'essai (plus de 10% du débit) il est nécessaire de prendre en compte ces variations dans le calcul de la dérivée. On obtient ainsi une courbe type qui est dérivée et interprétée suivant la méthode précédemment décrite.

Une fois la courbe des dérivées construite, le diagnostic consiste à identifier les différents régimes d'écoulement et d'en déduire les propriétés du forage (effet de capacité, pertes de charges, ...), de l'aquifère (isotrope, anisotrope, fractures, double porosité, etc.), de sa géométrie (effets de limites), des éventuelles relations entre l'aquifère capté et les aquifères de sub-surface (effet de drainance par exemple). Enfin, une fois le diagnostic posé, l'estimation des paramètres de l'aquifère est réalisée à partir du modèle mathématique le plus approprié. Puis, le modèle conceptuel de l'aquifère est validé en jugeant de la pertinence de la modélisation et des informations géologiques disponibles sur la formation testée.

A partir de la courbe des dérivées, il est déjà possible d'estimer les paramètres hydrodynamiques, en particulier la transmissivité et donc la perméabilité de la formation captée lorsqu'un écoulement radial cylindrique est atteint.

Le logiciel utilisé pour l'interprétation des tests est WinISAPE (logiciel BRGM). Il propose une dizaine de solutions analytiques pour modéliser les données des pompages d'essai : milieu homogène isotrope, anisotrope, double porosité, effet de drainance verticale, limites étanches ou alimentées, etc. Par ailleurs le logiciel prend aussi en compte les effets de puits (effet de capacité, pertes de charges).

### • Construction de la courbe type de l'essai

Les dérivées logarithmiques des données ont été filtrées (Illustration 29), et reportées dans le graphique bi-logarithmique en fonction du temps (Illustration 30). L'Illustration 30 représente les courbes de dérivée à la « descente » et à la « remontée ».

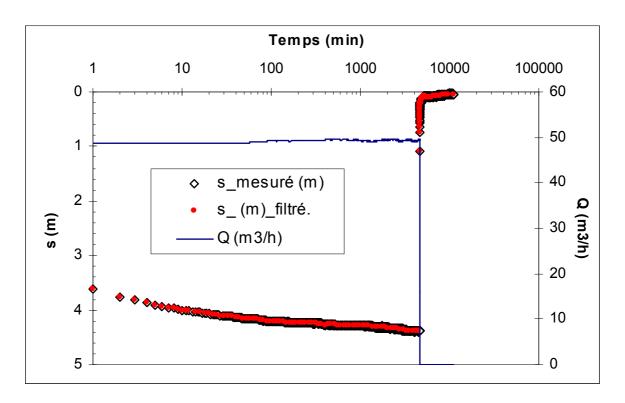


Illustration 29 : Rabattement (s) et débit (Q) de pompage au puits « Nouveau Molasse » en fonction du temps (échelle semi-logarithmique).

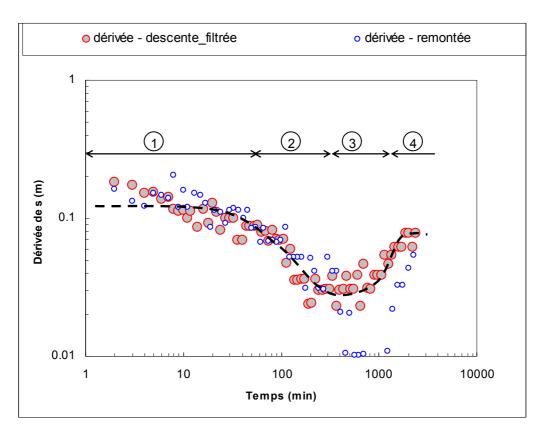


Illustration 30 : Dérivée du rabattement mesuré au puits de pompage « Nouveau Molasse » en fonction du temps (échelle bi-logarithmique).

### • Identification du régime d'écoulement

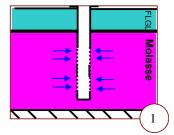
L'analyse de la dérivée des rabattements, observés à la descente et à la remontée de la nappe, mène à la distinction de **quatre régimes d'écoulement** :

- 1. Un régime d'écoulement où la dérivée est constante (régime 1, Illustration 30), qui correspond à un **écoulement radial cylindrique**. Une première valeur de transmissivité T1 peut ainsi être estimée pour ce régime (Annexe 8).
- 2. Un régime d'écoulement où la dérivée du rabattement en fonction du temps décrit une droite de pente -1/2 sur un graphique bi-logarithmique (régime 2, Illustration 30). Cela correspond à un **écoulement sphérique** (Bourdet et al., 1983).
- 3. Un régime d'écoulement de transition où la dérivée du rabattement diminue ce qui correspond à un retard à l'écoulement (de l'eau arrive dans le

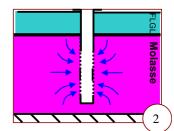
- système) puis augmente ce qui correspond à une transition vers le régime suivant (régime 3, Illustration 30).
- 4. Un régime d'écoulement où la dérivée du rabattement est quasi-constante en fonction du temps (régime 4, Illustration 30), correspondant à un deuxième écoulement radial cylindrique, où une deuxième valeur de transmissivité T2 peut être estimée (Annexe 8)

La méthode des dérivées met ainsi en évidence différents régimes d'écoulement intervenant successivement lors du pompage dans l'aquifère de la molasse :

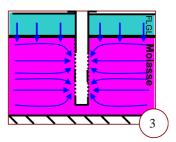
**Régime 1**: Au début du pompage, l'eau sollicitée est celle qui est à proximité du massif filtrant. L'écoulement y est radial. On estime une première valeur de transmissivité T1 entre 7,5 et 8 10<sup>-3</sup>m<sup>2</sup>/s (Annexe 8), correspondant à la transmissivité de la molasse environnante.



**Régime 2:** Au bout d'une dizaine de minutes, l'étendue de l'aquifère sollicité augmente. En effet, le puits de pompage n'étant pas complet (c'est-à-dire que les crépines n'atteignent pas le mur de l'aquifère molassique), l'écoulement devient sphérique, l'influence du pompage s'étend à tout l'aquifère.

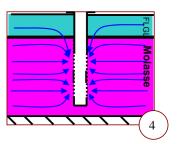


**Régime 3**: Au bout d'une centaine de minutes, la variation du rabattement ralentit, il y a un retard à l'écoulement. Compte tenu du contexte hydrogéologique environnant, cela s'explique par un apport d'eau de la nappe des alluvions fluvio-glaciaires qui se met à goutter à travers la couche plus ou moins argileuse séparant les deux aquifères. Il s'agit d'un phénomène de drainance<sup>6</sup>.



<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Passage vertical d'un flux d'eau à travers une formation semi-perméable à partir ou à destination d'un aquifère contigu supérieur ou inférieur

**Régime 4:** Enfin, à partir de 1000 minutes environ (soit 17 heures), les niveaux aquifères de la molasse et du fluvio-glaciaire réagissent comme un seul et unique aquifère, ce qui se traduit par un écoulement final radial. L'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires est donc bien sollicité par le seul pompage dans l'aquifère de la molasse. La valeur de la transmissivité T2 de cet aquifère composite est estimée entre 1,4 et 1,9 10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>/s.



Remarque: L'effet de drainance ne devient prépondérant au puits qu'à partir du Régime 3. Cependant les mesures de profondeur d'eau dans l'ouvrage « Piézo FLGL » indiquent que l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires réagit quasiment instantanément au pompage. Le phénomène de drainance serait donc présent dès le début du pompage bien que peu visible car le Régime 1 est bref (environ 20 minutes) et le Régime 2 est contrôlé principalement par un écoulement sphérique.

Les deux valeurs de transmissivité calculées permettent d'avoir un ordre de grandeur de l'épaisseur de la nappe de la molasse. En effet, T1 concerne la transmissivité autour du massif filtrant, soit sur une épaisseur de molasse de 60 m. Et T2 correspond à la transmissivité de la molasse en entier plus celle des alluvions fluvio-glaciaires. Nous supposons que les aquifères de la molasse et des alluvions fluvio-glaciaires sont des milieux homogènes et isotropes, et ainsi que la perméabilité est la même partout au sein de l'aquifère. De plus, la différence de perméabilité entre la molasse et les alluvions fluvio-glaciaires est négligeable du fait de la faible épaisseur de fluvio-glaciaire saturé devant celle de la molasse (de l'ordre de 7 m contre au moins 60 m de molasse). L'hypothèse d'une même perméabilité pour les deux estimations de transmissivité permet de supposer que le rapport T1/T2 est de l'ordre du rapport e1/e2 (avec e1=60m). On estime ainsi que l'épaisseur totale de l'aquifère de la molasse (e2), sollicitée dans cet essai, est comprise entre 100 et 150 m.

### • Choix de la solution mathématique pour modéliser l'essai

L'analyse de la courbe dérivée du rabattement en fonction du temps a permis de distinguer plusieurs régimes d'écoulement (Illustration 30). Cela nous conduit à choisir un modèle mathématique adapté à la situation hydrogéologique rencontrée. Le modèle de Hantush à pénétration partielle (Annexe 8) modélise les puits incomplets. Il permet de modéliser les régimes 1, 2 et 4 (Illustration 30). Le Régime 3 (Illustration 30) correspond à un phénomène de drainance, qui n'est modélisable qu'à partir du modèle de Hantush&Jacob. Cependant ce dernier suppose que le niveau d'eau reste constant dans l'aquifère sus-jacent, ce qui n'est pas le cas (Régime 4 jamais atteint). Dans WinISAPE, il n'existe pas de modèle qui nous permette de modéliser simultanément l'ensemble des quatre régimes observés. Dans notre cas d'étude, le modèle de **Hantush à pénétration partielle** paraît le plus adapté car ce modèle rend compte de la plupart des régimes d'écoulement, en particulier le dernier (Régime 4) qui nous intéresse prioritairement pour qualifier les relations entre l'aquifère de la molasse et l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires. Ainsi cette solution a été retenue par la suite.

### • Modélisation de l'écoulement et calage du modèle

Le rabattement est simulé à partir du modèle de Hantush pour chaque ouvrage : puits de pompage (« Nouveau Molasse ») et points d'observation (« Ancien Molasse » et « Piézo FLGL ») suivant la méthode et les paramètres présentés sur l'Illustration 31. L'étape dite de « calage » du modèle d'écoulement consiste à déterminer les valeurs de coefficient d'emmagasinement (S), de transmissivité (T) et d'anisotropie (Kh/Kv) qui permettent de modéliser les mesures de terrain de façon satisfaisante.

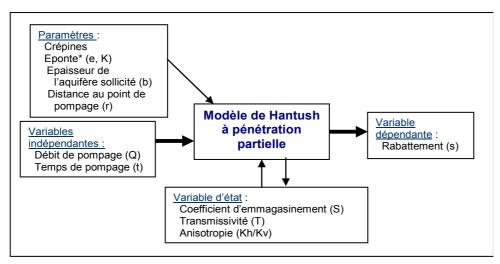


Illustration 31 : Paramètres mis en jeu dans la modélisation de Hantush à pénétration partielle et leur rôle.

Le modèle de Hantush à pénétration partielle (logiciel WinISAPE, BRGM) permet de représenter le rabattement observé à l'ouvrage « Nouveau Molasse » de façon satisfaisante (Illustration 32 et Illustration 33).

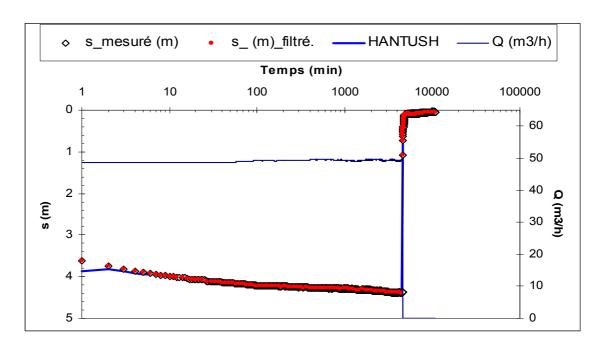


Illustration 32 : Rabattement (s) mesuré et calculé en fonction du temps, au puits « Nouveau Molasse », à l'aide du modèle de Hantush à pénétration partielle (échelle semi-logarithmique).

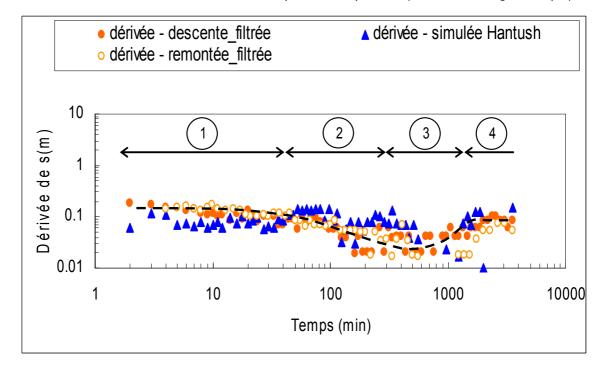


Illustration 33 : Dérivée du rabattement (s) mesuré et calculé, au puits « Nouveau Molasse », à l'aide du modèle de Hantush à pénétration partielle (échelle bi-logarithmique).

La dérivée des valeurs calculées par le modèle représente la réalité de façon satisfaisante pour le régime final (Régime 4). Cependant, l'asymptote horizontale du Régime 1 n'est pas tout à fait bien calée. Cela s'explique par le fait que le modèle considère que le même aquifère est sollicité tout au long de l'essai, alors qu'en réalité à la fin de notre essai l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires est également sollicité. Il y a ici un phénomène de compartimentation non modélisé par le modèle de Hantush à pénétration partielle. Toutefois, ce modèle permet de caler certains paramètres hydrodynamiques de l'aquifère, reportés sur l'Illustration 34.

Interprétation "Nouveau Molasse"	HANTUSH	unité	
Т	1.75E-02	m²/s	
K	1.46E-04	m/s	
S	6.00E-11	-	valeur de calage
b	120.0	m	
Th/Tv	1.00E+00	-	
e éponte	1.0	m	valeur de calage
k éponte	1.00E-15	m/s	valeur de calage
toit crépine	20.0	m	
bas crépine	50.0	m	
Capacité	311.0	mm	
Pertes de charge quadratiques	1.42E+04	s <sup>2</sup> /m <sup>5</sup>	

Illustration 34 : Paramètres hydrodynamiques calés par le modèle de Hantush à pénétration partielle pour l'ouvrage « Nouveau Molasse » (les distances sont données par rapport au toit de la molasse).

Les valeurs des paramètres hydrodynamiques calés pour l'ouvrage « Nouveau Molasse » (Illustration 34) sont cohérentes entre elles. De plus, la valeur de transmissivité calculée est du même ordre de grandeur que celle estimée lors de l'étude des dérivées (estimée en premier lieu entre 1,4 et 1,9  $10^{-2}$ m²/s) et lors des précédentes études de cet aquifère (ANTEA, 2005 : entre 0,03  $10^{-3}$  et 17  $10^{-3}$ m²/s). Le choix du modèle retenu apparaît donc pertinent.

En revanche, pour le coefficient d'emmagasinement, seules les valeurs de calage de la modélisation obtenues sur les deux autres ouvrages : « Ancien Molasse » et « Piézo FLGL » (puits d'observation) peuvent permettre d'estimer ce paramètre. Les résultats des simulations menées sur les ouvrages « Ancien Molasse » et « Piézo FLGL », situés respectivement à 43 et 20 m du puits de pompage, sont regroupés dans l'Illustration 35. Les dérivées calculées au niveau de ces points d'observation décrivent les mêmes régimes d'écoulement que ceux mis en évidence précédemment pour l'ouvrage « Nouveau Molasse » (Annexe 9). De plus les valeurs de transmissivité sont également du même ordre de grandeur que celles calculées au puits « Nouveau Molasse ». Ce qui appuie encore davantage le choix du modèle retenu pour modéliser les écoulements. Enfin les valeurs calculées pour le coefficient d'emmagasinement sont comprises entre 1,6.10-5 et 4,5.10-5, rendant compte du caractère relativement captif de l'aquifère de la molasse.

	HANTUSH à	HANTUSH	
Interprétation	l' "Ancien Molasse"	au "Piézo FLGL"	Unité
T	9.94E-03	1.80E-02	m2/s
K	8.28E-05	1.50E-04	m/s
S	1.59E-04	4.50E-05	1
b	120.0	120.0	m
Th/Tv	1.00E+01	1.00E+00	-
e éponte	1.0	1.0	m
k éponte	1.00E-15	1.00E-15	m/s
toit crépine puits	20.0	20.0	m
bas crépine puits	50.0	50.0	m
toit crépine piézo	1.0	1.0	m
bas crépine piézo	7.0	7.0	m
r	20.0	43.0	m

Illustration 35 : Tableau regroupant les paramètres hydrodynamiques calés par le modèle de Hantush à pénétration partielle pour les ouvrages « Ancien Molasse » et « Piézo FLGL » ( les distances sont données par rapport au toit de la molasse).

Par ailleurs, plusieurs modélisations peuvent expliquer des rabattements avec des hypothèses de limites étanches, de drainance, d'écoulement uniquement cylindrique, ou encore d'anisotropie, ont été envisagées. Le bon sens et la connaissance du contexte hydrogéologique environnant a permis de retenir le modèle le plus pertinent pour représenter les écoulements au sein de l'aquifère de la molasse. Le pompage de l'aquifère de la molasse sur le site de la piscine de Chassieu (Illustration 36) sollicite à long terme l'aquifère de la molasse et l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires comme un même et unique aquifère.

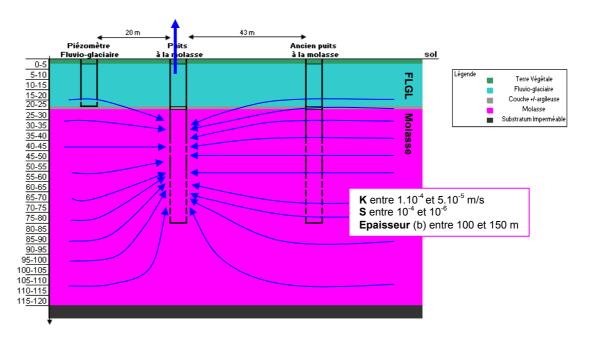


Illustration 36 : Régime d'écoulement à long terme lors du pompage de l'aquifère de la molasse sur le site de la piscine de Chassieu.

# 4.2.4. Réinterprétation d'essais de pompage existants

Des essais de pompage réalisés dans la molasse ont déjà été réalisés, par le passé, sur la commune de Corbas, située dans le couloir d'Heyrieux sur l'ouvrage de N°BSS : 07223L0004/S. Dans le cadre de cette étude les résultats de ces essais de pompages ont été réinterprétés suivant la méthode des dérivées précédemment décrite (Illustration 37).

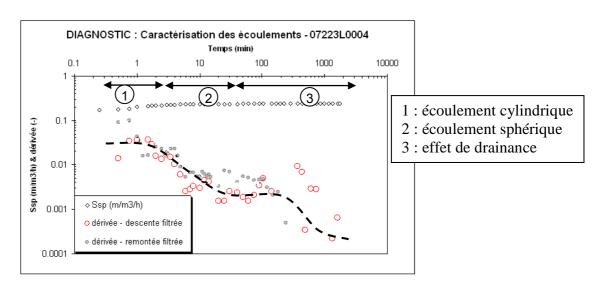


Illustration 37 : Dérivée du rabattement (s) au puits de pompage sur le site de la commune de Corbas et son interprétation.

Les résultats sont cohérents avec ceux obtenus sur le site de la piscine de Chassieu. En effet, les régimes d'écoulements distingués lors de cet essai (Illustration 37), correspondent aux trois premiers régimes de l'essai de pompage long sur le site de la piscine de Chassieu (Illustration 30). De plus, les régimes interviennent à des intervalles de temps comparables. Si l'essai sur la commune de Corbas avait été plus long, le régime cylindrique final aurait certainement été atteint. Le pompage s'est donc arrêté avant que l'aquifère des alluvions ne soit pleinement sollicité (Illustration 38).

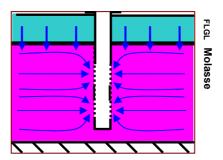


Illustration 38 : Régime d'écoulement cylindrique avec phénomène de drainance au puits de pompage sur la commune de Corbas.

Comme pour le site de la piscine de Chassieu, le modèle de Hantush à pénétration partielle a été retenu pour modéliser les écoulements observés. A partir de ce modèle, l'épaisseur de l'aquifère sollicité est estimée à 90 m, et la valeur de transmissivité est estimée à 7,45 10<sup>-3</sup> m²/s. Cette transmissivité est du même ordre de grandeur que celle calculée pour le site de Chassieu (entre 7,5 et 8 10<sup>-3</sup> m²/s). Ainsi le site étudié sur

la commune de Corbas semble se comporter de la même manière que l'aquifère molassique au niveau de la piscine de Chassieu

# 4.2.5. Conclusion

La réinterprétation d'essais de pompage existants, sur la commune de Corbas, permet de conforter le fait que l'aquifère de la molasse se comporte de façon similaire sur les couloirs de Décines et d'Heyrieux. L'étude des essais de pompages, converge vers un même scénario d'écoulement dans l'aquifère de la molasse avec une sollicitation significative de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires. Ainsi une **communication forte** entre les **deux niveaux aquifères** est mise en évidence dans le sens d'une alimentation de l'aquifère de la molasse par l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires.

#### 4.3. APPROCHE HYDROGEOCHIMIQUE

L'analyse de différents traceurs proposée dans l'approche hydrogéochimique engagée dans cette étude vise à reconstituer l'histoire de l'eau de l'aquifère de la molasse (signature des précipitations, des roches traversées, des pollutions intégrées...). En ce sens l'approche hydrogéochimique ne consiste pas uniquement à qualifier la « qualité » des eaux de l'aquifère de la molasse mais à caractériser également son origine et apporter des éléments de réponse sur le fonctionnement de cet aquifère.

# 4.3.1. Stratégie d'échantillonnage

La stratégie d'échantillonnage retenue a fait l'objet de notes techniques à l'issue des comités de pilotage de l'étude (COPIL-2 en Annexe 10 et COPIL-3 en Annexe 11), précisant respectivement le nombre d'analyses selon leur type et le choix des points d'échantillonnage. Pour les renseignements concernant les ouvrages échantillonnés, on se réfèrera à l'Annexe 1.

La campagne d'échantillonnage du BRGM s'est déroulée du 20 au 24 avril 2009. Par rapport aux points d'échantillonnage retenus initialement (Annexe 11), le point « Roche » (N°BSS : 07236X0053/F) a été remplacé par le point « AEP Septème » (N°BSS : 07228X0027/F2) en raison d'aléas techniques empêchant le renouvellement de l'eau du forage de Roche (défaillance de la pompe). La liste des points échantillonnés se trouve reportée sur l'Illustration 39 et leur localisation sur l'Illustration 40.

Par rapport à ce programme initial, l'agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse (AERMC) a souhaité apporter des analyses complémentaires sur quatre points échantillonnés en avril 2009 (MIOC-1, 2, 3 et 9) et sur quatre nouveaux points (MIOC-

17, 18, 19 et 20) captant l'aquifère de la molasse (Illustration 39). Ces huit points ont été échantillonnés par le laboratoire de l'Université d'Avignon en juillet 2009.

z,	Indice BSS	Désignation	Type Prelev	Rivière	Zone	Inteconnection	DATE	Physico-chimie	Majeurs &	δ <sup>2</sup> H et	87Sr/86Sr	Tritium	CFCs
	Company BBCW and 2000		:		alimentation	supposee		de terrain	iraces	δ <sub>0</sub> 0		_	
MIOC-1	07223L0004	Carrière Perrier	MIOC		sous couverture	Forte <sup>3</sup>	21-avr-09	×	×	×	×	×	×
MIOC-2	06988C0335	Eurexpo	MIOC		sous couverture1	Faible <sup>4</sup>	21-avr-09	×	×	×	×	×	×
MIOC-3		Véolia	MIOC		sous couverture1	Forte <sup>3</sup>	23-avr-09	×	×	×	×	×	×
MIOC-4		Bonduelle	MIOC			Faible <sup>4</sup>	21-avr-09	×	×	×	×		
MIOC-5	06987S0032	Piscine de Bron	MIOC			Forte <sup>3</sup>	22-avr-09	×	×	×	×		
MIOC-6	06988C0342	Piscine de Chassieu-statique	MIOC			Forte <sup>3</sup>	21-avr-09	×	×	×	×		
MIOC-7	07223X0255	Parc du Château	MIOC			Forte <sup>3</sup>	22-avr-09	×	×	×			
MIOC-8	07224A0158	Piscine Clairon	MIOC			Forte <sup>3</sup>	22-avr-09	×	×	×			
MIOC-9	Radier drainant	Parking Bonnel-Servient	MIOC			Faible <sup>4</sup>	22-avr-09	×	×	×			
MIOC-10	06988C0342	Piscine de Chassieu-pompage l	MIOC			Forte <sup>3</sup>	30-avr-09	×	×	×	×		
MIOC-11	07224X0144	Piézo molasse	MIOC			Faible <sup>4</sup>	23-avr-09	×	×	×	×		
MIOC-12	07223X0134	Mérial	MIOC			Forte <sup>3</sup>	22-avr-09	×	×	×	×		
MIOC-13	07231X0281	Morellon	MIOC			Forte <sup>3</sup>	21-avr-09	×	×	×	×		
MIOC-14	07236X0020	Nexans	MIOC		sub-affleurant <sup>2</sup>	Aucune <sup>5</sup>	20-avr-09	×	×	×		×	×
MIOC-15	07228X0027	AEP Septème	MIOC		sub-affleurant <sup>2</sup>	Aucune <sup>5</sup>	22-avr-09	×	×	×		×	×
MIOC-16	07224X0066	Chez M. Danon	MIOC		sub-affleurant <sup>2</sup>	Aucune <sup>5</sup>	23-avr-09	×	×	×		×	×
FLGL-1	06988X0343	Piézo FLGL Piscine Chassieu	FLGL				22-avr-09	×	×	×	×		
FLGL-2	07224X0142	AEP 4 Chênes	FLGL				23-avr-09	×	×	×	×		
FLGL-3	07231X0119	AEP Morellon	FLGL				21-avr-09	×	×	×	×		
FLGL-4	07223X0133	AEP Corbas	FLGL				23-avr-09	×	×	×	×		
FLGL-5	06988X0047	AEP Chassieu	FLGL				21-avr-09	×	×	×	×		
FLGL-6	06995C0266	AEP Azieu	FLGL				21-avr-09	×	×	×	×		
Riv-1	Rivière-1	Ozon à Tuilières	R	Ozon			22-avr-09	×	×	×	×		
Riv-2	Rivière-2	Rau d'Ozon à l'aval de Pulives	æ	Rau d'Ozon			22-avr-09	×	×	×	×		
Riv-3	Rivière-3	Ozon à Beyron	R	Inverse			22-avr-09	×	×	×	×		
Riv-4	Rivière-4	Ozon à Combe de Corneille	R	Ozon			22-avr-09	×	×	×	×		
Campagne	Campagne AERMC juillet 2009	009											
MIOC-1bis	MIOC-1bis 07223L0004	Carriere Perrier	MIOC			Forte <sup>3</sup>	02-juil-09	×		×		×	
MIOC-2bis	MIOC-2bis 06988C0335	Eurexpo	MIOC			Faible <sup>4</sup>	02-juil-09	×		×		×	
MIOC-3bis	MIOC-3bis 07224D0167	Veolia	MIOC			Forte <sup>3</sup>	03-juil-09	×		×		×	
MIOC-9bis	Radier drainant	MIOC-9bis Radier drainant Parking Bonnel-Servient	MIOC			Faible <sup>4</sup>	02-juil-09	×		×		×	
MIOC-17	Radier drainant	Radier drainant Parking Atrium P6	MIOC			Forte <sup>3</sup>	02-juil-09	×	×	×		×	
MIOC-18	Radier drainant	Radier drainant Parking Hotel de ville	MIOC			Forte <sup>4</sup>	02-juil-09	×	×	×		×	
MIOC-19	06995X0041	Forage Satolas	MIOC			Forte <sup>5</sup>	03-juil-09	×	×	×		×	
MIOC-20	07237X0116	Maubec	MIOC			Aucune	03-juil-09	×	×	×		×	

Illustration 39 : Type d'analyse réalisé pour chaque point de prélèvements de la campagne d'avril 2009 (BRGM) et de la campagne complémentaire de juillet 2009 (AERMC).

partie où les horizons de la molasse se trouvent sous couverture

partie où les horizons de la molasse se trouvent sous couverture

partie où les horizons de la molasse se trouventsub-affleurants

aeaux de l'aquifère de la molasse intégrant à priori une proportion forte d'eau provenant de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires (d'après les concentrations en Cl, Na et NO<sub>3</sub> mesurées)

d'eaux de l'aquifère de la molasse intégrant à priori une proportion faible d'eau provenant de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires (d'après les concentrations en Cl, Na et NO<sub>3</sub> mesurées)

eaux de l'aquifère de la molasse n'ayant aucune relation avec l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires (partie où la molasse est sub-affleurante)

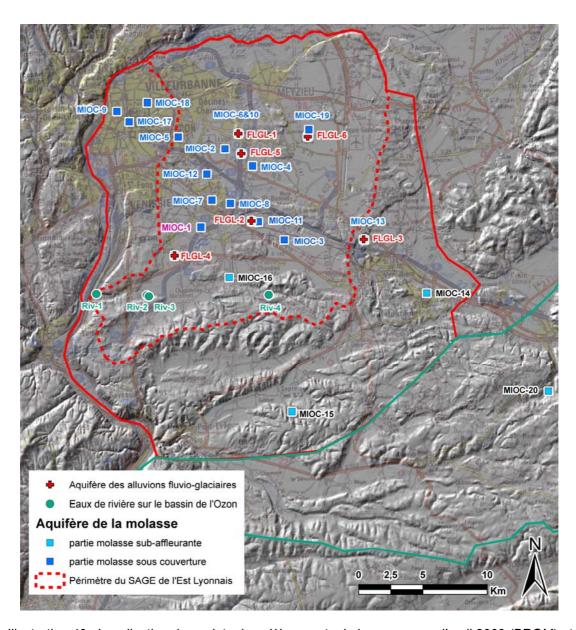


Illustration 40 : Localisation des points de prélèvements de la campagne d'avril 2009 (BRGM) et de la campagne complémentaire de juillet 2009 (AERMC).

#### 4.3.2. Prélèvement et conditionnement des échantillons

Toutes les techniques de prélèvement, d'échantillonnage et de conservation ont été validées au BRGM afin de répondre à trois objectifs, représentativité du milieu, caractérisation des phénomènes et limitation des transformations et font l'objet d'un mode opératoire spécifique qui permet de garantir la non-contamination des échantillons.

Les eaux brutes suivantes sont prélevées :

- 1000 mL pour l'analyse du Tritium,
- 250 mL pour l'analyse des CFC.

Certaines analyses nécessitent au préalable une filtration des échantillons sur un filtre en acétate de cellulose préalablement rincé. Ces échantillons sont conditionnés de la façon suivante dans des bouteilles en polypropylène:

- 100 mL pour l'analyse des anions,
- 100 mL acidifié à pH = 2 avec de l'HNO<sub>3</sub> suprapur pour l'analyse des cations,
- 100 mL acidifié à pH = 2 avec de l'HNO<sub>3</sub> suprapur conditionnés dans une bouteille préalablement lavée avec une solution d'HNO<sub>3</sub> à pH=2, pour l'analyse des teneurs en Rb et Sr et des compositions isotopiques du Sr,
- 100 mL pour l'analyse des isotopes stables (H et O) de la molécule d'eau.

Les échantillons ainsi conditionnés sont ensuite stockés à 4°C dans le noir jusqu'à l'analyse.

Les analyses physico-chimiques sont faites au moment du prélèvement selon les normes NF EN ISO/CEI 17025 et NF EN ISO 9001-2000. Les paramètres mesurés sont les suivants : pH, température, teneur en oxygène dissous, conductivité et potentiel d'oxydo-réduction (Eh). Le pH-mètre est préalablement calibré à l'aide de solutions standards à pH=4, pH=7 et pH=10. Le conductivimètre est étalonné avec une solution standard à 1413  $\mu$ S/cm à 25°C.

# 4.3.3. Méthodes analytiques

Les éléments majeurs et traces de la phase dissoute sont analysés suivant les méthodes détaillées sur l'Illustration 41.

Elément	Mode opératoire	Commentaire	LQ	Précision analytique
HCO3	NF EN ISO 9963-1	Méthode potentiométrique	5 mg/L	5%
CO3	111 211 100 0000 1	Motifode potentioniotinque	o mg/L	0 70
Ca (calcium)			0,5 mg/L	10% (15% pour K)
Mg (magnésium)	NF en ISO 11885	Analyse ICP		
K (potassium)	NE GILISO 11005	Allalyse ICF		
Na (sodium)				
CI (chlorure)		Méthode par chromatographie ionique (DIONEX) selon	0,5 mg/L	
SO4 (sulfates)	NF en ISO 10304	NF EN 1034-1 (juin 1995) pour les eaux faiblement		10%
NO3 (nitrates exprimés en NO3)		contaminées et ISO EN 10304-2 pour les eaux usées.		
Sr (strontium)	MO002	Analyse d'éléments infra-traces par ICP-MS	0,1 μg/L	10%
Rb (rubidium)	IVIOUUZ	Analyse delements infla-traces par for-ivis	υ, ι μg/L	10 /6
Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co,	MO002	ICP-AES ou ICP-MS	0,5 μg/L	10%
Cr, Cu, F, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Zn	IVIOUUZ	101 -ALS 00 10F-WIS	0,5 μg/L	1076

Illustration 41 : Modes opératoires et méthodes d'analyses des éléments majeurs et traces pour les échantillons de la campagne d'avril2009 (BRGM).

Les analyses isotopiques et des gaz dissous (CFC) ne suivent pas de normes ISO, inexistantes pour ces éléments, mais font l'objet d'un contrôle continu (utilisation de standard internes et participation à des exercices de calibration inter-laboratoires) qui permettent de garantir l'obtention de faibles incertitudes (Illustration 42).

Analyses isotopiques et CFC	Méthode	Précision analytique
Rapport <sup>18</sup> O/ <sup>16</sup> O de l'eau	Equilibration avec un CO2 de composition connue	± 0,1 ‰
Rapport <sup>2</sup> H/ <sup>1</sup> H de l'eau	réduction sur zinc	± 0,8 ‰
Teneur en <sup>3</sup> H	Enrichissement électrolytique et comptage par scintillation liquide	± 10 %
Rapport 87Sr/86Sr du strontium total dissous dans l'eau	TIMS	± 0,05 %
CFC-113, CFC-12, CFC-11	Purge and trap et chromatographe en phase gazeuse équipé d'un détecteur à capture d'électron	± 5%

Illustration 42 : Tableau récapitulatif des méthodes d'analyses d'isotopes et de gaz dissous pour les échantillons de la campagne d'avril2009 (BRGM).

Toutes les analyses sont effectuées au laboratoire du BRGM à l'exception des analyses des CFCs par chromatographie gazeuse (Spurenstofflabor, Allemagne).

# 4.3.4. Conditions d'application des méthodes

# a) Les isotopes stables de la molécule d'eau

La composition isotopique en H et O des molécules d'eau des eaux souterraines (proportion relative de l'isotope 1 par rapport à l'isotope 2 de l'hydrogène et de l'isotope 18 par rapport à l'isotope 16 de l'oxygène) dépend de la composition isotopique en H et O des eaux de pluie qui les alimentent, elle-même fonction de la période de recharge, de l'altitude et de la latitude du bassin versant de l'impluvium. En d'autres termes les eaux souterraines alimentées par des eaux de pluies correspondant à des conditions climatologiques différentes des conditions actuelles (notamment sous un climat plus froid) auront une signature isotopique en H et O différente de celle des eaux souterraines alimentées par des eaux de pluie actuelles.

Les estimations existantes du temps de résidence des eaux souterraines de la molasse miocène sous couverture dans l'Est Lyonnais suggèrent que ces eaux souterraines sont probablement vieilles de plusieurs centaines d'années (Evin et al.,1980) tandis que la recharge de la molasse miocène à l'affleurement au sud de l'Est Lyonnais est sub-actuelle. Sous cette condition il est alors envisageable, grâce aux isotopes H et O de la molécule d'eau, de tracer l'origine de l'eau et de fournir des informations permettant de caractériser la zone d'alimentation de l'aquifère miocène.

# b) Datation des eaux : le tritium, les CFC et les isotopes du carbone

Dater les eaux souterraines signifie déterminer l'âge de l'eau souterraine, i.e. le temps écoulé à partir du moment où l'eau devient souterraine, en d'autres termes, depuis son infiltration dans le sol à partir des précipitations ou depuis tout autre type d'eau de surface (rivières, lacs). Il existe plusieurs méthodes pour calculer ou estimer l'âge des eaux souterraines. Ces méthodes sont basées principalement sur l'application de la décroissance radioactive (à titre d'exemple le tritium et isotopes du carbone) et sur l'utilisation de certains gaz produits industriellement au XXème siècle (composés halogénés appelés CFC notamment). Le choix des méthodes de datation retenues se base sur le type d'aquifère, l'état actuel des connaissances et sur la gamme d'âge attendue pour les eaux souterraines (Illustration 43).

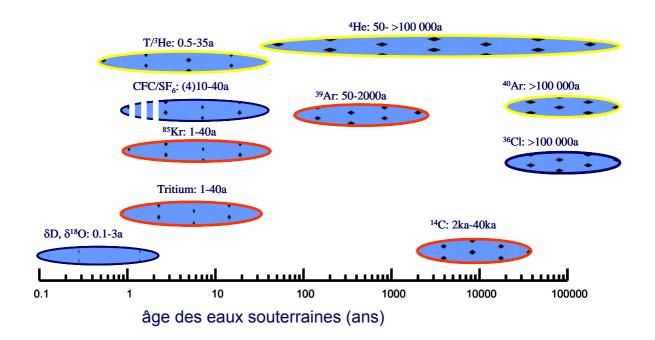


Illustration 43 : Echelle de datation pour quelques éléments radioactifs et gazeux et les isotopes stables de la molécule d'eau.

Dans le cadre de cette étude, la datation des eaux n'a pas pour objectif principal de déterminer un âge absolu des eaux mais de comprendre les échanges entre l'aquifère de la molasse, les alluvions fluvio-glaciaires et les eaux de surface. L'âge attendu pour les eaux souterraines étudiées est d'actuel (moins de 60 ans pour l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires) à plusieurs centaines d'années (eaux de l'aquifère de la molasse; Evin et al., 1980). Ainsi nous nous sommes intéressé aux outils de datations des eaux jeunes, les méthodes utilisant le tritium de l'eau (>1960) et les CFC (>1950) et des eaux plus anciennes, la méthode utilisant la décroissance radioactive des isotopes du carbone (2 000-40 000 ans).

La première méthode retenue est la mesure de la proportion de l'isotope 3 (<sup>3</sup>H) de l'élément hydrogène, encore appelé tritium, de la molécule d'eau. Cette méthode permet d'estimer le temps de transit des eaux dans un aquifère (gamme temporelle de 0 à une soixantaine d'années). C'est un marqueur des masses d'eau contemporaines. En effet, la signature en tritium des eaux souterraines dépend de la signature en tritium des eaux de pluie qui les alimentent. Or au cours des essais thermonucléaires aériens, pendant la période 1952 – 1963, une production artificielle s'est ajoutée à la production naturelle de tritium dans l'atmosphère, donnant une signature particulière aux eaux de pluie de cette époque (Illustration 44). Depuis 1963, les essais thermonucléaires aériens ont cessé, ainsi la mesure en tritium des eaux souterraines permet de différencier les eaux qui résultent des précipitations sans tritium nucléaire (avant 1952), des eaux de précipitations formées dans une atmosphère contenant du tritium nucléaire (après 1952). Ce radio-isotope a été durant ces trente dernières

années le plus utilisé en hydrogéologie notamment pour connaître si les recharges modernes d'aquifères étaient présentes, en comparant les teneurs en tritium des eaux de pluie (fonction d'entrée du système aquifère) et celles des eaux souterraines captées par un forage ou une source (fonction de sortie du système aquifère). Dans notre étude nous nous réfèrerons à la station de mesure du tritium dans les eaux de pluie de Thonon-les-Bains, chronique disponible la plus proche de l'Est Lyonnais (Illustration 44).

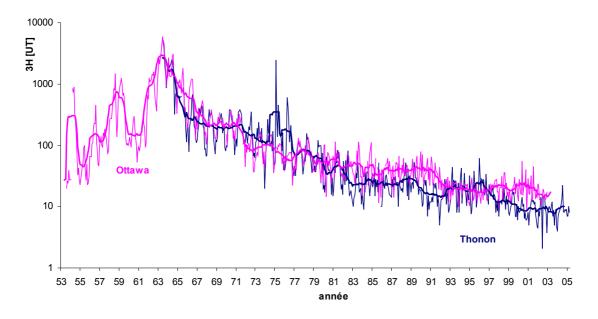


Illustration 44 : Chroniques de teneur en tritium des eaux de pluie à Ottawa au Canada (plus longue chronique existante) et Thonon-les-Bains (plus proche chronique de l'Est Lyonnais).

La deuxième méthode retenue est celle de la datation par les composés halogénés (CFC), communément appelés fréons (IAEA, 2006). Les CFC sont présents à l'état de gaz dissous dans les eaux souterraines et peuvent être utilisés pour évaluer l'âge des eaux. L'émission de ces traceurs gazeux (CFC-11, CFC-12, CFC-113,...) dans l'atmosphère est principalement due à l'utilisation humaine de gaz réfrigérants, propulseurs et solvants. L'intérêt de l'utilisation de ces composés halogénés pour la datation des eaux repose principalement sur leur origine et leurs propriétés physicochimiques :

- temps de résidence atmosphérique élevé,
- homogénéité des concentrations atmosphériques entre les deux hémisphères,
- pas de source naturelle, origine uniquement anthropique,
- bonne stabilité chimique dans le sol et dans l'eau.

En 1987 à Montréal, les principaux pays producteurs de CFC décidèrent d'en stopper la production. En Europe, depuis le 1er octobre 2000, les CFC ne peuvent plus être mis sur le marché et doivent être impérativement récupérés et détruits depuis le 1er janvier 2002. Même si l'utilisation des CFC est maintenant limitée et les concentrations dans l'air stabilisées ou diminuées, le démantèlement des réfrigérateurs, bombes à aérosols, double vitrage,... entraine encore des émissions.

Il existe des chroniques, bien établies, des concentrations de ces gaz dans l'atmosphère en fonction du temps pour plusieurs stations localisées dans les hémisphères nord et sud du globe. La fonction « d'entrée » (gaz atmosphériques dissous dans l'eau de pluie) ainsi caractérisée (Illustration 45), il est possible de comparer les concentrations en gaz dissous dans les eaux souterraines avec les chroniques de concentration des gaz dans l'atmosphère et d'en déduire la proportion d'eau « ancienne » et d'eau « jeune » alimentant l'aquifère. Dans cette étude, nous utiliserons les chroniques d'entrées pour les CFC disponibles pour l'hémisphère nord à Mace Head en Irlande (station de surveillance la plus proche) auprès du Climate Monitoring Diagnostics Laboratory / National Oceanic and Atmospheric Administration (CMDL/NOAA) (Illustration 45).

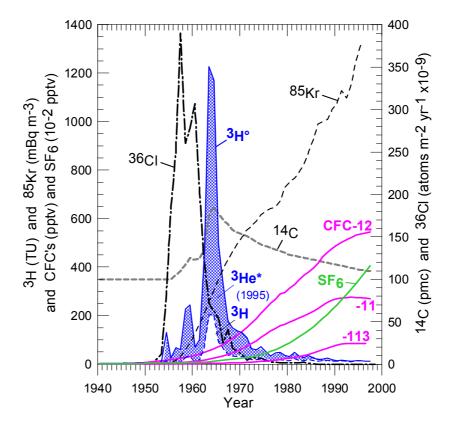


Illustration 45 : Chronique des concentrations dans l'air des CFC et SF6 (données CMDL/NOAA)

La dernière méthode retenue est celle des isotopes du carbone, qui s'appuie sur la décroissance radioactive du carbone 14 dissous dans les eaux. Lors du transfert de l'eau au travers de la zone non saturée, la teneur en carbone 14 dissous dans l'eau, provenant du carbone 14 atmosphérique, se trouve largement influencée par le CO<sub>2</sub> du sol et par la dissolution des carbonates provenant de la matrice. L'influence de la matrice carbonatée continue de jouer sur la teneur isotopique lors du transit de l'eau au niveau de la zone saturée. La modification des teneurs isotopiques en carbone liée aux divers phénomènes d'échanges isotopiques et chimiques avec le sol puis la matrice aquifère peut être corrigée afin de revenir à la composition isotopique en carbone originelle des eaux de pluies lors de leur infiltration. Il est alors possible de dater les eaux de 2 000 à 40 000 ans (Fontes, 1985).

La mesure de l'activité (cas des traceurs radioactifs) ou des concentrations (cas des gaz dissous) ne donne qu'une **information relative** de l'âge d'une eau. L'âge radiométrique d'une eau souterraine est en fait l'âge moyen d'un mélange de nombreux écoulements élémentaires. La datation des eaux souterraines ne peut donc se limiter uniquement à déterminer un âge. C'est toute une répartition des âges qu'il faut déterminer.

## c) Les isotopes du strontium

Le strontium, bien qu'étant un élément présent à l'état de traces dans les eaux souterraines et les eaux de surface, montre des compositions isotopiques <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr (proportion relative de l'isotope 87 par rapport à l'isotope 86 du strontium) particulières suivant le faciès lithologique avec lequel les eaux ont interagi. En d'autres termes l'eau souterraine interagissant avec les horizons aquifères de la molasse miocène est susceptible d'acquérir une composition isotopique en Sr différente de celle de l'eau souterraine interagissant avec les horizons aquifères des alluvions fluvio-glaciaires, ce qui permet le cas échéant de **tracer les interconnections** entre ces 2 niveaux aquifères. De la même manière les eaux de surface du bassin versant de l'Ozon drainent des horizons lithologiques supplémentaires par rapport aux eaux souterraines de l'aquifère de la molasse sur ce secteur. Ainsi ces 2 réservoirs d'eau peuvent avoir des signatures contrastées qui permettent de **tracer les relations nappe/rivière**.

# 4.3.5. Résultats issus de la géochimie élémentaire

#### a) Validité des analyses chimiques réalisées

Dans le cadre de cette étude, les éléments majeurs analysés sont : Ca, Mg, K, Na, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, et les éléments traces sont : Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, F, Fe, Li, Mn, Ni, Pb et Zn. Le TDS (pour Total Dissolved Solids) est la somme des concentrations en mg/L des cations et des anions mesurés en laboratoire. La conductivité électrique, mesurée sur le terrain est fonction de la salinité de l'eau ; il existe donc généralement une relation quasi-linéaire entre la conductivité électrique et le TDS calculé à partir des analyses chimiques de laboratoire. L'Illustration 46a

présente le TDS en fonction de la conductivité électrique. Ces paramètres apparaissent globalement bien corrélés ; aucun problème majeur lors du déroulement des analyses chimiques ou des mesures de conductivité ne semble donc devoir être suspecté. L'Illustration 46b, représentant la somme des anions ( $\Sigma$ -) en fonction de la somme des cations ( $\Sigma$ +) en mEg/L, montre un équilibre entre charges positives et charges négatives mesurées dans les eaux prélevées en avril 2009 excepté pour les points Riv-1 et Riv-2 qui correspondent à des eaux de rivières prélevées sur le bassin de l'Ozon. Pour les eaux prélevées en juillet 2009 (campagne complémentaire AERMC), les points MIOC-17, 19 et 20 montrent un léger d'équilibre entre les charges positives et négatives, probablement imputable à des erreurs analytiques (analyses effectuées par le laboratoire CARSO pour la campagne complémentaire AERMC). Ainsi excepté ces points, les analyses semblent prendre en compte l'essentiel des éléments majeurs présents dans l'eau. Ceci doit cependant être confirmé par l'étude de la balance électrique, qui peut être évaluée à partir de l'indice NICB (pour Normalized Inorganic Charge Balance). Cet indice donne la balance des analyses chimiques selon la formule suivante :

$$NICB = \frac{\sum^{+} - \sum^{-}}{\sum^{+} + \sum^{-}}$$

Le NICB correspond au pourcentage de charges positives excédentaires ou manquantes pour avoir un bilan des charges nul. Une eau ayant toujours un bilan de charges nul à l'équilibre, un excès de cations ou d'anions dénote d'une analyse chimique incomplète ou de mauvaise qualité. On considère que les analyses sont correctes pour un NICB compris entre -5% et +5%. Toutes les analyses présentent un NICB acceptable exceptés, encore une fois, les points Riv-1 et Riv-2 pour la campagne d'avril 2009 et les points MIOC-17, 19 et 20 pour la campagne complémentaire de juillet 2009 (AERMC) (Illustration 46c). Pour les eaux de rivières (points Riv-1 et Riv-2), ce déséquilibre entre les charges positives et négatives est fréquemment observé en raison de la présence d'ions organiques en solution, espèces chimiques non prises en compte dans le calcul de la balance chimique des eaux. En revanche pour les eaux souterraines prélevées aux points MIOC-17, 19 et 20, ce phénomène n'est pas attendu. Dans ce cas, le déséquilibre observé dans la balance chimique des eaux est probablement imputable à des erreurs analytiques.

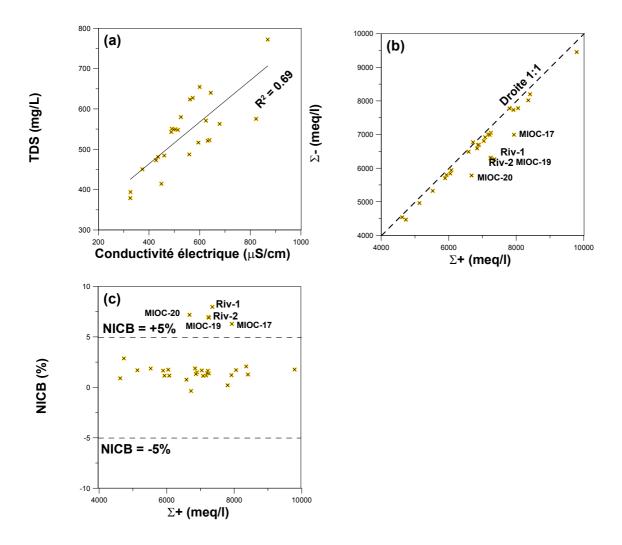


Illustration 46 : TDS vs. conductivité électrique de l'eau (a), somme des anions ( $\Sigma$ -) vs. somme des cations ( $\Sigma$ +) (b), balance ionique (NICB) vs. somme des cations ( $\Sigma$ +).

# b) Diagramme de Piper : faciès chimique des eaux

Le diagramme de Piper (Illustration 47) indique que les eaux souterraines et les eaux de surface prélevées dans cette étude décrivent toutes un faciès bicarbonaté-calcique. Les eaux souterraines de l'aquifère de la molasse prélevées sur l'Est Lyonnais ne présentent pas un faciès chimique significativement différent de celui de l'aquifère de la molasse sur le bassin de Valence (de La Vaissière, 2006) et sur le Bas Dauphiné (Brenot, 2009) ni de celui de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires sur l'Est Lyonnais (Illustration 47). Toutefois, parmi les points échantillonnés dans cette étude, certains présentent des enrichissements relatifs en certains éléments :

- Le point MIOC-1 (Carrière Perrier) présente des enrichissements relatifs en chlorures et en sulfates ;
- Le point MIOC-2 (Eurexpo) présente un enrichissement relatif en Mg;
- Le point MIOC-9 (Parking Bonnel-Servient) présente à la fois un enrichissement en Ca et en Mg;
- Le point MIOC-11 (Piézo molasse) présente des enrichissements en Ca, en Mg, en Na et en K;
- Le point Riv-4 (Ozon à Combe de Corneille) présente un enrichissement relatif en Na.

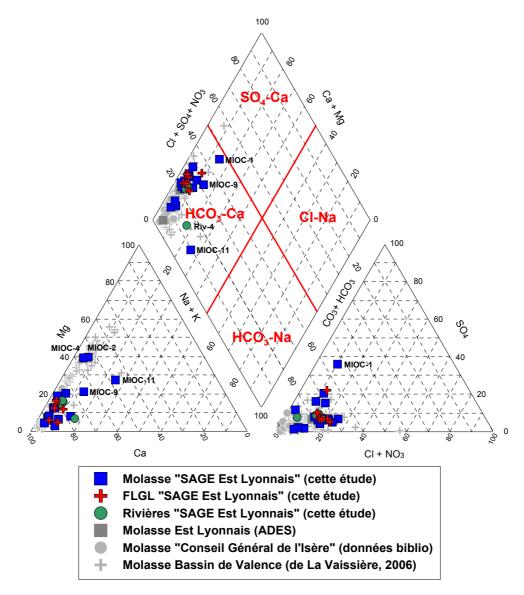


Illustration 47 : Diagramme de Piper pour les eaux souterraines de l'aquifère de la molasse (Molasse), de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires (FLGL) et des eaux de rivières du bassin de l'Ozon (Rivières) prélevées lors de la campagne d'avril 2009 comparées aux données de la littérature disponible pour l'aquifère de la molasse (ADES pour l'Est Lyonnais, thèse de de La Vaissière (2006) pour le bassin de Valence, Brenot, 2009 pour le Conseil général de l'Isère).

## c) Classement des eaux de l'aquifère de la molasse

Au cours de leur parcours, les eaux souterraines acquièrent une composition géochimique fonction de la composition locale des eaux de pluie, des roches avec lesquelles elles interagissent (origine naturelle), des pollutions qu'elles intègrent

(origine anthropique), de ses mélanges potentiels avec d'autres réservoirs d'eau (autres niveaux aquifères, eaux de surface, eaux lacustres), et éventuellement de processus bio-géochimiques. En l'absence de dépôts évaporitiques dans les niveaux lithologiques drainés, les chlorures dissous dans les eaux souterraines proviennent uniquement de l'eau de pluie qui les alimente. Ainsi les chlorures sont souvent utilisés comme élément de référence (Meybeck, 1986, Berner et Berner, 1987). L'Illustration 48a présente sous la forme d'un diagramme binaire les concentrations en chlorures en fonction des concentrations en sodium. Les eaux de pluies présentent un rapport Na/Cl identique à celui de l'eau de mer (résultant de l'intégration par les eaux de pluie d'aérosols marins). Ainsi la « droite de dilution de l'eau de mer », reportée sur l'Illustration 48a, représente la composition des eaux souterraines si tous les éléments dissous provenaient uniquement des eaux de pluie. Tous les échantillons d'eaux souterraines qui divergent de la « droite de dilution de l'eau de mer » intègrent nécessairement des éléments dissous provenant d'autres origines que l'eau de pluie (pollution, altération des roches). Ainsi dans notre cas d'étude, l'enrichissement en chlorures des eaux par rapport à la « droite de dilution de l'eau de mer », observé sur l'Illustration 48a, indique que ces eaux intègrent des chlorures d'origine anthropique (provenant principalement des eaux usées et de la dissolution d'engrais minéraux). Ce résultat, couplé aux concentrations en nitrates mesurées pour ces eaux (Illustration 48b), permet d'identifier les échantillons d'eau intégrant, de manière relative, la plus grande proportion d'éléments dissous (chlorures et nitrates) d'origine anthropique. A partir des concentrations en chlorures, sodium et nitrates mesurées, nous avons classé les échantillons d'eau prélevés dans l'aquifère de la molasse dans les 3 groupes suivants (Illustration 49):

- MIOC Aucune : correspondant aux eaux de l'aquifère de la molasse miocène dans sa partie sub-affleurante, présentant potentiellement aucune relation avec l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires;
- MIOC faible: correspondant aux eaux de l'aquifère de la molasse miocène dans sa partie sous-couverture, intégrant a priori une proportion faible (voir négligeable) d'eau provenant de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires d'après les concentrations en chlorures, sodium et nitrates mesurées (faible proportion d'éléments dissous d'origine anthropique);
- MIOC forte: correspondant aux eaux de l'aquifère de la molasse miocène dans sa partie sous-couverture, intégrant a priori une proportion forte d'eau provenant de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires d'après les concentrations en chlorures, sodium et nitrates mesurées (forte proportion d'éléments dissous d'origine anthropique).

Un symbole particulier est attribué à chaque groupe (Illustration 49) et conservé pour l'ensemble des graphiques présentés par la suite. L'Illustration 50 représente la localisation spatiale de l'ensemble des points de prélèvements en reprenant cette symbologie. On constate qu'aucune systématique claire ne se dégage (par exemple de type amont/aval) pour expliquer que certains ouvrages captent les eaux de l'aquifère de la molasse plus ou moins contaminés par les eaux de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires (répartition spatiale aléatoire).

Par la suite les résultats de l'approche hydrogéochimique seront présentés traceur par traceur puis la synthèse de l'ensemble des résultats obtenus sera réalisée afin de répondre aux différents questionnements sur le fonctionnement de l'aquifère de la molasse.

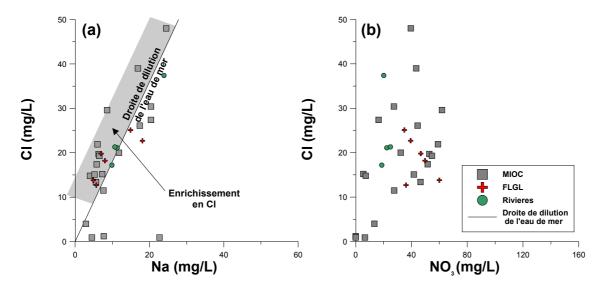


Illustration 48 : CI vs. Na (a), CI vs. NO<sub>3</sub> (b) pour la campagne de prélèvement d'avril 2009 (BRGM) et la campagne complémentaire de juillet 2009 (AERMC).

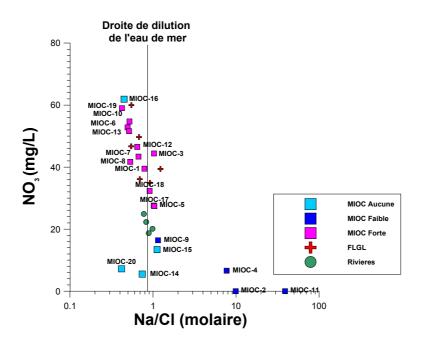


Illustration 49 : NO<sub>3</sub> vs. Na/Cl pour la campagne de prélèvement d'avril 2009 (BRGM) et la campagne complémentaire de juillet 2009 (AERMC).

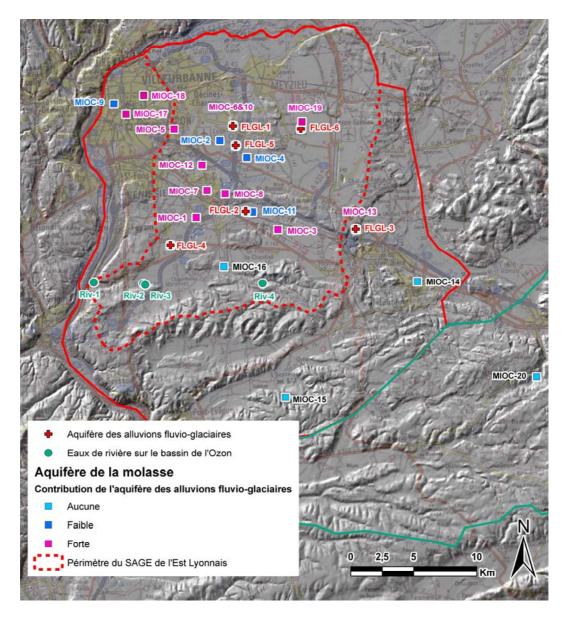


Illustration 50 : Localisation des points de prélèvements de la campagne d'avril 2009 (BRGM) et de la campagne complémentaire de juillet 2009 (AERMC), associée à la contribution supposée de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires à l'alimentation de la molasse.

### d) Relation inter-éléments

Sur le diagramme chlorures versus sodium (Illustration 51a), les échantillons MIOC-11 (Piézo molasse) et MIOC-2 (Eurexpo) présentent un enrichissement en sodium comparativement à la « droite de dilution de l'eau de mer » ce qui suggère que ces eaux intègre du sodium provenant de l'altération des roches (à titre d'exemple

l'interaction des eaux avec des niveaux plus argileux peut aboutir à un enrichissement en sodium).

Sur le diagramme chlorures versus nitrates (Illustration 51b), seuls cinq points de prélèvement dans l'aquifère de la molasse présentent des concentrations inférieures à 15 mg/L à la fois pour les chlorures et les nitrates, il s'agit de MIOC-11 (Piézo molasse), MIOC-2 (Eurexpo), MIOC-4 (Bonduelle), MIOC-14 (Nexans) et MIOC-15 (AEP Septème). Ainsi ces points intègrent, a priori, la plus faible proportion d'éléments dissous d'origine anthropique parmi les points échantillonnés en avril 2009.

Sur le diagramme chlorures versus sulfates (Illustration 51c), les eaux échantillonnées intègrent clairement des sulfates d'origine lithologique en proportion significative par rapport aux sulfates provenant des eaux de pluie (point déviants de la droite de dilution de l'eau de mer). Les points MIOC-11 (Piézo molasse), MIOC-2 (Eurexpo), MIOC-4 (Bonduelle) et MIOC-15 (AEP Septème) présentent les concentrations en sulfates les plus faibles (<15 mg/L). A l'inverse, les points MIOC-1 (Carrière Perrier) et FLGL-1 (Piézo FLGL Piscine Chassieu) présentent les concentrations les plus élevées en sulfates (>80 mg/L).

Sur le diagramme chlorures versus calcium (Illustration 51d), toutes les eaux échantillonnées lors de la campagne d'avril 2009 présentent un enrichissement en calcium par rapport à la composition des eaux de pluie (droite de dilution de l'eau de mer). De plus les concentrations en Ca mesurées sont comprises entre 40 et 180 mg/L et sont associées à des concentrations élevées en HCO<sub>3</sub>- (200 à 450 mg/L). Ces résultats suggèrent un fort contrôle des lithologies carbonatées sur les compositions géochimiques des eaux de rivières et des eaux souterraines sur le territoire de l'Est Lyonnais. Comparativement aux autres points, les points MIOC-11 (Piézo molasse), MIOC-2 (Eurexpo), MIOC-4 (Bonduelle) et MIOC-15 (AEP Septème) présentent les concentrations les moins élevées en Ca (40 à 80 mg/L)

Sur le diagramme chlorures versus magnésium (Illustration 51e), toutes les eaux échantillonnées lors de la campagne d'avril 2009 présentent un enrichissement en magnésium par rapport à la composition des eaux de pluie (droite de dilution de l'eau de mer). Ce résultat implique une origine majoritairement lithologique de cet élément dissous dans les eaux de rivières et les eaux souterraines (les eaux de pluies apportent comparativement très peu de magnésium). Comparativement aux autres points de prélèvement de l'aquifère de la molasse, les points MIOC-11 (Piézo molasse), MIOC-2 (Eurexpo), MIOC-4 (Bonduelle), MIOC-15 (AEP Septème), MIOC-5 (Piscine de Bron), MIOC-9 (Parking Bonnel-Servient et MIOC-14 (Nexans) présentent les concentrations les moins élevées en Mg (10 à 30 mg/L). Pour l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires, ce sont les points FLGL-2 (AEP 4 Chênes), FLGL-3 (AEP Morellon), FLGL-4 (AEP Corbas), FLGL-6 (AEP Azieu) qui présentent les concentrations les plus élevées en Mg (> 10 mg/L). Sur le bassin de Valence, les concentrations élevées en Mg observées pour l'aquifère de la molasse miocène sont attribuées par de La Vaissière (2006) à une évolution géochimique des eaux (induite par des processus de dissolution/recristallisation) traduisant un temps de parcours plus élevé. Cette interprétation possible pour expliquer des concentrations élevées en Mq va être testée par la suite sur l'Est Lyonnais en s'intéressant aux rapports molaires

Ca/Mg et aux calculs des indices de saturation<sup>7</sup> sur les points échantillonnés en avril 2009.

.

 $<sup>^{7}</sup>$  Indice permettant d'évaluer l'état de saturation d'une espèce chimique en solution par rapport à un minéral.

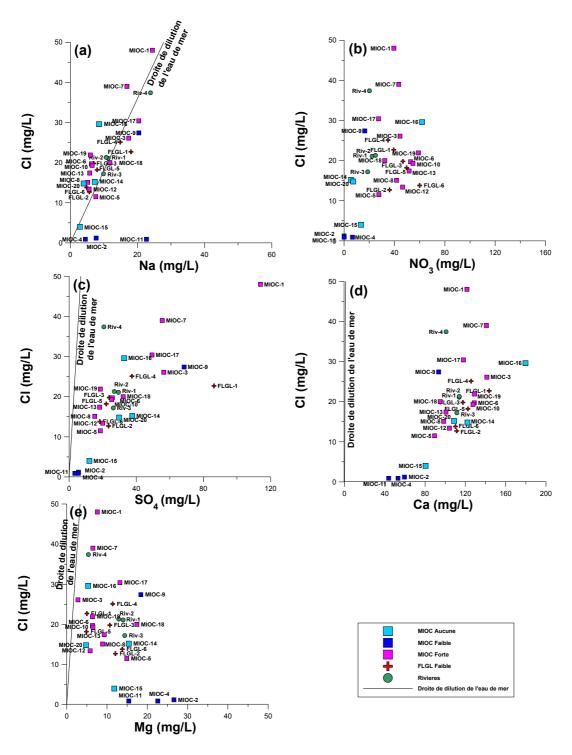


Illustration 51 : Cl vs. Na (a), Cl vs. NO3 (b), Cl vs. SO4 (c), Cl vs. Ca (d), Cl vs. Mg (e) pour la campagne de prélèvement d'avril 2009 (BRGM) et de la campagne complémentaire de juillet 2009 (AERMC).

## e) Rapports élémentaires et indices de saturation

Sur l'Illustration 52, les concentrations en Ca apparaissent corrélées aux concentrations en Mg mesurées. Aux concentrations les plus élevées en Mg (>15 mg/L), observées pour les points MIOC-2 (Eurexpo), MIOC-4 (Bonduelle), MIOC-11 (Piézo molasse), correspondent les concentrations en Ca les plus faibles mesurées (<60 mg/L). De plus, sur l'Illustration 53, représentant le rapport molaire Ca/Mg en fonction de l'indice de saturation (IS) de la calcite (a) et de la dolomite (b) calculé à partir d'une modélisation sur le logiciel PHREEQC8, ces points (MIOC-2, 4 et 11) apparaissent à l'équilibre et sur-saturé vis-à-vis respectivement de la calcite et de la dolomite. En d'autres termes cela signifie que les conditions thermodynamiques sont remplies pour permettre la précipitation des espèces chimiques Ca et Mg pour former de la calcite CaCO<sub>3</sub> et de la dolomite (CaMg)(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> de manière prépondérante par rapport à la magnésite MgCO<sub>3</sub> (Annexe 12). Ainsi la composition géochimique des eaux souterraines et des eaux de surface sur l'Est Lyonnais, acquise initialement par l'altération des roches encaissantes, est susceptible d'évoluer par la suite par le jeu de cycles de re-précipitation/dissolution des espèces minérales (calcite, dolomite et magnésite) privilégiant la mise en solution de Mg et la précipitation du Ca (soustrait ainsi des eaux souterraines et des eaux de rivières). L'hypothèse d'une évolution géochimique des eaux, formulées par de La Vaissière (2006) pour les eaux de l'aquifère de la molasse sur le bassin de Valence, semble donc suffisante pour expliquer des concentrations élevées en Mg observées pour l'Est Lyonnais sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir des variations spatiales de la lithologie de la molasse (plus ou moins riche en minéraux magnésiens, notamment en dolomite) à l'échelle du bassin.

Sur l'Illustration 54a, on observe une corrélation positive claire entre les rapports molaires Sr/Mg et Ca/Mg. Les points MIOC-2 (Eurexpo) et MIOC-4 (Bonduelle), présentent les rapports Sr/Mg et Ca/Mg les plus faibles. A l'inverse, le point MIOC-3 (Véolia) présente les rapports Sr/Mg et Ca/Mg les plus élevés. Si l'on considère les indices de saturation des eaux vis-à-vis de la strontianite SrCO3 (Illustration 54b), les faibles rapports Sr/Mg observés pour les points MIOC-2 et 4 pourraient être interprétés, comme précédemment pour les faibles rapports Ca/Mg, par une évolution géochimique des eaux privilégiant la mise en solution de Mg et la précipitation du Sr sous forme d'espèce minérales riches en Sr (à titre d'exemple la strontianite). Le point MIOC-11 (Piézo molasse) présente en revanche des rapports Sr/Mg et Ca/Mg s'écartant de la tendance générale observée pour les autres points (Illustration 54a) alors que son indice de saturation vis-à-vis de la strontianite est le plus élevé (0,32, Illustration 54b)

\_

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Logiciel de modélisation hydrogéochimique permettant de calculer l'état de saturation d'une espèce chimique en solution par rapport à un minéral.

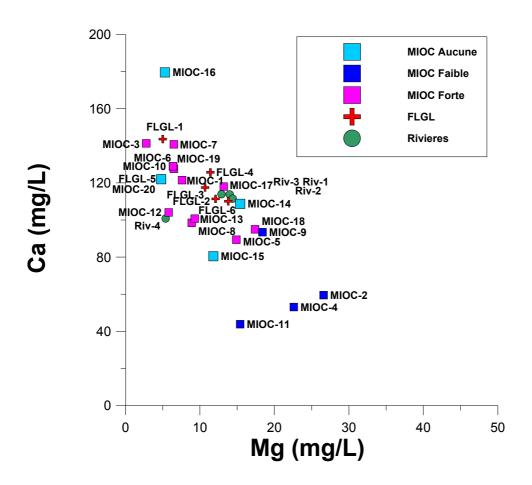


Illustration 52 : Ca vs. Mg pour la campagne de prélèvement d'avril 2009 (BRGM) et de la campagne complémentaire de juillet 2009 (AERMC).

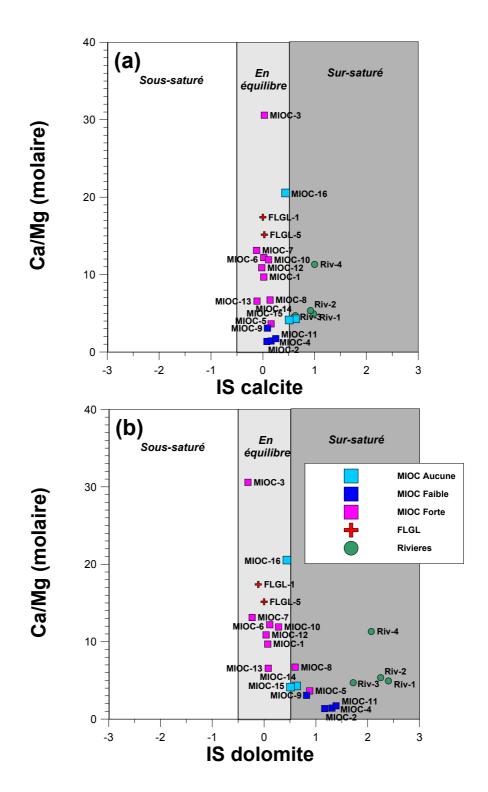


Illustration 53 : Ca/Mg vs. Indice de saturation (IS) de la calcite (a) et de la dolomite (b) calculé pour la campagne de prélèvement d'avril 2009 par modélisation PHREEQC.

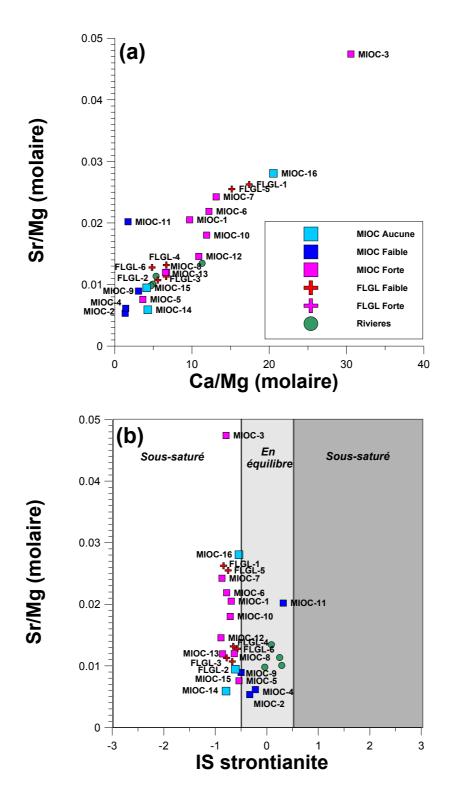


Illustration 54 : Sr/Mg vs. Ca/Mg et Sr/Mg vs. Indice de saturation (IS) de strontianite (b) calculé pour la campagne de prélèvement d'avril 2009 par modélisation PHREEQC.

# f) Campagne d'avril 2009 au sein du suivi du SAGE

L'Illustration 55 permet de replacer les analyses chimiques disponibles pour la campagne d'avril 2009 au sein du suivi « qualité » du SAGE de l'Est Lyonnais et des autres données disponibles dans la littérature (Thèse de de La Vaissière et base « qualité » du Conseil Général de l'Isère (Brenot, 2009)).

Pour l'aquifère de la molasse, seuls trois points sont actuellement suivi dans le cadre du réseau « qualité » du SAGE de l'Est Lyonnais. En incluant à la fois les campagnes du SAGE et la campagne du BRGM d'avril 2009, les variations saisonnières de concentrations en Ca, Mg, Cl, Na, NO<sub>3</sub> et SO<sub>4</sub> sont peu significatives pour les points MIOC-4 (Bonduelle) et MIOC-12 (Mérial). En revanche le point MIOC-11 (Piézo molasse) présente des variations significative de ses concentrations en Na (25 à 45 mg/L), en Ca (10 à 40 mg/L) et en Mg (7 à 15 mg/L). Par rapport à l'ensemble des campagnes du SAGE, les concentrations mesurées pour la campagne d'avril 2009 pour le point MIOC-11 présentent parmi les concentrations les plus faibles en Na et les plus élevées en Ca et Mg (Illustration 55).

Pour l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires, trois points inclus dans le réseau de suivi « qualité » du SAGE de l'Est Lyonnais ont été échantillonnés lors de la campagne d'avril 2009. Les variations saisonnières de concentrations en Ca, Mg, Cl, Na, NO<sub>3</sub> et SO<sub>4</sub> sont peu significatives pour les points FLGL-5 (AEP Chassieu) et FLGL-6 (AEP Azieu). Pour le point FLGL-4 (AEP Corbas), il existe cependant de fortes variations des concentrations en Cl suivant les campagnes de prélèvement (de 25 à 55 mg/L, Illustration 55). La campagne de prélèvement d'avril 2009 présente les concentrations en Cl les plus faibles mesurées (25 mg/L).

En l'absence d'autre explication, les concentrations anormales mesurées pour les campagnes du SAGE de l'Est Lyonnais en septembre 2006 pour les points MIOC-4 et MIOC-12 et en juin 2008 pour le point FLGL-4 sont sans doute liées à un problème d'analyse et doivent donc ainsi être écartées.

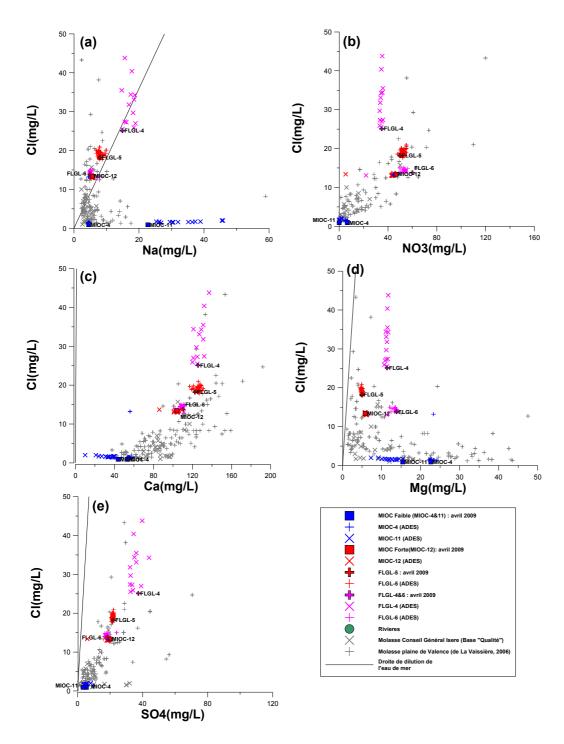


Illustration 55 : Cl vs. Na (a), Cl vs. NO3 (b), Cl vs. Ca (c), Cl vs. Mg (d), Cl vs. SO4 (e) pour les points MIOC-4, 11 et 12, FLGL-4, 5 et 6, comparaison de la campagne de prélèvement d'avril 2009 avec les données bancarisées dans ADES.

# 4.3.6. Résultats issus de la géochimie isotopique et de l'analyse des gaz dissous

# a) Datation et caractérisation des échanges : tritium, isotopes du C et CFC

#### **Tritium**

La teneur en tritium (<sup>3</sup>H), isotope radioactif de l'hydrogène, s'exprime en Unité Tritium (UT), une unité tritium correspondant à 1 atome de <sup>3</sup>H pour 10<sup>18</sup> atomes d'hydrogène. La teneur actuelle des eaux de surface est comprise globalement entre 5 et 10 UT pour la France continentale. Dans le cadre de cette étude seuls 6 points ont fait l'objet d'une analyse en tritium : MIOC-14, 15 et 16 sur la partie de l'Est Lyonnais où la molasse est sub-affleurante et MIOC-1, 2 et 3 sur la partie où la molasse est sous couverture.

Les teneurs en tritium inférieures à 0,8±2 UT, mesurées pour MIOC-2 (Illustration 56) suggère qu'il s'agit d'une eau infiltrée avant les premiers essais atmosphériques (années 1960). Ainsi la faible concentration en nitrates (< seuil de détection) associée à ce point suggère que les eaux souterraines de l'aquifère de la molasse prélevées en MIOC-2 (Eurexpo) intègrent une proportion faible (voire négligeable) d'eau récente. Par voie de conséquence, la contribution d'eau provenant de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires pour alimenter l'aquifère de la molasse est probablement très faible pour le point MIOC-2. La forte concentration en magnésium (27 mg/L) mesurée pour MIOC-2, déjà discutée précédemment, pourrait correspondre alors à une évolution géochimique des eaux traduisant un temps de parcours plus élevé des eaux de l'aquifère de la molasse (temps de résidence long).

Les autres échantillons d'eau (MIOC-1, 3, 14, 15, 16, 9bis, 17, 18, 19 et 20) ont des teneurs en tritium comprises entre 5±2 et 15±2 UT qui indiqueraient une eau plus récente avec un temps de séjour de l'ordre de 5 à 30 ans (Illustration 56). Les concentrations plus faibles en Mg observées par rapport à MIOC-2 semblent suggérer également un temps de résidence plus court des eaux au sein de l'aquifère. Ainsi les points MIOC-1, 3, 14, 15, 16, 9bis, 17, 18, 19 et 20 semblent intégrer une proportion non négligeable d'eau récente, potentiellement provenant de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires pour les points où l'aquifère de la molasse est sous couverture.

Certes le nombre restreint d'échantillons analysés dans cette étude (14 points en tout si on considère la campagne du BRGM et la campagne complémentaire de l'AERMC), confère aux interprétations formulées un caractère très local. Cependant la comparaison de ces résultats avec ceux obtenus par de La Vaissière (2006) pour l'aquifère de la molasse sur la plaine de Valence peut permettre d'élargir un peu ces interprétations. En effet les concentrations en Mg en fonction des teneurs en tritium (Illustration 56b) pour les eaux de l'aquifère de la molasse analysées sur l'Est Lyonnais (excepté MIOC-14, 17 et 18) se répartissent globalement sur la même courbe de tendance que les eaux de l'aquifère de la molasse sur la plaine de Valence. Les données acquises sur la plaine de Valence (de La Vaissière, 2006) montrent que les concentrations en Mg ne dépassent pas 10 mg/L pour des activités tritium

supérieures à 5 UT. En revanche pour des activités tritium inférieures à 5 UT, une nette augmentation des concentrations en Mg s'observe jusqu'à atteindre 50 mg/L. De La Vaissière (2006) relie cette augmentation des concentrations en Mg associée à la baisse des activités tritium, à l'augmentation du temps de séjour de l'eau dans l'aquifère de la molasse et l'évolution géochimique de l'eau.

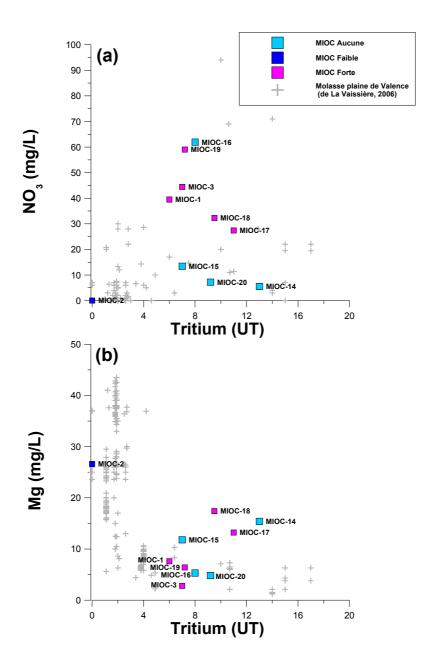


Illustration 56 :  $NO_3$  vs. Tritium (a), Mg vs. Tritium (b) pour les points MIOC-1, 2, 3, 14, 15, 16, 17, 18, 19 et 20.

## Isotopes du carbone

A partir de la mesure des teneurs en isotope 13 du carbone (13C) et en isotopes 14 du carbone (14C), encore appelé radiocarbone, différents modèles de correction des âges sont proposés dans la littérature afin de remonter à l'âge des eaux de pluie qui ont alimentées la nappe. Ces modèles tiennent compte des multiples perturbations que peut subir l'eau durant son trajet entre le sol et son point de prélèvement (interaction avec le CO<sub>2</sub> du sol, le C des carbonates constituant la matrice aquifère, ...).

Dans la littérature on retient généralement les six modèles suivants (modèles basés sur deux approches différentes dans la dilution de l'activité initiale en radiocarbone à partir de la fermeture du système) :

- le modèle de Tamers (1967);
- le modèle de Ingerson et Pearson (1964) ou appelé "modèle Pearson";
- les modèles de Fontes et Garnier (1979) "modèle F&G" et "modèle F&G eq.";
- le modèle de Salem et al. (1980) ou appelé "modèle AIEA";
- le modèle de Evans et al. (1979);
- le modèle de Eichinger (1983).

Les valeurs retenues pour caractériser la signature des pôles de mélange (CO<sub>2</sub> du sol et de la matrice carbonatée), intervenants dans le calcul des âges apparents à partir des isotopes du carbone, sont celles choisies dans la thèse de de La Vaissière (2006) pour l'aquifère de la molasse sur le bassin de Valence. A savoir, une valeur de δ<sup>13</sup>C égale à -21,5 % et -3,6 % respectivement pour le CO2 du sol et de la matrice carbonatée; une valeur de A<sup>14</sup>C (pour activité <sup>14</sup>C) égale à 100 et 0 pcm<sup>9</sup> respectivement pour le CO<sub>2</sub> du sol et de la matrice carbonatée. Sur l'Illustration 54 sont reportés les âges apparents calculés à partir des différents modèles de correction d'âge précédemment énoncés. Nous ne rentrerons pas dans le détail de ces modèles mais une critique exhaustive de leurs avantages et limites d'application peut être consultée notamment dans Fontes (1985, 1992), et Clark et Fritz (1997).

			Age brut	Age	Age	Age	Age	Age	Age	Age
N°	Indice	Désignation		Tamers <sup>1</sup>	Pearson <sup>2</sup>	F. & G. <sup>3</sup>	F. &G. eq <sup>3</sup>	AIEA⁴	Evans⁵	Eichinger <sup>6</sup>
MIOC-1bis	07223L0004	Carriere Perrier	1094	-4150	-3860	-3574	1509	1967	-4021	-4541
MIOC-2bis	06988C0335	Eurexpo	6067	556	-1970	-2062	3378	3595	-2402	-1426
MIOC-3bis	07224D0167	Veolia	-164	-4331	-3778	-3248	443	2055	-3885	-4574
MIOC-9bis	Radier drainant	Parking Bonnel-Servient	2214	-2209	-4464	-4549	-819	1035	-4809	-4047
MIOC-17	Radier drainant	Parking Atrium P6	1218	-3016	-3439	-3454	366	2040	-3651	-3628
MIOC-18	Radier drainant	Parking Hotel de ville	1917	-2640	-4607	-4672	-586	1025	-4900	-4338
MIOC-19	06995X0041	Forage Satolas	295	-3917	-4552	-4564	-425	1445	-4677	-4917
MIOC-20	07237X0116	Maubec	-885	-5133	-5542	-5551	-1356	399	-5671	-5971

n.a.: modèle non appliquable âge actuel

Tamers (1967)

<sup>2</sup> Ingerson et Pearson (1964)

<sup>4</sup> Salem et al. (1980)

<sup>5</sup> Evans et al. (1979)

<sup>6</sup> Eichinger (1983) <sup>3</sup> Fontes et Garnier (1979)

Illustration 57 : Résumé des âges apparents calculés à partir des isotopes du carbone et modèles de correction d'âge associés.

BRGM/RP-57474-FR – Rapport final

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Pourcentage de carbone moderne

Les résultats obtenus varient suivant les grandes familles de modèles considérées :

- Une première grande famille de modèles se base sur la dilution chimique (modèle Tamers) ou isotopique (modèle Pearson) entre les deux pôles sources de CO<sub>2</sub> que constituent le sol et la matrice carbonatée de l'aquifère. Pour ces modèles, l'âge apparents des eaux est actuel excepté pour l'âge apparent calculé à partir du modèle de Tamers pour le point MIOC-2bis (Eurexpo) (Illustration 54);
- Une deuxième grande famille de modèles se base sur le phénomène d'échanges isotopiques avec ou sans fractionnements isotopiques entre le carbone minéral total dissous dans les eaux de pluies s'infiltrant et le CO<sub>2</sub> du sol et de la matrice carbonatée (modèles AIEA, F&G, F&G eq. et Evans et Eichinger). Pour les modèles de F&G, de Evans et de Eichinger, l'âge des eaux calculé est actuel alors que les modèles AIEA et F&G donnent des âges apparents des eaux allant jusqu'au millier d'année.

De fortes disparités sont donc observées suivant les modèles. Les modèles de la première grande famille donnent des âges très jeunes pour l'ensemble des échantillons. A l'inverse les modèles de la deuxième grande famille donnent des âges très élevés proches du calcul de l'âge brut. En reprenant les travaux de de la Vaissière (2006) sur l'aquifère de molasse, il s'avère que les modèles de la deuxième grande famille apparaissent peu applicables. En effet l'évolution géochimique des eaux (processus de dissolution/reprécipitation), mise en évidence pour les eaux de l'aquifère de la molasse sur le bassin de Valence et l'Est Lyonnais, implique que l'utilisation des modèles de correction basés sur les phénomènes d'échanges isotopiques est peu fiable. Dans le détail, sur un diagramme représentant A<sup>14</sup>C vs. δ<sup>13</sup>C (Illustration 58), les eaux de la molasse sur l'Est Lyonnais suivent, comme les eaux de l'aquifère de la molasse sur le bassin de Valence, une relation quasi-linéaire. Cette relation traduit les fortes interactions géochimiques et isotopiques entre l'eau et la matrice carbonatée qui masquent la décroissance radioactive des isotopes du Carbone 14. Afin de corriger ces effets, de la Vaissière (2006) a mis en place un facteur de correction tenant compte de la dissolution de dolomite pour le modèle de Tamers. Cette correction aboutit à des âges apparents encore plus jeunes.

Ainsi toutes les eaux de l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais sont actuelles excepté pour le point MIOC-2bis (Eurexpo) qui correspond à des eaux plus anciennes. Pour ce point, bien que l'âge apparent donné par le modèle de Tamers (556 ans) suggère que nous sommes aux limites de la méthode de datation, cet âge pourrait correspondre à l'âge moyen d'un mélange de plusieurs écoulements souterrains d'âges plus ou moins anciens.

Les valeurs de  $A^{14}C$  et  $\delta^{13}C$  mesurées par Evin et al. (1980) sur l'aquifère de la molasse sont compatibles avec celles mesurées dans cette étude. Cependant pour les travaux de Evin et al. (1980), seuls trois points captant l'aquifère de la molasse avaient été analysés pour le  $A^{14}C$  (valeurs inférieure à 72 pcm) et seul un point (MIOC-1, Carrière Perrier) pour le  $\delta^{13}C$  (-12,2%). Ainsi aucune datation n'avait pu être proposée à l'époque pour les eaux de l'aquifère de la molasse.

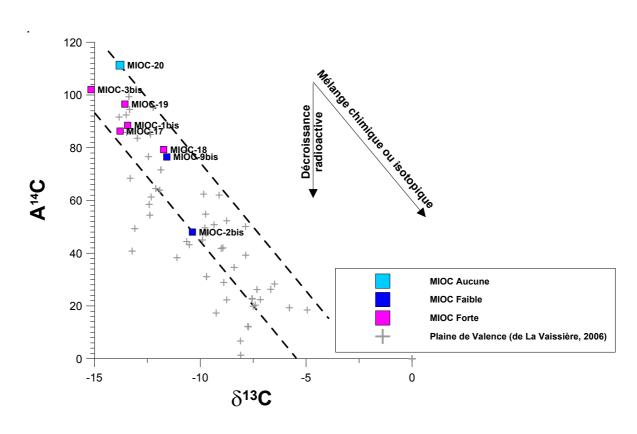


Illustration 58 : Relation entre  $A^{14}C$  (pcm) et  $\delta^{13}C$  (‰ vs PDB) pour les eaux de l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais et sur le bassin de Valence (de La Vaissière, 2006).

# **CFC**

Pour pouvoir interpréter les valeurs de concentrations en CFC mesurées, un certain nombre de précautions et de corrections doivent être prises en compte. En effet plusieurs facteurs peuvent affecter la détermination des âges « apparents » de l'eau à partir des données de concentrations en CFC (IAEA, 2006; Plummer et Busenberg, 2000). Le plus commun est une contamination par l'air ambiant lors de l'échantillonnage. Toutes les précautions ont été prises pour éviter ce problème mais les conditions de terrain ne permettent pas toujours de se protéger de ce risque. Le deuxième problème fréquent est celui de la contamination locale de l'atmosphère par un ou plusieurs gaz du fait notamment de la proximité des sites de rejets des eaux usées ou de décharges ou anciennement d'industries (Schultz et al., 1976). De plus, la température de la recharge qui correspond à la température d'équilibre air-air au moment où l'échantillon d'eau est isolé de l'atmosphère est importante dans le calcul des âges CFC (la température retenue est celle mesurée au point de prélèvement. Dans notre cas d'étude, la variation de température moyenne attendue pour les eaux souterraines de l'aquifère de la molasse est de l'ordre de 4°C. L'incertitude sur

l'estimation de l'âge due à une erreur dans l'estimation de la température moyenne de recharge est ainsi approximativement de trois ans maximum.

Divers modèles empiriques ont été utilisés pour estimer les temps de séjour moyens des eaux dans l'aquifère de la molasse et déterminer les mélanges existants :

- Le modèle piston, PFM (considérant qu'il n'y a pas de mélange et aucune modification des activités par dispersion, diffusion où échange direct, Maloszewski et Zuber, 1982);
- Le modèle exponentiel, EM (mélange parfait entre une eau récente et une eau plus ancienne puis écoulement), ce modèle correspond à un aquifère homogène d'épaisseur négligeable pour lequel la recharge se fait sur toute la surface (Etcheverry, 2002);
- Le modèle de type mélange binaire (BM), attendu lorsqu'il y a recharge d'un aquifère par un autre aquifère.

Dans notre cas d'étude, compte tenu des connaissances existantes sur le fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère de la molasse, seuls le modèle piston (PFM) et le modèle binaire (BM) ont été retenus. Ces deux modèles ont été systématiquement testés pour les eaux de l'aquifère de la molasse collectées sur l'Est Lyonnais. L'utilisation de plusieurs traceurs (CFC11, CFC12 et CC113) permet en général de sélectionner le modèle de circulation le mieux adapté pour expliquer les concentrations en CFC mesurées pour chaque point. L'âge des eaux obtenu avec les méthodes de datation type CFC et/ou tritium est en fait l'âge moyen d'un mélange de nombreux écoulements élémentaires. On parle donc d'âge apparent pour éviter toute confusion.

Dans l'Illustration 59 ont été reportés les âges moyens de la recharge calculés à partir du modèle piston (PFM) et les % d'eau jeune (eau plus récente que les années 1990 d'après les résultats des modèles) dans le cas du modèle de mélange binaire (BM). L'eau ancienne étant l'eau n'ayant pas de CFC (antérieure à 1950). Les modèles les plus favorables déterminés à partir des 3 traceurs ont été indiqués en gras. Seules les eaux des points MIOC-14 (Nexans) et MIOC-16 (Chez M. Danon) n'ont pu être datées en raison d'indices de contamination pour ces point qui traduisent probablement leur localisation dans une zone de recharge de l'aquifère (partie de l'Est Lyonnais où la molasse est sub-affleurante).

Les points MIOC-2 (Eurexpo) et MIOC-15 (AEP Septème) présentent les pourcentages d'eau jeune les plus faibles (Illustration 59). D'après l'interprétation de ses concentrations en CFC, les points MIOC-1 (Carrière Perrier) et MIOC-3 (Véolia) présenteraient, d'après le modèle piston (PFM), des âges apparents respectifs de 1985 et 2001 soit une recharge relativement récente des eaux de l'aquifère de la molasse pour ces points.

Certes seuls 6 points ont été analysés pour leurs concentrations en CFC, cependant les résultats obtenus confirment les interprétations formulées précédemment à partir

d'autre traceurs (Ca/Mg, tritium, isotopes du carbone). En effet sur l'*Illustration 60*, les corrélations observées confirment bien que les points MIOC-2 et MIOC-15, présentant comparativement aux autres points analysés des rapports Ca/Mg faibles et soit un âge apparent plus vieux soit un pourcentage d'eau jeune plus faible, correspondent a priori à des eaux ayant un temps de transit plus long au sein de l'aquifère. A l'inverse les points MIOC-1, MIOC-3, MIOC-14 et MIOC-16 ont un temps de transit supposé bref, ne permettant pas l'évolution géochimique des eaux de l'aquifère de la molasse (rapport Ca/Mg élevé).

				PFM	BM
N°	Indice	Désignation	Traceurs utilisés	Age	% eau jeune
MIOC-1	07223L0004	Carrière Perrier	CFC-113	1985	d.i.
MIOC-2	06988C0335	Eurexpo	CFC-11, (CFC-12), CFC-113	1950	0,01
MIOC-3	07224D0167	Véolia	CFC-12	2001	d.i.
MIOC-14	07236X0020	Nexans	CFC-11, CFC-12	d.i.	d.i.
MIOC-15	07228X0027	AEP Septème	CFC-11, CFC-12, CFC-113	d.i.	10
MIOC-16	07224X0066	Chez M. Danon		d.i.	d.i.

d.i. : datation impossible

Illustration 59 : Résumé des âges apparents calculés à partir des CFC et des modèles et traceurs utilisés (en gras le résultat le plus favorable).

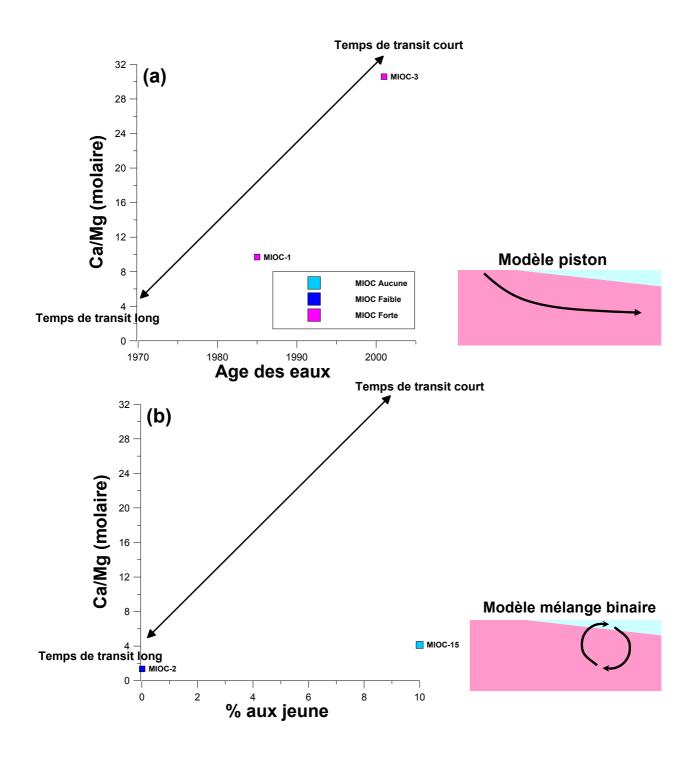


Illustration 60 : Ca/Mg vs. âge des eaux apparent (a) et le pourcentage d'eau jeune (b) calculés à partir des modèles d'interprétation des concentrations en CFC respectivement piston (PFM) et mélange binaire (BM).

# b) Caractérisation des apports d'eau : isotopes de la molécule d'eau ( $\delta^{18}$ O et $\delta^2$ H)

Il est classiquement établi que les compositions isotopiques en hydrogène et en oxygène des eaux météoriques sont corrélées suivant la relation :  $\delta D=8\delta^{18}O+10$  (Craig, 1961), appelée droite météorique mondiale (Illustration 61) et cela quelque soit la localisation géographique sur la planète. Dans le détail, il existe des variations locales de l'équation de cette droite :

- Pour le bassin de Valence, de La Vaissière (2006) a documenté une droite météorique locale d'équation  $\delta^2H=7,18\delta^{18}O+3,84$  (Illustration 61);
- Pour le versant ardéchois du Massif Central, Fouillac et al. (1991) a documenté une droite météorique locale d'équation  $\delta^2 H=8\delta^{18}O+13,1$  (Illustration 61) ;
- Pour Thonon-les-Bains, la droite météorique locale présente l'équation suivante :  $\delta^2$ H=7,53 $\delta^{18}$ O +5,2 (Illustration 61).

Par la suite, nous considèrerons la droite météorique définie pour le bassin de Valence comme la plus représentative de l'Est Lyonnais. En effet les droites météoriques définies pour le Massif Central et pour Thonon-les-Bains correspondent à des zones de recharge à relativement plus haute altitude, or les isotopes stables de la molécule d'eau varient en fonction de l'altitude. Sur le diagramme représentant  $\delta^2H$  versus  $\delta^{18}O$  (Illustration 61), toutes les eaux échantillonnées par le BRGM en avril 2009 se répartissent globalement sur la droite météorique définie pour le bassin de Valence. Ce qui traduit l'absence d'évaporation significative des eaux de surface et des eaux souterraines échantillonnées.

Les valeurs mesurées sur l'Est Lyonnais pour des eaux de surface et des eaux souterraines s'échelonnent de -55 à -65‰ pour  $\delta^2H$  et de -8,0 à 9,4‰ pour  $\delta^{18}O$ , inclus dans la variabilité mesurée pour l'aquifère de la molasse sur le bassin de Valence (de La Vaissière, 2006).

Les points MIOC-2, MIOC-4 et MIOC-11 ont été précédemment identifiés, à partir de différents traceurs (rapport Ca/Mg, Sr/Mg, tritium et CFC pour MIOC-2) comme correspondant à des eaux souterraines ayant un temps de parcours relativement long au sein de l'aquifère de la molasse. Ainsi sur l'Illustration 61a nous considérerons par la suite que ces trois points permettent de définir un pôle « eau vieille » pour l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais. Si l'on considère que les eaux de rivières prélevées en tête du bassin de l'Ozon intègrent quasi exclusivement de l'eau provenant de la pluie (peu de connexion avec la nappe), le point Riv-4 (Ozon à Combe de Corneille, Illustration 40) permet de définir un pôle « eau jeune » (fonction d'entrée du système) pour l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais (Illustration 61a).

Sur l'Illustration 61a, le point MIOC-9 (Radier drainant du parking Bonnel-Servient) présente la signature isotopique la plus basse ( $\delta^2H$ = -65‰;  $\delta^{18}O$ =-9,4‰) mesurée pour la campagne d'avril 2009. Ces valeurs mesurées et la localisation du point MIOC-9 à proximité du lit du Rhône suggère que l'aquifère de la molasse intègre en ce point

des eaux de recharge en altitude provenant de l'aquifère des alluvions du Rhône. En effet la composition isotopique attendue pour l'aquifère des alluvions du Rhône est probablement proche de celle du Rhône (Rhône à Loyettes (01) en amont de l'Est Lyonnais :  $\delta^2$ H= -78,3‰ ;  $\delta^{18}$ O=-11,1‰ ; Gourcy et al., 2008) et donc significativement inférieure à celle de l'aquifère de la molasse.

Les points MIOC-1 -5 -6 -7 -8 -10 -12 et 13 ont été précédemment identifiés, à partir de différents traceurs (rapport Ca/Mg, Sr/Mg, tritium et CFC pour MIOC-1), comme correspondant à des eaux souterraines ayant un temps de parcours relativement court au sein de l'aquifère de la molasse. On constate que ces points se répartissent sur l'Illustration 61b en position intermédiaire entre les pôles « eau jeune » et « eau vieille » définis précédemment. De plus la gamme de valeur décrite par ces points (-55 à -59‰ pour  $\delta^2 H$  et de -8,0 à 8,7‰ pour  $\delta^{18} O$ ) se superpose avec celle observée pour l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires (-56 à -63‰ pour  $\delta^2 H$  et de -8,1 à 9,1‰ pour  $\delta^{18} O$ ). Ainsi les valeurs observées pour les isotopes de l'H et de l'O pour ces points sont compatibles avec (1) une origine récente de ces eaux et/ou (2) l'existence d'une communication forte entre l'aquifère de la molasse et l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires. L'interprétation précédente n'est valable que si l'on exclut du raisonnement les points MIOC-3 et FLGL-1 (Illustration 61b).

Les signatures isotopiques mesurées pour les points MIOC-3 (Véolia) et FLGL-1 (Piézo FLGL Piscine Chassieu) sont significativement inférieures au pôle « eau vieille » définit précédemment, sans qu'il ne soit possible, comme c'est le cas pour MIOC-9 (Illustration 61a), d'attribuer cette déviation à une contribution d'eau d'un autre réservoir (aquifère des alluvions du Rhône). En l'état actuel des connaissances nous ne disposons pas d'autres éléments pour expliquer les valeurs mesurées.

Les points situés sur la partie de la zone d'étude où la molasse est sub-affleurante se répartissent en deux groupes (Illustration 61c) :

- Le point MIOC-15 (AEP Septème) correspond au pôle « eau vieille » ce qui est en accord avec un temps de résidence relativement long suggéré à la fois par les rapports Ca/Mg et Sr/Mg et les valeurs de CFC mesurées et discutées précédemment;
- Les points MIOC-14 (Nexans) et MIOC-16 (Chez M. Danon) ont des signatures isotopiques intermédiaires entre le pôle « eau jeune » et « eau vieille » ce qui est compatible avec un temps de transit relativement court (mis en évidence à partir des rapports Ca/Mg, Sr/Mg et des valeurs de CFC) et une contribution significative d'éléments d'origine anthropiques (NO<sub>3</sub> et Cl) pour MIOC-16.

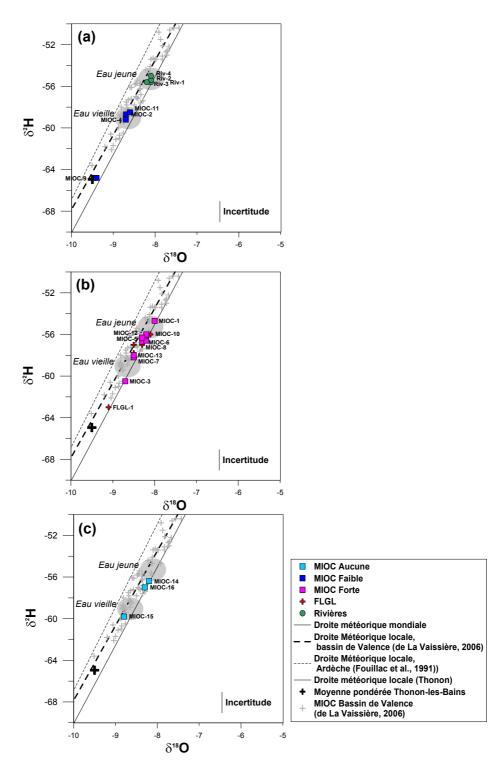


Illustration 61 :  $\delta^2 H$  vs.  $\delta^{18} O$  pour MIOC faible et les rivières (a), pour MIOC fort et FLGL (b) et pour MIOC aucune (c).

Remarque: D'autres données concernant la composition en isotopes stables de la molécule d'eau des eaux de l'aquifère de la molasse ont été acquises par l'AERMC (campagne de prélèvement de juillet 2009). Cependant ces données n'ont pu être exploitées en raison d'une forte incertitude concernant les conditions de prélèvement. En effet les données acquises par l'AERMC se répartissent sur une droite de pente inférieure à la droite météorique définie localement. Cette répartition traduit une évaporation des eaux de l'aquifère de la molasse. Dans le cas des prélèvements sur radiers drainant (MIOC-17, Atrium; MIOC-18, Hôtel de Ville), l'évaporation des eaux de l'aquifère de la molasse pourrait être attribuée au type d'ouvrage prélevé (T°C élevée, surface de contact élevée avec l'atmosphère ...). Par contre l'évaporation des eaux observée pour l'aquifère de la molasse aux points MIOC-1bis, 2bis et 3bis MIOC-19 (forage de N°BSS: 06995X0041/SATOLA à Satolas) est surprenante, l'hypothèse d'un renouvellement probablement insuffisant de l'eau des ouvrages et/ou d'un problème lors du conditionnement des échantillons doit être vraisemblablement envisagée.

# c) Caractérisation des apports d'éléments dissous : concentrations et isotopes du strontium

Les isotopes du strontium permettent de caractériser l'origine des éléments dissous. Sur l'Est Lyonnais, les eaux souterraines et les eaux de surface échantillonnées en avril 2009 présentent des compositions isotopiques en strontium significativement contrastées (87Sr/86Sr = 0,70823 à 0,70904) témoignant de disparités dans l'origine des éléments dissous. Sur un diagramme classique représentant 87Sr/86Sr en fonction du rapport 1/Sr, il n'existe pas de relation simple entre les points. Ce résultat suggère qu'il existe au moins 3 sources de strontium à l'échelle de l'Est Lyonnais. De plus, il faut noter que trois points de prélèvement MIOC-1 (Carrière Perrier), MIOC-3 (Véolia), et MIOC-11 (Piézo molasse) présentent des signatures isotopiques en strontium significativement inférieures à celle de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires. Or pour MIOC-1 et 3, la contribution attendue de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires est supposée forte. Ce résultat suggère ainsi que la variabilité de composition isotopique en strontium observée pour l'aquifère de la molasse (87Sr/86Sr = 0,70823 à 0,70901) n'est pas uniquement contrôlée par les relations entre l'aquifère de la molasse et l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires, d'autres processus rentrent en jeu.

Si l'on représente <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr en fonction du rapport Mg/Sr, une tendance est observée entre les eaux souterraines. Nous avons vu précédemment que le rapport Mg/Sr (ou Sr/Mg) est un traceur du temps de résidence des eaux de l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais (plus le rapport Mg/Sr est élevé plus le temps de résidence des eaux est long). Ainsi il est possible de définir au minimum deux pôles sources d'éléments dissous :

 Un pôle « litho molasse long » correspondant à la signature isotopique en strontium des eaux ayant un temps de transit long (rapport Mg/Sr élevé) dans l'aquifère de la molasse. D'après l'Illustration 62b, ce pôle présente une composition proche de celle du point MIOC-2 (Eurexpo), ce qui est compatible avec une origine des eaux ancienne mise en évidence pour ce point à la fois par le rapport Ca/Mg, les analyses de tritium, de CFC et des isotopes stables de la molécule d'eau.

• Un pôle « litho molasse court » correspondant à la signature isotopique en strontium des eaux ayant un temps de transit court (rapport Mg/Sr faible) dans l'aquifère de la molasse. D'après l'Illustration 62b, ce pôle présente une composition proche de celle du point MIOC-3 (Véolia). Or le rapport Ca/Mg, les analyses de tritium, de CFC du point MIOC-3 ont précédemment mis en évidence un temps de transit relativement court des eaux de l'aquifère de la molasse en ce point.

Sur l'Est Lyonnais, les isotopes du strontium tracent, a priori, uniquement des différences de faciès lithologiques drainés. Ainsi la variabilité de signature isotopique en strontium de l'aquifère de la molasse semble contrôlée par un processus dépendant d'un temps de résidence variable des eaux au sein de l'aquifère qui impliquerait une mise en solution d'éléments dissous différentielle (provenant de différents faciès lithologiques).

Les eaux de rivières prélevées sur la bassin versant de l'Ozon présentent des signatures isotopiques en strontium contrastées (87 Sr/86 Sr = 0,70871 à 0,70901) qui suggèrent que la source de strontium dissous varie de manière significative sur ce bassin entre l'amont et l'aval. Par ailleurs, sur l'Illustration 62b, ces eaux de rivières dévient de manière significative de la droite de tendance décrite précédemment pour les eaux souterraines. Ce résultat implique que les eaux de rivière intègrent une source de strontium supplémentaire par rapport aux eaux souterraines de l'Est Lyonnais et témoigne des fortes potentialités des isotopes du strontium à améliorer la connaissance sur l'alimentation des eaux de surface du bassin de l'Ozon.

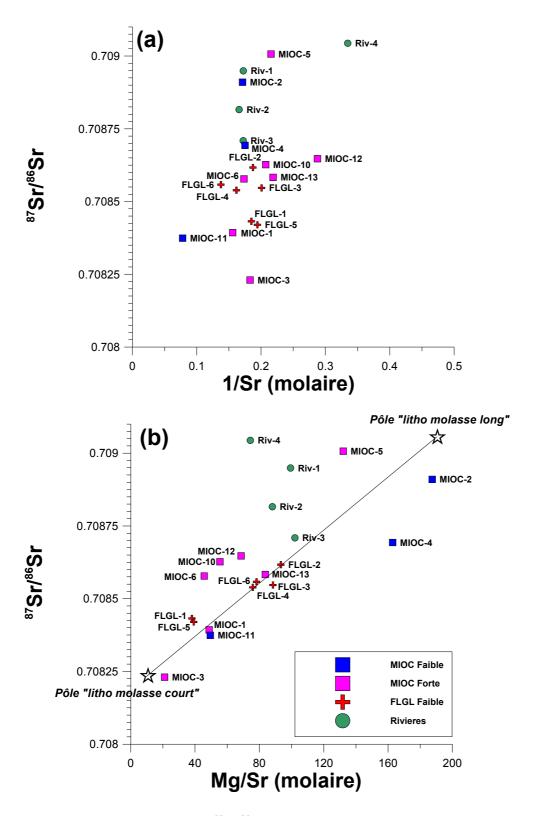


Illustration 62: 87 Sr/86 Sr vs. 1/Sr (a) et Mg/Sr (b).

#### 4.3.7. Synthèse des résultats

# a) Stratification des eaux et interconnections entre l'aquifère de la molasse et l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires

A partir du modèle géologique 3D constitué sur l'Est Lyonnais, la proportion p d'aquifère captée par rapport à l'épaisseur du réservoir molassique (Illustration 6) a été calculée pour chaque point de l'aquifère de la molasse échantillonné en avril 2009 (Annexe 12). En l'absence de connaissance des caractéristiques techniques du forage MIOC-16 (Chez M. Danon) et compte tenu du type particulier d'ouvrage que constitue le point MIOC-9 (radier drainant du parking Bonnel-Servient), la valeur arbitraire p=0 a été attribuée à ces points.

L'Illustration 63 met en évidence clairement l'existence d'une stratification des eaux de l'aquifère de la molasse à partir de la composition isotopique en strontium, identifiée précédemment comme traçant la contribution d'au moins deux faciès lithologiques au sein de l'aquifère de la molasse. Ce résultat implique qu'en fonction de la proportion de l'aquifère captée par un ouvrage, les eaux souterraines échantillonnées intègrent un ou plusieurs faciès lithologiques de la molasse miocène (Illustration 63).

Les concentrations en Mg, les rapports Ca/Mg et Sr/Mg, l'âge des eaux apparent calculés à partir des CFC, identifiés précédemment comme des traceurs du temps de transit des eaux, suggèrent également une stratification des eaux de l'aquifère de la molasse (Illustration 64 et Illustration 65a). Cette stratification se traduit par un temps de transit des eaux au sein de l'aquifère croissant avec l'épaisseur d'aquifère captée.

Enfin de la même manière, les concentrations en nitrates et la proportion d'eau jeune calculée à partir des CFC suggèrent que les eaux de l'aquifère de la molasse sont stratifiées. Cette stratification implique une proportion plus importante d'eau provenant de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires pour les horizons les plus superficiels de l'aquifère de la molasse (Illustration 65b). Les points identifiés comme intégrant une contribution importante d'eau provenant de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires (MIOC-1 -3 -5 -6 -7 -8 -10 -12 -13) sont répartis sur l'ensemble de la zone d'étude (Illustration 50) ce qui confirme l'hypothèse, précédemment formulée à partir de l'approche hydrogéologique, d'une interconnexion forte entre l'aquifère de la molasse et l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires sur l'ensemble de l'Est Lyonnais.

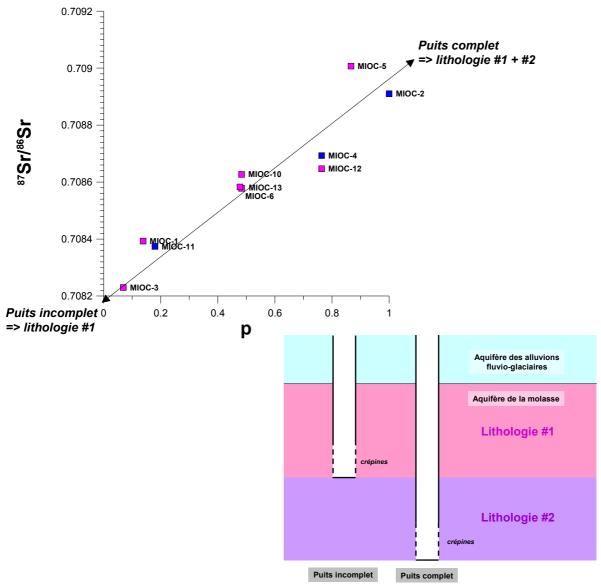


Illustration 63 : <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr vs. p avec p la proportion d'aquifère captée par rapport à l'épaisseur du réservoir molassique (Illustration 6).

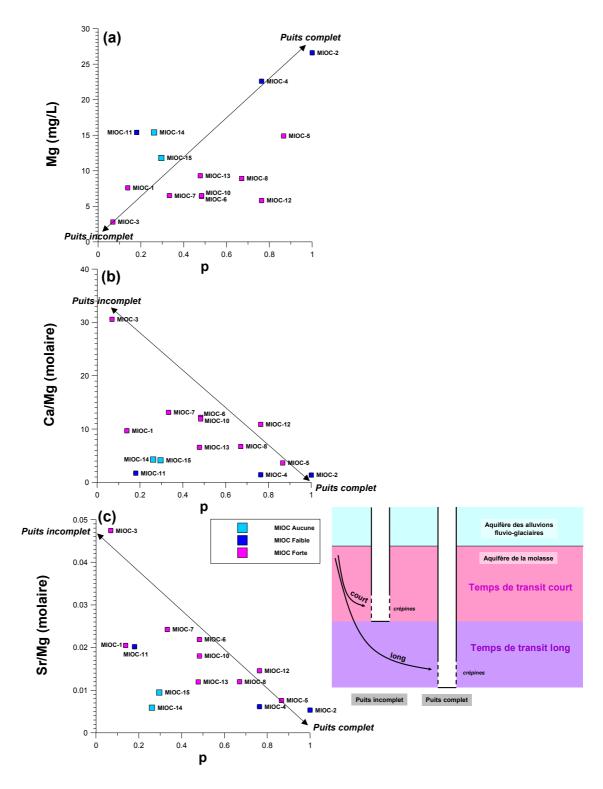


Illustration 64 : Mg vs. p (a), Ca/Mg vs. p (b) et Sr/Mg vs. p (c) avec p la proportion d'aquifère captée par rapport à l'épaisseur du réservoir molassique (Illustration 6).

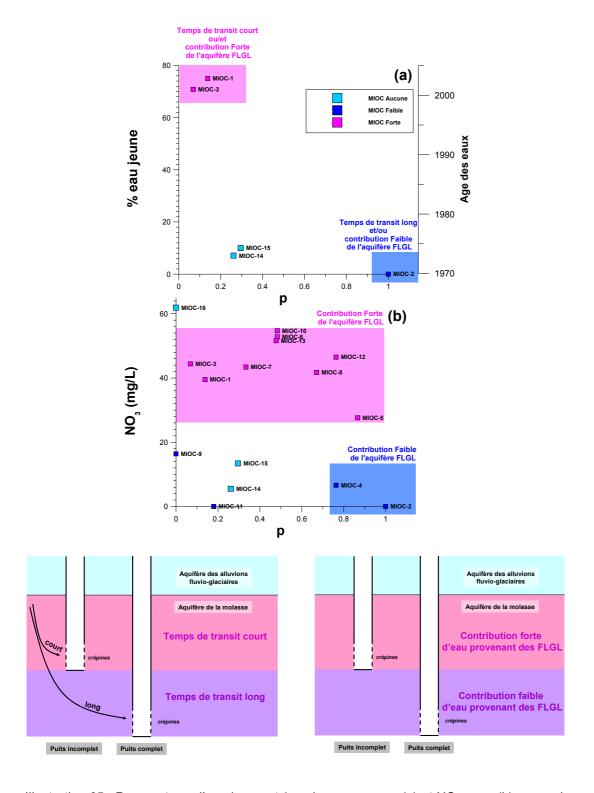


Illustration 65 : Pourcentage d'eau jeune et âge des eaux vs. p (a) et NO<sub>3</sub> vs. p (b) avec p la proportion d'aquifère captée par rapport à l'épaisseur du réservoir molassique (Illustration 6).

Ainsi les résultats obtenus à partir de l'approche hygéochimique sont en total accord avec les précédentes interprétations (caractérisation géométrique et approche hydrogéologique) suggérant qu'il existe de fortes relations entre l'aquifère de la molasse et l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires sur l'ensemble de l'Est Lyonnais.

#### b) Zone d'alimentation de la nappe et compartimentation de l'aquifère

L'approche hydrogéologique et l'approche hydrogéochimique ont montré précédemment que l'ensemble de l'Est Lyonnais participe à l'alimentation de l'aquifère de la molasse via un éventuel transit par l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires (communication forte entre ces deux niveaux aquifères).

Sur l'Illustration 64 et l'Illustration 65, les compositions des points MIOC-14 (Nexans) et MIOC-15 (AEP Septème) localisés respectivement sur le bassin de la Bourbre et le secteur des « 4 Vallées » (partie où la molasse est sub-affleurante, Illustration 50), ne suivent pas les tendances décrites par les autres points de prélèvement de l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais. Sur l'Illustration 66a, si les points MIOC-14 et MIOC-15 correspondaient à la zone de recharge de l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais, on s'attendrait à ce que ces points présentent un pourcentage d'eau jeune plus important et/ou un âge des eaux plus récent que ceux observés. De la même manière sur l'Illustration 66b, si les points MIOC-14 et MIOC-15 appartenaient au même système aquifère que les autres points de l'Est Lyonnais, on s'attendrait à ce que ces deux points présentent des rapports Sr/Mg (traçant le temps de transit des eaux au sein de l'aquifère) plus élevés que ceux observés, traduisant ainsi un temps de transit court au sein de l'aquifère. Ainsi ces contradiction suggèrent que les eaux de l'aquifère de la molasse prélevées en ces deux points sont déconnectées de l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais.

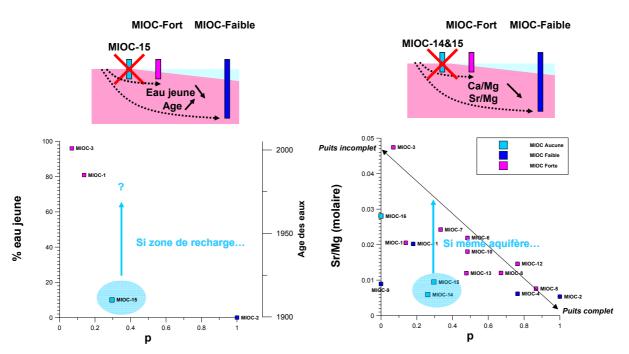


Illustration 66 : Pourcentage d'eau jeune et âge des eaux vs. p (a) et Sr/Mg vs. p (b) avec p la proportion d'aquifère captée par rapport à l'épaisseur du réservoir molassique (Illustration 6).

Bien que ces interprétations soient formulées sur deux points seulement, elles sont en accord avec les résultats obtenus précédemment à partir de la caractérisation géométrique de la molasse et les sens d'écoulement de l'aquifère de la molasse mis en évidence à partir des campagnes piézométriques. En effet compte tenu de la géométrie du réservoir molassique, il a été démontré précédemment qu'un raccordement de l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais avec le secteur des « 4 Vallées » au Sud et vers le bassin de la Bourbre au Sud-Est est peu probable. De plus les sens d'écoulement mis en évidence suggèrent que ces deux secteurs géographiques ne participent pas à l'alimentation de l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais. L'ensemble de ces arguments suggèrent que l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais correspond au secteur géographique compris entre le seuil de Vienne-Chamagnieu au sud, le secteur géographique du couloir de Meyzieu (exclus) au nord, le Rhône à l'Ouest et les limites des secteurs géographiques des couloirs de Décines et de Heyrieux à l'Est (Illustration 67). Le secteur géographique du couloir de Meyzieu n'est pas retenu car l'aquifère de la molasse est très peu productif sur ce secteur.

#### c) Relations nappe-rivière

Les eaux de rivières prélevées sur le bassin versant de l'Ozon présentent des concentrations en éléments majeurs et traces peu contrastées et intermédiaires par rapport aux eaux souterraines prélevées sur l'Est Lyonnais (Illustration 51). De plus la

variabilité de composition isotopique en H et O mesurée sur ces eaux de rivières (Illustration 61a) est incluse dans l'incertitude analytique. Les isotopes du strontium ont certes montré leur fort potentiel à tracer l'origine différentielle des éléments dissous pour les eaux de rivière du bassin versant de l'Ozon (Illustration 62) mais le nombre actuel d'échantillons analysés (un point seulement, MIOC-15, pour caractériser la signature de l'aquifère de la molasse sur ce secteur) reste clairement insuffisant. Ainsi aucune tendance n'a pu être dégagée permettant d'améliorer la connaissance sur l'alimentation des eaux de surface sur le bassin de l'Ozon. L'approche hydrogéochimique engagée dans cette étude ne permet donc pas, à l'heure actuelle, d'apporter des réponses claires sur les relations nappe/rivières sur l'Est Lyonnais. A l'avenir, il pourrait être envisagé d'engager une étude spécifique pour caractériser les relations nappe/rivière sur ce bassin. Cette étude pourrait s'appuyer notamment sur l'analyse des isotopes du strontium en prenant en compte davantage de points et en intégrant des analyses des isotopes du Bore, traceurs des pollutions d'origine agricole et des rejets d'eaux usées (sources potentielles d'éléments dissous pour les eaux de surface).

#### d) Pertinence du réseau de suivi « qualité » du SAGE

Sur l'Illustration 55, par rapport aux autres points de suivi du SAGE de l'Est Lyonnais, le point MIOC-11 (Piézo molasse) présente des concentrations élevées et très variables en Na (23 à 46 mg/L) par rapport aux autres points. Par ailleurs le point MIOC-11 présente des concentrations en nitrates anormalement basses pour toutes les campagnes d'échantillonnage considérées (<3 mg/L, Illustration 55b). Ces concentrations, inférieures aux valeurs attendues pour la nitrification naturelle et associées à des valeurs faibles d'oxygène dissous mesurées sur le terrain (<6 mg/L) pourraient indiquer que les eaux prélevées en MIOC-11 ont subi une dénitrification naturelle (milieu anoxique et réducteur). Enfin sur l'Illustration 64 et l'Illustration 65b, le point MIOC-11 ne suit pas les tendances décrites par les autres points de prélèvement de l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais. Tous ces arguments justifient donc que le point MIOC-11 est sans doute un point très particulier, peu représentatif de l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais, en conséquence il ne peut être conservé dans le réseau de suivi « qualité » du SAGE de l'Est Lyonnais.

# 5. Synthèse des connaissances sur l'aquifère molassique

#### 5.1. FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE

L'ensemble des approches engagées dans cette étude (caractérisation de la géométrie de l'aquifère, acquisition de nouvelles données hydrogéologiques et hydrogéochimiques) a permis d'améliorer significativement la connaissance du fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais (Illustration 67) :

- Portion retenue correspondant à l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais. Les résultats acquis mènent à une restriction de la zone d'alimentation initialement pressentie pour l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais. En effet une forte compartimentation de l'aquifère a été mise en évidence. Le secteur des « 4 Vallées » au sud et le bassin de la Bourbre à l'Est ne participent pas, a priori, à l'alimentation de l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais. L'aquifère de la molasse étant très peu productif sur le secteur géographique du couloir de Meyzieu, ce secteur n'est pas retenu pour évaluer les capacités de l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais.
- **Zone d'alimentation** correspondant aux horizons de molasse affleurant. Compte tenu des connaissances acquises, la zone d'alimentation de la molasse de l'Est Lyonnais serait restreinte à la partie sud, au Nord du seuil de Vienne-Chamagnieu, là où les horizons de molasse affleurent et sont suffisamment perméables. Cette surface est estimée à 14 km².
- Sens d'écoulement. Les campagnes piézométriques réalisées ont permis de mettre en évidence un écoulement des eaux de l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais globalement vers le Nord-Ouest.
- Communication forte entre l'aquifère de la molasse et l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires. Cette communication a été mise en évidence sur l'ensemble de l'Est Lyonnais sans qu'il soit possible de quantifier véritablement ces échanges. On retiendra notamment que l'aquifère de la molasse est susceptible de jouer un rôle non négligeable dans le soutien d'étiage de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires et ainsi d'avoir ainsi une implication dans l'équilibre des milieux naturels.
- Stratification des eaux de l'aquifère de la molasse. L'approche hydrogéochimique a mis en évidence une nette stratification des eaux de l'aquifère de la molasse, induisant des faciès lithologiques drainés, des temps

de transit et des contributions de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires variables en fonction de l'épaisseur de l'aquifère captée par un ouvrage.

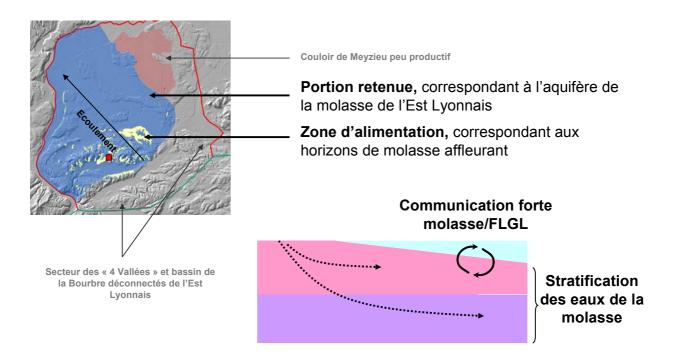


Illustration 67 : Synthèse des connaissances acquises sur le fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais (en rouge la station Météo France de Luzinay).

### 5.2. EVALUATION DES CAPACITES DE LA RESSOURCE ET DE SON RENOUVELLEMENT

#### 5.2.1. Bilan quantitatif de l'aquifère de molassique

L'amélioration de la compréhension du fonctionnement hydrogéologique de la l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais permet à présent de proposer un bilan quantitatif de la ressource en l'état actuel des connaissances (Illustration 68). L'année de référence 2007 a été retenue pour réaliser ce bilan quantitatif car cette année est l'année la plus récente pour laquelle les données de prélèvement (redevance) de l'agence de l'eau RMC (AERMC) sont disponibles.

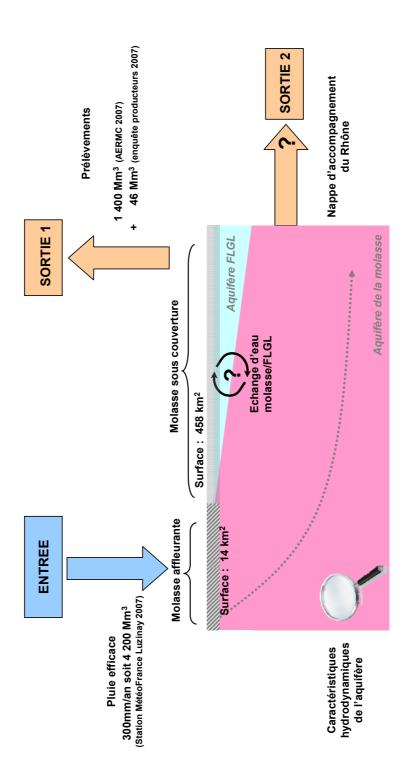


Illustration 68 : Proposition de bilan quantitatif pour l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais.

#### a) Entrée

La zone d'alimentation, correspondant aux affleurements de molasse au Nord du seuil de Vienne-Chamagnieu, représente 14 km². Si l'on considère les données météorologiques acquises sur la station de Luzinay (Illustration 67), la plus représentative de la recharge de l'aquifère de la molasse de l'Est lyonnais, la moyenne annuelle de pluie efficace est estimée à 300 mm sur la zone d'alimentation (Burgéap, 2009). Ainsi la recharge annuelle de l'aquifère de la molasse est estimée à 4 200 Mm³. Cette estimation ne tient pas compte des variations spatiales de pluviométrie sur ce secteur (la station de Luzinay est considérée comme une station moyenne) ni de la notion de pluie efficace d'hiver et d'été (or la recharge des eaux souterraines s'effectue préférentiellement en hiver ce qui pourrait aboutir une surestimation de la recharge annuelle précédemment proposée).

Cette étude (3-Caractérisation de la géométrie de l'aquifère) a montré que l'alimentation de l'aquifère de la molasse par son substratum, en provenant des calcaires ou d'autres formations, pouvait être négligée. En effet la seule zone géographique où un tel processus pourrait intervenir se limite au secteur de la Verpillère (substratum Mésozoïque, Illustration 12), or ce secteur apparaît déconnecté de l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais. Ainsi le renouvellement des eaux de l'aquifère de la molasse se limite à la pluviométrie, apportant 4 200 Mm³ pour l'année 2007.

#### b) Sortie 1 : les prélèvements

D'après les informations reportées dans la base de données « Ouvrages/Hydro » constituée (Annexe 1), sur l'Illustration 69 figure la liste des ouvrages exploités captant l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais dont la localisation est reportée sur l'Illustration 70. Sur ces ouvrages, les eaux de l'aquifère de la molasse sont utilisées pour la géothermie (Eurexpo et Piscine Clairon), pour les processus industriels (Nexans, Bonduelle et Mérial), pour des complexes sportifs et l'arrosage (Piscine de Chassieu, de Bron et l'arrosage communal de St Priest et Corbas et par des particuliers pour l'arrosage de leur jardin et/ou le remplissage de leur piscine (Illustration 69). Par ailleurs un certain nombre de parkings souterrains sur Lyon et Villeurbanne présentent des radiers drainants (Illustration 70). Ce dispositif draine les eaux de l'aquifère de la molasse pour les rejeter ensuite dans la nappe alluviale.

L'estimation des prélèvements sur l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais pour l'année 2007 s'est appuyée sur les volumes annuels déclarés à l'AERMC et les volumes estimés par les exploitants pour les points non soumis à redevance (enquête BRGM) pour l'ensemble des ouvrages exploités et des radiers drainant de la zone retenue comme correspondant à l'aquifère (Illustration 70).

Indice BSS Désignation	ignation	Dénomination	Commune	Dep.	Utilisation	Finalité	Maître_d'ouvrage	Déclaration AERMC	Déclaration Enquête BRGM AERMC auprès exploitants
07224X0066 S	S	Chez M. Danon	Chaponnay	69 E	Eau individuelle Arrosage		Particulier	NON	non communiqué
06988C0330 F79		F79 Eurexpo	Chassieu	69 P.	PAC	Geothermie	Eurexpo	Ino	non communiqué
06987S0032 F1	Ь	Piscine de Bron	Bron	69 E	Eau collective	Piscine + chauffage	Piscine	NON	non communiqué
07236X0020 70175		Nexans	La Verpillère	38 E	Eau industrielle	اغ ا	Nexans	NON	communiqué
06988C0334 1975		F5 Eurexpo	Chassieu	69 P.	PAC	Geothermie	Eurexpo	Ino	non communiqué
06988C0342 F2	Ь	Piscine de Chassieu nouveau forage	Chassieu	69 E	Eau collective	Piscine + arrosage	Services Techniques mairie Chassieu	NON	communiqué
07227X0061 F1	Ö	chez M. Bacconnier	Villette-de-Vienne	38 E	Eau individuelle	Arrosage + remplissage de piscine	Particulier	NON	non communiqué
07228X0019 F1	Ö	chez M. Bertet	Luzinay	38 E	Eau individuelle	Arrosage	Particulier	NON	non communiqué
06988C0329 P1	F	F24 Eurexpo	Chassieu	69 P.	PAC	Geothermie	Eurexpo	ONI	non communiqué
07224X0188 F	Ж	Rond Point St Priest	Saint Priest	69 E	Eau collective	Piscine + arrosage	Centre technique municipal	NON	communiqué
07224A0145 S1	В	Bonduelle	Genas	69 E	au industrielle	Eau industrielle Eau de process	Bonduelle	Ino	non communiqué
07223X0134 P	2	Mérial	Saint Priest	69 E	Eau industrielle	غ	Merial	Ino	non communiqué
07223X0255 F	Ь	Parc du Château	Saint-Priest	69 E	Eau collective	Arrosage+ complexe sportif	Centre technique municipal	NON	communiqué
07223X0118 F1	A	Arrosage communal	Corbas	9 69	69 Eau collective	Arrosage	Centre technique municipal	NON	non communiqué
07224A0158 F	Ь	Piscine Clairon	Saint Priest	69 P.	PAC	Piscine + Geothermie	Centre Nautique de Saint Priest	lno	non communiqué
÷.	^	Véolia	Saint-Pierre-de-Chandieu	69 E	au industrielle	69 Eau industrielle Eau de process	Véolia	NON	communiqué

\* volume prélevé sur un ouvrage non déclaré en BSS appartenant à Véolia (piézomètre de contrôle du site : 07224D0167/F)

Illustration 69 : Liste des ouvrages exploités captant l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais.

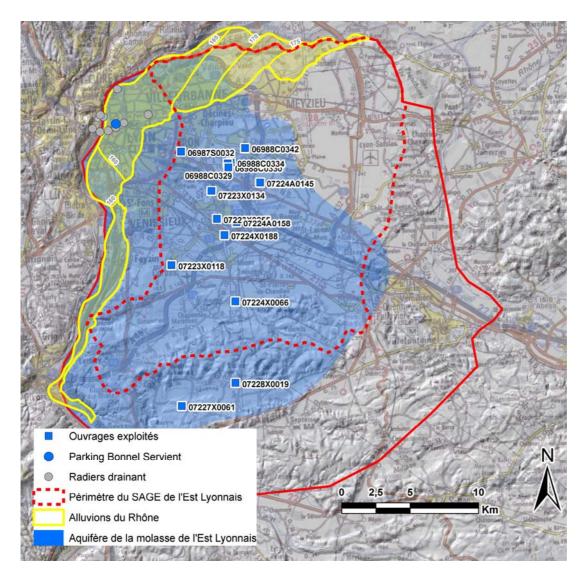


Illustration 70 : Localisation des ouvrages exploités et des radiers drainant captant l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais.

Pour l'année 2007, les prélèvements d'eau des radiers drainant représentent environ 17 000 Mm³ (données AERMC), ce volume intègre tous les parkings gérés par Lyon Parc Auto (LPA). Après enquête auprès de l'exploitant, le volume annuel total estimé est de 13 000 Mm³ (Illustration 72), ce qui est du même ordre de grandeur que le volume déclaré à l'AERMC. Les prélèvements des radiers drainant présentent vraisemblablement un statut particulier car ils sont localisés à proximité de l'exutoire naturel de l'aquifère de la molasse (nappe d'accompagnement ou alluvions du Rhône, Illustration 70). De plus l'analyse des isotopes stables sur les eaux de l'aquifère de la molasse prélevées en MIOC-9 au Parking Bonnel Servient (Illustration 70) présentent une signature marquée par la nappe alluviale du Rhône. Ainsi les prélèvements sur les

radiers drainants semblent constituer un exutoire naturel « accéléré » de l'aquifère de la molasse.

Les autres prélèvements soumis à redevance, hors radiers drainant, représentent 1 400 Mm³ (données AERMC, Illustration 71a) pour l'année 2007. Enfin moins de 46 Mm³ sont prélevés en 2007 sur les autres points non soumis à redevances (enquête BRGM auprès des exploitants, Illustration 71b).

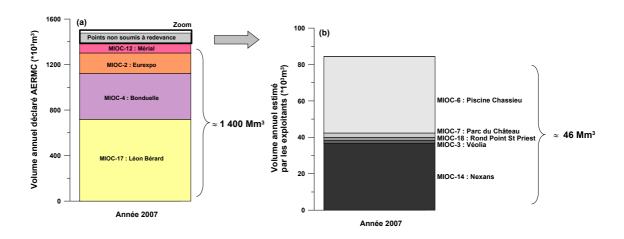


Illustration 71 : Répartition des prélèvements selon l'exploitant pour l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais pour l'année 2007. Déclarés à l'AERMC (a) et estimés par les exploitants (b).

Nom	Débit (m³/h)
Bonnel Servient	370
Hotel de Ville, Villeurbanne	320
Gare Part-Dieu	580
Cité internationale	120
Fosse aux ours	80
Bourse, Chambre du commerce	15
Sr Georges	5
Ponsé, Bellecour	3
Place des Terreaux	2
Débit total (m³/h)	1 495
Volume annuel (Mm³)	13 096

Illustration 72 : Volumes annuels estimés par les exploitants pour les prélèvements des radiers drainants (enquête BRGM).

L'Illustration 73 présente l'évolution des prélèvements (hors radiers drainant) déclarés à l'AERMC. Depuis 1998 le volume annuel prélevé ne dépasse pas 1 600 Mm<sup>3</sup>. Pour les années 2005, 2006 et 2007, on observe une augmentation des prélèvements sur le point MIOC-17 (N°BSS : 06987Q0051/F, Centre Léon Bérard). Or les prélèvements sur

ce point sont à présent arrêtés (depuis octobre 2008), la tendance actuelle est donc à la diminution des prélèvements sur l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais (<900 Mm³, valeur attendue pour les points déclarés à l'AERMC pour les années 2008 et 2009).

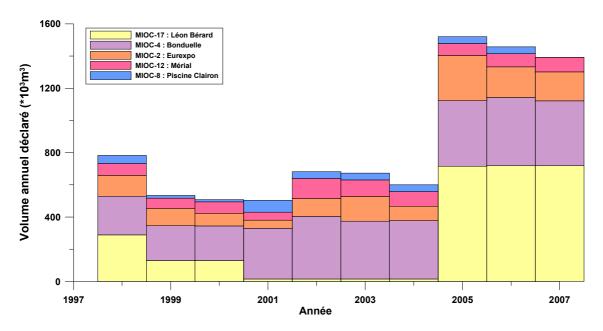


Illustration 73 : Evolution des prélèvements (hors radiers drainant) déclarés à l'AERMC pour l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais entre 1998 et 2007.

### c) Sortie 2 : écoulement naturel vers la nappe d'accompagnement du Rhône

Compte tenu de la piézométrie mesurée sur l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais (Illustration 15 et Illustration 16), l'écoulement se fait au profit de la nappe d'accompagnement du Rhône qui constitue l'exutoire naturel de l'aquifère. En l'absence de caractérisation des relations nappe/rivière sur le bassin versant de l'Ozon, il n'est pas possible de statuer, à l'heure actuelle, sur l'éventuel rôle joué par les eaux de surface sur l'aquifère de la molasse. Ainsi seule la nappe d'accompagnent du Rhône est retenue comme flux de sortie naturel pour le bilan hydrogéologique proposé dans cette étude (Illustration 68). Le volume annuel de ce flux n'est pas connu.

### d) Processus : échange d'eau entre l'aquifère de la molasse et l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires

Les approches hydrogéologique et hydrogéochimique ont permis de mettre clairement une communication entre l'aquifère de la molasse et l'aquifère des alluvions fluvioglaciaire sur l'ensemble de l'Est Lyonnais. En raison d'une stratification des eaux de l'aquifère de la molasse, ce mélange apparaît, de manière plus significative, sur les horizons les plus superficiels de l'aquifère de la molasse. Cette étude a montré que ces échanges s'effectuent dans les deux sens, sans qu'il ne soit possible de quantifier les volumes échangés ni de statuer sur le sens du flux net résultant de ces échanges.

#### e) Bilan

Un bilan hydrogéologique chiffré pour l'aquifère de la molasse est proposé sur l'Illustration 68. Plusieurs flux jouant un rôle majeur dans ce bilan (Echanges molasse/fluvio-glaciaire et sortie vers la nappe d'accompagnement du Rhône) ne peuvent être quantifiés. Compte tenu des connaissances disponibles, on peut retenir que les volumes prélevés dans l'aquifère de la molasse, hors radiers drainant (≈ 1 450 Mm³) représentent au minimum 35% de la réalimentation de la nappe, ce qui est extrêmement important. Ainsi la capacité de renouvellement de la ressource reste très limitée.

En plus du renouvellement de la ressource, d'autres problèmes sont soulevés par l'exploitation de la molasse. En effet dans de nombreux secteurs l'aquifère de la molasse semble intervenir en soutien à l'alimentation de l'aquifère des alluvions du fluvio-glaciaire. Ainsi une augmentation de l'exploitation de la molasse pourrait aboutir conjointement à une baisse des niveaux de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires. Enfin, l'exploitation de la molasse est susceptible de modifier un équilibre fortement instable entre les deux niveaux aquifères en présence. En effet la modification des sens d'écoulement peut aboutir à terme à la dégradation de la qualité des eaux de l'aquifère de la molasse sur l'ensemble de l'aquifère, et ce quelque soit l'épaisseur d'aquifère captée par les ouvrages.

#### 5.2.2. Estimation du stock d'eau disponible

Tenant compte de données acquises sur le fonctionnement hydrogéologique de la ressource (restriction de la zone d'alimentation, existence d'une compartimentation de l'aquifère ...), le volume du réservoir de l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais est estimé à 57 km³ si on exclut le secteur géographique du couloir de Meyzieu supposé peu productif (Annexe 2). De plus en tenant compte de la zone non saturée de l'aquifère de la molasse calculée à partir de la piézométrie de la nappe, le volume aquifère est estimé à 55 km³. L'estimation du stock d'eau disponible proposé en Annexe 2 aboutit à volume estimé de 1 à 3 000 000 Mm³. Cependant il faut garder à l'esprit que même si le stock d'eau de l'aquifère de la molasse est important, le très faible renouvellement de la ressource et ses fortes interactions avec l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires en limitent nécessairement l'exploitation.

### 6. Recommandations et propositions de gestion

#### 6.1. VULNERABILITE ET PROTECTION

Les travaux présentés précédemment pour l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais a mis en évidence une forte vulnérabilité de cette ressource en eau vis-à-vis de ses échanges avec l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires. Toute modification des flux de ce bilan est susceptible modifier de manière significative les relations entre les deux niveaux aquifères en présence et d'accélérer la dégradation de la qualité des eaux de l'aquifère de la molasse. Dans le cadre du SAGE de l'Est Lyonnais, il semble donc indispensable de prendre les mesures nécessaires pour préserver cette ressource.

Tout d'abord les prélèvements sur l'aquifère de la molasse doivent être limités, a maxima aux volumes actuels exploités. De manière relative, l'aquifère de la molasse apparaît plus vulnérable vis-à-vis des pollutions diffuses dans les zones géographiques où les horizons de la molasse sont affleurant par rapport aux zones où ces horizons sont sous couverture. Ainsi on veillera à protéger la zone d'alimentation de l'aquifère de la molasse afin de limiter sur ce territoire les apports anthropiques (nitrates, pesticides, ...) aux eaux souterraines.

De plus, afin de limiter les échanges existants entre l'aquifère de la molasse et l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires on cherchera, par ordre de priorité à :

- Limiter les prélèvements dans l'aquifère de la molasse afin de ne pas dégrader davantage la qualité des eaux de l'aquifère de la molasse, notamment pour sa partie la plus profonde qui est encore préservée (stratification des eaux de l'aquifère de la molasse);
- Contraindre, voir limiter les prélèvements dans l'aquifère des alluvions fluvioglaciaires même si l'impact attendu sur la qualité des eaux les plus profondes de l'aquifère de la molasse par une modification de la stratification des eaux est probablement limitée (en tout état de cause probablement plus limité que l'impact des prélèvements dans l'aquifère de la molasse). En revanche l'impact attendu sur l'aspect « quantitatif » de la ressource est probablement important (alimentation de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires par l'aquifère de la molasse) et ne peut être chiffré en l'état actuel des connaissances.

Enfin, compte tenu de l'utilisation actuelle de la ressource, il serait préférable à l'avenir de la réserver l'aquifère de la molasse aux usages dits « nobles » comme l'alimentation en eau potable collective publique. Si de nouvelles prospections doivent être engagées pour cet usage, on privilégiera les secteurs géographiques des couloirs de Heyrieux et de Décines, là où l'aquifère de la molasse a été identifié comme le plus productif. Pour garantir une eau de bonne qualité, ces nouveaux ouvrages devront correspondre à des puits "complets" (forage traversant toute l'épaisseur de l'aquifère) afin capter les zones les plus profondes, actuellement plus préservées, de l'aquifère.

Pour la mise en place de toute nouvelle exploitation de l'aquifère de la molasse, on veillera à caractériser au préalable l'impact des prélèvements sur les relations entre l'aquifère de la molasse et les alluvions fluvio-glaciaires (notamment par la réalisation d'un essai de pompage long comme celui réalisé dans cette étude sur le forage de la piscine de Chassieu).

A l'issue des résultats de l'étude et en réponse à l'article 6 du SAGE de l'Est Lyonnais :

« Dans les secteurs du périmètre du SAGE où une interactivité hydraulique existe entre les 2 aquifères couloirs fluvio-glaciaires de l'Est lyonnais et nappe de la molasse (aquifère "multicouche"), les déclarations et demandes d'autorisation de IOTA (installation, ouvrage, travaux, activité) s'appuieront sur la doctrine établie par la CLE à l'issue de l'étude détaillée de la nappe de la molasse (prévue dans le cadre de l'action 31 du PAGD). Cette doctrine fixera des critères pour définir quels types de prélèvements en nappe de l'Est lyonnais devront fournir, à travers le dossier d'instruction réglementaire, une étude technique d'incidence directe et/ou indirecte sur la nappe de la molasse du prélèvement en nappe de l'Est lyonnais projeté. L'administration s'appuiera également sur cette doctrine pour qualifier si les incidences induites sur la molasse par le prélèvement projeté sont acceptables ou non, et si le projet doit être adapté ».

il est préconisé, pour toute nouvelle autorisation de prélèvement à l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires, et cela sur l'ensemble du territoire du SAGE de l'Est Lyonnais de réaliser un essai de pompage long (temps de pompage minimum 5 jours) afin d'évaluer qualitativement les échanges entre l'aquifère de la molasse et l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires. Au-delà des connaissances actuelles sur le fonctionnement de l'aquifère de la molasse, l'évaluation quantitative de l'intensité de ces échanges afin de pouvoir proposer des règles, notamment sur les débits et volumes maximums prélevés, nécessiterait une étude à part entière. En effet seule une modélisation hydrodynamique et hydrochimique du fonctionnement de l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais permettra de définir d'un point vue quantitatif les limites d'autorisation de prélèvement à l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires et de l'aquifère de la molasse.

#### 6.2. SUIVI QUANTITATIF ET QUALITATIF

Le suivi actuel du SAGE de l'Est Lyonnais concerne actuellement 3 points : le point MIOC-4 (Bonduelle), MIOC-11 (Piézo molasse) et MIOC-12 (Mérial). Tous ces points sont suivis pour la « qualité » et seuls les points MIOC-11 et MIOC-12 sont suivis pour la « quantité ». Lors de la campagne de mesure de niveaux piézométriques d'automnehiver 2008-09, la sonde hors-service obstruant le forage MIOC-4 a été enlevée, il nous a été ainsi possible de réaliser une mesure piézométrique. Il serait intéressant de poursuivre la mesure de ce point dans le cadre du réseau de suivi « quantité » du SAGE (cet ouvrage étant prélevé par ailleurs pour le réseau « qualité »). Il faudra veiller toutefois à ce que les pompages soient arrêtés suffisamment à l'avance afin d'être sûr de mesurer le niveau statique de l'aquifère de la molasse.

Pour le réseau de suivi « qualité », cette étude a montré que le point MIOC-11 (Piézo molasse) présente une composition géochimique toute à fait singulière par rapport aux autres points de prélèvement de l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais. Ce point doit être abandonné pour le réseau « qualité » et remplacé par de nouveaux ouvrages, potentiellement MIOC-2 (Eurexpo) et MIOC-3 (Véolia) ou éventuellement MIOC-8 (Piscine Clairon). L'idée serait de disposer de quatre points de suivi « qualité » sur l'aquifère de la molasse, deux points correspondant à la partie superficielle de l'aquifère (MIOC-12 et MIOC-3 ou MIOC-8 potentiellement) et deux points captant toute l'épaisseur de l'aquifère (MIOC-4 et MIOC-2). Ce nouveau dispositif de mesure permettrait de suivi l'évolution de la qualité des eaux de l'aquifère de la molasse et en particulier l'évolution de sa stratification.

#### 6.3. PROPOSITIONS D'INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES

A l'avenir un effort particulier doit être mené sur la connaissance des flux du bilan hydrogéologique de l'aquifère de la molasse, notamment sur les échanges entre les niveaux aquifères de la molasse et des alluvions fluvio-glaciaires et sur le flux naturel sortant que constitue la nappe d'accompagnement du Rhône. En l'état actuel des connaissances, seule la caractérisation qualitative de ces flux a pu être menée à partir des essais de pompage, de l'analyse de chroniques piézométriques existantes et de la caractérisation géochimique des eaux. Pour quantifier ces flux, l'établissement d'un modèle hydrogéochimique et géochimique du fonctionnement de l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais, incluant notamment le modèle géologique 3D du réservoir molassique établi dans cette étude, apparaît incontournable.

De plus il mériterait de préciser davantage la compartimentation de l'aquifère de la molasse en s'appuyant notamment sur de nouvelles investigations de géophysique électrique à l'échelle plus locale et sur de nouveaux points de mesure des niveaux piézométriques de l'aquifère de la molasse (création de nouveaux ouvrages).

Le statut particulier des prélèvements de l'aquifère de la molasse par les radiers drainant doit être également davantage précisé, afin d'être sûr que ces prélèvements constituent bien un exutoire naturel « accéléré » dans les alluvions du Rhône.

Il serait également intéressant d'engager des investigations spécifiques pour la connaissance des relations nappe/rivière sur le bassin versant de l'Ozon, relations qui sont susceptibles de jouer un rôle important dans le bilan hydrogéologique de l'aquifère de la molasse. L'approche hydrogéochimique engagée dans cette étude avec les isotopes du strontium pourraient être poursuivie en incluant l'analyse des isotopes du Bore. Par ailleurs, un bilan hydraulique sur le bassin de l'Ozon est susceptible également d'améliorer la connaissance existante.

Enfin, si de nouvelles investigations pour des ressources en eau potable doivent être engagées pour l'aquifère de la molasse, l'utilisation des méthodes de géophysique électrique pourra être retenue. En effet dans cette étude ces méthodes ont montré de

grandes possibilités (horizons sableux).	d'investigation	pour	identifier	les	zones	les	plus	productives

### 7. Conclusion

L'ensemble des approches engagées dans cette étude (caractérisation de la géométrie l'aquifère, acquisition de nouvelles données hydrogéologiques hydrogéochimiques) a permis d'améliorer significativement la connaissance fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais. Tout d'abord, ce travail a permis de restreindre la zone géographique correspondant à l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais. Le secteur des « 4 Vallées » au sud et le bassin de la Bourbre à l'Est ne participent, a priori, pas à l'alimentation de l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais. En conséquence la zone d'alimentation de l'aquifère apparaît restreinte aux affleurements de molasse miocène localisés au Nord du seuil de Vienne-Chamagnieu soit sur une surface estimée de 14 km². Le renouvellement de la ressource reste ainsi très limité (estimé à 4 200 Mm³ pour l'année 2007).

D'autre part, l'approche hydrogéochimique engagée dans cette étude a montré une forte stratification des eaux de l'aquifère de la molasse. Cette stratification induit qu'en fonction de l'épaisseur de l'aquifère captée par un ouvrage les eaux de l'aquifère de la molasse prélevées drainent des faciès lithologiques différents et présentent des temps de transit variables.

De plus, une communication forte entre l'aquifère de la molasse et l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires a été mise en évidence sur l'ensemble de l'Est Lyonnais sans qu'il soit possible de quantifier véritablement ces échanges. La stratification des eaux de l'aquifère de la molasse implique que la contribution de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires est plus importante pour les ouvrages les plus superficiels et ne captant pas toute l'épaisseur de l'aquifère de la molasse (puits incomplets). En conséquence les eaux les plus profondes, de meilleure qualité, apparaissent encore préservées vis-à-vis des contaminations superficielles. Mais si cette ressource est sollicitée davantage, il est fortement probable que progressivement les eaux plus profondes deviennent également contaminées par les pollutions de surface.

Enfin un bilan hydrogéologique de la ressource a été proposé. Compte tenu des connaissances disponibles, on peut retenir que les volumes prélevés dans l'aquifère de la molasse, hors radiers drainant (≈ 1 450 Mm³ pour l'année 2007) représentent au minimum 35% de la réalimentation de la nappe (≈ 4 200 Mm³ pour l'année 2007), ce qui est extrêmement important. Ainsi la capacité de renouvellement de la ressource reste très limitée. Les deux flux majeurs, que constituent (1) les échanges entre les niveaux aquifères de la molasse et des alluvions fluvio-glaciaires et (2) le flux naturel sortant vers la nappe d'accompagnement du Rhône, n'a pu être quantifié. Or, il faudrait connaître ces deux termes pour être à même d'établir le bilan hydrogéologique de la ressource.

En résumé la ressource en eau de l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais est en équilibre instable, son bilan hydrogéologique étant notamment fortement contrôlé par ses relations avec l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires. Ainsi toute modification des flux de ce bilan est susceptible d'accélérer la dégradation de la qualité des eaux de l'aquifère de la molasse. Dans ce contexte, il semble primordial que le SAGE de l'Est Lyonnais prenne les mesures nécessaires pour limiter les prélèvements et assurer le suivi dans le temps afin de renforcer la préservation de cette ressource. L'usage de l'aquifère de la molasse doit être désormais réservé uniquement à l'alimentation en eau potable collective publique. Si de nouvelles prospections doivent être engagées pour cet usage, on privilégiera les secteurs géographiques des couloirs de Heyrieux et de Décines, là où l'aquifère de la molasse a été identifié comme le plus productif. De plus on veillera à caractériser au préalable l'impact des prélèvements sur les relations entre l'aquifère de la molasse et les alluvions fluvio-glaciaires (notamment par la réalisation d'un essai de pompage long comme celui réalisé dans cette étude sur le forage de la piscine de Chassieu).

### 8. Bibliographie

ANTEA (2005). - Connaissance de la molasse miocène dans l'Est Lyonnais.

**AQUIFORE** (2007). - Réalisation d'un sondage de reconnaissance profond de 160 m de l'aquifère molassique miocène équipé PVC 125 mm – Centre aquatique sur la commune de MEYZIEU (69). 10 p.

**Berner E.K., Berner R.A.** (1987). -The Global water cycle. Geochemistry and environment.-Prentice-Hall. 397 p.

**Bourdet D., Ayoud J.A., Prirard Y.M.** (1989). - Use of pressure derivative in well-test interpretation. SPE, 293-302.

**Bourdet D., Whittle T.M., Dougals, A.A. et al.** (1983). - A new set of type curves simplifies well test analysis, World Oil.

**Brenot A.** (2009). - Acquisition de connaissances sur la nappe de la molasse pour le département de l'Isère (38). Phase 1 - Bilan des données existantes. Rapport d'avancement. BRGM/ RP-57292-FR. 73 p., 24 ill., 5 ann.

**BRGM** (2009). - Mise à jour des données piézométriques (cartographie et ouvrages) sur l'aquifère de l'Est Lyonnais Note BRGM relative à l'Appui police de l'eau. Inventaire des ouvrages et campagne piézométrique sur la nappe des alluvions fluvio-glaciaires des couloirs de l'Est Lyonnais (69) et 4 Vallées (38). Note relative à l'appui police de l'eau. 9 juin 2009. 1 p., 3 illu., 1 ann.

Burgéap (2005). - Modélisation de la nappe de l'Est lyonnais, 29 p.

**Burgéap** (2009). - Etude préalable à la mise en place d'un plan de gestion dynamique de la nappe de l'Est lyonnais. Rapport Burgéap RLy3121. 75 p. Bilan des connaissances sur l'état de la ressource. 37 fig., 8 ann.

Castagnac C. Bourgine B., Couëffe R., Martelet G., Brenot A., Nicolas J. (2009). Acquisition de connaissances sur la nappe de la molasse du territoire du SAGE de l'Est Lyonnais . Conception et notice d'utilisation du modèle géologique. BRGM/ RP-57291-FR. 125 p., 69 ill., 5 ann.

**Clark, I. et Fritz P.** (1997). Environmental isotopes in hydrogeology. Lewis Publishers, New-York. 328 p.

**Cook P.G., Böhlke J.K.** (2000). - Determining timescales for groundwater flow and solute transport. In: Environmental Tracers in Subsurface Hydrology (P.G. Cook and A. Herzeg, editors), Chapter 1, Kluwer Academic Press, 1-30.

**CPGF-Horizon** (2009). - Etude géophysique. Prospection électrique Est Lyonnais. Serpaize – Chamgnieu – Chassieu. Etude 08063/38. 11 p., 3 fig., 2 ann.

Craig H. (1961). - Isotopic variations in meteoric waters. Science 133, 1702-1703.

de La Vaissière (2006). - Etude de l'aquifère néogène du Bas Dauphiné. Apports de la géochimie et des isotopes dans le fonctionnement hydrogéologique du bassin de Valence

- (Drôme, Sud-Est de la France). Mémoire de thèse, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse. 290 p.
- **Deruyck B., Ehlig-Economides C., Joseph J.** (1992). Testing design and analysis. Oilfield and analysis. 28-45.
- **Ingerson E. et Pearson F. J.** (1964). Estimation of age and rate of motion of groundwater by 14C-méthod. Recent Researches in Field of Hydrosphere, Atmosphere and Nuclear Geochemistry. (coll./conf.), Tokyo, p. 263-283.
- **Eichinger L.** (1983). A contribution to the interpretation of 14C groundwater ages considering the example of the partially confined sandstone aquifer. Proceedings of the 11<sup>th</sup> International 14C Conference. (coll./conf.), Radiocarbon, p. 347-356.
- **Evans, G. V., Otlet R. L., Downing A. et al.** (1979). Some problems in the interpretation of isotope measurements in United Kingdom aquifers. Isotope Hydrology (coll./conf.), Vienna, IAEA, p. 679-708.
- **Evin J., Mongereau N., Rousselot D.** (1980). Utilisation du radiocarbone pour une meilleure connaissance de l'alimentation des nappes aquifères Origine des eaux souterraines du couloir fluvioglaciaire de Meyzieux (Rhône). TSM l'EAU N°4, 193-199.
- **Fontes J.-C.** (1985). Some considerations on groundwater dating using environmental isotopes. Hydrogeology in the service of man, Cambridge, IAH, 118-154.
- **Fontes, J.-C.** (1992). Chemical and isotopic constraints on 14C dating of groundwater. Radiocarbon after four decades: an interdisciplinary perspective. R. E. Taylor, A. Long et R.S. Kra. New-York, Springer-Verlag: p. 242-261.
- **Fontes, J. C. et J. M. Garnier** (1979). Determination of the initial 14C activity of total dissolved carbon: a review of the existing models and a new approach. Water resources research 15 (2) p. 399-413.
- **Fouillac, C., Fouillac, A.M., Chery, L.** (1991). Isotopic studies of deep and surface waters in the French Massif Central. Proceedings of isotopes techniques in water resources development Vienne, 11-15/03/1991, 646-48.
- **Gooddy D.C., Darling W.G., Abesser C.** et al. (2006). Using chlorofluorocarbons (CFCs) and sulphur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) to characterise groundwater movement and residence time in a lowland Chalk catchment. Journal of Hydrology 330, 44-52.
- **Gourcy L., Surdyk N., Thiéry D. et al.** (2008). –Caractérisation de l'inertie des systèmes aquifères vis-à-vis des apports diffus d'origine agricole Application à l'aquifère de la plaine de l'Ain. Rapport final de phase 1, BRGM/RP-56694-FR, 100 p, 58 ill., 1 Ann.
- **IAEA** (2006). Use of Chlorofluorocarbons in hydrology: A guidebook. STI/PUB 1238, IAEA, Vienna. 277 p.
- **Meybeck M.** (1986). Composition chimique des ruisseaux non pollués de France. Sciences Géologiques Bulletin 39, 3-77.
- **Plummer L.N., Busenberg E**. (2000). Chlorofluorocarbons: Tools for dating andtracing young groundwater. In: Environmental Tracers in Subsurface Hydrology (P. Cook and A. Herczeg, eds.), Kluwer Academic Publishers, Boston, Chapter 15: 441-478.

**Salem, O., Visser J. H., Dray M. et al.** (1980). Environmental isotopes used in a hydrogeological study of north-eastern Brazil. IAEA 165-179 p.

Schlumberger (2002). - Well test interpretation. SCHLUMBERGER. Rap., 122 p.

**Schultz T.R., Randall J.H., Wilson L.G. et al.** (1976). – Tracing sewage efluent recharge – Tucson, Arizona. Groundwater, 14:463-470.

**Spane F.A., Wurstner S.K.** (1993). DERIV: a computer program for calculating pressures derivatives fir use in hydraulic test analysis.

**Tamers M. A.** (1967). Radiocarbon ages of groundwater in an arid zone unconfined aquifer. In Isotope Techniques in the Hydrological Cycle, American Geophysical Union Monograph 11 p. 143-152.

**Theis C.V.** (1935). The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. Trans. Am. Geoph. Union, 16, 519-524.

# Base de données « Ouvrages/Hydro »

-Voir cd rom-

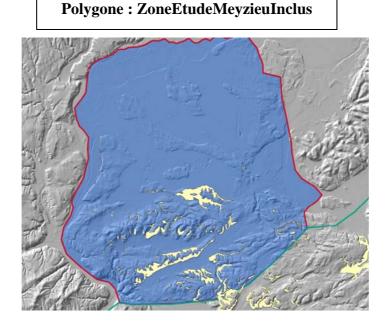
# Estimation du volume du réservoir de l'aquifère molassique

Une estimation du volume du réservoir de l'aquifère molassique est proposé en l'état actuel des connaissances. Cette estimation se déroule en plusieurs étapes correspondant à des restrictions successives du volume du réservoir à partir de différentes hypothèses formulées ci-après.

Nous faisons l'hypothèse que la totalité du réservoir molassique dimensionné par le modèle géologique 3D est aquifère. En effet il n'est pas possible en l'état actuel des connaissances de distinguer dans la molasse miocène les horizons à dominance sableuse des horizons à dominance argileuse avec une vision tridimensionnelle.

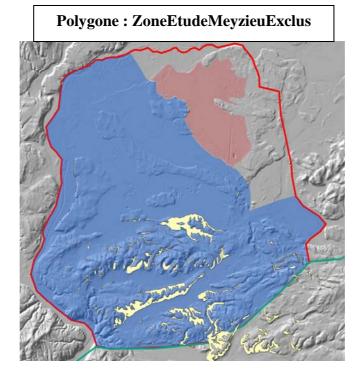
# Etape 1 : Volume de la molasse miocène sur l'emprise de la zone d'étude « Molasse Est Lyonnais »

A partir du modèle géologique 3D, ce volume (associé au polygone « ZoneEtudeMeyzieuInclus ») est estimé à 107 km<sup>3</sup>.



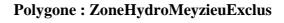
Etape 2 : Volume de la molasse miocène en excluant le couloir de Meyzieu

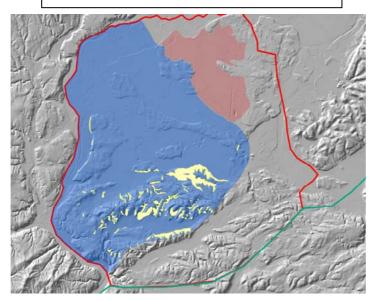
Une première restriction du volume du réservoir consiste à exclure le couloir de Meyzieu. En effet, cette étude à montré que l'aquifère de la molasse est probablement peu productif sur l'ensemble du couloir de Meyzieu. Ainsi à partir du modèle géologique 3D, le volume du réservoir après cette restriction (associé au polygone « ZoneEtudeMeyzieuExclus ») est estimé à 78 km³ (le volume de la molasse miocène sur le couloir de Meyzieu, exclus dans ces calculs étant de 29 km³).



Etape 3 : Volume de la molasse miocène en excluant la partie sud de la zone d'étude ne participant pas à l'alimentation de la nappe de la molasse sur l'Est Lyonnais.

Les connaissances acquises sur le fonctionnement de l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais (restriction de la zone d'alimentation, existence d'une compartimentation de l'aquifère ...) permettent de restreindre encore davantage le volume du réservoir en excluant la partie sud de la zone d'étude. Ainsi à partir du modèle géologique 3D, le volume du réservoir après cette restriction (associé au polygone « ZoneHydroMeyzieuExclus ») est estimé à 57 km³.





Nom du polygone concerné	NbMailles	SommeEpai	DimMaille	Volume (km <sup>3</sup> )
ZoneEtudeMeyzieuInclus	20038	2667996	40000	107
ZoneEtudeMeyzieuExclus	15900	1937670	40000	78
ZoneHydroMeyzieuExclus	11426	1432014	40000	57

# Etape 4 : Volume aquifère de la molasse miocène en excluant la zone non saturée de l'aquifère.

Compte tenu de la carte piézométrique de l'aquifère de la molasse de l'Est Lyonnais réalisée dans le cadre de cette étude, il est possible de restreindre le volume aquifère de la formation molassique (exclusion de la zone non saturée ou ZNS). Ainsi à partir du modèle géologique 3D, le volume du réservoir aquifère après cette restriction est estimé à 55 km³.

Polygone: ZoneHydroMeyzieuExclus + exclusion ZNS

Etape 5 : Volume d'eau gravitaire stockée dans l'aquifère de la molasse miocène.

Si l'on considère une porosité moyenne de 5% pour l'aquifère de la molasse, le stock d'eau est estimé de 1 à 3 000 000 Mm³. Cette estimation ne tient pas compte des fortes variabilités de porosité de l'aquifère de la molasse sur l'Est Lyonnais ni de l'existence de paléochenaux plus argileux qui implique d'importantes différences de perméabilité de l'aquifère.

Mesures piézométriques sur l'aquifère de la molasse pour les campagnes d'automne-hiver 2008-09 et printemps 2009

									Campagne au	utomne-hiver 2008-09	Campagne s	synchrone avril 2009
Indice BSS	Dénomination	Commune	Х	Υ	Z retenu	Nature du Z	Artésien	Nature de la mesure	Date de mesure	Côte piézométrique NGF	Date de mesure	Côte piézométrique NGF
07223X0134	Mérial	Saint Priest	802375	2082731	212	MNT	NON	Terrain BRGM	04-nov-08	186.90	22-avr-09	185.97
07224X0144	Piezo molasse SAGE est lyonnais	Saint-Pierre-de-Chandieu	806390	2079000	226	MNT	NON	Relevé Asconit/Terrain BRGM	29-oct-08	206.89	23-avr-09	207.41
06987Q0051	Centre Léon Bérard	Lyon	797680	2085575	175	MNT	NON	Terrain BRGM	23-mars-09	164.82	28-avr-09	164.72
06987S0032	Piscine de Bron	Bron	800150	2085620	198	MNT	NON	Terrain BRGM	04-mars-09	172.95	28-avr-09	172.98
06988C0281	Piscine de Chassieu ancien ouvrage	Chassieu	804900	2085860	203	MNT	NON	Terrain BRGM	21-nov-08	183.80	09-avr-09	183.93
06988C0335	F6 Eurexpo	Chassieu	803790	2084690	201	MNT	NON	Terrain BRGM	17-févr-09	181.50	27-avr-09	178.15
06988C0342	Piscine de Chassieu nouveau forage	Chassieu	804830	2085880	203	MNT	NON	Terrain BRGM	21-nov-08	183.85	09-avr-09	183.97
07223L0004	Carrière Perrier	Corbas	801910	2078590	205	MNT	NON	Terrain BRGM	03-nov-08	194.25	21-avr-09	194.07
07223X0118	Arrosage communal	Corbas	799450	2077320	195	MNT	NON	Terrain BRGM	04-mars-09	187.82	14-avr-09	187.85
07224A0145		Genas	806040	2083500		MNT	NON	Terrain BRGM	23-févr-09	189.73	21-avr-09	190.31
07224D0167	Véolia	Saint-Pierre-de-Chandieu	808400	2077600		MNT	NON	Terrain BRGM	09-mars-09	218.58	23-avr-09	218.76
07224X0066	Chez M. Danon	Chaponnay	804120	2074660		MNT	NON	Terrain BRGM	19-févr-09	212.70	23-avr-09	212.60
07224X0113	Les Quinonières	Saint-Pierre-de-Chandieu	808980	2076560		MNT	NON	Terrain BRGM	16-mars-09	222.35	14-avr-09	222.41
07224X0188	St Priest arrosage	Saint Priest	803330	2079510	213	MNT	NON	Terrain BRGM	03-mars-09	199.30		
07227X0061	chez M. Bacconnier	Villette-de-Vienne	800210	2067000	240	MNT	NON	Terrain BRGM	17-févr-09	219.77	14-avr-09	219.94
07228X0019	chez M. Bertet	Luzinay	804131	2068709		MNT	NON	Terrain BRGM	25-févr-09	219.45	29-avr-09	219.12
07228X0026	Septème	Septème	808980	2064120		MNT	NON	Terrain BRGM	17-févr-09	258.07	14-avr-09	258.07
07231X0281	Morellon	Grenay	814641	2077616		MNT	NON	Terrain BRGM	19-nov-08	213.87	21-avr-09	214.42
07235X0029	Brachet	Diémoz	815700	2067200		MNT	NON	Terrain BRGM	27-oct-08	301.17	14-avr-09	301.47
07236X0020	Nexan	La Verpillère	819500	2073450		MNT	NON	Terrain BRGM	24-févr-09	212.56	30-avr-09	212.13
07236X0053	Reconnaissance de Roche	Roche	820079	2068489	379	MNT	NON	Terrain BRGM	18-févr-09	327.27	20-avr-09	327.55
07237X0115	Maubec	Maubec	828921	2065768		MNT	NON	Terrain BRGM	24-févr-09	316.91	05-mai-09	316.65
07246X0012	Faverges-de-la-Tour	Faverges-de-la-Tour	848420	2070730	396	MNT	NON	Terrain BRGM	27-oct-08	383.95		
07247X0019		Chimilin	855385	2068063			OUI	Non mesuré (artésien)		248.90		248.90
07247X0020	Chimilin	Chimilin	855403	2067930	245.57	Nivellement	OUI	Non mesuré (artésien)				
07247X0021	Chimilin	Chimilin	855369	2068070	243.49	Nivellement	OUI	Non mesuré (artésien)		247.69		247.69
07247X0022	Chimilin	Chimilin	855397	2067934			OUI	Non mesuré (artésien)				
07247X0023		Chimilin	855375	2068066			OUI	Non mesuré (artésien)		247.87		247.87
	Pompage des Bielles molasse	Beauvoir-de-Marc	813861	2059494		MNT	NON	Terrain BRGM	05-nov-08	292.13		
	Reconnaissance Meyrieu-les-Etangs	Meyrieu-les-Etangs	822550	2060850		MNT	NON	Terrain BRGM	03-mars-09	413.16		
07718X0014	Serre-Nerpol	Serre-Nerpol	839344	2031382		MNT	OUI	Non mesuré (artésien)		374.00		374.00
06988X0344	Centre aquatique Meyzieu	Meyzieu	808226	2089005	203	MNT	NON	Terrain BRGM			05-mai-09	189.37

NOTE BRGM – Appui police de l'eau concernant la mise à jour des données piézomètriques (cartographie et ouvrages) de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires sur l'Est Lyonnais

#### Note BRGM relative à l'Appui police de l'eau

- Mise à jour des données piézomètriques (cartographie et ouvrages) sur l'aquifère de l'Est Lyonnais -
  - Inventaire des ouvrages et campagne piézomètrique sur la nappe des alluvions fluvio-glaciaires des couloirs de l'Est lyonnais (69) et 4 vallées (38) -

#### **MISSION DEMANDÉE AU BRGM:**

La piézométrie actuelle de la nappe des alluvions fluvio-glaciaires de l'Est lyonnais et du secteur des 4 Vallées n'est connue qu'à partir de cartographies relativement anciennes et de quelques points de suivi quantitatifs, dont la représentativité n'est peut-être plus assurée. En outre, les liens de cet aquifère avec la nappe sous-jacente de la molasse du Miocène sont encore mal connus, alors que des études visant ce dernier aquifère sont en cours. Une mise à jour cartographique de la piézométrie au sein des alluvions fluvio-glaciaires s'avère donc nécessaire sur l'Est lyonnais et le secteur des 4 vallées : cela concerne les aquifères 152c, 152d, 152e dans le Rhône (aquifère fluvio-glaciaire de l'Est lyonnais sur les couloirs de Meyzieu, Décines et Mions-Heyrieux), ainsi que les entités 152o et 152p en Isère (aquifères des alluvions fluvio-glaciaires de la Véga et de la Gère - Vésonne et d'Amballon).

La mission confiée au BRGM consiste en un inventaire des points d'accès à cet aquifère, une campagne d'acquisition des données piézométriques synchrone avec des campagnes de recueil de données sur la molasse (oct-nov. 2008) et la formalisation des informations recueillies (carte, tableau et identification des points).

#### **CHOIX DES POINTS:**

Le choix des points où les mesures piézométriques ont été réalisées s'est appuyé sur :

- ➢ la Banque de données du Sous Sol (BSS) du BRGM, dans laquelle sont reportées différentes informations concernant les forages : leur localisation, leurs dimensions, les coupes géologiques, les coupes techniques, le propriétaire, l'utilisation de l'eau ou encore la date des travaux.
- La base de données de points accessibles aux mesures piézométriques constituée par le bureau d'étude BURGEAP
- La base de données de points accessibles aux mesures piézométriques constituée par le Syndicat des 4 Vallées.

#### **CAMPAGNE PIEZOMETRIQUE:**

Une campagne piézométrique couplée sur l'aquifère des fluvio-glaciaires et l'aquifère de la molasse a été réalisée du 27 octobre au 7 novembre 2008. Cette campagne a permis notamment de vérifier sur le terrain l'état actuel des points, leur accès, leur pertinence pour suivre l'évolution d'un point vue quantitatif de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires sur l'est lyonnais et sur le secteur des 4 Vallées. L'ensemble des informations collectées pour chaque point visité sur le terrain se trouve répertorié dans la base Access© ForageHydroFLGL. Les mesures piézométriques réalisées sur les points accessibles à la mesure « quantité » se trouvent reportés sur l'Illustration 1 et l'Illustration 2.

#### **CARTE PIEZOMETRIQUE:**

La carte piézométrique de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires pour l'automne 2008 est présentée sur l'Illustration 3. L'élaboration de cette carte s'est appuyée sur la campagne de mesure réalisée par le BRGM du 27 octobre au 7 novembre 2008 et tient compte des cartes piézométriques précédemment élaborées sur les couloirs de Meyzieu, Décines et Heyrieux pour mai 2004 par le BURGEAP et sur le secteur des 4 Vallées pour février-mars 2000 par J. Biju-Duval (Annexe). Cette dernière, initialement disponible au format papier, a été digitalisée par le BRGM.

Secteur géographique		Commune	Χ	Υ		Nature du Z	Artésien	Nature de la mesure	Date de mesure	Côte piézo NGF	Aquifère
	06988B0344 06988X0213			2090165 2088537		MNT MNT	NON NON	Relevé Asconit Relevé Asconit	29-oct-08 29-oct-08		
		Colombier-Saugnieu		2083257		MNT	NON	Relevé Asconit	29-oct-08		
Couloir Meyzieu	06995C0271	Genas		2086770		Nivellement	_	Télétransmis	29-oct-08		
	06995C0208 06995X0033			2084985 2089120			NON NON	TélétransmisPonctuel Terrain BRGM	29-oct-08 31-oct-08		
		Saint-Bonnet-de-Mure		2082481			NON	Terrain BRGM	29-oct-08	199.85	inconnu
	07224X0140 06987X0298	Genas		2082501 2087747		MNT Nivellement	NON	Relevé Asconit	29-oct-08 29-oct-08		
Coulour Décines	06987X0298 06988X0047	Villeurbanne Chassieu		2087747		MNT	NON NON	Télétransmis Télétransmis	29-0ct-08		
	07224X0102	Genas		2082640		Nivellement		Télétransmis	29-oct-08	193.09	FLGL
	06988X0214 07223X0130	Chassieu Saint-Priest		2084816 2081055		MNT MNT	NON NON	Terrain BRGM Relevé Asconit	30-oct-08 29-oct-08		
	07223X0130			2077402			NON	Relevé Asconit	29-oct-08		
	06987Q0017			2085720		Nivellement		Télétransmis	29-oct-08		
	06987X0293 06987X0295	Lyon Lyon		2086604 2085326		Nivellement Nivellement		Télétransmis Télétransmis	29-oct-08 29-oct-08		
		Lyon	797289	2084655	174.34	Nivellement		Télétransmis	29-oct-08	167.30	FLGL
				2075150		Nivellement MNT	NON	Télétransmis Télétransmis	28-oct-08		
	07223X0133 07224X0106			2076381 2078920		Nivellement	NON NON	Télétransmis	29-oct-08 30-oct-08		
		Saint-Pierre-de-Chandieu		2079061	223	MNT	NON	Télétransmis	29-oct-08	203.96	
	07224X0143 07231C0252			2075732 2074700		MNT Nivellement	NON NON	Télétransmis Télétransmis	29-oct-08 29-oct-08		
Couloir Heyrieux		Saint-Pierre-de-Chandieu		2077829			NON	Terrain BRGM	30-oct-08		inconnu
				2077499		MNT	NON	Terrain BRGM	30-oct-08		inconnu
		Saint-Pierre-de-Chandieu Saint-Pierre-de-Chandieu		2077479 2077342		MNT MNT	NON NON	Terrain BRGM Terrain BRGM	30-oct-08 30-oct-08		inconnu inconnu
	07224X0194	Toussieu	806461	2076165	238	MNT	NON	Terrain BRGM	30-oct-08	216.75	FLGL
	P52 P54	Marennes Saint-Symphorien-d'Ozon		2073620 2073393		Nivellement Nivellement	NON	Terrain BRGM Terrain BRGM	29-oct-08 29-oct-08		
	P54 P55	Saint-Symphorien-d'Ozon	795740		179.3	Nivellement	NON	Terrain BRGM	29-0ct-08 28-oct-08		
	P60	Saint-Priest	800643	2082705	188.983	Nivellement	NON	Terrain BRGM	29-oct-08	182.19	FLGL
	P62 P61	Saint-Priest Saint-Priest	799765 799883			Nivellement Nivellement	NON NON	Terrain BRGM Terrain BRGM	29-oct-08 29-oct-08		
	P69	Saint-Pierre-de-Chandieu	808366			Nivellement		Terrain BRGM	29-oct-08		inconnu
	06987J0105	Villeurbanne		2090205		MNT	NON	Relevé Asconit	29-oct-08		
	06986B0234 06986P0292	Lyon Lyon	795580 795950	2089040 2087890		Nivellement Nivellement		Télétransmis Télétransmis	29-oct-08 29-oct-08		
	06986R0089	,	795726		169.11	Nivellement	NON	Télétransmis	29-oct-08		
	06986X0172 06986X0173	Lyon	795185	2088230 2086690		Nivellement Nivellement		Télétransmis Télétransmis	29-oct-08 29-oct-08		
	06986X0173			2084936		Nivellement		Télétransmis	29-oct-08		
	06986X0177	Lyon	795578	2083345	162.9	Nivellement	NON	Télétransmis	29-oct-08	159.79	FLGL
	06986X0179 06987A0186	,		2084185 2089749		Nivellement Nivellement		Télétransmis Télétransmis	29-oct-08 05-oct-08		
Alluvions du Rhône	06987J0104			2090284		Nivellement		Télétransmis	29-oct-08	165.59	
	06987M0008			2087380 2089732		Nivellement		Télétransmis	29-oct-08		
	06987X0291 06987X0292			2088577		Nivellement Nivellement		Télétransmis Télétransmis	29-oct-08 29-oct-08		
	06987X0294	Venissieux	796282	2083795	171.72	Nivellement	NON	Télétransmis	29-oct-08	161.89	FLGL
	06987X0296 06988X0216			2088850 2091141		Nivellement MNT	NON NON	Télétransmis Télétransmis	29-oct-08 29-oct-08		
	06988X0217	Décines-Charpieu		2089646			NON	Télétransmis	29-oct-08		
	06995X0274 06988X0246			2092560 2093216		MNT MNT	NON NON	Télétransmis TélétransmisPonctuel	29-oct-08 31-oct-08		FLGL inconnu
	07237X0113			2074155		Nivellement		Télétransmis	29-oct-08		inconnu
	07238X0110	Nivolas-Vermelle	832322	2067777	267.5	Nivellement	NON	TélétransmisPonctuel	27-oct-08	263.56	FLGL
		Saint-Quentin-Fallavier Satolas-et-Bonce		2077307 2078017			NON NON	Terrain BRGM Terrain BRGM	27-oct-08 27-oct-08		inconnu inconnu
Passin de la Paurhra		Satolas-et-Bonce		2081720			NON	Terrain BRGM	29-oct-08		
Bassin de la Bourbre	A-2	La Batie-Montgascon		2067870			NON	Terrain BRGM	27-oct-08		inconnu
	A-3 A-4	Saint-André-le-Gaz Saint-Didier-de-la-Tour		2067068 2066347			NON NON	Terrain BRGM Terrain BRGM	27-oct-08 27-oct-08		inconnu inconnu
	Vega-1	Bonnefamille	814194	2072081	343	MNT	NON	Terrain BRGM	05-oct-08	337.47	inconnu
	Vega-3	Bonnefamille Moidieu-Detourbe		2071298 2058480		MNT Nivellement	NON	Terrain BRGM TélétransmisPonctuel	06-oct-08 29-oct-08		inconnu
		Charantonnay		2064250			NON	Terrain BRGM	27-oct-08		
	07471X0013	Meyssies	811781	2056544	344	MNT	NON	Terrain BRGM	29-oct-08	328.89	FLGL
		Saint-Jean-de-Bournay Saint-Jean-de-Bournay		2058546 2058430			NON NON	Terrain BRGM Terrain BRGM	28-oct-08 28-oct-08		
	Amba-1	Saint-Georges-d'Espéranche	816165	2065205	365	MNT	NON	Terrain BRGM	27-oct-08	356.97	inconnu
	Amba-13	Savas-Mepin		2058457 2059393			NON NON	Terrain BRGM Terrain BRGM	29-oct-08 29-oct-08		inconnu inconnu
	Amba-16 Amba-19	Savas-Mepin Savas-Mepin		2058258		MNT	NON	Terrain BRGM	29-oct-08		inconnu
	Amba-20	Moidieu-Detourbe	811199	2058639	294	MNT	NON	Terrain BRGM	29-oct-08	277.38	inconnu
	Amba-27 Amba-28	Moidieu-Detourbe Moidieu-Detourbe		2060215 2059783		MNT MNT	NON NON	Terrain BRGM Terrain BRGM	30-oct-08 30-oct-08		inconnu inconnu
	Amba-29	Eyzin-Pinet	807516	2058892	248	MNT	NON	Terrain BRGM	29-oct-08	233.61	inconnu
4 1 - 11 5	Amba-30	Moidieu-Detourbe	806971	2059561	241	MNT	NON	Terrain BRGM	29-oct-08	226.93	inconnu
4 Vallées	Amba-31 Amba-36	Moidieu-Detourbe Estrablin		2060377 2059410		MNT MNT	NON NON	Terrain BRGM Terrain BRGM	30-oct-08 29-oct-08		inconnu
	Amba-5	Charantonnay	815358	2063059	349	MNT	NON	Terrain BRGM	27-oct-08	334.68	inconnu
		Beauvoir-de-Marc		2062895			NON	Terrain BRGM	28-oct-08		inconnu
	Vega-14 Vega-18	Oytier-Saint-Oblas Oytier-Saint-Oblas		2068446 2068493		MNT MNT	NON NON	Terrain BRGM Terrain BRGM	06-oct-08 06-oct-08		inconnu inconnu
	Vega-22	Oytier-Saint-Oblas	810912	2067110	271	MNT	NON	Terrain BRGM	30-oct-08	261.22	inconnu
	Vega-35 Vega-4	Oytier-Saint-Oblas Diémoz		2066293 2069167			NON NON	Terrain BRGM Terrain BRGM	30-oct-08 06-oct-08		inconnu inconnu
	Vega-4 Vega-44	Septème		2069167			NON	Terrain BRGM	30-oct-08		inconnu
	Vega-5	Saint-Georges-d'Espéranche	812960	2069962	302	MNT	NON	Terrain BRGM	06-oct-08	262.31	inconnu
	Vega-52 Vega-62	Septème Pont-Evêque		2063998 2063314			NON NON	Terrain BRGM Terrain BRGM	30-oct-08 30-oct-08		inconnu inconnu
				2063514			NON	Terrain BRGM	30-oct-08		inconnu
	Vega-67 Vega-70	Pont-Evêque Pont-Evêque		2062962			NON	Terrain BRGM	30-oct-08		inconnu

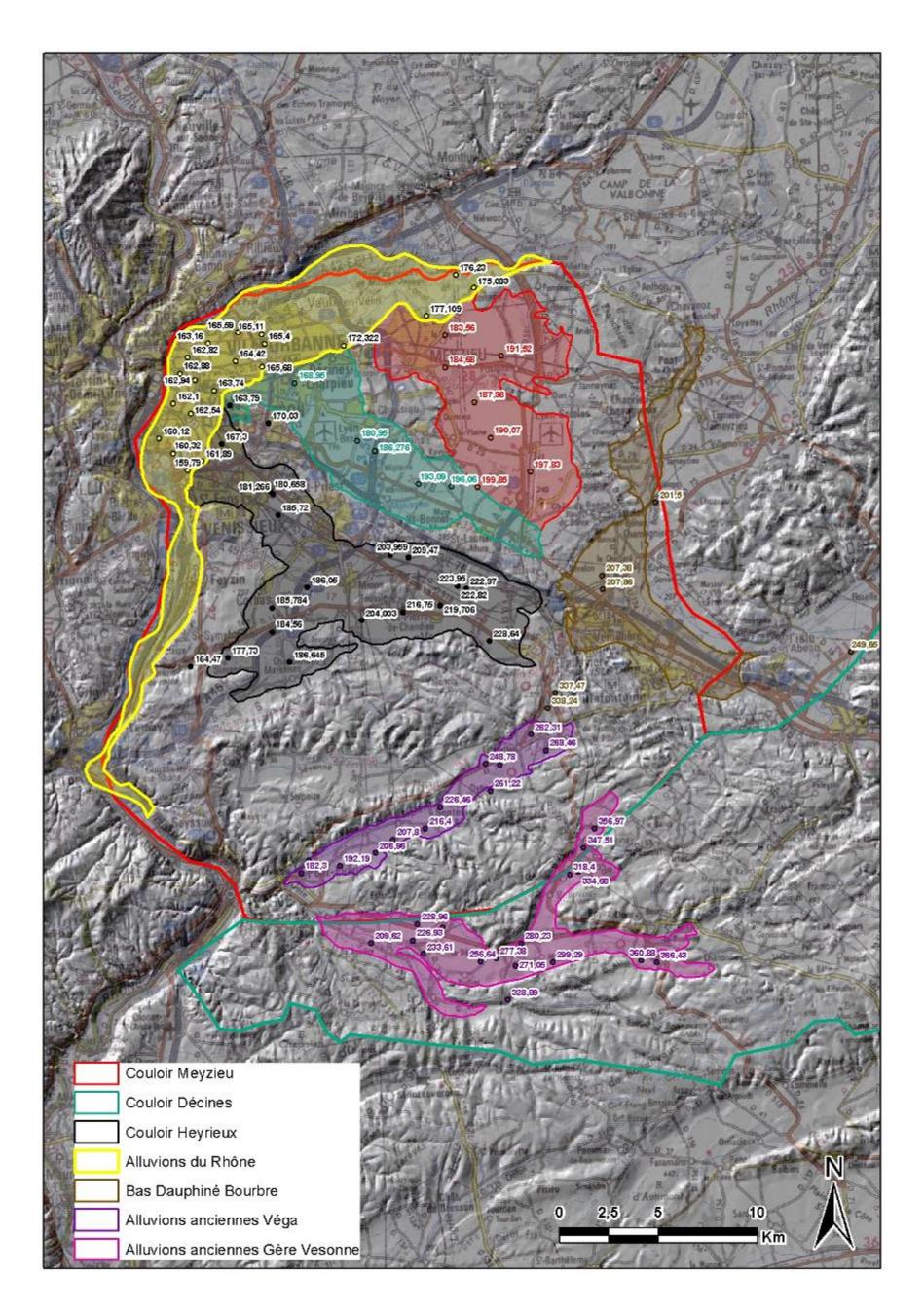


Illustration 2 : Carte des mesures piézométriques réalisées sur l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires du 27 octobre au 7 novembre 2008.

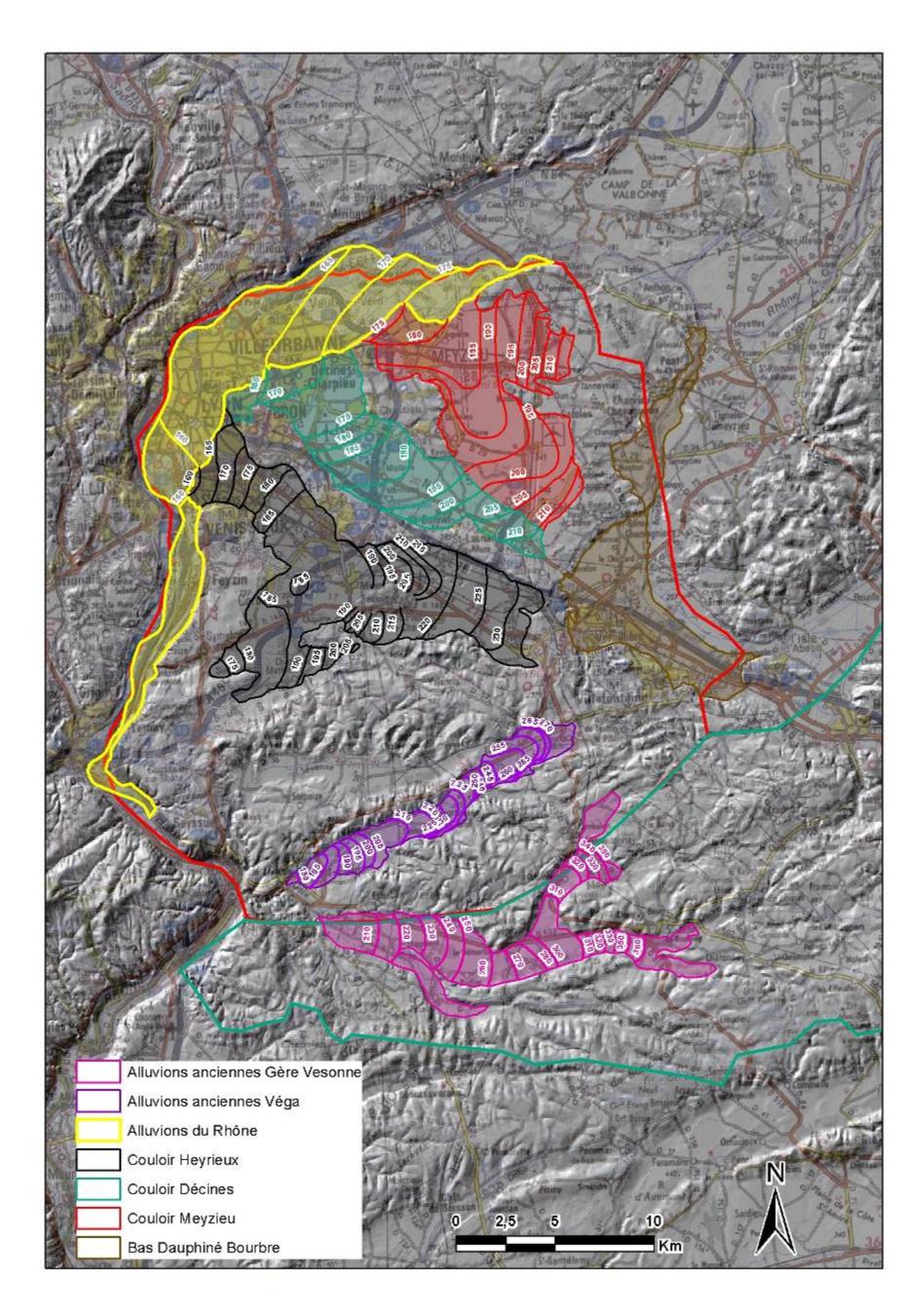
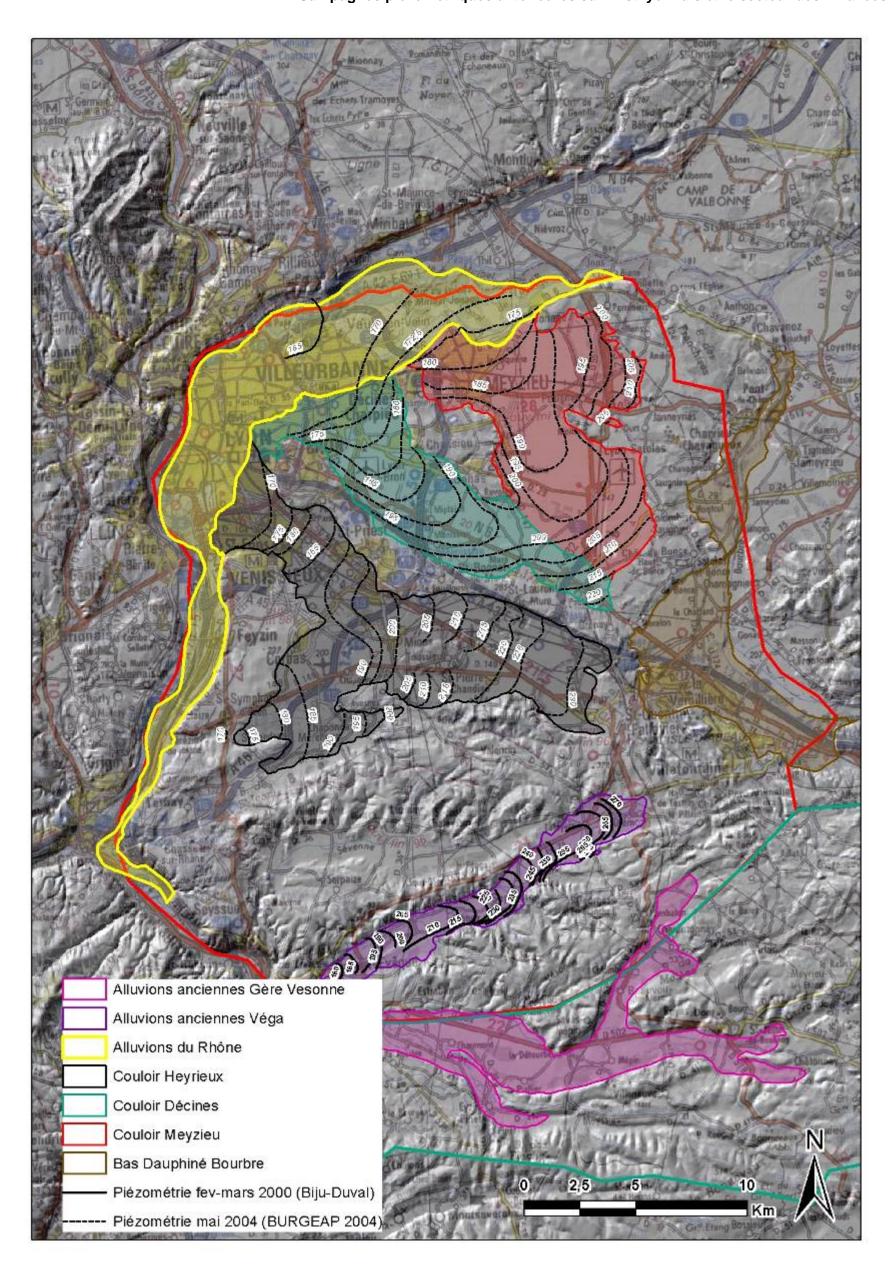


Illustration 3 : Carte piézométrique proposée pour l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires (campagne octobre-novembre 2008).

- Campagnes piézométriques antérieures sur l'Est lyonnais et le secteur des 4 Vallées -



Coupes géologiques et techniques de l'ouvrage à l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires de N° BSS : 06988X0343/Pz1

#### BRGM - BUREAU DE RECHERCHE GEOLOGIQUES ET MINIERES

151 boulevard stalingrad 69626 VILLEURBANNE CEDEX Tel

0 ' '	1		A3 82	11	ż
Coordonnnées	Lambert	н	en	ĸm	:

X: 804,791 Y: 2085,906 Z: 196

#### **CHASSIEU-69**

PZI

#### Travaux réalisé le 26/02/2009

HORS-SOL : - ML 0,21

NIVEAU STATIQUE: 18,29 ML

#### COUPE LITHOLOGIQUE **COUPE TECHNIQUE** 100% Terre végétale De 0 à 01 ML Fermeture par capot acier cadenassé 0,00 ML ou bouche à clefs, bétonné + 30% Gros gravier roulé et concassé 40% Gravier De 01 à 02 ML Bouchon de tête étanche pour PVC Moyen roulé et concassé 30% Sable moyen 30% Gros gravier roulé et concassé 40% Gravier De 02 à 03 ML Moyen roulé et concassé 30% Sable moyen Cimentation d'étanchéité 30% Gros gravier roulé et concassé 40% Gravier De 03 à 04 ML Moyen roulé et concassé 30% Sable moyen 30% Gros gravier roulé et concassé 40% Gravier 2.00 ML De 04 à 05 MI Moyen roulé et concassé 30% Sable moyen 30% Gros gravier roulé et concassé 40% Gravier Bouchon de Sobranite De 05 à 06 ML Moven roulé et concassé 30% Sable moven 3,00 ML 30% Gros gravier roulé et concassé 40% Gravier De 06 à 07 ML Moyen roulé et concassé 30% Sable moyen 30% Gros gravier roulé et concassé 40% Gravier Tubes pleins PVC vissés 112/125 De 07 à 08 ML Moyen roulé et concassé 30% Sable moyen Resistane à l'écrasement : 10 ba 30% Gros gravier roulé et concassé 40% Gravier De 08 à 09 MI Moyen roulé et concassé 30% Sable moyen 30% Gros gravier roulé et concassé 40% Gravier De 09 à 10 ML Moyen roulé et concassé 30% Sable moyen 30% Gros gravier roulé et concassé 40% Gravier De 10 à 11 ML Moven roulé et concassé 30% Sable moven Foration à l'ODEX 140 mm avec tube provisoire de 168,30 mm. 30% Gros gravier roulé et concassé 40% Gravier De 11 à 12 ML Moyen roulé et concassé 30% Sable moyen 30% Gros gravier roulé et concassé 40% Gravier De 12 à 13 ML Moyen roulé et concassé 30% Sable moyen 30% Gros gravier roulé et concassé 40% Gravier De 13 à 14 MI Gravier filtre siliceux lavé, calibré Moyen roulé et concassé 30% Sable moyen à 1.35 mm. 30% Gros gravier roulé et concassé 40% Gravier De 14 à 15 ML Moyen roulé et concassé 30% Sable moyen 22,00 ML 30% Gros gravier roulé et concassé 40% Gravier De 15 à 16 ML Moyen roulé et concassé 30% Sable moyen 30% Gros gravier roulé et concassé 40% Gravier De 16 à 17 ML Moyen roulé et concassé 30% Sable moyen 100% Sable moyen De 17 à 18 ML 100% Sable moyen De 18 à 19 ML Crépines PVC vissés 112/125 mm Ouverture des crépines : 0,50 100% Sable moyen De 19 à 20 ML Résistance à l'écrasement : 10 ba 100% Sable moyen De 20 à 21 ML Débit spécifique : 2,00 m3/h 100% Sable moyen estimatif De 21 à 22 ML 100% Sable moyen De 22 à 23 ML 100% Sable moyen De 23 à 24 ML 25,00 ML 100% Sable moyen Bouchon de Fond vissé. De 24 à 25 ML 100% Sable molassique De 25 à 26 ML 100% Sable molassique De 26 à 27 ML 100% Sable molassique De 27 à 28 ML 100% Sable molassique De 28 à 29 ML

100% Sable molassique

De 29 à 30 ML

Coupes géologiques et techniques de l'ouvrage à l'aquifère de la molasse de N° BSS : 06988C0342/F2

#### Dossier administratif pour la mise en service du nouveau forage de la piscine de Chassieu – N°30196/A

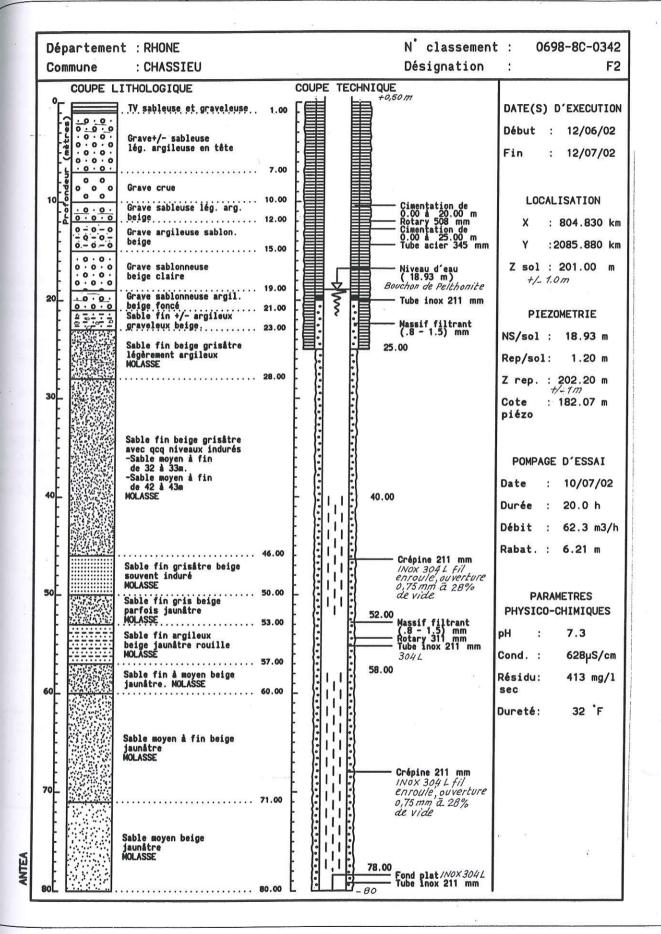


Figure 3
Coupes géologique et technique du nouveau forage de la piscine de Chassieu

Niveaux d'eau mesurés pour l'aquifère de la molasse et des alluvions fluvio-glaciaires lors des essais de pompage sur le site de la piscine de Chassieu

-Voir cd rom-

Modélisation de Hantush à pénétration partielle & élément de théorie

Lors de l'interprétation des essais de pompage, c'est le modèle de Hantush à pénétration partielle qui a été retenu. En effet, ce modèle permet la représentation de l'écoulement transitoire dans un puits incomplet, au sein d'un aquifère homogène et isotrope. Un tel écoulement se caractérise par trois régimes distincts (Figure 1). La première phase d'écoulement est cylindrique, l'eau située autour du massif filtrant est sollicitée (régime A, Figure 1). Puis, l'eau au-dessus et surtout en-dessous du massif filtrant va commencer à être mobilisée, c'est une phase d'écoulement sphérique (régime B, Figure 1). Enfin, tout l'aquifère est sollicité et l'écoulement redevient cylindrique, c'est la troisième phase (régime C, Figure 1).

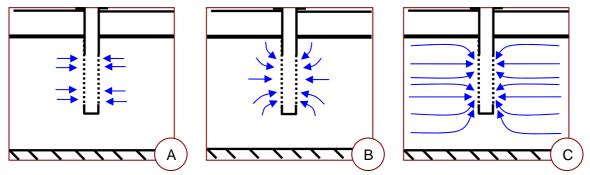


Figure 1 : Les trois régimimes d'écoulement modélisés par Hantush à pénétration partielle

Le modèle de Hantush à pénétration partielle (1962), correspond à une modification du modèle de Theis (1935) représentant un écoulement cylindrique au sein d'un aquifère homogène et isotrope, dans un puits complet.

Lorsque l'écoulement est cylindrique (dérivée du rabattement décrit une droite de pente nulle), la transmissivité de l'aquifère peut être estimée suivant la formule :

$$T = \frac{Q}{4\pi . s'}$$

où s' est la dérivée logarithmique du rabattement en fonction du temps : ds/dlnt.

Q le débit de pompage

### Annexe 9

Modélisation de l'écoulement pour les points d'observation « Ancien Molasse » et « Piézo FLGL », lors de l'essai de pompage sur le site de la piscine de Chassieu

Le modèle de Hantush à pénétration partielle a également été utilisé pour modéliser les écoulements dans les ouvrages d'observation « Ancien molasse » et « Piézo FLGL ». La méthodologie est exactement la même que pour l'étude des écoulements au puits de pompage, sauf que les pertes de charge quadratiques, liées uniquement à l'équipement du puits de pompage, ne sont pas considérées.

#### « Ancien Molasse »:

Le point d'observation dans l'aquifère de la molasse est situé à 43 m du point de pompage.

Les valeurs modélisées sont compatibles avec les valeurs observées seulement au bout de 1000 minutes environ (Figure 1). Avant 1000 minutes, un effet retard est observé (l'eau circule moins vite dans les crépines) Cet effet pourrait être attribué à une obstruction des crépines de l'ouvrage car ce point d'observation est un ancien puits de pompage qui a été abandonné en raison de son ensablement (ANTEA, 2003). Ainsi seules les observations réalisées en fin de pompage ont été exploitées pour caler le modèle. On calcule ensuite la dérivée du rabattement modélisé et on le compare à la dérivée du rabattement mesuré (Figure 2). A partir de la dérivée du rabattement mesuré (Figure 2), on retrouve les quatre mêmes régimes d'écoulement (Ecoulement cylindrique, écoulement sphérique, phénomène de drainance, écoulement cylindrique final) mis en évidence au puits de pompage (point « Nouveau molasse »). Le modèle retenu (Hantush à pénétration partielle) ne permet pas de rendre compte des régimes d'écoulements 1, 2 et 3, seule la modélisation du régime 4 est acceptable pour le point « Ancien molasse ». Pour ce régime, bien que l'asymptote décrite par les valeurs modélisées soit légèrement inférieure à celle des mesures, une valeur de la transmissivité pour l'aquifère de la molasse peut toutefois être estimée (Figure 3). De plus, le calage du modèle permet d'estimer le coefficient d'emmagasinement de l'aquifère de la molasse. La valeur calculée (de l'ordre de 10<sup>-5</sup>) est cohérente avec le caractère captif attendu pour l'aquifère de la molasse.

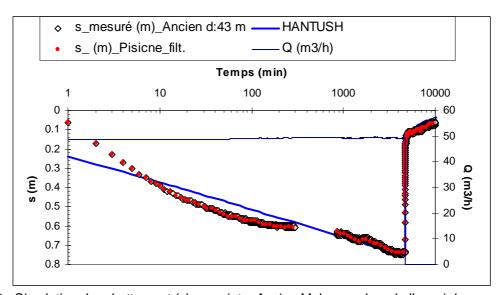


Figure 1 : Simulation du rabattement (s) au point « Ancien Molasse » lors de l'essai de pompage long

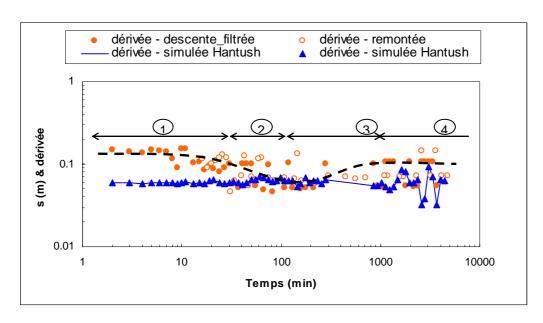


Figure 2 : Dérivée du rabattement (s) mesuré et simulé à l'aide du modèle de Hantush à pénétration partielle au point « Ancien Molasse ».

Interpretation	HANTUSH	Unité
Т	1.80E-02	m2/s
K	1.50E-04	m/s
S	4.50E-05	-
b	120.0	m
Th/Tv	1.00E+00	-
е	1.0	m
k	1.00E-15	m/s
toit crépine puits	20.0	m
bas crépine puits	50.0	m
toit crépine piézo	1.0	m
bas crépine piézo	7.0	m
pdc	0.0	mm
r	43.0	m

Figure 3 : Tableau des paramètres de calage utilisé pour le point « Ancien Molasse »

#### « Piézo FLGL » :

La modélisation des écoulements au « piézo FLGL » a également été calculée avec le modèle de Hantush à pénétration partielle (Figure 4). Cette modélisation est globalement satisfaisante, seules les périodes de forte descente ou remontée de la nappe ne sont pas bien représentées. La dérivée du rabattement mesuré (Figure 5) décrit, là encore, les quatre mêmes régimes d'écoulement mis en évidence au puits de pompage (point « Nouveau molasse »). Comme pour le point « Ancien molasse », la modélisation n'est satisfaisante que pour le régime d'écoulement 4 (Figure 5). Le calage du modèle permet d'estimer un coefficient d'emmagasinement et une valeur de transmissivité cohérente par rapport aux estimations précédentes (Figure 6).

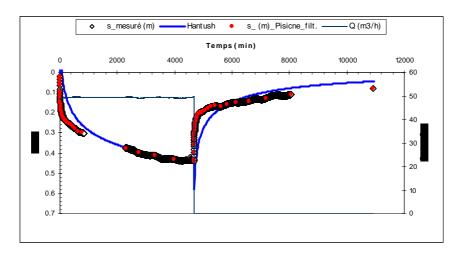


Figure 4 : Simulation du rabattement (s) au point « Piézo FLGL » lors de l'essai de pompage long

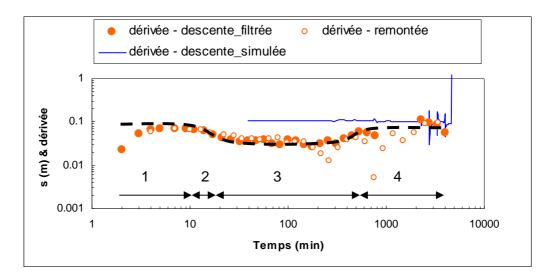


Figure 5 : Dérivée du rabattement (s) mesuré et simulé à l'aide du modèle de Hantush à pénétration partielle au point « Piézo FLGL ».

Interpretation	HANTUSH	
T	9.94E-03	m2/s
K	8.28E-05	m/s
S	1.59E-04	-
b	120.0	m
Th/Tv	1.00E+01	-
е	1.0	m
k	1.00E-15	m/s
toit crépine puits	20.0	m
bas crépine puits	50.0	m
toit crépine piézo	1.0	m
bas crépine piézo	7.0	m
pdc	0.0	mm
r	20.0	m

Figure 6 : Tableau des paramètres de calage utilisé pour le point « Piézo FLGL »

Remarque : le calage des données sur les piézomètres reste délicat car le modèle utilisé est un modèle dit « mono-couche » à pénétration partielle (Hantush) alors qu'en réalité nous sommes en présence d'un aquifère multi-couche pour lequel seule la partie inférieure est captée et de manière partielle. Ainsi pour les piézomètres, seule la partie terminale de l'essai (Régime 4) peut être correctement modélisée.

# **Annexe 10**

NOTE BRGM – Propositions pour la réalisation de la campagne de prélèvement à l'issue du COPIL-2 –

#### **NOTE BRGM**

#### - Propositions pour la réalisation de la phase 2 à l'issue du COPIL-2 -

# 1. Les objectifs de la phase 2 « Acquisition de données sur le fonctionnement de l'aquifère molassique » :

L'objectif de la phase 2 est de donner des éléments de réponse aux 3 questions suivantes concernant l'aquifère de la molasse miocène :

- 1. Quelles sont les **interconnections** entre les niveaux aquifères de la molasse miocène et des alluvions fluvio-glaciaires ?
- 2. Où se trouve la **zone d'alimentation** de la molasse miocène et quelle est l'origine de l'eau ?
- 3. Quelles sont les relations entre les eaux souterraines de l'aquifère de la molasse miocène et les eaux de surface des rivières, en d'autres termes les **relations nappe/rivière**, sur la zone d'étude particulière du bassin versant de l'Ozon ?

#### 2. Les outils de l'approche géochimique :

L'étude de la composition chimique et isotopique de l'eau et des éléments dissous dans les eaux souterraines et les eaux de surface fournit des **informations précieuses concernant** l'histoire de chaque réservoir d'eau. En effet l'eau acquiert au cours de son histoire une composition géochimique fonction de la composition locale des eaux de pluie, des roches avec lesquelles elle interagit (origine naturelle), des pollutions qu'elle intègre (origine anthropique), de ses mélanges potentiels avec d'autres réservoirs d'eau (eaux souterraines, eaux de surface, eaux lacustres, eaux de mer), et de processus bio-géochimiques, on retiendra notamment les phénomènes d'évapo-transpiration et de dénitrification.

La composition chimique et isotopique de l'eau et de certains éléments dissous constitue de **véritables outils**, au sens où ils permettent de tracer l'origine d'une eau et de caractériser son temps de résidence :

- Les isotopes stables de la molécule d'eau : La composition isotopique en H et O des molécules d'eau des eaux souterraines (proportion relative de l'isotope 1 par rapport à l'isotope 2 de l'hydrogène et de l'isotope 18 par rapport à l'isotope 16 de l'oxygène) dépend de la composition isotopique en H et O des eaux de pluie qui l'alimentent, elle-même fonction de la période de recharge, de l'altitude et de la latitude du bassin versant de l'impluvium. En d'autres termes les eaux souterraines alimentées par des eaux de pluies correspondant à des conditions climatologiques différentes des conditions actuelles (notamment sous un climat plus froid) auront une signature isotopique en H et O différente de celle des eaux souterraines alimentées par des eaux de pluie actuelles. Les datations existantes pour les eaux souterraines de la molasse miocène sous couverture dans l'est lyonnais suggèrent que ces eaux souterraines sont probablement vieille de plusieurs centaines d'années (Evin et al.,1980) tandis que la recharge de la molasse miocène à l'affleurement au sud de l'est lyonnais est sub-actuelle. Sous cette condition il est alors envisageable, grâce aux isotopes H et O de la molécule d'eau, de tracer l'origine de l'eau et de fournir des informations permettant de caractériser la zone d'alimentation de l'aquifère miocène.
- ▶ Le Tritium : la mesure de la proportion de l'isotope 3 (³H) de l'élément hydrogène de la molécule d'eau permet d'estimer le temps de transit des eaux dans un aquifère (gamme temporelle de 0 à une soixantaine d'années). C'est un marqueur des masses d'eau contemporaines. En effet, la signature en tritium des eaux souterraines dépend de la signature en tritium des eaux de pluie qui l'alimentent. Or au cours des essais thermonucléaires aériens, pendant la période 1952 − 1963, une production artificielle s'est ajoutée à la production naturelle de tritium dans l'atmosphère, donnant une

signature particulière aux eaux de pluie de cette époque. Depuis 1963, les essais thermonucléaires aériens ont cessé, ainsi la mesure en tritium des eaux souterraines permet de différencier les eaux qui résultent des précipitations sans tritium nucléaire (avant 1952), des eaux de précipitations formées dans une atmosphère contenant du tritium nucléaire (après 1952). Les datations existantes pour les eaux souterraines de la molasse miocène suggèrent que l'âge des eaux peut aller jusqu'à plusieurs centaines d'années (Evin et al., 1980) ainsi l'absence de tritium dans les eaux souterraines de la molasse miocène sous couverture permettrait de confirmer et d'élargir ce résultat de datation et ainsi de mieux comprendre comment s'effectue la recharge de l'aquifère.

- ▶ Les CFC: les composés halogénés (CFC), communément appelés fréons, sont présents à l'état de gaz dissous dans les eaux souterraines et peuvent être utilisés pour évaluer l'âge des eaux. L'émission de ces traceurs gazeux (CFC-11, CFC-12, CFC-113, SF6...) dans l'atmosphère est principalement due à l'utilisation humaine de gaz réfrigérants, propulseurs et solvants. Il existe des chroniques, bien établies, des concentrations de ces gaz dans l'atmosphère en fonction du temps pour plusieurs stations localisées dans les hémisphères nord et sud du globe. La fonction « d'entrée » (eau de pluie) ainsi caractérisée, il est possible de comparer les concentrations en gaz dissous dans les eaux souterraines avec les chroniques de concentration des gaz dans l'atmosphère et d'en déduire la proportion d'eau « ancienne » et d'eau « jeune » alimentant l'aquifère. La gamme de datation couverte par les CFC est identique à celle couverte par le Tritium (de 0 à une soixantaine d'années). Les CFC présentent donc, comme pour le Tritium, un potentiel certain pour caractériser la zone d'alimentation de la molasse miocène et contraindre le temps de résidence de ses eaux.
- Les isotopes du Sr: Le strontium, bien qu'étant un élément présent à l'état de traces dans les eaux souterraines et les eaux de surface, montre des compositions isotopiques <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr (proportion relative de l'isotope 87 par rapport à l'isotope 86 du strontium) particulières suivant le faciès lithologique avec lequel les eaux ont interagit. En d'autres termes l'eau souterraine interagissant avec les horizons aquifères de la molasse miocène est susceptible d'acquérir une composition isotopique en Sr différente de celle de l'eau souterraine interagissant avec les horizons aquifères des alluvions fluvio-glaciaires, ce qui permet le cas échéant de tracer les interconnections entre ces 2 niveaux aquifères. De la même manière les eaux de surface du bassin versant de l'Ozon drainent des horizons lithologiques supplémentaires par rapport aux eaux souterraines de l'aquifère de la molasse sur ce secteur. Ainsi ces 2 réservoirs d'eau peuvent avoir des signatures contrastées qui permettent de tracer les relations nappe/rivière.

#### 3. Stratégie choisie :

L'interprétation des concentrations existantes en éléments dissous pour les aquifères de la molasse miocène et de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires (Suivi qualité du SAGE de l'est lyonnais, thèse de De la Vaissière et de Labat) montre qu'il n'existe pas de différences significatives de composition entre ces 2 niveaux aquifères sur la base des analyses des éléments majeurs et traces. Ce résultat suggère donc que l'acquisition de nouvelles données portant uniquement sur les éléments majeurs et traces des eaux souterraines de l'aquifère de la molasse ne permettra pas de répondre à la première question posée « Quelles sont les **interconnections** entre les 2 niveaux aquifères ? » car l'eau de la molasse et l'eau des alluvions fluvio-glaciaires ne peuvent pas être différentiées. En revanche l'ensemble des outils géochimiques présentés précédemment (isotopes stable de la molécule d'eau, tritium, CFC, isotopes du Sr) sont tout à fait prometteurs pour tracer ces interconnections (les isotopes stables de la molécule d'eau, le tritium et les CFC sont encourageants pour tracer la possible infiltration des eaux

souterraines des alluvions fluvio-glaciaires vers la molasse et les isotopes du Sr sont encourageants pour tracer les échanges d'eau « dans les 2 sens » entre ces 2 niveaux aquifères).

La campagne piézométrique prévue fin octobre 2008 s'intéressera à la fois à l'aquifère de la molasse mais également à l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires avec pour objectifs de :

- documenter spatialement le positionnement relatif des niveaux statiques de ces 2 aquifères et ainsi détecter les zones où l'interconnexion entre ces 2 niveaux aquifères est possible.
- mieux cerner le sens d'écoulement et les relations entre le Bas-Dauphiné et l'est lyonnais en s'intéressant aux 2 compartiments de la molasse miocène (affleurant et sous couverture)

#### Phase 2.1 : Interconnections entre niveaux aquifères

Pour donner des éléments de réponse à la question «Quelles sont les **interconnections** entre les niveaux aquifères de la molasse miocène et des alluvions fluvio-glaciaires ?» il a été proposé dans le cahier des charges de la **convention signée le 18 juin 2008** de réaliser :

- (1) une campagne piézométrique fin octobre 2008 sur la nappe de la molasse.
- (2) l'analyse des éléments majeurs et traces et l'analyse des compositions isotopiques O, Sr et C des échantillons suivants :
  - ➢ 6 échantillons de roches analysés par lessivage ménagé (3 dans la molasse et 3 dans les alluvions fluvio-glaciaires),
  - ➤ 6 échantillons d'eau (3 correspondant à de l'eau ayant interagit avec la molasse et 3 avec les alluvions fluvio-glaciaires),
  - 2 échantillons d'eau correspondant à un fluide « mixte » (prélèvement d'eau souterraines en situation de prélèvement dans l'aquifère molassique d'une part et dans la formation fluvio-glaciaire d'autre part).

Suite à la discussion tenue sur la phase 2.1 lors du **comité de pilotage du 30 septembre 2008**, il a été décidé de :

- (1) Coupler la campagne piézométrique de fin octobre 2008 sur la molasse avec une campagne piézométrique synchrone sur la nappe des alluvions fluvio-glaciaires. Ces campagnes auront pour objectif d'identifier spatialement les zones où l'interaction entre ces 2 niveaux est susceptible d'être importante).
- (2) Reconsidérer le choix des échantillons et des analyses à réaliser pour répondre à la question des interactions entre les 2 niveaux aquifères. Compte tenu du fait que les concentrations existantes ni les concentrations en éléments majeurs et ni les concentrations en éléments traces ne permettent, seules, de distinguer les eaux souterraines de la molasse et de celles des alluvions fluvio-glaciaires, d'autres traceurs géochimiques doivent être considérés. Les isotopes du Sr, outil géochimique éprouvé, s'annoncent prometteurs dans notre cas d'étude car les horizons géologiques de la molasse et des alluvions fluvio-glaciaires sont susceptibles d'avoir acquis des signatures isotopiques en Sr contrastées issues de la dynamique de mise en place des dépôts. Tenant compte des positions exprimées lors du COPIL-2 (abandon de l'analyse d'échantillons de roches par lessivage ménagé et souhait de réorienter l'approche géochimique sur une analyse surfacique des interconnections entre les 2 niveaux aquifères plutôt que de caractériser ces interactions de manière ponctuelle) et du budget assigné dans la convention signée le 18 juin 2008 pour la phase 2.1., il est proposé d'analyser les concentrations en éléments majeurs et

traces et les compositions isotopiques H, O et Sr (abandon des analyses de <sup>13</sup>C en l'absence d'analyses de roches) sur les échantillons d'eaux souterraines suivants :

- ➤ 10 échantillons d'eau souterraines prélevés dans l'aquifère de la molasse au sens strict. Les points de prélèvements de ces échantillons seront choisis à l'issue de la campagne piézométrique de fin octobre 2008 de manière à les répartir entre des points où l'interaction est supposée faible et des points où l'interaction est supposée majeure.
- ➢ 6 échantillons d'eau souterraines prélevés dans l'aquifère des alluvions fluvioglaciaires au sens strict. Les points de prélèvements de ces échantillons seront choisis à l'issue de la campagne piézométrique de fin octobre 2008 de manière à les répartir entre des points où l'interaction est supposée faible et des points où l'interaction est supposée majeure.

#### Phase 2.2 : Zone d'alimentation de la nappe, origine de l'eau

Pour donner des éléments de réponse à la question «Où se trouve la **zone d'alimentation** de la molasse miocène et quelle est l'origine de l'eau ? » il a été proposé dans le cahier des charges de la convention signée le 18 juin 2008 de :

- Réaliser une campagne piézométrique de la nappe de la molasse fin octobre 2008 permettant de mieux cerner le sens d'écoulement et les relations entre le Bas-Dauphiné et l'Est lyonnais.
- > Analyser 6 échantillons d'eaux souterraines répartis sur les 2 compartiments de la molasse (Bas-Dauphiné et l'Est lyonnais) pour les concentrations en éléments majeurs et traces, les isotopes H et O de l'eau, le Tritium et les CFC (soit en tout 6\*5=30 analyses). La localisation exacte des 6 prélèvements d'eaux souterraines de la molasse sera choisie à l'issue de la campagne piézométrique de fin octobre 2008 parmi les forages captant l'aquifère de la molasse au sens strict. Pour les points de prélèvement correspondant à l'aquifère de la molasse sous couverture (Est lyonnais) on choisira parmi les forages ayant la plus faible probabilité d'être en relation avec l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires afin de se placer volontairement sur un cas le plus simple possible. Pour les points de prélèvement correspondant à l'aquifère de la molasse affleurante du Bas-Dauphiné, on cherchera à caractériser les eaux susceptibles d'être connectées avec l'Est lyonnais via le seuil de Vienne-Chamagnieu à partir des premiers résultats du modèle géologique 3D et de la campagne de géophysique électrique. Les signatures attendues pour les eaux souterraines de la molasse sous couverture d'alluvions sont susceptibles d'être marquées par de l'eau ancienne avec des valeurs faibles en Tritium, en composition isotopique H et O de l'eau et en CFC. A l'inverse, les eaux souterraines de la molasse du Bas-Dauphiné sont susceptibles d'avoir des signatures marquées par des apports récents d'eau de pluie : des valeurs de CFC et de Tritium élevées et des compositions isotopiques en H et O de l'eau correspondant au signal actuel des eaux de pluie. Si il existe un mélange et un temps de parcours rapide des eaux de la molasse affleurante du Bas-Dauphiné vers celles des eaux de la molasse sous couverture de l'Est lyonnais, les eaux de l'Est lyonnais devraient intégrer un signal actuel pour les traceurs Tritium, isotopes H et O de l'eau et CFC.

#### Phase 2.3 : Relations nappe-rivière : étude géochimique

Pour donner des éléments de réponse à la question «Quelles sont les **relations nappe/rivière**, sur la zone d'étude particulière du bassin versant de l'Ozon ?» il a été proposé dans le cahier des charges de la convention signée le 18 juin 2008 de réaliser 4 prélèvements d'eau de rivières sur le bassin de l'Ozon pour analyser pour les concentrations

en éléments majeurs et traces, les compositions isotopiques en O de la molécule d'eau et les compositions isotopiques en Sr (soit 3\*4=12 analyses). Les points de prélèvement seront choisis à partir de la connaissance antérieure acquise par le SAGE de l'est lyonnais sur cette zone (secteurs où les connections nappe-rivières sont susceptibles d'être importantes en termes de quantité et/ou avoir un impact significatif sur la qualité des eaux). La signature géochimique des échantillons d'eau de rivière sera comparée avec la signature géochimique des eaux souterraines de la molasse échantillonnées dans le compartiment Bas-Dauphiné.

#### 3. Bilan des analyses à réaliser :

L'ensemble des analyses à réaliser se trouve reporté dans le tableau ci-dessous :

Phase 2.1. Interconnections entre niveaux aquifères							
	Eléments majeurs et traces	Isotopes H	Isotopes O	Isotopes Sr**			
10 échantillons d'eaux souterraines "molasse"	10	10	10	10			
6 échantillons d'eaux souterraines "FLGL"	6	6	6	6			

Phase 2.2. Zone d'alimentation							
	Eléments majeurs et traces	Isotopes H	Isotopes O	Tritium	CFC		
3 échantillons d'eaux souterraines "molasse" dans la partie sous couverture (Est lyonnais)	3	3	3	3	3		
3 échantillons d'eaux souterraines "molasse" dans la partie affleurante (Bas Dauphiné)	3	3	3	3	3		

Phase 2.3. Relations nappe-rivière			
	Eléments majeurs	Isotopos O	Isotopes Sr**
	et traces	isotopes O	isotopes 3i
4 échantillons d'eaux de surface sur le bassin		1	1
de l'Ozon	4	4	4

<sup>\*(</sup>CO3, HCO3-)(1), CI-, SO4=, NO3-, NO2-, F-, PO4-, Ca, Mg, Na, K, NH4+, SiO2, Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn (pour les éléments traces, analyse pour des gammes de concentrations >0,5 µg/l par ICP-AES ou ICP-MS)

Au total les eaux souterraines provenant de l'aquifère de la molasse au sens strict seront analysées pour les éléments majeurs et traces et les isotopes stables H et O de la molécule d'eau sur 16 échantillons ; pour le strontium sur 10 échantillons et pour le tritium et les CFC sur 6 échantillons. Les eaux souterraines de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires seront caractérisées pour les concentrations en éléments majeurs et traces, les isotopes stables H et O de la molécule d'eau et les isotopes du Sr sur 6 échantillons. Les eaux de surface du bassin de l'Ozon seront caractérisées pour les concentrations en éléments majeurs et traces, les isotopes stables O de la molécule d'eau et les isotopes du Sr sur 4 échantillons.

#### 4. Nouvelle proposition pour la tranche optionnelle :

Suite à la discussion lors du **comité de pilotage du 30 septembre 2008**, le comité de pilotage souhaite disposer d'une estimation des coûts concernant la tranche optionnelle de la phase 2.1 :

la réalisation de 2 piézomètres : l'un au fluvio-glaciaire sur site 3 (Bonduelle), l'un à la molasse sur site 1 (Bois-du-Chêne), ce qui permettrait d'obtenir 2 doublets pour réaliser 2 pompages d'essai (un dans la molasse et un dans les alluvions fluvio-glaciaires). Le coût d'une telle mise en œuvre s'élève à 25 000 € HT, elle comprend la réalisation de ces 2 piézomètres, le nivellement et l'équipement de dispositif de mesure des niveaux piézométriques pour tous les points considérés par les 2 pompages d'essai (hors réalisation du pompage d'essai). Le BRGM émet des réserves quant à la mise en évidence d'une alimentation de l'aquifère de la molasse par les alluvions fluvio-glaciaires susjacent par un pompage d'essai dans l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires. En effet bien que les chroniques piézométriques existantes sur le site 1 Bois-du-

<sup>\*\*</sup>Cette analyse comprend la mesure des concentrations en Rb et Sr des eaux en infra-traces (0,1 à 2 μg/l)

Chêne suggèrent un soutien de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires par l'aquifère de la molasse, le rabattement observé sur l'aquifère de la molasse lors d'un pompage d'essai de quelques jours risque d'être très faible voire non mesurable. Ceci est du à la forte différence de perméabilité attendue entre les alluvions et la molasse (d'un facteur de l'ordre de 100 à priori). Le BRGM propose donc de se concentrer sur un seul site et un unique pompage d'essai sur l'aquifère de la molasse (site 3, Bonduelle) comme le prévoit le cahier des charges initial de la convention. Enfin la réalisation de ces 2 piézomètres (un dans le fluvio-glaciaire et un dans la molasse) implique un accord au préalable entre le SAGE et les propriétaires concernés pour la réalisation de ces ouvrages.

une formule « alternative » intégrant quelques analyses supplémentaires dans la tranche optionnelle. Cette formule ne peut être chiffrée à l'heure actuelle car le nombre d'ouvrages captant la molasse au sens-strict et pour lesquels un prélèvement d'eau est possible ne peut être évalué avant la campagne piézométrique prévue fin octobre 2008.

La campagne piézométrique de fin octobre permettra de fournir des informations complémentaires nécessaires à la réalisation de cette tranche optionnelle.

# **Annexe 11**

NOTE BRGM – Propositions pour la réalisation de la campagne de prélèvement à l'issue du COPIL-3 –

#### **NOTE BRGM**

#### Propositions pour la réalisation de la campagne de prélèvement d'eau de la phase 2, à l'issue du COPIL-3 –

#### 1. Analyses à réaliser (Rappel note issue COPIL-2)

Phase 2.1 Interconnections entre niveaux aquifòr

L'ensemble des analyses à réaliser, proposées à l'issue du COPIL-2 se trouve reporté dans le tableau ci-dessous :

	Eléments majeurs et traces	Isotopes H	Isotopes O	Isotopes Sr**		
10 échantillons d'eaux souterraines "molasse"	10	10	10	10		
6 échantillons d'eaux souterraines "FLGL"	6	6	6	6		
Phase 2.2. Zone d'alimentation						
	Eléments majeurs et traces	Isotopes H	Isotopes O		Tritium	CFC
3 échantillons d'eaux souterraines "molasse" dans la partie sous couverture (Est lyonnais)	3	3	3		3	3
3 échantillons d'eaux souterraines "molasse" dans la partie affleurante (Bas Dauphiné)	3	3	3		3	3

Phase 2.3. Relations nappe-riviere				
	Eléments majeurs et traces	Isotopes H	Isotopes O	Isotopes Sr**
4 échantillons d'eaux de surface sur le bassin de l'Ozon	4	4	4	4

	Eléments majeurs et traces	Isotopes H	Isotopes O	Isotopes Sr**	Tritium	CFC
Nombre total d'échantillons par type d'analyse	26	26	26	20	6	6

<sup>\*(</sup>CO3, HCO3-)(1), Cl-, SO4=, NO3-, NO2-, F-, PO4-, Ca, Mg, Na, K, NH4+, SiO2, Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn (pour les éléments traces, analyse pour des gammes de concentrations >0,5 µg/l par ICP-AES ou ICP-MS)

#### 2. Stratégie d'échantillonnage proposée

Les campagnes de terrain d'octobre-novembre 2008 et de février-mars 2009 ont permis d'établir la liste des ouvrages où le prélèvement d'eau à l'aquifère de la molasse au sens strict est possible. Les points retenus satisfont les critères suivant :

- L'ouvrage doit présenter une coupe géologique et une coupe technique qui permet de rattacher ce point, sans ambigüité, à l'aquifère de la molasse au sens strict (crépine captant uniquement l'eau de l'aquifère de la molasse). Seul l'ouvrage « M. Danon » a été retenu sans qu'il ne dispose d'une coupe technique car cet ouvrage est situé sur la molasse affleurante.
- L'ouvrage n'a pas été remblayé et est en **bon état d'utilisation** (Les ouvrages antérieurs aux années 70 n'ont pas été retenus car, en l'absence d'utilisation et d'entretien, ces ouvrages sont généralement en très mauvais état).
- Dans la mesure du possible, les ouvrages en activité ont été privilégiés. Néanmoins 4 ouvrages captant la molasse (« Carrière Perrier », « Piézo molasse », « Morellon » et « Reconnaissance Roche ») ne sont pas exploités et ne disposent pas de dispositif de pompage. Une attention toute particulière sera portée sur ces ouvrages lors de la campagne de prélèvement d'avril 2009 afin d'assurer le renouvellement complet de l'eau de l'ouvrage avant prélèvement (certains ouvrages devront ainsi être pompés pendant une journée).

La liste des points retenus pour la campagne de prélèvement d'eau d'avril 2009 se trouve reportée sur l'Illustration 1. Le choix des points de prélèvement se trouve détaillé ci-après.

<sup>\*\*</sup>Cette analyse comprend la mesure des concentrations en Rb et Sr des eaux en infra-traces (0,1 à 2 μg/l)

(1) Evin et al. (1980)	Nombre total d'e				. •							iL			07236X0020 Nexans			07224X0144 Piéz	06988C0342 Pisci	nt	07224A0158 Pisci				07224A0145 Bond			07223L0004 Carr	Indice
	Nombre total d'échantillons par type d'analyse		Ozon à Combe de Corneille	Inverse à Beyron	Rau d'Ozon à l'aval de Pulives	Ozon à Tuilières	AEP Azieu	AEP Chassieu	AEP Corbas	AEP Morellon	AEP 4 Chênes	Piézo FLGL Piscine Chassieu	Chez M. Danon	Reconnaissance Roche	ans	llon	al	Piézo molasse	Piscine de Chassieu-pompage longue durée	Parc Bonnel-Servient	Piscine Clairon	Parc du Château	Piscine de Chassieu-statique	Piscine de Bron	Bonduelle	ia	xpo	Carrière Perrier	Désignation
							FLGL	FLGL	FLGL	FLGL	FLGL	FLGL	MIOC	MIOC	MIOC	MIOC	MIOC	MIOC	MIOC	MIOC	MIOC	MIOC	MIOC	MIOC	MIOC	MIOC	MIOC	MIOC	Aquifere sollicite
			Ozon	Inverse	Rau d'Ozon	Ozon																							Rivière
							Faible	Faible(3)	Faible(3)	Forte	Forte	Forte				Forte(2)	Forte(3)(4)	Forte(4)	Forte	Moyenne(3)	Moyenne(3)	Moyenne	Moyenne(3)	Moyenne(3)	Faible(3)	Faible	Faible(3)	Faible(1)	Inteconnection supposée
													partie molasse affleurante	partie molasse affleurante	partie molasse affleurante											partie molasse sous couverture	partie molasse sous couverture	partie molasse sous couverture	Zone alimentation
			?	?	?	?																							Relation nappe/riviere
	26		OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	Eléments majeurs et traces
	26		OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	lsotopes H
	26		OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	Isotopes O
	20		IUO	OUI	INO	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI				OUI	OUI	OUI	OUI				OUI	INO	OUI	OUI	OUI	OUI	lsotopes Sr**
	6	-											OUI	OUI	OUIO											OUI (	) INO	OUI	Tritium C
	6						OUI	OUI	OUI				OUI	OUI	OUI		OUI	OUI							OUI	OUI	OUI	OUI	Eléments najeurs et Isotopes H Isotopes O Isotopes Sr** Tritium CFC Réseau SAGE traces
		!	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	NON	?	?	?	OUI	OUI	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	?	OUI	OUI	Données "qualité" antérieures disponibles

Illustration 1 : Liste des points retenus pour la campagne de prélèvement d'eau d'avril 2009

#### Phase 2.1 : Interconnexions entre niveaux aquifères

Rappel (Note issue COPIL-2): « Les échantillons d'eaux souterraines prélevés dans l'aquifère de la molasse au sens strict et l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires au sens strict seront respectivement au nombre de 10 et 6. Les points de prélèvements de ces échantillons seront choisis à l'issue de la campagne piézométrique de fin octobre 2008 de manière à les répartir entre des points où l'interaction est supposée faible et des points où l'interaction est supposée majeure. »

#### Choix des échantillons pour l'aquifère de la molasse (Illustration 2) :

Les points où l'**interaction** avec l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires est **supposée faible** sont au nombre de 4 :

- Le choix du point « Carrière Perrier » s'appuie sur les analyses de C<sup>14</sup> effectuées par Evin et al. (1980) qui mettent en évidence une origine très ancienne des eaux et l'absence de contribution significative d'eau provenant de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires pour ce point.
- ➤ Le choix du point « **Eurexpo** » s'appuie sur le rapport ANTEA (2005) qui suggère, à partir de l'interprétation de concentrations en éléments majeurs, que ces eaux ne semblent pas être connectées avec les eaux des alluvions fluvio-glaciaires. De plus les analyses de C<sup>14</sup> sur ce point, également effectuées par ANTEA (2005), proposent un âge d'environ 9 000 ans.
- Le choix du point « **Véolia** » s'appuie sur les analyses de C<sup>14</sup> effectuée par Evin et al. (1980) sur le point de N° BSS: 07224X0113 au lieu dit « La Quinonière ». Ces analyses ont montré une origine ancienne des eaux et l'absence de contribution significative d'eau provenant de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires. Le point « Véolia », captant l'aquifère de la molasse au sens strict et situé à moins de 2 km du lieu dit « La Quinonière », pourrait présenter une origine des eaux similaire.
- Le choix du point « **Bonduelle** » s'appuie sur le rapport ANTEA (2005) qui suggère, à partir de l'interprétation de concentrations en éléments majeurs, que ces eaux ne semblent pas être connectées de manière significative avec les eaux des alluvions fluvio-glaciaires.

Les points où l'**interaction** avec l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires est **supposée moyenne** sont au nombre de 5 :

- Les points « Piscine de Bron», « Piscine de Chassieu-statique» (correspondant aux eaux du forage de la piscine de Chassieu prélevées hors essai de pompage), «Piscine Clairon» et «Parc Bonnel-Servient» ont été choisis car selon le rapport ANTEA (2005), les analyses en éléments majeurs suggèrent que les eaux de ces ouvrages correspondent à un mélange entre l'aquifère de la molasse et des alluvions fluvio-glaciaires.
- Le point « Parc du Château», présente l'intérêt d'être un ouvrage en exploitation situé au centre de notre zone d'étude. En l'absence de données « qualité » préalables, nous supposerons que, pour ce point dans l'aquifère de la molasse, l'interaction avec l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires est moyenne.

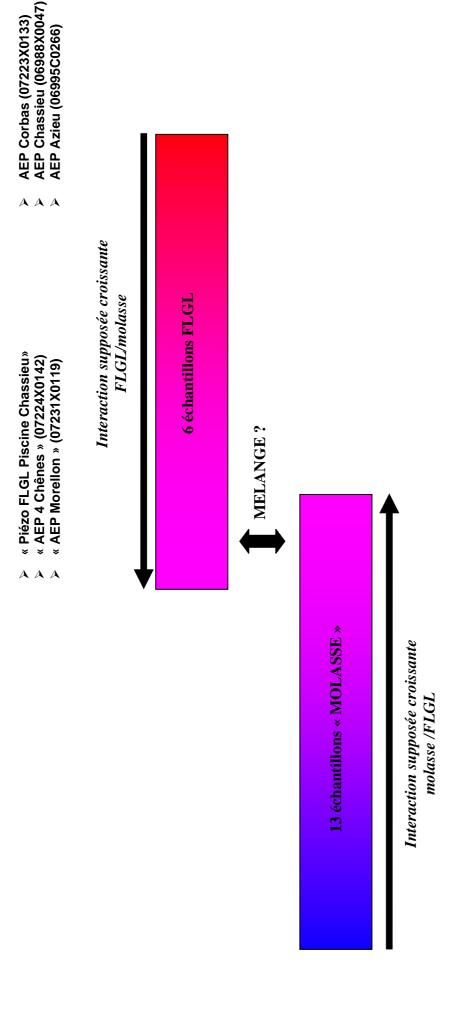
Les points où l'**interaction** avec l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires est **supposée forte** sont au nombre de 4 :

- Le point « Piscine de Chassieu-pompage longue durée» correspond à un échantillon prélevé pendant l'essai de pompage « long » (3 jours) effectué par le BRGM sur le site de la piscine de Chassieu afin de mettre en évidence d'éventuelles interconnexions entre l'aquifère de la molasse et des alluvions fluvio-glaciaire. Par ailleurs la coupe géologique et la mesure des niveaux piézométriques sur le site de la piscine de Chassieu suggèrent que les 2 aquifères pourraient être en continuité hydraulique.
- Le point « Piézo molasse» présente tout d'abord l'intérêt de disposer d'un suivi « qualité » depuis 2005 dans le cadre du réseau SAGE. Par ailleurs, lors du COPIL-3, le Grand Lyon a suggéré que sur le site de « 4 Chênes », auquel appartient le point « Piézo molasse», les interconnexions entre l'aquifère de la molasse et des alluvions fluvioglaciaires pourraient être importantes.
- Le point « Mérial» présente, lui aussi, l'intérêt de disposer d'un suivi « qualité » depuis 2005 dans le cadre du réseau SAGE. De plus les rapports ANTEA (2005) et TAUW (2008) suggèrent, à partir de l'interprétation de concentrations en éléments majeurs, que le point « Mérial » pourrait intégrer de manière significative de l'eau provenant des alluvions fluvio-glaciaires.
- Le point « Morellon» correspond à un forage de reconnaissance à l'aquifère de la molasse, effectué fin des années 90 avec l'espoir de trouver une eau de meilleure qualité que l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires exploité localement pour l'AEP. La recherche a été infructueuse en raison des fortes concentrations en nitrates observées pour le point « Morellon» (DDAF, 2003). Ce résultat suggère que, dans ce secteur, une interaction entre les deux niveaux aquifères semble probable.

#### Choix des échantillons pour l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires (Illustration 3) :

Les points choisis pour représenter l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires, où l'interaction avec l'aquifère de la molasse est supposée faible, sont au nombre de 3 : « AEP Corbas », « AEP Chassieu », et « AEP Azieu ». Ces 3 points appartiennent au réseau de suivi du SAGE et sont répartis de manière à couvrir les 3 couloirs fluvio-glaciaires de l'est lyonnais, respectivement les couloirs Heyrieux, Décines et Meyzieu.

3 points dans l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires ont été choisis de manière à constituer des « pôles de référence » pour 3 points de l'aquifère de la molasse où l'interaction avec l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaire est supposée forte. Le point « Piézo FLGL Piscine Chassieu » correspond à l'eau du nouveau piézomètre aux alluvions fluvio-glaciaires mis en place sur le site de la piscine de Chassieu. Ce point permet donc de caractériser l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires à proximité immédiate du point « Piscine de Chassieu » dans l'aquifère de la molasse. Le point « AEP 4 Chênes » permet de caractériser l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires à proximité du point « Piézo molasse » dans l'aquifère de la molasse sur le site de « 4 Chênes ». Enfin le point « AEP Morellon » permet de caractériser l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires à proximité du point « Morellon » dans l'aquifère de la molasse. Par ailleurs les points « AEP 4 Chênes » et « AEP Morellon » présentent l'avantage de faire l'objet d'un suivi « qualité » dans le cadre de la réglementation « eau potable ».



« Morellon » (07231X0281) « Mérial» (07223X0134) AAAA « Piscine de Bron » (06987S0032 ) « Bonduelle » (07224A0145) « Véolia » (07224D0167)

« Piscine de Chassieu-pompage longue durée » (06988C0342)

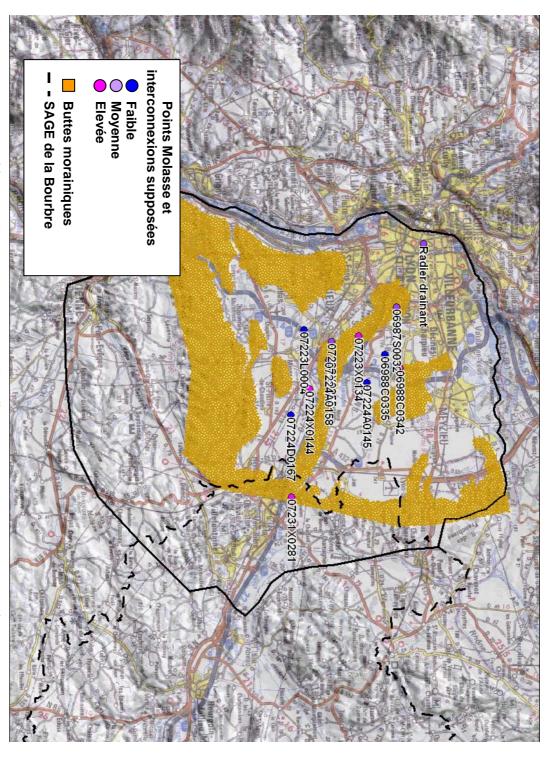
« Piézo molasse » (07224X0144)

« Carrière Perrier » (07223L0004)

« Eurexpo » (06988C0335)

AAAA

- « Piscine de Chassieu-statique » (06988C0342) « Parc du Château» (07223X0255) AAAAA
  - « Piscine Clairon » (07224A0158)
- « Parc Bonnel-Servient » (Radier drainant)



aquifères. Le fond de carte représente notamment la limites d'affleurement des formations morainiques et la limite du SAGE de la Bourbre (ANTEA, 2005). Illustration 2 : Localisation des points de prélèvement d'eaux souterraines dans l'aquifère de la molasse choisis pour caractériser les interconnexions entre niveaux

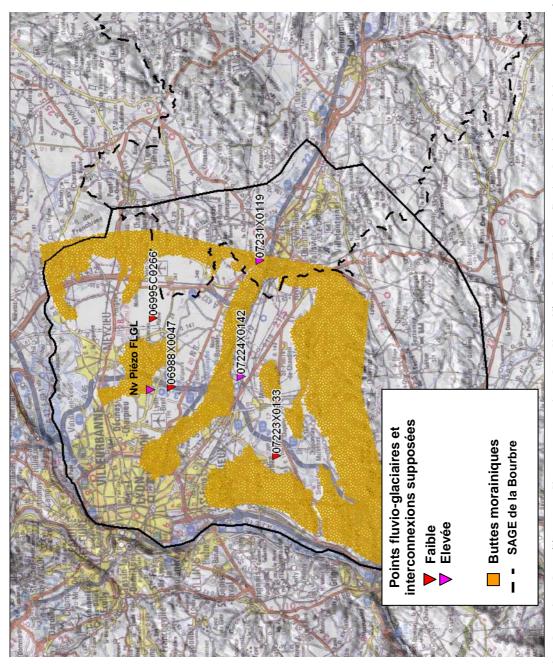


Illustration 3 : Localisation des points de prélèvement d'eaux souterraines dans l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires choisis pour caractériser les interconnexions entre niveaux aquifères. Le fond de carte représente notamment la limites d'affleurement des formations morainiques et la limite du SAGE de la Bourbre (ANTEA, 2005).

#### Phase 2.2 : Zone d'alimentation de la nappe, origine de l'eau

Rappel (Note issue COPIL-2): « Analyser 6 échantillons d'eaux souterraines répartis sur les 2 compartiments de la molasse (Bas-Dauphiné et l'Est Iyonnais). Pour les points de prélèvement correspondant à l'aquifère de la molasse sous couverture (Est Iyonnais) on choisira parmi les forages ayant la plus faible probabilité d'être en relation avec l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires afin de se placer volontairement sur un cas le plus simple possible. Pour les points de prélèvement correspondant à l'aquifère de la molasse sub-affleurante du Bas-Dauphiné, on cherchera à caractériser les eaux susceptibles d'être connectées avec l'Est Iyonnais via le seuil de Vienne-Chamagnieu à partir des premiers résultats du modèle géologique 3D et de la campagne de géophysique électrique. »

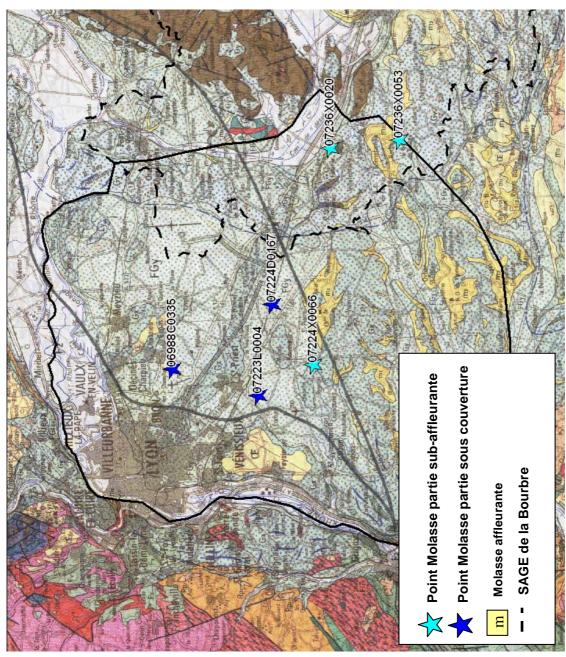
#### Choix des échantillons pour l'aquifère de la molasse partie sous couverture (Illustration 4) :

Il a été précédemment argumenté que pour les points « Carrière Perrier », « Eurexpo » et « Véolia », l'interaction avec l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires est supposée faible. C'est pour cette raison que ces points ont été choisis afin de caractériser les eaux de l'aquifère de la molasse sous couverture.

#### Choix des échantillons pour l'aquifère de la molasse partie sub-affleurante (Illustration 4) :

Les points « Nexans» et « Reconnaissance Roche» ont été choisis car ils permettent de caractériser l'aquifère de la molasse sur la partie amont du bassin versant de la Bourbre qui pourrait être potentiellement en communication avec l'aquifère de la molasse sous couverture (est lyonnais) via le seuil de Vienne-Chamagnieu.

Le point **«Chez M. Danon»** a été choisi car il correspond à l'aquifère de la molasse sur sa partie sub-affleurante au nord du seuil de Vienne-Chamagnieu. De plus ce point permet d'avoir un point de référence pour caractériser l'aquifère de la molasse sur le bassin versant de l'Ozon.



molasse. Le fond de carte représentant la carte géologique au 250 000 ème (source BRGM) comprend notamment la limite d'extension des affleurements de molasse miocène et la limite du SAGE de la Bourbre. Illustration 4: Localisation des points de prélèvement d'eaux souterraines choisis pour caractériser la zone d'alimentation et l'origine de l'eau de la nappe de la

#### Phase 2.3 : Relations nappe-rivière sur le bassin versant de l'Ozon :

Rappel (Note issue COPIL-2) : « Les points de prélèvement seront choisis à partir de la connaissance antérieure acquise par le SAGE de l'est lyonnais sur cette zone (secteurs où les connections napperivières sont susceptibles d'être importantes en termes de quantité et/ou avoir un impact significatif sur la qualité des eaux). La signature géochimique des échantillons d'eau de rivière sera comparée avec la signature géochimique des eaux souterraines de la molasse échantillonnées dans le compartiment Bas-Dauphiné. »

Les points retenus sont les 4 points suivis annuellement par le SAGE de l'est lyonnais afin de pouvoir inscrire nos futurs résultats dans le cadre de chroniques existantes (Illustration 5) :

- Ozon à Tuilières (Point N°1 du SAGE)
- Rau d'Ozon à l'aval de Pulives (Point N°2 du SAGE)
- Inverse à Beyron (Point N°3 du SAGE)
- Ozon à Combe de Corneille (Point N°4 du SAGE)

Le point **«Chez M. Danon»** dans l'aquifère de la molasse, situé globalement au centre du bassin versant de l'Ozon constituera le point de référence pour caractériser les éventuelles relations nappe/rivières.

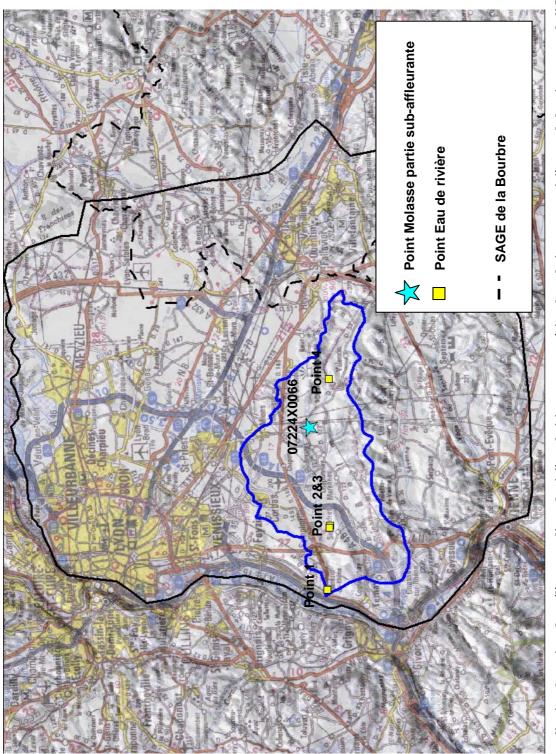


Illustration 5: Localisation des points de prélèvement d'eau de rivière choisis pour caractériser les relations nappe-rivière sur le bassin versant de l'Ozon. Le fond de carte comprend notamment la localisation du point de prélèvement de l'aquifère de la molasse «Chez M. Danon» et l'emprise du bassin versant de l'Ozon.

#### Bibliographie:

**ANTEA** (2005). Connaissance de la molasse miocène dans l'Est lyonnais. Rapport n° 35539/B, 23p., 11 Figures, 8 Annexes.

**DDAF** (2003). Commune de Grenay – Réalisation d'un forage de reconnaissance dans la molasse. JBD/JM. 3 p.

**Evin J., Mongereau N., Rousselot D.** (1980). Utilisation du radiocarbone pour une meilleure connaissance de l'alimentation des nappes aquifères. Origine des eaux souterraines du couloir fluvioglaciaire de Meyzieu. TSM L'EAU, 193-199.

**TAUW** (2008). Suivi qualitatif et quantitatif du réseau SAGE des aquifères de l'est lyonnais – Juin 2005 à Juin 2008. Rapport d'intervention – R/6026739-V02. 72 p.

# **Annexe 12**

# Données géochimiques acquises lors de la campagne d'avril 2009

					Inteconnection			Stratification			Paramètres	NS	NGF	Temps	Volume pompage	T° pH	Eh	Eh(Nhe) C	ond(25°)	Cond(T)	O <sub>2</sub> Dét	it Ca	Mg	Na	к	CI	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
N°	Indice	Désignation	Type Prelev	Rivière	supposée	Zone alimentation	p <sup>3</sup>	MIOC	Opérateur	DATE	Unités	m	m	pompage	L	°C	mV	mV	uS/cm	uS/cm	% L/m	n ma/L	ma/L	ma/l	ma/L	ma/L	ma/L	ma/L	ma/L	mg/L	ma/l	ma/L ma/L
					• •						LQ								p-00	p. c. c	70 =	0.5					0.5	0.5	0.01			0.5 0.1
Campagne	BRGM avril 200	09																														
MIOC-1	07223L0004	Carrière Perrier	MIOC		Moyenne	sous couverture1	0.1	3	AB	21-avr-09		12.08	194.065	2H		15.2 7.29	-13.2	200	730	NM	40.0	IM 121.5	7.6	6 24.5	5 2.2	2 48	114	39.5	0.03	215	< LQ	12.3 < LQ
MIOC-2	06988C0335	Eurexpo	MIOC		Faible	sous couverture1	1	14	MB + MC	21-avr-09		/	178.15	1	/	15.3 7.42	55.0	269	374	NM	13.3	IM 59.5	26.6	6 7.	7 1.4	1.2	5.6	< LQ	< LQ	326	< LQ	22.6 < LQ
MIOC-3	07224D0167	Véolia	MIOC		Moyenne	sous couverture1	0.1	2	MB + MC	23-avr-09		25.24	218.76	11min	212.9	14.1 7.09	184.0	408	573	NM	90.1	9.4 141.3	3 2.8	17.4	4 0.8	3 26.1	56.4	44.4	< LQ	325	< LQ	13.2 < LQ
MIOC-4	07224A0145	Bonduelle	MIOC		Faible		0.8	11	MB + MC	21-avr-09		19.69	190.31	1	/	16.1 7.60	154.0	367	326	NM	38.3	IM 53.	1 22.6	6 4.5	5 1.1	0.9	5.5	6.6	< LQ	266	< LQ	18.7 < LQ
MIOC-5	06987S0032	Piscine de Bron	MIOC		Moyenne		0.9	13	MB + MC	22-avr-09		/	172.98	/	/	14.8 7.38	153.0	367	460	NM	93.2	IM 89.4	14.9	9 7.6	6 1.2	11.5	18.6	27.6	< LQ	295	< LQ	18.6 < LQ
MIOC-6	06988C0342	Piscine de Chassieu-statique	MIOC		Moyenne		0.5	8	MB + MC	21-avr-09			183.97	1	/	19.0 7.04	154.0	365	526	NM	92.6	IM 128.8	6.4	4 6.3	3 1	19.7	25.7	52.8	< LQ	322	< LQ	17 < LQ
MIOC-7	07223X0255	Parc du Château	MIOC		Moyenne		0.3	7	MB + MC	22-avr-09		/		1	/	14.5 6.97	207.0	421	644	NM	63.9	IM 140.8	6.5	5 16.9	9 2.5	39	55.5	43.4	< LQ	319	< LQ	16.4 < LQ
MIOC-8	07224A0158	Piscine Clairon	MIOC		Moyenne		0.7	10	MB + MC	22-avr-09		/		1	/	15.7 7.35	170.0	383	428	NM	89.9	M 98.5	5 8.9	9 5.2	2 0.9	15.1	15.3	41.7	< LQ	270	< LQ	17.3 < LQ
MIOC-9	Radier drainant	Parc Bonnel-Servient	MIOC		Faible		NM	15	MB + MC	22-avr-09		/		1	/	17.7 7.29	182.0	394	514	666	93.4	IM 93.4	18.4	4 20.4	4 4.2	27.4	68.5	16.4	< LQ	286	< LQ	13.2 < LQ
MIOC-10	06988C0342	Piscine de Chassieu-pompage I	MIOC		Moyenne		0.5	9	MC	30-avr-09				77H50	3735230	14.2 7.2	NM	NM	823	NM	NM 82	1.8 127.6	6.5	5 6.5	5 1.5	19.3	25.4	54.7	< LQ	317	< LQ	16.9 < LQ
MIOC-11	07224X0144	Piézo molasse	MIOC		Faible		0.2	4	MB + MC	23-avr-09		18.29	207.41	17min	364.3	14.6 7.76	128.0	342	327	NM	10.9 2	1.4 43.8	15.4	4 22.	7 7.2	0.9	3.4	< LQ	< LQ	280	< LQ	20.6 < LQ
MIOC-12	07223X0134	Mérial	MIOC		Moyenne		0.8	12	MB + MC	22-avr-09		26.03	185.97	/	/	13.2 7.22	180.0	395	436	451	91.5	IM 104.	1 5.8	5.6	6 0.8	13.4	20	46.5	< LQ	268	< LQ	16.9 < LQ
MIOC-13	07231X0281	Morellon	MIOC		Moyenne		0.5	8	AB	21-avr-09		9.1	214.42	2H30		14.2 7.14	149.8	363	559	NM	92.0	IM 100.7	7 9.3	3 5.8	8 1.5	17.4	18.2	51.6	< LQ	267	< LQ	15.7 < LQ
MIOC-14	07236X0020	Nexans	MIOC		Aucune	sub-affleurant <sup>2</sup>	0.3	5	MB + MC	20-avr-09		/	212.13	/	/	14.1 7.19	71.0	285	490	347	18.1	IM 108.7	7 15.4	4 7.3	3 1.3	15.2	37.6	5.5	< LQ	347	< LQ	11.8 1.1
MIOC-15	07228X0027	AEP Septème	MIOC		Aucune	sub-affleurant <sup>2</sup>	0.3	6	AB	22-avr-09		5.03	258.07			12.0 7.34	282.1	498	449	688	0.00	.08 MI	5 11.8	8 2.9	9 0.8	3 4	12.1	13.4	< LQ	276	< LQ	12.9 < LQ
MIOC-16	07224X0066	Chez M. Danon	MIOC		Aucune	sub-affleurant2	NM	1	AB	23-avr-09		12.9	212.6			13.2 7.17	92.9	308	869	NM	0.88	IM 179.6	5.3	3 8.6	6 0.9	29.6	32.8	61.9	< LQ	437	< LQ	15.9 0.2
FLGL-1	06988X0343	Piézo FLGL Piscine Chassieu	FLGL		Faible				MB + MC	22-avr-09		18.53		13min	260	15.0 7.06	187.0	401	600	NM	82.4	20 143.6	6 5	5 18.	1 1.9	22.7	86.3	39.4	0.02	323	< LQ	14.4 < LQ
FLGL-2	07224X0142	AEP 4 Chênes	FLGL		Forte				MB + MC	23-avr-09				/	/	14.1 7.18	183.0	397	488	545	0.88	IM 111.4	1 12.1	1 5.7	7 1.6	12.7	23.5	36.1	< LQ	325	< LQ	14.7 < LQ
FLGL-3	07231X0119	AEP Morellon	FLGL		Forte				AB	21-avr-09		12.6				13.9 7.12	485.6	700	679	NM	0.88	IM 117.5	10.7	7	7 1.3	19.8	23.9	46.7	< LQ	322	< LQ	14.1 < LQ
FLGL-4	07223X0133	AEP Corbas	FLGL		Forte				MB + MC	23-avr-09				1	/	14.1 7.12	210.0	424	562	NM	82.4	IM 125.7	7 11.4	4 14.9	9 2.5	25.1	37.4	34.9	< LQ	358	< LQ	13.6 < LQ
FLGL-5	06988X0047	AEP Chassieu	FLGL		Faible				MB + MC	21-avr-09				1	/	13.8 7.15	114.0	329	504	NM	89.9	IM 122.5	5 4.9	9 8	8 1.4	18.2	22.1	49.7	< LQ	310	< LQ	12.8 < LQ
FLGL-6	06995C0266	AEP Azieu	FLGL		Forte				MB + MC	21-avr-09				/	/	13.8 7.17	155.0	370	497	517	8.00	IM 110.1	1 13.8	8 4.9	9 1.1	13.8	18.3	60	< LQ	312	< LQ	15 < LQ
Riv-1	Rivière-1	Ozon à Tuilières	R	Ozon					AB	22-avr-09						14.3 8.11	34.4	249	639	514 1	04.0	IM 113.8	3 14	4 11.3	3 1.3	21.1	29.4	22.3	0.11	296	< LQ	13.8 < LQ
Riv-2	Rivière-2	Rau d'Ozon à l'aval de Pulives	R	Rau d'Ozon					AB	22-avr-09						14.6 8.04	70.5	285	632	500 1	12.0	IM 113.9	12.9	9 10.7	7 1.2	21.3	26.9	24.9	0.1	298	< LQ	11.1 < LQ
Riv-3	Rivière-3	Ozon à Beyron	R	Inverse					AB	22-avr-09						13.7 7.7	LUL.U	417	625	470	93.0	IM 111.5	5 14.4	4 9.9	9.0	17.2	26.3	18.7	0.06	357	< LQ	15 < LQ
Riv-4	Rivière-4	Ozon à Combe de Corneille	R	Ozon					AB	22-avr-09						13.1 8.19	197.0	412	595	NM 1	01.0	IM 100.8	5.4	4 23.9	9 3	37.4	20.7	20.1	0.6	294	< LQ	9.4 1.3
Campagne	AERMC juillet	2009																														
MIOC-1bis	07223L0004	Carriere Perrier	MIOC			Forte			Agence de l	02-juil-09		12.31	NM	NM	NM	15.3 7.08	7.0	NC	NC	650	1 MN	IM NA	N/	A NA	A NA	NA NA	NA	NA	NA	229	NA	NA NA
MIOC-2bis	06988C0335	Eurexpo	MIOC			Faible			Agence de l	02-juil-09		/	NM	NM	NM	21.5 7.34	-50.0	NC	NC	492	1 MN	IM NA	N/	A NA	A NA	NA NA	NA	NA	NA	290	NA	NA NA
MIOC-3bis	07224D0167	Veolia	MIOC			Forte			Agence de l	03-juil-09		/	NM	MM	NM	1 14.9 7	224.0	NC	NC	772	1 MN	IM NA	N/	A NA	A NA	NA NA	NA	NA	NA	299	NA	NA NA
MIOC-9bis	Radier drainant	Parking Bonnel-Servient	MIOC			Faible			Agence de l	02-juil-09		/	NM	NM	NM	18.1 7.08	224.0	NC	NC	683	1 MN	IM NA	N/	A NA	A NA	NA NA	NA	NA	NA	255	NA	NA NA
MIOC-17	Radier drainant	Parking Atrium P6	MIOC			Forte			Agence de l	02-juil-09		/	NM	NM	NM	1 18.3 7	226.0	NC	NC	746	1 MM	IM 118	3 13.2	2 20.4	4 2.9	30.4	49.4	27.4	< LQ	294	< LQ	13.4 < LQ
MIOC-18	Radier drainant	Parking Hotel de ville	MIOC			Forte			Agence de l	02-juil-09		/	NM	NM	NM	16.8 7.15	181.0	NC	NC	617	1 MN	IM 95	5 17.4	4 11.8	8 1.5	5 20	32.2	32.3	< LQ	316	< LQ	14 < LQ
MIOC-19	06995X0041	Forage Satolas	MIOC			Forte			Agence de l	03-juil-09		/	NM	NM	NM	1 13.4 7.03	182.0	NC	NC	686	1 MM	IM 129	6.4	4 (	6 1.1	1 21.9	18.6	59	< LQ	275	< LQ	13.3 < LQ
MIOC-20	07237X0116	Maubec	MIOC			Aucune			Agence de l	03-juil-09		/	NM	NM	NM	1 13.9 7.04	512.0	NC	NC	607	I MN	IM 122	2 4.8	8 4	4 0.9	14.8	29.8	7.2	< LQ	292	< LQ	11.2 < LQ

NM : non mesuré
NA : non analysé
NC : non calculé
<LQ : valeur inférieure à la limite de quantification reportée sur la 3ème ligne du tableau

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> partie où les horizons de la molasse se trouve sous couverture

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> partie où les horizons de la molasse se trouve sub-affleurants

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> proportion p d'aquifère captée par rapport à l'épaisseur er du réservoir molassique suivant l'équation suivante p = e<sub>c</sub> / e<sub>n</sub> avec e<sub>c</sub> l'épaisseur de formation molassique captée par l'ouvrage considéré

Miles   Delignation   Type Plank   Proper   Pr		1	1		1			1 1					1					- 1							T								$\overline{}$	
Property	No.	Indias	Décianation	Type Broley	Divière	Inteconnection	Zone elimentation	_3		Onárotour	DATE	Paramètres	Li	Be	В	F	Al	Cr	Со	Ni	Cu Z	Zn /	As Se	Be	Ag	Cd	Ва	Pb	Fe	Mn	Rb S	r Σ·	+ Σ-	NICB TDS
Company Service   Company Se	N	muice	Designation	Type Freiev	Riviere	supposée	Zone annientation	b.	MIOC	Operateur	DATE	Unités	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L μ	ıg/L	μg/L μ	g/L μ	g/L μg/l	. μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L μg	/L med	/L meq/L	% mg/L
MOC.   Mogree   MoC.   Mogre							<u> </u>	<u> </u>				LQ	2	0.02	1	100	2	2	0.2	1	0.6	2 (	0.1 0.5	0.05	0.02	0.05	1	0.2	20	0.5	0.1 1		$\bot$	$oldsymbol{oldsymbol{\sqcup}}$
MOC.   Figle   Moc.						1	1 1						_	_	-		-					_			_				-	-			—	$\overline{}$
MIGC-3 PSYSTAMPH   Mode   Mode						- /		0.1	3	7.0			2.9	9 < LQ			10.0	< LQ	, _ ~	124	< LQ						20.0	< LQ	240	00.0	0.0			
MINC-S   Bottomba   MINC   Farba   0.0   11   Mark   2-leared   1.0   6.0								1	14				20	) < LQ			14.5	< LQ	< LQ		0.9	2.1					34.5	< LQ	< LQ	42.6	0.0 01			
MICC   Department   Departmen						-,	sous couverture	4	2					< LQ	56.6		14.2	< LQ	0.2		0.6	< LQ		****	< LQ	< LQ	12.1	< LQ	< LQ	< LQ				
Misses   M								0.0	- ''	_				9 < LQ	8.4		9.8	< LQ	, _ ~		2.6	4.4			< LQ	< LQ	7.9	< LQ	< LQ	< LQ				
MICC		06987S0032	Piscine de Bron			Moyenne		0.0	13	_	22-avr-09		10.3	3 < LQ			12	16.6	< LQ	< LQ	1 - 4	3.3	,		0.11	< LQ	20.4	< LQ	< LQ	< LQ			0.00	1110 10111
MOC-9 Registerated Plant Beneficiaries Plant B						- /		0.0	8				2.9	9 < LQ		< LQ	11.4	< LQ	< LQ	1.2	0.0	12.0	1 - 4		< LQ	< LQ	15.8	0.3	< LQ	< LQ	0.2			
MOC-12 Pages destroyed Period of Consistent Configuration   Pages   Pa						Moyenne		4.4	7				4.1	1 < LQ	29.7	100	10.1	< LQ	< LQ	< LQ	0.9				< LQ	< LQ	25.8	< LQ	< LQ	< LQ				
MOC-10   0388CD342   Pigene de Chestele-pompage   MOC   Moyeme   0.5   9   MC   S. 2 et 0   13.4 et 0   4.0   6.5   5.4   22.1   0.13   NM   et 0   4.0   4.0   4.0   4.0   5.5   4.0   3.4   0.0   4.0   3.0   0.0   5.0   7.4224   7.20   5886   1.56   5754   57	MIOC-8	07224A0158	Piscine Clairon			Moyenne		0.7	10	MB + MC	22-avr-09		5.	1 < LQ	7.7	< LQ	11.3	< LQ	124	< LQ	0.6	6.4	0.17		< LQ	< LQ	14.3	< LQ	< LQ	3.5	0.3 384	1.7 5	894 5702	1.66 472.9
MOC-12   0722A/0734   Merian   MICC   Faible   0.2   4   19 + MC   2-9-PG   5.8   6.0   2.2   2.1   0.1   4.0   6.0   6.0   6.0   1.0   1.0   6.0   1.0   1.0   1.0   6.0   1.	MIOC-9	Radier draina	ant Parc Bonnel-Servient			Faible			15		22-avr-09		11.4	4 < LQ	90.8	< LQ	14.6	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	١	IM	< LQ	< LQ	72.7	0.4	< LQ	1.6	1.5 592	2.9 7	167 7002	1.17 547.9
MIGO-13 D732M0738 Medial MIGO Moyeme D. 0.5 12 M8 + MC 22av-00 MGC-14 D732M0728 More Migo-15 D732M0728 More Migo-16 D732M0728 More Migo-1	MIOC-10	06988C0342	Piscine de Chassieu-pompage l			Moyenne		0.5	9	1410	30-avr-09			0.03	13.8	< LQ	13.4	< LQ	< LQ	5.5	4.8	22.1	0.13 N	IM	< LQ	< LQ	15.4	0.3	< LQ	0.6	0.7 422	2.4 7.	220 6986	1.65 575.4
MOC-13 7231X0291   Moreton   MOC   Moyenne   Moyenne   MoC   Moyenne   Moyenne   MoC   Moyenne   Moyenne   Moyenne   MoC   Moyenne   Moy	MIOC-11	07224X0144	Piézo molasse	MIOC		Faible		0.2	4	MB + MC	23-avr-09		25.8	< LQ	22.2	< LQ	13	< LQ	< LQ	< LQ	0.7	2.6	0.1 N	IM	< LQ	< LQ	128.3	0.2	< LQ	32.2	7.3 112	21 4	623 454	0.90 394.0
MICC   Augus   Sub-afflexant   0.3   S   MB - MC   Augus   Sub-afflexant   0.3   S   MB - MC   Augus   Sub-afflexant   0.3   S   MB - MC   Augus   MICC   Augus   Sub-afflexant   0.3   S   MB - MC   Augus	MIOC-12	07223X0134	Mérial	MIOC		Moyenne		0.8	12	MB + MC	22-avr-09		2.8	3 < LQ	5.9	100	14.1	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	١	IM	< LQ	< LQ	17	< LQ		< LQ	0.2 304	1.5 5	933 5798	1.16 481.1
MICC-16   7229/20086   Care   Perfect   MICC-16   7229/20086   Care   Perfect   MICC-16   7229/20086   Care   Perfect   MICC-16   7229/20086   Care   Perfect   MICC-16   MICC	MIOC-13	07231X0281	Morellon	MIOC		Moyenne		0.5	8	AB	21-avr-09		4.4	4 < LQ	15.1	< LQ	16	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0.16 N	IM	< LQ	< LQ	21.9	0.5	< LQ	1.3	< LQ 400	0.5 6	078 5939	1.16 487.2
MOC-16   072400066   072400066   072400066   072400666   072400666   072400666   072400666   072400666   072400666   072400666   072400666   072400666   072400666   072400666   072400666   072400666   0724006666   0724006666   0724006666   0724006666   0724006666   07240066666   07240066666   072400666666   072400666666   0724006666666   0724006666666   07240066666666	MIOC-14	07236X0020	Nexans	MIOC		Aucune	sub-affleurant <sup>2</sup>	0.3	5	MB + MC	20-avr-09		7.4	4 < LQ	10.8	< LQ	11.8	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	2.3	0.17 N	IM	< LQ	< LQ	4.5	< LQ	90	10.1	2.4 327	7.5 7	040 680	1.68 550.9
FLGL-2 07223X0112 AEP 4Chênes FLGL Fable	MIOC-15	07228X0027	AEP Septème	MIOC		Aucune	sub-affleurant <sup>2</sup>	0.3	6	AB	22-avr-09		4.9	< LQ	5	< LQ	23.2	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0.21 N	IM	< LQ	< LQ	2.7	< LQ	< LQ	< LQ	0.1 402	2.8 5	133 4967	1.70 414.4
FLGL-2 07224X0142 AEP 4 Chênes FLGL Forte	MIOC-16	07224X0066	Chez M. Danon	MIOC		Aucune	sub-affleurant <sup>2</sup>	NM	1	AB	23-avr-09		2.8	< LQ	6.7	< LQ	19	< LQ	< LQ	< LQ	0.7	4.4	0.31 N	IM	< LQ	< LQ	29.5	< LQ	< LQ	0.9	0.2 536	3.1 9	791 945	1.76 771.8
FLGL: 4 0723X0133 AEP Corbas FLGL Forte	FLGL-1	06988X0343	Piézo FLGL Piscine Chassieu	FLGL		Faible				MB + MC	22-avr-09		2.8	3 < LQ	179.3	< LQ	16.3	< LQ	< LQ	< LQ	0.7	3.9	0.36	IM	< LQ	< LQ	33.2	0.3	< LQ	1.7	0.4 473	3.3 8	409 8198	3 1.27 654.4
FLGL 9723X0133 AFP Cohass FLGL Forte 984 MB + MC 23-sur-09	FLGL-2	07224X0142	AEP 4 Chênes	FLGL		Forte				MB + MC	23-avr-09		6.	1 < LQ	14.8	< LQ	10	< LQ	< LQ	< LQ	3.5	5.9	0.2 N	IM	< LQ	< LQ	19.7	0.4	< LQ	< LQ	0.1 467	7.3 6	841 658	1.88 542.8
FLGL-5 6988X007 AEP Chassieu FLGL Faible MB + MC 21-avr-09	FLGL-3	07231X0119	AEP Morellon	FLGL		Forte				AB	21-avr-09		5.6	6 < LQ	16	< LQ	13.2	< LQ	< LQ	< LQ	4.4	15.8	0.2 N	IM	0.06	< LQ	25	0.7	< LQ	< LQ	0.1 435	5.9 7	079 6919	1.14 563.0
FLGL 6 6995C0266 AEP Azieu FLGL 7 Forte MB+MC 21-avr-09 5.6 < LQ 8.4 < LQ 11.3 < LQ < LQ 0.7 3.1 0.22 NM < LQ < LQ 0.3 636 6868 6690 1.32 549.0    Riv-1 Rivière-1 Ozon à Tuilières R Ozon S Tuilières R Ozon MB+MC 21-avr-09 5.6 < LQ 21.0 < LQ 1.0 < LQ 0.0     AB 22-avr-09 7.7 < LQ 26.4 < LQ 1.0 < LQ 0.0     AB 22-avr-09 7.7 < LQ 26.4 < LQ 1.0 < LQ 0.0     AB 22-avr-09 7.7 < LQ 26.5 < LQ 2.7 < LQ < LQ 0.0     AB 22-avr-09 7.7 < LQ 2.0 < LQ 0.0     AB 22-avr-09 7.7 < LQ 2.0 < LQ 0.0     AB 22-avr-09 7.7 < LQ 2.0 < LQ 0.0     AB 22-avr-09 7.8 < LQ 2.0 < LQ 0.0     AB 22-avr-09 7.8 < LQ 2.0 < LQ 0.0     AB 22-avr-09 7.8 < LQ 2.0 < LQ 0.0     AB 22-avr-09 7.8 < LQ 2.0 < LQ 0.0     AB 22-avr-09 7.8 < LQ 2.0     AB 22-avr-09 7.8     AB 2	FLGL-4	07223X0133	AEP Corbas	FLGL		Forte				MB + MC	23-avr-09		6.4	4 < LQ	46	< LQ	11.9	< LQ	< LQ	< LQ	2.6	3.2	0.18 N	IM	< LQ	< LQ	32.3	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ 541	1.2 7	919 773	1.20 623.5
Riv-1 Rivière-1 Czon à Tuilières R Ozon 5 Tuilière R Ozon à Tuilière R Ozon 5 Tuilière R Ozon 6 T	FLGL-5	06988X0047	AEP Chassieu	FLGL		Faible				MB + MC	21-avr-09		2.6	6 < LQ	31.3	< LQ	11.7	< LQ	< LQ	< LQ	1.4		0.18 N	IM	< LQ	< LQ	36	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ 450	0.5 6	897 669!	1.48 549.6
Riv-2 Rivière-2 Rau d'Ozon à l'aval de Pulives R Rau d'Ozon à l'aval de Pulives R Rau d'Ozon à l'aval de Pulives R Rau d'Ozon à Con à Beyron Riv-3 Rivière-3 Ozon à Beyron R Inverse Data Ra 122-avr-09 Riv-4 Rivière-4 Ozon à Combe de Comeille R NM	FLGL-6	06995C0266	AEP Azieu	FLGL		Forte				MB + MC	21-avr-09		5.6	6 < LQ	8.4	< LQ	11.3	< LQ	< LQ	< LQ	0.7	3.1	0.22 N	IM	< LQ	< LQ	22.6	< LQ	< LQ	< LQ	0.3 63	6 6	868 6690	1.32 549.0
Riv-3 Rivière-3 Ozon à Beyron R Inverse Dzon à Combe de Comeille R Ozon à NA	Riv-1	Rivière-1	Ozon à Tuilières	R	Ozon					AB	22-avr-09		7.	7 < LQ	26.4	< LQ	19.6	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0.87 N	IM	< LQ	< LQ	30.8	< LQ	< LQ	23.4	0.3 507	7.9 7	353 626	7.97 523.1
Riv-4 Rivière-4 Ozon à Combe de Corneille R Ozon	Riv-2	Rivière-2	Rau d'Ozon à l'aval de Pulives	R	Rau d'Ozon					AB	22-avr-09		6.9	9 < LQ	26.5	< LQ	22.7	< LQ	< LQ	< LQ	0.6		0.54 N	IM	< LQ	< LQ	27.8	< LQ	< LQ	8.2	0.3 527	7.9 7	238 629	6.98 521.0
Campagne AERMC juillet 2009   Carriere Perrier   MIOC   Service   MIOC   Service   MIOC   Service   MIOC   Service   MIOC   MI	Riv-3	Rivière-3	Ozon à Bevron	R	Inverse					AB	22-avr-09		7.8	3 < LQ	17.4	100	16.2	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	2.5	0.84 N	М	< LQ	< LQ	30.3	< LQ	< LQ	24.2	0.3 508	3.4 7	200 700	1.40 571.0
MIOC-1bis   07223L0004   Carrière Perrièr   MIOC   Forte   Agence de   02-juil-09   NA	Riv-4	Rivière-4	Ozon à Combe de Corneille	R	Ozon					AB	22-avr-09		3.6	6 < LQ	37.3	100	29.9	< LQ	< LQ	< LQ	0.8	2.5	1.54 N	IM	< LQ	< LQ	18.9	0.7	30	12.1	2 261	1.7 6	588 648	0.76 516.6
MIOC-1bis   07223L0004   Carrière Perrièr   MIOC   Forte   Agence de   02-juil-09   NA	Campagne		et 2009																										-					
MIOC-3 bis 07224D0167 Veolia MIOC	MIOC-1bis	07223L0004	Carriere Perrier	MIOC	1		Forte	T		Agence de	02-iuil-09		N/	A NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA I	NA N	A NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA N/	NA NA
MIOC-3 bis 07224D0167 Veolia MIOC	MIOC-2bis	06988C0335	Eurexpo	MIOC			Faible			Agence de	02-juil-09		N/	NA NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA I	JA N	A NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA N/	NA NA
MIOC-9 bis Radier drainant Parking Bonnel-Servient MIOC Faible Agence de 02-juil-09 MIOC-17 Radier drainant Parking Agricum P6 MIOC Forte Agence de 02-juil-09 MIOC-18 Radier drainant Parking Hole de ville MIOC Forte Agence de 02-juil-09 MIOC-18 Radier drainant Parking Hole de ville MIOC Forte Agence de 02-juil-09 MIOC-19 06995X0041 Forage Satolas MIOC Forte Agence de 03-juil-09 MIOC-19 06995X0041 Forage Satolas MIOC Forte Agence de 03-juil-09 MIOC-19 06995X0041 Forage Satolas MIOC Forte Agence de 03-juil-09 MIOC-19 06995X0041 Forage Satolas MIOC Forte Agence de 03-juil-09 MIOC-19 06995X0041 Forage Satolas MIOC Forte Agence de 03-juil-09 MIOC-19 06995X0041 Forage Satolas MIOC Forte Agence de 03-juil-09 MIOC-19 06995X0041 Forage Satolas MIOC Forte Agence de 03-juil-09 MIOC-19 06995X0041 Forage Satolas MIOC Forte Agence de 03-juil-09 MIOC-19 06995X0041 Forage Satolas MIOC Forte Agence de 03-juil-09 MIOC-19 06995X0041 Forage Satolas MIOC Forte Agence de 03-juil-09 MIOC-19 06995X0041 Forage Satolas MIOC Forte Agence de 03-juil-09 MIOC-19 06995X0041 Forage Satolas MIOC Forte Agence de 03-juil-09 MIOC-19 06995X0041 Forage Satolas MIOC Forte Agence de 03-juil-09 MIOC-19 06995X0041 Forage Satolas MIOC Forte Agence de 03-juil-09 MIOC-19 06995X0041 Forage Satolas MIOC Forte Agence de 03-juil-09 MIOC-19 06995X0041 Forage Satolas MIOC MIOC-19 06995X0041 Forage Satolas MI								t		· ·ge···ee			N/	NA NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA I	JA N	A NA	NA.	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA N/	NA NA
MIOC-17 Radier drainant Parking Atrium P6 MIOC Forte Agence de 02-juil-09 5.8 < LQ 83 < LQ < L	MIOC-9bis							t		J	,		N/	NA NA	NA	NA	NA	NA.	NA	NA	NA		NA I	IA N	A NA	NA.	NA.	NA	NA.	NA	NA	NA		
MIOC-18 Radier drainant Parking Hotel de ville MIOC Forte Agence de 02-juil-09 4.5 < LQ 43 < LQ < L										,,	_		5.1	3 <10	83	<10	<10	4 2	0.29	0.89	<10	<10	<10 <	0 <10	2 <10	<10	32.4	0.07	<10	<10	<10 5	73.8 7	933 600	101
MIOC-19 06995X0041 Forage Satolas MIOC Forte Agence de 03-juil-09 2.2 < LQ < L								t					4.5	7	43		<10	0.56	0.00	2.4	<10	<10	<10 <	0 <10	2 <10	<10	26.35	0.07	<10	<10	124	. 0.0	000	
								$\dagger$		Ť			2.5		<10		<10	<10		<10	<10	<10	<10 <	0 <10	2 <10	<10	31.1	<10	<10	<10	<10	489 7		
	MIOC-20	07237X0116		MIOC	1		Aucune	1 1		Agence de	03-juil-09		3.	4 < LQ	<10	< LQ	<10	<10	0.23	4.1	1.4	<10	< LQ <	0 <10	2 <10	< LQ	13.8	<10	<10	0.7	< LQ 38	81.8 6		

NM : non mesuré
NA : non analysé
NC : non calculé
<LQ : valeur inférieure à la limite de quantification reportée sur la 3ème ligne du tableau

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> partie où les horizons de la molasse se trouve sous couverture <sup>2</sup> partie où les horizons de la molasse se trouve sub-affleurants

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> proportion p d'aquifère captée par rapport à l'épaisseur er du réservoir molassique suivant l'équation suivante p = e<sub>c</sub> / e<sub>n</sub> avec e<sub>c</sub> l'épaisseur de formation molassique captée par l'ouvrage considéré

							Т				Doromètros	$\delta^2 H$	δ <sup>18</sup> Ο	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	Tuitium C	EC 42	Incertitude	CEC 44	Incontitudo	CFC -	Incontitudo	14	Incortitudo	12	Incortitudo				
N°	Indice	Désignation	Type Prelev	Rivière	Inteconnection	Zone alimentation	p <sup>3</sup>	Stratification	Opérateur	DATE	Paramètres			Sr/Sr						113	Incertitude	A 14C	Incertitude	δ <sup>13</sup> C	Incertitude	IS calcite	IS	IS	IS
		_			supposée			MIOC			Unités LQ	‰	‰	-	UT p	mol/L	+/-	pmol/L	+/-	pmol/L	+/-	pcm	+/-	‰	+/-		magnesite	dolomite	strontianite
Campagne	BRGM avril 200	19		<u> </u>			_				<u> </u>	<u>.                                    </u>			<u> </u>														
MIOC-1	07223L0004	Carrière Perrier	MIOC	I	Moyenne	sous couverture <sup>1</sup> (	0.1	3	AB	21-avr-09		-54.7	-8	0.708393	6	23	5	13	3	0.21	0.05	N.A	A	NA		0.02	-1.53	0.07	-0.69
MIOC-2	06988C0335	Eurexpo	MIOC		Faible	sous couverture1	1	14	MB + MC	21-avr-09		-58.7	-8.7	0.708910	0	0.02	0.05	0.09	0.05	0.01	0.05	N/	A	NA		0.08	-0.6	1.17	-0.33
MIOC-3	07224D0167	Véolia	MIOC		Moyenne	sous couverture <sup>1</sup> (	0.1	2	MB + MC	23-avr-09		-60.5	-8.7	0.708230	7	2.5	0.2	>1000		>750		N.A	A	NA		0.03	-2.03	-0.31	-0.79
MIOC-4	07224A0145	Bonduelle	MIOC		Faible	(	8.0	11	MB + MC	21-avr-09		-59.2	-8.7	0.708693	NA	NA		NA		NA		N/	A	NA		0.16	-0.53	1.31	-0.22
MIOC-5	06987S0032	Piscine de Bron	MIOC		Moyenne	(	0.9	13	MB + MC	22-avr-09		-56.7	-8.3	0.709007	NA	NA		NA		NA		N/	A	NA		0.16	-0.97	0.88	-0.54
MIOC-6	06988C0342	Piscine de Chassieu-statique	MIOC		Moyenne	(	0.5	8	MB + MC	21-avr-09		-56.3	-8.2	0.708578	NA	NA		NA		NA		N/	A	NA		0.02	-1.57	0.11	-0.78
MIOC-7	07223X0255	Parc du Château	MIOC		Moyenne	(	0.3	7	MB + MC	22-avr-09		-58.2	-8.5	NA	NA	NA		NA		NA		N/	A	NA		-0.12	-1.8	-0.23	-0.87
MIOC-8	07224A0158	Piscine Clairon	MIOC		Moyenne	(	0.7	10	MB + MC	22-avr-09		-56.6	-8.2	NA	NA	NA		NA		NA		N.A	A	NA		0.14	-1.23	0.6	-0.63
MIOC-9	Radier drainant	Parc Bonnel-Servient	MIOC		Faible	1	NM	15	MB + MC	22-avr-09		-64.8	-9.4	NA	NA	NA		NA		NA		N/	A	NA		0.09	-0.93	0.82	-0.5
MIOC-10	06988C0342	Piscine de Chassieu-pompage l	MIOC		Moyenne		0.5	9	MC	30-avr-09		-56	-8.2	0.708627	NA	NA		NA		NA		N/	A	NA		0.11	-1.53	0.28	-0.71
MIOC-11	07224X0144	Piézo molasse	MIOC		Faible	(	0.2	4	MB + MC	23-avr-09		-58.5	-8.6	0.708374	NA	NA		NA		NA		N/	A	NA		0.25	-0.55	1.39	0.32
MIOC-12	07223X0134	Mérial	MIOC		Moyenne	(	8.0	12	MB + MC	22-avr-09		-56.3	-8.3	0.708647	NA	NA		NA		NA		N/	A	NA		-0.02	-1.64	0.04	-0.89
MIOC-13	07231X0281	Morellon	MIOC		Moyenne	(	0.5	8	AB	21-avr-09		-58	-8.5	0.708583	NA	NA		NA		NA		N/	A	NA		-0.11	-1.5	0.08	-0.86
MIOC-14	07236X0020	Nexans	MIOC		Aucune	sub-affleurant <sup>2</sup> (	0.3	5	MB + MC	20-avr-09		-56.4	-8.2	NA	13	3.8	0.2	61	13	33	7	N/	A	NA		0.07	-1.13	0.63	-0.79
MIOC-15	07228X0027	AEP Septème	MIOC		Aucune	sub-affleurant <sup>2</sup> (	0.3	6	AB	22-avr-09		-59.8	-8.8	NA	7	0.28	0.05	0.49	0.05	0.05	0.05	N/	A	NA		0.01	-1.2	0.51	-0.61
MIOC-16	07224X0066	Chez M. Danon	MIOC		Aucune	sub-affleurant <sup>2</sup>	NM	11	AB	23-avr-09		-57	-8.3	NA	8	35	7	>400		0.7	0.1	N/	A	NA		0.32	-1.57	0.44	-0.54
FLGL-1	06988X0343	Piézo FLGL Piscine Chassieu	FLGL		Faible				MB + MC	22-avr-09		-63	-9.1	0.708432	NA	NA		NA		NA		N/	A	NA		0	-1.8	-0.11	-0.84
FLGL-2	07224X0142	AEP 4 Chênes	FLGL		Forte				MB + MC	23-avr-09		-57.8	-8.5	0.708617	NA	NA		NA		NA		N/	A	NA		0.05	-1.27	0.47	-0.67
FLGL-3	07231X0119	AEP Morellon	FLGL		Forte				AB	21-avr-09		-57	-8.5	0.708547	NA	NA		NA		NA		N/	A	NA		-0.01	-1.4	0.28	-0.78
FLGL-4	07223X0133	AEP Corbas	FLGL		Forte				MB + MC	23-avr-09		-56	-8.1	0.708539	NA	NA		NA		NA		N/	A	NA		0.06	-1.34	0.41	-0.65
FLGL-5	06988X0047	AEP Chassieu	FLGL		Faible				MB + MC	21-avr-09		-56.3	-8.3	0.708420	NA	NA		NA		NA		N/	A	NA		0.03	-1.67	0	-0.75
FLGL-6	06995C0266	AEP Azieu	FLGL		Forte				MB + MC	21-avr-09		-57	-8.3	0.708558	NA	NA		NA		NA		N/	A	NA		0.01	-1.25	0.46	-0.57
Riv-1	Rivière-1	Ozon à Tuilières	R	Ozon					AB	22-avr-09		-55.6	-8.1	0.708949	NA	NA		NA		NA		N/	A	NA		0.98	-0.27	2.4	0.29
Riv-2	Rivière-2	Rau d'Ozon à l'aval de Pulives	R	Rau d'Ozon					AB	22-avr-09		-55.4	-8.1	0.708816	NA	NA		NA		NA		N/	A	NA		0.92	-0.36	2.25	0.25
Riv-3	Rivière-3	Ozon à Beyron	R	Inverse					AB	22-avr-09		-55.6	-8.2	0.708709	NA	NA		NA		NA		N/		NA		0.63	-0.61	1.72	-0.04
Riv-4	Rivière-4	Ozon à Combe de Corneille	R	Ozon					AB	22-avr-09		-55	-8.1	0.709044	NA	NA		NA		NA		N.A	A	NA		1	-0.63	2.07	0.09
Campagne	AERMC juillet 2	2009																											
MIOC-1bis	07223L0004	Carriere Perrier	MIOC			Forte			Agence de l	02-juil-09		-55.8	-8.0	NA	4.6	NA		NA		NA		88.5		-13.4				<b>└─</b> ─	
MIOC-2bis	06988C0335	Eurexpo	MIOC			Faible			Agence de l	02-juil-09		-59.3	-8.5	NA	<0.9	NA		NA		NA		48	0.6	-10.4				'	
MIOC-3bis	07224D0167	Veolia	MIOC			Forte			Agence de l	03-juil-09	4	-61.2	-8.7	NA	8	NA		NA		NA		102	2 0.7	-15.2				<b>└─</b>	1
MIOC-9bis	Radier drainant	Parking Bonnel-Servient	MIOC			Faible			Agence de l	02-juil-09		-64.7	-9.1	NA	15	NA		NA		NA		76.5	0.5	-11.6				'	ļ
MIOC-17	Radier drainant	Parking Atrium P6	MIOC			Forte			Agence de l	02-juil-09		-59.3	-8.4	NA	11	NA		NA		NA		86.3		-13.8				<b>└─</b>	<u> </u>
MIOC-18	Radier drainant	Parking Hotel de ville	MIOC			Forte			Agence de l	02-juil-09		-61.4	-8.7	NA	10	NA		NA		NA		79.3	0.6	-11.7				<u>'</u>	ļ
MIOC-19	06995X0041	Forage Satolas	MIOC			Forte			Agence de l	03-juil-09		-56.3	-8.1	NA	7	NA		NA		NA		96.5	0.5	-13.6				<u>'</u>	
MIOC-20	07237X0116	Maubec	MIOC	1		Aucune			Agence de l	03-juil-09		-59.3	-8.6	NA	9	NA		NA		NA		111.3	0.6	-13.8		·		, ,	

NM : non mesuré NA : non analysé NC : non calculé <LQ : valeur inférieure à la limite de quantification reportée sur la 3ème ligne du tableau

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> proportion p d'aquifère captée par rapport à l'épaisseur er du réservoir molassique suivant l'équation suivante p = e<sub>c</sub> / e<sub>r</sub>, avec e<sub>c</sub> l'épaisseur de formation molassique captée par l'ouvrage considéré



<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> partie où les horizons de la molasse se trouve sous couverture

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> partie où les horizons de la molasse se trouve sub-affleurants



Centre scientifique et technique 3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009 45060 – Orléans Cedex 2 – France

45060 – Orléans Cedex 2 – France Tél. : 02 38 64 34 34 **Service géologique régional Rhône-Alpes** 151, boulevard Stalingrad

69628 – Villeurbanne Cedex - France Tél. : 04 72 82 11 50