



SIVOM de Morlaix-St Martin des Champs

Syndicat mixte pour la gestion des cours d'eau du Trégor et du pays de Morlaix

Proaqua Baie de Morlaix

***Aide à la gestion
des transports de sédiments et de polluants
Bassins versants des rivières de Morlaix
Etat d'avancement de l'année 2***

Etude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 2001-LIT-303

B. Mougin
avec la collaboration de
J-P. Jégou

mai 2002
BRGM/RP-51642-FR



Mots clés : transports solides et liquides, polluants, MES, nitrates, analyses physico-chimiques, bassins versants, Morlaix, Finistère

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

MOUGIN B., collaboration J-P. JEGOU (2002) - Aide à la gestion des transports de sédiments et de polluants - Bassins versants des rivières de Morlaix - Etat d'avancement de l'année 2 - BRGM/RP-51642-FR - 34 p., 11 tab., 13 fig., 2 annexes.

© BRGM, 2002, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le projet engagé sur le bassin versant des rivières de Morlaix est réalisé en partenariat avec le SIVOM de Morlaix-St Martin des Champs et le Syndicat mixte pour l'aménagement des rivières du Trégor et du Pays de Morlaix, avec la participation active de l'association Proaqua Baie de Morlaix. Son objectif est de quantifier les flux (liquides, solides et polluants) qui, issus des bassins versants, se déposent dans le port de Morlaix, d'analyser les mécanismes de transfert et d'identifier les contributions des sous-bassins.

Ce rapport constitue un état d'avancement de la seconde année du projet, qui a permis :

- d'implanter un réseau de suivi composé de 36 points répartis sur les rivières du Jarlot (11), Tromorgant (10) et Queffleuth (15),
- d'effectuer 3 campagnes de prélèvements sur ce réseau de suivi des transports solides (turbidité, MES),
- de réaliser un suivi physico-chimique de l'eau souterraine et superficielle sur trois sous-bassins versants représentatifs (B, G2 et G5).

Les résultats des premières campagnes du réseau de suivi des apports solides permettent :

- d'appréhender le fonctionnement des transports solides ; des zones de stagnation à l'amont des cours d'eau ont été localisées, et l'effet de fortes précipitations sur la turbidité des eaux a été analysée,
- d'établir les premières corrélations entre la turbidité et les MES en certains points du réseau et plus globalement sur les 3 rivières.

Les conclusions avancées seront revues et corrigées à l'issue des prochaines campagnes.

Trois sous-bassins versants (B, G2, G5) ont été sélectionnés pour effectuer un suivi physico-chimique de l'eau souterraine et superficielle organisé de la façon suivante :

- suivi en périodes de hautes et basses eaux d'un réseau global de 34 points,
- suivi régulier de février à août 2001 d'un sous-réseau de 13 points (2 puits, 2 forages, 9 rivières).

Les résultats obtenus ont permis de caractériser chimiquement les eaux souterraines provenant des réservoirs altérés et fissurés du sous-sol et les eaux superficielles amont-aval des sous-bassins. Les points d'eau ont été rattachés à chacune des formations géologiques présentes (schistes et quartzites Primaires, schistes Briovériens, gneiss et granites).

Des phénomènes de dénitrification autotrophe et hétérotrophe ont été mis en évidence au cours de la période de suivi. La perméabilité des terrains a permis d'expliquer la vitesse de variation des teneurs chimiques et d'infiltration des polluants. L'importance de la contribution des eaux souterraines à l'écoulement superficiel a été argumentée sur les sous-bassins.

Sommaire

1. Rappel du contexte de l'étude	7
1.1. Contexte	7
1.2. Objectif de l'étude.....	7
2. Rappel des acquis précédents et actualisation du cahier des charges	8
2.1. Rappel des conclusions de la première année du projet.....	8
2.1.1. Contribution des eaux souterraines au débit des rivières	8
2.1.2. Capacités conductrices du sous-sol	8
2.1.3. Transports solides.....	8
2.1.4. Etude bibliographique des flux de nitrates	9
2.2. Actualisation du programme prévisionnel	9
3. Mise en place et gestion d'un réseau de suivi des apports solides	10
3.1. Objectif et mise en place du réseau de suivi	10
3.2. Mode d'utilisation du turbidimètre	13
3.3. Description des campagnes réalisées	15
3.4. Premiers résultats obtenus.....	18
3.4.1. Localisation de zones de stagnation ou de mise en suspension	18
3.4.2. Corrélation turbidité/MES.....	19
4. Caractérisation physico-chimique des eaux superficielles et souterraines	20
4.1. Contexte et objectif	20
4.2. Définition du réseau de suivi physico-chimique	20
4.2.1. Sélection des sous-bassins versants étudiés	20
4.2.2. Sélection du réseau global et du réseau réduit	22
4.2.3. Echantillonnage et méthodes d'analyses.....	24
4.3. Présentation des résultats	24
4.4. Analyse des résultats obtenus.....	27
4.4.1. Variations en fonction de la profondeur et dénitrification	27
4.4.2. Variations en fonction de la lithologie	30
4.4.3. Relations entre l'eau souterraine et l'eau de surface.....	30
5. Conclusion.....	34

Liste des annexes

Ann. 1 - Résultats des campagnes de prélèvements du réseau de suivi (turbidité, MES, débits)

Ann. 2 - Résultats des campagnes de prélèvements du réseau de suivi physico-chimique global et réduit

Liste des illustrations

FIGURES

Fig. 1 - Localisation du réseau de suivi des transports solides

Fig. 2 - Importance de l'agitateur pour une mesure de turbidité - Echantillon d'eau mélangé à de la terre végétale

Fig. 3 - Importance de l'agitateur pour une mesure de turbidité - Echantillons d'eau du Jarlot (04/04/2001)

Fig. 4 - Résultats des analyses MES de la campagne des 26-27/09/2001

Fig. 5 - Résultats des analyses MES de la campagne des 19-20/03/2002

Fig. 6 - Carte géologique simplifiée du bassin versant du Jarlot et localisation des sous-bassins versants étudiés

Fig. 7 - Localisation des points de prélèvements

Fig. 8 - Evolution des teneurs en nitrates, sulfates et chlorures en fonction du temps pour les exutoires des sous-bassins versants et les deux doublets sélectionnés

Fig. 9 - Evolution de la pluviométrie, du niveau piézométrique (puits P9), du débit à l'exutoire du bassin versant du Jarlot et des teneurs en nitrates à l'exutoire du sous-bassin G5 de février à septembre 2001

Fig. 10 - Teneurs en sulfates en fonction des teneurs en nitrates par type d'ouvrage

Fig. 11 - Teneurs en chlorures en fonction des teneurs en potassium par type d'ouvrage

Fig. 12 - Représentation de l'évolution des rivières de l'amont vers l'aval grâce aux teneurs en chlorures en fonction des teneurs en nitrates

Fig. 13 - Représentation de l'évolution des rivières de l'amont vers l'aval grâce aux teneurs en calcium en fonction des teneurs en sodium

Liste des illustrations (suite)

TABLEAUX

- Tabl. 1 - Identification des points du réseau de suivi (Tromorgant, Jarlot, Queffleuth)
Tabl. 2 - Résultats du réseau de suivi lors de la campagne des 28/02 et 01/03/2001
Tabl. 3 - Résultats du réseau de suivi lors de la campagne des 26-27/09/2001
Tabl. 4 - Résultats du réseau de suivi lors de la campagne des 19-20/03/2002
Tabl. 5 - Résultats des points B, A', A1 du réseau de suivi lors des campagnes de N. PELLEN de février-mars 2001
Tabl. 6 - Résultats des points B, G2, G5 du réseau de suivi lors de plusieurs campagnes de début mars à fin août 2001
Tabl. 7 - Premières corrélations turbidité/MES
Tabl. 8 - Description des points de prélèvements sur le bassin versant du Jarlot
Tabl. 9a - Température, conductivité, pH, teneurs en éléments majeurs et en fer pendant la campagne complète du 28/02/01 au 02/03/01
Tabl. 10a - Moyennes de la température, de la conductivité, du pH, des anions analysés et des cations majeurs par types d'ouvrages pour la campagne complète du 28/02/01 au 02/03/01
Tabl. 9b - Température, conductivité, pH, teneurs en éléments majeurs et en fer pendant la campagne complète du 28/08/01 au 31/08/01
Tabl. 10b - Moyennes de la température, de la conductivité, du pH, des anions analysés et des cations majeurs par types d'ouvrages pour la campagne complète du 28/08/01 au 31/08/01
Tabl. 11 - Teneurs en nitrates, sulfates et chlorures dans les différents points de prélèvement du réseau de suivi réduit en fonction du temps

1. Rappel du contexte de l'étude

1.1. CONTEXTE

Au débouché de trois cours d'eau, le Tromorgant, le Jarlot et le Queffleuth, Morlaix et son « pays » sont confrontés à divers problèmes liés à l'eau et les milieux aquatiques :

- envasement du port par les apports de sédiments,
- dégradation de la qualité de l'eau, en particulier à la prise d'eau de Lanidy (sur le Jarlot, après sa confluence avec le Tromorgant) qui fournit annuellement 1,2 à 1,5 millions de mètres cubes pour l'alimentation de la population,
- inondations de la ville basse,
- proliférations algales sur le littoral.

La maîtrise de ces problèmes implique que les causes et les origines géographiques en soient identifiées ainsi que les moyens d'y remédier. Le bassin versant qui amène l'eau à Morlaix couvre près de 200 km², ce qui impose une vision globale à long terme et une hiérarchisation des actions et aménagements possibles (nature et mise en œuvre) en fonction des effets attendus.

L'objet du projet engagé sur le bassin versant de Morlaix est d'élaborer un outil d'aide à la gestion du bassin versant (espace, aménagements, occupation des sols, activités humaines). L'outil doit permettre de construire des scénarios de modifications, générales ou locales, de l'état actuel et d'en évaluer les effets qualitatifs et quantitatifs sur les transports liquides et solides.

Le projet est réalisé en partenariat avec le SIVOM de Morlaix-St Martin des Champs et le Syndicat mixte pour l'aménagement des rivières du Trégor et du Pays de Morlaix, avec la participation active de l'association Proaqua Baie de Morlaix.

1.2. OBJECTIF DE L'ETUDE

Il s'agit de quantifier les flux (liquides, solides et polluants) qui, issus des bassins versants, se déposent dans le port de Morlaix, d'analyser les mécanismes de transfert et d'identifier les contributions des sous-bassins.

Le projet doit aboutir à la mise en place d'un Système d'Information Géographique (SIG) présentant la synthèse des données existantes et acquises dans le cadre du projet. Ce SIG sera un des outils permettant à terme d'améliorer notablement l'état de la zone estuarienne.

Ce rapport fait l'état d'avancement de la seconde année du projet qui a permis :

- de mettre en place un réseau de suivi de la turbidité (MES) des cours d'eau,
- de réaliser un suivi physico-chimique de l'eau souterraine et superficielle sur trois sous-bassins versants représentatifs.

Ces deux points seront donc développés après avoir rappelé les principaux acquis de la première année du projet.

2. Rappel des acquis précédents et actualisation du cahier des charges

2.1. RAPPEL DES CONCLUSIONS DE LA PREMIERE ANNEE DU PROJET

Les travaux effectués lors la première phase du projet sont les suivants :

- calcul des ratios d'eaux souterraines contribuant au régime des cours d'eau avec le logiciel Gardénia (à partir des hydrogrammes des cours d'eau et des données pluviométriques : pluie et ETP),
- estimation des capacités conductrices du sous-sol à partir des forages recensés,
- synthèse et analyse des données bibliographiques : étude des flux de matière solide (MES), étude des concentrations en nitrates.

Ces trois volets sont détaillés dans la note BRGM BRE n°00.13. Les références bibliographiques (troisième point) sont également précisées.

2.1.1. Contribution des eaux souterraines au débit des rivières

Les résultats de la modélisation indiquent que la lame d'eau écoulée aux stations hydrométriques est alimentée, en moyenne, par les eaux souterraines (drainées par le cours d'eau considéré) à hauteur de 64 % pour le Tromorgant, 65 % pour le Jarlot et 66 % pour le Queffleuth.

2.1.2. Capacités conductrices du sous-sol

A partir d'un raisonnement basé sur 235 forages situés sur 18 communes des bassins versants, les différentes formations géologiques présentes ont été hiérarchisées du point de vue de leur intérêt potentiel à constituer des aquifères de socle.

Le classement a donné les résultats suivants par ordre croissant de la capacité conductrice probable :

schistes et quartzites primaires, gneiss, granite, et schistes Briovériens.

2.1.3. Transports solides

Les mesures réalisées sur les bassins versants de Morlaix ont permis d'évaluer approximativement le débit solide annuel du Jarlot-Tromorgant (flux annuel moyen (1985-1999) de MES : 600 t/an), compatible en première analyse avec la sédimentation observée dans le port, mais elles n'apportent pas d'informations claires sur les paramètres gouvernant l'érosion des sols ; laquelle alimente ou reconstitue les stocks de sédiments dans les cours d'eau.

Les crues jouent un rôle très notable dans ces processus qui n'apparaît pas proportionnel à leur importance, mais plutôt lié à l'historique climatique (existence ou non de crues antérieures) et, très vraisemblablement, au calendrier agricole (sols labourés restés nus).

Parmi les autres facteurs susceptibles d'intervenir, on peut citer la pente des terrains, la nature du substratum et les caractéristiques des formations superficielles (roches-mères des sols agricoles), ainsi que le tissu bocager, la dimension des parcelles, leur proximité au réseau de drainage et l'emplacement de leur ouverture (en amont ou en aval de la pente), la densité d'exploitations agricoles et l'importance de la surface agricole utile. Les chantiers urbains semblent également contribuer à l'envasement du port.

2.1.4. Etude bibliographique des flux de nitrates

Dans les rivières, les concentrations en nitrates varient peu à l'échelle de l'année : 30 à 40 mg/l pour le Jarlot, 25 à 35 mg/l pour le Tromorgant, 25 à 30 mg/l pour le Queffleuth. Un « bruit de fond » stable progresse en moyenne de 0,8 à 0,9 mg/l (NO₃) par an. Compte-tenu de l'importance des écoulements souterrains, en particulier du fait qu'à l'étiage les rivières ne sont alimentées que par les apports souterrains, ce « bruit de fond » et ses concentrations élevées doivent être attribués aux eaux souterraines.

Seules des modifications importantes des pratiques agronomiques seront en mesure d'améliorer la situation. De longues années seront nécessaires, du fait de l'inertie des aquifères souterrains, pour pouvoir en observer les effets. Une certaine optimisation peut cependant être envisagée par la mise en œuvre des mesures de restauration en priorité sur les secteurs de moindre inertie.

2.2. ACTUALISATION DU PROGRAMME PREVISIONNEL

En raison du désistement financier de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, le plan de financement initial a fait l'objet d'une révision. Celle-ci a nécessité une actualisation du cahier des charges pour organiser la phase finale du projet.

Le cahier des charges, remis à l'ensemble des partenaires du projet, est articulé autour des thèmes suivants :

- mise en place et gestion d'un réseau de suivi de la turbidité (MES) des cours d'eau,
- caractérisation physico-chimique des eaux superficielles et souterraines sur 3 sous-bassins versants représentatifs,
- analyses multicritères et identification des parcelles des bassins versants sensibles à l'érosion,
- cartographie des formations superficielles et étude de la provenance géologique des matériaux déposés dans le port,
- traitement des données et conception d'un SIG.

Les chapitres suivants (3 et 4) du rapport détaillent l'avancement des deux premiers points du cahier des charges.

3. Mise en place et gestion d'un réseau de suivi des apports solides

3.1. OBJECTIF ET MISE EN PLACE DU RESEAU DE SUIVI

L'objectif du réseau de suivi est de quantifier les flux solides issus des bassins versants qui se déposent dans le port de Morlaix, d'identifier et analyser les zones de fortes contributions (ou inversement de dépôts) de chacun des sous-bassins.

Le réseau de suivi a été défini sur les 3 cours d'eau étudiés et il est composé de 36 points de mesure répartis de la façon suivante : 11 sur le bassin versant du Jarlot, 10 sur celui du Tromorgant, 15 sur celui du Queffleuth (cf. figure 1 et tableau 1).

Le réseau a été implanté selon plusieurs critères :

- répartition géologique et contacts entre les formations,
- points du suivi débit/nitrates du Syndicat Mixte du Trégor,
- réseaux de suivi antérieurs repérés dans la bibliographie (CGE Saunier 1989, M. Gicquel SIVOM 1997...),
- répartition homogène par cours d'eau,
- suivi des confluences majeures.

Une campagne de terrain (fin 01/2001) a permis d'affiner le positionnement des points.

Sur ces points clés amont et aval, prenant en compte l'arborescence du réseau hydrographique, les campagnes de prélèvements et d'analyses, ont parfois été couplées à des mesures de débits grâce à une collaboration avec le Syndicat Mixte du Trégor (mesures au courantomètre). En l'absence de mesures in-situ, des relevés des échelles limnimétriques aux exutoires ont permis d'estimer des débits des points du réseau.

L'acquisition de deux turbidimètres « Turbiquant® 1500T » de MERCK (1 au BRGM-Bretagne et 1 au Syndicat Mixte du Trégor) ont permis de réaliser des mesures instantanées de la turbidité à l'issue des campagnes de prélèvements. Certains de ces échantillons ont été envoyés en laboratoire pour analyse des matières en suspension (MES).

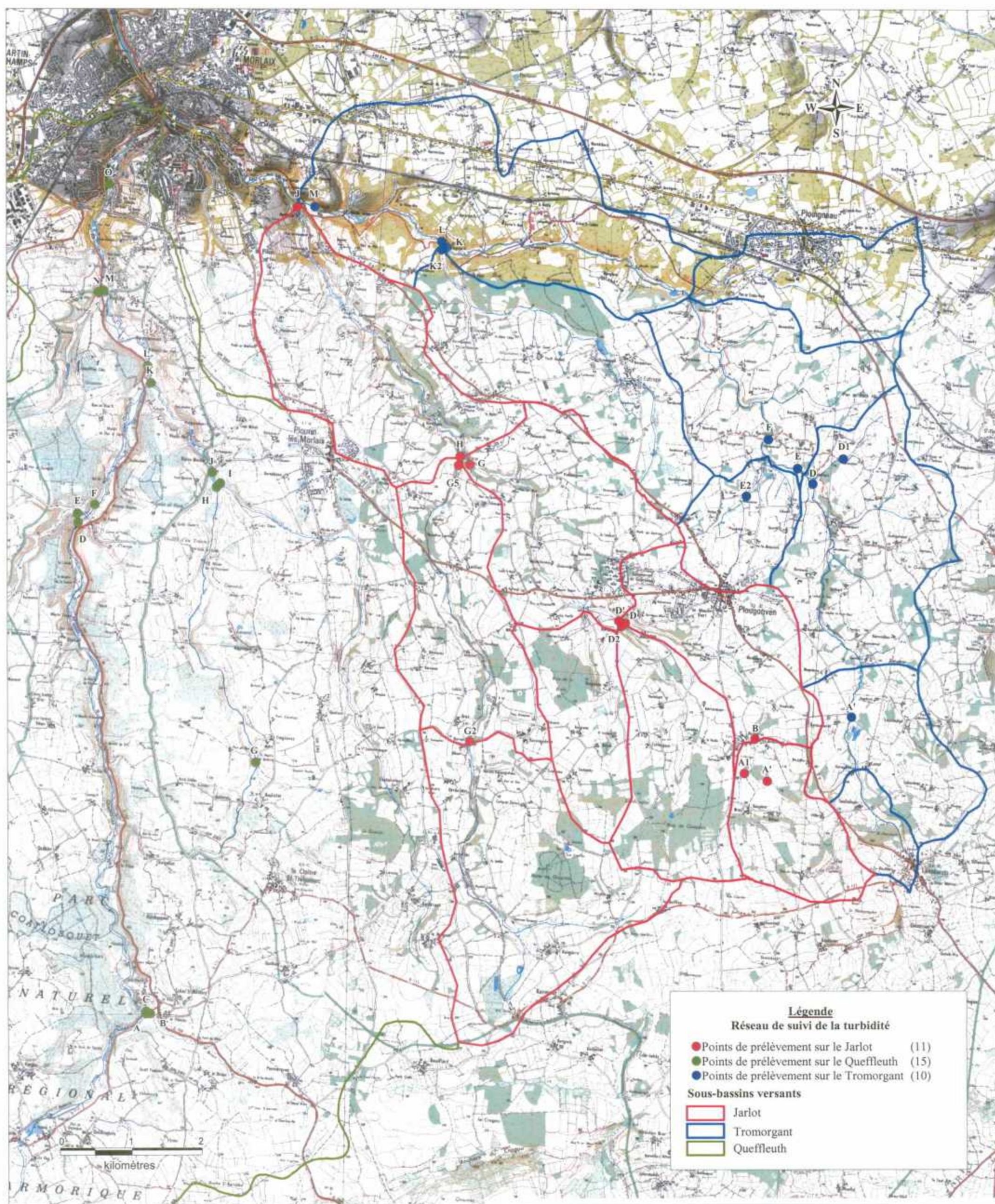


Fig. 1 - Localisation du réseau de suivi des transports solides

BV Tromorgant

Nom	Localisation
A'	Keroudanet
D	Moulin Guernarhant (amont confluence)
D1	Kerourien
E	Moulin Guernarhant
F	Barrenou
E2	La Villeneuve
K	Milin Goz Kergréac'h (amont confluence)
L	Milin Goz Kergréac'h (aval confluence)
K2	Milin Goz Kergréac'h (affluent)
M	Moulin Compézou

Nom	Localisation
B	Kerhervé
A'	Gaspern (affluent droit)
A1	Gaspern (affluent gauche)
D	Kerloagen (affluent droit)
D'	Le Dossen (confluence)
D2	Kerloagen (affluent gauche)
G2	Kervellec
	Gouélet Tréo (affluent gauche)
G	Gouélet Tréo (amont confluence)
J	Pont Noir

Nom	Localisation
A	Le Plessis (affluent gauche)
B	Le Plessis (affluent droit)
C	Le Plessis (confluence)
D	Le Fumé (amont confluence)
E	Le Fumé (affluent gauche)
F	Le Fumé (aval confluence)
G	Le Moulin de Bodister
H	Kerloagen-Vieux Moulin (aff. gauche)
I	Kerloagen-Vieux Moulin (aff. droit)
J	Kerloagen-Vieux Moulin (confluence)
K	Luzuria (affluent droit)
L	Luzuria-Moulin des Prés
M	Pont-Pol
N	Pont-Pol (affluent gauche)
O	Les Trois Chênes

Tabl. 1 - Identification des points du réseau de suivi (Tromorgant, Jarlot, Queffleuth)

3.2. MODE D'UTILISATION DU TURBIDIMETRE

Au cours des premières mesures effectuées, (insertion d'un échantillon dans le puits optique de l'appareil) il a été constaté que la mesure indiquée par le turbidimètre fluctuait fortement en raison de la décantation des particules et de leur passage devant le faisceau de lumière.

Outre les procédures précisées dans le mode d'emploi du turbidimètre (calibrage, indexation des tubes...), il a donc été nécessaire de mettre au point une méthode permettant de retenir une valeur finale de la turbidité mesurée.

Plusieurs expériences ont donc été menées sur des échantillons plus ou moins turbides (eau et terre végétale ou eau de rivière) et en ajoutant (ou pas) un barreau aimanté animé par un agitateur magnétique. Les figures 2 et 3 des expériences sont présentées ci-dessous.

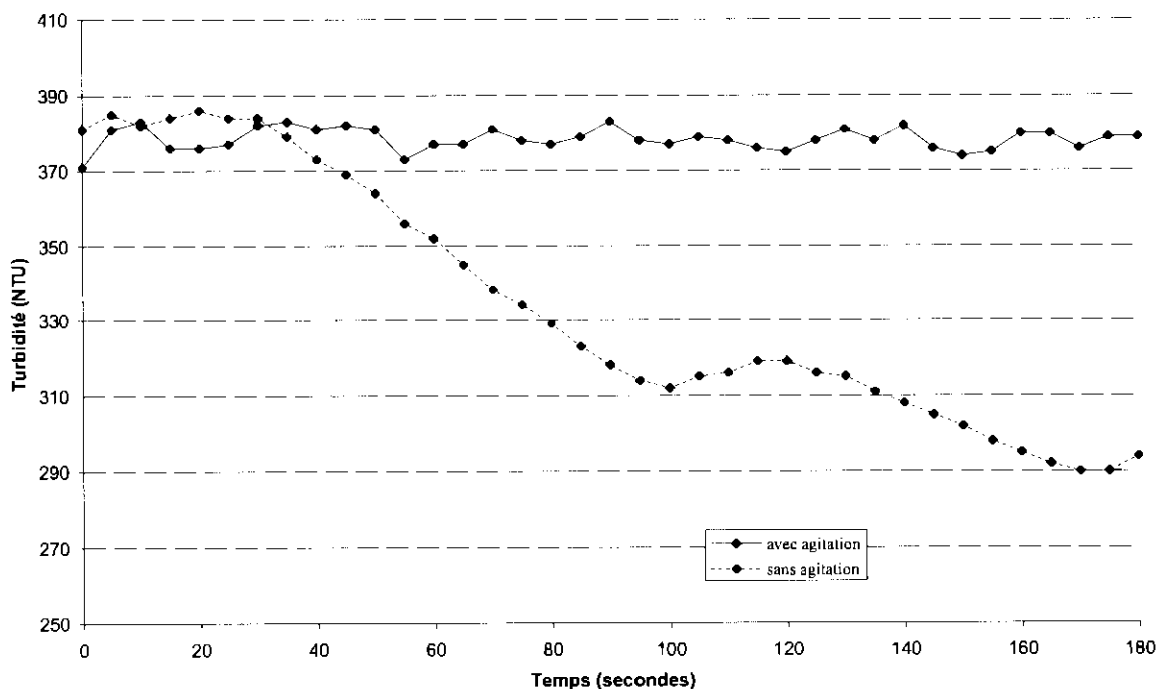


Fig. 2 - Importance de l'agitateur pour une mesure de turbidité
Echantillon d'eau mélangé à de la terre végétale

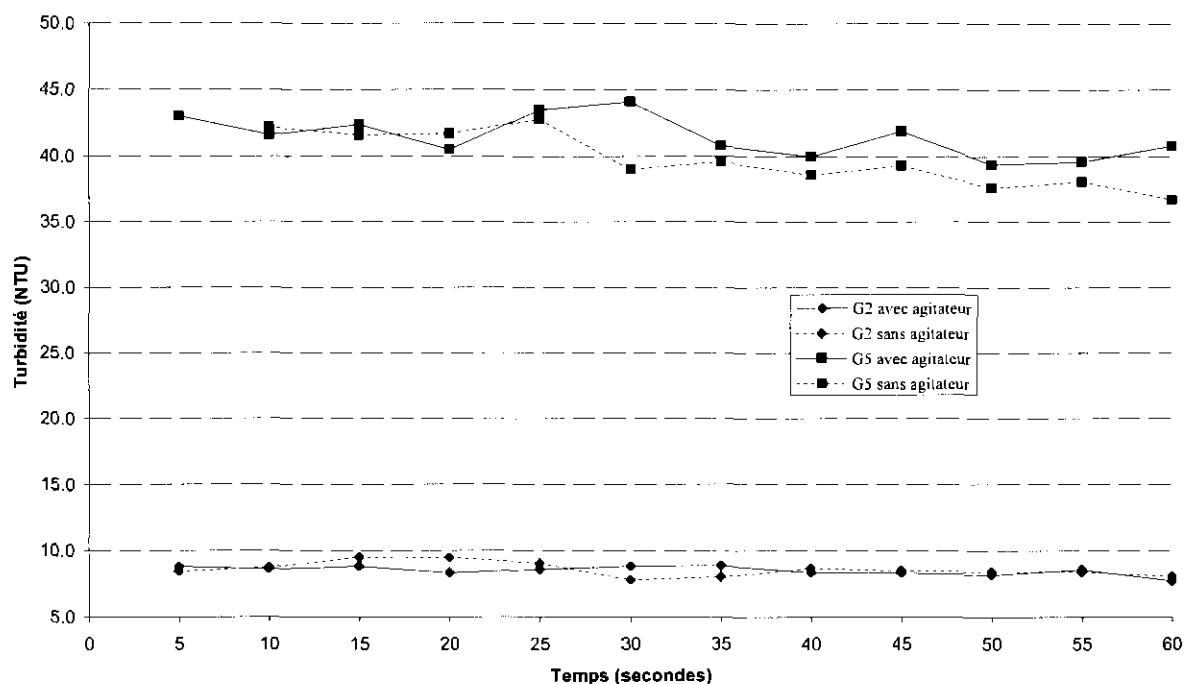


Fig. 3 - Importance de l'agitateur pour une mesure de turbidité
Echantillons d'eau du Jarlot (04/04/2001)

La figure 2 montre l'importance de l'agitation en présence d'un échantillon très turbide (379,3 NTU) et présente les résultats mesurés durant 3 minutes. La figure 3 met en évidence que l'agitation n'est pas essentielle sur des échantillons peu chargés (point G2 à 8,5 NTU) alors qu'elle présente un intérêt pour des échantillons plus chargés (point G5 à 41,5 NTU) où l'effet de la décantation est visible après une vingtaine de secondes.

En se basant sur les conclusions des expériences précédentes, la méthode retenue est la suivante :

- réglage de la vitesse d'agitation du barreau aimanté afin de ne pas créer un cône de vide lié à l'agitation,
- relevé des valeurs indiquées toutes les 5 secondes pendant 1 minute (12 mesures),
- calcul de la moyenne de ces 12 valeurs qui est retenue comme valeur finale de l'échantillon (valeur arrondie à un chiffre après la virgule).

3.3. DESCRIPTION DES CAMPAGNES REALISEES

Trois campagnes complètes du réseau de suivi ont été réalisées du 28 février au 1^{er} mars 2001, les 26-27 septembre 2001 et les 19-20 mars 2002. Les résultats obtenus (turbidité, MES et débits) sont rassemblés dans les tableaux 2, 3, 4 de l'annexe 1. La première campagne n'a pas fait l'objet d'analyses des MES.

Les figures 4 et 5 (cf. pages suivantes) montrent la répartition des MES le long des rivières lors des campagnes de septembre 2001 et mars 2002.

Plusieurs mesures de turbidité et de débit ont été effectuées sur les points B, A', et A1 du réseau de suivi (sur le Jarlot) lors des mois de février et mars 2001 au cours du stage de N. PELLEN au Syndicat Mixte du Trégor. Les 3 dernières campagnes ont fait l'objet d'analyses de MES par le BRGM. Les résultats sont rassemblés dans le tableau 5 de l'annexe 1.

Lors des campagnes physico-chimiques mensuelles (mars à août 2001) de suivi des sous-bassins du Jarlot (voir chapitre 4), des échantillons ont été prélevés aux points B, G2, G5. Les résultats sont présentés dans le tableau 6 de l'annexe 1 (turbidité mesurée et teneurs en MES analysées).

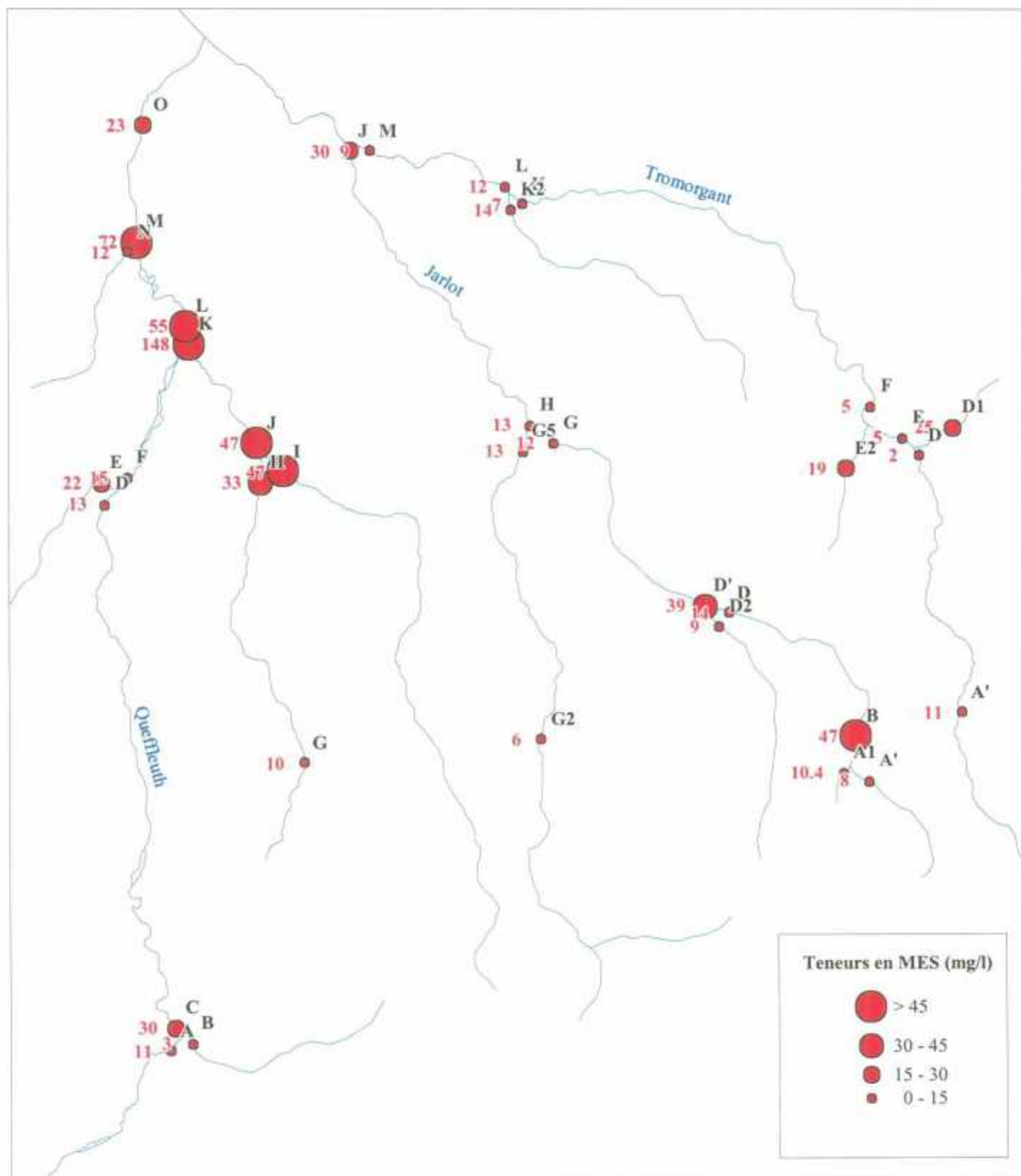


Fig. 4 - Résultats des analyses MES de la campagne des 26-27/09/2001

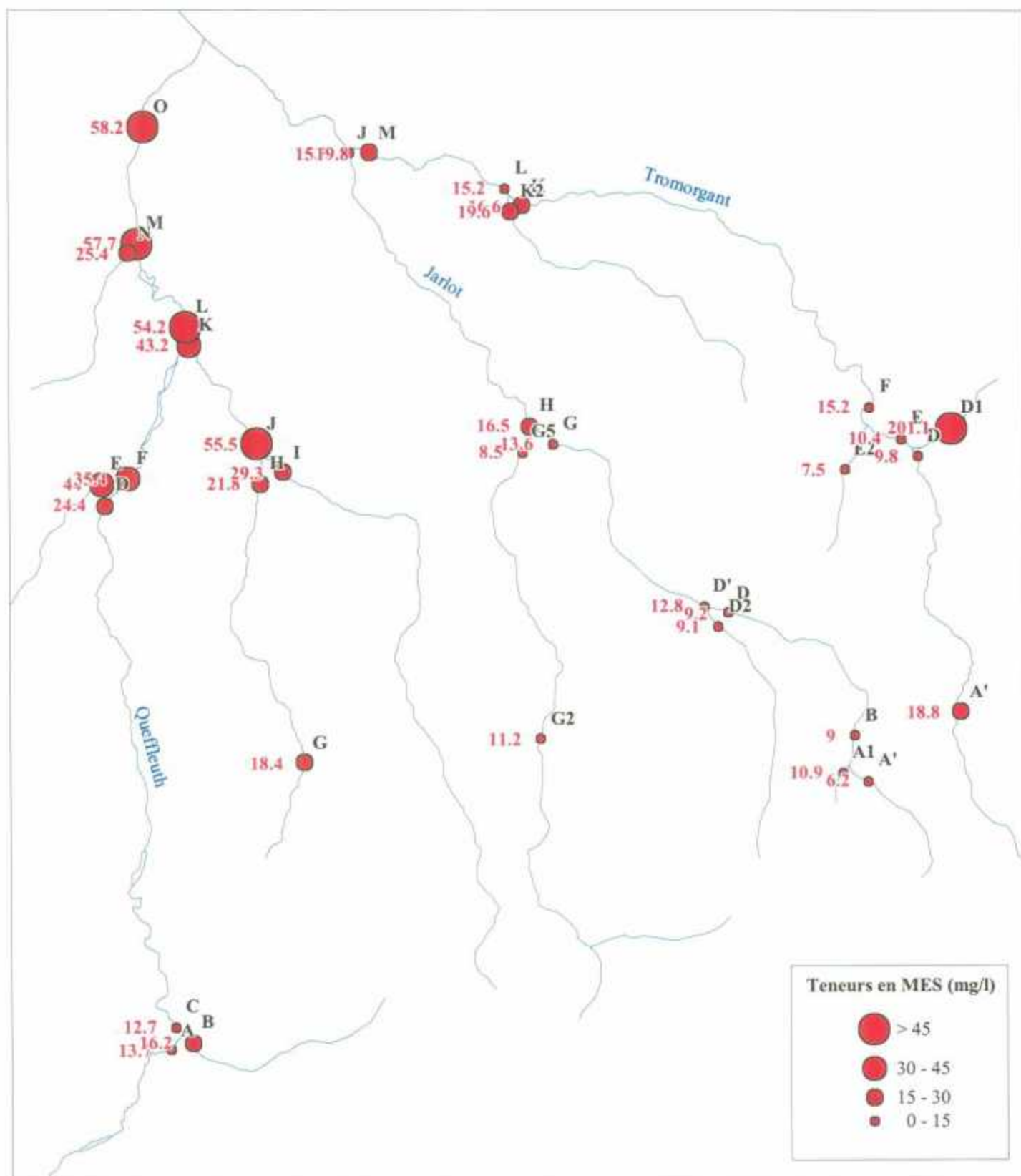


Fig. 5 - Résultats des analyses MES de la campagne des 19-20/03/2002

3.4. PREMIERS RESULTATS OBTENUS

Les résultats obtenus permettent :

- d'appréhender le fonctionnement des transports solides sur certaines zones des 3 rivières suivies,
- d'établir les premières corrélations entre la turbidité et les MES en certains points du réseau et plus globalement sur les 3 rivières.

Une analyse plus complète des résultats sera effectuée à l'issue des prochaines campagnes (confirmation ou infirmation des premières conclusions issues des analyses des premières campagnes). Les corrélations turbidité/MES seront alors révisées pour les différents points du réseau de suivi.

3.4.1. Localisation de zones de stagnation ou de mise en suspension

Les zones où apparaissent des stagnations des MES (les teneurs estimées après confluence à partir des valeurs mesurées avant confluence sont supérieures aux données mesurées après confluence) sont situés dans les secteurs amont des cours d'eau où les débits ne sont pas encore trop élevés :

- secteurs amont du point G2, et entre la confluence A', A1 et le point B sur le Jarlot,
- zone marécageuse D, D1 sur le Tromorgant,
- secteur A B C sur le Queffleuth.

Ces endroits peuvent entraîner des eaux turbides dès les fortes précipitations puisqu'une partie des dépôts accumulés sont remis en suspension. Le phénomène a été observé lors des mesures de turbidité du 26/02/2001 sur le Jarlot, effectuées durant une période de pluie (269,3 NTU en A1 et 92,4 en A') et juste après (51,2 NTU en A1 et 9,3 en A').

Les campagnes de terrain et les analyses effectuées sur les autres confluences des rivières montrent un écoulement régulier avec parfois une mise en suspension des dépôts des rivières (les teneurs estimées après confluence à partir des valeurs mesurées avant confluence sont inférieures aux données mesurées après confluence). C'est le cas pour les secteurs suivants :

- Jarlot : secteurs D D2 D' et G G5 H,
- Tromorgant : secteurs E2 E F et K2 K L,
- Queffleuth : secteurs E D F et H I J.

3.4.2. Corrélation turbidité/MES

La comparaison entre les mesures de turbidité et les analyses de MES permettent de proposer les corrélations suivantes :

Lieu	Relation	Corrélation	Conclusion
B	MES=0,87 x Turbidité	20 %	A corriger
G2	MES=0,55 x Turbidité	20 %	A corriger
G5	MES=0,78 x Turbidité	99 %	A confirmer
A'	MES=0,71 x Turbidité	44 %	A corriger
A1	MES=1,06 x Turbidité	86 %	A confirmer
Jarlot	MES=0,82 x Turbidité	67 %	A confirmer
Tromorgant	MES=1,69 x Turbidité	16 %	A corriger
Queffleuth	MES=1,19 x Turbidité	73 %	A confirmer

Tabl. 7 - Premières corrélations turbidité/MES

Certaines de ces corrélations sont à confirmer en raison de valeurs aberrantes ou erronées sans doute liées à des erreurs d'échantillonnage et/ou d'analyses de turbidité ou de MES. Les résultats des campagnes à venir permettront de mettre en évidence ces points et d'établir les corrélations finales à retenir.

A terme, ces corrélations permettront de calculer les MES des points du réseau à partir de mesures quasi-instantanées de la turbidité.

Le réseau de suivi permettra alors de mettre en évidence rapidement les secteurs où les apports de MES sont les plus importants et de remonter jusqu'aux sources.

4. Caractérisation physico-chimique des eaux superficielles et souterraines

4.1. CONTEXTE ET OBJECTIF

L'eau brute utilisée pour l'alimentation en eau potable de la ville de Morlaix présente des teneurs en nitrates qui varient de 25 à 40 mg/l à l'échelle de l'année, celles-ci augmentent de 0,8 à 0,9 mg/l/an sur les dix dernières années. En extrapolant cette croissance, en 2015, ces teneurs seront supérieures à la limite maximale autorisée qui est actuellement de 50 mg/l. La maîtrise de ce problème impose que l'origine de l'eau qui s'écoule dans les rivières soit identifiée.

Les aquifères bretons, complexes en raison de l'extrême hétérogénéité du sous-sol, sont constitués de fractures, plus ou moins ouvertes et étendues, relayées par tout un réseau de fissures et accompagnées de niveaux supérieurs altérés. Le milieu altéré est caractérisé par une porosité d'interstice et une vidange plus rapide que le milieu fissuré et fracturé, plus profond, caractérisé par une inertie plus forte et une présence fréquente de phénomènes de dénitrification.

L'objectif de ce chapitre est donc, à partir d'analyses chimiques d'eaux de surface et d'eaux souterraines du milieu altéré et du milieu fissuré, de caractériser les différents réservoirs et leurs contributions respectives à l'écoulement de surface. En parallèle, l'influence de la géologie locale (lithologies présentes sur le bassin versant des rivières de Morlaix) sur les analyses chimiques a été étudié.

4.2. DEFINITION DU RESEAU DE SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE

4.2.1. Sélection des sous-bassins versants étudiés

Un diagnostic initial des mesures de débit et des analyses de nitrates effectuées par le Syndicat Mixte pour la gestion des rivières du Trégor et du Pays de Morlaix ont permis de distinguer les contributions relatives (débit, nitrates) des sous-bassins des trois rivières étudiées (Jarlot, Tromorgant et Queffleuth) en période de hautes et basses eaux.

Ce diagnostic a mis en évidence des bassins versants plus réactifs que d'autres, où les fluctuations de débit et de nitrates étaient les plus importantes. Les sous-bassins B, G2 et G5 de la rivière du Jarlot ont alors été sélectionnés (cf. figure 6 : les sous-bassins G2 et B correspondent aux parties les plus amont du Jarlot ; et le sous-bassin G5 est à l'aval du sous bassin G2).

En outre, ces trois sous-bassins versants présentent l'avantage d'avoir toutes les formations géologiques présentes sur le bassin versant du Jarlot. La répartition des différentes formations géologiques par sous-bassin est chiffrée dans le tableau 8.

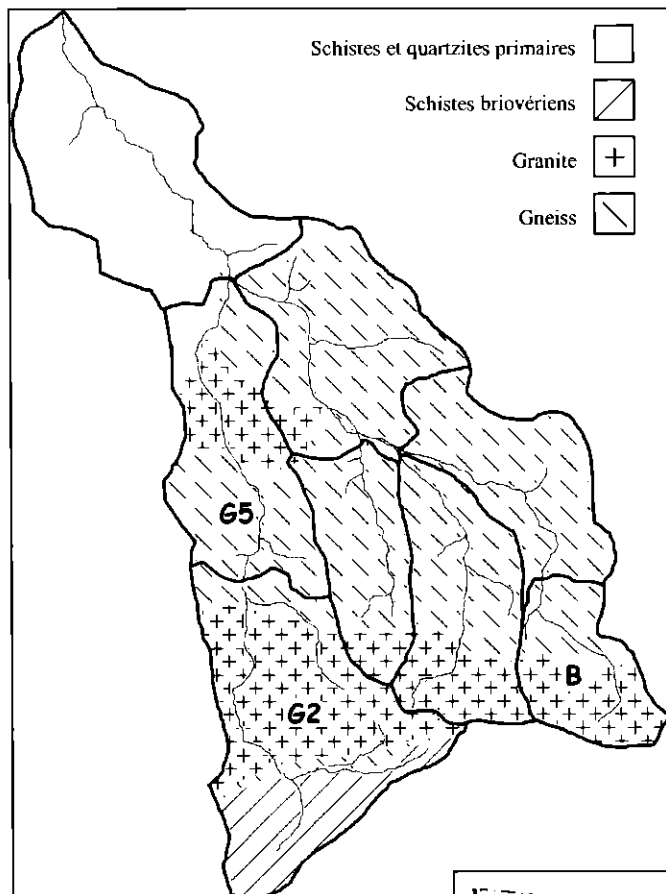
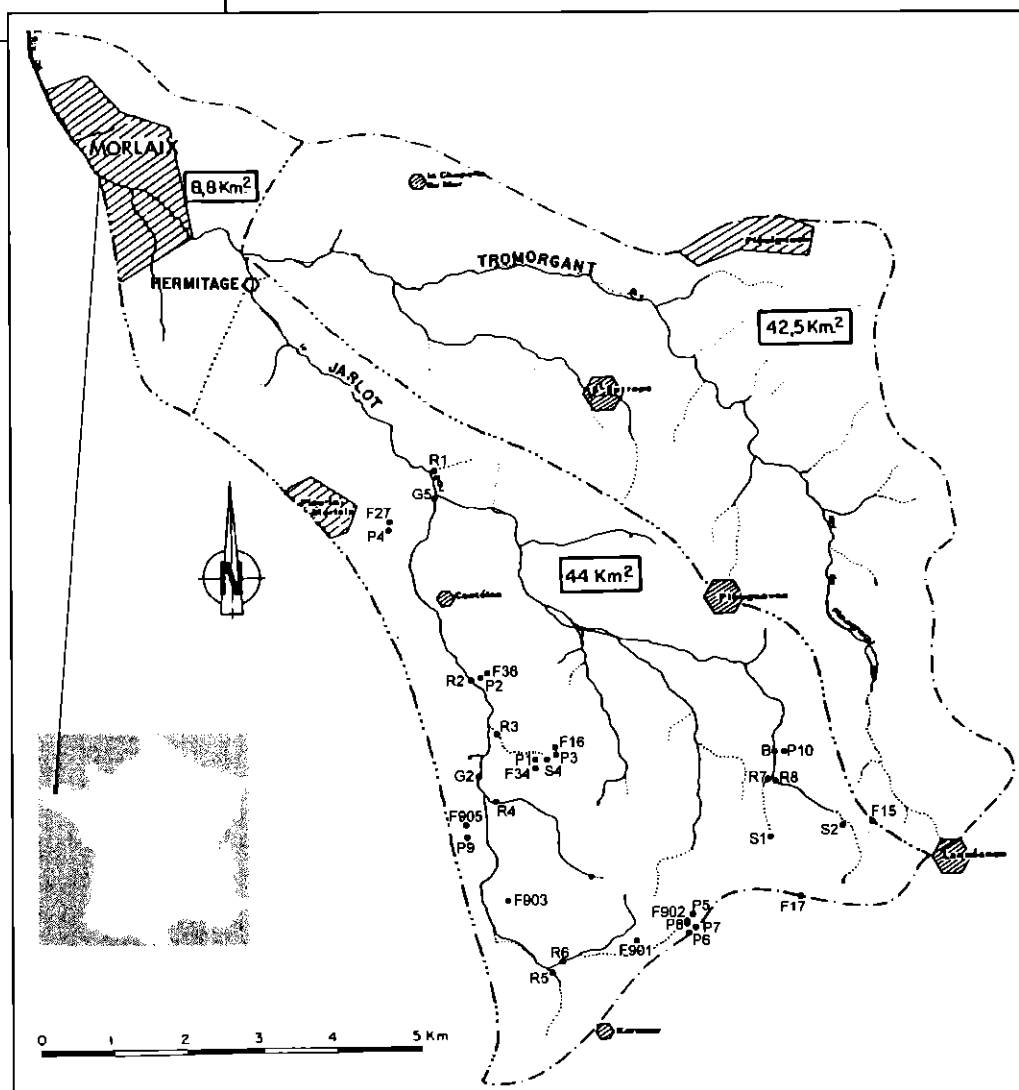


Fig. 6 - Carte géologique simplifiée du bassin versant du Jarlot et localisation des sous-bassins versants étudiés

Fig. 7 - Localisation des points de prélèvements



4.2.2. Sélection du réseau global et du réseau réduit

Après avoir réalisé un inventaire de tous les points d'eau souterraine présents sur les sous-bassins retenus, trente quatre points de prélèvements (10 puits, 10 forages, 3 sources et 11 rivières) ont été sélectionnés et suivis sur une période de sept mois (de février à septembre 2001).

Sur chacun des points de prélèvements (localisation sur la figure 7 de la page précédente) les éléments suivants ont été renseignés (cf. tableau 8) :

- le type de point d'eau (puits, forage, source ou rivière),
- la lithologie traversée (granite, gneiss, schistes briovériens ou schistes et quartzites primaires),
- et le sous-bassin versant (B, G2 ou G5).

Selon la profondeur atteinte par les ouvrages, les puits du réseau captent l'aquifère du milieu altéré et les forages celui du milieu fissuré. D'après les observations de terrain et les résultats d'analyses chimiques, la situation des sources est variable : les sources S1 et S2 présentent des caractéristiques d'eaux issues du réservoir fissuré, alors que la source S4 présente des caractéristiques d'eaux issues du réservoir altéré.

Les 10 puits et 10 forages ont été choisis pour définir 10 doublets puits-forage au niveau des différentes lithologies présentes sur les sous-bassins. Le doublet permet alors de comparer l'eau souterraine issue du milieu altéré (peu profond et correspondant au puits) à celle issue du milieu fissuré et fracturé (plus profonde et correspondant au forage).

Parmi ce réseau global de 34 points, un réseau réduit de 13 points (2 puits, 2 forages et 9 rivières) a été sélectionné pour un suivi régulier (cf. chapitre 4.2.3.). Ce dernier comprend (cf. tableau 8) :

- 2 doublets forage-puits : P8-F902 (dans les schistes briovériens) et P4-F27 (dans les schistes et quartzites primaires),
- 9 points en rivière répartis :
 - le long du cours d'eau principal au niveau des exutoires des sous-bassins versants (B, G2, G5),
 - sur les affluents dont certains sont représentatifs d'une seule lithologie (R1 : schistes et quartzites primaires, R3 : gneiss, R4 : granite, R5 : schistes briovériens),
 - le long du cours d'eau principal au niveau d'un contact géologique (R2 à la limite granite/gneiss) ou d'une représentation de deux formations (R8 : granite et gneiss).

Le choix des 9 points des rivières a été motivé par le fait que celles-ci présentent une composition chimique qui varie plus rapidement que celle des eaux souterraines. Les 2 doublets ont été sélectionnés parce qu'ils présentaient des variations significatives entre la composition chimique de l'eau issue du puits et de celle issue du forage.

N° d'identification	Superficie du sous-bassin (km ²)	du sous-bassin	Granite	Gneiss	Schistes briovériens	Schistes et quartzites primaires
<i>Les rivières</i>						
G5 (*)	14.4	G5	48,50%	29,50%	21,60%	0,40%
R1 (*)	0.4	G5	—	—	100%	—
R2 (*)	10.7	G5	45,80%	27,60%	26,60%	—
R3 (*)	0.6	G5	—	100%	—	—
G2 (*)	8.6	G2	45,80%	27,60%	26,60%	—
R4 (*)	1.5	G2	77,30%	22,70%	—	—
R5 (*)	1.7	G2	—	—	100%	—
R6	2.0	G2	47,10%	11,80%	41,10%	—
B (*)	3.1	B	65,30%	34,70%	—	—
R7	0.4	B	70%	30%	—	—
R8 (*)	2.1	B	72,20%	27,80%	—	—

N° d'identification	Sous bassin	Profondeur (m)	Lithologie
<i>Les forages</i>			
F27 (*)	G5	37	Schistes et quartzites primaires
F36	G5	40	Gneiss
F16	G5	43	Gneiss
F34	G5	79	Gneiss
F905	G2	70	Granite
F903	G2	40	Granite
F902 (*)	G2	31	Schistes briovériens
F901	G2	32	Granite
F15	B	37	Gneiss
F17	B	44	Granite
<i>Les puits</i>			
P1	G5	5	Gneiss
P2	G5	8	Gneiss
P3	G5	6	Gneiss
P4 (*)	G5	10	Schistes et quartzites primaires
P5	G2	11	Schistes briovériens
P7	G2	11	Schistes briovériens
P8 (*)	G2	11	Schistes briovériens
P9	G2	12	Granite
P10	B	5	Gneiss
<i>Les sources</i>			
S4	G5		Gneiss
S1	B		Granite
S2	B		Granite

(*) : points du réseau réduit

Tabl. 8 - Description des points de prélèvements sur le bassin versant du Jarlot

4.2.3. Echantillonnage et méthodes d'analyses

Les échantillons d'eau ont été recueillis durant neuf campagnes de prélèvement de février à septembre 2001 (suivi du réseau réduit de 13 points). Ils ont été collectés dans des flacons en polypropylène après avoir été filtrés à 0.20 µm et ont fait l'objet de dosages en nitrates, sulfates et chlorures par électrophorèse capillaire. Seules la deuxième et la neuvième campagne (fin février et fin août 2001), qui représentent les deux campagnes complètes (suivi du réseau global de 34 points), ont fait l'objet d'un dosage des cations majeurs et traces et des éléments rares par ICP-MS. Ces échantillons ont été filtrés à 0.20 µm et acidifiés sur le terrain.

A la suite des deux premières campagnes, les 13 points de prélèvements du réseau réduit ont été sélectionnés et échantillonnés régulièrement pour suivre et observer les variations temporelles éventuelles. Les 2 doublets puits-forage permettent de suivre les variations chimiques des milieux altéré et fissuré, de caractériser des échanges éventuels entre ces deux milieux et de déterminer les temps de transfert entre une variation chimique dans l'eau souterraine et dans l'eau de surface.

La conductivité électrique à 25°C, la température, le pH de l'eau ont été mesurés sur le terrain.

4.3. PRESENTATION DES RESULTATS

L'évolution spatiale sera caractérisée à partir des deux campagnes complètes effectuées sur les 34 points de prélèvements (du 28/02/01 au 02/03/01 en période de hautes eaux et du 28/08/01 au 31/08/01 en période de basses eaux). Les résultats obtenus lors de ces deux campagnes sont représentés en annexe 2 dans les tableaux 9a et 9b et une moyenne de ces résultats par type d'ouvrage dans les tableaux 10a et 10b. L'évolution temporelle a été obtenue à partir des campagnes répétées sur les 13 points de prélèvements sélectionnés pour les teneurs en nitrates, sulfates et chlorures (cf. tableau 11 en annexe 2 et figure 8 page suivante).

Les résultats sont présentés ci-dessous par éléments physico-chimiques.

Le pH

L'eau des rivières présente un pH relativement neutre et subit peu de variations au cours du temps. Il oscille entre 6.2 et 7.2. Le pH des puits est en moyenne légèrement supérieur à celui des forages (6,0 et 5,8 unités pH).

La conductivité électrique

Elle traduit une charge chimique de l'eau qui est supérieure dans les puits (247 µS/cm) et forages (259) par rapport aux rivières (207). L'évolution en fonction du temps dans l'eau de surface traduit une augmentation de février à août qui peut s'expliquer par une plus forte contribution des eaux souterraines en période d'été.

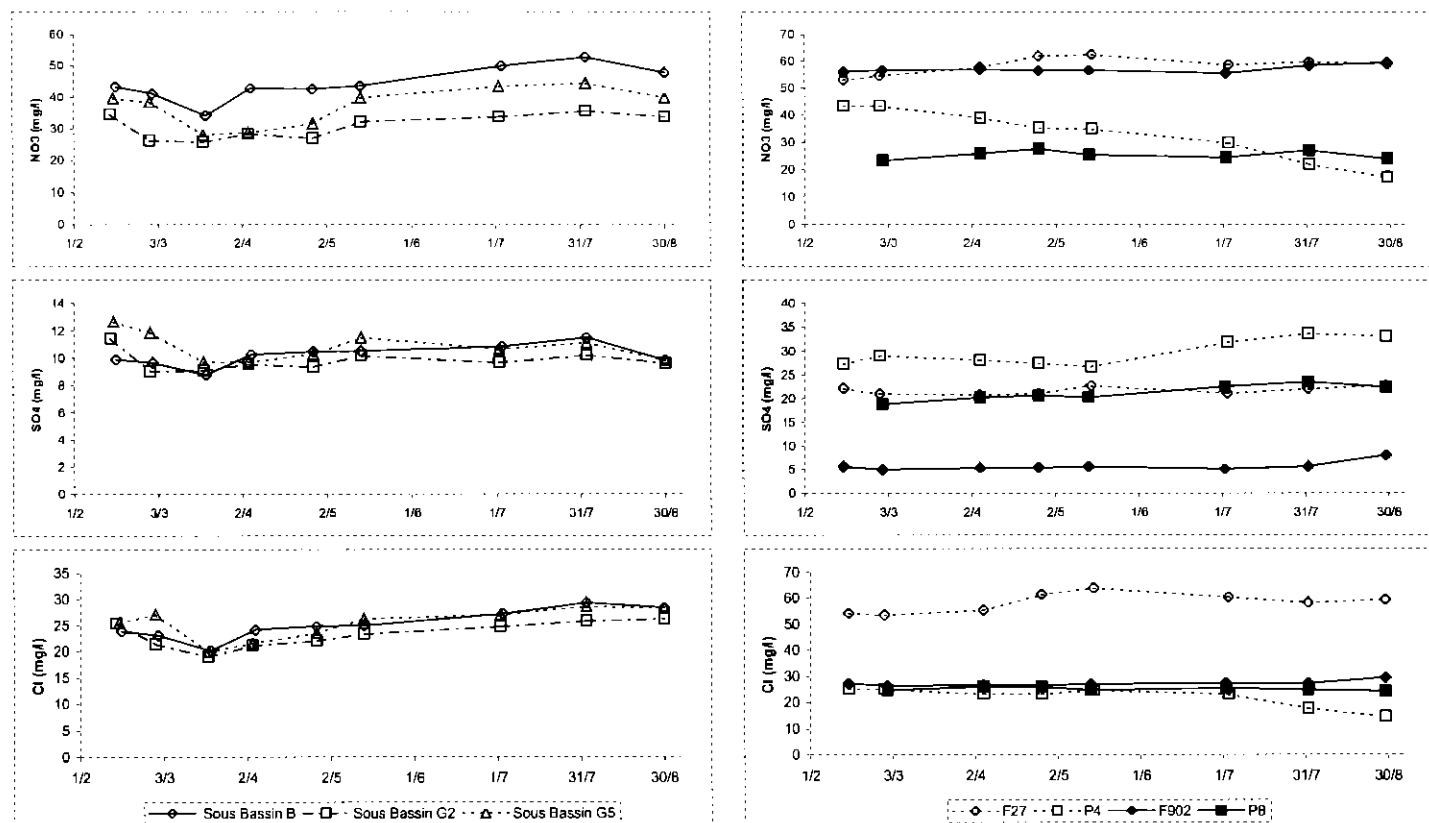


Fig. 8 - Evolution des teneurs en nitrates, sulfates et chlorures en fonction du temps pour les exutoires des sous-bassins versants et les deux doublets sélectionnés

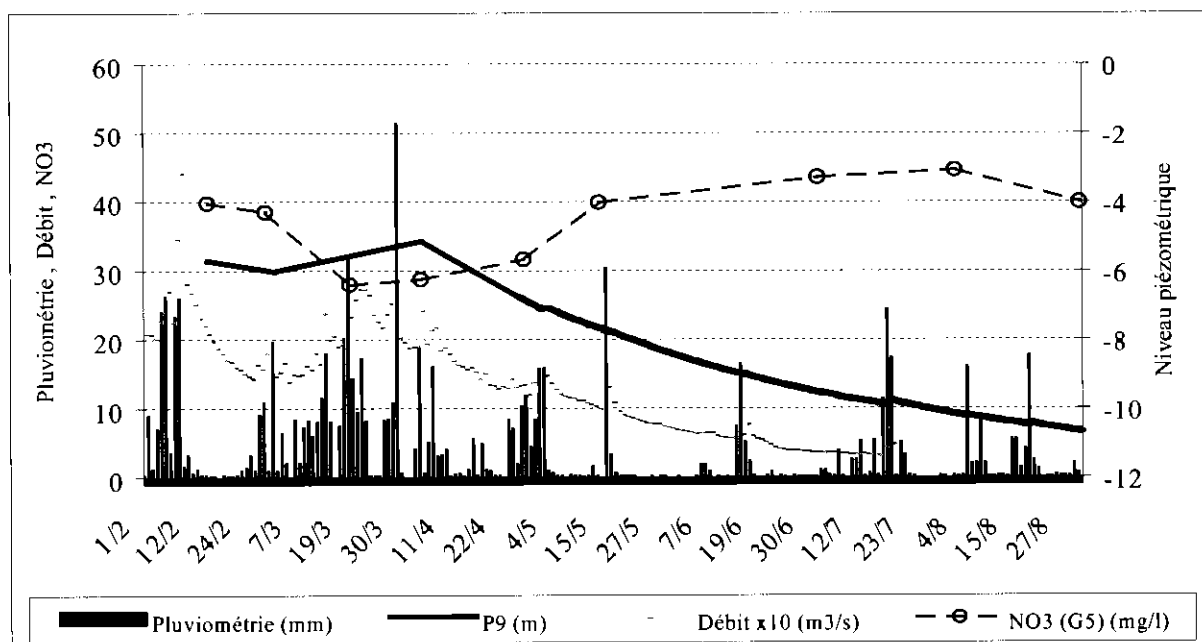


Fig. 9 - Evolution de la pluviométrie, du niveau piézométrique (puits P9), du débit à l'exutoire du bassin versant du Jarlot et des teneurs en nitrates à l'exutoire du sous-bassin G5 de février à septembre 2001

Le niveau piézométrique

Il a été enregistré manuellement lors des campagnes de prélèvements puis automatiquement toutes les deux heures depuis le 26 avril 2001 sur le puits P9 du sous-bassin versant G2. L'évolution du niveau de la nappe est relativement régulier au cours du temps depuis le début du suivi continu. En effet, les pluies (données pluviométriques à la station météorologique de Lannéanou) ne provoquent que de très faibles fluctuations de la nappe (cf. figure 9 page précédente). La période d'étude montre une vidange régulière de la nappe, qui sera suivi d'une recharge en période de fortes pluies.

Les anions

L'ordre d'abondance des anions analysés est en majorité identique quelque soit le type de point d'eau : rivières, puits ou forages : $\text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$.

Les nitrates : Les teneurs moyennes en nitrates sont en général supérieures dans l'eau souterraine issue des forages à celles issues des puits, celles des rivières étant plus faibles. Cette tendance se remarque sur tous les doublets quelle que soit la lithologie, à l'exception des forages F34 (teneurs nulles) et F15 (teneurs faibles : 17,2 mg/l en février et 23,6 mg/l en août). Les variations temporelles font apparaître des teneurs maximales dans l'eau des rivières en période d'étiage (Fig. 3), lorsqu'elles sont alimentées presque exclusivement par l'eau souterraine (note BRGM BRE n°00.13). Les teneurs minimales se manifestent lorsque la pluviométrie est importante grâce à un phénomène de dilution et/ou à une plus faible participation du milieu profond qui présente des teneurs plus importantes en nitrates. L'eau souterraine du milieu altéré subit, dans l'ensemble, des variations plus importantes que celle issue du milieu fissuré. Ainsi l'eau souterraine issue du forage F27 subit une variation d'environ 10 mg/l avec une tendance à l'augmentation tandis que celle issue du puits P4 subit une diminution d'environ 30 mg/l depuis le début des campagnes.

Les chlorures : Au premier abord, les variations spatiales de la concentration en chlorures sont faibles. Cependant, si on élimine un point extrême, le forage F27 (53,4 mg/l en février et 59,5 mg/l en août 2001 ; alors que les teneurs varient entre 5,8 mg/l et 37,7 mg/l dans les autres points de prélèvement), les teneurs semblent être légèrement supérieures dans les puits. L'observation des teneurs par lithologie indique que les points représentant les gneiss possèdent des valeurs plus importantes. Les variations temporelles sont faibles aussi bien dans l'eau issue des rivières, des puits ou des forages. L'eau souterraine issue du forage F27 subit cependant une augmentation temporaire des chlorures qui semble corrélée à une augmentation des teneurs en nitrates de mars à mai et une diminution temporaire des chlorures qui semble également corrélée à une diminution des teneurs en nitrates de mai à septembre 2001. Cette diminution est également observée dans le puits P4. Cette évolution marque une variation de la charge polluante. Cependant, les points F27 et P4 semblent représenter des exceptions par rapport aux autres points de prélèvements dont les teneurs restent relativement constantes.

Les sulfates : Globalement, les teneurs en sulfates sont plus importantes dans l'eau issue des puits et de certains forages. Cette différence s'accroît en période de basses eaux. Ce phénomène s'observe indépendamment de la lithologie. Les rivières ont, quant à

elles, des teneurs en sulfates beaucoup plus basses. Le suivi en fonction du temps fait apparaître une augmentation des teneurs en sulfates corrélée à une diminution des teneurs en nitrates dans le puits P4.

Les cations majeurs

L'ordre d'abondance des cations majeurs est en majorité identique quelque soit le type de point d'eau : $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$.

Le potassium : Les teneurs en potassium sont nettement plus importantes dans les puits par rapport aux forages et aux rivières en période de hautes eaux et en période de basses eaux.

Le sodium : Les teneurs en sodium sont quasiment identiques quel que soit le type de points d'eau et la lithologie. Si celles-ci restent à peu près stables dans l'eau souterraine, elles augmentent dans l'eau de surface en période de basses eaux.

Le calcium et le magnésium : Les teneurs en calcium et magnésium sont à peu près identiques quel que soit le type de points d'eau et la lithologie.

Le fer : Les teneurs en fer sont plus importantes dans les rivières que dans les forages et les puits à l'exception du forage F34 qui présente de très fortes teneurs en période de hautes eaux (3,2 mg/l en février contre 0,2 mg/l en août). Cette particularité, très marquée en période de hautes eaux, s'atténue en période de basses eaux.

4.4. ANALYSE DES RESULTATS OBTENUS

4.4.1. Variations en fonction de la profondeur et dénitrification

Analyse des teneurs en nitrates

Les variations de teneurs en nitrates (dans les horizons du sous-sol) peuvent avoir pour origine différents mécanismes :

- une source de nitrates variable en surface,
- une dilution soit par des eaux de pluies soit par une remontée d'eau profonde peu ou pas chargée en nitrates (dénitrification en profondeur),
- l'assimilation par la végétation,
- les processus de dénitrification.

La réduction des nitrates par ce dernier phénomène peut être couplée :

- à l'oxydation de la matière organique dissoute (CH_2O) (dénitrification hétérotrophe)
$$5\text{CH}_2\text{O} + 4\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ \leftrightarrow 2\text{N}_2 + 7\text{H}_2\text{O} + 5\text{CO}_2$$

(Eq.1)
- ou à l'oxydation d'un composé minéral (pyrite : FeS_2) (dénitrification autotrophe)
$$5\text{FeS}_2 + 14\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ \leftrightarrow 7\text{N}_2 + 10\text{SO}_4^{2-} + 5\text{Fe}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$$

(Eq.2)

L'exemple le plus visible de l'intervention d'un phénomène de dénitrification par oxydation de la pyrite est représenté par le forage F34 qui présente des teneurs en

nitrate nulle, des teneurs en sulfates élevées (20,6 mg/l) et des teneurs très importantes en fer (3,25 mg/l).

A l'exception des forages F34 (voir ci-dessus) et F15 (forage qui semble assez bien protégé d'apports agricoles d'après ses faibles teneurs en nitrates et chlorures et les observations sur le terrain), les teneurs en nitrates des points représentant les eaux souterraines du milieu fissuré et fracturé sont globalement supérieures à celles présentes dans le milieu altéré (cf. figure 10). La figure 10 montre également que les deux pôles puits-forages ne sont pas si distincts et que leur proximité témoigne de mélanges entre les eaux souterraines des deux aquifères. C'est le cas dans la plupart des forages (et certains puits profonds) du secteur où l'absence de cimentation entraîne un mélange entre les eaux souterraines provenant du milieu fissuré profond et celles du milieu altéré plus superficiel.

Par exemple, l'observation comparée de l'évolution chimique des teneurs en nitrates et en sulfates du puits P4 illustre ces mélanges (cf. figure 8). Les prélèvements effectués dans cet ouvrage interviennent après une période de fortes pluies de fin d'année 2000 et de début d'année 2001, qui ont pu entraîner une forte dilution des teneurs en nitrates. A ce phénomène climatique, s'ajoute deux événements chronologiquement distincts, au fur et à mesure de l'abaissement du niveau de la nappe (cf. figure 9) :

- du 15 février au 15 mai (5 premières campagnes), les teneurs en nitrates diminuent tandis que les teneurs en sulfates restent stables : le phénomène opérant pourrait être une dénitrification par oxydation de la matière organique (dénitrification hétérotrophe) couplée à la dilution évoquée précédemment,
- du 15 mai au 29 août (3 dernières campagnes), la diminution des teneurs en nitrates est accompagnée d'une augmentation des teneurs en sulfates : la diminution du niveau piézométrique change les conditions redox du milieu et la période d'étiage entraîne une plus forte mobilisation des eaux profondes (cf. conclusions de la modélisation Gardénia - note BRGM BRE n°00.13) où un phénomène de dénitrification autotrophe peut avoir lieu.

Il semble donc que les deux processus de dénitrification (autotrophe et hétérotrophe) coexistent au sein des milieux altérés et fissurés. L'existence des deux phénomènes est liée à la présence de pyrite en profondeur et aux conditions redox qui règnent dans le sous-sol. La distinction précise de chacun des phénomènes est masquée par un mélange permanent des eaux souterraines provenant des deux types d'aquifères.

Analyse des teneurs en potassium

Un autre élément permet de distinguer l'existence de deux systèmes contrastés entre le milieu altéré et le milieu fissuré : le potassium. Les teneurs en potassium sont représentées sur la figure 11 et celles-ci sont globalement nettement supérieures dans les puits du secteur à celles des forages.

Le potassium peut provenir de l'altération du feldspath. Cependant, cet élément étant lessivé très rapidement, il n'est habituellement pas ou peu présent dans le milieu altéré ou, en tout cas, pas en de telles proportions.

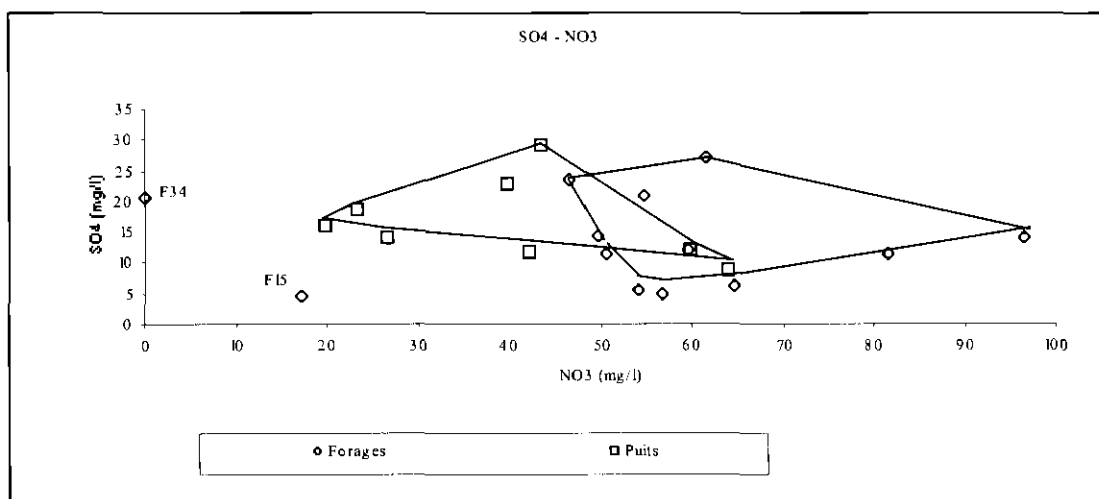


Fig. 10 - Teneurs en sulfates en fonction des teneurs en nitrates par type d'ouvrage

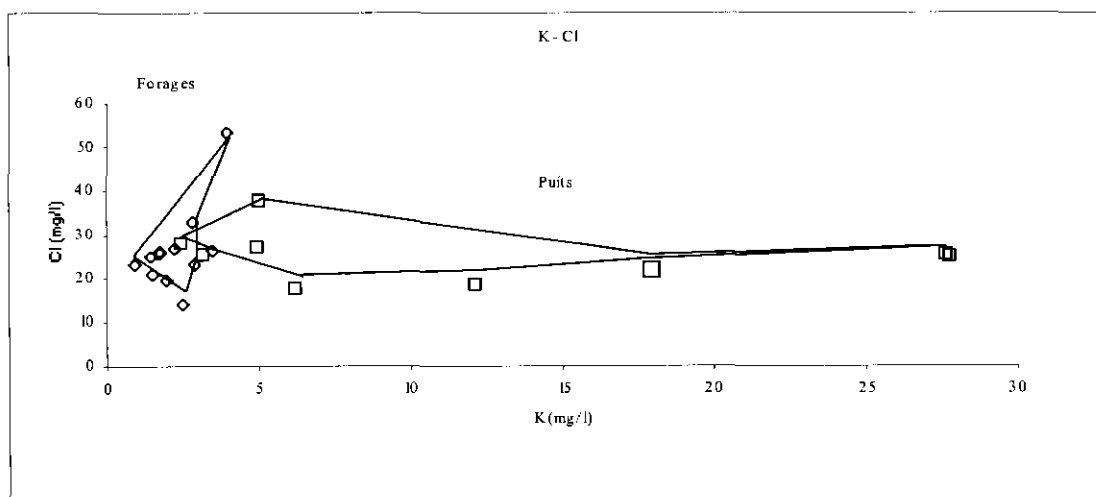


Fig. 11 - Teneurs en chlorures en fonction des teneurs en potassium par type d'ouvrage

Le potassium peut également être transporté sous forme dissoute dans l'eau via l'application sur les sols d'engrais NPK. Les fortes teneurs en potassium dans les puits et l'absence de potassium dans les forages pourrait alors être expliquées par une pollution en potassium récente. Une autre origine de cette pollution peut être un épandage de lisier de porcs ; ce lisier étant nettement plus chargé que le lisier de bovin ou les fientes de volailles (environ 85 mg/l contre 7 mg/l d'après des analyses effectuées en 2000 sur le bassin de l'Arguenon dans les Côtes d'Armor).

4.4.2. Variations en fonction de la lithologie

L'observation des teneurs en chlorures par lithologie montre que les points représentatifs des gneiss possèdent des valeurs plus importantes que les autres lithologies : schistes briovériens puis granites (cf. figure 12). Il semble s'agir d'un phénomène local puisque les points de prélèvements caractéristiques des gneiss, où les fortes teneurs sont mesurées, sont localisés sur le sous-bassin versant G5 ; les points du sous-bassin versant B présentant des teneurs inférieures.

Les variations chimiques dans les eaux souterraines issues du doublet situé dans les schistes et quartzites primaires (P4 et F27) sont plus importantes que celles des eaux souterraines issues du doublet situé dans les schistes briovériens (P8 et F902) (cf. figure 8). La différence de comportement des deux doublets en fonction du temps est liée à une perméabilité différente des terrains traversés. En effet, les schistes et quartzites primaires sont localement plus perméables que les schistes briovériens (cf. chapitre 2.1.2.). La perméabilité plus importante des schistes et quartzites primaires entraîne une plus forte sensibilité de cette formation par rapport aux phénomènes de pollutions originaires de la surface ainsi qu'aux phénomènes de dilution.

Par ailleurs, peu de variations ont été observées en fonction de la lithologie. La répartition de la lithologie est sans doute plus hétérogène au niveau du sous-sol.

4.4.3. Relations entre l'eau souterraine et l'eau de surface

Les nappes du milieu altéré et du milieu fissuré constituent, au sein du bassin versant, un stock en nitrates qui régule l'exportation des nitrates vers la rivière. La nappe emmagasine les nitrates et les transporte au cours de l'année ou des années suivantes jusqu'à la rivière. Sur le bassin versant, en période de hautes eaux, l'eau souterraine présente des concentrations en nitrates élevées par rapport à l'eau des rivières (cf. figure 8). Ceci suggère que les rivières sont alimentées à cette période par de l'eau superficielle et diluée par les précipitations. Ces teneurs augmentent ensuite vers la période de basses eaux (étiage) ; la rivière étant alors alimentée de plus en plus par l'eau souterraine.

Des mesures chimiques ont été effectuées sur des points d'eau de rivière représentatifs d'une formation géologique (R3 : gneiss, R4 : granite, R5 : schistes briovériens), le long des sous-bassins versants B, G2 et G5. L'interprétation des analyses chimiques permet d'argumenter sur la provenance de l'eau des rivières.

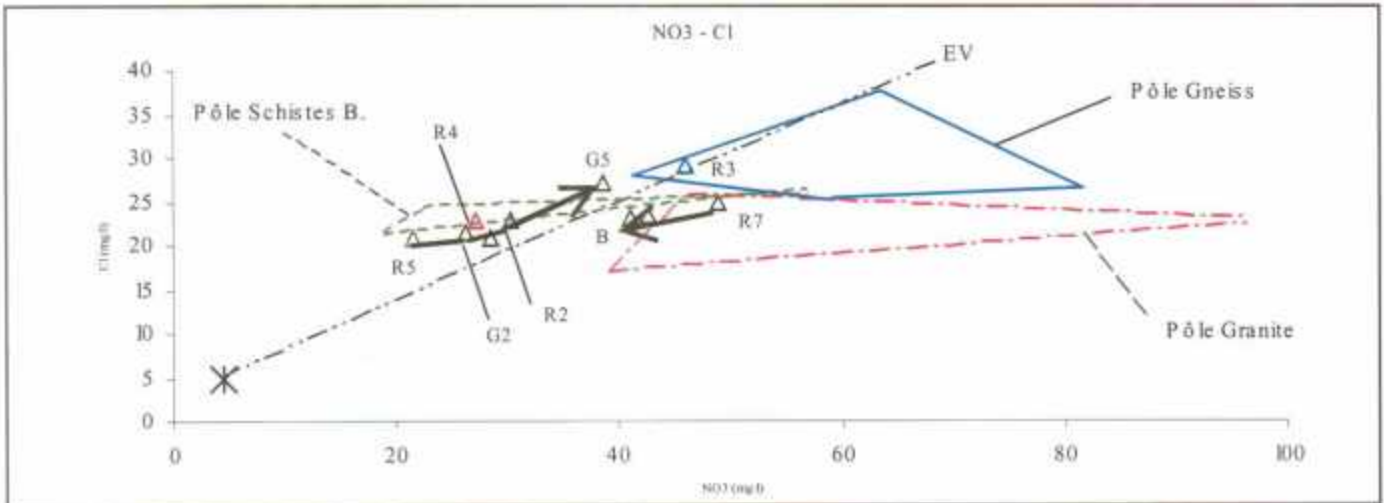


Fig. 12 - Représentation de l'évolution des rivières de l'amont vers l'aval grâce aux teneurs en chlorures en fonction des teneurs en nitrates

Légende : $\triangle$ Rivières ∇ Pôle représenté par les forages et puits d'une même lithologie

EV : droite d'évaporation de l'eau de pluie

Les rivières reliées par des flèches représentent l'évolution du cours d'eau principal de l'amont vers l'aval (R5, G2, R2, G5 pour les sous-bassins G2 et G5 ; et R7, B pour le sous-bassin B)

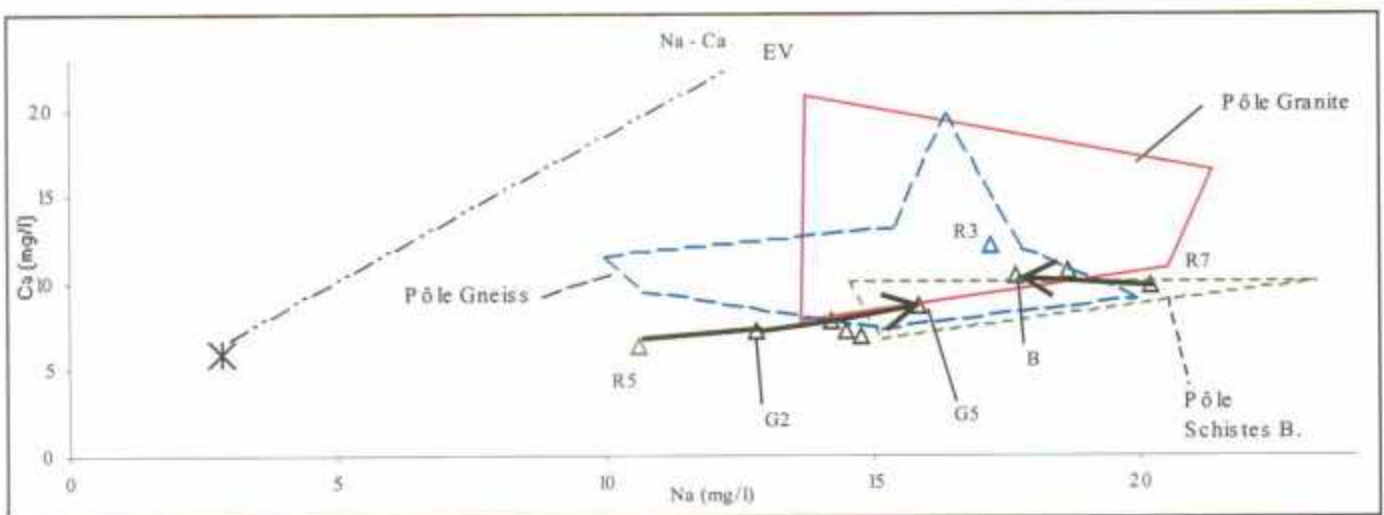


Fig. 13 - Représentation de l'évolution des rivières de l'amont vers l'aval grâce aux teneurs en calcium en fonction des teneurs en sodium

Les conclusions ci-dessous sont issues des interprétations des figures 12 et 13 (page précédente). Les polygones délimitent les couples chimiques (NO_3/Cl ou Na/Ca) des points d'eau souterraine (forages et puits) représentant les différentes lithologies (granite, gneiss, schistes briovériens). Ils définissent ainsi les caractéristiques de l'eau souterraine issue de cette formation géologique.

Les sous-bassins G2 et G5

La comparaison entre les teneurs chimiques (couples nitrates/chlorures de la figure 12) de la rivière R4 et des points d'eau caractérisant le pôle granite montre que l'eau provenant du point R4 est principalement constituée d'une eau de surface peu évoluée par rapport à de l'eau de pluie (point à proximité de la droite d'évaporation EV). La contribution de l'eau souterraine à la rivière est plus importante au niveau des schistes briovériens (R5) et des gneiss (R3). En effet, ces deux points en rivière présentent une composition chimique très proche de l'eau souterraine issue des puits et forages qui lui correspondent géologiquement.

L'analyse des couples sodium/calcium (cf. figure 13) montre que la contribution de l'eau souterraine à l'eau de surface évolue d'amont en aval : à l'amont, l'eau de surface est constituée par un mélange entre l'eau superficielle et l'eau souterraine, alors qu'à l'aval la contribution de l'eau souterraine augmente. En effet, la rivière issue des gneiss (R3) à l'aval est beaucoup plus proche de l'eau souterraine qui lui correspond par rapport à la rivière issue des schistes briovériens (R5) située complètement à l'amont ; le point R3 étant situé dans le pôle géologique lui correspondant (cf. figure 13), alors que le point R5 en rivière présente une composition chimique très éloignée de l'eau souterraine issue des puits et forages qui lui correspondent géologiquement.

Cette évolution est observée également si l'on compare l'exutoire du sous bassin G2 à celui du sous-bassin G5 : les points d'eau de rivières se rapprochent des pôles de l'eau souterraine au fur et à mesure du déplacement amont-aval (cf. flèche de la figure 12).

Des pentes plus fortes du bassin versant du Jarlot à l'amont pourraient expliquer cette évolution, celles-ci favorisant le ruissellement (écoulement de surface) au détriment de l'infiltration (écoulement souterrain).

Le sous-bassin B

Le sous bassin B se caractérise, au niveau de la contribution de l'eau souterraine à l'eau de surface, par une évolution inverse aux sous bassins G2 et G5 de l'amont vers l'aval. En effet, le point R7 à l'amont est constitué par de l'eau souterraine principalement, puis l'évolution vers l'aval (point B) montre une augmentation de la contribution de l'eau superficielle (cf. flèches des figures 12 et 13).

Cette évolution amont-aval du sous-bassin B peut avoir plusieurs explications :

- la faible superficie du sous-bassin ($3,1 \text{ km}^2$ contre $8,6$ et $14,4 \text{ km}^2$ pour G2 et G5),
- la localisation des points de prélèvements R7 et R8 très proches de leurs sources ; la contribution de l'eau superficielle ne peut dans ce cas qu'augmenter,
- d'après des observations sur le terrain (et les conclusions du chapitre 3.4.1.), l'existence d'une zone stagnante à la confluence entre R7 et R8 où un mélange avec l'eau présente dans cette zone peut expliquer une dilution qui entraînerait des teneurs moins importantes au niveau du point de prélèvement B.

Une évolution le long du cours d'eau de l'amont vers l'aval a donc été identifiée : pour les sous-bassins G2 et G5, une augmentation de la contribution de l'eau souterraine a été constatée, tandis que sur le sous-bassin B une augmentation de la contribution de l'eau superficielle est mise en évidence.

5. Conclusion

Ce rapport constitue un état d'avancement de la deuxième année du projet « Aide à la gestion des transports de sédiments et de polluants - Bassins versants des rivières de Morlaix ».

Au cours de cette seconde année, deux études ont été menées en parallèle :

- la mise en place d'un réseau de suivi des transports solides sur les rivières Jarlot, Tromorgant et Queffleuth,
- la réalisation d'un suivi physico-chimique de l'eau souterraine et superficielle sur trois sous-bassins versants représentatifs (B, G2 et G5).

Un réseau de suivi de 36 points des transports solides a été implanté sur les trois rivières étudiées et trois campagnes de prélèvements ont été menées en mars et septembre 2001 ainsi qu'en mars 2002. Deux d'entre elles ont fait l'objet d'analyses de MES.

Le suivi de ce réseau se poursuivra et permettra de confirmer ou d'infirmer les premières conclusions de ce rapport sur les corrélations turbidité/MES et sur la localisation de zones de stagnation.

Le suivi physico-chimique a fait l'objet de deux campagnes de prélèvements et analyses sur les 34 points du réseau global (en périodes de hautes et basses eaux) et un sous-réseau de 13 points a été suivi régulièrement de février à août 2001. Les résultats obtenus ont permis de caractériser chimiquement les eaux souterraines provenant des réservoirs altérés et fissurés du sous-sol et les eaux superficielles amont-aval des sous-bassins.

Des phénomènes de dénitrification plus ou moins profonds ont été mis en évidence au cours de la période de suivi. La perméabilité des terrains a permis d'expliquer la vitesse de variation des teneurs chimiques et d'infiltration des polluants. La contribution des eaux souterraines à l'écoulement superficiel des sous-bassins a été identifiée grâce à la caractérisation chimique des eaux souterraines issues des différentes formations géologiques présentes (schistes et quartzites Primaires, schistes Briovériens, gneiss et granites).

ANNEXE 1

Résultats des campagnes de prélèvements du réseau de suivi (turbidité, MES, débits)

Jarlot

Lieu	Date	Heure	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)
B	01/03/2001	10h55	6.0	-	113.9	100
A'	01/03/2001	11h30	22.4	-	63.1	-
A1	01/03/2001	11h45	27.1	-	13.8	-
D'	01/03/2001	10h39	7.8	-	-	487
D	01/03/2001	10h39	8.3	-	-	273
D2	01/03/2001	10h39	7.5	-	-	214
G2	01/03/2001	10h00	5.3	-	295.1	354
G5	01/03/2001	9h35	8.8	-	-	540
G	01/03/2001	9h35	9.5	-	-	801
H	01/03/2001	9h35	11.4	-	-	1340
J	01/03/2001	9h15	10.7	-	1644	-

Tromorgant

Lieu	Date	Heure	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)
A'	01/03/2001	14h30	10.8	-	105	143.7
D	01/03/2001	15h35	66.7	-	-	808.3
D1	01/03/2001	15h35	26.5	-	-	50.1
E	01/03/2001	15h31	47.8	-	-	758.2
F	01/03/2001	15h49	36.6	-	-	836.9
E2	01/03/2001	15h24	8.9	-	-	78.7
K	01/03/2001	16h05	35.7	-	-	1812.3
L	01/03/2001	16h05	35.8	-	-	2138.1
K2	01/03/2001	16h05	23.1	-	-	325.8
M	01/03/2001	16h50	36.0	-	2383	-

Queffleuth

Lieu	Date	Heure	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)
A	28/02/2001	16h45	3.4	-	-	-
B	28/02/2001	16h45	9.2	-	-	-
C	28/02/2001	16h45	4.7	-	860	-
D	28/02/2001	14h30	5.3	-	1451	-
E	28/02/2001	15h33	7.9	-	524.6	-
F	28/02/2001	14h10	5.4	-	-	-
G	28/02/2001	17h05	4.8	-	164.4	-
H	28/02/2001	18h21	5.0	-	433.1	-
I	28/02/2001	17h45	9.0	-	461.9	-
J	28/02/2001	18h50	9.5	-	-	-
K	28/02/2001	12h05	7.7	-	-	-
L	28/02/2001	11h55	6.8	-	-	-
M	28/02/2001	11h45	8.1	-	-	-
N	28/02/2001	11h39	8.4	-	-	-
O	28/02/2001	11h30	8.7	-	3360	-

Tabl. 2 - Résultats du réseau de suivi lors de la campagne des 28/02 et 01/03/2001

Jarlot

Lieu	Date	Heure	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)
B	26/09/2001	16h00	14.59	47		24
A'	26/09/2001	16h25	6.60	8		-
A1	26/09/2001	16h45	7.58	10.4		-
D'	26/09/2001	15h40	4.80	39		119
D	26/09/2001	15h45	6.62	14		67
D2	26/09/2001	15h35	6.59	9		52
G2	26/09/2001	15h10	2.73	6		86
G5	26/09/2001	14h25	13.27	13		132
G	26/09/2001	14h35	6.27	12		195
H	26/09/2001	14h20	5.83	13		326
J	26/09/2001	14h00	24.73	30	400	

Tromorgant

Lieu	Date	Heure	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)
A'	27/09/2001	12h10	5.70	11		10.6
D	27/09/2001	11h40	5.53	2		51.7
D1	27/09/2001	11h20	8.99	25		3.8
E	27/09/2001	11h50	4.19	5		55.5
F	27/09/2001	11h15	4.14	5		61.3
E2	27/09/2001	10h40	5.90	19		5.8
K	27/09/2001	9h50	8.21	7		132.2
L	27/09/2001	10h15	6.01	12		155.8
K2	27/09/2001	9h55	20.70	14		23.6
M	27/09/2001	9h50	12.90	9	174	

Queffleuth

Lieu	Date	Heure	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)
A	26/09/2001	11h30	5.74	11		
B	26/09/2001	11h35	2.21	3		
C	26/09/2001	11h45	4.73	30	266	
D	26/09/2001	10h30	5.10	13		
E	26/09/2001	10h25	15.33	22		
F	26/09/2001	10h20	4.72	15		
G	26/09/2001	11h05	5.14	10		
H	26/09/2001	10h45	33.40	33		
I	26/09/2001	10h40	45.12	47		
J	26/09/2001	10h35	30.27	47		
K	26/09/2001	10h05	137.92	148		
L	26/09/2001	10h00	59.50	55		
M	26/09/2001	9h55	58.69	72		
N	26/09/2001	9h50	15.74	12		
O	26/09/2001	9h40	17.47	23	810	

Tabl. 3 - Résultats du réseau de suivi lors de la campagne des 26-27/09/2001

Jarlot

Lieu	Date	Heure	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)
B	20/03/2002	8h20	6.6	9.0		30
A'	19/03/2002	17h15	4.6	6.2		-
A1	19/03/2002	17h05	14.7	10.9		-
D'	19/03/2002	16h35	6.0	12.8		148
D	19/03/2002	16h25	4.1	9.2		83
D2	19/03/2002	16h15	6.7	9.1		65
G2	19/03/2002	15h45	3.5	11.2		107
G5	19/03/2002	15h00	6.0	8.5		164
G	19/03/2002	14h50	4.0	13.6		243
H	19/03/2002	14h40	2.5	16.5		408
J	19/03/2002	14h00	13.3	15.5	500	

Tromorgant

Lieu	Date	Heure	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)
A'	20/03/2002	9h05	5.5	18.8		55.3
D	20/03/2002	9h40	6.0	9.8		269.6
D1	20/03/2002	10h10	2.7	201.1		19.6
E	20/03/2002	10h35	7.6	10.4		289.2
F	20/03/2002	11h15	7.2	15.2		319.6
E2	20/03/2002	12h00	3.7	7.5		30.4
K	20/03/2002	14h50	3.0	16.6		689.2
L	20/03/2002	15h05	7.6	15.2		812.4
K2	20/03/2002	15h20	15.4	19.6		123.2
M	20/03/2002	16h45	11.2	19.8	907	

Queffleuth

Lieu	Date	Heure	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)
A	19/03/2002	11h20	4.3	13.7		
B	19/03/2002	11h10	7.5	16.2		
C	19/03/2002	11h00	12.4	12.7	1840	
D	19/03/2002	10h10	6.3	24.4		
E	19/03/2002	10h05	41.8	44.0		
F	19/03/2002	10h00	7.0	35.4		
G	19/03/2002	9h40	11.7	18.4		
H	19/03/2002	9h15	11.8	21.8		
I	19/03/2002	9h10	19.4	29.3		
J	19/03/2002	9h00	11.6	55.5		
K	19/03/2002	8h50	22.5	43.2		
L	19/03/2002	8h45	36.4	54.2		
M	19/03/2002	8h35	41.6	57.7		
N	19/03/2002	8h30	8.7	25.4		
O	19/03/2002	8h20	22.7	58.2	6610	

Tabl. 4 - Résultats du réseau de suivi lors de la campagne des 19-20/03/2002

Jarlot

Lieu	Date	Heure	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)
B	12/02/2001	-	2.4	-	226	-
A'	12/02/2001	-	3.7	-	164	-
A1	12/02/2001	-	6.6	-	25	-
B	16/02/2001	-	2.5	-	173	-
A'	16/02/2001	-	4.5	-	137	-
A1	16/02/2001	-	4.3	-	15	-
B	26/02/2001	pendant pluie	57.5	-	-	-
A'	26/02/2001	pendant pluie	92.4	-	-	-
A1	26/02/2001	pendant pluie	269.3	-	-	-
B	26/02/2001	après pluie	21.7	-	-	134
A'	26/02/2001	après pluie	9.3	-	106	-
A1	26/02/2001	après pluie	51.2	-	11	-
B	01/03/2001	11h00	6.0	3	113.9	-
A'	01/03/2001	11h30	22.4	20	63.1	-
A1	01/03/2001	11h45	27.1	29	13.8	-
B	15/03/2001	12h19	5.8	2	145	-
A'	15/03/2001	11h26	7.7	5	71	-
A1	15/03/2001	11h48	6.8	9	16	-
B	19/03/2001	16h45	12.0	<2	170	-
A'	19/03/2001	15h20	16.4	4	107	-
A1	19/03/2001	15h40	12.7	16	20	-

Tabl. 5 - Résultats des points B, A', A1
du réseau de suivi lors des campagnes de N. PELLEN de février-mars 2001

Jarlot

Lieu	Date	Heure	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)
B	20/03/2001	10h00	29.0	12	-	-
G2	19/03/2001	16h00	30.0	13	-	-
G5	19/03/2001	13h30	124.8	98	-	-
B	05/04/2001	12h05	3.25	2	-	-
G2	04/04/2001	17h30	8.50	13	-	-
G5	04/04/2001	12h15	41.50	27	-	-
B	27/04/2001	15h30	2.73	3	-	8.4
G2	27/04/2001	12h15	5.15	3	257	-
G5	27/04/2001	10h00	12.90	12	-	462
B	14/05/2001	17h00	4.57	2	-	-
G2	14/05/2001	14h00	3.19	3	-	-
G5	14/05/2001	12h30	4.57	5	-	-
B	03/07/2001	10h15	3.18	3	-	-
G2	02/07/2001	14h45	8.17	2	-	-
G5	02/07/2001	12h45	4.21	4	-	-
B	02/08/2001	16h00	3.43	<2	18	-
G2	02/08/2001	12h15	2.24	<2	46	-
G5	02/08/2001	9h30	4.33	3	99	-
B	30/08/2001	15h30	2.65	3	15	-
G2	30/08/2001	11h30	1.95	<2	40	-
G5	30/08/2001	9h00	3.42	<2	85	-

Tabl. 6 - Résultats des points B, G2, G5
du réseau de suivi lors de plusieurs campagnes de début mars à fin août 2001

ANNEXE 2

Résultats des campagnes de prélèvements du réseau de suivi physico-chimique global et réduit

Nom	Type de point d'eau	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	pH	NO3 (mg/l)	SO4	Cl	Na	Mg	K	Ca	Fe (µg/l)
<i>Sous bassin G5</i>												
G5	Rivière	7,0	227	6,7	38,5	11,8	27,1	15,9	6,5	3,3	8,7	156
R1	Rivière	7,2	196	6,9	26,5	11,5	25,0	15,5	6,0	2,6	8,2	176
R2	Rivière	7,3	192	6,8	30,2	9,5	22,9	14,2	5,9	3,4	7,8	157
R3	Rivière	8,8	262	6,9	45,9	12,2	29,1	17,2	7,9	6,4	12,2	108
F27	Forage	10,5	404	5,9	54,6	21,0	53,4	34,5	10,9	4,0	18,5	188
F36	Forage	6,7	233	5,8	81,6	11,6	26,6	19,3	6,9	2,2	8,9	40
F34	Forage	9,2	179	6,6	0,0	20,6	19,4	15,2	4,3	2,0	7,2	3250
F16	Forage	9,4	273	5,5	64,6	6,1	33,1	15,4	10,7	2,8	13,2	62
P1	Puits	9,2	259	5,9	59,7	11,9	25,2	16,3	9,0	3,2	12,9	53
P2	Puits	11,2	235	5,9	42,1	11,8	28,1	19,9	7,2	2,4	9,0	36
P3	Puits	9,1	283	5,9	64,0	8,9	37,7	17,7	10,3	5,0	12,0	50
P4	Puits	8,7	349	6,7	43,5	29,0	25,1	11,9	7,1	27,6	22,1	119
S4	Source	8,6	288	6,0	59,6	12,2	26,9	16,3	8,1	8,0	19,9	80

Sous bassin G2

G2	Rivière	6,8	175	6,9	26,2	9,0	21,4	12,8	5,4	3,1	7,3	173
R4	Rivière	7,4	177	6,9	27,2	7,9	22,9	14,5	4,7	2,5	7,2	152
R6	Rivière	5,9	174	6,3	28,4	8,2	20,8	14,8	5,2	2,1	7,0	98
R5	Rivière	4,3	190	6,6	21,6	6,7	20,9	10,6	5,8	8,1	6,4	272
F905	Forage	7,2	297	6,3	61,5	27,2	20,6	21,3	9,9	1,5	16,6	66
F903	Forage	7,7	255	5,6	46,5	23,4	25,9	17,3	7,3	1,8	13,7	186
F902	Forage	8,2	240	6,0	56,7	4,9	26,4	23,3	7,4	3,5	9,8	54
F901	Forage	10,2	235	5,7	49,6	14,3	23,1	18,5	9,1	2,9	11,3	117
P5	Puits	8,8	62	6,7	4,4	2,4	5,0	2,8	0,8	2,6	5,9	90
P7	Puits	9,7	197	6,1	19,8	16,0	21,6	15,2	2,2	17,9	6,7	91
P8	Puits	9,6	256	6,1	23,2	18,8	24,7	14,6	3,4	27,7	10,0	53
P9	Puits	8,2	213	5,5	39,8	22,9	17,5	13,6	7,4	6,2	7,7	26

Sous bassin B

B	Rivière	7,4	222	6,2	41,1	9,7	23,0	17,7	6,8	2,8	10,4	132
R7	Rivière	4,6	232	6,5	48,9	7,4	24,9	20,2	7,4	2,0	9,9	70
R8	Rivière	5,4	225	6,4	42,7	10,3	23,5	18,6	7,2	2,2	10,7	91
F17	Forage	9,5	310	4,7	96,5	14,1	22,9	13,7	10,1	0,9	20,7	77
F15	Forage	9,6	163	5,8	17,2	4,7	14,1	9,9	4,6	2,5	11,4	44
P10	Puits	7,0	182	5,9	26,6	14,0	18,5	10,7	2,1	12,1	9,4	33
S1	Source	8,9	243	5,8	54,0	5,6	25,8	20,6	7,4	1,7	11,3	44
S2	Source	5,8	246	5,9	50,5	11,5	24,9	20,5	8,1	1,5	10,8	38

Tabl. 9a – Température, conductivité, pH, teneurs en éléments majeurs et en fer pendant la campagne complète du 28/02/01 au 02/03/01

	Types d'ouvrages	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	pH	NO3 (mg/l)	SO4 (mg/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Fe (µg/l)
Moyenne	Puits	9,1	247	6,0	44,3	16,7	24,8	15,0	11,2	6,1	12,8	58
Ecart-type		1,2	53	0,3	16,3	6,7	6,4	3,0	4,9	3,1	10,5	32
Moyenne	Forages	8,8	259	5,8	52,9	14,8	26,6	18,8	13,1	8,1	2,4	408
Ecart-type		1,3	69	0,5	28,0	8,1	10,7	6,7	4,3	2,4	0,9	1000
Moyenne	Rivières	6,6	207	6,6	34,3	9,5	23,8	15,6	8,7	6,3	3,5	144
Ecart-type		1,4	29	0,3	9,3	1,8	2,6	2,7	1,9	1,0	2,0	55

Tabl. 10a - Moyennes de la température, de la conductivité, du pH, des anions analysés et des cations majeurs par types d'ouvrages pour la campagne complète du 28/02/01 au 02/03/01

Nom	Type de point d'eau	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	pH	NO3 (mg/l)	SO4 (mg/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Fe (µg/l)
<i>Sous bassin G5</i>												
G5	Rivière	14.7	238	7.0	40.0	9.9	28.4	18.1	6.4	3.3	8.8	46
R1	Rivière	16.1	219	6.8	34.4	9.7	30.0	17.8	6.6	2.9	8.0	105
R2	Rivière	14.3	226	7.0	37.3	9.6	26.6	18.3	6.5	3.2	8.9	51
R3	Rivière	13.9	267	7.0	46.1	10.9	30.9	18.9	7.6	6.9	10.2	11
F27	Forage	15	431	5.6	59.3	22.8	59.5	36.6	11.1	4.3	23.0	0
F36	Forage	17.6	235	5.7	43.3	9.6	25.1	19.0	6.2	2.2	8.8	0
F34	Forage	16	172	6.4	0.0	21.9	19.9	14.7	4.2	1.9	7.3	220
F16	Forage	13.1	256	5.4	63.0	3.4	32.9	15.1	8.6	2.8	12.1	0
P1	Puits	14.2	249	5.6	63.4	10.0	25.8	15.6	7.5	2.8	12.4	0
P2	Puits	12.3	233	5.7	40.2	9.4	26.7	19.1	6.2	2.1	8.4	0
P3	Puits	12.5	279	5.4	67.0	5.4	34.1	15.9	9.3	4.1	12.7	0
P4	Puits	12.5	262	6.5	17.3	33.1	14.6	10.4	4.7	22.0	13.7	0
S4	Source tarie											
<i>Sous bassin G2</i>												
G2	Rivière	14.3	209	6.83	34.0	9.6	26.2	16.7	6.0	2.5	7.9	56
R4	Rivière	15.6	201	6.96	28.9	7.0	27.4	17.3	5.2	2.2	7.1	35
R6	Rivière	13.7	191	6.50	30.8	6.0	25.5	16.9	5.3	2.7	7.2	36
R5	Rivière	15.2	193	6.90	18.2	8.2	22.8	13.7	7.2	4.8	6.6	418
F905	Forage	14.7	284	6.28	35.7	25.9	19.4	20.4	8.3	1.4	15.8	0
F903	Forage	21.2	262	5.54	48.1	24.6	24.4	17.2	7.3	1.5	13.1	64
F902	Forage	21.0	240	5.84	59.7	8.1	29.5	20.0	6.1	3.1	9.0	0
F901	Forage	13.9	233	5.58	53.7	14.1	26.0	15.7	6.9	2.4	9.5	59
P5	Puits	13.5	77	6.41	1.0	2.1	6.0	2.9	0.8	6.1	6.7	30
P7	Puits	13.4	201	6.31	1.4	19.4	19.3	12.9	2.2	23.72	6.8	26
P8	Puits	26.4	264	5.97	24.2	22.4	24.2	15.0	3.7	29.6	9.9	0
P9	Puits	12.5	238	5.68	23.4	29.2	18.4	14.3	8.4	7.0	9.8	32
<i>Sous bassin B</i>												
B	Rivière	14.9	267	6.7	47.9	9.9	28.4	22.0	7.7	2.4	13.2	28
R7	Rivière	16.3	251	7.1	43.9	8.8	29.0	23.0	7.6	4.2	11.2	20
R8	Rivière	15.8	262	6.7	45.1	11.5	26.2	20.3	7.2	2.6	12.7	5
F17	Forage	18.3	265	5.1	67.4	16.2	25.5	15.3	7.2	1.0	13.3	0
F15	Forage	16.8	147	5.7	23.6	7.9	17.9	10.0	3.7	2.3	7.2	0
P10	Puits	14.1	85	6.4	8.2	3.3	5.8	4.7	1.0	5.5	4.6	92
S1	Source	17.1	246	5.7	53.8	4.7	26.3	18.5	5.8	1.3	10.8	0
S2	Source	18.3	236	5.8	53.5	9.7	25.1	20.6	6.7	1.3	10.0	0

Tabl. 9b - Température, conductivité, pH, teneurs en éléments majeurs et en fer pendant la campagne complète du 28/08/01 au 31/08/01

	Types d'ouvrages	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	pH	NO3 (mg/l)	SO4 (mg/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Fe (µg/l)
Moyenne	Puits	13.49	226	5.9	30.6	16.5	21.1	13.5	9.8	5.4	12.1	18.8
Ecart-type		1.40	62	0.4	24.2	11.1	8.6	4.3	3.1	3.0	11.1	32.4
Moyenne	Forages	16.76	252	5.7	45.4	15.4	28.0	18.4	11.9	7.0	2.3	34.3
Ecart-type		2.79	76	0.4	20.8	8.0	12.0	7.1	4.8	2.2	0.9	70.1
Moyenne	Rivières	14.98	229	6.9	36.9	9.2	27.4	18.5	9.3	6.7	3.4	73.6
Ecart-type		0.89	29	0.2	8.9	1.6	2.3	2.6	2.3	0.9	1.4	117.5

Tabl. 10b - Moyennes de la température, de la conductivité, du pH, des anions analysés et des cations majeurs par types d'ouvrages pour la campagne complète du 28/08/01 au 31/08/01

Gestion des apports sédiments et polluants - BV rivières Morlaix

	Date	Temp. °C	Conductivité à 25°C µS/cm	pH	NO3 mg/l	SO4	Cl
<i>Exutoires des sous-bassins versants</i>							
B	16/02/01	7,7	225	6,61	43,3	9,9	23,9
	01/03/01	7,4	222	6,23	41,1	9,7	23,0
	20/03/01	11,3	195	6,79	34,2	8,8	20,1
	05/04/01	10,0	222	6,87	42,8	10,3	24,1
	27/04/01	12,3	227	6,86	42,7	10,5	24,8
	14/05/01	14,6	229	6,92	43,7	10,5	24,9
	03/07/01	16,7	256	6,82	50,0	10,9	27,2
	02/08/01	17,4	265	6,54	52,9	11,5	29,3
	30/08/01	14,9	267	7,03	47,9	9,9	28,4
G5	15/02/01	6,9	220	6,98	39,7	12,6	25,5
	28/02/01	7,0	227	6,74	38,5	11,9	27,1
	19/03/01	8,6	181	6,83	28,0	9,7	20,0
	04/04/01	11,4	183	6,87	28,8	9,7	21,6
	27/04/01	11,0	196	7,11	31,7	10,3	23,5
	14/05/01	14,2	218	7,21	39,9	11,5	26,2
	02/07/01	17,9	236	7,14	43,5	10,7	27,1
	02/08/01	18,2	237	6,29	44,6	11,1	28,6
	30/08/01	14,7	238	7,04	40,0	9,9	28,4
G2	14/02/01	7,6	203	6,59	34,5	11,4	25,4
	28/02/01	6,8	175	6,90	26,2	9,0	21,4
	19/03/01	8,2	166	6,80	25,7	9,1	19,0
	04/04/01	11,4	172	6,72	28,3	9,5	21,1
	27/04/01	11,4	175	6,93	27,0	9,4	22,0
	14/05/01	13,3	195	6,94	32,2	10,2	23,3
	02/07/01	17,5	207	6,86	33,9	9,7	24,8
	02/08/01	17,8	206	6,32	35,8	10,2	25,8
	30/08/01	14,3	209	6,83	34,0	9,7	26,2
<i>2 doublets</i>							
F27	15/02/01	11,0	397	5,92	53,1	22,2	54,3
	28/02/01	10,5	404	5,95	54,7	21,1	53,4
	05/04/01	9,9	412	5,75	57,8	20,8	55,4
	26/04/01	11,3	436	5,74	62,1	21,2	61,4
	15/05/01	13,8	428	5,64	62,6	22,7	63,8
	03/07/01	16,8	424	5,58	58,9	21,2	60,4
	01/08/01	19,0	413	5,92	60,0	22,1	58,2
	29/08/01	15,0	431	5,65	59,3	22,8	59,5
P4	15/02/01	8,6	344	6,63	43,5	27,3	25,1
	28/02/01	8,7	349	6,69	43,5	29,0	25,1
	05/04/01	9,5	330	6,98	39,1	28,1	23,2
	26/04/01	10,3	337	6,88	35,4	27,4	23,3
	15/05/01	11,5	351	6,91	35,0	26,7	24,7
	03/07/01	14,4	323	6,70	29,9	31,9	23,1
	01/08/01	15,4	272	6,39	22,1	33,7	17,8
	29/08/01	12,5	262	6,51	17,3	33,1	14,6
F902	15/02/01	10,6	239	5,81	56,1	5,5	27,3
	01/03/01	8,2	240	5,96	56,7	5,0	26,4
	05/04/01	10,1	238	5,76	57,1	5,3	26,8
	26/04/01	11,9	241	5,78	56,6	5,4	26,5
	14/05/01	17,0	238	5,75	56,7	5,6	27,1
	02/07/01	22,2	239	5,74	55,7	5,1	27,4
	01/08/01	22,5	240	6,15	58,6	5,6	27,3
	29/08/01	21,0	240	5,84	59,7	8,1	29,5
P8	01/03/01	9,6	256	6,13	23,2	18,8	24,7
	05/04/01	10,0	267	6,13	25,9	20,2	26,1
	26/04/01	11,0	269	6,04	27,7	20,7	25,9
	14/05/01	13,5	263	6,07	25,3	20,3	24,7
	02/07/01	16,4	256	5,90	24,6	22,6	25,5
	01/08/01	15,2	257	6,25	27,1	23,6	24,8
	29/08/01	16,4	264	5,97	24,2	22,5	24,2

Tabl. 11 - Teneurs en nitrates, sulfates et chlorures dans les différents points de prélèvement du réseau de suivi réduit en fonction du temps

	Date	Temp. °C	Conductivité à 25°C μS/cm	pH	NO3 mg/l	SO4	Cl
<i>Rivières caractéristiques d'une lithologie particulière</i>							
R1	28/02/01	7,2	196	6,88	26,6	11,5	25,0
	19/03/01	8,1	188	6,97	21,3	11,7	19,8
	04/04/01	11,3	198	7,07	25,8	12,8	25,6
	27/04/01	11,0	208	6,98	29,1	12,3	27,9
	14/05/01	13,0	211	6,95	29,2	12,6	27,3
	02/07/01	16,6	219	7,01	33,6	11,3	29,2
	01/08/01	17,9	224	6,57	34,3	11,2	28,7
	29/08/01	16,1	219	6,84	34,3	9,7	30,1
R3	28/02/01	8,8	262	6,88	45,9	12,2	29,1
	19/03/01	9,4	241	6,63	39,6	11,3	25,6
	04/04/01	11,2	257	6,82	47,1	12,9	30,0
	26/04/01	11,0	250	6,74	42,7	12,0	28,1
	14/05/01	13,8	268	6,81	49,6	13,8	30,3
	02/07/01	17,0	262	6,87	48,7	12,0	31,3
	01/08/01	16,8	257	6,52	48,6	11,9	30,3
	30/08/01	13,9	267	7,03	46,1	10,9	30,9
R4	28/02/01	7,4	177	6,93	27,2	7,9	22,9
	19/03/01	8,5	169	6,73	25,0	7,5	21,1
	04/04/01	11,1	178	6,69	28,4	8,3	23,8
	26/04/01	10,4	180	6,87	27,3	7,8	24,2
	14/05/01	13,6	187	6,87	28,7	7,4	24,9
	02/07/01	18,3	200	7,01	29,5	6,9	27,4
	01/08/01	18,4	197	6,52	30,3	7,8	27,3
	30/08/01	15,6	201	6,96	28,9	7,0	27,4
R5	01/03/01	4,3	190	6,60	21,6	6,7	20,9
	19/03/01	7,6	124	6,76	17,0	5,7	15,8
	04/04/01	11,4	141	6,69	18,8	6,0	18,8
	27/04/01	12,0	143	6,79	18,0	6,1	20,2
	14/05/01	14,8	165	6,85	22,2	7,9	21,5
	02/07/01	18,2	193	6,92	24,7	9,4	22,9
	02/08/01	18,9	193	6,73	23,0	10,5	25,9
	30/08/01	15,2	193	6,9	18,2	8,2	22,8

Tabl. 11 - Teneurs en nitrates, sulfates et chlorures dans les différents points de prélèvement du réseau de suivi réduit en fonction du temps (suite)

BRGM
SERVICE DES ACTIONS REGIONALES
Service Géologique Régional de Bretagne
2 rue de Jouanet – 35700 Rennes -Tél. 02.99.84.26.70.- Fax. 02.99.84.26.79.