

# **Aide à la gestion des transports de sédiments et de polluants - Bassins versants des rivières de Morlaix**

Rapport final

**BRGM/RP-52578-FR**

octobre 2003

Étude réalisée dans le cadre des opérations de  
Service public du BRGM 03LIT303 et des actions de  
recherche scientifique projet 03EAUD01

**B. MOUGIN**  
**P. CHARBONNIER, E. THOMAS et D. WIDORY**  
Avec la collaboration de  
**J-P. JEGOU**

**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 :* B. MOUGIN, P. CHARBONNIER, E. THOMAS et D. WIDORY collaboration J-P. JEGOU (2003) - Aide à la gestion des transports de sédiments et de polluants - Bassins versants des rivières de Morlaix - Rapport final - BRGM/RP-52578-FR - 82 p., 20 tab., 32 fig., 4 annexes.

© BRGM, 2003, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Sommaire

<b>Synthèse .....</b>	<b>8</b>
<b>1. Rappel de l'objectif du projet .....</b>	<b>10</b>
1.1. Contexte.....	10
1.2. Objectif de l'étude.....	10
<b>2. Gestion du réseau de suivi des apports solides .....</b>	<b>11</b>
2.1. Objectif et implantation du réseau de suivi .....	11
2.2. Description des campagnes réalisées .....	14
2.3. Analyse des résultats obtenus.....	15
2.3.1. Examen des apports aux confluences.....	15
2.3.2. Examen des apports aux exutoires des rivières .....	16
2.3.3. Localisation des zones d'apport solides .....	17
2.3.4. Calcul des flux de MES .....	19
2.3.5. Corrélation turbidité/MES .....	20
2.4. Campagne de prélèvements d'octobre 2002 .....	21
2.4.1. Principe et objectifs de la campagne.....	21
2.4.2. Déroulement de la campagne et choix des lieux de prélèvements .....	21
2.4.3. Protocoles analytiques des analyses .....	22
<b>3. Interprétation des données de la campagne d'octobre 2002 .....</b>	<b>30</b>
3.1. Potentialité des particules au dépôt (interprétation des analyses granulométriques) .....	30
3.2. Origine des apports solides (interprétation des analyses minéralogiques).....	34
3.3. Existence d'un transport de polluant (interprétation des analyses chimiques) .....	37
3.3.1. Données chimiques sur les eaux .....	37
3.3.2. Données chimiques sur les sédiments .....	39

3.4. Estimation des sources de pollution azotées (interprétation des analyses chimiques et isotopiques).....	45
3.4.1. Caractérisation chimique.....	45
3.4.2. Caractérisation isotopique.....	46
<b>4. Analyses multicritères et identification des sous-bassins versants sensibles à l'érosion.....</b>	<b>58</b>
4.1. Détail des paramètres pris en compte .....	58
4.1.1. La géologie .....	58
4.1.2. Le relief.....	60
4.1.3. Le réseau hydrographique .....	60
4.1.4. Le climat .....	60
4.1.5. L'occupation du sol .....	60
4.2. Détermination des sous-bassins sensibles à l'érosion.....	61
<b>5. Cartographie des formations superficielles et étude de la provenance géologique des matériaux déposés dans les rivières .....</b>	<b>63</b>
5.1. Apport des données spectrométriques .....	63
5.2. Cartographie des formations superficielles .....	67
5.2.1. Contexte géologique .....	67
5.2.2. Formations superficielles .....	70
5.3. Sensibilités particulières au ruissellement et à l'érosion .....	75
5.3.1. Classement des sensibilités .....	75
5.3.2. Conclusions .....	77
<b>6. Traitement des données et conception d'un CD-Rom.....</b>	<b>79</b>
6.1. Synthèse des données existantes .....	79
6.2. Conception d'un CD-Rom.....	79
<b>Conclusion .....</b>	<b>80</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>82</b>

## Liste des 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 27-28/05/2002
- Tabl. 3 - Résultats du réseau de suivi lors de la campagne des 25-26/07/2002
- Tabl. 4 - Résultats du réseau de suivi lors de la campagne du 22/10/2002
- Tabl. 5 - Résultats du réseau de suivi lors de la campagne des 28/02 et 01/03/2001
- Tabl. 6 - Résultats du réseau de suivi lors de la campagne des 26-27/09/2001
- Tabl. 7 - Résultats du réseau de suivi lors de la campagne des 19-20/03/2002
- Tabl. 8 - Flux de MES en provenance des cours d'eau lors des campagnes de suivi réalisées
- Tabl. 9 - Corrélations turbidité/MES
- Tabl. 10 - Liste des échantillons d'eau prélevés lors de la campagne d'octobre 2002
- Tabl. 11 - Liste des échantillons de sédiments prélevés lors de la campagne d'octobre 2002
- Tabl. 12 - Résultats des analyses granulométriques
- Tabl. 13 - Résultats des analyses minéralogiques sur sédiments (berge et fond de rivière) de la campagne du 24/10/2002
- Tabl. 14 - Formations géologiques potentiellement présentes dans les sédiments de fond de rivière
- Tabl. 15 - Eléments chimiques analysés dans les eaux et limites de dosabilité (laboratoires BRGM)
- Tabl. 16 - Résultats des analyses chimiques et isotopiques de la campagne du 23/10/2002
- Tabl. 17 - Eléments chimiques analysés dans les sédiments et limites de dosabilité (laboratoires BRGM)
- Tabl. 18 - Résultats des analyses chimiques sur sédiments (berge et fond de rivière) de la campagne du 24/10/2002
- Tabl. 19 - Caractérisation du pôle non-pollué considéré
- Tabl. 20 - Combinaison des niveaux d'information

## Liste des figures

- Fig. 1 - Localisation du réseau de suivi des transports solides
- Fig. 2 - Résultats des analyses MES de la campagne des 27-28/05/2002
- Fig. 3 - Résultats des analyses MES de la campagne des 25-26/07/2002
- Fig. 4 - Résultats des analyses MES de la campagne des 22/10/2002
- Fig. 5 - Résultats des analyses turbidité de la campagne des 28/02-01/03/2001
- Fig. 6 - Résultats des analyses MES de la campagne des 26-27/09/2001
- Fig. 7 - Résultats des analyses MES de la campagne des 19-20/03/2002
- Fig. 8 - Contexte climatique lors des campagnes de prélèvements des MES
- Fig. 9 - Evolution de la turbidité pendant et après une pluie (26/02/2001)
- Fig. 10 - Teneurs en MES et débit journalier à l'exutoire du Tromorgant
- Fig. 11 - Localisation des zones d'apports et des zones de stagnation des MES
- Fig. 12 - Comparaison du flux moyen de MES (1985-1999) et des flux en provenance du Jarlot et du Tromorgant lors des campagnes
- Fig. 13 - Localisation des points de prélèvements pour analyses chimiques et isotopiques
- Fig. 14 - Localisation des points de prélèvements de sédiments pour analyses granulométriques, minéralogiques et chimiques
- Fig. 15 - Localisation des points de prélèvements de terrain sur berge pour analyses minéralogiques et chimiques
- Fig. 16 - Evolution de la granulométrie amont-aval pour chaque rivière
- Fig. 17 - Localisation des sites susceptibles d'être en lien avec du baryum ou du chrome
- Fig. 18 - Relation entre les concentrations en Ba et Cr et la taille des sédiments
- Fig. 19 - Variations des concentrations en bore et nitrates
- Fig. 20 - Influence du mélange et de la dénitrification naturelle sur la composition isotopique de l'azote des nitrates
- Fig. 21 - Rapports isotopiques du strontium
- Fig. 22 - Variations fer - nitrates dans les eaux de Morlaix
- Fig. 23 - Variations du calcium et des sulfates dans les échantillons
- Fig. 24. - Composition isotopique en azote ( $\delta^{15}\text{N}$ ) des  $\text{NO}_3$  dissous
- Fig. 25 - Caractérisation isotopique du bore dans les échantillons
- Fig. 26 - Paramètres de l'analyse multicritères - Sensibilité à l'érosion des sous-bassins versants du Jarlot et du Tromorgant
- Fig. 27 - Sensibilité à l'érosion des sous-bassins versants du Jarlot et du Tromorgant - Résultat de l'analyse multicritères

Fig. 28 - Levers spectrométriques - Teneurs en thorium, uranium et potassium

Fig. 29 - Carte des rapports K/Th établis par formation géologique

Fig. 30 - Géologie du secteur étudié (d'après la carte géologique n°240 Morlaix au 1/50 000 BRGM)

Fig. 31 - Carte des formations superficielles des sous-bassins versants étudiés

Fig. 32 - Carte de vulnérabilité des formations des sous-bassins versants étudiés

## **Liste des annexes**

Ann. 1 - Résultats des campagnes de prélèvements du réseau de suivi (turbidité, MES, débits) 27-28 mai 2002 / 25-26 juillet 2002 / 22 octobre 2002

Ann. 2 - Rappel des résultats des campagnes de prélèvements du réseau de suivi (turbidité, MES, débits) 28 février -1<sup>er</sup> mars 2001 / 26-27 septembre 2001 / 19-20 mars 2002

Ann. 3 - Résultats des analyses granulométriques et micro-granulométriques sur les MES et sur les sédiments de fond de rivière 22-23 octobre 2002

Ann. 4 - Rose des vents à la station de Pleyber-Christ - Mars 1994-Octobre 2000 (données Météo-France)

## Synthèse

Le projet engagé sur le bassin versant des rivières de Morlaix (Jarlot, Tromorgant et Queffleuth) 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.

L'objectif du projet est de quantifier les flux (liquides, solides et polluants) qui, issus des bassins versants, se déposent dans le port de Morlaix, et d'analyser les mécanismes de transfert pour identifier les contributions des sous-bassins versants.

Ce rapport présente une synthèse finale des analyses et données relevées sur le secteur d'étude. La dernière année du projet (2002-2003) a permis :

- de finaliser la gestion du réseau de suivi des matières en suspension (MES) présentes dans les cours d'eau et d'en tirer des conclusions quant à la provenance des apports solides,
- de réaliser une analyse multicritères afin d'identifier les sous-bassins versants sensibles à l'érosion,
- de cartographier les formations superficielles dans les sous-bassins versants sensibles à l'érosion et d'étudier la provenance géologique des matériaux déposés dans les rivières,
- de synthétiser l'ensemble des données dans un CD-Rom.

L'objectif du réseau de suivi (composé de 36 points de mesure) est de quantifier les flux solides issus des bassins versants qui se déposent dans le port de Morlaix.

Les 6 campagnes réalisées entre mars 2001 et octobre 2002 ont permis :

- d'identifier les zones de fortes contributions (ou inversement de dépôts) de chacun des sous-bassins (cf. figure 11 page 18),
- d'établir des corrélations entre la turbidité et les MES en certains points du réseau et plus globalement sur les 3 rivières.

Lors de la dernière campagne de terrain (22, 23 et 24 octobre 2003), des échantillons d'eau et de sédiments (sur berges et en fonds de rivières) ont été prélevés afin de réaliser des analyses granulométriques, minéralogiques, chimiques et isotopiques dans le but :

- d'évaluer le comportement des particules en suspension et des particules présentes dans les sédiments en fond de rivière (sédimentation ou mise en suspension des MES),
- de distinguer une éventuelle provenance géologique des phases constituant les sédiments de fond de rivière,
- d'identifier un transport de polluant soluble ou fixé aux sédiments,
- d'obtenir une première estimation des sources de pollution azotée (bovins, poulets, cochons, engrais chimiques...).

L'interprétation des analyses granulométriques montrent que le régime du Jarlot et du Tromorgant permet aux MES fines (diamètre < 30  $\mu\text{m}$ ) de s'accumuler d'amont en aval et aux MES plus grossières (diamètre > 50  $\mu\text{m}$ ) de sédimenter localement.

Le débit plus important du Queffleuth entraîne des particules de sédiments de fond de rivière plus grossières (50  $\mu\text{m}$  < diamètre < 500  $\mu\text{m}$ ) que pour le Jarlot et le Tromorgant. Au niveau de ce cours d'eau la mise en suspension est prépondérante sur la sédimentation.

Les analyses minéralogiques effectuées permettent difficilement de relier l'origine des sédiments à l'érosion d'une formation géologique (sauf pour les points situés à l'amont des rivières). Cependant, il apparaît que sur les rivières du Jarlot et du Tromorgant, les formations granito-gneissiques sont plus sensibles à l'érosion que les formations schisteuses.

Les analyses chimiques mettent en évidence des concentrations notables en baryum et en chrome dans les sédiments de fond de rivière, néanmoins celles-ci restent comparables aux concentrations relevées dans les prélèvements effectués sur berge caractérisant le fond géochimique naturel. De l'amont vers l'aval, les teneurs en baryum et chrome augmentent dans les sédiments car les éléments s'adsorbent (la surface spécifique des sédiments augmentant avec la diminution de la taille des particules).

L'interprétation des analyses chimiques et isotopiques permet de préciser les sources de pollution azotée intervenant sur chaque point de prélèvement en rivière (aux exutoires du Jarlot, du Tromorgant et du Queffleuth) et sur un point d'eau souterraine (le forage F27, situé sur le bassin du Jarlot, suivi lors de la 2<sup>ème</sup> année du projet).

L'eau du forage est sans doute polluée par des apports dominés par des déjections de type animales (prédominance des épandages de lisiers porcins).

Pour le Queffleuth, la source principale de pollution semble être les engrais minéraux.

Pour le Jarlot et le Tromorgant, les apports des engrais et stations d'épuration sont négligeables, et la pollution provient essentiellement des apports de déjections animales (volailles et porcs) parmi lesquelles les déjections bovines semblent être mineures.

Une cartographie de la sensibilité à l'érosion et à l'entraînement particulaire des parcelles des sous-bassins versants du Jarlot et du Tromorgant a été effectuée à partir du croisement de plusieurs paramètres (géologie, relief, réseau hydrographique, pluies, vent, occupation des sols), afin de représenter les bassins les plus sensibles (cf. figure 27 page 62).

Cinq sous-bassins versants à comportement différent vis-à-vis de la sensibilité à l'érosion ont été retenus afin de cartographier les formations superficielles présentes et susceptibles d'entraîner des matériaux dans les rivières. Cette cartographie a été effectuée après une campagne de terrain et suite à l'examen des données spectrométriques (teneurs en uranium, potassium et thorium des roches).

Les formations superficielles des sous-bassins versants ont ensuite été classées selon leur sensibilité à l'apport de particules fines (cf. figure 32 page 76).

A la suite des levés de terrain, il apparaît que la nature du substratum et la morphologie des terrain ne semblent pas être des facteurs discriminants en ce qui concerne la production de particules fines pouvant être mobilisées. En revanche, la nature des sols qui surmontent l'horizon géologique ainsi que la qualité de leur occupation semble être un facteur déterminant.

Les fichiers informatiques ont été stockés sur un CD-Rom qui a été remis au SIVOM de Morlaix-St Martin des Champs.

La conclusion du rapport propose des perspectives à la suite de ce projet, afin d'approfondir les connaissances acquises (isotopes, analyses, télédétection...).

# 1. Rappel de l'objectif du projet

## 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 km<sup>2</sup>, 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.

## 1.2. OBJECTIF DE L'ETUDE

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.

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 pour identifier les contributions des sous-bassins versants.

Le projet doit aboutir à la rédaction d'un rapport final présentant la synthèse des données existantes et acquises dans le cadre du projet. Ce rapport constituera un des outils permettant à terme d'améliorer notablement l'état de la zone estuarienne. Un CD-Rom rassemblera l'ensemble des fichiers créés dans le cadre de ce projet.

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

- de finaliser la gestion du réseau de suivi de la turbidité (MES) des cours d'eau et d'en tirer des conclusions quant à la provenance des apports solides,
- de réaliser une analyse multicritères afin d'identifier les sous-bassins versants sensibles à l'érosion,
- de cartographier les formations superficielles dans les sous-bassins versants sensibles à l'érosion et d'étudier la provenance géologique des matériaux déposés dans les rivières,
- de synthétiser l'ensemble des données dans un rapport.

Ces points sont développés après.

## 2. Gestion du réseau de suivi des apports solides

### 2.1. OBJECTIF ET IMPLANTATION 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 janvier 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 les débits aux points du réseau.

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

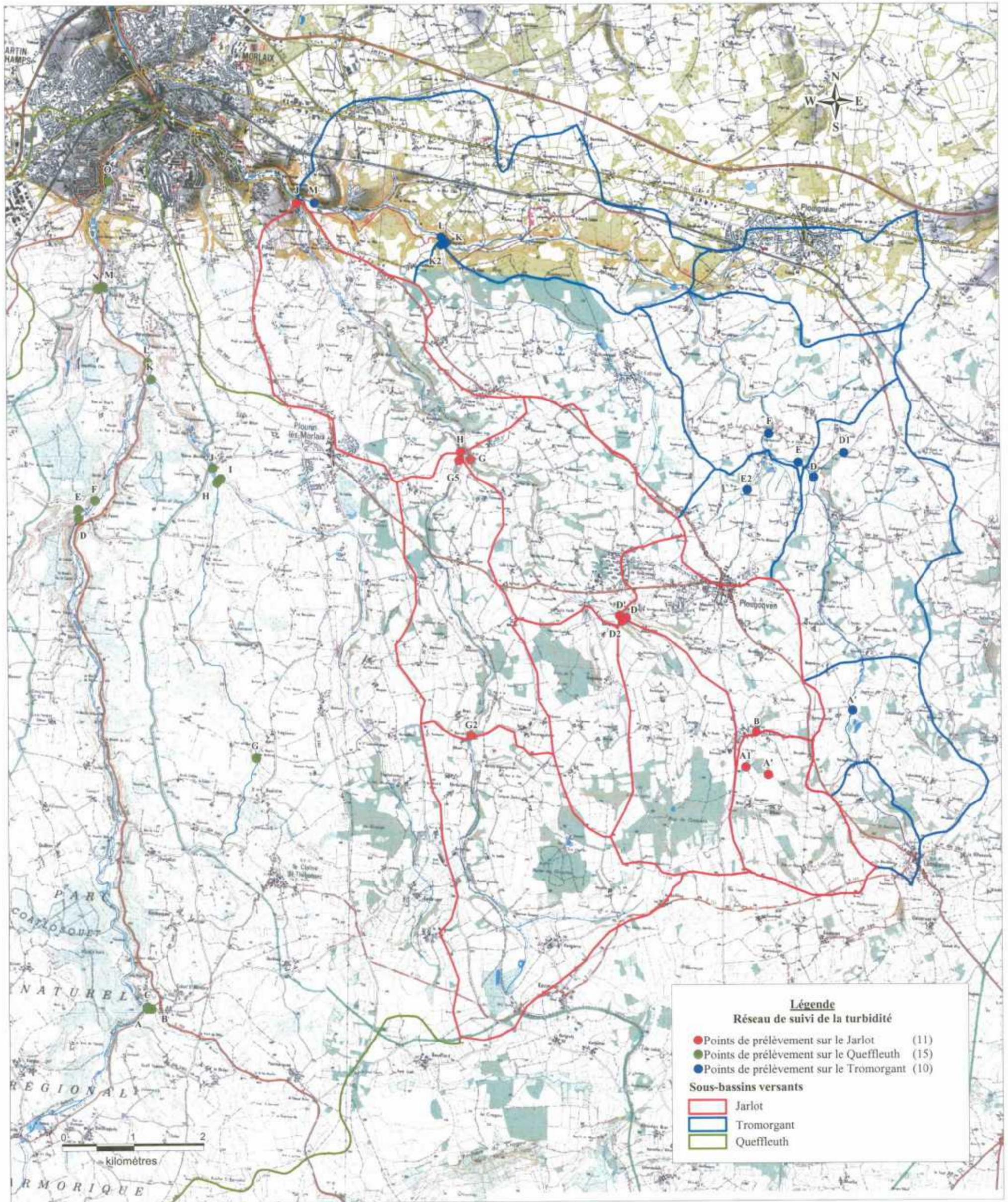


Fig. 1 - Localisation du réseau de suivi des transports solides

**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

**BV Jarlot**

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
G5	Gouélet Tréo (affluent gauche)
G	Gouélet Tréo (amont confluence)
H	Gouélet Tréo (aval confluence)
J	Pont Noir

**BV Queffleuth**

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 Près
M	Pont-Pol
N	Pont-Pol (affluent gauche)
O	Les Trois Chênes

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

## 2.2. DESCRIPTION DES CAMPAGNES REALISEES

Trois campagnes complètes du réseau de suivi ont été réalisées les 27-28 mai 2002, les 25-26 juillet 2002 et le 22 octobre 2002. Les résultats obtenus (turbidité, MES et débits) sont rassemblés dans les tableaux 2, 3, 4 de l'annexe 1

Les figures 2, 3 et 4 (cf. annexe 1) montrent la répartition des MES le long des rivières lors de ces campagnes de mai, juillet et octobre 2002.

Ces trois campagnes ont été réalisées en complément et suite aux trois premières campagnes menées du 28 février au 1<sup>er</sup> mars 2001, les 26-27 septembre 2001 et les 19-20 mars 2002. Les résultats de ces trois premières campagnes sont rappelés en annexe 2 (tableaux 5, 6, 7 et figures 5, 6, 7).

Les 6 campagnes du réseau de suivi se sont déroulées en deux temps :

- 2 campagnes en mars (mise en place du réseau) et en septembre 2001 (en étiage),
- puis 4 campagnes entre mars et octobre 2002, tous les 2-3 mois à différentes périodes climatiques.

La figure 8 ci-dessous présente le débit journalier du Jarlot à la station de Plougonven (référence base HYDRO J2603010) et permet de préciser le contexte climatique de chacune des campagnes : prélèvements en période humide (mars 2001 ; mars, mai, et octobre 2002) et prélèvements en période sèche (septembre 2001 et juillet 2002).

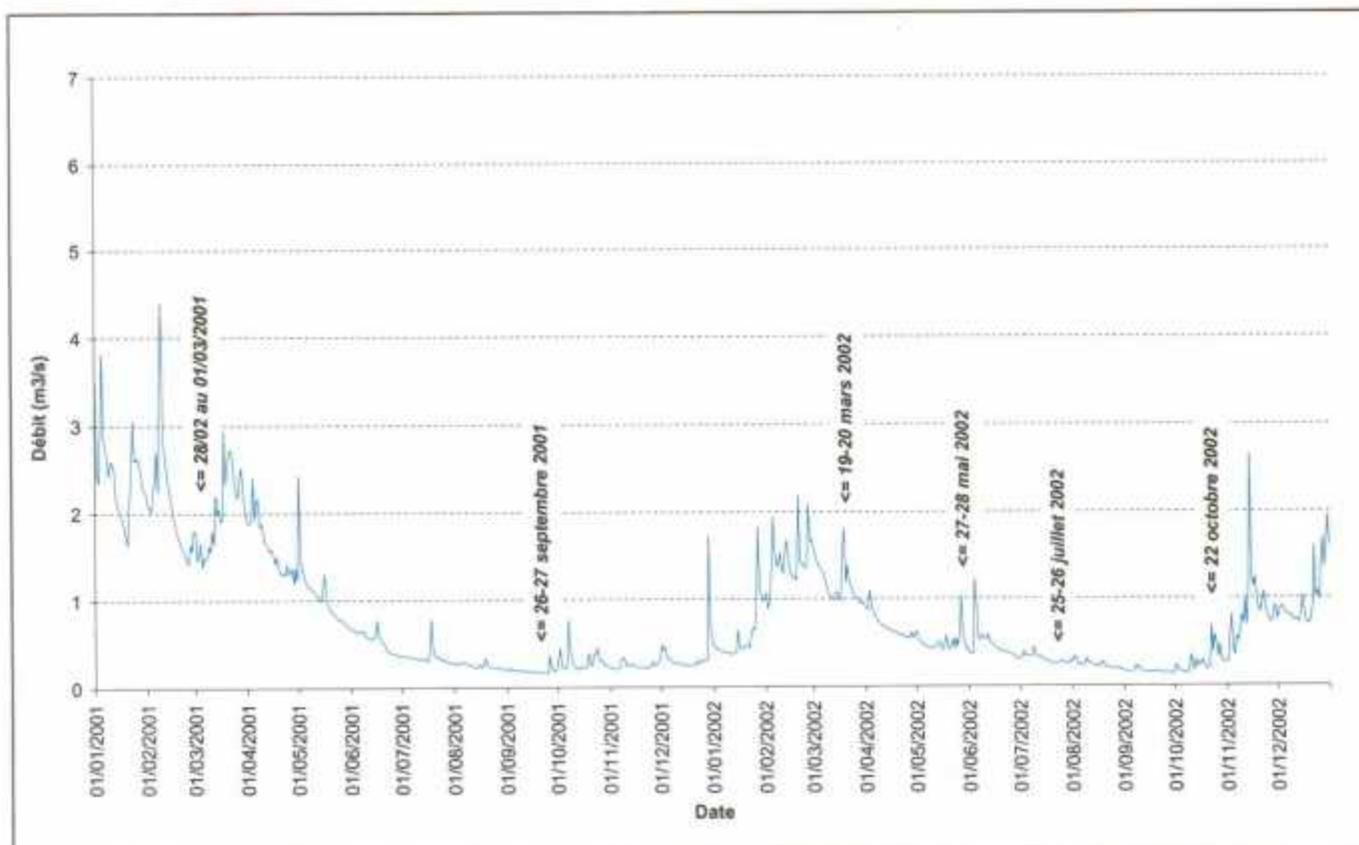


Fig. 8 - Contexte climatique lors des campagnes de prélèvements des MES

## 2.3. ANALYSE DES RESULTATS OBTENUS

Les résultats obtenus permettent :

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

### 2.3.1. Examen des apports aux confluences

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 entre la confluence A', A1 et le point B sur le Jarlot,
- zone marécageuse D, D1 sur le Tromorgant.

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 (cf. figure 9 ci-dessous) lors de mesures de turbidité effectuées le 26 février 2001 sur le Jarlot durant une période de pluie puis juste après.

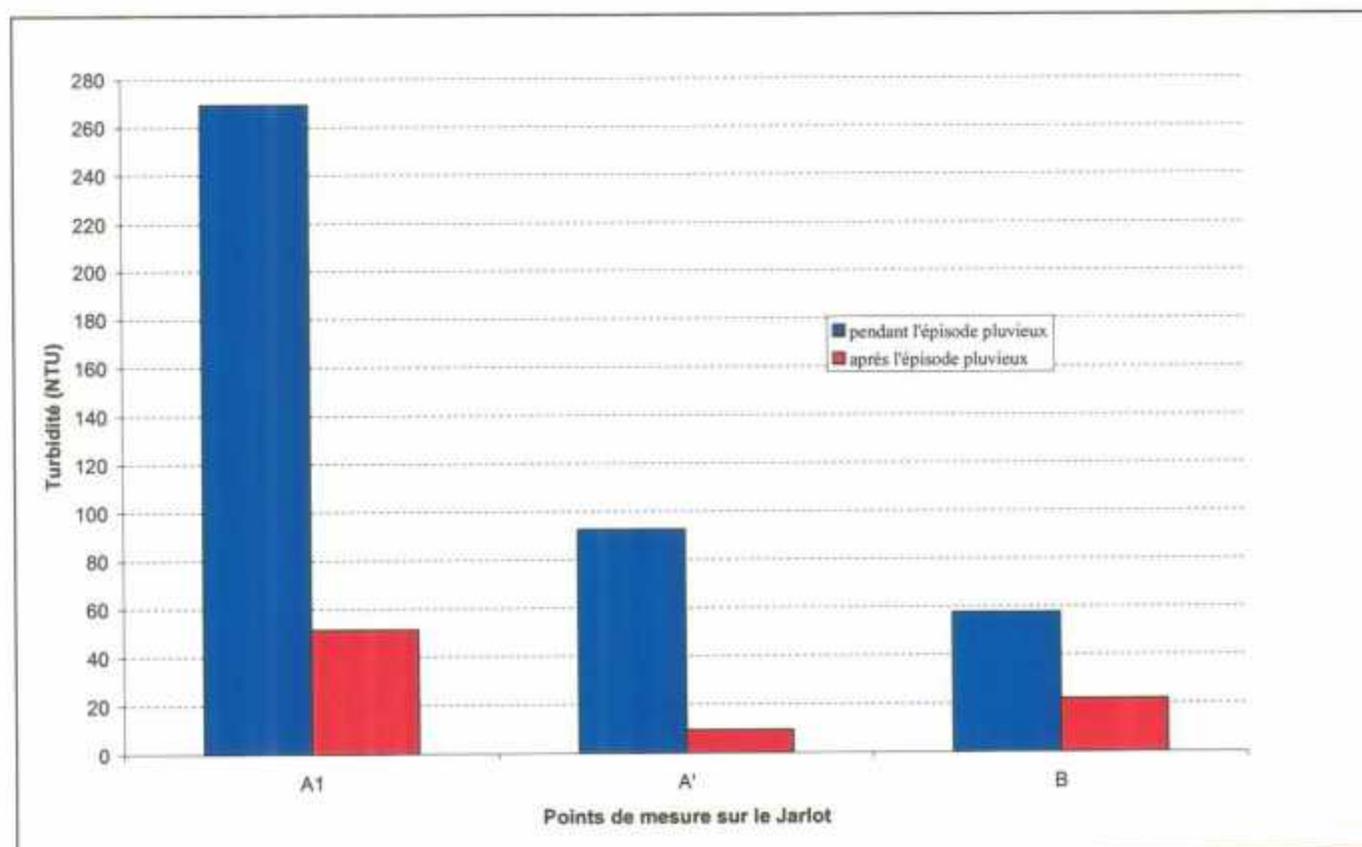


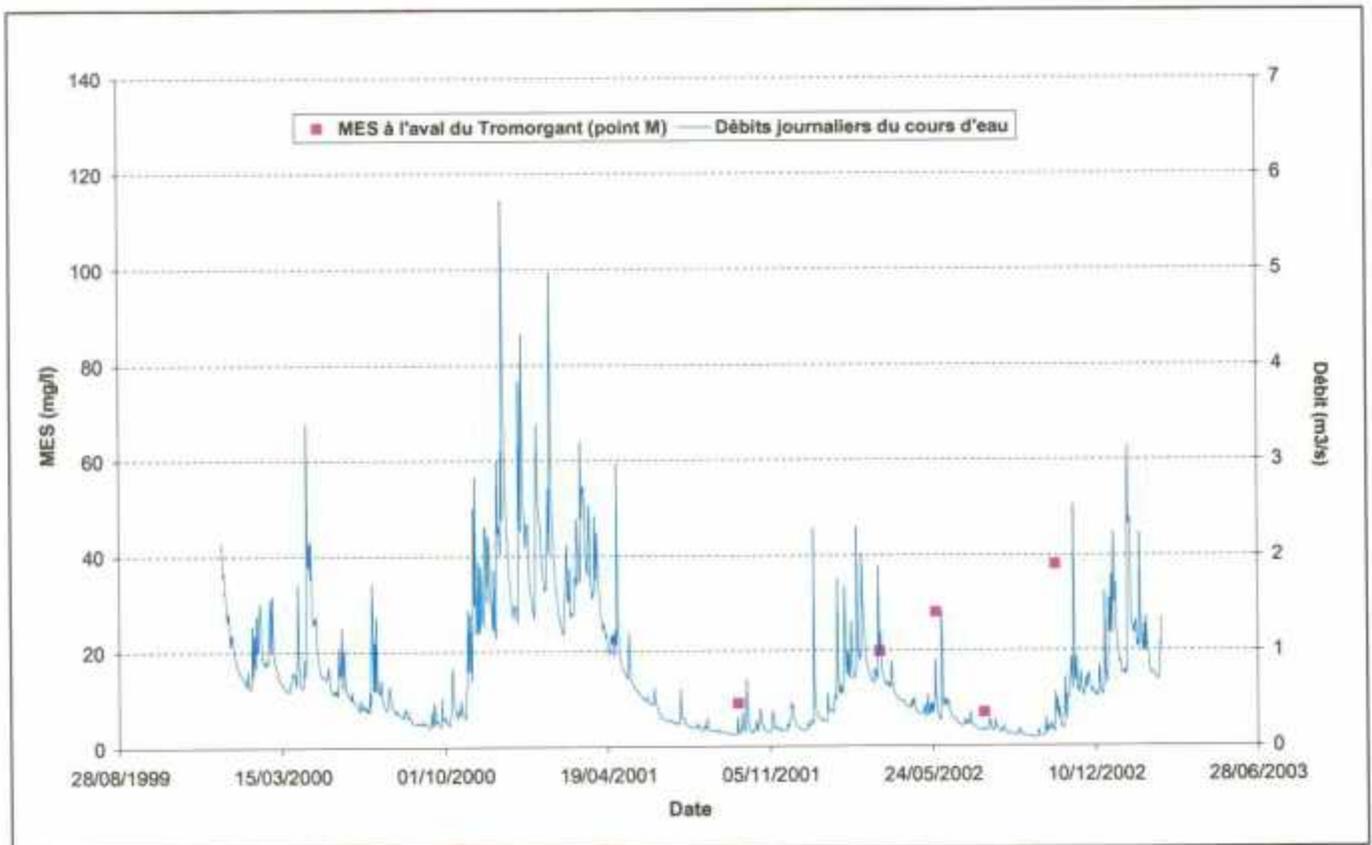
Fig. 9 - Evolution de la turbidité pendant et après une pluie (26/02/2001)

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 A B C, E D F et H I J.

### 2.3.2. Examen des apports aux exutoires des rivières

La figure 10 ci-dessous présente le débit journalier du Tromorgant à la station de Plougouven (référence base HYDRO J2605410) et les teneurs en MES lors des différentes campagnes (les MES n'ont pas été analysées en mars 2001).



**Fig. 10 - Teneurs en MES et débit journalier à l'exutoire du Tromorgant**

Cette figure montre que les teneurs en MES sont très irrégulières et que l'essentiel des apports se fait en période crue. Malgré l'absence de données à pas de temps serré, on peut supposer que la concentration augmente rapidement avec le début de la crue et décroît ensuite lors des étiages.

L'évolution des teneurs en MES est identique sur les autres cours d'eau (Jarlot et Queffleuth).

### 2.3.3. Localisation des zones d'apport solides

Une analyse synthétique des résultats (turbidité et MES) obtenus lors des 6 campagnes de prélèvement sur le réseau de suivi permet de tirer des conclusions quant à la provenance des MES sur chaque cours d'eau.

La figure 11 permet d'illustrer le détail des observations précisées ci-dessous :

- Jarlot :
  - Les apports de MES sont quasi-également répartis entre l'affluent droit (points B, D', G) et l'affluent gauche (points G2, G5) ; les apports en provenance de l'affluent droit étant légèrement supérieurs.
  - Le principal apport au niveau de l'affluent droit provient du point A1 toujours plus chargé que A' ; les MES doivent ensuite stagner avant d'atteindre le point B fréquemment moins chargé que A1 et A'. Le point D2 n'apporte que peu de MES par rapport à D.
  - Sur l'affluent gauche, les teneurs en MES augmentent souvent entre l'amont G2 et l'aval G5.
  - Les teneurs en MES augmentent enfin régulièrement entre la confluence H et l'exutoire J.
- Tromorgant :
  - Les apports de MES proviennent essentiellement de l'affluent gauche (point K2) souvent plus chargé en MES que l'affluent droit (points A', F, K).
  - Au niveau de l'affluent droit, les points D1 et E2 n'apportent que très peu de MES par rapport au linéaire du cours d'eau en période humide (lors des deux campagnes « sèches » l'inverse se produit) ; et les MES doivent stagner entre le point D et le point A' (A' étant fréquemment plus chargé que D).
  - Les teneurs en MES augmentent enfin régulièrement entre la confluence L et l'exutoire M.
- Queffleuth :
  - Les apports de MES proviennent essentiellement de l'affluent droit (points H, I, J) toujours plus chargé en MES que l'affluent gauche (points D, E, F).
  - Le principal apport au niveau de l'affluent droit provient du point I souvent plus chargé que H, malgré le fait que les teneurs en MES augmentent entre l'amont G et l'aval H. Avant la confluence des deux affluents, entre J et K, les teneurs en MES augmentent parfois fortement.
  - Le principal apport au niveau de l'affluent gauche provient du point E toujours plus chargé que D.
  - Après la confluence, le point N n'apporte que peu de MES par rapport au linéaire du cours d'eau (point M).

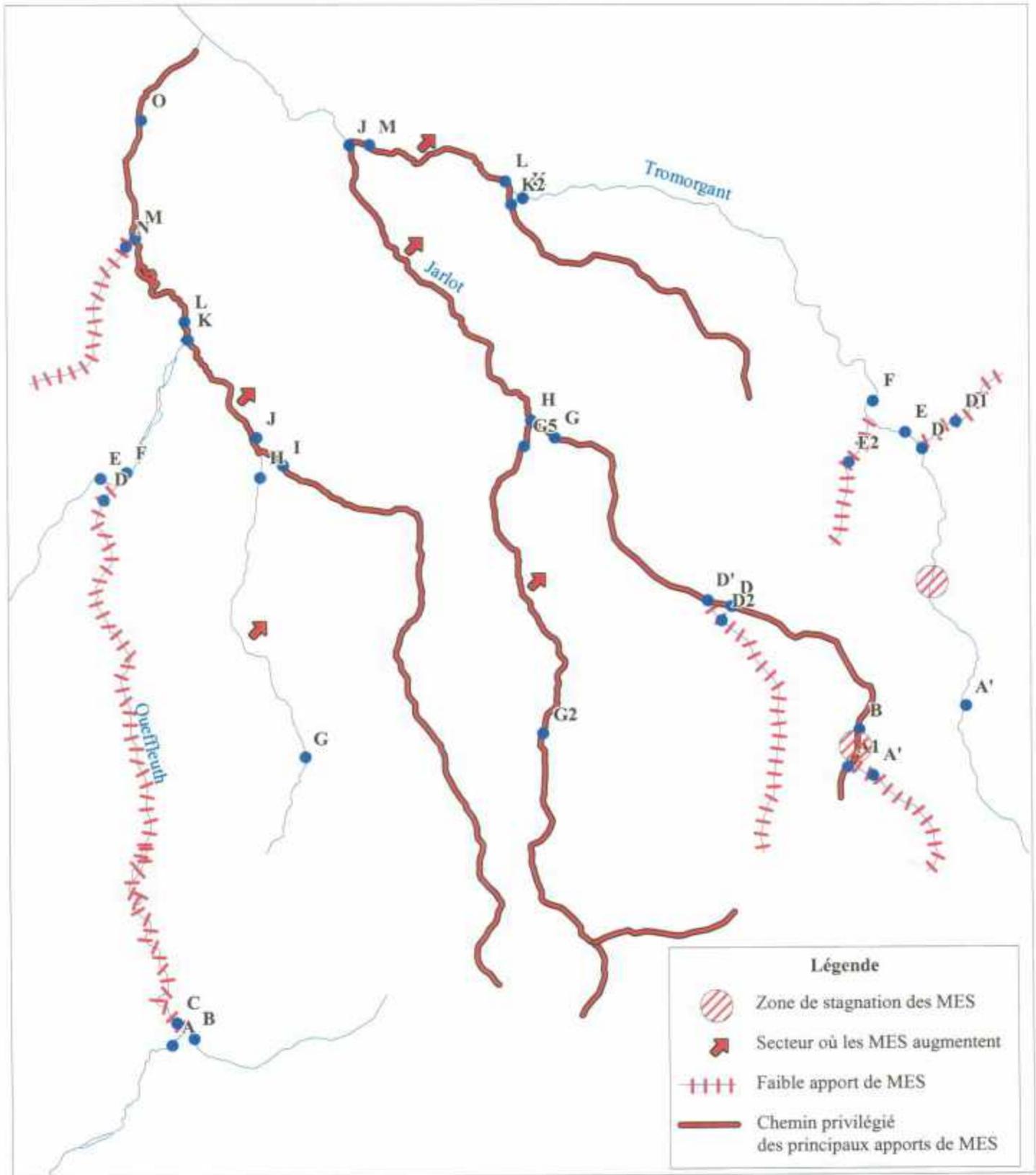


Fig. 11 - Localisation des zones d'apports et des zones de stagnation des MES

### 2.3.4. Calcul des flux de MES

Les flux de MES ont été calculés aux 3 exutoires des bassins versants (J pour le Jarlot, M pour le Tromorgant, O pour le Queffleuth). Le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus.

Date	Flux de MES en provenance du Jarlot (g/s)	Flux de MES en provenance du Tromorgant (g/s)	Flux de MES en provenance du Queffleuth (g/s)
26-27/09/2001	12.00	1.56	18.63
19-20/03/2002	7.75	17.96	384.70
27-28/05/2002	14.42	14.70	270.27
25-26/07/2002	1.68	1.22	0.89
22/10/2002	26.78	21.36	373.46

**Tabl. 8 - Flux de MES en provenance des cours d'eau lors des campagnes de suivi réalisées**

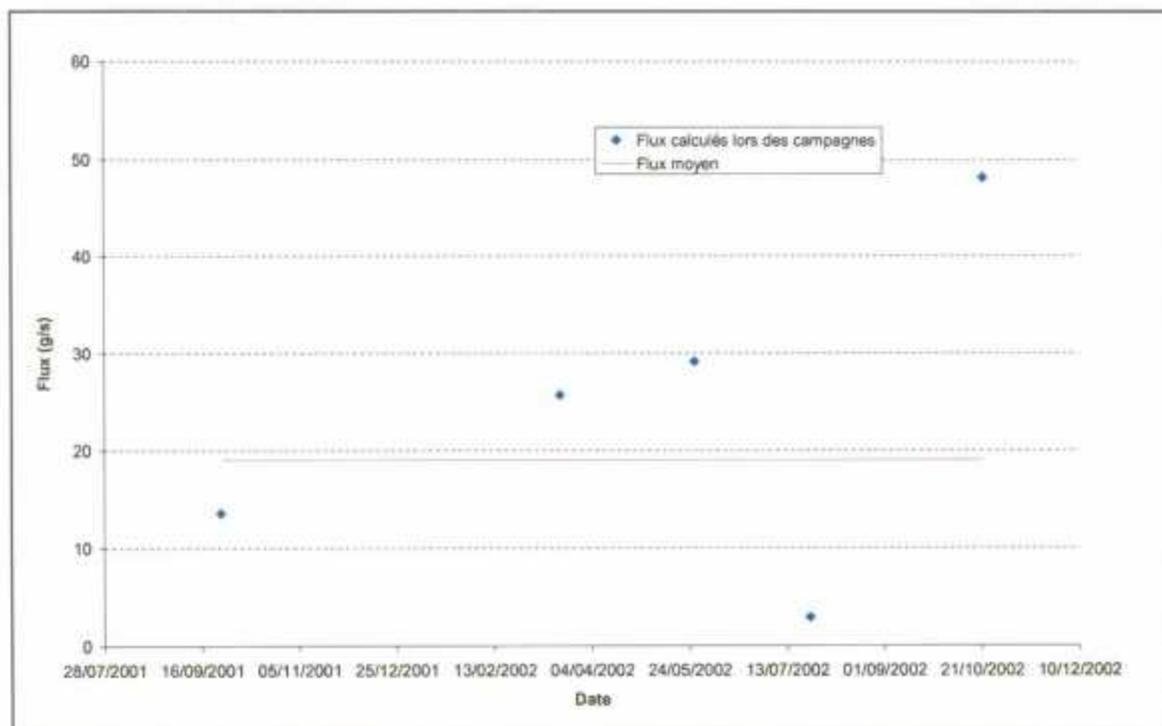
Les flux calculés lors des périodes pluvieuses (mars, mai et octobre 2002) montrent que les plus gros apports (environ 90%) proviennent du Queffleuth ; le Jarlot et le Tromorgant participant de manière équivalente mais moindre (environ 5%). Au niveau du Queffleuth, l'affluent droit (points G-H-I-J-K) est souvent plus chargé que l'affluent gauche (points A-B-C-D-E-F).

En dehors des périodes pluvieuses (juillet 2002) les apports proviennent plus du Jarlot (44%) et du Tromorgant (32%) par rapport au Queffleuth (24%).

Le rapport BRGM BRE n°00.13 édité en septembre 2000 estimait que sur la période 1985-1999 le flux annuel de MES provenant des rivières Jarlot et Tromorgant était en moyenne de 600 tonnes / an (soit 19 grammes / secondes).

Les flux mesurés lors des campagnes sur les rivières Jarlot et Tromorgant sont reportés sur la figure 12 (cf. page suivante) et sont comparés à cette valeur moyenne.

Les flux calculés lors des périodes pluvieuses (mars, mai et octobre 2002) sont supérieurs à cette moyenne et les flux calculés lors des périodes sèches (septembre 2001 et juillet 2002) sont inférieurs. Par ailleurs, les flux oscillent autour de cette moyenne. La valeur estimée de 600 tonnes / an peut donc être considérée comme raisonnable.



**Fig. 12 - Comparaison du flux moyen de MES (1985-1999) et des flux en provenance du Jarlot et du Tromorgant lors des campagnes**

### 2.3.5. 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=0,8686 x Turbidité	90 %	Correct
G2	MES=0,6123 x Turbidité	45 %	A approfondir
G5	MES=0,7854 x Turbidité	98 %	Correct
A'	MES=0,9771 x Turbidité	91 %	Correct
A1	MES=0,9110 x Turbidité	75 %	Correct
Jarlot	MES=0,8529 x Turbidité	78 %	Correct
Tromorgant	MES=1,2990 x Turbidité	79 %	Correct
Queffleuth	MES=1,1062 x Turbidité	82 %	Correct

**Tabl. 9 - Corrélations turbidité/MES**

Certaines de ces corrélations ont été corrigées en éliminant des valeurs aberrantes ou erronées sans doute liées à des erreurs d'échantillonnage et/ou d'analyses de turbidité ou de MES.

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.

## **2.4. CAMPAGNE DE PRELEVEMENTS D'OCTOBRE 2002**

### **2.4.1. Principe et objectifs de la campagne**

36 prélèvements ont été effectués sur tous les points du réseau de suivi afin de mesurer les matières en suspension (MES). Des analyses in-situ de la turbidité ont également été réalisées au niveau de chaque point.

➤ L'objectif des analyses des MES et de la turbidité est précisé dans le chapitre 2.1.

10 de ces points ont été prélevés pour réaliser des analyses granulométriques sur MES et, au droit de ces points, 10 prélèvements de sédiments de fond de rivière ont été opérés pour faire des analyses granulométriques.

➤ La distribution granulométrique des MES et sédiments prélevés en fond de rivière, et en particulier l'évaluation de leur comportement hydrodynamique (fonction de la taille, de la forme et de la masse des particules), permettent d'évaluer leur potentialité au dépôt.

Sur ces 10 prélèvements de sédiments de fond de rivière, des analyses minéralogiques et chimiques ont également été réalisées.

➤ Les analyses chimiques permettent d'exclure, ou au contraire de faire intervenir, la possibilité d'un transport de polluants en solution à des teneurs inférieures aux seuils analytiques, donc non détectés lors de l'analyse des solutions.

➤ La caractérisation minéralogique permet de connaître la nature minéralogique des phases constituant les sédiments et donne donc des indications précieuses sur leur origine (phase résiduelle de l'altération, phase néoformée dans le cours d'eau...).

Cette caractérisation minéralogique et chimique de sédiments, a été complétée par 10 analyses chimiques (majeurs et traces) de l'eau des rivières. Les paramètres physico-chimiques (température, conductivité, pH) ont également été mesurés lors de chaque prélèvement.

➤ Ces analyses chimiques permettent de déterminer les éléments potentiellement mobiles (origine géologique ou anthropique).

4 prélèvements ont été effectués sur les terrains situés sur les berges des cours d'eau dans des géologies variées, pour des analyses minéralogiques et chimiques.

➤ La comparaison de ces analyses avec celles opérées en fond de rivière permet de distinguer l'éventuelle provenance géologique de dépôts dans les rivières.

Par ailleurs, 4 analyses isotopiques ont été réalisées sur les 3 exutoires des bassins versants et sur 1 point de nappe d'eau souterraine. Les analyses ont été couplées à des analyses chimiques (majeurs et traces) et des mesures physico-chimiques (température, conductivité, pH).

➤ Le but de ces analyses isotopiques est d'obtenir une première estimation des sources de pollution azotée (bovins, poulets, cochons, engrais chimiques...).

### **2.4.2. Déroulement de la campagne et choix des lieux de prélèvements**

La campagne s'est déroulée les 22, 23 et 24 octobre 2003.

La première journée a été consacrée aux prélèvements pour analyses des MES (flacons de 1 litre) et analyses granulométriques sur MES (10 litres). Les 36 points du réseau de suivi ont été prélevés (cf. figure 1) et les analyses granulométriques ont été ciblées sur 10 points où des fortes teneurs en MES avaient été mesurées, répartis équitablement sur les 3 cours d'eau étudiés (Jarlot : B-H-J, Tromorgant : A'-F-M, et Queffleuth : F-J-M-O).

La seconde journée a permis de continuer les prélèvements d'eau : 10 points pour analyses chimiques des majeurs et traces (flacons de 100 ml et 50 ml) (cf. figure 13 pour localiser les points, et cf. tableau 10 pour les horaires de prélèvements), et 4 points afin de réaliser des analyses isotopiques (flacons de 250 ml, 2 litres et 10 litres) : les exutoires des bassins versants (J pour le Jarlot, M pour le Tromorgant, O pour le Queffleuth) et le forage F27, situé sur le bassin du Jarlot, suivi lors de la 2<sup>ème</sup> année du projet (cf. figure 13).

Lors de la troisième journée, des échantillons de sols de 1kg ont été prélevés : 10 points sur sédiment de fond de rivière pour analyses granulométriques, minéralogiques et chimiques, et 4 points sur terrain de berges pour analyses minéralogiques et chimiques (cf. figure 14 et tableau 11). Les quatre principales formations géologiques situées sur les bassins versants ont ainsi été caractérisées (cf. figure 15). La description géologique des formations est détaillée dans le chapitre 4.

### **2.4.3. Protocoles analytiques des analyses**

Toutes les analyses ont été effectuées par le laboratoire d'analyses du BRGM à Orléans.

#### **MES**

Les analyses ont été effectuées sur de l'eau brute filtrée sur filtre Sartorius type 13440 selon la norme NF EN 872.

#### **Granulométrie des MES**

La distribution granulométrique des MES est établie par analyse micro-granulométrique par diffractométrie laser dans la gamme 1-600  $\mu\text{m}$  sur appareil CILAS HR 850.

Les échantillons ont été réceptionnés au laboratoire sous forme de 10 litres d'eau légèrement chargée en sédiments. Afin de concentrer les sédiments, une période de repos d'une semaine a permis de faire sédimenter les particules, une partie de l'eau a ensuite été extraite par soutirage, et le restant par centrifugation, pour obtenir un concentré final d'environ 200 cc.

Avant analyse, les échantillons sont dispersés avec un défloculant (Hexamétaphosphate de sodium) à raison de 0,05 g/l. L'ensemble est mis en agitation durant 12 heures et tamisé sur un tamis d'ouverture 500  $\mu\text{m}$ . La fraction supérieure à 500  $\mu\text{m}$  est séchée et pesée, la fraction inférieure utilisée en l'état pour l'analyse micro-granulométrique.

Enfin, pour compléter cette préparation, un passage de 15 secondes aux ultrasons est effectuée dans le bac de mélange du granulomètre avant analyse de l'échantillon.

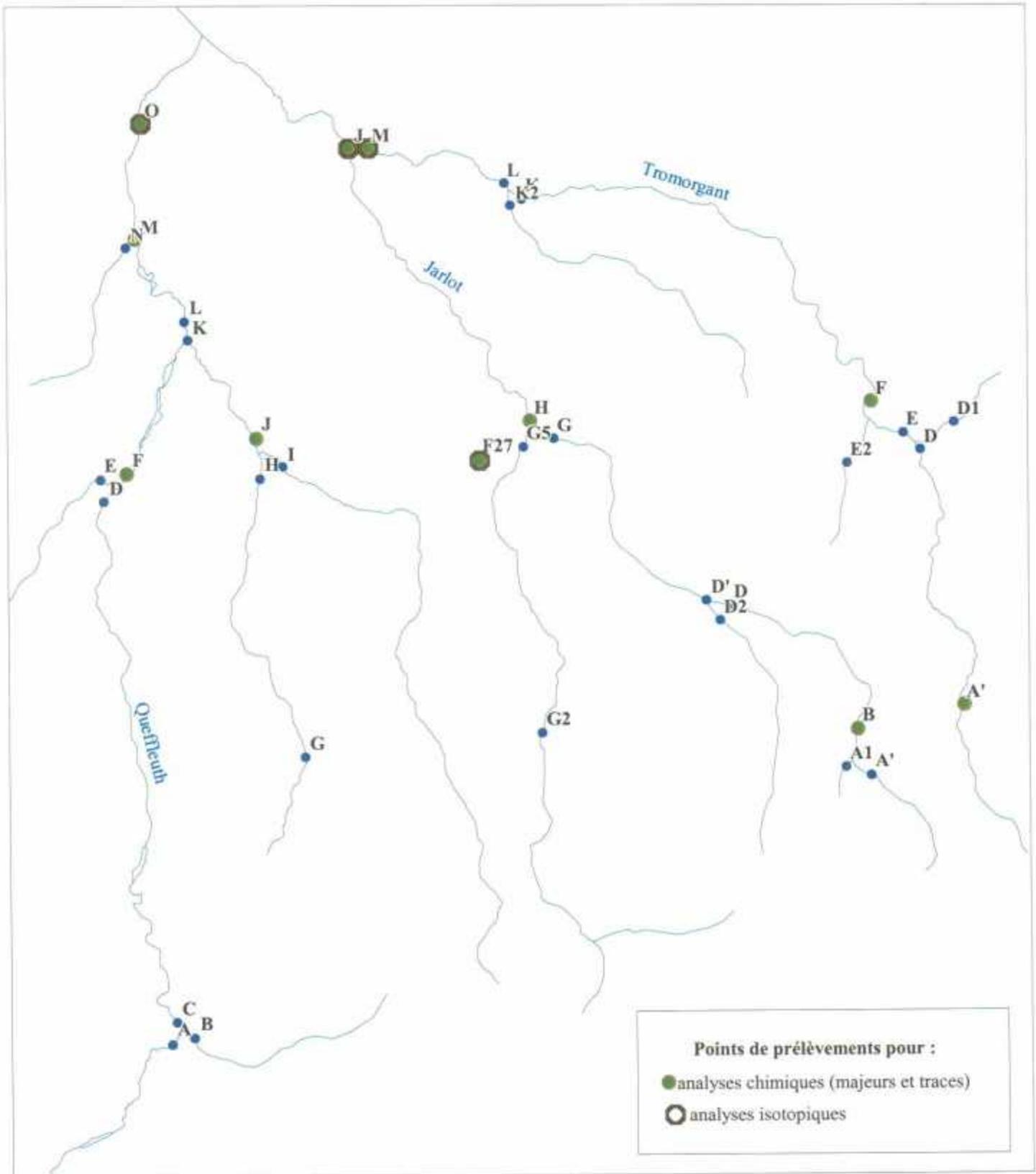


Fig. 13 - Localisation des points de prélèvements pour analyses chimiques et isotopiques

36 échantillons de 1L pour mesure de MES

**Tromorgant**

Lieu	Date	Heure
A'	22/10/2002	16h45
D	22/10/2002	17h35
D1	22/10/2002	17h30
E	22/10/2002	17h20
F	22/10/2002	17h10
E2	22/10/2002	17h05
K	22/10/2002	18h00
L	22/10/2002	18h00
K2	22/10/2002	18h00
M	22/10/2002	18h30

**Jarlot**

Lieu	Date	Heure
B	22/10/2002	16h05
A'	22/10/2002	16h30
A1	22/10/2002	16h25
D'	22/10/2002	15h20
D	22/10/2002	15h20
D2	22/10/2002	15h20
G2	22/10/2002	15h45
G5	22/10/2002	14h40
G	22/10/2002	14h40
H	22/10/2002	14h40
J	22/10/2002	14h00

**Queffleuth**

Lieu	Date	Heure
A	22/10/2002	12h05
B	22/10/2002	12h05
C	22/10/2002	12h00
D	22/10/2002	11h05
E	22/10/2002	11h00
F	22/10/2002	10h50
G	22/10/2002	12h30
H	22/10/2002	11h40
I	22/10/2002	11h35
J	22/10/2002	11h15
K	22/10/2002	10h35
L	22/10/2002	10h25
M	22/10/2002	10h00
N	22/10/2002	9h50
O	22/10/2002	9h30

10 échantillons de 10L pour mesure granulométrique sur MES

**Tromorgant**

Lieu	Date	Heure
A'	22/10/2002	16h45
F	22/10/2002	17h10
M	22/10/2002	18h30

**Jarlot**

Lieu	Date	Heure
B	22/10/2002	16h05
H	22/10/2002	14h40
J	22/10/2002	14h00

**Queffleuth**

Lieu	Date	Heure
F	22/10/2002	10h50
J	22/10/2002	11h15
M	22/10/2002	10h00
O	22/10/2002	9h30

10 échantillons de 100ml+50ml pour chimie majeurs et traces

**Tromorgant**

Lieu	Date	Heure
A'	23/10/2002	18h00
F	23/10/2002	18h40
M	23/10/2002	11h00

**Jarlot**

Lieu	Date	Heure
B	23/10/2002	17h45
H	23/10/2002	17h15
J	23/10/2002	9h00

**Queffleuth**

Lieu	Date	Heure
F	23/10/2002	15h25
J	23/10/2002	15h40
M	23/10/2002	15h05
O	23/10/2002	13h40

1 échantillon pour chimie majeurs et 2 traces (B+Sr)

Lieu	Date	Heure
F27	23/10/2002	16h00

4 échantillons de 10L+2L+250ml pour mesure isotopes (15N, 11B, 87Sr)

**Jarlot**

Lieu	Date	Heure
J	23/10/2002	9h00

**Tromorgant**

Lieu	Date	Heure
M	23/10/2002	11h00

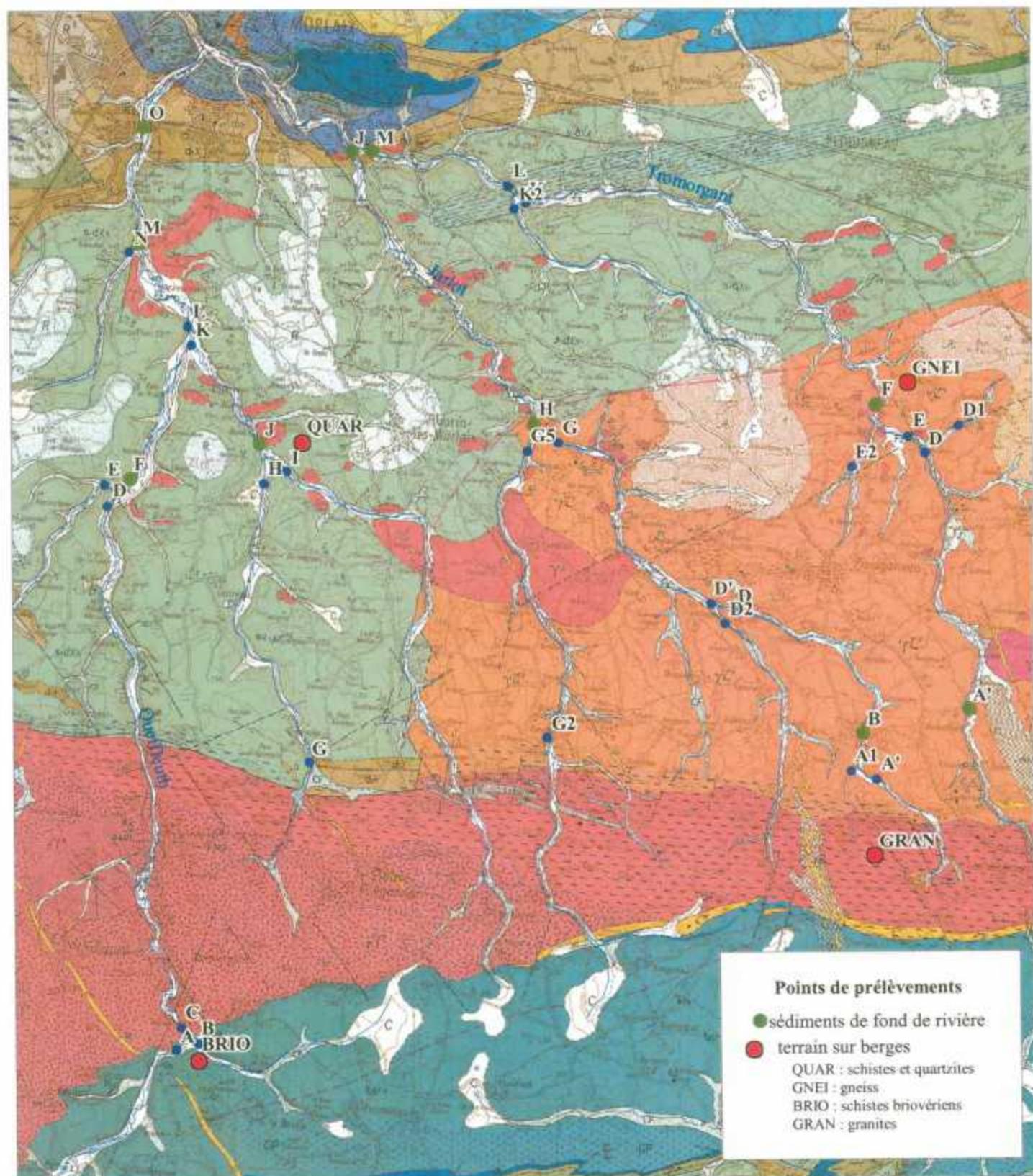
**Queffleuth**

Lieu	Date	Heure
O	23/10/2002	13h40

**Eau souterraine sur le bassin du Jarlot**

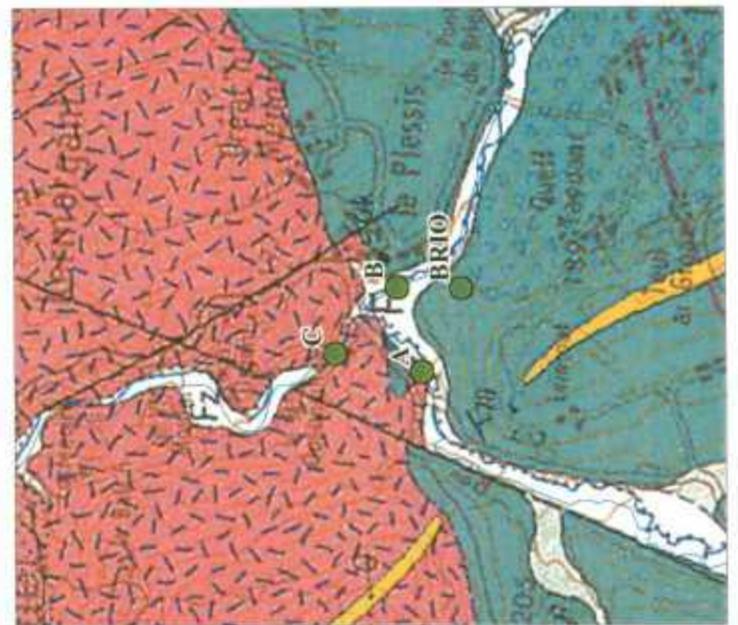
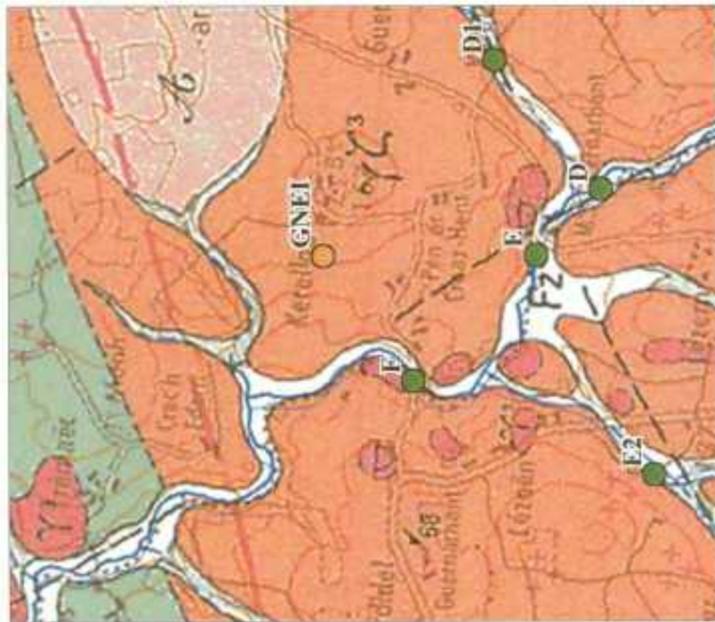
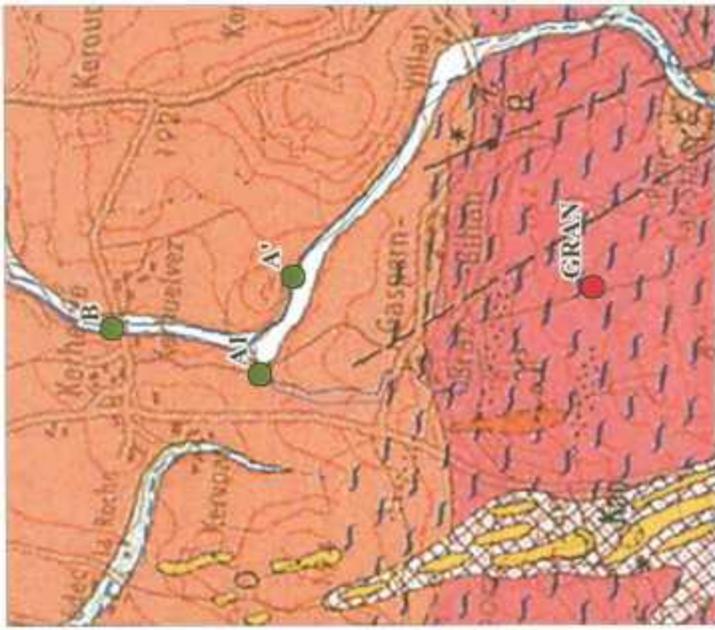
Lieu	Date	Heure
F27	23/10/2002	16h00

Tabl. 10 - Liste des échantillons d'eau prélevés lors de la campagne d'octobre 2002



Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de Morlaix

**Fig. 14 - Localisation des points de prélèvements de sédiments pour analyses granulométriques, minéralogiques et chimiques**



**Géologie du point prélevé**

- BRIO : schistes briovériens (bassin du Queffleuth)
- GNEI : gneiss (bassin du Tromorgant)
- GRAN : granites (bassin du Jarlot)
- QUAR : schistes et quartzites (bassin du Queffleuth)

● Points du réseau de suivi MES

*Fig. 15 - Localisation des points de prélèvements de terrain sur berge pour analyses minéralogiques et chimiques*

10 échantillons de 1kg pour mesures granulométrique, minéralogique et chimique sur sédiment fond de rivière

**Tromorgant**

Lieu	Date	Heure
A'	24/10/2002	15h55
F	24/10/2002	16h30
M	24/10/2002	9h10

**Jarlot**

Lieu	Date	Heure
B	24/10/2002	15h20
H	24/10/2002	14h00
J	24/10/2002	8h50

**Queffleuth**

Lieu	Date	Heure
F	24/10/2002	11h00
J	24/10/2002	11h20
M	24/10/2002	10h15
O	24/10/2002	9h50

4 échantillons de 1kg pour mesures minéralogique et chimique sur terrain de berge

**Tromorgant**

Lieu	Date	Heure
GNEI	24/10/2002	16h15

**Jarlot**

Lieu	Date	Heure
GRAN	24/10/2002	15h35

**Queffleuth**

Lieu	Date	Heure
BRIO	24/10/2002	12h15
QUAR	24/10/2002	11h35

**Tabl. 11 - Liste des échantillons de sédiments prélevés lors de la campagne d'octobre 2002**

### **Granulométrie des sédiments de fond de rivière**

La distribution granulométrique des sédiments est établie par combinaison :

- d'une analyse granulométrique par tamisage en voie sèche entre 80  $\mu\text{m}$  et 50 mm (norme NF ISO 2591-1),
- et d'une analyse micro-granulométrique par sédimentation dans la gamme 0,5-80  $\mu\text{m}$  sur appareil SEDIGRAPH 5100.

Pour la réalisation des analyses granulométriques, une prise de l'échantillon brut sec est effectuée.

Avant analyse, les échantillons sont dispersés avec un défloculant (Hexamétaphosphate de sodium). L'ensemble est mis en agitation puis tamisé sur un tamis d'ouverture 80  $\mu\text{m}$ . La fraction supérieure à 80  $\mu\text{m}$  est séchée et pesée, la fraction inférieure utilisée pour l'analyse micro-granulométrique.

Enfin, pour compléter cette préparation, un passage de 15 secondes aux ultrasons est effectuée avant analyse de l'échantillon au SEDIGRAPH.

### **Composition minéralogique des sédiments**

La fraction cristallisée des échantillons est déterminée par diffractométrie des rayons X à partir de leurs diagrammes en poudre.

La fraction phylliteuse est déterminée par diffractométrie des rayons X à partir de lames orientées normales, glycolées pendant 12 heures en tension de vapeur puis chauffées à 490°C pendant 4 heures. Les proportions sont estimées par surfaces de pics.

L'appareillage utilisé est un diffractomètre SIEMENS D5000 automatisé.

### **Composition chimique des sédiments**

Les sédiments sont séchés à 40°C pendant 72 heures (pourcentage de matière sèche). Les teneurs en éléments majeurs, exprimés en pourcentage d'oxyde et en éléments traces, exprimés en mg/kg, sous forme élémentaire, ont été déterminées par ICP/AES (Induced Coupled Plasma Spectrometry) selon le mode opératoire MO111.

La perte de masse a été déterminée à 450°C selon le mode opératoire MO077.

### **Chimie des majeurs et traces**

Les eaux prélevées sont filtrées à 0,45  $\mu\text{m}$ . Le dosage des cations se fait après acidification à l'acide nitrique quasi-pur.

Le dosage des carbonates et bicarbonates a été effectué par méthode potentiométrique selon la norme NF EN ISO 9963-1 de février 1996.

Les analyses des éléments suivants ont été effectuées par ICP sur un spectre d'émission selon la norme NF EN ISO 11885 de mars 1998 : calcium, magnésium, sodium, potassium, fer, silice.

Le dosage des chlorures, nitrates et sulfates a été réalisé par chromatographie ionique (DIONEX) selon la norme NF EN ISO 10304-1 (Juin 1995) pour les eaux faiblement contaminées et NF EN ISO 10304-2 (Sept 1996) pour les eaux usées, par évaluation des aires des pics.

Le dosage des éléments traces s'est fait par ICP/MS selon le mode opératoire MO108.

### **Isotopes**

L'analyse du rapport isotopique du strontium  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  se fait par spectrométrie de masse à source solide. L'analyse se fait sur mono filament au W, avec mesures comparées au standard NBS987 (valeur certifiée de 0.710240). La valeur mesurée par le laboratoire du BRGM du standard NBS987, pour la période d'analyse considérée est de  $0.710238 \pm 0.000013$  ( $2\sigma$  ; nombre de déterminations=12). L'erreur est donnée à  $2\sigma$  (m) entre 0.000008 et 0.000010.

Les compositions isotopiques de l'azote  $\delta^{15}\text{N}$  sont mesurées par spectrométrie de masse à source gazeuse. La méthode de préparation des échantillons est adaptée de Kreitler (Kreitler, 1975). Les substances azotées sont tout d'abord concentrées par évaporation, puis réduites par l'alliage de Devarda. L'ammoniac formé est piégé sous forme de chlorure d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) dans de l'acide chlorhydrique ( $\text{HCl}$ ). Mis à réagir avec du  $\text{LiOBr}$ , il se forme de l'azote qui est piégé sur du charbon actif, avant d'être analysé. La précision sur les mesures est de 0.2 ‰.

Les compositions isotopiques du bore  $\delta^{11}\text{B}$  sont mesurées sur un spectromètre de masse à source solide (Finnigan MAT 261). L'analyse se fait sur mono filament de Ta en ions positifs. L'échantillon est introduit dans le spectromètre de masse sous forme de borate de césium ( $\text{CsBO}_2$ ). Il est donc nécessaire de transformer chimiquement les échantillons en cette espèce. La méthode utilisée au BRGM est celle de Mossadik (Mossadik, 1997). La valeur mesurée par le laboratoire du BRGM du standard NBS-951, pour la période d'analyse considérée est de  $4.04902 \pm 0.00165$  ( $2\sigma$  ; nombre de déterminations=18). La précision sur les mesures est 0.4 ‰.

### 3. Interprétation des données de la campagne d'octobre 2002

Le chapitre 2.4.1. précise les objectifs de la campagne d'octobre 2002 et les analyses réalisées afin d'y répondre.

L'interprétation des analyses de MES est détaillé dans le chapitre 2.3.

#### 3.1. POTENTIALITE DES PARTICULES AU DEPOT (INTERPRETATION DES ANALYSES GRANULOMETRIQUES)

Les analyses granulométriques ont été effectuées à la fois sur des sédiments de fond de rivière et sur des MES.

Les échantillons soumis à l'analyse granulométrique sont (cf. figure 14) :

- 3 points de prélèvement situés dans le lit du Jarlot (B, H et J),
- 3 points dans le lit du Tromorgant (A', F et M),
- 4 points dans le lit du Queffleuth (F, J, M et O).

Les résultats complets des analyses micro-granulométriques des MES sont présentés en annexe 3 (rapport d'essai n°02-1-032-A) sous forme de données numériques et graphiques. Il n'a pas été possible de définir la proportion exacte de la fraction supérieure à 500  $\mu\text{m}$  par rapport à la totalité des sédiments échantillonnés (cf. explication en annexe 3, page 3 du rapport d'essai).

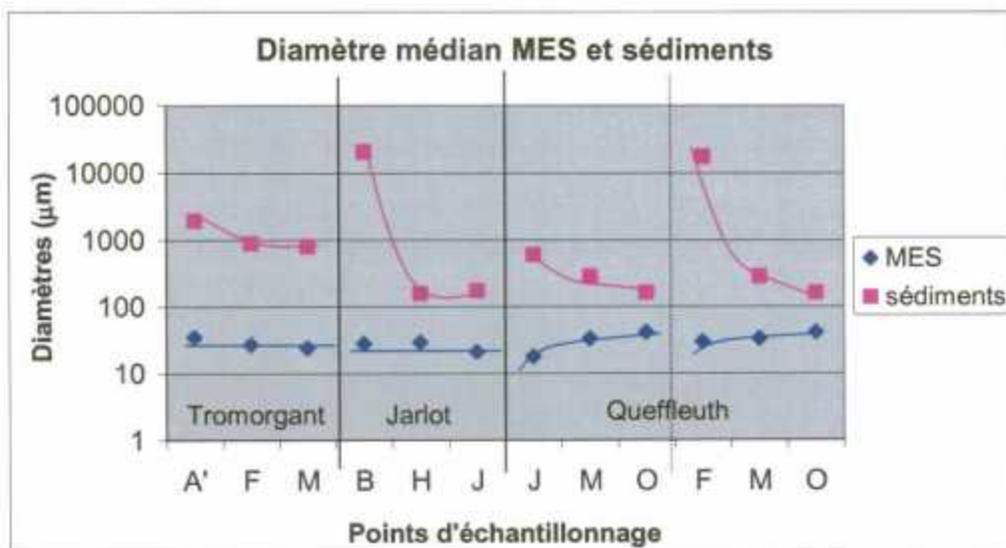
Les résultats complets des analyses granulométriques et micro-granulométriques sur les sédiments de fond de rivière sont présentés en annexe 3 (rapport d'essai n°02-1-033-A) sous forme de données numériques et graphiques.

Le tableau 12 résume les analyses dont les bordereaux sont reproduits en annexe 3. Pour le construire à partir des analyses granulométriques, ont été isolés les diamètres médians des particules ainsi que les diamètres permettant de laisser passer 25% et 75% des particules. Ce tableau présente les valeurs obtenues pour les MES ainsi que pour les sédiments (la surface spécifique Sspé est exprimée en  $\text{cm}^2/\text{g}$ ). La dernière colonne du tableau donne des explications d'anomalies observables au niveau des courbes granulométriques.

	$\mu\text{m}$	MES				sédiments			remarques
		Dméd	T25	T75	Sspé	Dméd	T25	T75	
Tromorgant	A'	35.17	16.6	61.45	1461	1965	857	3537	
	F	27.12	13.35	46.73	1843	893	349	1254	
	M	24.08	12.31	43.05	1937	805	303	11950	blocs quartz > 1 cm
Jarlot	B	27.95	14.24	50.24	1624	20871	1675	33495	blocs de gneiss 5 cm
	H	29.31	15.18	48.93	1559	158	29	803	
	J	21.07	10.7	37.91	2105	174	82	299	
Queffleuth	F	30.04	14.8	50.26	1585	17667	5102	22324	blocs > 2 cm
	J	17.91	8.2	35.43	2795	607	384	14727	blocs de 5 cm
	M	33.23	16.11	58.07	1581	288	162	12054	blocs > 2 cm
	O	41.35	19.8	75.99	1247	163	47	301	

**Tabl. 12 - Résultats des analyses granulométriques**

La figure 16 ci-après présente l'évolution du diamètre médian des particules constitutives des MES ainsi que des sédiments pour chacune des trois rivières.



**Fig. 16 - Evolution de la granulométrie amont-aval pour chaque rivière**

Les particules constitutives des sédiments du Tromorgant et du Queffleuth (affluent droit caractérisé par le point J) ont un diamètre plus homogène que celles du Jarlot ou du Queffleuth (affluent gauche caractérisé par le point F). La sédimentation est de ce fait plus régulière d'amont en aval car les diamètres des particules ne subissent qu'une légère décroissance du point A' vers le point M (Tromorgant), et du point J vers le point O (Queffleuth).

Le diamètre des particules présentes dans les sédiments en amont du Jarlot et du Queffleuth (point F) est beaucoup plus grand (plus d'un ordre de grandeur) que celles du Tromorgant. Par contre, ces mêmes particules sont beaucoup plus petites en aval (quasiment un ordre de grandeur) que celles du Tromorgant ; le matériau prélevé sur le Tromorgant étant en effet plus sableux et moins argileux que sur les autres rivières.

La décroissance plus marquée de la taille des particules au sein d'un même cours d'eau entre l'amont et l'aval indique une sédimentation importante entre les points B et H sur le Jarlot. La décroissance de la taille des particules entre les points F et M sur le Queffleuth, est à relativiser par l'influence du point J.

Les remarques du tableau 12 montrent que les diamètres médians des points amont du Jarlot (B) et du Queffleuth (F) sont surestimés en raison de la présence de particules très grossières (blocs). La sédimentation mise en évidence intervient donc au niveau des particules les plus grossières (diamètre > 2 cm).

Au niveau de la taille des particules en suspension (MES), on peut noter qu'elle est toujours assez stable, et est inférieure à celle des sédiments (de un à deux ordres de grandeur). On observe cependant une augmentation du diamètre pour le Queffleuth de l'amont vers l'aval. Cette variation s'explique par une tendance à l'augmentation des MES entre les points J et M du Queffleuth (cf. figure 11) et une mise en suspension de

particules des sédiments de fonds de rivière qui se retrouvent dans les MES (cf. explication ci-dessous).

L'analyse des courbes granulométriques de l'annexe 3 permet de fournir les interprétations suivantes par rivière :

- Tromorgant

Entre A' et F, les MES d'un diamètre supérieur à 50  $\mu\text{m}$  sédimentent (les courbes des sédiments de fond de rivière le confirment : absence en A' et présence en F), et les MES les plus fines (< 40  $\mu\text{m}$ ) s'accumulent.

La figure 11 indique une zone de stagnation des MES entre A' et F qui correspond en fait à une sédimentation des MES de la fraction supérieure à 50  $\mu\text{m}$ .

Entre F et M, la sédimentation des particules se poursuit mais en moins grande quantité (MES d'un diamètre supérieur à 30  $\mu\text{m}$ ) tandis que les MES les plus fines (< 30  $\mu\text{m}$ ) continuent à s'accumuler.

La diminution du diamètre médian des MES entre A' et M montre que les particules deviennent de plus en plus fines à l'aval ; l'essentiel du dépôt ayant lieu entre A' et F.

Entre l'amont (A') et l'aval du cours d'eau (M), les courbes des sédiments de fond de rivière prélevés montrent une accumulation de particules fines (< 1 mm) liée à la sédimentation des MES (diamètre supérieur à 50  $\mu\text{m}$ ) et un appauvrissement en particules grossières (> 1 mm) qui ne sont pas entraînées par le débit de la rivière.

- Jarlot

Entre B et H, les MES d'un diamètre supérieur à 80  $\mu\text{m}$  sédimentent (les courbes des sédiments de fond de rivière le confirment : absence en B et présence en H), et les MES les plus fines (30-80  $\mu\text{m}$ ) s'accumulent.

Au point J, il n'existe plus de MES d'un diamètre supérieur à 100  $\mu\text{m}$ . En effet, entre H et J, les MES d'un diamètre supérieur à 100  $\mu\text{m}$  sédimentent totalement (ceci est confirmé par le sédiment de fond de rivière J riche en dépôts 100-500  $\mu\text{m}$ ) et celles d'un diamètre compris entre 30 et 100  $\mu\text{m}$  sédimentent partiellement, tandis que les MES les plus fines (< 30  $\mu\text{m}$ ) s'accumulent.

La figure 11 indique une tendance à l'augmentation des MES entre H et J qui correspond en fait à une accumulation de la fraction fine des MES (< 30  $\mu\text{m}$ ).

- Queffleuth

Les points F et J sont situés sur deux affluents du Queffleuth, il convient donc d'observer séparément les séries F-M-O et J-M-O.

Les courbes granulométriques des points J et F montrent que l'affluent droit J est riche en MES fines (diamètre < 20  $\mu\text{m}$ ) tandis que l'affluent gauche F, riche en MES d'un diamètre > 20  $\mu\text{m}$ , présente des MES d'un diamètre supérieur à 100  $\mu\text{m}$  contrairement à l'affluent droit J (les particules étant en fait situées dans le sédiment de fond de rivière J riche en dépôts 100-1000  $\mu\text{m}$ ).

Les courbes des particules en suspension (MES) des points F et M sont très semblables, et les MES fines (diamètre inférieur à 50  $\mu\text{m}$ ) présentes en M proviennent majoritairement du point F.

Les MES d'un diamètre supérieur à 100  $\mu\text{m}$  présentes en M (et absentes en J) proviennent d'une mise en suspension de la fraction des sédiments entre J et M et/ou des MES de l'affluent gauche F.

Ceci explique l'augmentation d'amont en aval du diamètre médian des particules en suspension du Queffleuth (cf. figure 16).

Les courbes granulométriques des sédiments de fond de rivière F, J et M montrent que les particules d'un diamètre compris entre 100 et 500  $\mu\text{m}$  présentes en M proviennent du point J et pas du point F. Ceci confirme l'influence prépondérante de l'affluent droit du Queffleuth au niveau de l'apport des MES (cf. figure 11).

Par ailleurs, les courbes granulométriques des sédiments de fond de rivière J et M montrent que les particules d'un diamètre supérieur à 500  $\mu\text{m}$  ne sont pas entraînées par le débit du Queffleuth (présence en J et absence en M).

La figure 11 indique une tendance à l'augmentation des MES entre J et M qui correspond en fait à une mise en suspension de la fraction des sédiments supérieure à 50  $\mu\text{m}$  et inférieure à 500  $\mu\text{m}$  (présence en J et absence en M).

Entre M et O, les MES d'un diamètre supérieur à 40  $\mu\text{m}$  s'accumulent (mise en suspension).

En dehors des blocs du point M (diamètre 2 à 5 cm), les courbes granulométriques des sédiments de fond de rivière M et O sont identiques.

L'interprétation des courbes granulométriques confirme la figure 11 et permet de préciser quant à la taille des particules :

- les secteurs où les MES augmentent correspondent soit à une accumulation de la fraction fine des MES pour le Tromorgant et le Jarlot (diamètre < 30  $\mu\text{m}$  entre F et M pour le Tromorgant, et < 30  $\mu\text{m}$  entre H et J pour le Jarlot), soit à une mise en suspension de la fraction plus grossière des sédiments de fond de rivière pour le Queffleuth (50  $\mu\text{m}$  < diamètre < 500  $\mu\text{m}$  entre J et M) ;
- les zones de stagnation des MES s'expliquent par une sédimentation des MES et une accumulation dans les sédiments de fond de rivière (diamètre > 50  $\mu\text{m}$  entre A' et F pour le Tromorgant, et > 80  $\mu\text{m}$  entre B et H pour le Jarlot).

Le régime du Jarlot et du Tromorgant permet donc aux MES fines (diamètre < 30  $\mu\text{m}$ ) de s'accumuler d'amont en aval et aux MES plus grossières (diamètre > 50  $\mu\text{m}$ ) de sédimenter localement.

Le débit plus important du Queffleuth entraîne des particules de sédiments de fond de rivière plus grossières (50  $\mu\text{m}$  < diamètre < 500  $\mu\text{m}$ ) que pour le Jarlot et le Tromorgant. Au niveau de ce cours d'eau la mise en suspension est prépondérante sur la sédimentation.

### 3.2. ORIGINE DES APPORTS SOLIDES (INTERPRETATION DES ANALYSES MINÉRALOGIQUES)

Les échantillons ayant fait l'objet d'analyses minéralogiques durant la campagne d'octobre 2002 concernent (cf. figures 14 et 15) :

- 3 points de prélèvement situés dans le lit du Jarlot (d'amont vers l'aval) : B, H et J ainsi qu'un prélèvement sur berge : GRAN,
- 3 points de prélèvement sur le Tromorgant (d'amont vers l'aval) : A', F et M ainsi qu'un prélèvement sur berge : GNEI,
- 4 points de prélèvement situés sur le Queffleuth (d'amont vers l'aval) : F, J, M et O ainsi que deux prélèvements sur berges : BRIO et QUAR.

Ces échantillons ont été prélevés et analysés dans les laboratoires du BRGM à Orléans selon des méthodes et normes en vigueur.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 13 de la page suivante.

La comparaison des compositions des différents échantillons de sédiments de fond de rivière avec celles des échantillons de berge permet, à priori, d'estimer au niveau de chaque point de rivière l'origine des apports en provenance des différentes formations géologiques présentes sur le secteur d'étude.

Le tableau 14 ci-dessous présente les formations géologiques susceptibles d'influencer l'analyse minéralogique des points de rivière (les formations étant classées par ordre de priorité selon la superficie rencontrée sur le bassin).

Rivière	Point de rivière	Géologie drainée à l'amont du point de prélèvement
Jarlot	B	GRAN – GNEI
	H	GNEI – GRAN – BRIO
	J	GNEI – QUAR – GRAN – BRIO
Tromorgant	A'	GNEI – GRAN
	F	GNEI – GRAN
	M	GNEI – QUAR – GRAN
Queffleuth	F	GRAN – BRIO – QUAR
	J	QUAR – GRAN – BRIO – GNEI
	M	QUAR – GRAN – BRIO – GNEI
	O	QUAR – GRAN – BRIO – GNEI

**Tabl. 14 - Formations géologiques potentiellement présentes dans les sédiments de fond de rivière**

Au niveau des analyses minéralogiques, seule la phase phyliteuse (chlorite, kaolinite et illite) permet de discriminer les échantillons ; les autres éléments étant présents en quantité équivalente dans les prélèvements (notamment quartz, microcline et plagioclases).

L'analyse de la composition des échantillons montre que plus le point de prélèvement est situé à l'amont du cours d'eau moins il est difficile de la rattacher à une formation géologique située à l'amont du bassin.

## Jarlot

Lieu	Date	Heure	Quartz %	Microcline	Plagioclases	Calcite	Andalousite	Sillimanite	Phase phyliteuse	Chlorite et vermiculite %	Kaolinite %	Illite/micas %	Sépiolite %
B	24/10/2002	15h20	50	faible	traces à faible	-	-	-	traces à faible	41	20	39	-
H	24/10/2002	14h00	55	faible	traces à faible	infra traces	-	-	traces à faible	42	24	34	-
J	24/10/2002	8h50	50	traces à faible	faible	-	-	-	traces à faible	24	48	28	-
GRAN	24/10/2002	15h35	30	faible	traces à faible	-	-	-	faible	67	7	26	-

## Tromorgant

Lieu	Date	Heure	Quartz %	Microcline	Plagioclases	Calcite	Andalousite	Sillimanite	Phase phyliteuse	Chlorite et vermiculite %	Kaolinite %	Illite/micas %	Sépiolite %
A'	24/10/2002	15h55	55	faible	traces à faible	-	-	-	traces à faible	22	39	35	3
F	24/10/2002	16h30	55	faible	traces à faible	-	-	-	traces à faible	42	24	34	-
M	24/10/2002	9h10	55	faible	traces à faible	-	-	-	traces à faible	40	28	32	-
GNEI	24/10/2002	16h15	40	faible	traces à faible	-	-	-	faible	34	12	20	34

## Queffleuth

Lieu	Date	Heure	Quartz %	Microcline	Plagioclases	Calcite	Andalousite	Sillimanite	Phase phyliteuse	Chlorite et vermiculite %	Kaolinite %	Illite/micas %	Sépiolite %
F	24/10/2002	11h00	70	faible	traces	-	-	-	traces	13	54	33	-
J	24/10/2002	11h20	55	faible	traces	-	-	-	traces à faible	10	64	26	-
M	24/10/2002	10h15	50	faible	traces à faible	-	-	-	traces à faible	26	45	29	-
O	24/10/2002	9h50	40	faible	traces à faible	-	possible en traces	-	faible	59	27	14	-
BRIO	24/10/2002	12h15	50	traces	traces à faible	-	-	-	faible à présente	11	56	33	-
QUAR	24/10/2002	11h35	45	traces	traces	-	-	possible en traces	faible à présente	3	87	10	-

Tabl. 13 - Résultats des analyses minéralogiques sur sédiments (berge et fond de rivière) de la campagne du 24/10/2002

En effet, l'origine des sédiments prélevés aux points F et J en amont du Queffleuth semblent être influencés par la composition des schistes briovériens caractérisés par l'échantillon BRIO.

De plus, les échantillons B et H en amont du Jarlot ont des compositions semblables et peuvent être rapprochés de la composition d'un mélange granites et gneiss (échantillons GRAN et GNEI).

Il en est de même pour l'échantillon A' en amont du Tromorgant qui semble se rattacher à une composition gneissique de l'échantillon GNEI, notamment avec la présence de sépiolite.

Par contre, les concentrations relevées dans l'échantillon M, en aval du Queffleuth, ne varient pas tout à fait dans des proportions auxquelles on pourrait s'attendre avec un apport de schistes et quartzites caractérisés par l'échantillon QUAR. En effet, il y a bien une diminution du pourcentage de kaolinite et Illite en aval du fleuve mais l'augmentation du pourcentage de chlorite n'est pas aussi prononcé. De plus l'échantillon O ne varie pas dans le même sens. Les apports des autres affluents sont probablement la cause de cette variation.

De la même façon, l'échantillon J prélevé en aval du Jarlot n'est pas le reflet de la composition d'un mélange des échantillons des formations géologiques précisées dans le tableau 14.

Enfin, l'échantillon F du Tromorgant ne présente pas une composition comparable à celle du prélèvement GNEI pourtant placé à proximité géographique. Cet échantillon a une composition semblable à celle du point M situé à l'aval du Tromorgant.

Les nombreux apports anthropiques et les nombreuses voies de transfert de composés chimiques ne permettent pas de relier aisément les compositions minéralogiques des prélèvements effectués sur berge de celles des prélèvements de sédiments de fond de rivière.

Les pourcentages importants de chlorite et vermiculite présents dans les sédiments de fond de rivière du Jarlot et du Tromorgant montrent que ces sédiments sont plus influencés par l'érosion des formations granito-gneissiques que par les formations schisteuses. Ces gneiss et granites apparaissent donc plus sensibles à l'érosion (cf. chapitre 4.1.1.).

### 3.3. EXISTENCE D'UN TRANSPORT DE POLLUANT (INTERPRETATION DES ANALYSES CHIMIQUES)

#### 3.3.1. Données chimiques sur les eaux

Les données sur les eaux relatives à cette campagne concernent (cf. figure 13) :

- 4 points de prélèvement situés sur le bassin du Jarlot : 3 points en eau de rivière (B, H, et J) et 1 point en eau souterraine (dans le forage F27),
- 3 points sur le Tromorgant (A', F et M),
- 4 points sur le Queffleuth (F, J, M et O).

La liste des paramètres analysés et de leurs limites de dosabilité est reprise dans le tableau 15 suivant.

Subst.	Ca	Mg	Na	K	SiO2	CO3	HCO3	Cl	NO3	SO4
	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Silice	Carbonates	Bicarbonates	Chlorures	Nitrates exprimés en NO3	Sulfates
Mini	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	3	3	0,1	0,1	0,1
Maxi	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Unité	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	Mg/l	mg/l	mg/l
Subst.	Cu	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Cd	Co	Cr
	Cuivre	Argent	Aluminium	Arsenic	Bore	Baryum	Béryllium	Cadmium	Cobalt	Chrome
Mini	2	5	0,03	10	20	5	5	2	2	5
Maxi	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Unité	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Subst.	Li	Mn	Ni	Pb	Fe	Sr	Zn			
	Lithium	Manganèse	Nickel	Plomb	Fer	Strontium	Zinc			
Mini	0,01	5	5	2	0,02	0,01	5			
Maxi	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000			
Unité	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l			

**Tabl. 15 - Eléments chimiques analysés dans les eaux et limites de dosabilité (laboratoires BRGM)**

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 16 (page suivante).

Afin d'évaluer la qualité des eaux de surface, les valeurs de constat d'impact (VCI), définies dans le guide de gestion des sites (potentiellement) pollués publié par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable aux éditions du BRGM (ISBN 2-7159-0899-7 - version 2 de juillet 2001), ont été utilisées.

**Jarlot**

								ISOTOPES					MAJEURS									
								+ ou - 0.2														
Lieu	Date	Heure	Temp (°C)	Cond (µS/cm)	pH	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)	15N/14N vs air ‰	δ11B vs NBS 951	incert. 11B/10B	87Sr/86Sr	incert. 87Sr/86Sr	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	SiO2 mg/l	CO3 mg/l	HCO3 mg/l	Cl mg/l	NO3 mg/l	SO4 mg/l
B	23/10/2002	17h45	11.0	257	4.5		21						11.3	7.1	22.1	4.7	19.3	<3	45	29.2	28.6	13.9
H	23/10/2002	17h15	11.5	254	4.5		283						10.6	7	22.3	5.5	19	<3	39	31.8	23.3	18.8
J	23/10/2002	9h00	10.9	251	5	347		8.9	23.25	0.12	0.713441	0.000009	10.1	6.8	21.5	5.8	17.5	<3	37	31.9	19.1	18.9
F27	23/10/2002	16h00	13.9	407	5.5	-	-	10.2	43.44	0.13	0.713282	0.000008	20.9	10.1	37.5	4.5		<3	46	52.6	51.8	20.7

VCI eaux Usage sensible																				200	50	250	
VCI eaux Usage non sensible																					400	100	500
décret 20/12/01																						50	
																							250
																							200

**Tromorgant**

								+ ou - 0.2														
Lieu	Date	Heure	Temp (°C)	Cond (µS/cm)	pH	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)	15N/14N vs air ‰	δ11B vs NBS 951	incert. 11B/10B	87Sr/86Sr	incert. 87Sr/86Sr	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	SiO2 mg/l	CO3 mg/l	HCO3 mg/l	Cl mg/l	NO3 mg/l	SO4 mg/l
A'	23/10/2002	18h00	11.2	200	5		20.2						7.5	4.9	18.8	3.3	18.4	<3	43	24.8	15.2	12.6
F	23/10/2002	18h40	11.2	255	4.5		116.7						10.7	7	22.6	4.8	20.5	<3	41	31.3	22.9	20.3
M	23/10/2002	11h00	10.8	267	4.5	331		9.6	26.74	0.16	0.712325	0.000010	11.7	7.1	23.7	5.8	16.8	<3	42	36.3	14.3	22.6

**Queffleuth**

								+ ou - 0.2														
Lieu	Date	Heure	Temp (°C)	Cond (µS/cm)	pH	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)	15N/14N vs air ‰	δ11B vs NBS 951	incert. 11B/10B	87Sr/86Sr	incert. 87Sr/86Sr	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	SiO2 mg/l	CO3 mg/l	HCO3 mg/l	Cl mg/l	NO3 mg/l	SO4 mg/l
F	23/10/2002	15h25	11.3	164	4.5								6.4	4.4	14.7	3.7	11.1	<3	21	24.3	9.6	11.7
J	23/10/2002	15h40	11.4	222	5								9.4	6.3	19	4.2	14.5	<3	26	32.2	14.9	16.7
M	23/10/2002	15h05	11.5	188	4.5								7.5	5	15.8	4	12	<3	24	27.5	11	14
O	23/10/2002	13h40	11.5	191	4.5	970		8.7	27.74	0.09	0.712396	0.000010	8.1	5.1	16.2	4.1	11.7	<3	23	27.9	10.8	14.1

**Jarlot**

								ELEMENTS TRACES																
Lieu	Date	Heure	Temp (°C)	Cond (µS/cm)	pH	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)	Ag µg/l	Al mg/l	As µg/l	B µg/l	Ba µg/l	Be µg/l	Cd µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe mg/l	Li mg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Sr mg/l	Zn µg/l
B	23/10/2002	17h45	11.0	257	4.5		21	<5	0.05	<10	<20	20	<5	<2	<2	<5	<2	0.19	<0.01	10	<5	<2	0.08	7
H	23/10/2002	17h15	11.5	254	4.5		283	<5	0.04	<10	25	25	<5	<2	<2	<5	3	0.15	<0.01	6	<5	<2	0.08	22
J	23/10/2002	9h00	10.9	251	5	347		<5	0.13	<10	55	92	<5	<2	<2	<5	3	0.32	<0.01	15	<5	<2	0.08	57
F27	23/10/2002	16h00	13.9	407	5.5	-	-					22												0.11

VCI eaux Usage sensible	10	0.2	50	100	5	50	1000			50	50	50	5000
VCI eaux Usage non sensible	50	1	250	1000	25	250	2000			250	250	250	10000
décret 20/12/01			10	1000	700	5	50	2000			20	10	
			0.2					0.2			50		
	100			1000		5	50	1000	2		1000	50	5000

**Tromorgant**

Lieu	Date	Heure	Temp (°C)	Cond (µS/cm)	pH	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)	Ag µg/l	Al mg/l	As µg/l	B µg/l	Ba µg/l	Be µg/l	Cd µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe mg/l	Li mg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Sr mg/l	Zn µg/l
A'	23/10/2002	18h00	11.2	200	5		20.2	<5	0.04	<10	23	13	<5	<2	<2	<5	<2	0.16	<0.01	15	<5	<2	0.06	7
F	23/10/2002	18h40	11.2	255	4.5		116.7	<5	0.05	<10	21	26	<5	<2	<2	<5	<2	0.19	<0.01	10	<5	<2	0.08	16
M	23/10/2002	11h00	10.8	267	4.5	331		<5	0.05	<10	30	26	<5	<2	<2	<5	<2	0.3	<0.01	10	<5	<2	0.09	8

**Queffleuth**

Lieu	Date	Heure	Temp (°C)	Cond (µS/cm)	pH	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)	Ag µg/l	Al mg/l	As µg/l	B µg/l	Ba µg/l	Be µg/l	Cd µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe mg/l	Li mg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Sr mg/l	Zn µg/l
F	23/10/2002	15h25	11.3	164	4.5			<5	0.06	<10	<20	14	<5	<2	<2	<5	<2	0.2	<0.01	8	<5	<2	0.04	10
J	23/10/2002	15h40	11.4	222	5			<5	0.07	<10	<20	19	<5	<2	<2	<5	<2	0.25	<0.01	15	<5	<2	0.06	9
M	23/10/2002	15h05	11.5	188	4.5			<5	0.06	<10	<20	17	<5	<2	<2	<5	<2	0.21	<0.01	10	<5	<2	0.05	10
O	23/10/2002	13h40	11.5	191	4.5	970		<5	0.07	<10	<20	16	<5	<2	<2	<5	<2	0.23	<0.01	14	<5	<2	0.05	12

Tabl. 16 - Résultats des analyses chimiques et isotopiques des eaux de la campagne du 23/10/2002

Les valeurs de constat d'impact ( $VCI_{usage\ sensible}$ ) pour les eaux ont été déterminées à partir de l'Annexe 1.1. du décret du 3 janvier 1989 « relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles ». Compte tenu de la distance au captage AEP direct existant, les valeurs à retenir sont celles pour usage non sensible. Les  $VCI_{usage\ non\ sensible}$  sont dérivées des précédentes (en les multipliant par 2 pour les éléments majeurs, ou par 5 pour les éléments en trace). Si les valeurs ainsi obtenues sont inférieures aux valeurs de l'Annexe 3 du décret du 3 janvier 1989 modifié (limites de qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine), on choisira les valeurs de l'Annexe 3 du décret du 3 janvier 1989. Nous mentionnons néanmoins les  $VCI_{usage\ sensible}$  valeurs plus restrictives.

Une anomalie en nitrates est détectée au niveau du forage F27. Elle est légèrement supérieure à la  $VCI_{usage\ sensible}$  (51,8 mg/l pour une  $VCI_{usage\ sensible}$  de 50 mg/l). Les teneurs atteintes en métaux restent inférieures aux  $VCI_{usage\ sensible}$ .

L'évolution des concentrations observées en nitrates, sulfates et fer sur les trois cours d'eau, ne permet pas de mettre en évidence des phénomènes de dénitrification naturelle.

Les mesures montrent une légère empreinte en aluminium et baryum sur le cours d'eau du Jarlot mais qui reste inférieure aux  $VCI_{usage\ sensible}$ . Les autres éléments analysés (majeurs et traces) ont tous des teneurs inférieures aux  $VCI$ .

Les transports de métaux s'effectuent à la fois sous forme solide (matières en suspension, particules), colloïdale et en solution. Les échanges entre ces différentes formes sont permanents au fil des cours d'eau. Les analyses d'eau ne représentent que la forme soluble, puisque les échantillons sont filtrés. Le contenu en métaux en solution d'un cours d'eau en un point donné n'est pas la somme des contenus en métaux des cours d'eau situés en amont. Il dépend beaucoup des échanges entre l'eau et les sédiments du cours d'eau.

### 3.3.2. Données chimiques sur les sédiments

Les données sur les sédiments relatives à la campagne d'octobre 2002 concernent (cf. figures 14 et 15) :

- 3 points de prélèvement situés dans le lit du Jarlot (d'amont vers l'aval) : B, H et J ainsi qu'un prélèvement sur berge : GRAN,
- 3 points de prélèvement sur le Tromorgant (d'amont vers l'aval) : A', F et M ainsi qu'un prélèvement sur berge : GNEI,
- 4 points de prélèvement situés sur le Queffleuth (d'amont vers l'aval) : F, J, M et O ainsi que deux prélèvements sur berges : BRIO et QUAR.

Ces échantillons ont été prélevés et analysés dans les laboratoires du BRGM à Orléans selon des méthodes et normes en vigueur. L'échantillonnage a été réalisé de telle sorte que soit minimisée l'erreur systématique afin d'obtenir des échantillons les plus représentatifs possibles du site de prélèvement (homogénéisation sur place, quartage, prélèvement d'un échantillon de 1 kg, conditionnement).

La liste des paramètres analysés et de leurs limites de dosabilité est reprise dans le tableau 17 suivant.

Subst.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> t	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	Silice	Alumine	Fer total (en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Oxyde de Calcium	Oxyde de Magnésium	Oxyde de Potassium	Oxyde de Manganèse	Oxyde de Titane	Phosphore total en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Mini.	1	1	1	1	1	0,5	0,01	0,01	100
Maxi.	100	100	100	100	50	20	20	35	80000
Unité	%	%	%	%	%	%	%	%	mg/kg
Subst.	Li	Be	B	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn
	Lithium	Béryllium	Bore	Vanadium	Chrome	Cobalt	Nickel	Cuivre	Zinc
Mini.	10	2	10	10	10	5	10	5	5
Maxi.	40000	3500	18000	40000	13000	25000	18000	8000	20000
Unité	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Subst.	As	Sr	Y	Nb	Mo	Ag	Sn	Sb	Ba
	Arsenic	Strontium	Yttrium	Niobium	Molybdène	Argent	Etain	Antimoine	Baryum
Mini.	20	5	20	20	5	0,2	10	10	10
Maxi.	50000	10000	5000	15000	7500	300	20000	25000	3500
Unité	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Subst.	La	Ce	W	Pb	Bi	Cd	PP		
	Lanthane	Cérium	Tungstène	Plomb	Bismuth	Cadmium	Perte de masse à 450°C		
Mini.	20	10	10	10	10	2	0,05		
Maxi.	15000	5500	15000	6000	10000	5000	100		
Unité	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%		

**Tabl. 17 - Eléments chimiques analysés dans les sédiments et limites de dosabilité (laboratoires BRGM)**

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 18 (page suivante).

Afin de statuer sur le caractère polluant de sédiments, les valeurs guides présentées dans le guide de gestion des sites potentiellement pollués publié par le MEDD (ISBN 2-7159-0899-7 - version de Mars 2000), ont été utilisées.

Il convient de distinguer deux types de valeurs pour le milieu sol :

- les valeurs de définition de source-sol (VDSS) permettant de définir la source de pollution constituée par un sol (il s'agit de définir une valeur par substance qui définira la source de pollution, quels que soient les milieux de transfert et d'exposition retenus),
- dans le cas où le sol est un milieu d'exposition, les valeurs de constat d'impact (VCI) permettent de constater l'impact de la pollution de ce milieu sol, selon la sensibilité de l'usage de celui-ci (non sensible : industriel, travail en plein air et bureau ; sensible : résidentiel avec jardin).

Les teneurs en baryum et chrome reflètent l'abondance de ces deux éléments dans le fond géochimique régional. En effet, les échantillons prélevés sur berge, que l'on peut considérer comme peu soumis à l'influence anthropique, présentent des teneurs en ces deux éléments assez conséquentes et supérieures aux VDSS.

**Jarlot**

Lieu	Date	Heure	SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	CaO %	MgO %	K2O %	MnO %	TiO2 %	P2O5 mg/kg	Li mg/kg	Be mg/kg	B mg/kg	Va mg/kg	Cr mg/kg	Co mg/kg	Ni mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg
B	24/10/2002	15h20	62.5	8.3	2.5	<1	<1	2.5	0.04	0.32	1532	28	2	245	34	40	11	11	13	40
H	24/10/2002	14h00	79.2	10.3	1.5	<1	<1	3.1	0.03	0.41	1051	28	3	23	36	44	10	<10	13	51
J	24/10/2002	8h50	67.3	9.8	2.5	1	<1	2.5	0.05	0.4	1908	28	3	25	45	60	13	25	20	83
GRAN	24/10/2002	15h35	57.8	12.7	2.4	<1	<1	3.6	0.04	0.4	2324	27	4	18	40	27	9	<10	13	47
VDSS mg/kg MS												250	65	120	70	95	4500			
VCI sol Usage sensible												500	130	240	140	190	9000			
VCI sol Usage non sensible												500	7000	1200	900	950				

**Tromorgant**

Lieu	Date	Heure	SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	CaO %	MgO %	K2O %	MnO %	TiO2 %	P2O5 mg/kg	Li mg/kg	Be mg/kg	B mg/kg	Va mg/kg	Cr mg/kg	Co mg/kg	Ni mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg
A'	24/10/2002	15h55	79.1	6.9	<1	<1	<1	3.1	0.02	0.17	805	21	2	33	17	21	10	<10	19	31
F	24/10/2002	16h30	74.9	7.3	1.1	<1	<1	2.4	0.02	0.2	827	18	2	16	13	22	9	<10	9	36
M	24/10/2002	9h10	74.1	8.4	2.4	<1	<1	2.4	0.08	0.32	1065	22	3	24	46	43	11	<10	22	59
GNEI	24/10/2002	16h15	61.3	11.9	3.6	1.1	1.1	2.5	0.11	0.62	4281	38	2	17	70	66	15	17	28	94

**Queffleuth**

Lieu	Date	Heure	SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	CaO %	MgO %	K2O %	MnO %	TiO2 %	P2O5 mg/kg	Li mg/kg	Be mg/kg	B mg/kg	Va mg/kg	Cr mg/kg	Co mg/kg	Ni mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg
F	24/10/2002	11h00	77.9	7.6	2.1	<1	<1	1.9	0.05	0.33	1138	31	2	17	26	33	12	<10	14	45
J	24/10/2002	11h20	77.4	7.9	1.2	<1	<1	3	0.02	0.21	923	19	2	16	16	26	9	<10	7	33
M	24/10/2002	10h15	70.2	9.3	2.5	<1	<1	2.5	0.05	0.45	2048	27	2	25	41	61	11	<10	16	59
O	24/10/2002	9h50	68.1	11.2	3	<1	<1	2.8	0.05	0.56	2470	37	2	28	58	86	14	12	23	79
BRIO	24/10/2002	12h15	62	10.6	4.8	<1	1	2	0.06	0.68	2346	44	2	58	100	88	20	26	30	88
QUAR	24/10/2002	11h35	60.2	13.4	6	<1	<1	1.8	0.18	0.82	4352	30	2	24	98	72	24	16	34	86

**Jarlot**

Lieu	Date	Heure	As mg/kg	Sr mg/kg	Y mg/kg	Nb mg/kg	Mo mg/kg	Ag mg/kg	Ca mg/kg	Sn mg/kg	Sb mg/kg	Ba mg/kg	La mg/kg	Ce mg/kg	W mg/kg	Pb mg/kg	Bi mg/kg	Zr mg/kg	Perte masse à 450°C %
B	24/10/2002	15h20	<20	111	<20	<20	<5	<0.2	<2	<10	<10	451	21	28	<10	57	<10	102	12.22
H	24/10/2002	14h00	<20	149	<20	<20	<5	<0.2	<2	<10	<10	579	23	33	<10	21	<10	215	5.14
J	24/10/2002	8h50	<20	143	<20	<20	<5	<0.2	<2	<10	<10	505	28	45	<10	30	<10	185	6.08
GRAN	24/10/2002	15h35	36	133	<20	20	<5	0.4	<2	<10	<10	502	40	69	<10	36	13	209	9.46
VDSS mg/kg MS			19				100					50	312			200			
VCI sol Usage sensible			37				200					100	625			400			
VCI sol Usage non sensible			120				1000					250	3125			2000			

**Tromorgant**

Lieu	Date	Heure	As mg/kg	Sr mg/kg	Y mg/kg	Nb mg/kg	Mo mg/kg	Ag mg/kg	Ca mg/kg	Sn mg/kg	Sb mg/kg	Ba mg/kg	La mg/kg	Ce mg/kg	W mg/kg	Pb mg/kg	Bi mg/kg	Zr mg/kg	Perte masse à 450°C %
A'	24/10/2002	15h55	<20	102	<20	<20	<5	<0.2	<2	<10	<10	550	<20	29	<10	31	<10	71	1.22
F	24/10/2002	16h30	<20	120	<20	<20	<5	<0.2	<2	<10	<10	516	<20	18	<10	16	<10	91	3.02
M	24/10/2002	9h10	<20	143	<20	<20	<5	<0.2	<2	<10	<10	516	30	41	<10	22	<10	151	1.78
GNEI	24/10/2002	16h15	<20	198	<20	<20	<5	<0.2	<2	<10	<10	687	43	70	<10	34	<10	251	8.3

**Queffleuth**

Lieu	Date	Heure	As mg/kg	Sr mg/kg	Y mg/kg	Nb mg/kg	Mo mg/kg	Ag mg/kg	Ca mg/kg	Sn mg/kg	Sb mg/kg	Ba mg/kg	La mg/kg	Ce mg/kg	W mg/kg	Pb mg/kg	Bi mg/kg	Zr mg/kg	Perte masse à 450°C %
F	24/10/2002	11h00	<20	76	<20	<20	<5	<0.2	<2	<10	<10	276	<20	24	<10	14	<10	162	1.42
J	24/10/2002	11h20	<20	81	<20	<20	<5	<0.2	<2	<10	<10	309	<20	21	<10	23	<10	121	1.79
M	24/10/2002	10h15	<20	123	20	<20	<5	<0.2	<2	<10	<10	416	77	120	<10	30	<10	327	5.03
O	24/10/2002	9h50	<20	142	21	<20	<5	<0.2	<2	<10	<10	516	77	123	<10	56	<10	333	3.95
BRIO	24/10/2002	12h15	24	50	24	<20	<5	<0.2	<2	<10	<10	418	32	56	<10	24	10	288	9.81
QUAR	24/10/2002	11h35	<20	140	26	26	<5	<0.2	<2	<10	14	522	82	146	<10	32	18	528	9.48

Tabl. 18 - Résultats des analyses chimiques sur sédiments (berge et fond de rivière) de la campagne du 24/10/2002

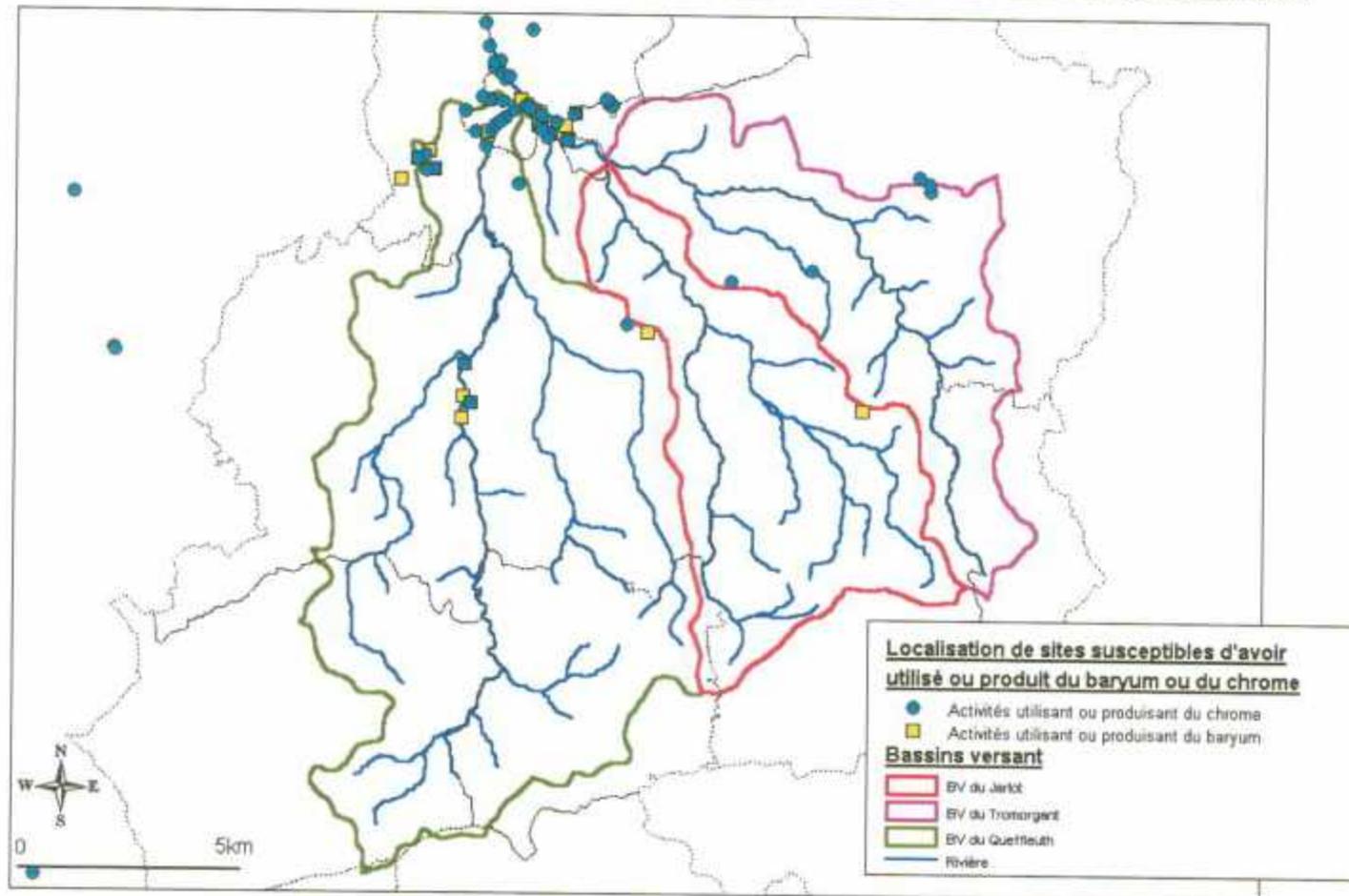
Afin d'avoir une image la plus complète possible des sources anthropiques éventuelles en chrome et en baryum, une extraction de l'inventaire historique des anciens sites industriels du Finistère a été réalisée. Cette extraction est basée sur les activités pour lesquelles la bibliographie montre des liens avec ces deux éléments chimiques.

La figure 17 ci-après présente l'ensemble des sites industriels dont l'activité terminée pouvait être à l'origine de la présence de baryum ou de chrome dans les rejets. En dehors des sites à proximité de Morlaix, les sites situés sur les bassins versants des trois cours d'eau sont principalement d'anciennes fabrication de peinture et vernis (chrome) et des fabrications de colles et gélatines (baryum).

L'examen de ces données et l'analyse des échantillons de berge, a priori non soumis à l'influence anthropique montre que les teneurs élevées en baryum et en chrome détectées dans les échantillons de sédiments sont plutôt d'origine naturelle.

Par ailleurs, les échantillons prélevés au niveau des berges sur des terrains agricoles montrent des teneurs en phosphore total (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) très supérieures aux échantillons prélevés dans les fonds de rivière. Ce phosphore provient sans doute des engrais minéraux complets NPK.

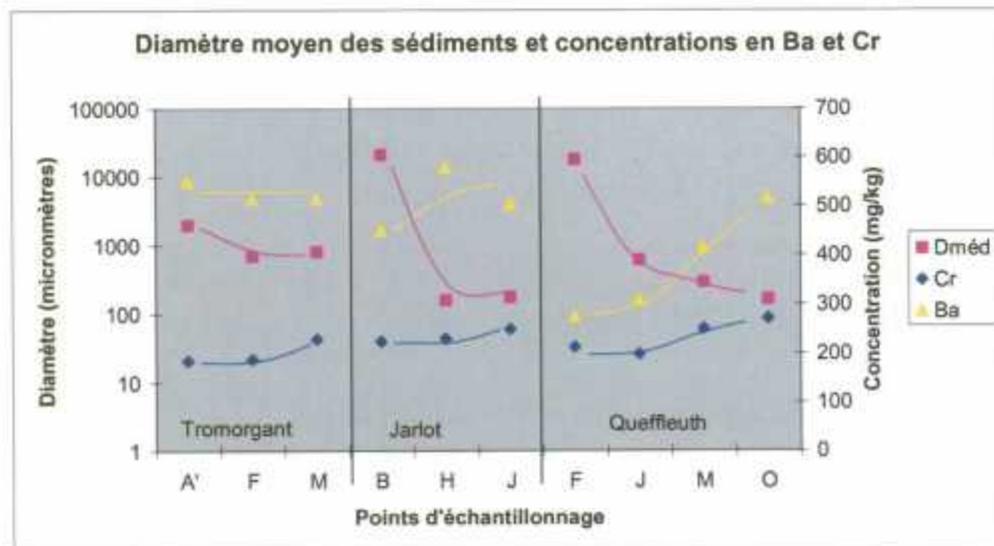
**Inventaire Historique des anciens sites industriels et activités de service du Finistère (région de Morlaix)**



**Fig. 17 - Localisation des sites susceptibles d'être en lien avec du baryum ou du chrome**

Compte tenu des analyses faites sur les échantillons d'eau (teneurs en baryum inférieures aux VCI), le baryum détecté dans les sédiments est insoluble ; il s'agit probablement d'une forme sulfatée du baryum.

L'association des résultats d'analyses chimiques et des résultats d'analyses granulométrique (évoqués dans le chapitre 3.1.) met en évidence une corrélation entre les concentrations en baryum et chrome avec la taille des particules sédimentaires, ainsi que le montre la figure 18.



**Fig. 18 - Relation entre les concentrations en Ba et Cr et la taille des sédiments**

On observe une augmentation de la concentration en baryum et en chrome dans les sédiments avec la diminution de la taille des grains de sédiments. Ces deux éléments sont en fait adsorbés sur les particules.

L'augmentation de la surface spécifique des grains (cf. tableau 12 « Sspé » du chapitre 3.1.), qui est inversement proportionnelle au diamètre de ces mêmes grains, entraîne l'augmentation des quantités de métaux lourds adsorbés.

Les métaux lourds sont donc concentrés dans la proportion fine des sédiments et par conséquent à l'aval de chacune des rivières.

### **3.4. ESTIMATION DES SOURCES DE POLLUTION AZOTEES (INTERPRETATION DES ANALYSES CHIMIQUES ET ISOTOPIQUES)**

Les données des analyses isotopiques relatives à cette campagne concernent (cf. figure 13) :

- 2 points de prélèvement situés sur le bassin du Jarlot : 1 point en eau de rivière (J) et 1 point en eau souterraine (dans le forage F27),
- 1 point sur le Tromorgant (M),
- 1 point sur le Queffleuth (O).

Les données sur les eaux relatives à cette campagne concernent (cf. figure 13) :

- 4 points de prélèvement situés sur le bassin du Jarlot : 3 points en eau de rivière (B, H, et J) et 1 point en eau souterraine (dans le forage F27),
- 3 points sur le Tromorgant (A', F et M),
- 4 points sur le Queffleuth (F, J, M et O).

#### **3.4.1. Caractérisation chimique**

L'étude des concentrations en bore et nitrates montrent que le système semble fonctionner en régime ternaire (cf. figure 19). Un premier pôle est formé par l'ensemble des points du Queffleuth qui présentent des très faibles variations internes (i.e. faibles concentrations en nitrates et bore).

A l'inverse les prélèvements du Jarlot se scindent en 2 groupes distincts formant chacun un pôle de mélange. D'une part le point de prélèvement le plus en aval (J) qui se caractérise principalement par une forte concentration en bore. Et d'autre part le duo de points formés par le point le plus amont (B) et le forage (F27), caractérisés par une faible concentration en bore et une forte concentration en nitrates. Les eaux du Jarlot ne semblent donc pas être toutes confrontées aux mêmes types de sources de pollution.

Les points de prélèvement issus du Tromorgant ont un comportement intermédiaire. Alors que les points de prélèvement M (Tromorgant) et J (Jarlot) sont géographiquement proches, ils ne subissent apparemment pas les mêmes apports. Le point M semble plus sous l'influence d'une source identique à celle du Queffleuth.

L'intérêt de l'étude conjointe de la chimie du bore et des nitrates réside dans le fait que ce sont les mêmes molécules qui seront étudiées isotopiquement. Il est donc légitime que ce régime ternaire mis en avant par la chimie transparaisse dans les différentes systématiques isotopiques.

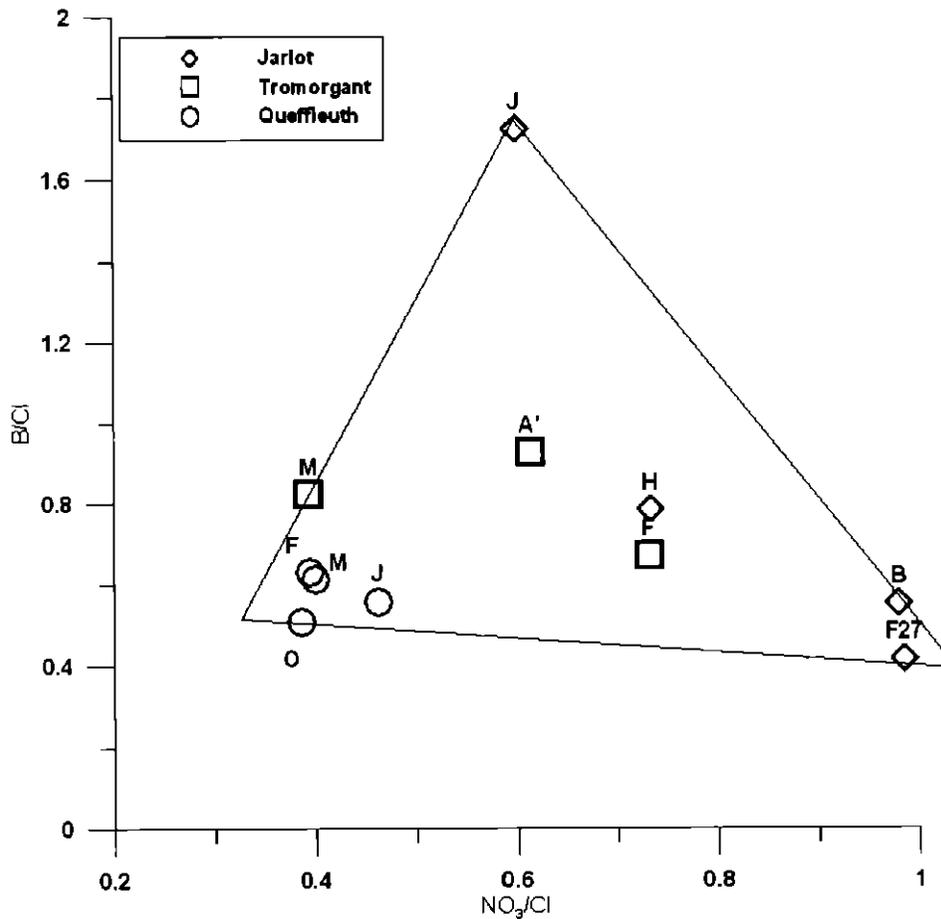


Fig. 19 - Variations des concentrations en bore et nitrates

### 3.4.2. Caractérisation isotopique

#### Les traceurs isotopiques

Contrairement aux propriétés chimiques liées au cortège électronique, les propriétés physiques d'un élément dépendent de son noyau. Les isotopes des éléments, possédant le même nombre de protons, mais un nombre variable de neutrons, auront des propriétés chimiques identiques, mais des propriétés physiques telles que la viscosité, la pression de vapeur ou encore la masse, différentes.

Lorsque les produits d'une réaction présentent des compositions isotopiques distinctes de celles des produits d'origine, on parle de fractionnement isotopique. Les écarts de composition isotopique étant souvent très faibles, on préfère utiliser la notation qui exprime la différence relative (en ‰) d'atomes de l'isotope léger entre l'échantillon et un standard international :

$$\delta^{15}N = \left( \frac{\left( \frac{^{15}N}{^{14}N} \right)_{\text{échantillon}}}{\left( \frac{^{15}N}{^{14}N} \right)_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 1000$$

Pour l'azote le standard est l'air :  $^{15}N/^{14}N = 3675.5 \cdot 10^{-6}$  (Junk et Svec, 1958).

Dans le cas du bore, la notation  $\delta^{11}B$  est utilisée (isotopes :  $^{11}B$  et  $^{10}B$ ), le standard étant le standard NBS-951 ( $^{11}B/^{10}B = 4.04362$  ; Cantanzaro et al., 1970) :

$$\delta^{11}B = \left( \frac{\left( \frac{^{11}B}{^{10}B} \right)_{\text{échantillon}}}{\left( \frac{^{11}B}{^{10}B} \right)_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 1000$$

Le rapport isotopique du strontium ( $^{87}Sr/^{86}Sr$ ) d'un fluide est directement relié à celui du minéral ou des associations minéralogiques avec lequel le fluide a interagi. Les effets de fractionnements isotopiques liés à la différence de masse ne sont pas détectables pour des éléments dont la masse est proche de 80. De plus, les effets de variations du rapport  $^{87}Sr/^{86}Sr$  liés à la décroissance radioactive du nucléide père ( $^{87}Rb$ ) en nucléide fils ( $^{87}Sr$ ) ne sont pas significatifs, compte tenu de la courte échelle de temps à laquelle ces processus sont étudiés en géochimie environnementale.

Lors des phénomènes d'interaction eau-roche, le rapport  $^{87}Sr/^{86}Sr$  de la fraction de strontium libéré sera différent de la roche totale et typique du ou des minéraux altérés et ceci en liaison avec la « résistance » des minéraux vis-à-vis de l'agressivité du fluide. Globalement, le strontium solubilisé dans la roche et transporté vers l'extérieur du système formé par la roche est beaucoup moins radiogénique (c'est-à-dire de rapport  $^{87}Sr/^{86}Sr$  plus bas) que le strontium dans la roche non altérée ; d'autre part, le strontium des argiles résiduelles est beaucoup plus radiogénique. Les variations isotopiques observées dans les fluides peuvent être issues du mélange de Sr de composition isotopique différente provenant de différentes sources. Ainsi, dans le cas simple où deux sources de rapport isotopique ou chimique sont présentes, la composition du mélange peut être déterminée.

Les variations du rapport isotopique du strontium dans un hydrosystème donnent ainsi des informations sur (1) l'origine et les proportions de mélange des différents composants fluides ainsi que sur (2) la nature et l'intensité des processus d'interaction roche-eau liés notamment à l'altération et à l'érosion.

**État non-pollué du système**

Afin de pouvoir caractériser isotopiquement l'état pollué des eaux du bassin de Morlaix, il convient de pouvoir caractériser un état initial non-pollué des eaux, correspondant à une minéralisation naturelle du sol. Pour ce faire nous nous baserons sur une étude similaire du BRGM effectuée sur les eaux du bassin de l'Arguenon dans les Côtes-d'Armor (Widory et al., 2001). Les caractéristiques de ces pôles naturels sont reportées dans le tableau 19.

Lieu	NO <sub>3</sub> mg.l <sup>-1</sup>	δ <sup>15</sup> N ‰	B μg.l <sup>-1</sup>	δ <sup>11</sup> B ‰	Sr μg.l <sup>-1</sup>	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr
Forage FJH1	-	-	-	-	60.7	0.719
Source Bonne Fontaine	10.1	6.7	11.0	38.5	-	-

**Tabl. 19 - Caractérisation du pôle non-pollué considéré**

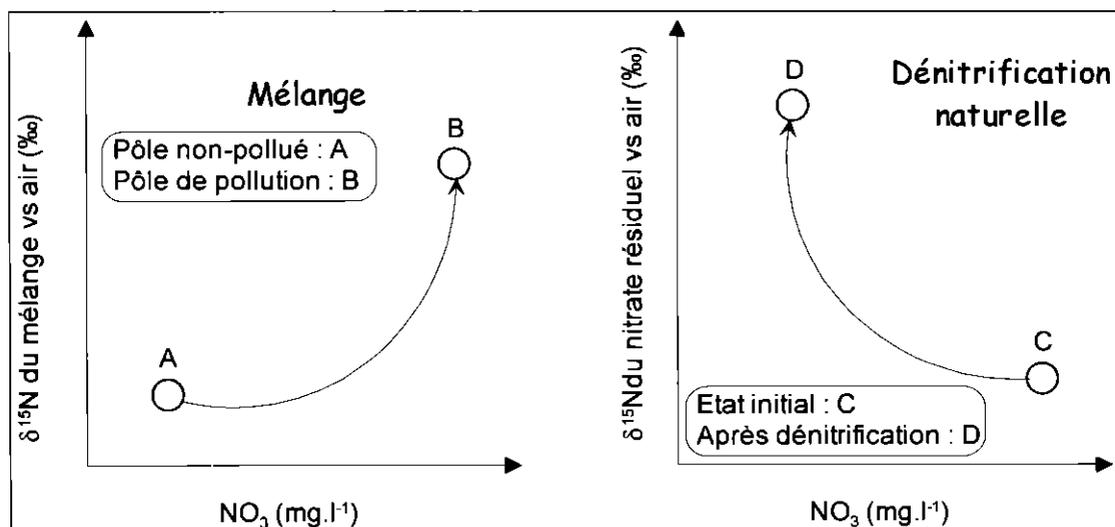
Les concentrations en nitrates et δ<sup>15</sup>N correspondants sont caractéristiques d'une nitrification naturelle du sol. La composition isotopique en bore est proche de celle de l'eau de mer, mondialement constante à 39.5 ‰ (Barth, 1993), qui semble l'origine première de la minéralisation de ces eaux (via la pluie). Le fait que les eaux peu concentrées de FJH1 aient des valeurs très radiogéniques (rapports élevés) s'explique par un apport en strontium des roches du bassin versant. Des valeurs aussi élevées sont compatibles avec la nature (gneiss, micaschistes, ...) et l'âge de ces roches.

**Influence isotopique de la dénitrification naturelle**

Les concentrations en nitrates montrent de larges variations de 9.6 à 51.8 mg.l<sup>-1</sup>, pour une valeur moyenne de 20±12 mg.l<sup>-1</sup>, en deçà de la valeur recommandée de 50 mg.l<sup>-1</sup> (seule la concentration du forage F27 est supérieure à cette valeur ; 51.8 mg.l<sup>-1</sup>). Les δ<sup>15</sup>N correspondants montrent de faibles variations, de 8.7 à 10.2 ‰.

La difficulté de l'utilisation des compositions isotopiques en azote réside dans le fait que ces valeurs de δ<sup>15</sup>N observées peuvent résulter de la superposition de 2 processus différents (cf. figure 20) :

1. Le mélange, par ajout de nitrates d'origine anthropique, ayant des δ<sup>15</sup>N généralement supérieurs à 10 ‰ (excepté les engrais chimiques proches de 0 ‰).
2. La dénitrification, naturelle, qui peut s'opérer dans les eaux souterraines sous certaines conditions (e.g. Mariotti, 1986).



**Fig. 20 - Influence du mélange et de la dénitrification naturelle sur la composition isotopique de l'azote des nitrates**

Ces 2 processus modifient dans le même sens les compositions isotopiques en azote des nitrates de l'eau, enrichissant en  $\delta^{15}\text{N}$  l'eau résiduelle. Dans le cas d'une dénitrification naturelle avérée, il est donc difficile d'émettre des hypothèses quant aux sources de pollution à partir des seules données de  $\delta^{15}\text{N}$ .

Le bore, au contraire, dans la mesure où il n'y a aucune interaction avec la matrice, est isotopiquement insensible au phénomène de dénitrification, il n'est régi que par le mélange.

### **Systématique du strontium**

L'étude des rapports isotopiques en strontium des échantillons est reportée à la figure 21. La gamme des  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  est assez homogène, comprise entre 0.712 et 0.714, et reflète globalement les interactions eau-roche dans le bassin. Ces valeurs sont cohérentes avec la lithologie du sous-sol, principalement composée de granites hercyniens et schistes.

Compte-tenu des analyses isotopiques en strontium réalisées dans différents contextes géologiques et anthropiques de socle, l'ensemble des points se situerait dans une position intermédiaire entre un milieu fissuré et un milieu soumis à une très forte composante anthropique (fertilisants du sol).

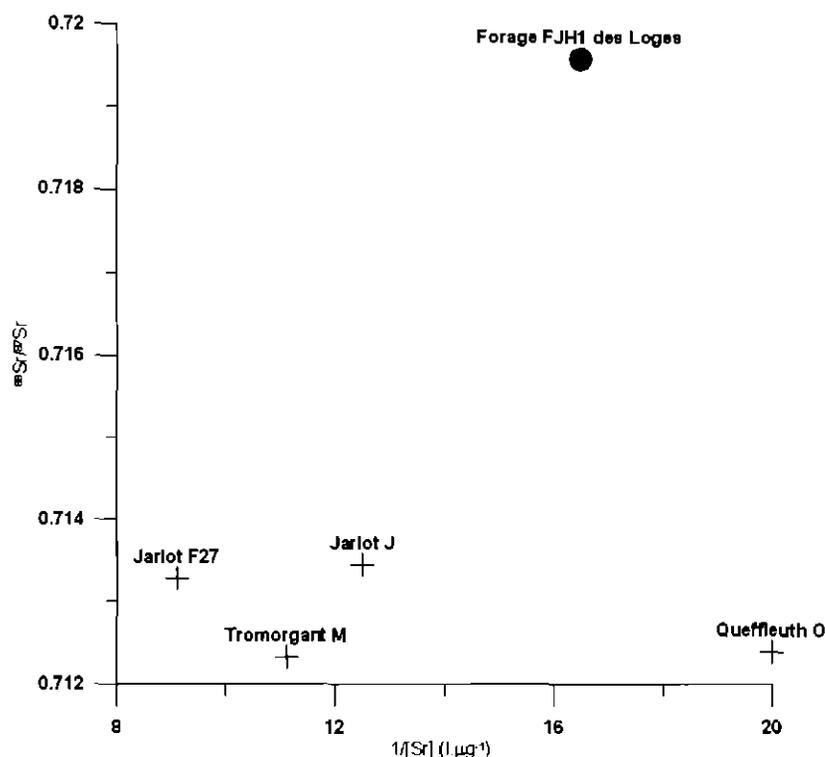


Fig. 21 - Rapports isotopiques du strontium

### Systématique de l'azote

Comme discuté précédemment les compositions isotopiques en azote des nitrates dissous peuvent être contrôlées par 2 processus les fractionnant dans le même sens :

1. Le mélange avec une source de pollution.
2. La dénitrification naturelle sous certaines conditions.

Il existe plusieurs méthodes permettant de déterminer la présence ou non de dénitrification (Mariotti, 1986).

L'une d'elle repose sur l'étude du potentiel redox (Eh) du système. S'il existe un gradient de potentiel redox dans un système fermé, les oxydants dans l'aquifère sont réduits suivant la séquence : O<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Mn[IV], Fe[III], SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, ... (Stumm W. et Morgan, 1981).

La dénitrification se situe donc entre la disparition de l'oxygène dissous par respiration aérobie et l'apparition en solution des ions Mn<sup>2+</sup> et Fe<sup>2+</sup>, si les minéraux correspondants sont présents dans les roches encaissantes (Mariotti et al., 1988). On passe ainsi de l'état oxydé en zone de recharge à un état réduit à potentiel redox inférieur ou égal à celui qui témoigne du processus de dénitrification.

Les résultats de la figure 22 ne semble montrer aucune relation inverse entre les concentrations en fer et en nitrates dans les eaux échantillonnées. Ceci est un indice, mais non une preuve formelle, que le processus de dénitrification naturelle est inopérant dans les eaux du bassin de Morlaix.

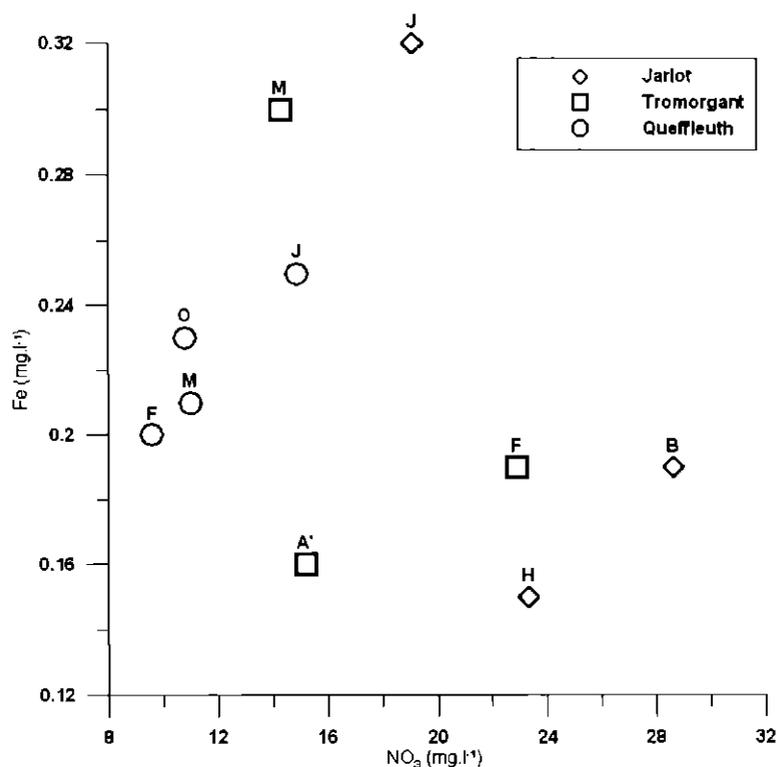
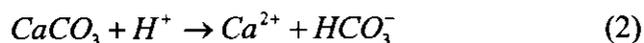
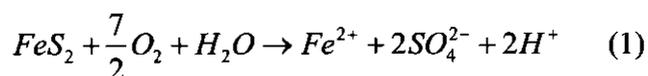


Fig. 22 - Variations fer - nitrates dans les eaux de Morlaix

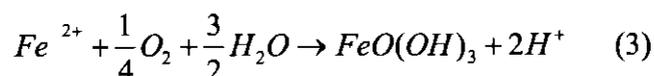
Le processus de dénitrification naturelle s'opère principalement lors de la dissolution de la pyrite en milieu réducteur, le nitrate devenant donneur d'électrons. Cette dissolution est génératrice de sulfates. Une étude des concentrations en calcium et sulfates peut donc aider à la compréhension des phénomènes de dénitrification éventuels. Les données de la figure 23 semblent suivre 2 tendances. Les concentrations en SO<sub>4</sub> de la majorité des échantillons s'expliquent par une oxydation de la pyrite, suivie d'une équilibration avec de la calcite :

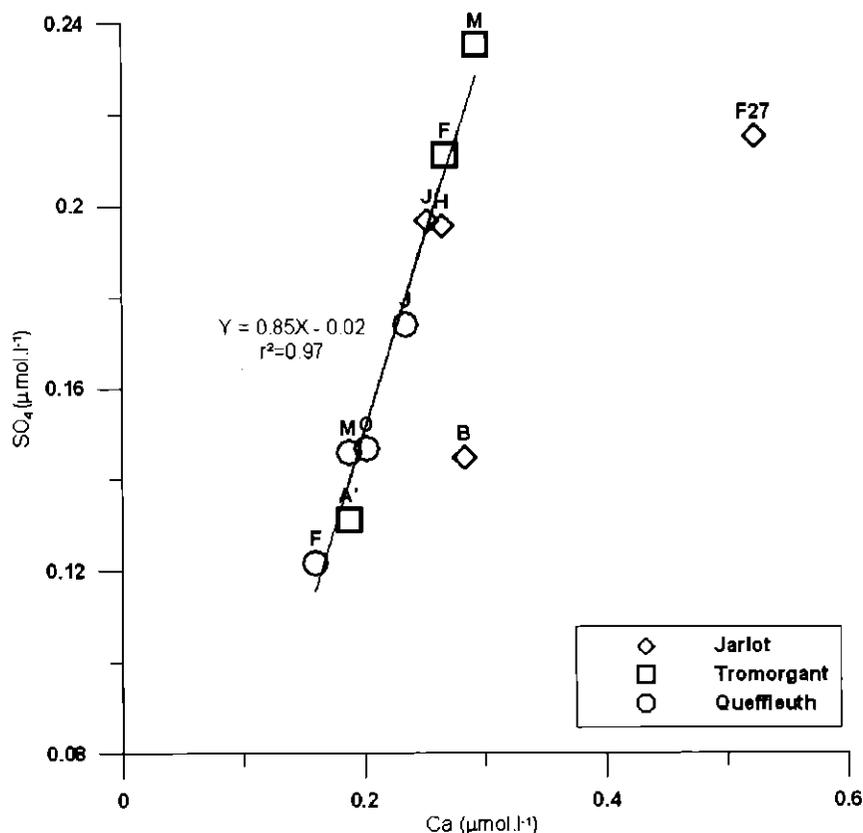


Les échantillons B et F27 du Jarlot s'expliquent de la même manière que précédemment, mais à la suite de l'oxydation et de l'équilibration, l'eau continue de dissoudre de la calcite (sans autre apport de sulfates).

La dissolution de la pyrite concomitante à un équilibre des H<sup>+</sup> avec la calcite semble donc expliquer la présence de calcium et sulfate. Si nous considérons l'implication de ces 2 processus, nous devrions obtenir dans un diagramme molaire Ca-SO<sub>4</sub>, une pente de 1.

Le Fe<sup>2+</sup> produit dans l'équation (1) peut alors réagir suivant l'équation :





**Fig. 23 - Variations du calcium et des sulfates dans les échantillons**

Ceci a pour conséquence d'abaisser légèrement la pente dans le diagramme Ca-SO<sub>4</sub> (figure 23). Il n'est donc pas nécessaire de faire intervenir le nitrate comme donneur d'électron dans le phénomène de dissolution de la pyrite dans le cas présent. L'ensemble des résultats des figures 22 et 23 semblent donc indiquer que les échantillons considérés ne subissent pas de dénitrification naturelle. Pour les échantillons B et F27 du Jarlot l'influence du rééquilibrage avec le carbonate est encore plus marquée (la pente favorise encore plus le calcium).

Si les NO<sub>3</sub> dissous des échantillons ne sont pas contrôlés par un processus de dénitrification naturelle, cela signifie que les concentrations mesurées, et surtout les compositions isotopiques en azote sont restées inchangées. Il est alors possible d'utiliser directement le δ<sup>15</sup>N comme traceurs de sources de NO<sub>3</sub>.

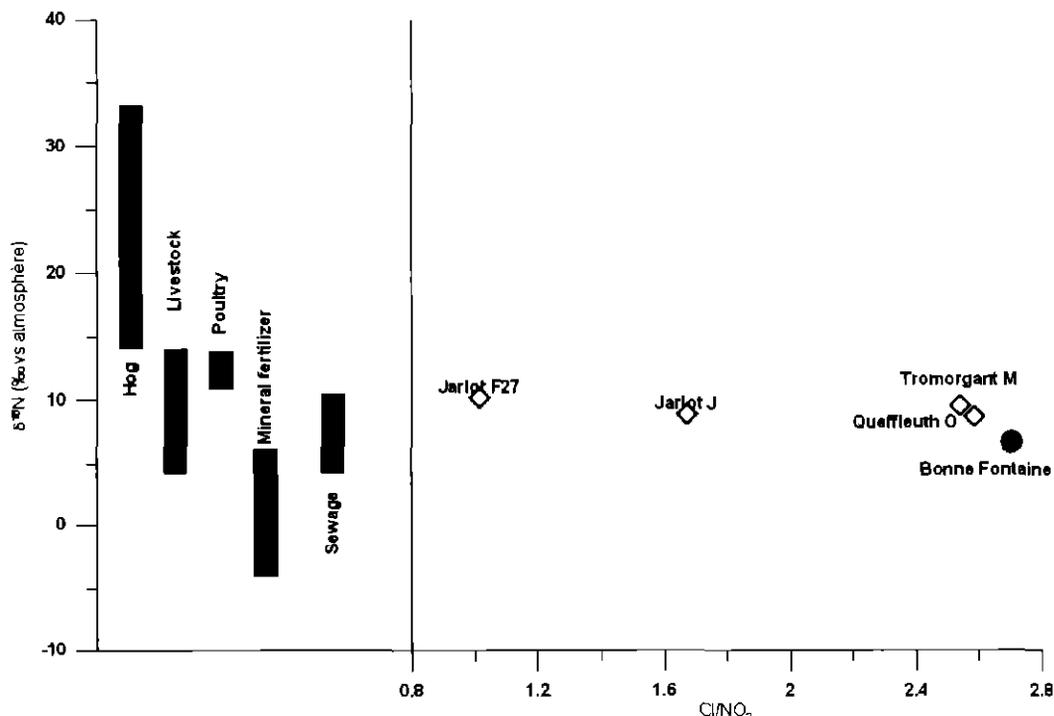
La figure 24 rapporte les δ<sup>15</sup>N mesurés dans les échantillons. Le diagramme est porté en fonction de l'inverse de la concentration en nitrates, car dans un tel diagramme, un phénomène de mélange binaire se caractérise par une droite passant par les 2 pôles de mélange. Il est alors possible de déterminer, en première approximation, une valeur de composition isotopique du polluant. Cette dernière est donnée par l'ordonnée à l'origine de la droite de mélange (correspondant à une concentration du polluant très élevée, i.e. infinie). La caractérisation de la source Bonne Fontaine (correspondant à une minéralisation naturelle du sol) est aussi reportée.

Les compositions isotopiques sont assez homogènes, variant de 8.7 à 10.2 ‰. Ceci peut indiquer soit une source de pollution constante soit un mélange constant de

plusieurs sources de pollution. Les résultats de la systématique isotopique du bore montreront que la réalité est un peu plus nuancée.

Les points de prélèvement du Jarlot, significativement distincts du pôle non-pollué, semblent mettre en avant la non-implication des engrais chimiques comme vecteurs de  $\text{NO}_3$  dans les eaux. En effet une droite de mélange passant par le pôle non-pollué et ces 2 points (pris séparément ou non) donnerait un  $\delta^{15}\text{N}$  du polluant supérieur à la gamme attendu des engrais chimiques (cette valeur serait supérieure ou égale à 10 ‰).

Pour le Queffleuth et le Tromorgant, la trop faible différence de concentration en  $\text{NO}_3$  (respectivement 10.8 et 14.3  $\text{mg.l}^{-1}$ ) ne permet pas de dire qu'ils sont significativement différents du pôle non-pollué (10.1  $\text{mg.l}^{-1}$  de  $\text{NO}_3$ ). Il est alors risqué de s'aventurer à tirer des conclusions quant aux sources de pollution correspondantes, d'autant plus que les faibles concentrations mesurées pourraient être expliquées par une forte dilution issue des fortes précipitations lors de la campagne de prélèvement. Cette incertitude reflète l'intérêt de l'utilisation d'un second traceur : les isotopes du bore.



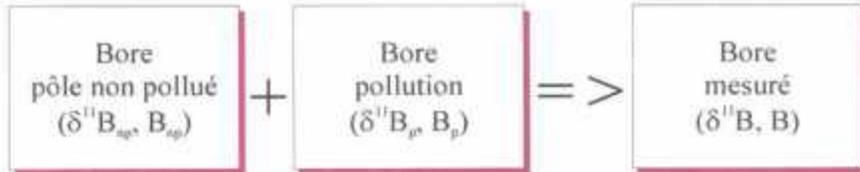
**Fig. 24. - Composition isotopique en azote ( $\delta^{15}\text{N}$ ) des  $\text{NO}_3$  dissous**  
(Hog : porcin, livestock : bovin, poultry : volaille, mineral fertilizer : engrais minéral, sewage : lagune)

### Systématique du bore

La gamme de  $\delta^{11}\text{B}$  mesurée est importante, et s'étend de 23.2 à 43.4 ‰. L'avantage de l'utilisation de la systématique isotopique du bore réside dans le fait qu'il est insensible au processus de dénitrification naturelle. Sa composition isotopique est seulement régie par les phénomènes de mélange avec les effluents des sources de pollution.

Tout comme pour l'azote le diagramme (cf. figure 25) est reporté en fonction de l'inverse de la concentration en bore. Pour chacun des points est tracé la droite passant par ce point et le pôle non-pollué. Nous avons adopté un modèle de mélange

bipolaire simple qui prend en compte un pôle polluant (pouvant résulter du mélange de plusieurs sources de pollution) et un pôle non pollué. Le raisonnement suivi est le suivant : le bore présent dans les eaux est le produit de mélange du bore d'un pôle non-pollué plus celui issu de la ou des sources de pollution :



où chaque boîte est caractérisée par sa composition isotopique en bore ( $\delta^{11}\text{B}$ ) et sa concentration en bore ( $\text{B}$ ) spécifiques.

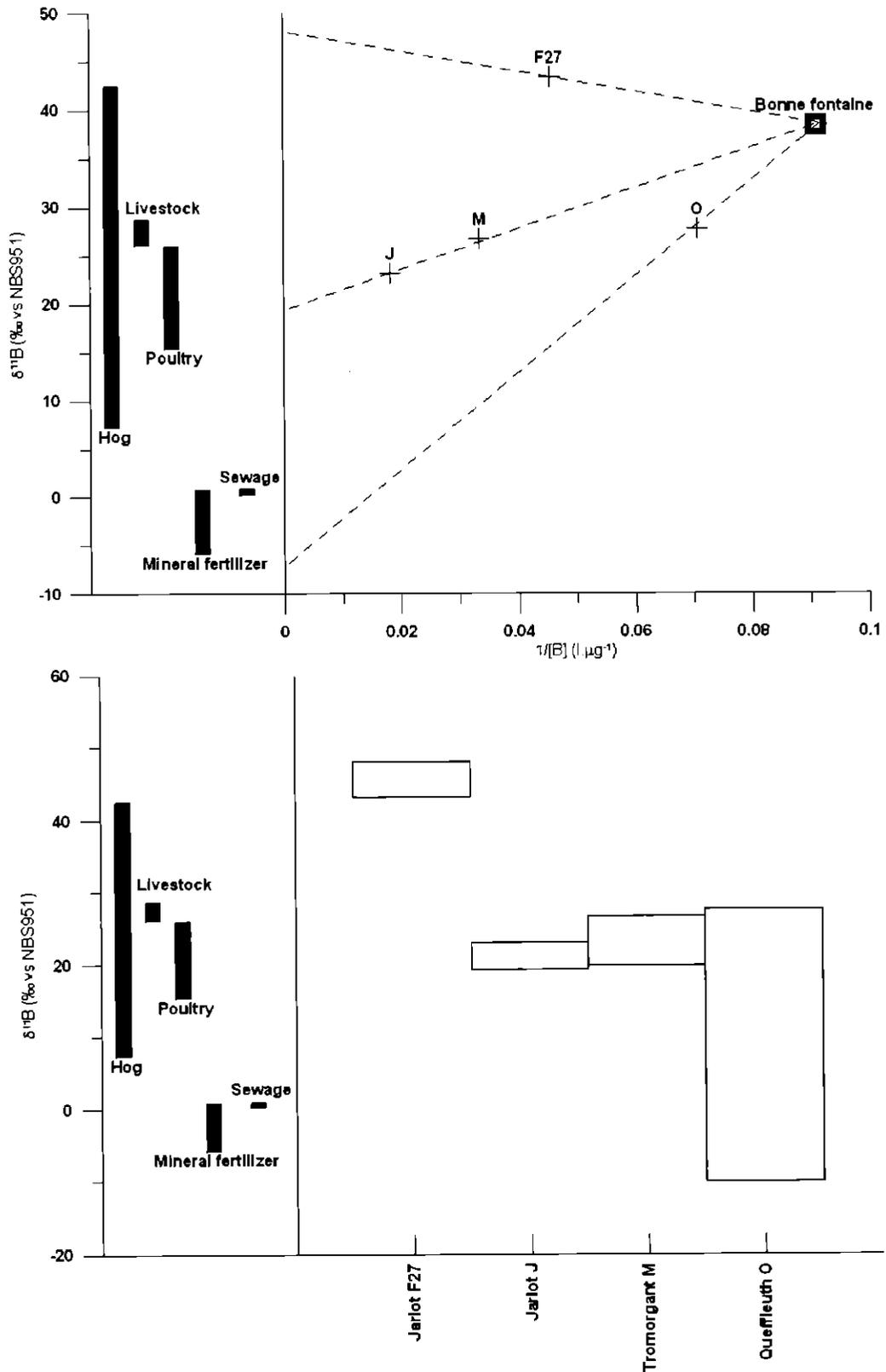


Fig. 25 - Caractérisation isotopique du bore dans les échantillons

Le pôle non-pollué Bonne Fontaine a été retenu dans les calculs. Au niveau isotopique, ceci se traduit par une simple équation de mélange, définie par le système :

$$\begin{cases} B = a \times B_{np} + (1 - a) \times B_p \\ a \times B_{np} \times \delta^{11}B_{np} + (1 - a) \times B_p \times \delta^{11}B_p = B \times \delta^{11}B \end{cases}$$

où « a » représente la proportion du pôle non-pollué dans le mélange. Dans un diagramme  $\delta^{11}B$  en fonction de l'inverse de la concentration en bore, ces équations de mélange se traduisent par des droites (cf. figure 25).

A partir de ces différentes hypothèses il est possible de donner une gamme de compositions isotopiques en bore pour les sources de pollution de chaque échantillon. Une première limite de cette gamme est donnée par la mesure de  $\delta^{11}B$  de l'échantillon lui-même. En effet, cela correspond à la concentration minimale qui peut représenter la source de pollution (et donc sa composition isotopique associée). A l'autre extrémité de la gamme on retrouve ce qui doit représenter la concentration maximale en bore de la source de pollution (i.e. sa concentration réelle dans l'absolu). En première approximation il est possible de prendre la concentration correspondant à  $1/B=0$ , c'est à dire une concentration en bore infinie pour la source de pollution.

Les résultats montrent qu'il existe 3 tendances distinctes :

- Le forage F27 : les apports sont dominés par des déjections de type animales. La comparaison avec les données de l'Arguenon semble mettre en évidence une prédominance des épandages de lisiers porcins.
- Le Queffleuth O : la source principale de pollution semble être les engrais (l'intercepte est négatif), mais une contribution des effluents de station d'épuration ne sont pas à exclure. La très faible concentration en bore mesurée dans l'eau ( $14.2 \text{ mg.l}^{-1}$ ) rend peu probable la valeur haute de la gamme de  $\delta^{11}B$  mesurée (qui aurait correspondu à une contribution animale).
- Le Jarlot J et le Tromorgant M : les apports des engrais et stations d'épuration sont négligeables. Le bore est contrôlé par des apports de déjections animales, parmi lesquelles les déjections bovines semblent être à exclure, par comparaison avec les données de l'Arguenon.

### **Conclusions et perspectives**

L'utilisation des différentes systématiques isotopiques se révèle fructueuse dans le cas de la pollution en nitrates des eaux du bassin de Morlaix. Elle permet de mettre en avant les points suivants :

1. Une bonne cohérence entre les conclusions apportées par les études chimiques et isotopiques des eaux.
2. Les eaux de surface, ainsi que celles du forage ne sont pas soumises à la dénitrification naturelle, les concentrations en nitrates mesurées ne sont donc pas tamponnées. Les isotopes de l'azote ne sont régis que par de simples lois de mélange.
3. L'utilisation des  $\delta^{15}N$  montrent que concernant le Jarlot, l'hypothèse de l'implication des engrais chimiques est à exclure. Pour le Queffleuth et le Tromorgant, les trop faibles différences de concentration et compositions isotopiques par rapport à ce qui correspondrait à une minéralisation naturelle (représentée par la source Bonne Fontaine) ne permettent pas d'obtenir de conclusions nettes.

4. Les compositions isotopiques en bore confirment les résultats obtenus pour le Jarlot avec les  $\delta^{15}\text{N}$ , l'implication des engrais chimiques est à exclure. Les apports sont uniquement contrôlés par des déjections porcines. Pour les points J du Jarlot et M du Tromorgant, les déjections animales sont les principaux vecteurs de pollution (il semble néanmoins que les fumiers soient hors de cause). Enfin pour le Queffleuth, comme discuté, les engrais chimiques semblent être la principale source de pollution (la faible teneur en bore mesurée dans l'échantillon tend en faveur d'une contribution minimale des eaux usées ; i.e. les eaux usées contiennent des concentrations en bore très élevées).

Les conclusions obtenues sont cohérentes avec les sources potentielles de pollution azotées connues par le Syndicat Mixte du Trégor et du pays de Morlaix : lagunage (STEP de Plougonven), engrais minéral (ammonitrates, complet NPK), lisiers de porcs, fumiers de bovins, fientes de volailles, déjections de poissons (piscicultures sur le Queffleuth).

Les conclusions obtenues dans le cadre de l'utilisation d'une approche multi-isotopique des sources de nitrates dans les eaux du bassin de Morlaix sont prometteuses. Néanmoins, il semble nécessaire d'approfondir cette étude par une campagne de prélèvements plus large afin d'affiner la quantification de l'impact des différentes sources de pollution en cause. Ceci passe par un prélèvement plus systématique des eaux, de surface et souterraine, du bassin, ainsi que par une caractérisation systématique de l'ensemble de sources de pollution potentielles (notamment déjections de poissons). Ce dernier point se justifie par le caractère régional que peuvent revêtir les compositions isotopiques des excréments animaux (par exemple, le  $\delta^{15}\text{N}$  lors de la nitrification est contrôlé par des paramètres locaux, que sont le taux d'humidité, la température, le vent, ...). De plus, afin de pouvoir définir un état non pollué du système, il sera nécessaire d'effectuer des prélèvements d'eaux non influencées par un quelconque apport anthropique. La minéralisation naturelle de ces dernières servira à caractériser l'état « non-pollué » du système.

## 4. Analyses multicritères et identification des sous-bassins versants sensibles à l'érosion

Une cartographie de la sensibilité à l'érosion et à l'entraînement particulière des parcelles des sous-bassins versants a été effectuée à partir du croisement de plusieurs paramètres.

Les données nécessaires à l'analyse multicritères ont été achetées et/ou récupérées auprès de différents organismes : IGN, Météo France, ADASEA Finistère, Syndicat Mixte du Trégor et du Pays de Morlaix, BRGM.

Les données de l'ADASEA Finistère concernant l'occupation du sol étaient disponibles sur les bassins versants du Jarlot, du Tromorgant et du Dourduff ; le Queffleuth n'étant pas renseigné, l'analyse multicritères s'est donc focalisée sur les sous-bassins versants du Jarlot et du Tromorgant.

### 4.1. DETAIL DES PARAMETRES PRIS EN COMPTE

#### 4.1.1. La géologie

Quatre formations géologiques constituent le substratum des bassins versants des rivières de Morlaix (cf. figure 26) :

- les schistes et quartzites primaires (situés au Nord du secteur), constitués d'alternances de bancs décimétriques à décamétriques de quartzites massives à grain fin, souvent riches en minéraux lourds et schistes sombres quartzo-micacés, passant parfois à de véritables micaschistes. Au sein de cette formation existe une multitude de pointements granitiques ;
- les gneiss de Plougonven (au centre du secteur). Il s'agit d'un puissant massif d'orthogneiss, roche sombre quartzo-feldspathique à structure légèrement rubanée, traversé de très nombreux petits filons de granite ;
- le granite de Plounéour (au Sud du secteur et quelques lentilles Est et Ouest), granite prophyroïde à grain grossier, avec des cristaux de feldspath pouvant atteindre 10 cm. Le massif de Plounéour est séparé des gneiss de Plougonven et des schistes et quartzites primaires par le cisaillement nord-armoricain, grand accident Est-Ouest qui a pu écarter d'une dizaine de kilomètres les formations qu'il a séparées ; il est jalonné par une bande de granites plus ou moins mylonitisés ;
- les schistes briovériens (au Sud du secteur), formation essentiellement constituée de schistes micacés plus ou moins quartziliques.

Les observations de terrain (cf. chapitre 5.) et les analyses minéralogiques (cf. tabl. 13 du chapitre 3.2.) ont montré que la sensibilité des formations géologiques à l'érosion pouvait être classée de la façon suivante (du plus sensible au moins sensible) : gneiss et granites, schistes et quartzites primaires, et schistes briovériens.

En fonction des formations géologiques présentes sur les sous-bassins versants, ceux-ci sont coloriés sur la figure 26 selon leur sensibilité à l'érosion (vert : peu sensible, jaune : moyennement sensible, et rouge : sensible).

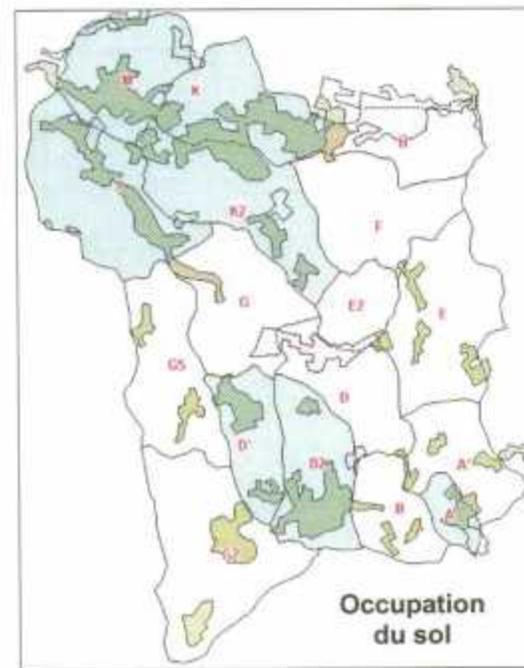
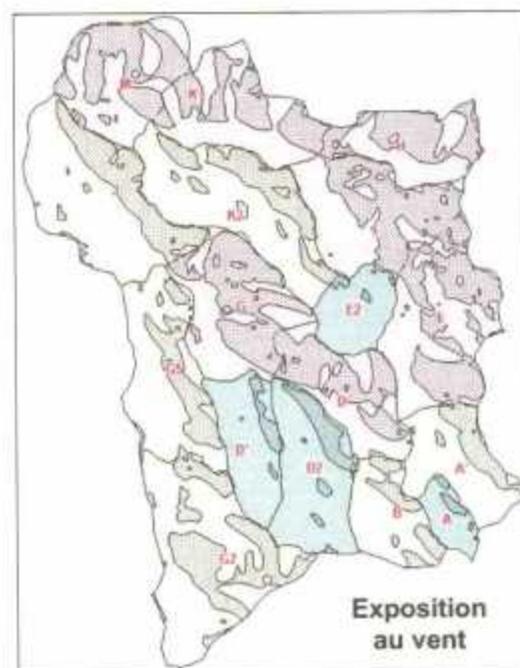
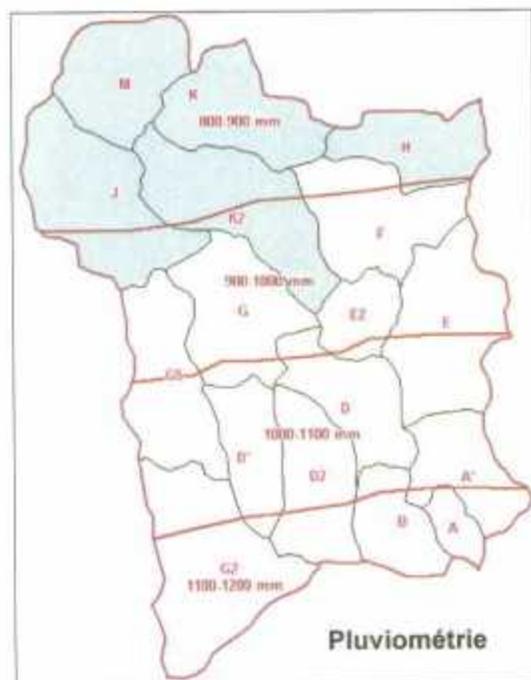
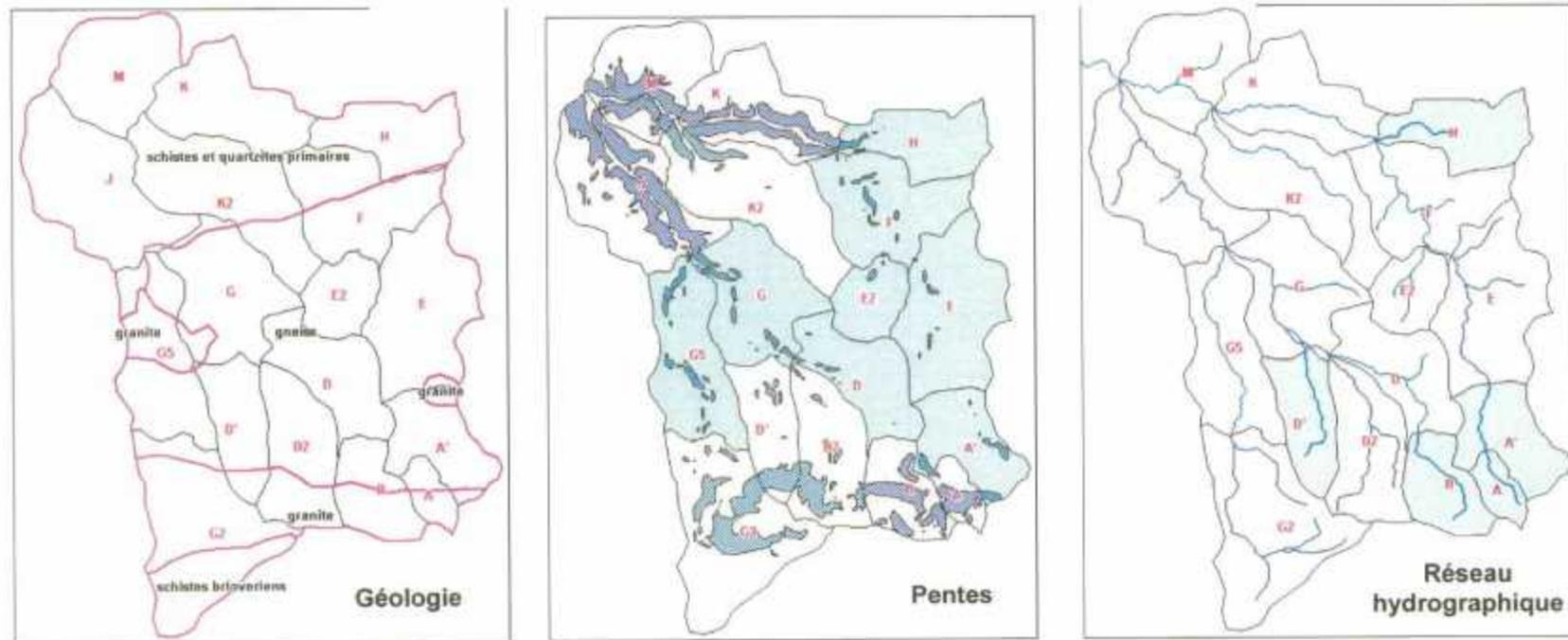


Fig. 26 - Paramètres de l'analyse multicritères - Sensibilité à l'érosion des sous-bassins versants du Jarlot et du Tromorgant



#### **4.1.2. Le relief**

Le Jarlot et le Tromorgant prennent leur source sur le versant Nord de la crête des Monts d'Arrée, à des altitudes variant entre 280 et 300 m. Ces bassins versants ont un relief colinéaire assez marqué dans leur partie amont (sous-sol granitique). Les rivières dessinent des vallées profondes dans leurs parties aval.

La figure 26 représente les secteurs où les pentes sont élevées et supérieures à 6%. La sensibilité à l'érosion la plus importante a été définie dans des secteurs où ces pentes étaient très présentes par rapport à la superficie des sous-bassins versants.

#### **4.1.3. Le réseau hydrographique**

Le chevelu des cours d'eau est plus dense dans la partie Est du Tromorgant que dans le secteur aval. La densité est importante à l'amont du Jarlot (sous-bassins G2 et D2). Les sous-bassins versants ont été classés selon leur sensibilité à l'érosion en se basant sur l'importance du réseau hydrographique sur chaque sous-bassin : plus ce réseau est dense, plus l'érosion risque d'être forte (cf. figure 26).

#### **4.1.4. Le climat**

Les isohyètes de pluies inter-annuelles ont été reportées sur la figure 26. Les sous-bassins amont (G2 et B du Jarlot, et A du Tromorgant) sont les plus arrosés et comme une forte pluviométrie risque d'éroder les sols et roches présentes, ces sous-bassins ont été classés comme sensibles. Inversement, les sous-bassins situés à l'aval des cours d'eau sont plus faiblement arrosés donc moins sensibles à l'érosion.

La rose des vents à Pleyber-Christ sur la période mars 1994-octobre 2000 a été achetée à Météo-France (cf. copie en annexe 4). Cette station a été jugée représentative du secteur par rapport à celle de Landivisiau. Cette rose des vents montre que les vents dominants proviennent du Sud-Ouest et soufflent vers le Nord-Est. Le MNT a permis de classer les parcelles exposées au vent en 3 catégories : très exposées (parcelles orientées de N180 à N300), moyennement exposées (N20-60, N140-180 et N300-340), et faiblement exposées (N0-20, N60-140 et N340-360). Sur la figure 26, les parcelles les plus exposées au vent ont été reportées. La sensibilité la plus importante a été définie dans les secteurs où ces parcelles étaient très présentes par rapport à la superficie des sous-bassins versants.

#### **4.1.5. L'occupation du sol**

Selon les sources de l'ADASEA du Finistère, la surface des bassins versants a un usage agricole qui est de l'ordre de 60% ce qui situe la zone dans la moyenne départementale (63%). La partie boisée est relativement importante (cf. figure 26), surtout sur les pentes des vallées très encaissées à l'aval des rivières ou sur les parties hautes à l'amont. Elle couvre 13% du territoire. Les parties de végétation naturelle, essentiellement en landes, se concentrent aux sources (2%) et les zones urbaines ne représentent que 3% du territoire.

En fonction de l'occupation du sol du secteur, les sous-bassins versants du Jarlot et du Tromorgant ont été hiérarchisés selon trois classes : en zone agricole essentiellement, intermédiaire, en zones boisées essentiellement ; les zones agricoles étant considérées comme les plus sensibles à l'érosion et les zones boisées comme les moins sensibles (cf. figure 26).

#### 4.2. DETERMINATION DES SOUS-BASSINS SENSIBLES A L'EROSION

Pour évaluer la part du milieu physique et de l'occupation des sols dans les phénomènes d'érosion, une valeur a été calculée à partir des paramètres listés ci-dessus (géologie, relief, densité réseau hydrographique, climat et occupation du sol). Chaque paramètre a été découpé en trois classes de 1 à 3 (1 : faible sensibilité à l'érosion, 2 : sensibilité moyenne, 3 : forte sensibilité).

Le tableau 20 ci-dessous détaille la méthode de définition des classes de sensibilité.

Paramètres	Catégories	Faible sensibilité à l'érosion	Forte sensibilité à l'érosion
Géologie	Gneiss, granites, schistes et quartzites, schistes briovériens	Schistes briovériens (Schistes et quartzites, sensibilité moyenne)	Gneiss, granites
Pentes	Faibles à fortes	Faibles	Fortes
Densité réseau hydrographique	Peu à très dense	Peu dense	Très dense
Pluviométrie	Faible à forte	Faible	Forte
Exposition au vent	Faible à forte	Faible	Forte
Occupation du sol	Zone agricole ou boisée	Zone boisée	Zone agricole

**Tabl. 20 - Combinaison des niveaux d'information**

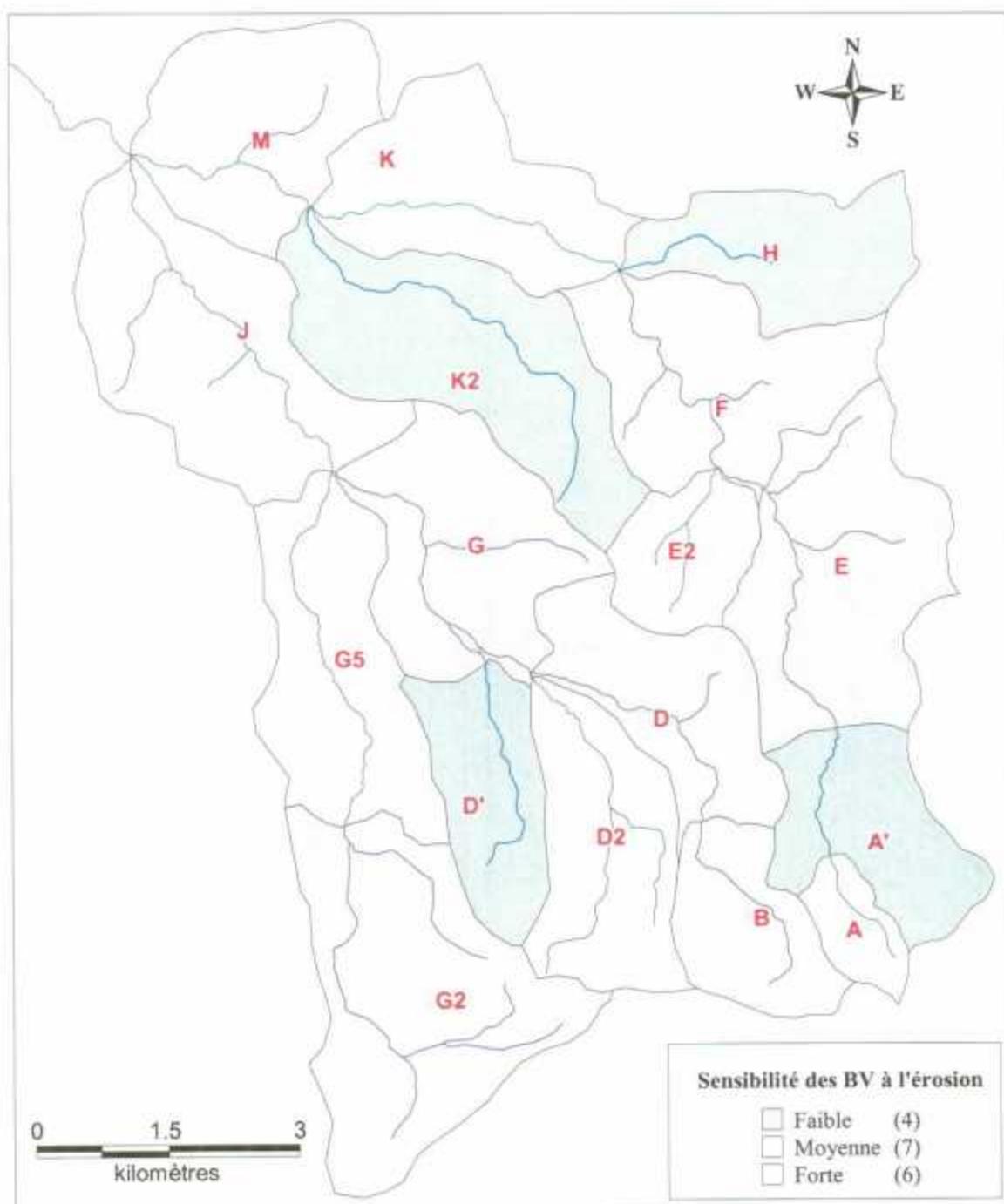
A chaque sous-bassin versant, une valeur égale à la somme des coefficients de chaque paramètre a été affectée. Cette valeur permet de classer les sous-bassins selon la sensibilité des parcelles à l'érosion (cf. figure 27).

Le classement des sous-bassins versants des plus sensibles aux moins sensibles donne l'ordre suivant : G-G2-D(Jarlot) E(Tromorgant) B(Jarlot) F(Tromorgant) très sensibles, D2-J (Jarlot) K-M-E2-A(Tromorgant) G5(Jarlot) moyennement sensibles, et A'-H-K2(Tromorgant) D'(Jarlot) peu sensibles.

Les sous-bassins versants du Jarlot les plus sensibles correspondent à des zones de forts apports en MES (cf. figure 11 page 18) : affluent droit (B-D-G) et gauche (G2). Sur les sous-bassins versants du Tromorgant les plus sensibles (E-F) les apports provenant de l'érosion sont masqués par une zone de stagnation entre A' et F (cf. fig. 11). Les sous-bassins situés à l'aval sont moyennement sensibles (J-G5 du Jarlot et K-M du Tromorgant). Le réseau de suivi des MES ne s'est raisonnablement pas intéressé aux sous-bassins D' du Jarlot et H du Tromorgant très peu sensibles à l'érosion. Le sous-bassin K2 du Tromorgant est classé comme faiblement sensible alors que c'est sur ce sous-bassin que les principaux apports de MES transitent. La grande superficie du sous-bassin fausse les résultats car l'amont semble être plus sensible à l'érosion (géologie favorable et parcelles agricoles exposées à la pluie et au vent).

5 sous-bassins versants à comportement différent vis-à-vis de la sensibilité à l'érosion ont été retenus afin de cartographier les formations superficielles présentes et susceptibles d'entraîner des matériaux dans les rivières. Les critères de choix sont :

- choix de 3 sous-bassins du Jarlot (G-G2-G5) et 2 du Tromorgant (H-K),
- choix des 2 sous-bassins les plus sensibles (G-G2 du Jarlot), 2 moyennement sensibles (G5 du Jarlot et K du Tromorgant) et 1 peu sensible (H du Tromorgant),
- choix de 3 sous-bassins à géologie homogène (G du Jarlot dans les gneiss et H-K du Tromorgant dans les schistes et quartzites) et 2 sous-bassins à géologie variée (G2-G5 du Jarlot).



*Fig. 27 - Sensibilité à l'érosion des sous-bassins versants du Jarlot et du Tromorgant  
Résultat de l'analyse multicritères*

## 5. Cartographie des formations superficielles et étude de la provenance géologique des matériaux déposés dans les rivières

Une cartographie des formations superficielles a été effectuée sur les 5 sous-bassins versants retenus (cf. chapitre précédent) après l'examen des données spectrométriques et suite à une campagne de terrain.

### 5.1. APPORT DES DONNEES SPECTROMETRIQUES

A la demande du Ministère de l'Industrie, des données de géophysique aéroportée ont été acquises sur l'ensemble du Massif armoricain en 1998. Ces données ont ensuite été compilées puis traitées et valorisées par le BRGM. Des cartes de concentration en potassium (K) et en teneurs équivalentes en uranium (U) et en thorium (Th) ont été dressées pour l'ensemble du Massif armoricain. L'étude des variations spatiales des concentrations et des rapports entre ces différents éléments (en particulier du rapport K/Th) sont aujourd'hui envisagées dans la détermination des domaines altérés. En effet, lors d'une altération (et à fortiori lors d'une altération de type latéritique comme il a pu se développer au Cénozoïque dans le Massif armoricain), le potassium est un élément susceptible d'être lessivé dès les premiers stades alors que le thorium est, vis à vis de l'altération, un élément beaucoup plus stable. Ainsi, au sein d'une même unité géologique (et pour des lithologies semblables), on peut estimer que plus le rapport K/Th est faible, plus grand est le degré d'altération.

Trois grilles au pas de 125 m figurant le pourcentage de potassium (K), la teneur équivalente en thorium (Th) et la teneur équivalente en uranium (U) ont été réalisées (cf. figure 28).

Les données géologiques sont issues de la carte numérisée au 1/50 000 de Morlaix. La table attributaire est simple puisqu'elle ne contient que le nom des formations et leur code spécifique, ceci afin de pouvoir travailler par formation géologique.

La grille géologique ainsi définie a ensuite été transférée sous SIG (Arcview) afin de permettre sa superposition avec les données géophysiques et les calculs (notamment les rapports entre les différentes teneurs) sur des domaines définis. Toutes les grandes unités géologiques ont ainsi été testées séparément. Pour chaque unité, les valeurs du rapport K/Th ont été calculées puis étudiées. Ainsi, pour chaque ensemble géologique, les valeurs de rapport les plus faibles sont retenues en première approximation comme des domaines où peuvent se localiser préférentiellement des formations superficielles (appauvrissement en potassium).

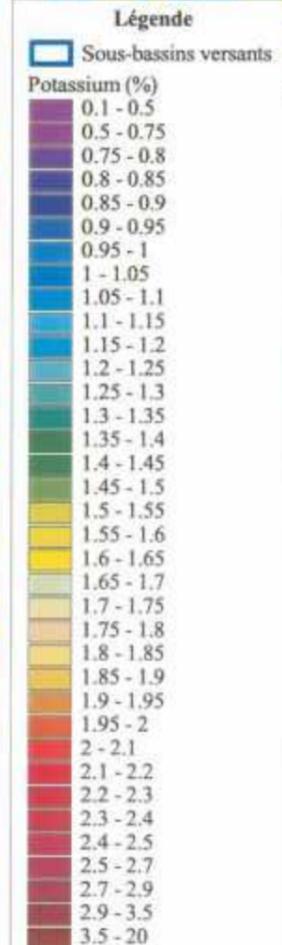
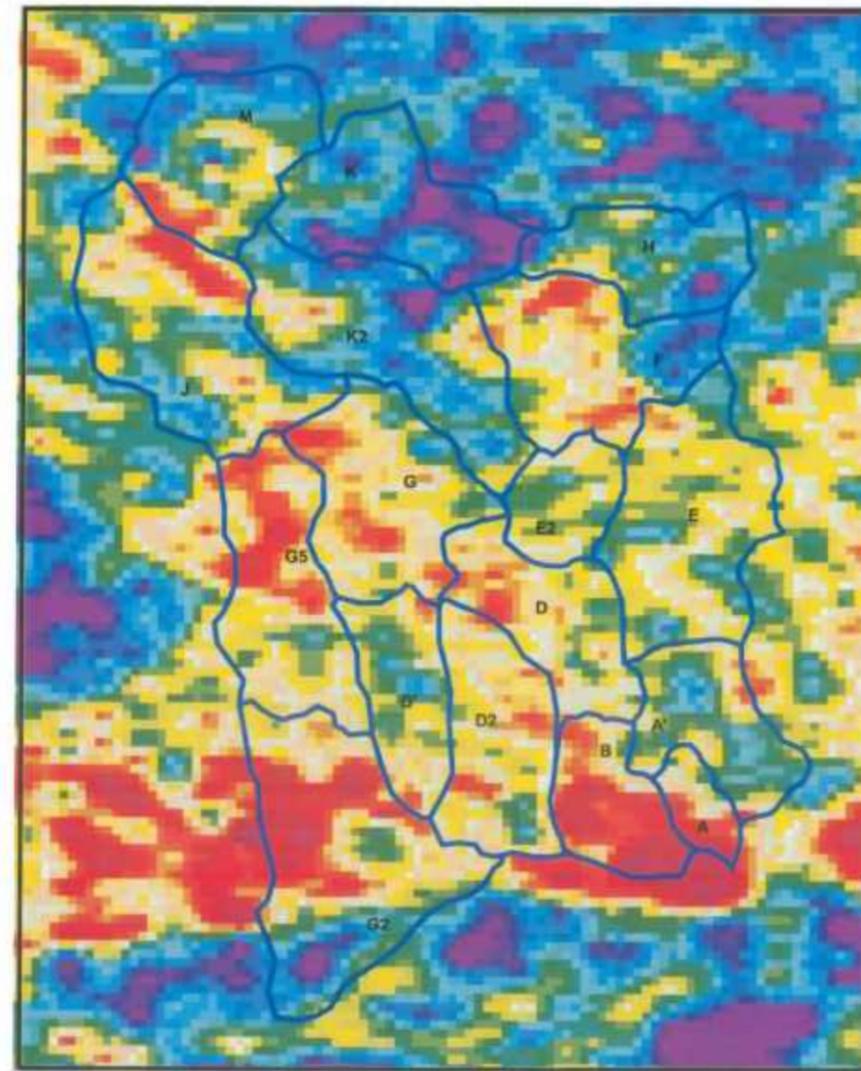
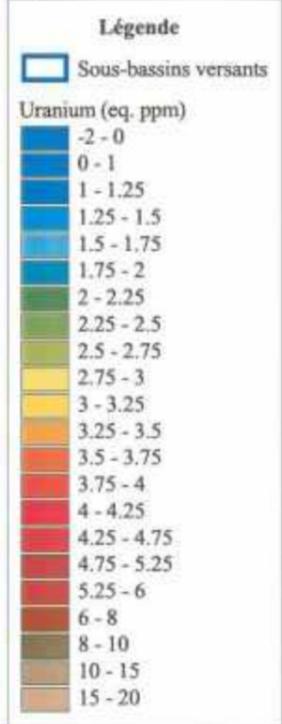
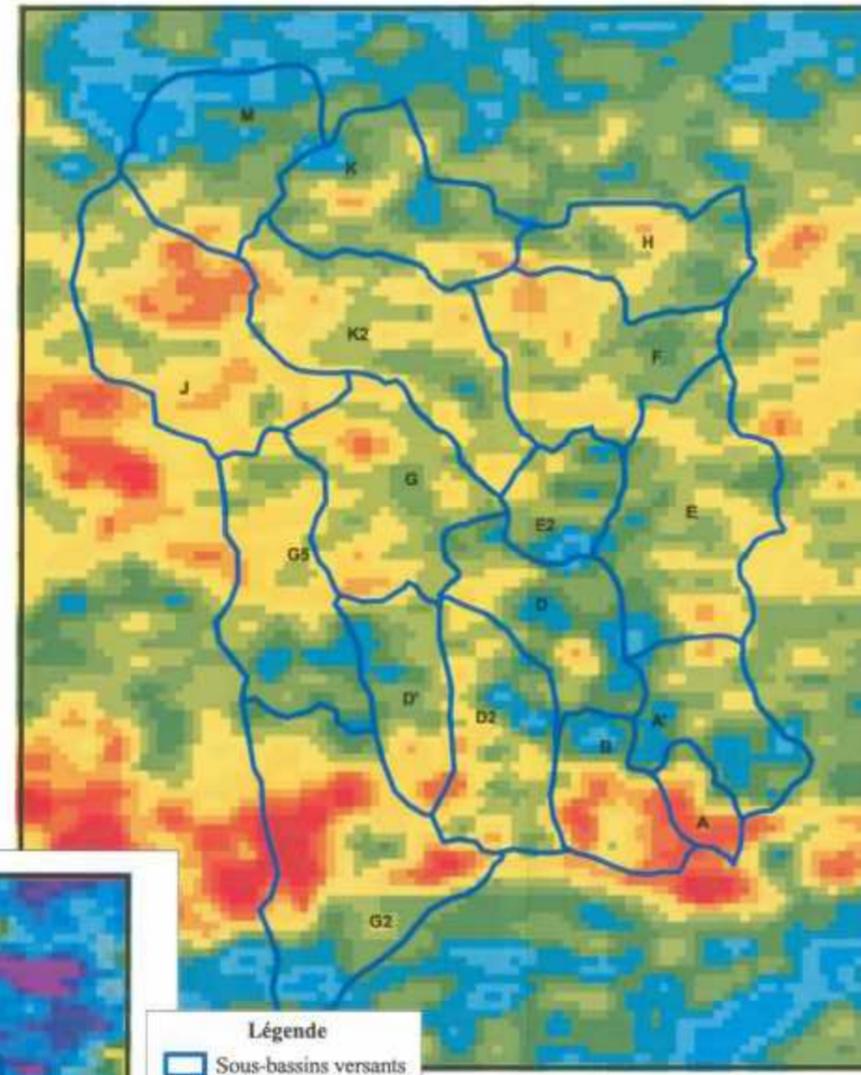
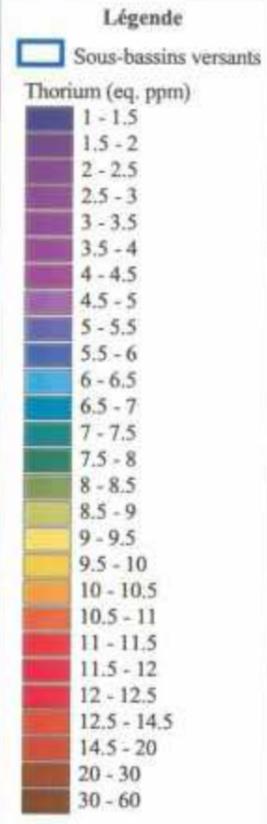
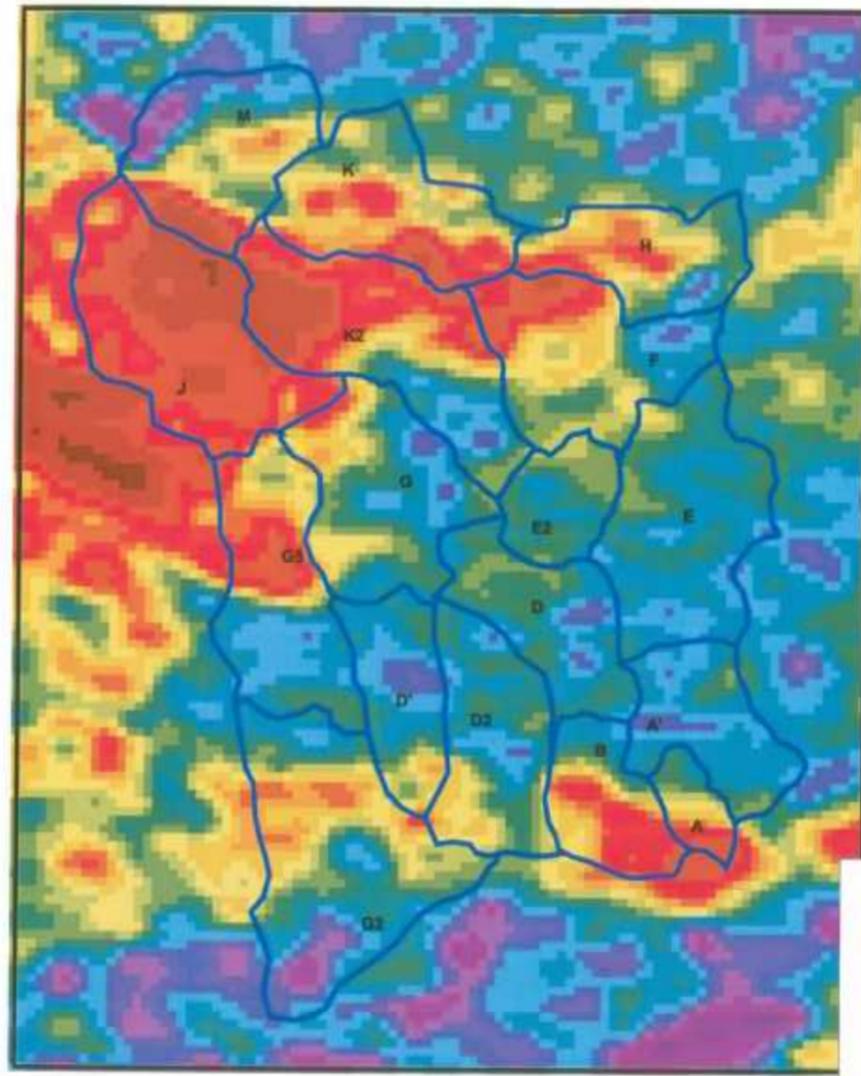


Fig.28 - Levers spectrométriques  
Teneurs en thorium, uranium et potassium

L'avancée des études sur les signatures spectrales des différentes formations superficielles ne permet pas encore de déterminer à quel type de formations superficielles peuvent correspondre ces faibles valeurs. Cependant, la cartographie au 1/50 000 de Morlaix (carte n°240, BRGM) ne fait pas figurer de couverture limono-loessique. Ainsi, les zones mises en évidence sont susceptibles de correspondre plutôt à des zones à recouvrement d'altérites ou de formations en dérivant (formations de versants).

La figure 29 présentant la carte des rapports K/Th a été établie en rassemblant au sein d'une même carte les valeurs de chacune des formations géologiques. Pour chaque formation, seules ont été conservées les 5 premières classes de valeurs sur un classement à intervalle égal de 10 classes (les secteurs en bleu correspondent à des formations non étudiées).

Les résultats obtenus montrent clairement, au sein de chaque ensemble des zones à déficit de potassium (par rapport l'ensemble de la formation). Cependant, toutes les formations n'ont pas une signature identique. Ainsi pour les formations sédimentaires paléozoïques (schistes et quartzites), les domaines à déficit de potassium se localisent distinctement à la limite des sous-bassins K2 et K, ainsi qu'à l'ouest du sous-bassin J (le lever de terrain a effectivement montré la présence d'altérites). Les schistes briovériens au sud montrent un déficit en potassium articulé en une bande qui longe les limites avec les formations plutoniques, notamment en ce qui concerne le sous-bassin G2. Les gneiss de Plougouven montrent une zone au nord (sous-bassins F, E2) où le rapport K/Th est faible alors qu'ils présentent une vaste zone occidentale (sous-bassins D, D', D2, sud du G) où ce rapport reste élevé. Ceci semble en bon accord avec les levés de la cartographie au 1/50 000 qui présentent cette répartition avec des domaines altérés au sud de Plouigneau. Le granite de Plounéour ne montre que très peu de domaines à faible rapport sur le secteur étudié. Pour les roches plutoniques, cette absence d'amplitude dans les variations peut signifier un faible lessivage du potassium ; les domaines altérés se présentent comme de la roche désagrégée mais où les feldspaths (qui portent principalement le potassium) sont encore largement présents et n'ont été que peu altérés.

Ainsi, la géophysique aéroportée peut servir de guide de prospection en ce qui concerne les domaines altérés schisteux. Cependant, les variations observées ne sont pas toutes forcément explicables dans l'état actuel des connaissances sur les émissions des radioéléments (notamment en secteur granito-gneissique).

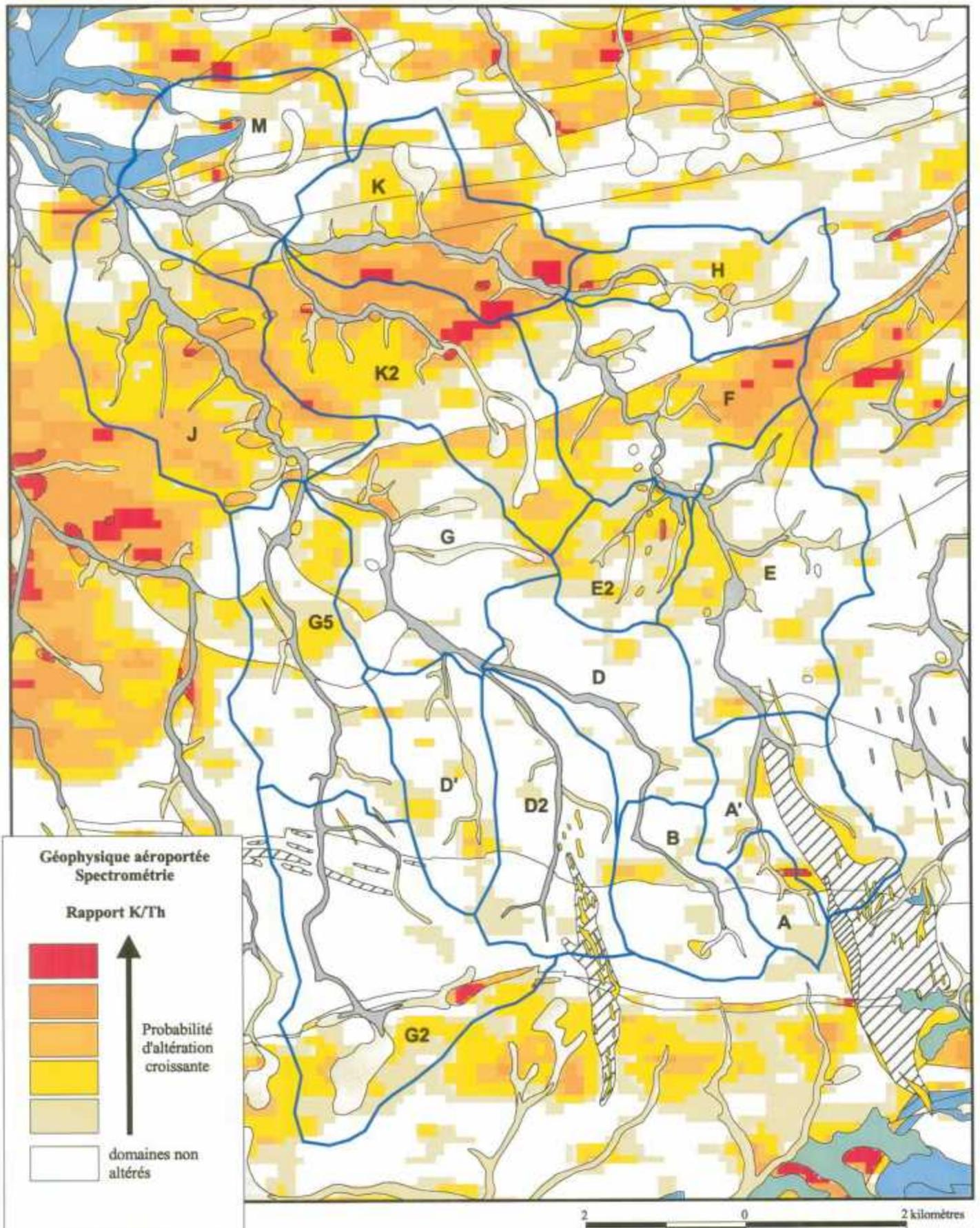


Fig. 29 - Carte des rapports K/Th établis par formation géologique

## 5.2. CARTOGRAPHIE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES

### 5.2.1. Contexte géologique

Le secteur d'étude se localise à cheval sur deux domaines structuraux différents. Au nord, les sous-bassins versants K et H du Tromorgant, le sous-bassin versant G et la partie septentrionale du sous-bassin versant G5 du Jarlot se situent dans le domaine nord-armoricain caractérisé ici par la partie nord du massif gneissique de Plougouven et par des formations siluro-dévonniennes, d'origine sédimentaire, peu métamorphiques mais très tectonisées. La partie méridionale du sous-bassin G2 appartient au domaine centre-armoricain caractérisé ici par le puissant Massif granitique de Plounéour et par des sédiments protérozoïques (« briovériens ») métamorphisés. La partie méridionale du sous-bassin G5 et la partie septentrionale du sous-bassin G2 se situent dans la frange de contact entre les deux domaines. Cette frange (de l'ordre de 1 km) correspond à une structure tectonique majeure du Massif armoricain : l'accident nord-armoricain. Il s'agit d'une fracture crustale profonde dont l'activité s'est étalée sur une longue période. Sa manifestation la plus évidente est syn- à posthercynienne au moment où les granites ont été écrasés, laminés, transformés en mylonites et ultramylonites selon un cisaillement dextre.

Les conditions d'observation des roches saines sont assez bonnes dans les parties aval des sous-bassins versants G, G5 et K car les incisions par le réseau hydrographique sont accentuées. En revanche, dans la partie amont des cours d'eau (sous-bassins versants G2, G et H), les observations sont plus difficiles ; le paysage se déclinant en une succession de systèmes bocagers et de zones cultivées où les faibles pentes rendent rares les affleurements. Le recouvrement végétal est ubiquiste, même à l'approche des flancs de vallées et l'identification de la nature des roches ainsi que la détermination du recouvrement par les formations superficielles sont délicats.

L'étude s'est particulièrement focalisée sur la cartographie des formations superficielles car, a priori, et en omettant les sols, ce sont elles qui sont susceptibles de fournir les matériaux fins qui convergent progressivement vers le port de Morlaix. Le terme de « formations superficielles » désigne un ensemble de formations de natures et d'origines très différentes. Ces formations sont regroupées en fonction des processus qui les ont formés plutôt qu'en fonction de leur âge, généralement largement méconnu ou très incertain (formations azoïques pour la plupart). Dans le domaine cartographié, on distingue ainsi trois ensembles :

- les formations résiduelles : altérites,
- les dépôts fluviaux correspondent aux sédiments déposés par les rivières (alluvions) ainsi que les sédiments fins présents dans le fond des vallées des drains secondaires du réseau hydrographique actuel (colluvions de fond de vallon),
- les dépôts de versants sont constitués par des éléments qui ont subi un transport, généralement de faible amplitude, et qui sont temporairement immobilisés sur des glacis à pente variable (mais souvent faible), le long des vallées du réseau hydrographique actuel ou dans les dépressions à la naissance des cours d'eau permanents ou intermittents.

Cinq sous-bassins versants représentatifs ont été cartographiés en termes de formations superficielles susceptibles de fournir des particules fines. Il s'agit des sous bassins G, G2 et G5 du Jarlot et des sous-bassins K et H du Tromorgant.

### **Géologie succincte des sous bassins versants du Jarlot**

Exceptée la partie sud du sous-bassin G2, les roches rencontrées sont exclusivement des roches d'origine magmatique. On distingue ainsi (cf. fig. 30) :

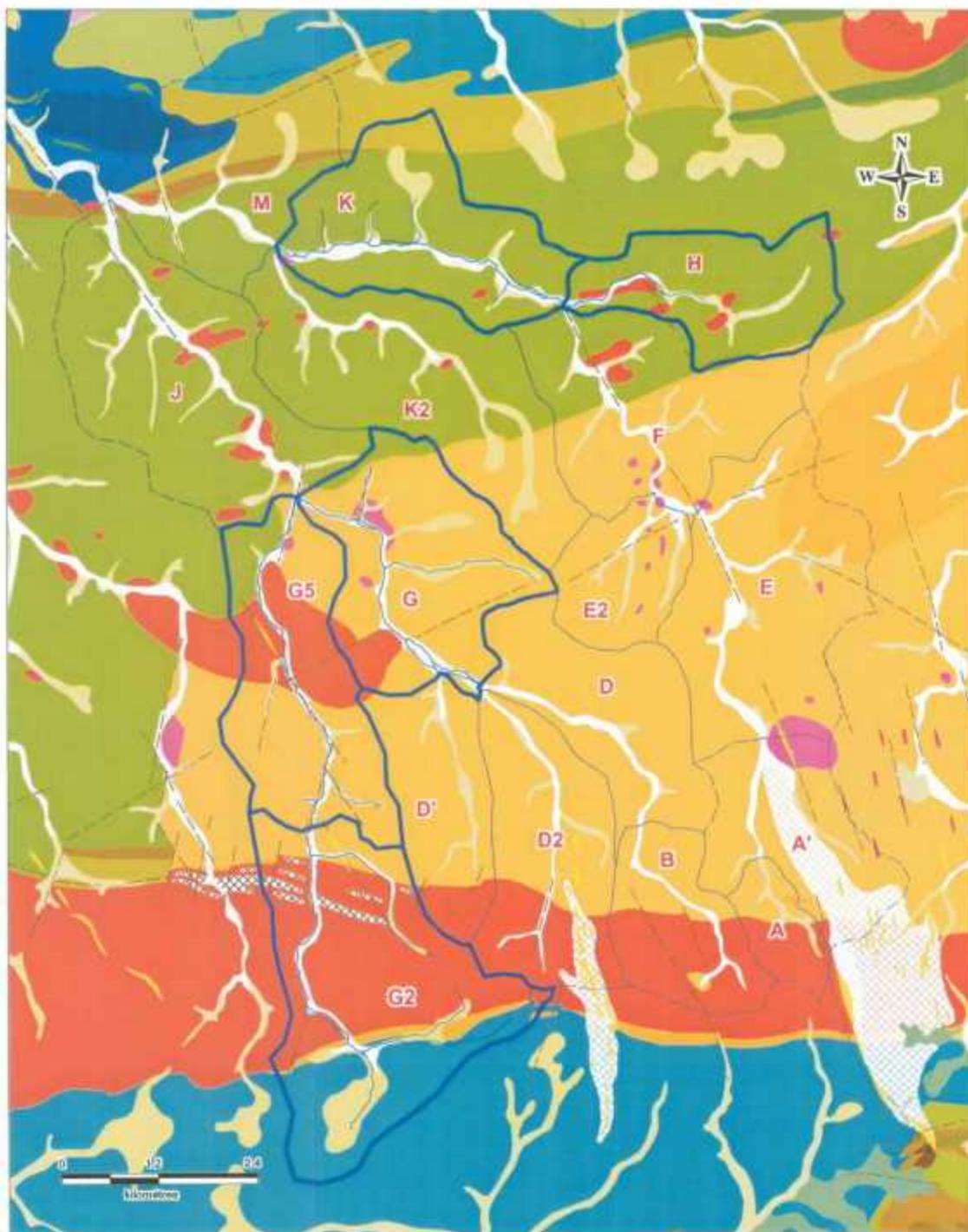
- un granite monzonitique (Massif de Plounéour) à biotite ( $\gamma^3$  en rouge sur la figure) se déclinant sous trois faciès principaux : un faciès à très gros grains (porphyroïde), un faciès à grain grossier et un faciès à structure grenue fine ; les passages entre les différents faciès se faisant toujours de manière progressive. Le granite est composé essentiellement de quartz, de feldspath potassique (phénocristaux), de plagioclase oligoclase, de biotite et de rares muscovite et cordiérite,
- un orthogneiss granito-monzonitique (Orthogneiss de Plougonven :  $\gamma\zeta^3$  en jaune) homogène. Il est constitué d'une roche quartzo-feldspathique assez sombre, à structure rubanée ou ocellée. On peut y observer de gros cristaux de feldspaths (plagioclase An20), du feldspath potassique, des biotites souvent en grandes lames et localement de la muscovite. La roche provient de la gneissification plus ou moins complète d'une roche originelle granitique ,
- un gneiss blastomylonitique ocellé ( $\zeta^3$  en jaune foncé), intercalé entre le granite et les schistes briovériens au sud. Il s'agit d'une roche quartzo-feldspathique, riche en micas (biotite), finement ocellée, à faciès très constant.

Le sud du sous-bassin versant G2 est constitué de schistes briovériens ( $bS^{1-2}$  en bleu). Il s'agit d'alternance rythmiques de siltites grises parfois rubanées, parfois ardoisières, et de niveaux de grès à grain fin à moyen, quartzo-feldspathiques.

### **Géologie succincte des sous-bassins versants du Tromorgant**

La majeure partie du domaine couverts par les sous-bassins versants K et H est constitué de roches du paléozoïques ( $S-dS\chi$  en vert) à structure complexe (pointements granitiques ( $\gamma^3$  en rouge) témoignant de l'existence d'un puissant massif profond). Cette formation est constituée d'une alternance monotone de bancs décimétriques et décamétriques de quartzites et de schistes. Les schistes, souvent en interbancs peu épais, peuvent localement (bande Plouigneau – partie avale du Tromorgant) s'organiser en séquences hectométriques.

Les quartzites sont des roches massives à grains fins, grises, plus ou moins sombres. Elles sont essentiellement quartzieuses, entièrement recristallisées et peuvent occasionnellement contenir de la muscovite et du chloritoïde. De plus, elles sont riches en minéraux lourds. Les schistes sont des roches à dominantes quartzo-micacée, passant localement à de véritables micaschistes. Ils contiennent, outre le quartz abondant, de la muscovite, de la chlorite, de la biotite et du chloritoïde.



### Légende

- Alluvions - colluvions des têtes de vallées
- Alluvions fluviales actuelles
- ▨ Briovérien - schistes : altération importante
- Briovérien : schistes protérozoïques
- Carbonifère : conglomérat volcanique
- Carbonifère : schistes ardoisiers
- Carbonifère : schistes zébrés - Alternances schisto-gréseuses rythmiques
- ▨ Cataclase
- Colluvions de fond de vallon
- Dévonien : grès de Landevennec - grès blancs saccharoïdes
- Dévonien : schistes alumineux à chloritoïde
- Dévonien : schistes et quartzites indifférenciés
- Dévonien : schistes fins en séquences rythmiques
- Dévonien : schistes alumineux carburés
- Dévonien supérieur - Carbonifère : schistes et grès feldspathiques à élots volc.
- Épandages continentaux : complexe argilo-sableux à cailloutis quartzeux
- Filon de quartz
- Formation de Garlan : arkoses massives grossières
- Formation de Garlan : chlorito-sérite schistes tuffitiques à arkosiques
- Formation de Garlan : quartzites blancs massifs
- Gneiss alumineux
- Gneiss blastomylonitique ocellé
- Gneiss blastomylonitique ocellé : arénisation et kaolinisation importantes
- Granite aplitique à biotite
- Granite calco-alcalin à deux micas
- Kaolins
- ▨ Massif de Plounéour : arénisation et kaolinisation importantes
- Massif de Plounéour et satellites
- Méta-gabbro
- Ordovicien : grès armoricain - quartzites massifs blancs
- Ordovicien : schistes phylliteux et quartzites micacés
- Orthogneiss de Plougouven
- Orthogneiss de Plougouven : arénisation et kaolinisation importantes
- Quartzites massifs et schistes phylliteux du Siluro-Dévonien : quartz. dominants
- Quartzites massifs et schistes phylliteux du Siluro-Dévonien : sch. dominants
- Roches basiques du Paléozoïque : amphibolites
- Silurien - Dévonien : schistes et quartzites

Fig. 30 - Géologie du secteur étudié (d'après la carte géologique n°240 Morlaix au 1/50 000 BRGM)

## 5.2.2. Formations superficielles

### 5.2.2.1. Formations résiduelles

#### **Les altérites**

Les formations d'altération dérivent, par modifications in situ des propriétés physiques et chimiques, de roches mères (méta)sédimentaires ou plutoniques sous l'action principale des eaux météoriques. Localement, on peut être amené à différencier géochimiquement des altérations issues de l'action et la circulation de fluides de moyenne ou haute température d'origine endogène (i.e. profonde : c'est sans doute le cas pour les kaolins de la région de Lannéanou qui dérivent d'une altération supergène mais où le terrain fut certainement préalablement conditionné et fragilisé par une circulation de fluides chauds dans de puissantes fractures). Si dans les processus supergènes (qui se déroulent en surface) les climats chauds et humides du Tertiaire ont pu être d'excellents catalyseurs des transformations physico-chimiques, engendrant, sur tout le Massif armoricain, de véritables profils latéritiques à kaolinite, parfois épais (40 m en moyenne dans la région de Scaër dans le Finistère sud, 20 à 30 m dans les zones effondrées à l'ouest de Rennes) on pense maintenant que la position altimétrique de la surface continentale par rapport au niveau marin relatif et, à une échelle régionale, l'absence de pentes fortes ont pu conditionner très largement le développement ou la destruction des profils d'altération, peut-être même sous des climats dits « hydrolysants ». En Bretagne, des lambeaux de surface continentale subsistent très localement et peuvent être repérés par des formations silicifiées, d'origine pédologique, en dalles ou le plus souvent en blocs épars généralement sur des points hauts. L'apparition de ces formations marque l'arrêt du fonctionnement du profil d'altération, consécutivement à des changements climatiques et/ou une variation de l'altitude moyenne de la surface continentale. Elles sont donc les témoins d'une histoire postérieure à la latérisation et peuvent constituer un repère stratigraphique dans les séries azoïques. Dans le domaine cartographié, ces silicifications n'ont pu être mises en évidence : le profil d'altération est un profil tronqué dont il manque (érosion) plusieurs dizaines de mètres vraisemblablement. A côté de ces transformations supergènes, vraisemblablement tertiaires (Anté Eocène supérieur, âge communément admis pour les silcrètes armoricaines), il est probable que d'autres périodes d'altération aient pu intervenir, postérieurement au Tertiaire, éventuellement sous les climats tempérés du Plio-Quaternaire. Ces altérations dites "ménagées" ont conduit à la formation de roches meubles caractérisées principalement par la très faible représentativité de la kaolinite et la conservation en plus ou moins grande abondance des feldspaths. Il n'est pas nécessaire ici de distinguer altérations "ménagées" de celles marquant la base d'un profil d'altération "classique" (ce qui ne peut se faire au demeurant que sur la minéralogie des argiles); il s'agit en réalité du même phénomène, la cinétique de l'altération récente étant sans doute réduite par rapport à celle de l'altération tertiaire.

Pour les cinq sous-bassins versants cartographiés, trois ensembles de formations résiduelles ont été retenus (cf. fig. 31) : les altérites de roches granito-gneissique, les altérites de roches schisteuses briovériennes et les altérites des schistes et grès paléozoïques. En règle générale, les altérites sont bien représentées sur l'ensemble des sous-bassins versants. Elles couvrent ainsi approximativement au moins 70% des sous-bassins H et K, et de 40 à 50% des sous-bassins versants G, G2, G5. Les épaisseurs sont généralement difficiles à caractériser. Localement, elles peuvent avoisiner plusieurs mètres : plus de 3m pour les schistes briovériens (zone de Kermeur), plus de 5m pour les granites (Ty-Avelec et Kerglas : sous bassin-versant G2). Dans les domaines granitiques, la transition entre zones altérées et zone saine peut-être extrêmement brutale. Il est de plus à noter que le long de certains filons de quartz d'orientation subméridienne, l'altération du granite est plus marquée (zone de drainage privilégiée). Le sous-bassin versant G2 présente un important haut topographique (Butte de Goariva : 295m au point le plus haut) où le granite affleure sans recouvrement superficiel. Il s'agit d'une situation assez répandue en Bretagne nord qui s'explique vraisemblablement par une altération différentielle sans que le processus ne soit réellement connu.

Pour les gneiss de Plougonven, les sous-bassins versants étudiés n'offrent pas d'affleurements de qualité et d'extension suffisantes pour apprécier les épaisseurs d'altérites. En revanche, le long de la D9 joignant Plougonven à Lannéanou, plusieurs affleurements montrent des épaisseurs d'au moins quatre mètres, sans que la base du profil d'altération ne soit visible. Dans le secteur de Plouigneau, où le recouvrement par les formations superficielles est important, l'étude le long de la voie de chemin de fer montre que l'épaisseur des formations d'altération des quartzites paléozoïques n'excède pas 2 mètres.

#### **Les altérites des roches granito-gneissiques**

Généralement de couleur ocre ou ocre-brun, elles sont constituées de sables meubles excepté au nord-est de Coatélan (sous-bassin G5) où, sur le replat situé aux alentours de 125m, elles montrent localement un enrichissement en fraction argileuse. Les arènes du Massif de Plounéour ont une fraction grossière importante et les minéraux (quartz, feldspaths...) se distinguent encore aisément. La matrice est constituée de sables très fins et d'une fraction argileuse où la kaolinite est très faiblement représentée (7% cf. tableau 13). La fraction fine est représentée essentiellement par la chlorite-vermiculite (67%) et par les illites (26%). Les gneiss de Plougonven donnent généralement une arène plus fine, d'une composition sensiblement équivalente à celle du granite de Plounéour avec 34% de chlorite-vermiculite et 20% d'illite, la kaolinite restant secondaire (12%). Dans de rares secteurs, l'altération est plus poussée : il s'agit d'étroits couloirs encadrant de petits filons quartzeux qui ont vraisemblablement constitués des zones de drainage privilégiées. Les arènes sont alors nettement plus fines, la proportion en argiles augmente très fortement, notamment aux approches des épontes des filons.

Le passage entre les arènes et la roche saine sous jacente n'est pas franc. Le toit de l'horizon fissuré supérieur est caractérisé par une zone qui progressivement, s'appauvrit en sables et s'enrichit en fragments de roches résistantes, d'abord de petites dimensions (quelques cm), puis, en descendant dans le profil, de la taille de blocs (plusieurs dizaines de centimètres), avant de passer à la roche solide. Sur d'autres granites porphyroïdes en Bretagne, cette zone correspond globalement à la zone feuilletée ou à la zone des altérations en boule.

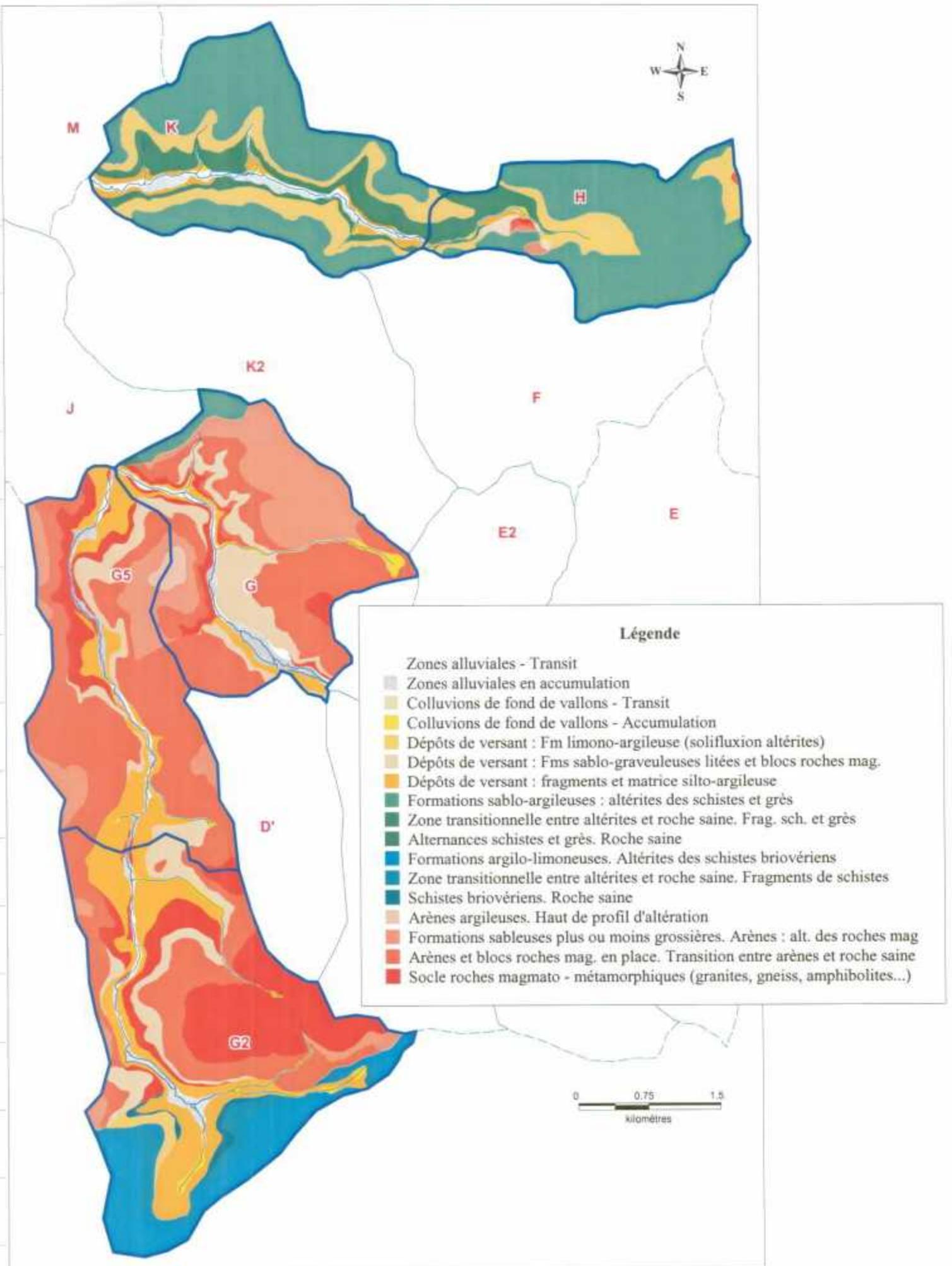


Fig. 31 - Carte des formations superficielles des sous-bassins versants étudiés

### **Les altérites des schistes du Briovérien**

Elles s'observent d'une manière correcte sur la D111 entre Kermeur et le Quillou (sous-bassin versant G2). Les schistes briovériens altérés sont caractérisés par une roche meuble de couleur verdâtre à brune à la base passant progressivement à des couleurs ocres et blanchâtres au sommet. Elles ont généralement une granulométrie silto-argileuse mais peuvent être localement plus grossières (route Kergorre – Kermeur) ; ceci pouvant correspondre à l'altération de niveaux plus gréseux. L'analyse n'a pas été menée sur des échantillons provenant de cette région mais l'étude d'un prélèvement dans la zone amont du Queffleuth a montré pour cette formation des proportions de 56% en kaolinite, 33% en illite et 11% en chlorite-vermiculite. Comme pour les roches granito-gneissiques, le passage entre altérites et roches « saines » se traduit dans le profil d'altération par un horizon où des plaquettes de schistes de plus en plus résistantes vont apparaître, d'abord emballées dans une matrice argileuse dominante, puis de plus nombreuses et organisées.

### **Les altérites des schistes et quartzites paléozoïques**

Les schistes et quartzites du paléozoïques donnent des altérations assez comparables à celle des schistes et grès du Briovérien. Les niveaux quartzitiques sont altérés en sables fins, de couleur ocre clair. Les niveaux schisteux sont altérés en une formation argilo-silteuse où la proportion de kaolinite peut être importante (87% pour un échantillon récolté à l'ouest de Plourin-lès-Morlaix, aux abords du Queffleuth).

#### **5.2.2.2. Les dépôts fluviaux**

##### **Colluvions de fond de vallon (Holocène à Actuel)**

Le ruissellement diffus affectant les versants apporte des particules fines qui viennent progressivement colmater les fonds des vallées des ruisseaux intermittents ou des ruisseaux à faible débit. Ces sédiments, silto-argileux, localement sableux (quelques niveaux à galets de granites et migmatites ou de quartz centimétriques roulés peuvent être observés dans les parties supérieures du profil de rivière, notamment sur le granite de Plonéour et sur les gneiss de Plougonven proviennent du remaniement de toutes les formations meubles situées à l'amont du réseau hydrographique : altérites en place, altérites litées éventuellement, dépôts de pente, sols agricoles... Elles sont généralement dépourvues de structures sédimentaires et il n'est pas rare que au niveau de replats elles s'enrichissent en matières organiques. L'âge du début de mise en place est vraisemblablement holocène. En Bretagne, le développement intensif d'une agriculture sur des parcelles de plus en plus grandes, les remembrements successifs qui se sont traduits par un défrichage quasi-généralisé se répercutent par une plus grande vulnérabilité des premières dizaines de centimètres des sols aux attaques érosives. La charge particulaire fine, emportée depuis ces zones est plus importante pour des ruissellements équivalents. Dans certains secteurs, des dépôts colluviaux; nourris indirectement par les activités de l'homme, sont actuellement en développement.

### **Alluvions récentes (Holocène à Actuel)**

Les colluvions de fond de vallons, qui occupent plutôt les drains secondaires du réseau hydrographique passent de façon graduelle aux alluvions récentes au niveau des drains principaux (Jarlot, Tromorgant). L'observation de ces alluvions est limitée, les rivières étant souvent d'un accès difficile. Aux endroits où ces cours d'eau incisent profondément le substratum rocheux, les vallées et le lit majeur du cours d'eau sont étroits. Pour le Jarlot et le Tromorgant, les sédiments fluviaux sont constitués généralement de sables fins. Le lit de la rivière, dans les domaines incisées est localement occupé par de gros blocs provenant directement des flancs des vallées sans transport important. Dans les domaines où la vallée est plus large, où le courant perd un peu de son énergie, les premiers centimètres (10 à 20) sont occupés par des dépôts argilo-silteux ocres ou localement franchement grisâtres provenant de l'érosion des berges (le plus souvent : dépôts de versant, produits d'altération, sols agricoles). Sous ces sédiments fins, on observe généralement des niveaux à sables grossiers. L'épaisseur du remplissage ne peut être appréciée directement ici mais des épaisseurs inférieures à 2 mètres peuvent être raisonnablement retenues.

#### **5.2.2.3. Les dépôts de versants**

Si l'on excepte la couverture d'altérites, l'autre large part du secteur cartographié est couvert par des dépôts de versant. Ils peuvent représenter jusqu'à 50% de la surface, notamment pour les sous-bassins versants du Tromorgant. Il est possible de distinguer deux types de dépôts de versants qui, en réalité participent aux mêmes phénomènes : fauchage, solifluxion, glissement lent par gravité. Le premier groupe, relativement homogène, est localisé principalement en amont des glacis et renferme les produits issus principalement de la mobilisation et transport des produits d'altération. Le second groupe, très hétérométrique est localisé aux abords immédiats des cours d'eau et renferme des roches du substratum emballés dans une matrice sablonneuse à sablo-argileuse en proportion variable. Entre les deux ensembles, il n'est pas rare, notamment dans les domaines granito-gneissiques et particulièrement pour le Massif de Plounéour et les schistes et quartzites paléozoïques, que la roche saine apparaisse. Que ce soit à l'amont ou à l'aval du profil topographique, sur la plupart des versants, les dépôts sont actuellement immobilisés mais une mise à nu en période hivernale ou en période de fortes pluies provoque, en particulier sur les versants à roche-mère schisteuse, un lessivage important. Des mesures (INRA RENNES) montrent que localement, les produits érodés peuvent atteindre 2 000 tonnes à l'hectare. Toutefois, même si le sol perd la moitié de son épaisseur travaillée, l'exploitant agricole n'a aucune difficulté à labourer directement la masse argilo-schisteuse et à la transformer en un matériau meuble qu'il qualifie immédiatement de « sol cultivé », mais qui ne contient plus que la moitié de la teneur en matières organiques antérieure à l'érosion. La lutte contre l'érosion des sols sur schistes n'est pas nouvelle puisque c'est presque exclusivement dans ces zones que l'on trouve des parcelles agricoles disposées parallèlement aux courbes de niveau avec des haies dont la forme épouse la topographie.

### **5.3. SENSIBILITES PARTICULIERES AU RUISSELLEMENT ET A L'EROSION**

#### **5.3.1. Classement des sensibilités**

A la suite du travail de cartographie et à l'analyse des formations susceptibles de fournir une phase en particules fines importante, une carte de « vulnérabilité » a été dressée (cf. fig. 32). Six classes empiriques sont ainsi définies :

0 – Très faible : il s'agit des domaines où le socle affleure sans recouvrement par les formations superficielles. Situés pourtant généralement en bordure des cours d'eau où une incision suffisamment importante a pu les mettre à nu, ces terrains n'offrent que peu de prise à l'érosion par ruissellement. Lorsqu'ils ne sont pas recouverts d'un sol, les eaux de précipitation transitent généralement très rapidement sans se charger en matières en suspension.

1 – Faible : domaines des altérites et fragments non-colluvionnés. Les altérites (mêmes les arènes) peuvent être facilement érodées et fournir des particules de petites dimensions lorsqu'elles sont soumises aux précipitations dans des secteurs où elles affleurent sans recouvrement de sol et de végétation (cas rares). Cependant, elles se situent principalement sur des hauts topographiques à morphologie de plateaux (dans le secteur étudié) où l'érosion n'a qu'une faible prise et où, généralement, l'infiltration prime sur le ruissellement.

2 – Très moyen : domaine des arènes déplacées, zone transitionnelle entre socle et altérites : d'une granulométrie fine sensiblement équivalente à celles des altérites, ces dépôts de versants peuvent fournir des matériaux assez facilement mobilisables, lorsqu'ils sont mis à nu. Ceci se justifie principalement par leur position morphologique généralement en rupture de pente. Lorsqu'un drain privilégié est créé (zone à nu, creusement de fossés, aménagement de chemins agricoles, ouverture de champ vers l'aval), une pluie abondante emporte immédiatement les particules les plus fines ; le transit étant de très courte durée parfois, elles alimentent très rapidement le cours d'eau. Cependant, sur les secteurs cartographiés, ces cas de figures sont assez rares, d'où leur classification. Lors du levé cartographique, trois beaux exemples ont pu être observés au niveau du sous-bassin G2 (entre Kerdalidec et Cosquer-Dolzic, à Ty Avélec, et à Goarem Groannec, en descendant de la butte de Goariva).

3 – Moyen : formations sablo-argileuses issues de l'altération des socles schisteux. Bien que faisant partie des altérites s.l., les altérites des schistes briovériens peuvent être distinguées car elles possèdent la granulométrie la plus fine parmi les formations étudiées. Ce sont elles qui apportent les particules aux zones colluviales en accumulation (classe 5).

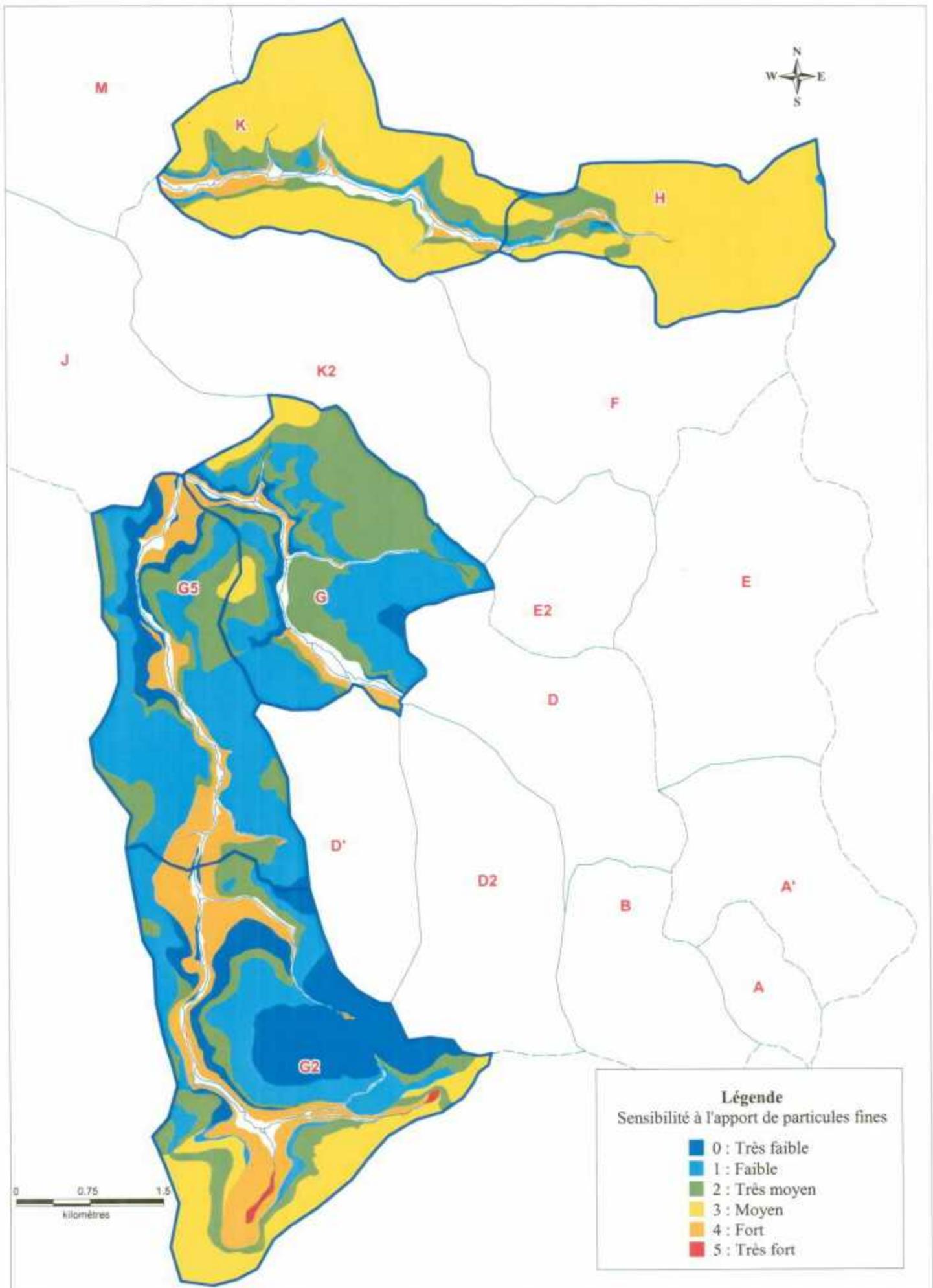


Fig. 32 - Carte de vulnérabilité des formations des sous-bassins versants étudiés

4 – Fort : les dépôts de pente sont des dépôts meubles immobilisés depuis les derniers interglaciaires sur les glacis qui descendent vers les cours d'eau. En cas de ruissellement important, leur faible cohésion permet à leur fraction fine d'être immédiatement mobilisable. De plus, ces dépôts bordent le cours : le transit des particules peut être ainsi très faible et elles se retrouvent immédiatement entraînées. La plupart des dépôts de versant n'offrent pourtant que peu de prise au ruissellement. Ces dépôts sont généralement couverts, dans les secteurs étudiés, soit de pâturages soit de bois ou de friches. Cependant, en de rares secteurs, les sols cultivés descendent jusqu'aux berges du cours d'eau. En cas de pluies abondantes, les particules fines constituant ces sols peuvent être immédiatement entraînées vers le ruisseau, d'autant plus facilement s'il existe des drains favorables (labours dans le sens de plus grande pente, chemins agricoles perpendiculaires au cours d'eau, ouverture de champs non protégées...).

5 – Très fort : dans cette classe sont regroupées certaines zones où les colluvions se sont accumulées et où le ruisseau est actuellement en incision dans celles-ci. Ces zones en colluvionnement sont essentiellement localisées dans le sud du sous-bassin G2 sur les schistes protérozoïques. Dans les deux cas répertoriés, les berges du cours d'eau intermittents sont pauvres en végétation, voire dénudées. En cas de pluies importantes, le ruisseau qui gonfle peut attaquer ses berges ; il se crée concomitamment des crevasses perpendiculaires au ruisseau qui nourrissent en matériel très fin (argiles principalement) et déjà bien trié, quantité de matières qui formeront la partie la plus importante de l'écoulement turbide. Comme dans les cas 2, 3 et 4, la création ou le réaménagement de chemins agricoles dans ces zones réceptacles ont généralement un effet de drain privilégié vers le cours d'eau.

Cette classification permet d'expliquer les différences observées entre les différents sous bassins. Ainsi, les altérites sont mieux représentées dans le cas des sous-bassins versants K et H du Tromorgant. Morphologiquement, ces deux sous bassins-versants correspondent à des surfaces relativement planes, excepté aux abords immédiats du cours d'eau occupés soit par de la roche saine, soit par d'étroits dépôts de versants. Selon les critères définis plus hauts, la charge particulaire mobilisable est relativement faible. En revanche, les sous-bassins versants G, G2 et G5 du Jarlot présentent des domaines altérés moins étendus mais des dépôts de versants plus développés. Ces sous-bassins versants seront donc plus vulnérables que ceux du Tromorgant et pourraient fournir une charge en particules fines plus importante.

### 5.3.2. Conclusions

A la suite des levés des formations superficielles incluant altérites et formation de pente, il apparaît que la nature du substratum ne semble pas être un facteur discriminant en ce qui concerne la « production » de particules fines pouvant être mobilisées. L'altération des schistes et quartzites du Paléozoïque et des schistes protérozoïques conduit à l'élaboration de formations meubles silteuses ou argileuses, celle des roches magmato-gneissiques à l'élaboration d'arènes plus grossières mais où la fraction de sables fins et d'argiles reste importante.

La morphologie ne semble pas être non-plus un facteur pouvant efficacement intervenir comme critère de séparation des sous-bassins versants. Les flancs des parties aval des cours d'eau sont recouverts de bois et forêts : le ruissellement diffus

est faible et la charge particulaire mobilisable, même lorsque ce sont des dépôts de versants, reste très modérée. L'amont des cours d'eau est caractérisé par des paysages à faibles pentes et vastes glacis inclinés. Ce sont à ces endroits que se localisent principalement les dépôts de pente. Pour le Jarlot et le Tromorgant, ce sont des paysages bocagers ; les glacis sont recouverts de pâturages qui descendent progressivement jusqu'au lit de la rivière et qui sont délimités par des haies. Ils ne peuvent participer qu'occasionnellement à l'alimentation en particules fines (labourages ponctuels, tracés de chemins agricoles). Les berges des cours d'eau peuvent en revanche présenter des secteurs à nu très localisés, qui peuvent, en cas de ruissellement important et gonflement du cours d'eau suite à une pluie importante, apporter à la rivière une charge particulaire non négligeable.

En conclusion, il ne semble pas que la nature du sous-sol ait une influence particulière sur la production et la mobilité des particules fines. En revanche, la nature des sols qui surmontent « l'horizon géologique » ainsi que la qualité de leur occupation semble être un facteur déterminant.

En effet, une des causes possibles de la turbidité des eaux semble donc être associée à la dégradation physique des terres agricoles, en particulier dans les secteurs où le sol est utilisé de manière intensive (terres cultivables). Le phénomène précurseur d'une érosion est la dégradation de la surface du sol sous l'effet conjugué de pluies et d'une faible protection de la couverture végétale. Cette fragilisation structurale de certains sols peut suffire à la mise en suspension de particules argileuses et limoneuses dans les eaux de ruissellement.

Une étude de télédétection pourrait permettre de classer les sols nus (décomposition en sols plus ou moins réfléchissants) et donnerai un aperçu régional des secteurs les plus sensibles à une érosion de ruissellement.

## 6. Traitement des données et conception d'un CD-Rom

### 6.1. SYNTHÈSE DES DONNÉES EXISTANTES

Ce projet aboutit à la rédaction de ce rapport final présentant la synthèse des données existantes et acquises dans le cadre de l'étude.

Les données ont été valorisées dans ce rapport sous forme :

- de tableaux présentant les résultats des analyses,
- de mises en page avec :
  - la localisation des prélèvements effectués,
  - la représentation cartographique des sites de prélèvements avec une matérialisation par symboles des résultats d'analyses (cas des MES) et/ou des analyses réalisées (isotope, chimie, granulométrie...),
  - la spatialisation de l'information ponctuelle localisée des prélèvements afin de mettre en évidence des grandes tendances (par exemple les apports solides).

Ce rapport constituera un des outils permettant à terme d'améliorer notablement l'état de la zone estuarienne, en appréhendant les modifications à mettre en œuvre afin de limiter les apports solides et l'entraînement particulaire notamment au niveau du port de Morlaix.

### 6.2. CONCEPTION D'UN CD-ROM

L'ensemble des fichiers informatiques, créés dans le cadre du projet, ont été stockés sur un CD-Rom qui a été remis au SIVOM de Morlaix-St Martin des Champs.

Ces fichiers sont des données Mapinfo version 6.5 et Arcview version 3.1.

Le CD-Rom est organisé en 4 répertoires :

- « Mode d'emploi » qui contient un tableau de correspondance entre le nom des fichiers et leur contenu (\*.xls)
- « Images des cartes » contenant les images des figures du rapport (\*.jpg)
- « Fichiers Arcview » contenant les fichiers sources ayant permis de réaliser les mises en page présentes dans le répertoire « Images des cartes » (\*.shp)
- « Fichiers Mapinfo » contenant les fichiers sources ayant permis de réaliser les mises en page présentes dans le répertoire « Images des cartes » (\*.tab)

Ce CD-Rom contient notamment : la carte géologique vectorisée et renseignée, les points du réseau de suivi renseignés par les résultats des campagnes d'analyses MES, les grilles des levers spectrométriques du secteur, les contours des sous-bassins versants du Jarlot et du Tromorgant et leur sensibilité à l'érosion, une cartographie des formations superficielles et leur sensibilité à l'érosion...

La mise à disposition de ces données autorisera le croisement et l'enrichissement ultérieur avec des données acquises par d'autres couches d'information utiles (topographique, morphologique, météorologique, hydrologiques, modélisations diverses).

## Conclusion

Ce rapport constitue une synthèse des données acquises dans le cadre du projet « Aide à la gestion des transports de sédiments et de polluants - Bassins versants des rivières de Morlaix ».

Au cours de la dernière année, plusieurs travaux ont été menés en parallèle :

- la gestion d'un réseau de suivi des transports solides sur les rivières Jarlot, Tromorgant et Queffleuth,
- la réalisation d'une grande campagne de prélèvements, en octobre 2002, à objectifs variés (potentialité au dépôt des particules, origine géologique des dépôts, transport polluant et origine...),
- une cartographie multicritères de sensibilité des sous-bassins versants du Jarlot et du Tromorgant à l'érosion,
- une cartographie détaillée, sur 5 sous-bassins versants, des formations superficielles et de leur influence sur l'apport de particules solides aux cours d'eau.

L'interprétation des données acquises dans le cadre du projet permet d'argumenter les actions à mettre en œuvre pour lutter contre les apports solides dans les rivières et pour réagir face aux pollutions azotées dans les eaux superficielles et souterraines.

Afin de réagir face aux apports solides, la séquence chronologique suivante pourra être suivie :

- choix du cours d'eau où les mesures devront être mises en œuvre (le Queffleuth présentant les flux de MES les plus importants, cf. page 19),
- choix du chemin privilégié vis à vis des apports (cf. figure 11 page 18),
- choix d'un sous-bassin versant sensible à l'érosion (cf. figure 27 page 62),
- choix d'un secteur à géologie et formations superficielles sensibles (cf. figure 32 page 76),
- identification de chemins agricoles perpendiculaires au cours d'eau et/ou labours dans le sens de plus grande pente favorisant le drainage de l'érosion de ruissellement (cf. pages 75 et 77),
- confirmation du lieu de l'apport avec un réseau de suivi dense amont/aval (mesures instantanées de turbidité et calculs des teneurs en MES, cf. tableau 9 page 20),
- mise en place d'actions permettant de réduire l'apport solide (changement du sens du labourage, boisement d'ouvertures de champs et des chemins agricoles sensibles...).

Afin de réagir face aux pollutions azotées, la séquence chronologique suivante pourra être suivie :

- identification du secteur pollué (eaux superficielles et/ou eaux souterraines),
- repérage des sources potentielles de pollution,
- contexte hydrogéologique autour de la zone polluée (bassin versant, géologie, sensibilité des sols au ruissellement ou à l'infiltration, sens d'écoulement des nappes et communication avec le cours d'eau...),
- remonter à la source de pollution,
- réduire son influence.

En se basant sur une source non polluée de l'Arguenon (Côtes d'Armor), les premières analyses isotopiques réalisées sur les bassins versants des rivières de Morlaix ont montré (cf. chapitre 3.4. pages 56-57) que la source de pollution du forage F27 semble être l'épandage de lisiers porcins, que pour le Queffleuth il s'agit des engrais minéraux, et pour le Jarlot et le Tromorgant les apports de déjections animales (volailles et porcs) sont majoritaires.

Cependant, des études complémentaires permettraient d'approfondir les connaissances acquises :

- analyses des éléments rares dans les sédiments de fond de rivière (minéraux accessoires et/ou minéraux lourds) afin de pouvoir distinguer la provenance particulière de telle ou telle espèce minérale,
- prolongement des analyses isotopiques (cf. page 57) afin d'affiner la localisation et l'impact des différentes sources de pollutions azotées,
- étude de télédétection et classement des sols nus (cf. page 78) pour donner un aperçu régional des secteurs les plus sensibles à une érosion de ruissellement.

## Bibliographie

LEBORGNE T., TALBO H. (2000) - Aide à la gestion des transports de sédiments et de polluants - Bassins versants des rivières de Morlaix - Rapport d'étape de l'année 1 - Note BRGM BRE n°00.13

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

WIDORY D., CHERY L., MOUGIN B., TALBO H., BONNIN J., PLANCARD D., ROCHDI-GHANDOUR H. (2001) - Traçage isotopique des sources de nitrates dans les eaux souterraines : cas du bassin de l'Arguenon (Côtes-d'Armor) - Rapport BRGM/RP-51091-FR, 123 p., 28 fig., 6 tabl., 5 annexes

BARTH S. (1993) - Boron isotope variations in nature : a synthesis, *Geol Rundsch*, 82, 640-651

CANTANZARO E.J., Champion, C.E., Garner, E.L., Marienko, O., Sappenfield, K.M., et Shields, W.R. (1970) - Boric acid, isotopic and assay standard reference materials, 260-17, U.S. National Bureau of Standards

JUNK G. et Svec H.J. (1958) - The absolute abundance of the nitrogen isotopes in the atmosphere and compressed gas from various sources, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 14, 234-243

KREITLER C.W. (1975) - *Determining the sources of nitrate in groundwater by nitrogen isotopes studies*, Thèse, University of Texas, Austin

MARIOTTI A. (1986) - La dénitrification dans les eaux souterraines, principes et méthodes de son identification : une revue, *Journal of Hydrology*, 88, 1-23

MARIOTTI A., Landreau A., et Simon B. (1988) -  $^{15}\text{N}$  isotope biogeochemistry and natural denitrification process in groundwater : Application to the chalk aquifer of northern France, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 1869-1878

MOSSADIK H. (1997) - Les isotopes du bore, traceurs naturels dans les eaux : mise au point de l'analyse en spectrométrie de masse à source solide et applications à différents environnements, Thèse, Université d'Orléans

STUMM W. et Morgan J.J. (1981) - *Aquatic chemistry-An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters*, Wiley-interscience

## **Annexe 1**

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

27-28 mai 2002  
25-26 juillet 2002  
22 octobre 2002

Gestion des apports sédiments et polluants - BV rivières Morlaix

Jarlot

Lieu	Date	Heure	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)
B	28/05/2002	10h40	9.7	7		38
A'	28/05/2002	11h10	16.7	18		-
A1	28/05/2002	11h00	31.7	29		-
D'	28/05/2002	10h20	8.6	8		187
D	28/05/2002	10h20	8.2	14		105
D2	28/05/2002	10h20	6.9	9		82
G2	28/05/2002	10h00	7.2	6		135
G5	28/05/2002	9h30	7.2	8		206
G	28/05/2002	9h35	7.7	7		305
H	28/05/2002	9h40	8.4	8		511
J	28/05/2002	9h10	11.2	23	627	

Tromorgant

Lieu	Date	Heure	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)
A'	28/05/2002	11h25	16.9	15		32
D	28/05/2002	12h05	11.2	7		156
D1	28/05/2002	12h10	4.8	4		11.4
E	28/05/2002	11h50	11.3	7		167.4
F	28/05/2002	11h40	10.6	8		185
E2	28/05/2002	11h35	11.1	9		17.6
K	28/05/2002	14h30	50.0	12		398.9
L	28/05/2002	14h25	15.5	13		470.2
K2	28/05/2002	14h20	27.1	23		71.3
M	28/05/2002	15h00	36.0	28	525	

Queffleuth

Lieu	Date	Heure	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)
A	27/05/2002	16h10	8.8	9		
B	27/05/2002	16h10	15.2	15		
C	27/05/2002	16h00	14.4	10	1110	
D	27/05/2002	14h45	22.4	24		
E	27/05/2002	14h40	36.7	53		
F	27/05/2002	14h30	24.7	32		
G	27/05/2002	15h40	11.6	12		
H	27/05/2002	15h15	27.2	34		
I	27/05/2002	15h15	56.5	19		
J	27/05/2002	15h00	43.3	58		
K	27/05/2002	14h15	50.0	37		
L	27/05/2002	13h55	44.6	53		
M	27/05/2002	13h40	48.3	58		
N	27/05/2002	13h35	21.3	31		
O	27/05/2002	13h20	52.4	77	3510	

Tabl. 2 - Résultats du réseau de suivi lors de la campagne des 27-28/05/2002

## Jarlot

Lieu	Date	Heure	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)
B	26/07/2002	14h10	6.6	5		14
A'	26/07/2002	15h00	4.6	3		-
A1	26/07/2002	15h30	14.7	6		-
D'	26/07/2002	16h00	6.0	12		71
D	26/07/2002	16h25	4.1	23		40
D2	26/07/2002	17h05	6.7	14		31
G2	26/07/2002	17h45	3.5	4		52
G5	26/07/2002	18h00	6.0	3		79
G	26/07/2002	18h10	4.0	5		117
H	26/07/2002	18h25	2.5	4		196
J	26/07/2002	18h55	13.3	7	240	

## Tromorgant

Lieu	Date	Heure	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)
A'	26/07/2002	8h45	73.2	28		10.6
D	26/07/2002	9h40	5.4	6		51.7
D1	26/07/2002	10h00	2.9	5		3.8
E	26/07/2002	10h25	4.0	3		55.5
F	26/07/2002	10h55	3.2	4		61.3
E2	26/07/2002	11h10	17.9	31		5.8
K	26/07/2002	11h45	11.5	23		132.2
L	26/07/2002	11h50	8.6	6		155.8
K2	26/07/2002	11h55	30.3	25		23.6
M	26/07/2002	12h25	19.4	7	174	

## Queffleuth

Lieu	Date	Heure	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)
A	25/07/2002	17h05	1.6	<2		
B	25/07/2002	17h00	5.5	8		
C	25/07/2002	16h55	3.7	22	192	
D	25/07/2002	15h10	2.4	3		
E	25/07/2002	15h05	4.0	2		
F	25/07/2002	15h00	1.6	3		
G	25/07/2002	16h30	3.8	<2		
H	25/07/2002	15h40	2.7	3		
I	25/07/2002	15h35	3.1	7		
J	25/07/2002	15h20	5.2	<2		
K	25/07/2002	14h35	4.0	3		
L	25/07/2002	14h25	2.5	<2		
M	25/07/2002	14h10	2.0	<2		
N	25/07/2002	14h15	3.6	<2		
O	25/07/2002	14h10	3.0	2	447	

Tabl. 3 - Résultats du réseau de suivi lors de la campagne des 25-26/07/2002

## Jarlot

Lieu	Date	Heure	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)
B	22/10/2002	16h05	23.6	22		46
A'	22/10/2002	16h30	12.5	14		-
A1	22/10/2002	16h25	11.0	3		-
D'	22/10/2002	15h20	27.5	34		228
D	22/10/2002	15h20	16.8	19		128
D2	22/10/2002	15h20	18.6	17		100
G2	22/10/2002	15h45	7.3	12		164
G5	22/10/2002	14h40	16.3	22		252
G	22/10/2002	14h40	26.6	24		372
H	22/10/2002	14h40	24.5	27		624
J	22/10/2002	14h00	34.7	35	765	

## Tromorgant

Lieu	Date	Heure	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)
A'	22/10/2002	16h45	64.8	78		34.3
D	22/10/2002	17h35	32.9	45		167
D1	22/10/2002	17h30	9.8	16		12.2
E	22/10/2002	17h20	37.0	50		179.2
F	22/10/2002	17h10	41.2	50		198
E2	22/10/2002	17h05	5.0	6		18.8
K	22/10/2002	18h00	16.7	26		427
L	22/10/2002	18h00	19.9	26		503.4
K2	22/10/2002	18h00	42.2	80		76.3
M	22/10/2002	18h30	12.2	38	562	

## Queffleuth

Lieu	Date	Heure	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	Débit mesuré (l/s)	Débit estimé (l/s)
A	22/10/2002	12h05	30.1	55		
B	22/10/2002	12h05	34.9	54		
C	22/10/2002	12h00	40.6	47	944	
D	22/10/2002	11h05	85.6	40		
E	22/10/2002	11h00	40.5	49		
F	22/10/2002	10h50	46.1	36		
G	22/10/2002	12h30	33.6	33		
H	22/10/2002	11h40	36.0	35		
I	22/10/2002	11h35	62.2	58		
J	22/10/2002	11h15	73.3	59		
K	22/10/2002	10h35	83.9	64		
L	22/10/2002	10h25	66.3	76		
M	22/10/2002	10h00	77.0	80		
N	22/10/2002	9h50	2.8	4		
O	22/10/2002	9h30	129.1	142	2630	

Tabl. 4 - Résultats du réseau de suivi lors de la campagne du 22/10/2002

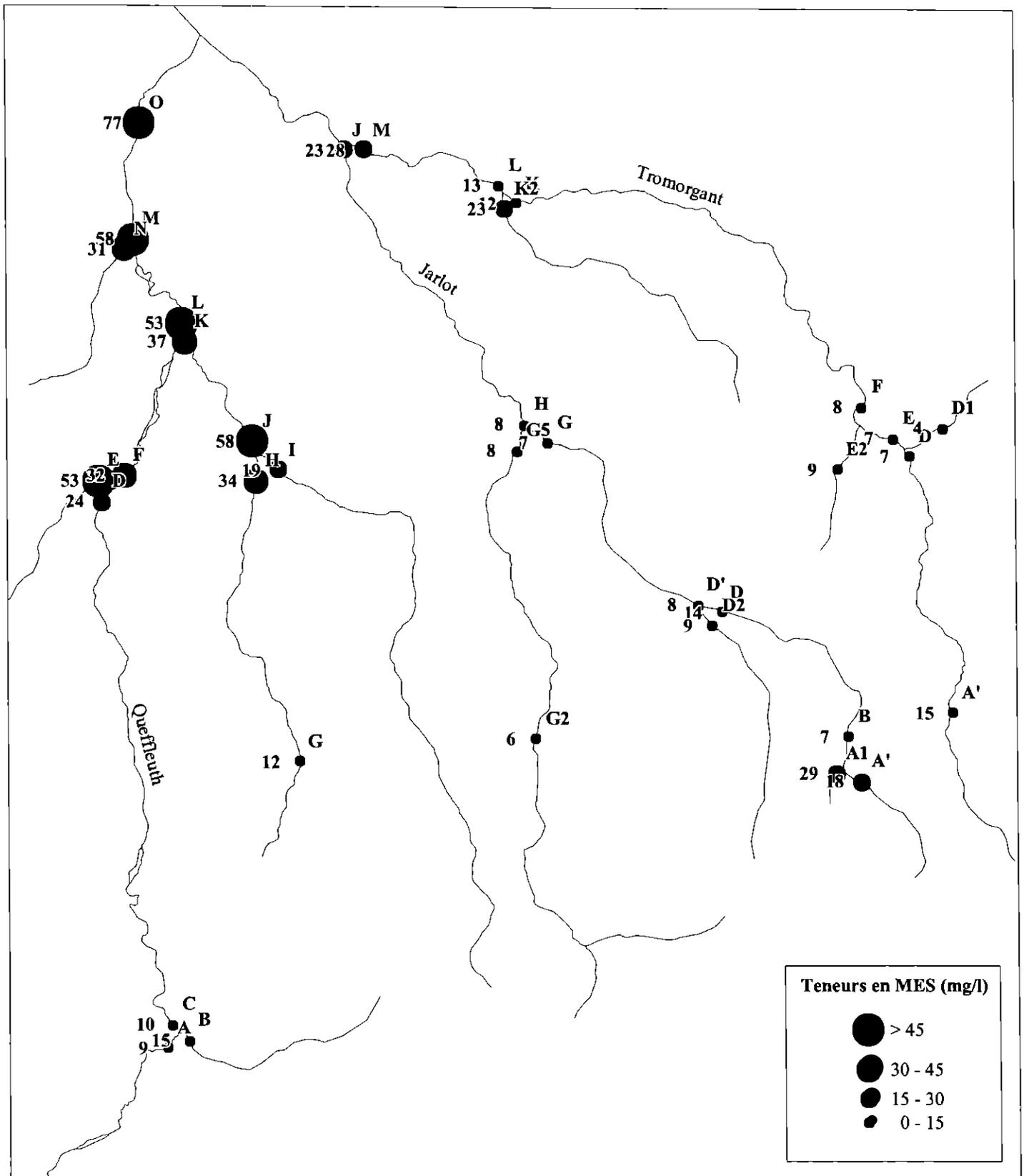


Fig. 2 - Résultats des analyses MES de la campagne des 27-28/05/2002

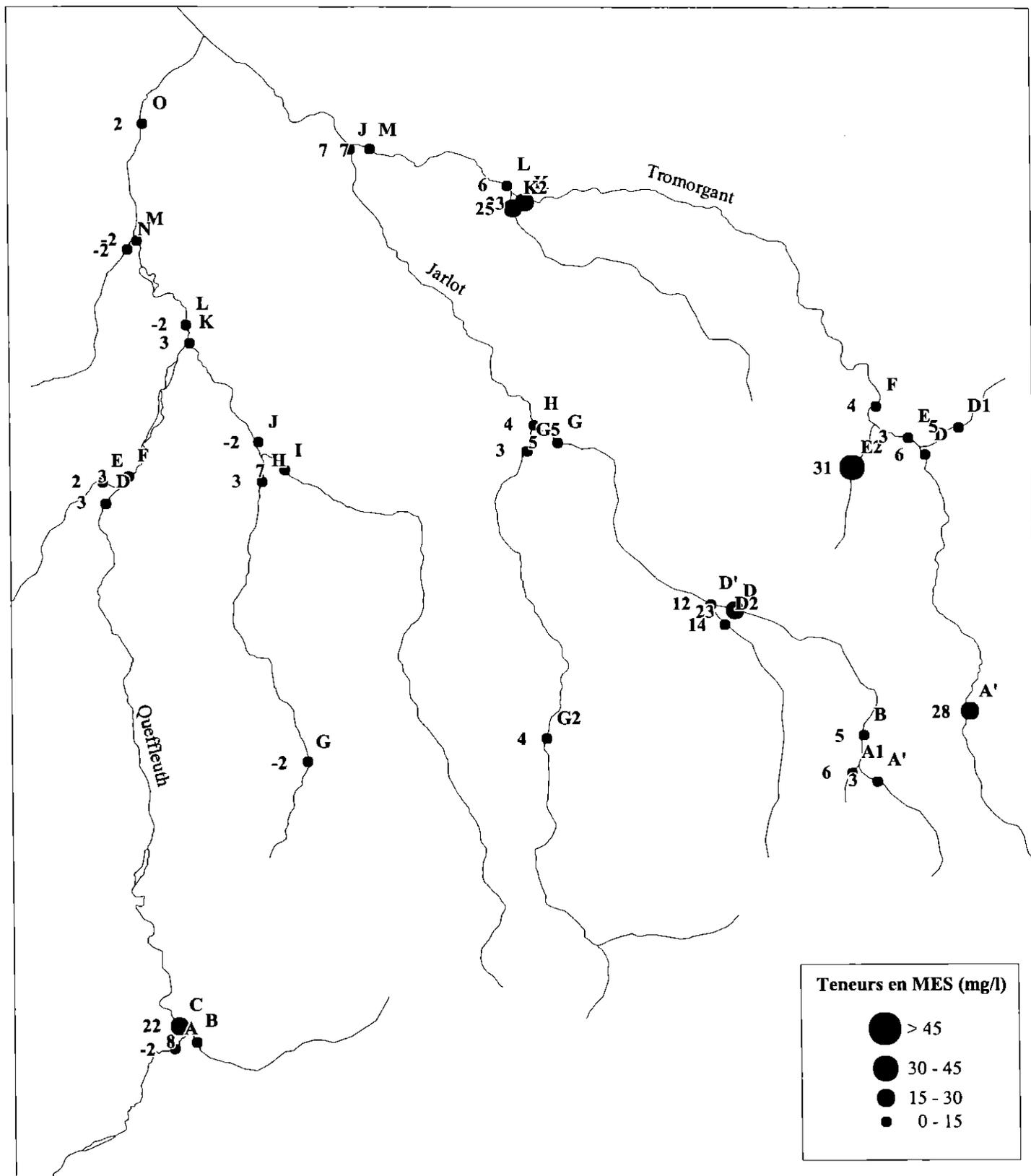


Fig. 3 - Résultats des analyses MES de la campagne des 25-26/07/2002

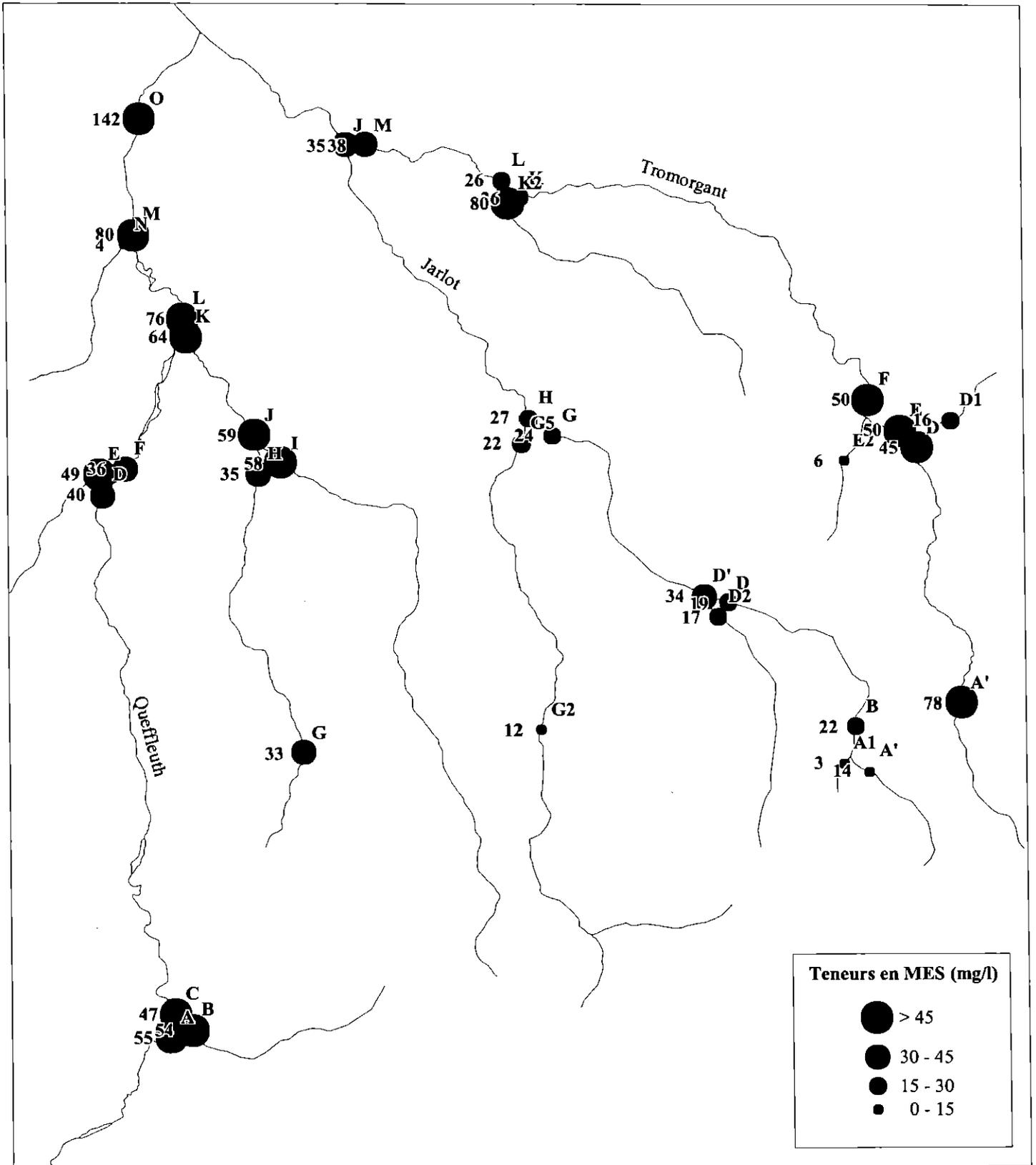


Fig. 4 - Résultats des analyses MES de la campagne du 22/10/2002

## **Annexe 2**

**Rappel des résultats des campagnes de prélèvements du réseau de suivi  
(turbidité, MES, débits)**

28 février -1<sup>er</sup> mars 2001  
26-27 septembre 2001  
19-20 mars 2002

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

Gestion des apports sédiments et polluants - BV rivières Morlaix

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	14.50	13		132
G	26/09/2001	14h35	7.50	12		195
H	26/09/2001	14h20	7.80	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	9.50	30	266	
D	26/09/2001	10h30	8.70	13		
E	26/09/2001	10h25	18.40	22		
F	26/09/2001	10h20	9.40	15		
G	26/09/2001	11h05	7.70	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	21.00	23	810	

Tabl. 6 - 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. 7 - Résultats du réseau de suivi lors de la campagne des 19-20/03/2002

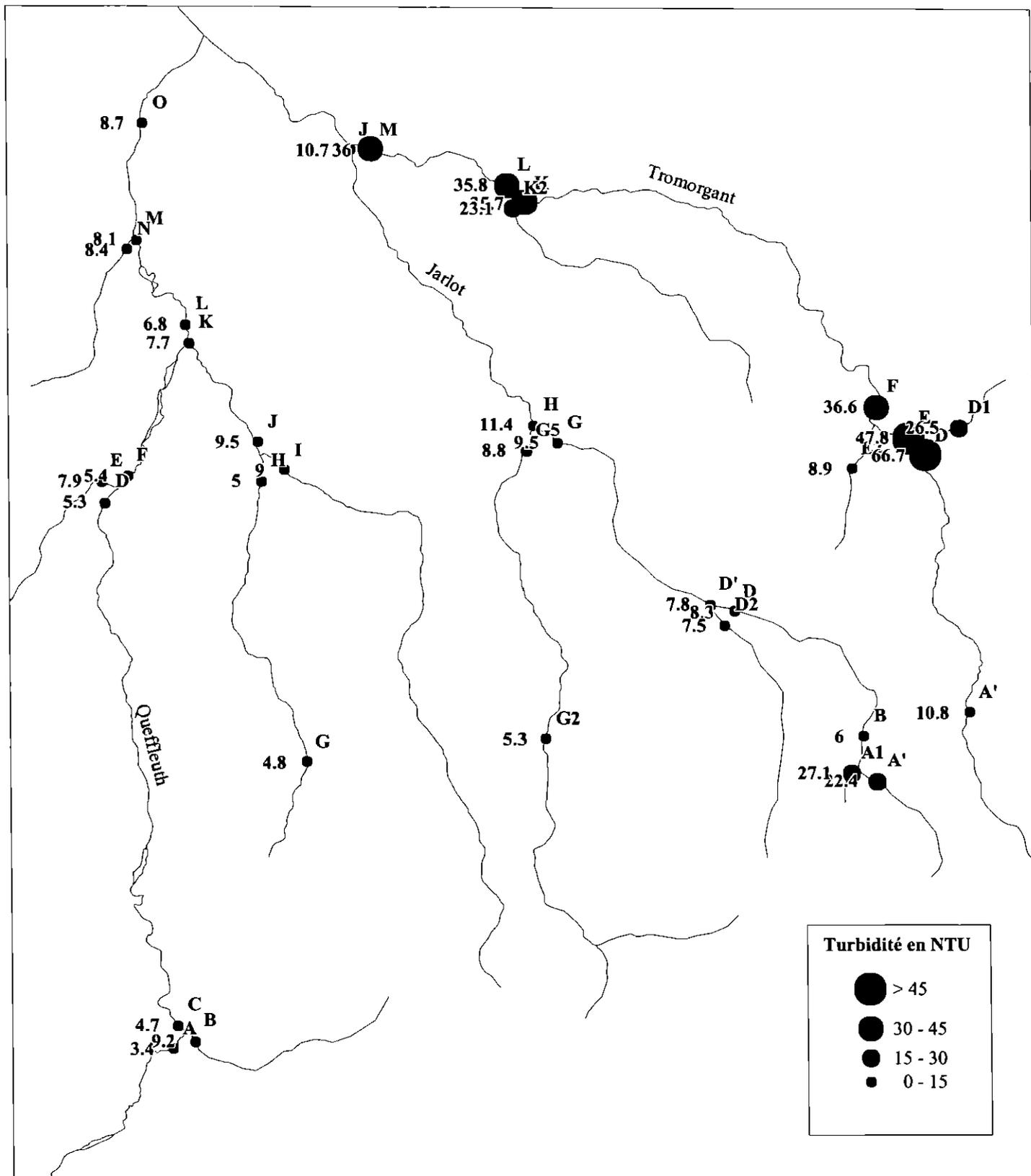


Fig. 5 - Résultats des analyses turbidité de la campagne des 28/02-01/03/2001

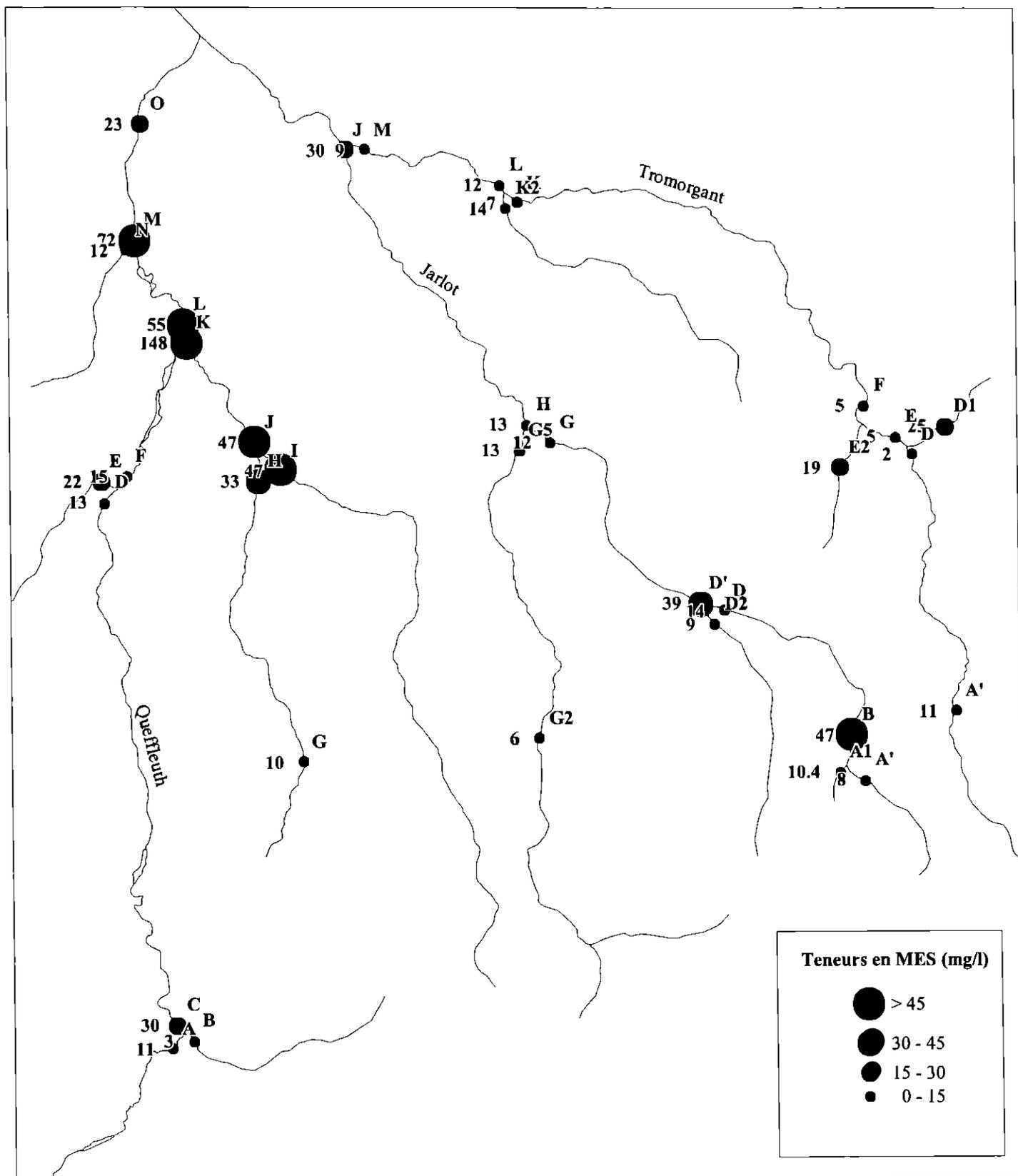


Fig. 6 - Résultats des analyses MES de la campagne des 26-27/09/2001

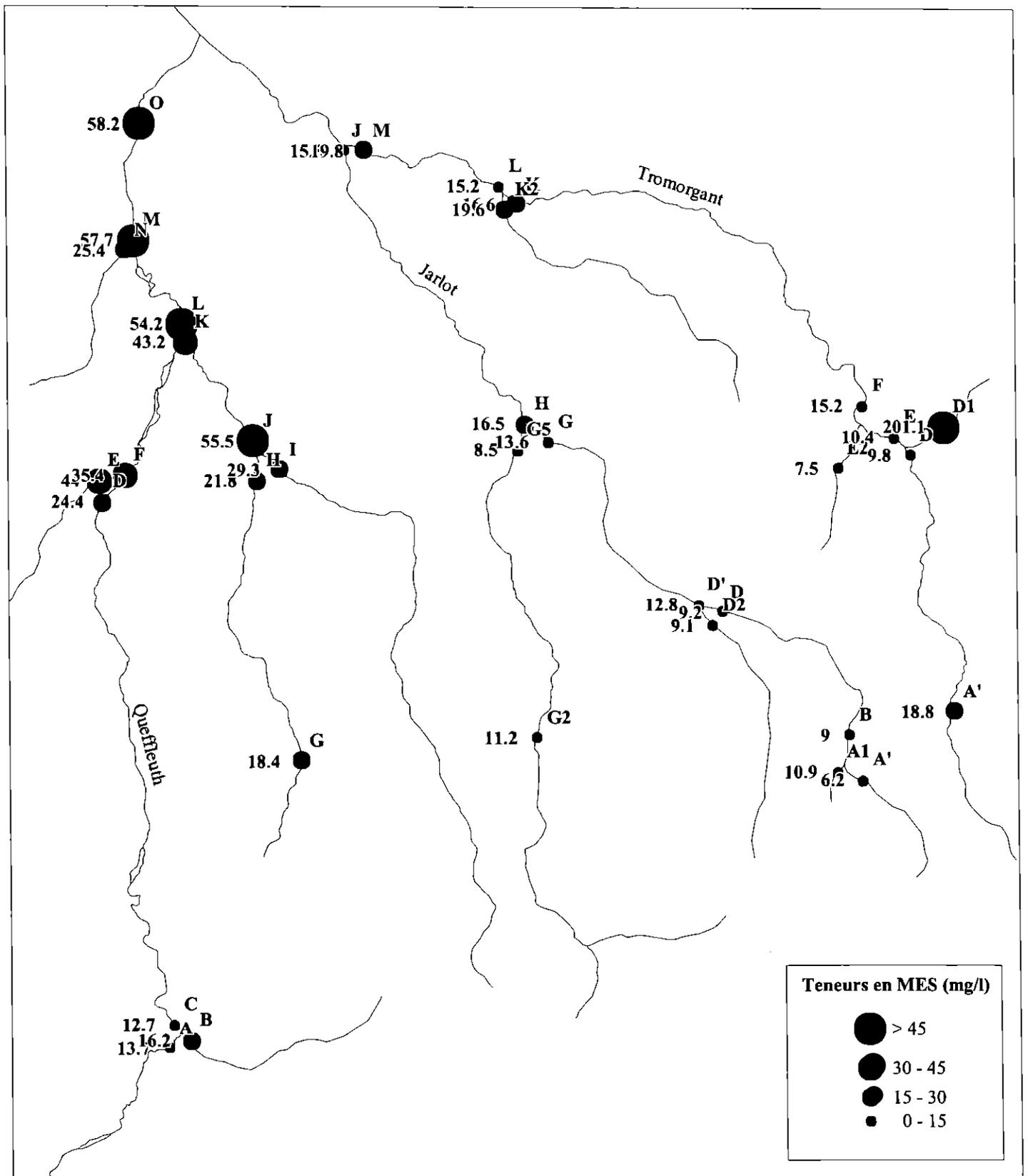


Fig. 7 - Résultats des analyses MES de la campagne des 19-20/03/2002

## **Annexe 3**

**Résultats des analyses granulométriques et micro-granulométriques  
sur les MES et sur les sédiments de fond de rivière**

**22-23 octobre 2002**



**RAPPORT D'ESSAIS 02-1-032-A /**

**Bassin versant rivière de Morlaix**

<b>V/Réf. :</b>	<b>A l'attention de :</b> MOUGIN Bruno
<b>Informations sur le(s) échantillon(s) :</b>	EAU/GRI
- Date de réception : 31/10/2002	BRGM Direction de l'EAU 3, av Claude Guillemin B.P. 6009
- Nombre: 10	45060 ORLEANS CEDEX 02 France
- Nature : Sédiments	
- Auteur prélèvement: non communiqué	<b>Télécopie n°</b>

Nom du laboratoire	Responsable du laboratoire
Laboratoire de préparation et essais physico-chimiques sur roches et minéraux	H.HAAS

Résultats validés le par

**Gérard HUGUES**

**qualifié(es) pour l'essai**

Visé le 06-DEC-2002 par

**David DESSANDIER**

**Responsable de l'Unité Caractérisation Minérale**

Nbr pages :

**B**

**Note importante :**

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.

La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Sauf demande expresse du donneur d'ordre, les échantillons sont détruits 1 an après la date d'envoi de ce rapport.



---

Origine des échantillons : Bassin versant rivière de Morlaix

Identification des échantillons :

- |                  |             |                 |
|------------------|-------------|-----------------|
| - Tromorgant A', | - Jarlot B, | - Queffleuth F, |
| - Tromorgant F,  | - Jarlot H, | - Queffleuth J, |
| - Tromorgant M,  | - Jarlot J, | - Queffleuth M, |
|                  |             | - Queffleuth O, |

---

Nature des Essais et documents de référence :

- Analyse micro-granulométrique par diffractométrie laser dans la gamme 1-600  $\mu\text{m}$  sur appareil CILAS HR 850

---

Observations :

---

## **RESULTATS DES ANALYSES**

### **1 - PREPARATION DES ECHANTILLONS**

Les échantillons ont été réceptionnés au laboratoire sous la forme de 10 litre d'eau légèrement chargée en sédiments. Afin de concentrer les sédiments, une période de repos d'une semaine a permis de faire sédimenter les particules, une partie de l'eau a ensuite été extraite par soutirage, et le restant par centrifugation, pour obtenir un concentré final d'environ 200 cc.

Avant analyse, les échantillons sont dispersés avec un défloculant (Hexamétaphosphate de sodium) à raison de 0,05 g/l. L'ensemble est mis en agitation durant 12 heures et tamisé sur un tamis d'ouverture 500  $\mu\text{m}$ . La fraction supérieure à 500  $\mu\text{m}$  a été séchée et pesée, la fraction inférieure utilisé en l'état pour l'analyse micro-granulométrique.

Enfin, pour compléter cette préparation, un passage de 15 secondes aux ultrasons est effectuée dans le bac de mélange du granulomètre avant analyse de l'échantillon..



## 2 - RESULTATS DES ANALYSES

### BILAN DES COUPURES A 500µm

Le tamisage en voie humide à 500µm n'a révélé qu'une très faible fraction de taille supérieure : moins de 0,1 g sauf pour l'échantillon Queffleuth O, pour lequel cette masse est de 0,15 g.

Il n'a pas été possible de définir la proportion exacte de la fraction supérieure à 500 µm par rapport à la totalité des sédiments échantillonnés.

Il aurait fallu, pour cela, effectuer un séchage complet de l'échantillon qui aurait nui à la qualité de l'analyse micro-granulométrique.

La quantité de sédiments récupérée dans chaque échantillon est estimée à plusieurs grammes.

### RESULTATS DES ANALYSES MICRO-GRANULOMETRIQUES

Les résultats complets sous forme de données numériques et graphiques sont présentés dans les pages suivantes.



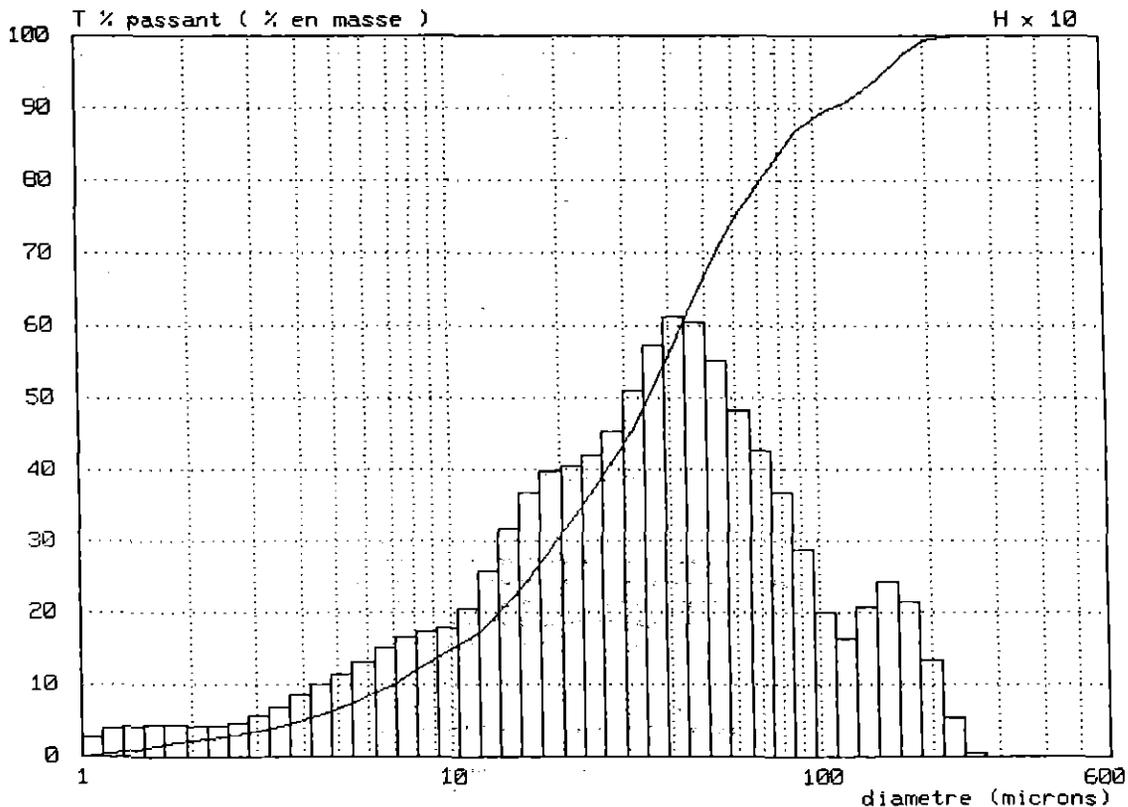
**ANALYSE GRANULOMETRIQUE LASER - Résultats numériques et graphiques**

Références échantillon : **TROMORGANT A'**

Cilas - Alcatel

Granulometre HR 850 232

Echantillon : TROMORGANT A' 16h45      Resultat numero 1  
 Densite : 2.70  
 Liquide Porteur :  
 Dispersant :  
 Duree d'ultrasons : 15 s  
 Commentaire : Bas. vers. riviere Morlaix



Diametre median : 35.17 microns  
 Diametre a T = 25 % : 16.60 microns      et T = 75 % : 61.45 microns  
 Surface specifique : 1461 cm<sup>2</sup>/g  
 200 < Concentration < 400 : 232

D	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.6	3.0	3.5
T%	0.0	0.5	0.9	1.4	1.8	2.1	2.4	2.9	3.4	4.1
D	4.0	4.5	5.0	5.5	6.3	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0
T%	4.9	5.8	6.6	7.5	8.8	10.0	11.8	13.3	14.7	17.3
D	15.0	18.0	20.0	22.0	25.0	28.0	32.0	36.0	40.0	45.0
T%	22.0	27.4	30.6	33.6	37.5	41.2	46.0	51.0	55.9	61.6
D	50.0	56.0	63.0	75.0	90.0	106.0	125.0	150.0	175.0	200.0
T%	66.6	71.5	75.9	81.6	86.8	89.6	91.1	94.2	97.5	99.3
D	225.0	250.0	280.0	315.0	355.0	400.0	450.0	500.0	560.0	600.0
T%	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Mesure effectuee par : G. HUGUES  
 societe : B.R.G.M      a : ORLEANS  
 le : 25/10/02      14:16:47



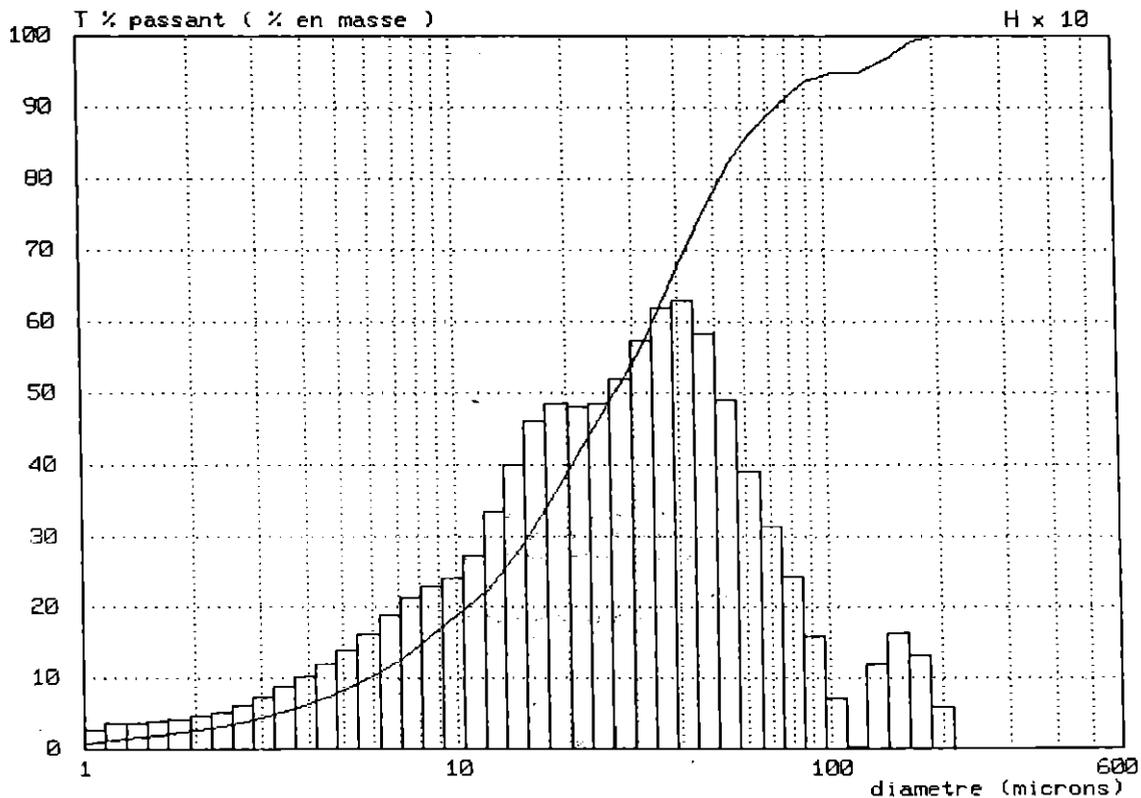
ANALYSE GRANULOMETRIQUE LASER - Résultats numériques et graphiques

Références échantillon : TROMORGANT F

Cilas - Alcatel

Granulometre HR 850 232

Echantillon : TROMORGANT F 17h10 Resultat numero 2  
 Densite : 2.70  
 Liquide Porteur :  
 Dispersant :  
 Duree d'ultrasons : 15 s  
 Commentaire : Bas. vers. riviere Morlaix



Diametre median : 27.12 microns  
 Diametre a T = 25 % : 13.35 microns et T = 75 % : 46.73 microns  
 Surface specifique : 1843 cm2/g  
 200 < Concentration < 400 : 237

D	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.6	3.0	3.5
T%	0.6	1.1	1.5	1.9	2.3	2.6	2.9	3.6	4.3	5.2
D	4.0	4.5	5.0	5.5	6.3	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0
T%	6.2	7.2	8.3	9.3	11.0	12.5	14.7	16.7	18.6	22.1
D	15.0	18.0	20.0	22.0	25.0	28.0	32.0	36.0	40.0	45.0
T%	28.1	34.9	38.9	42.4	47.0	51.2	56.7	62.2	67.5	73.3
D	50.0	56.0	63.0	75.0	90.0	106.0	125.0	150.0	175.0	200.0
T%	78.1	82.5	86.1	90.3	93.7	94.8	94.8	96.8	99.2	100.0
D	225.0	250.0	280.0	315.0	355.0	400.0	450.0	500.0	560.0	600.0
T%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Mesure effectuee par : G. HUGUES  
 societe : B.R.G.M a : ORLEANS  
 le : 25/10/02 14:23:01



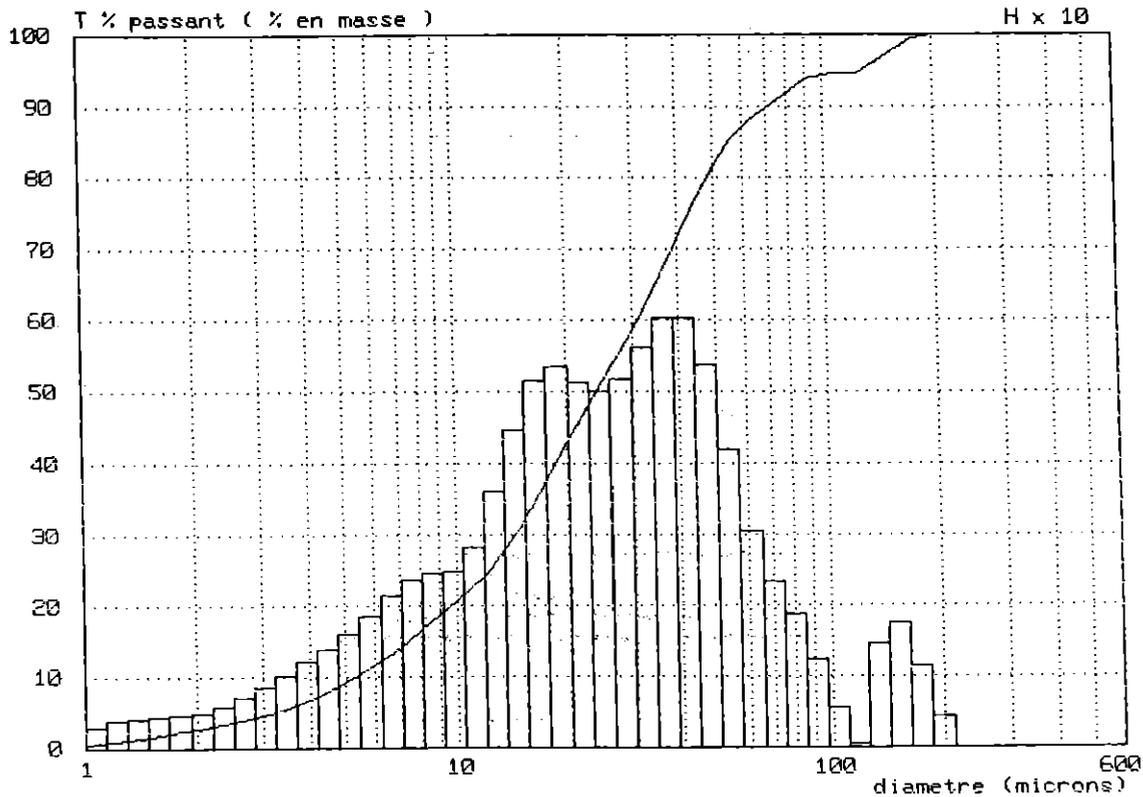
ANALYSE GRANULOMETRIQUE LASER - Résultats numériques et graphiques

Références échantillon : TROMORGANT M

Cilas - Alcatel

Granulometre HR 850 232

Echantillon : TROMORGANT M 18h30 Resultat numero 4  
 Densite : 2.70  
 Liquide Porteur :  
 Dispersant :  
 Duree d'ultrasons : 15 s  
 Commentaire : Bas. vers. riviere Morlaix



Diametre median : 24.08 microns  
 Diametre a T = 25 % : 12.31 microns et T = 75 % : 43.05 microns  
 Surface specifique : 1937 cm<sup>2</sup>/g  
 200 < Concentration < 400 : 242

D	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.6	3.0	3.5
T%	0.5	1.0	1.5	1.9	2.3	2.7	3.0	3.7	4.5	5.6
D	4.0	4.5	5.0	5.5	6.3	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0
T%	6.8	8.0	9.2	10.4	12.3	14.1	16.5	19.7	20.7	24.2
D	15.0	18.0	20.0	22.0	25.0	28.0	32.0	36.0	40.0	45.0
T%	30.9	38.5	42.8	46.6	51.4	55.6	61.1	66.5	71.5	77.1
D	50.0	56.0	63.0	75.0	90.0	106.0	125.0	150.0	175.0	200.0
T%	81.5	85.3	88.1	91.1	93.9	94.6	94.6	97.4	99.6	100.0
D	225.0	250.0	280.0	315.0	355.0	400.0	450.0	500.0	560.0	600.0
T%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Mesure effectuee par : G. HUGUES  
 societe : B.R.G.M a : ORLEANS  
 le : 25/10/02 14:30:37



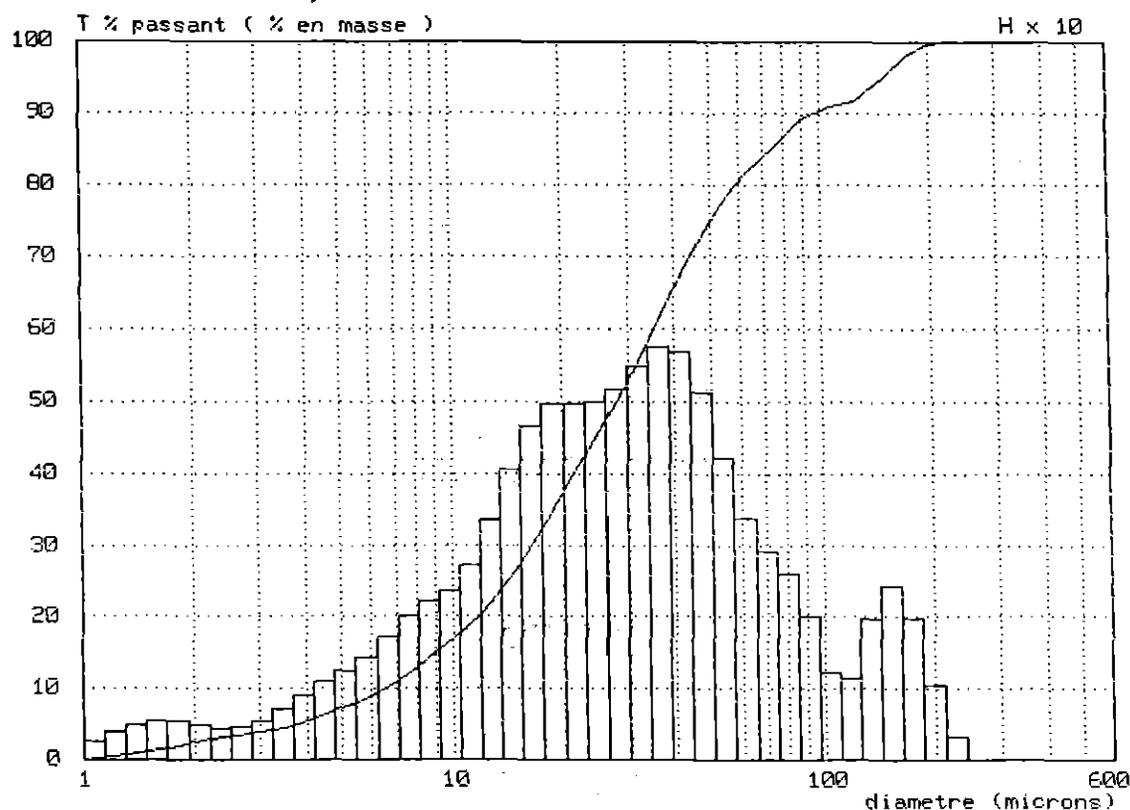
ANALYSE GRANULOMETRIQUE LASER - Résultats numériques et graphiques

Références échantillon : JARLOT B

Cilas - Alcatel

Granulometre HR 050 232

Echantillon : JARLOT B 16h05 Resultat numero 5  
 Densite : 2.70  
 Liquide Porteur :  
 Dispersant :  
 Duree d'ultrasons : 15 s  
 Commentaire : Bas. vers. riviere Morlaix



Diametre median : 27.95 microns  
 Diametre a T = 25 % : 14.24 microns et T = 75 % : 50.24 microns  
 Surface specifique : 1624 cm2/g  
 200 < Concentration < 400 : 214

D	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.6	3.0	3.5
T%	0.0	0.4	0.9	1.5	2.0	2.4	2.7	3.3	3.7	4.4
D	4.0	4.5	5.0	5.5	6.3	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0
T%	5.3	6.2	7.2	8.1	9.6	10.9	13.0	15.0	16.8	20.3
D	15.0	18.0	20.0	22.0	25.0	28.0	32.0	36.0	40.0	45.0
T%	26.4	33.2	37.3	40.9	45.8	50.1	55.5	60.7	65.4	70.7
D	50.0	56.0	63.0	75.0	90.0	106.0	125.0	150.0	175.0	200.0
T%	74.8	78.6	81.7	85.5	89.3	91.1	91.7	95.0	98.3	99.7
D	225.0	250.0	280.0	315.0	355.0	400.0	450.0	500.0	560.0	600.0
T%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Mesure effectuee par : G. HUGUES  
 societe : B.R.G.M a : ORLEANS  
 le : 25/10/02 14:37:19



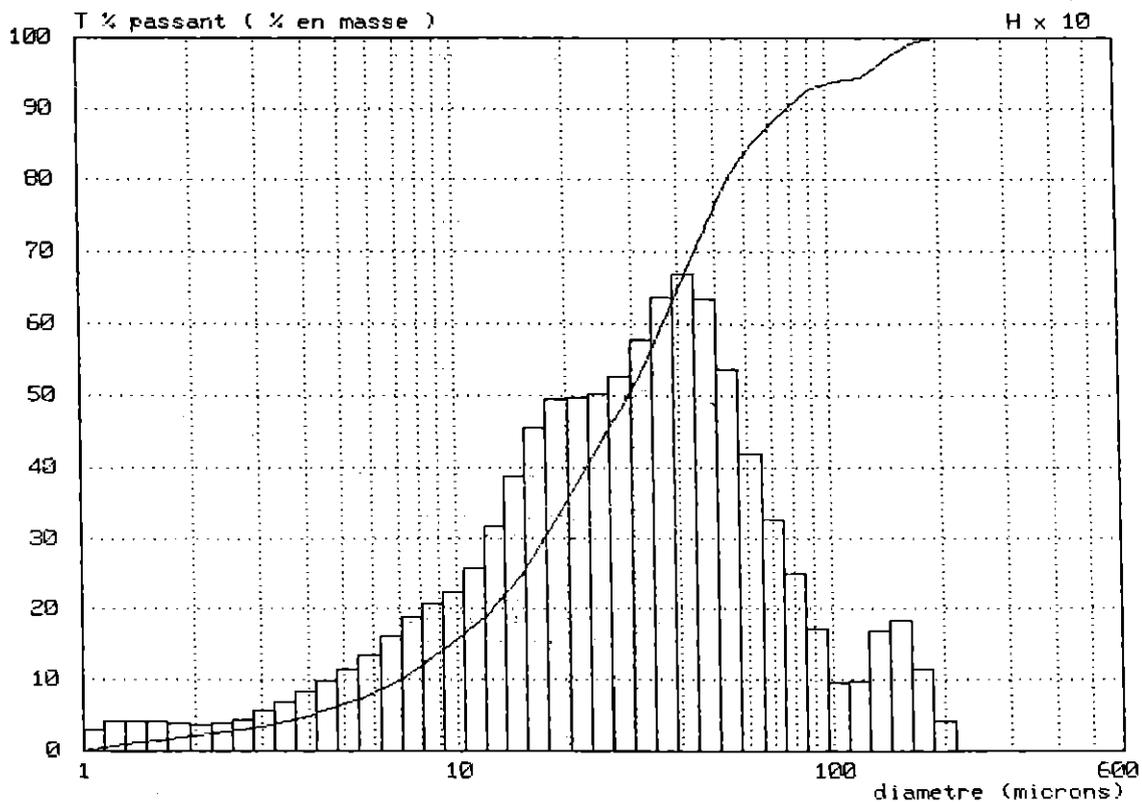
ANALYSE GRANULOMETRIQUE LASER - Résultats numériques et graphiques

Références échantillon : JARLOT H

Cilas - Alcatel

Granulometre HR 850 232

Echantillon : JARLOT H 14h40 Resultat numero 6  
 Densite : 2.70  
 Liquide Porteur :  
 Dispersant :  
 Duree d'ultrasons : 15 s  
 Commentaire : Bas. vers. riviere Morlaix



Diametre median : 29.31 microns  
 Diametre a T = 25 % : 15.18 microns et T = 75 % : 48.93 microns  
 Surface specifique : 1559 cm<sup>2</sup>/g  
 200 < Concentration < 400 : 232

D	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.6	3.0	3.5
T%	0.0	0.5	1.0	1.5	1.8	2.1	2.4	2.8	3.3	4.0
D	4.0	4.5	5.0	5.5	6.3	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0
T%	4.8	5.7	6.5	7.3	8.7	10.0	11.9	13.8	15.6	18.9
D	15.0	18.0	20.0	22.0	25.0	28.0	32.0	36.0	40.0	45.0
T%	24.6	31.2	35.3	39.0	43.8	48.1	53.6	59.2	64.6	70.8
D	50.0	56.0	63.0	75.0	90.0	106.0	125.0	150.0	175.0	200.0
T%	76.1	80.9	84.9	89.2	92.7	93.9	94.4	97.5	99.6	100.0
D	225.0	250.0	280.0	315.0	355.0	400.0	450.0	500.0	560.0	600.0
T%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Mesure effectuee par : G. HUGUES  
 societe : B.R.G.M a : ORLEANS  
 le : 25/10/02 14:42:18



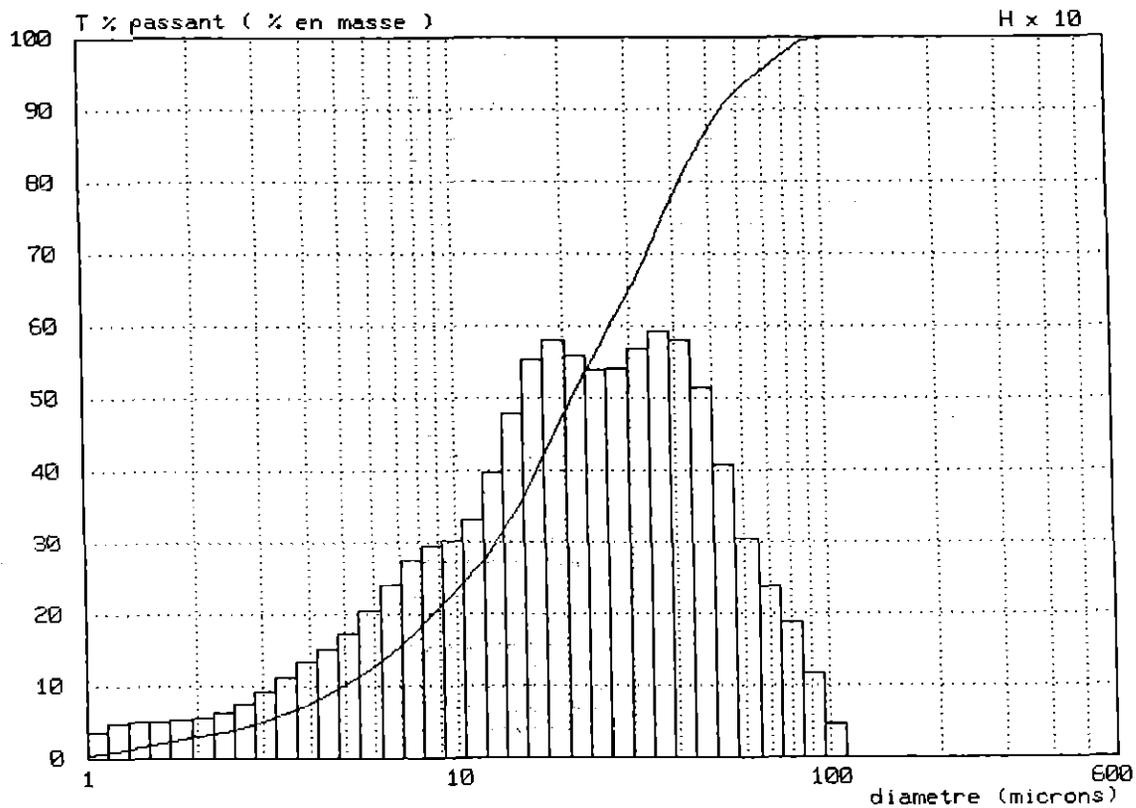
**ANALYSE GRANULOMETRIQUE LASER - Résultats numériques et graphiques**

Références échantillon : JARLOT J

Cilas - Alcatel

Granulometre HR 850 232

Echantillon : JARLOT J 14h00 Resultat numero 9  
 Densite : 2.70  
 Liquide Porteur :  
 Dispersant :  
 Duree d'ultrasons : 15 s  
 Commentaire : Bas. vers. riviere Morlaix



Diametre median : 21.07 microns  
 Diametre a T = 25 % : 10.70 microns et T = 75 % : 37.91 microns  
 Surface specifique : 2105 cm<sup>2</sup>/g  
 200 < Concentration < 400 : 236

D	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.6	3.0	3.5
T%	0.4	1.0	1.6	2.1	2.6	3.0	3.4	4.2	5.0	6.3
D	4.0	4.5	5.0	5.5	6.3	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0
T%	7.6	8.9	10.1	11.4	13.5	15.5	18.3	21.0	23.4	27.7
D	15.0	18.0	20.0	22.0	25.0	28.0	32.0	36.0	40.0	45.0
T%	34.8	43.0	47.7	51.9	57.1	61.6	67.3	72.6	77.5	82.9
D	50.0	56.0	63.0	75.0	90.0	106.0	125.0	150.0	175.0	200.0
T%	87.1	90.7	93.5	96.7	99.4	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
D	225.0	250.0	280.0	315.0	355.0	400.0	450.0	500.0	560.0	600.0
T%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Mesure effectuee par : G. HUGUES  
 societe : B.R.G.M a : ORLEANS  
 le : 25/10/02 14:50:26



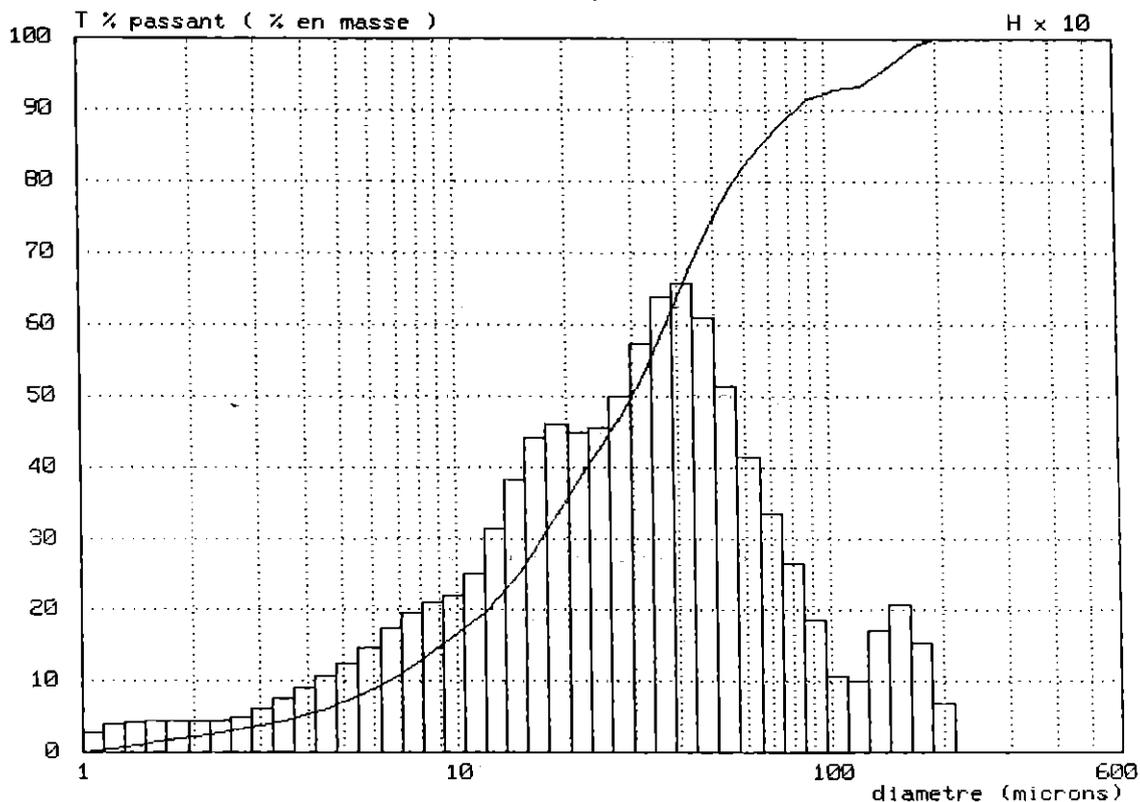
ANALYSE GRANULOMETRIQUE LASER - Résultats numériques et graphiques

Références échantillon : QUEFFLEUTH F

Cilas - Alcatel

Granulometre HR 850 232

Echantillon : QUEFFLEUTH F 10h50 Resultat numero 10  
 Densite : 2.70  
 Liquide Porteur :  
 Dispersant :  
 Duree d'ultrasons : 15 s  
 Commentaire : Bas. vers. riviere Morlaix



Diametre median : 30.04 microns  
 Diametre a T = 25 % : 14.80 microns et T = 75 % : 50.26 microns  
 Surface spécifique : 1585 cm<sup>2</sup>/g  
 200 < Concentration < 400 : 231

D	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.6	3.0	3.5
T%	0.0	0.5	1.0	1.4	1.8	2.2	2.5	3.0	3.5	4.3
D	4.0	4.5	5.0	5.5	6.3	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0
T%	5.2	6.1	7.0	7.9	9.5	10.8	12.9	14.7	16.5	19.7
D	15.0	18.0	20.0	22.0	25.0	28.0	32.0	36.0	40.0	45.0
T%	25.4	31.9	35.6	38.9	43.2	47.1	52.6	58.2	63.7	69.8
D	50.0	56.0	63.0	75.0	90.0	106.0	125.0	150.0	175.0	200.0
T%	74.8	79.4	83.3	87.7	91.4	92.9	93.4	96.3	99.1	100.0
D	225.0	250.0	280.0	315.0	355.0	400.0	450.0	500.0	560.0	600.0
T%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Mesure effectuee par : G. HUGUES  
 societe : B.R.G.M a : ORLEANS  
 le : 25/10/02 14:55:15



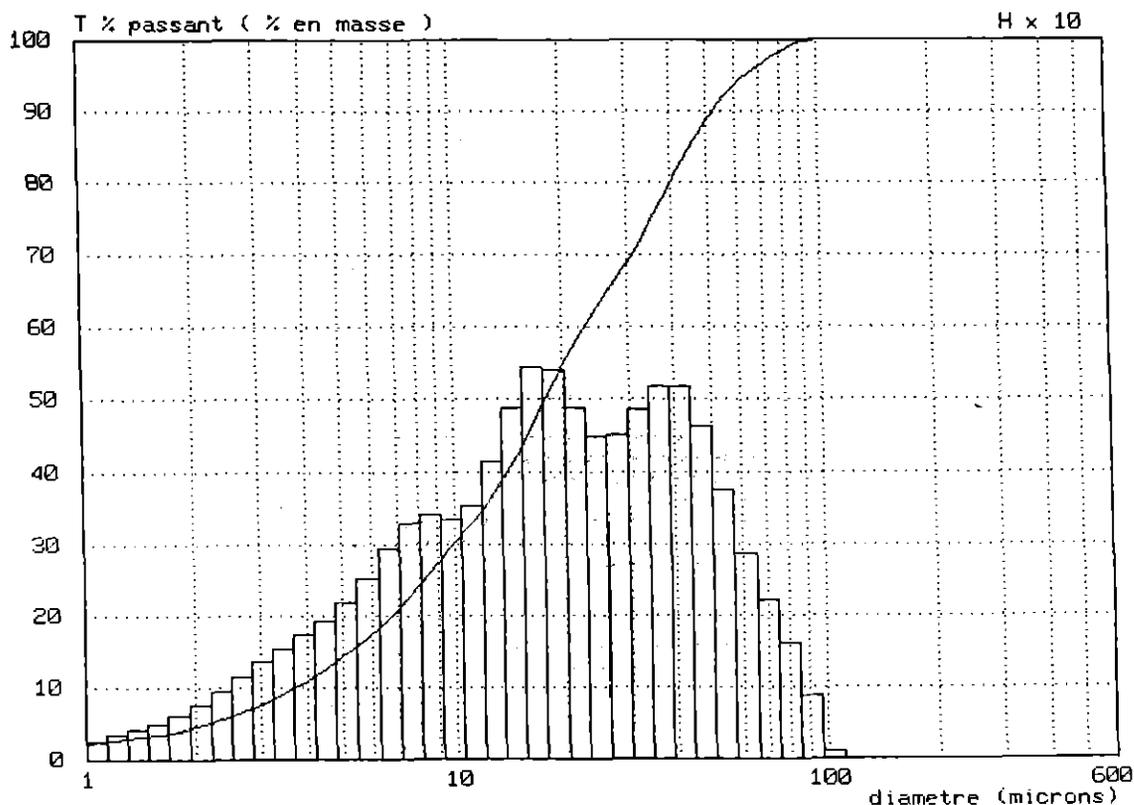
**ANALYSE GRANULOMETRIQUE LASER - Résultats numériques et graphiques**

Références échantillon : QUEFFLEUTH J

Cilas - Alcatel

Granulometre HR 850 232

Echantillon : QUEFFLEUTH J 11h15 Resultat numero 13  
 Densite : 2.70  
 Liquide Porteur :  
 Dispersant :  
 Duree d'ultrasons : 15 s  
 Commentaire : Bas. vers. riviere Morlaix



Diametre median : 17.91 microns  
 Diametre a T = 25 % : 8.20 microns et T = 75 % : 35.43 microns  
 Surface specifique : 2795 cm<sup>2</sup>/g  
 200 < Concentration < 400 : 228

D	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.6	3.0	3.5
T%	2.1	2.6	3.0	3.4	3.9	4.4	5.0	6.2	7.6	9.3
D	4.0	4.5	5.0	5.5	6.3	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0
T%	11.0	12.6	14.3	15.9	18.5	20.9	24.3	27.5	30.2	34.8
D	15.0	18.0	20.0	22.0	25.0	28.0	32.0	36.0	40.0	45.0
T%	42.2	50.2	54.7	58.3	62.6	65.3	71.0	75.6	80.0	84.7
D	50.0	56.0	63.0	75.0	90.0	106.0	125.0	150.0	175.0	200.0
T%	88.5	91.9	94.6	97.5	99.8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
D	225.0	250.0	280.0	315.0	355.0	400.0	450.0	500.0	560.0	600.0
T%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Mesure effectuee par : G. HUGUES  
 societe : B.R.G.M a : ORLEANS  
 le : 25/10/02 15:03:12



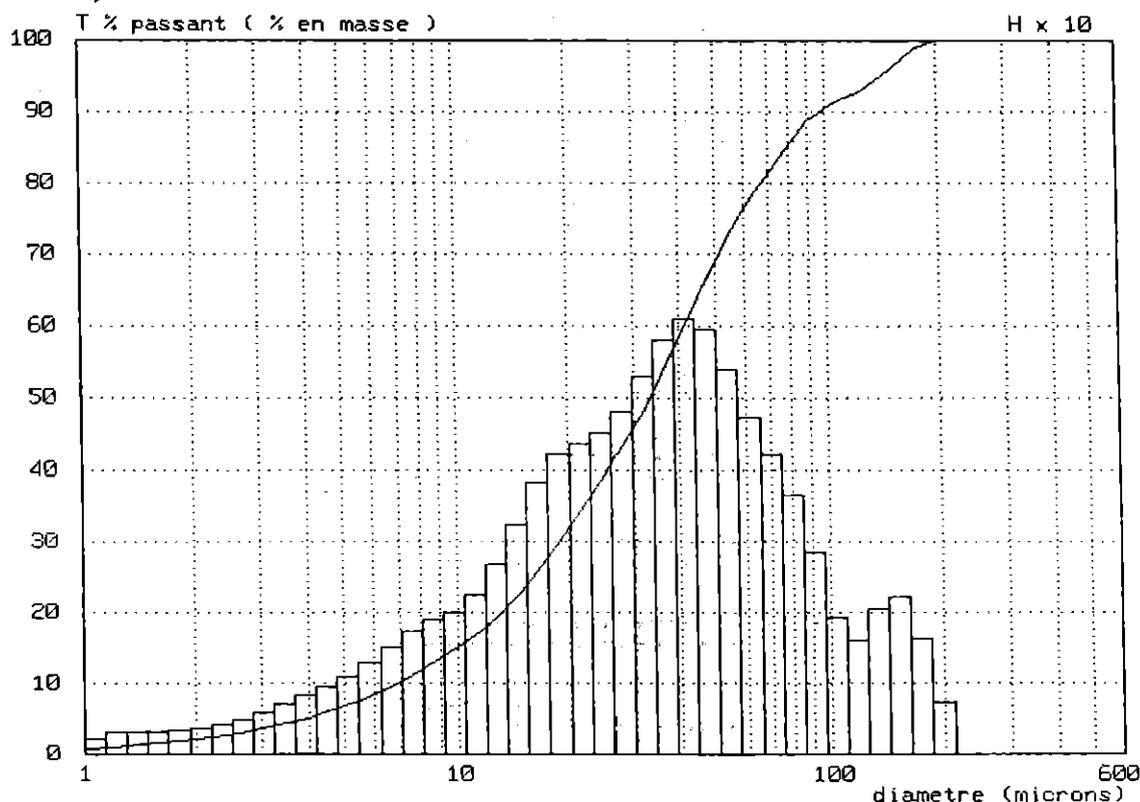
ANALYSE GRANULOMETRIQUE LASER - Résultats numériques et graphiques

Références échantillon : QUEFFLEUTH M

Cilas - Alcatel

Granulometre HR 850 232

Echantillon : QUEFFLEUTH M 10h00 Resultat numero 14  
 Densite : 2.70  
 Liquide Porteur :  
 Dispersant :  
 Duree d'ultrasons : 15 s  
 Commentaire : Bas. vers. riviere Morlaix



Diametre median : 33.23 microns  
 Diametre a T = 25 % : 16.11 microns et T = 75 % : 58.07 microns  
 Surface specifique : 1581 cm2/g  
 200 < Concentration < 400 : 335

D	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.6	3.0	3.5
T%	0.6	1.0	1.3	1.6	1.9	2.2	2.4	3.0	3.5	4.3
D	4.0	4.5	5.0	5.5	6.3	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0
T%	5.1	5.9	6.7	7.5	8.8	10.1	11.8	13.6	15.2	18.1
D	15.0	18.0	20.0	22.0	25.0	28.0	32.0	36.0	40.0	45.0
T%	22.8	28.4	31.9	35.0	39.3	43.3	48.4	53.4	58.3	64.0
D	50.0	56.0	63.0	75.0	90.0	106.0	125.0	150.0	175.0	200.0
T%	68.9	73.7	78.0	83.6	88.8	91.6	92.9	96.2	99.0	100.0
D	225.0	250.0	280.0	315.0	355.0	400.0	450.0	500.0	560.0	600.0
T%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Mesure effectuee par : G. HUGUES  
 societe : B.R.G.M a : ORLEANS  
 le : 25/10/02 15:07:33



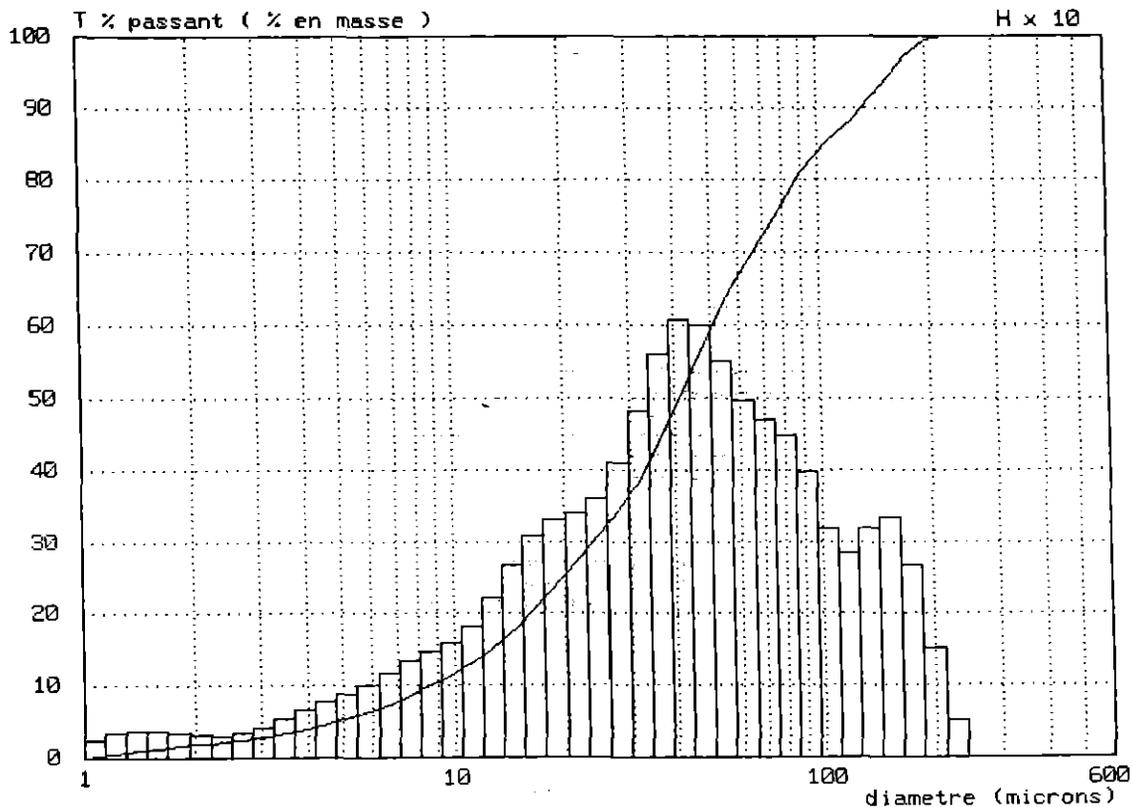
ANALYSE GRANULOMETRIQUE LASER - Résultats numériques et graphiques

Références échantillon : QUEFFLEUTH O

Cilas - Alcatel

Granulometre HR 850 232

Echantillon : QUEFFLEUTH O 9h30 Resultat numero 15  
 Densite : 2.70  
 Liquide Porteur :  
 Dispersant :  
 Duree d'ultrasons : 15 s  
 Commentaire : Bas. vers. riviere Morlaix



Diametre median : 41.35 microns  
 Diametre a T = 25 % : 19.80 microns et T = 75 % : 75.99 microns  
 Surface specifique : 1247 cm2/g  
 200 < Concentration < 400 : 244

D	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.6	3.0	3.5
T%	0.0	0.4	0.8	1.2	1.5	1.8	2.0	2.3	2.7	3.2
D	4.0	4.5	5.0	5.5	6.3	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0
T%	3.9	4.5	5.2	5.8	6.9	7.8	9.2	10.5	11.7	14.0
D	15.0	18.0	20.0	22.0	25.0	28.0	32.0	36.0	40.0	45.0
T%	18.1	22.5	25.3	27.7	31.1	34.3	38.8	43.6	48.4	54.1
D	50.0	56.0	63.0	75.0	90.0	106.0	125.0	150.0	175.0	200.0
T%	59.0	63.9	68.4	74.5	81.0	85.4	88.4	93.2	97.4	99.5
D	225.0	250.0	280.0	315.0	355.0	400.0	450.0	500.0	560.0	600.0
T%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Mesure effectuee par : G. HUGUES  
 societe : B.R.G.M a : ORLEANS  
 le : 25/10/02 15:11:59



## RAPPORT D'ESSAIS 02-1-033-A /

<b>V/Réf. :</b>	<b>A l'attention de :</b> MOUGIN Bruno
<b>Informations sur le(s) échantillon(s) :</b>	SAR/GGR CO/SGR BRE
- Date de réception : 05/11/2002	BRGM BRETAGNE Centre d'affaires Le Bignon 4b, rue du Bignon
- Nombre: 10	35000 RENNES France
- Nature :	
- Auteur prélèvement: non communiqué	<b>Télécopie n°</b>

Nom du laboratoire	Responsable du laboratoire
Laboratoire de préparation et essais physico-chimiques sur roches et minéraux	H.HAAS

Résultats validés le par

Gérard HUGUES

qualifié(es) pour l'essai

Visé le 12-DEC-2002 par

David ~~DESSANDIER~~  
Responsable de l'Unité Caractérisation Minérale

Nbr pages : 22

**Note importante :**

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.

La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Sauf demande expresse du donneur d'ordre, les échantillons sont détruits 1 an après la date d'envoi de ce rapport.



---

Origine des échantillons : Bassins versants de la rivière Morlaix

Identification des échantillons : Voir liste ci dessous

---

Nature des Essais et documents de référence :

- Analyse granulométrique par tamisage en voie sèche entre 50mm et 80 µm (norme NF ISO 2591-1)
  - Analyse micro-granulométrique par sédimentation dans la gamme 0,5-80 µm sur appareil SEDIGRAPH 5100
- 

Observations :

---

## *LISTE DES ECHANTILLONS*

TROMORGANT	A'	15h55
TROMORGANT	F	16h30
TROMORGANT	M	9h10
JARLOT	B	15h20
JARLOT	H	14h00

JARLOT	J	8h50
QUEFFLEUTH	F	11h00
QUEFFLEUTH	J	11h20
QUEFFLEUTH	M	10h15
QUEFFLEUTH	O	9h50

## *RESULTATS DES ANALYSES*

### **ANALYSES GRANULOMETRIQUES :**

Pour la réalisation des analyses granulométriques, une prise de l'échantillon brut sec est effectuée.

Avant analyse, les échantillons sont dispersés avec un défloculant (Hexamétaphosphate de sodium). L'ensemble est mis en agitation puis tamisé sur un tamis d'ouverture 80 µm. La fraction supérieure à 80 µm a été séchée et pesée, la fraction inférieure utilisée pour l'analyse micro-granulométrique.

Enfin, pour compléter cette préparation, un passage de 15 secondes aux ultrasons est effectuée avant analyse de l'échantillon au SEDIGRAPH.



RAPPORT D'ESSAIS N° 02-1-033-A

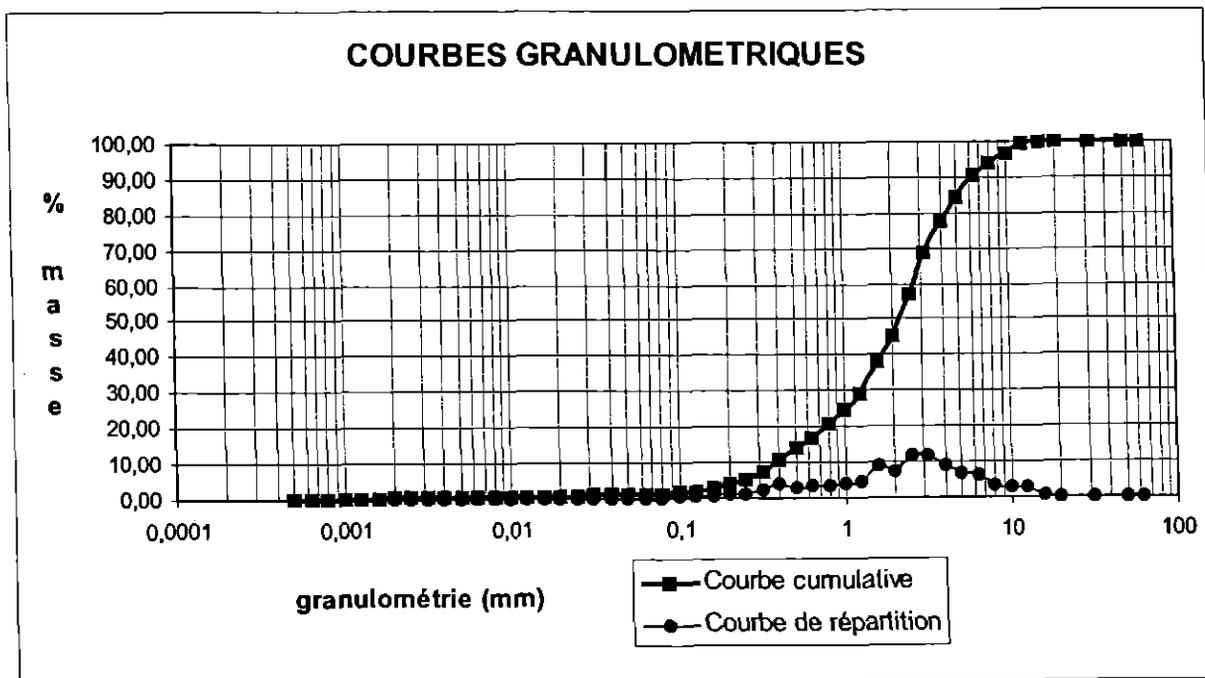
Références échantillon : TROMORGANT A' 15h55

Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés
> 50 mm	63,00000	0,00	100,00
de 31,5 à 50 mm	50,00000	0,00	100,00
de 20 à 31,5 mm	31,50000	0,00	100,00
de 16 à 20 mm	20,00000	0,00	100,00
de 12,5 à 16 mm	16,00000	0,70	100,00
de 10 à 12,5 mm	12,50000	2,68	99,30
de 8 à 10 mm	10,00000	2,61	96,61
de 6,3 à 8 mm	8,00000	3,48	94,01
de 5 à 6,3 mm	6,30000	6,26	90,53
de 4 à 5 mm	5,00000	6,52	84,27
de 3,15 à 4 mm	4,00000	8,90	77,75
de 2,5 à 3,15 mm	3,15000	11,83	68,84
de 2 à 2,5 mm	2,50000	11,80	57,01
de 1,6 à 2 mm	2,00000	7,13	45,22
de 1,25 à 1,6 mm	1,60000	8,97	38,09
de 1 à 1,25 mm	1,25000	4,72	29,12
de 0,8 à 1 mm	1,00000	3,99	24,40
de 630 à 800 µm	0,80000	3,52	20,41
de 500 à 630 µm	0,63000	3,16	16,90
de 400 à 500 µm	0,50000	3,05	13,74
de 315 à 400 µm	0,40000	3,68	10,69
de 250 à 315 µm	0,31500	2,19	7,01
de 200 à 250 µm	0,25000	0,97	4,82
de 160 à 200 µm	0,20000	1,31	3,86
de 125 à 160 µm	0,16000	0,69	2,54
de 100 à 125 µm	0,12500	0,36	1,85
de 80 à 100 µm	0,10000	0,29	1,50

Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés
de 63 à 80 µm	0,08000	0,02	1,21
de 50 à 63 µm	0,06300	0,05	1,19
de 40 à 50 µm	0,05000	0,07	1,14
de 31,5 à 40 µm	0,04000	0,11	1,07
de 25 à 31,5 µm	0,03150	0,13	0,96
de 20 à 25 µm	0,02500	0,12	0,83
de 16 à 20 µm	0,02000	0,08	0,72
de 12,5 à 16 µm	0,01600	0,06	0,63
de 10 à 12,5 µm	0,01250	0,05	0,57
de 8 à 10 µm	0,01000	0,05	0,52
de 6,3 à 8 µm	0,00800	0,03	0,47
de 5 à 6,3 µm	0,00630	0,03	0,43
de 4 à 5 µm	0,00500	0,03	0,41
de 3,15 à 4 µm	0,00400	0,02	0,38
de 2,5 à 3,15 µm	0,00315	0,03	0,36
de 2 à 2,5 µm	0,00250	0,03	0,33
de 1,60 à 2 µm	0,00200	0,03	0,29
de 1,25 à 1,6 µm	0,00160	0,02	0,27
de 1 à 1,25 µm	0,00125	0,01	0,25
de 0,8 à 1 µm	0,00100	0,01	0,23
de 0,63 à 0,8 µm	0,00080	0,01	0,22
de 0,5 à 0,63 µm	0,00063	0,03	0,22
< 0,5 µm	0,00050	0,19	0,19



Références échantillon : TROMORGANT A' 15h55





RAPPORT D'ESSAIS N° 02-1-033-A

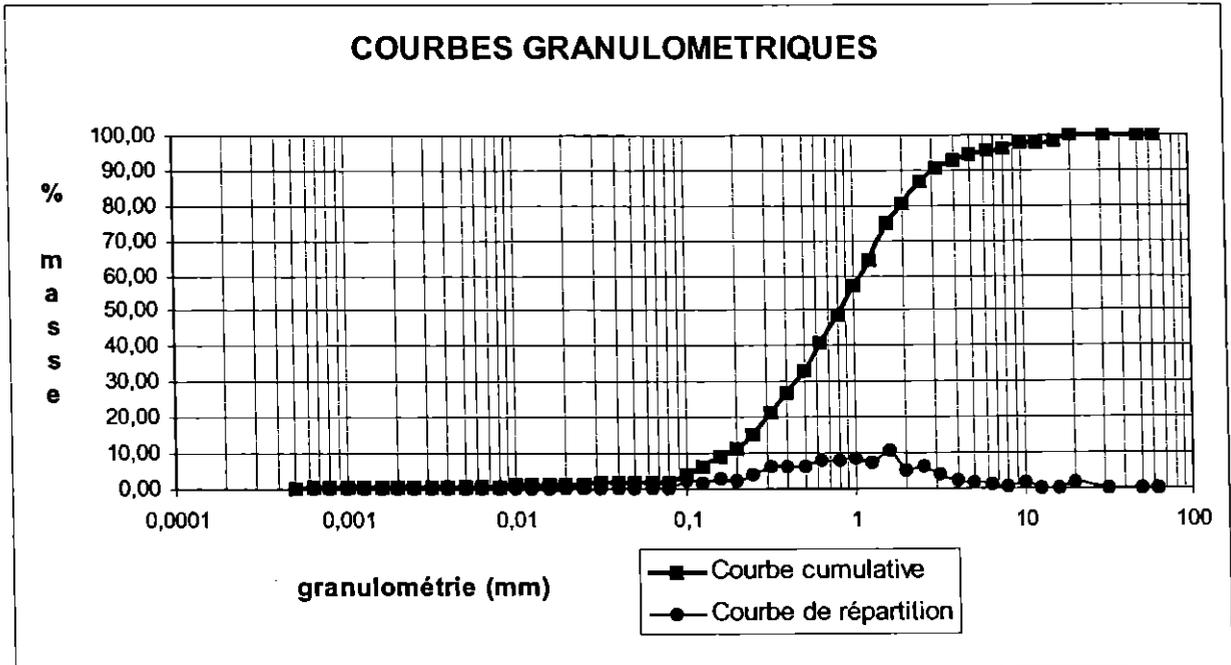
Références échantillon : TROMORGANT F 16h30

Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés
> 50 mm	63,00000	0,00	100,00
de 31,5 à 50 mm	50,00000	0,00	100,00
de 20 à 31,5 mm	31,50000	0,00	100,00
de 16 à 20 mm	20,00000	1,83	100,00
de 12,5 à 16 mm	16,00000	0,13	98,17
de 10 à 12,5 mm	12,50000	0,00	98,04
de 8 à 10 mm	10,00000	1,79	98,04
de 6,3 à 8 mm	8,00000	0,71	96,25
de 5 à 6,3 mm	6,30000	1,36	95,54
de 4 à 5 mm	5,00000	1,56	94,17
de 3,15 à 4 mm	4,00000	2,15	92,61
de 2,5 à 3,15 mm	3,15000	3,92	90,46
de 2 à 2,5 mm	2,50000	6,31	86,54
de 1,6 à 2 mm	2,00000	5,27	80,23
de 1,25 à 1,6 mm	1,60000	10,58	74,97
de 1 à 1,25 mm	1,25000	7,44	64,39
de 0,8 à 1 mm	1,00000	8,37	56,95
de 630 à 800 µm	0,80000	7,88	48,58
de 500 à 630 µm	0,63000	7,63	40,70
de 400 à 500 µm	0,50000	6,02	33,07
de 315 à 400 µm	0,40000	6,05	27,05
de 250 à 315 µm	0,31500	6,09	21,00
de 200 à 250 µm	0,25000	3,91	14,91
de 160 à 200 µm	0,20000	2,17	11,00
de 125 à 160 µm	0,16000	2,90	8,83
de 100 à 125 µm	0,12500	1,91	5,93
de 80 à 100 µm	0,10000	2,15	4,01

Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés
de 63 à 80 µm	0,08000	0,02	1,86
de 50 à 63 µm	0,06300	0,04	1,84
de 40 à 50 µm	0,05000	0,08	1,81
de 31,5 à 40 µm	0,04000	0,15	1,73
de 25 à 31,5 µm	0,03150	0,19	1,57
de 20 à 25 µm	0,02500	0,17	1,39
de 16 à 20 µm	0,02000	0,13	1,22
de 12,5 à 16 µm	0,01600	0,13	1,09
de 10 à 12,5 µm	0,01250	0,12	0,96
de 8 à 10 µm	0,01000	0,10	0,84
de 6,3 à 8 µm	0,00800	0,07	0,75
de 5 à 6,3 µm	0,00630	0,05	0,68
de 4 à 5 µm	0,00500	0,04	0,63
de 3,15 à 4 µm	0,00400	0,05	0,59
de 2,5 à 3,15 µm	0,00315	0,05	0,54
de 2 à 2,5 µm	0,00250	0,04	0,49
de 1,60 à 2 µm	0,00200	0,03	0,45
de 1,25 à 1,6 µm	0,00160	0,04	0,42
de 1 à 1,25 µm	0,00125	0,03	0,38
de 0,8 à 1 µm	0,00100	0,02	0,35
de 0,63 à 0,8 µm	0,00080	0,02	0,33
de 0,5 à 0,63 µm	0,00063	0,04	0,31
< 0,5 µm	0,00050	0,27	0,27



Références échantillon : TROMORGANT F 16h30





RAPPORT D'ESSAIS N° 02-1-033-A

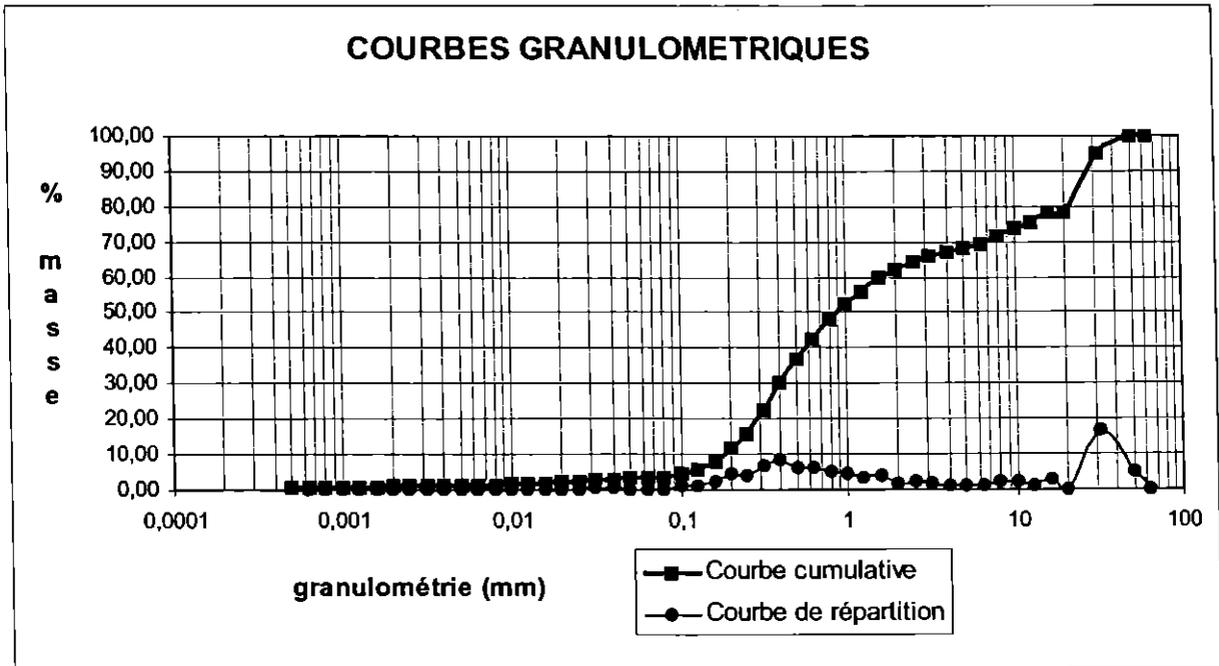
Références échantillon : TROMORGANT M 9h10

Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés
> 50 mm	63,00000	0,00	100,00
de 31,5 à 50 mm	50,00000	5,10	100,00
de 20 à 31,5 mm	31,50000	16,86	94,90
de 16 à 20 mm	20,00000	0,00	78,04
de 12,5 à 16 mm	16,00000	2,88	78,04
de 10 à 12,5 mm	12,50000	1,31	75,16
de 8 à 10 mm	10,00000	2,35	73,85
de 6,3 à 8 mm	8,00000	2,36	71,50
de 5 à 6,3 mm	6,30000	0,87	69,14
de 4 à 5 mm	5,00000	1,26	68,26
de 3,15 à 4 mm	4,00000	1,20	67,00
de 2,5 à 3,15 mm	3,15000	1,64	65,80
de 2 à 2,5 mm	2,50000	2,33	64,17
de 1,6 à 2 mm	2,00000	1,94	61,84
de 1,25 à 1,6 mm	1,60000	4,13	59,90
de 1 à 1,25 mm	1,25000	3,52	55,77
de 0,8 à 1 mm	1,00000	4,30	52,26
de 630 à 800 µm	0,80000	5,24	47,96
de 500 à 630 µm	0,63000	6,04	42,71
de 400 à 500 µm	0,50000	6,42	36,67
de 315 à 400 µm	0,40000	8,14	30,26
de 250 à 315 µm	0,31500	6,47	22,11
de 200 à 250 µm	0,25000	3,69	15,64
de 160 à 200 µm	0,20000	4,20	11,95
de 125 à 160 µm	0,16000	2,25	7,75
de 100 à 125 µm	0,12500	1,18	5,50
de 80 à 100 µm	0,10000	0,91	4,31

Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés
de 63 à 80 µm	0,08000	0,05	3,40
de 50 à 63 µm	0,06300	0,14	3,35
de 40 à 50 µm	0,05000	0,26	3,22
de 31,5 à 40 µm	0,04000	0,36	2,96
de 25 à 31,5 µm	0,03150	0,34	2,60
de 20 à 25 µm	0,02500	0,27	2,26
de 16 à 20 µm	0,02000	0,21	2,00
de 12,5 à 16 µm	0,01600	0,17	1,78
de 10 à 12,5 µm	0,01250	0,13	1,61
de 8 à 10 µm	0,01000	0,13	1,48
de 6,3 à 8 µm	0,00800	0,10	1,35
de 5 à 6,3 µm	0,00630	0,08	1,26
de 4 à 5 µm	0,00500	0,09	1,18
de 3,15 à 4 µm	0,00400	0,07	1,08
de 2,5 à 3,15 µm	0,00315	0,07	1,01
de 2 à 2,5 µm	0,00250	0,07	0,94
de 1,60 à 2 µm	0,00200	0,06	0,87
de 1,25 à 1,6 µm	0,00160	0,05	0,81
de 1 à 1,25 µm	0,00125	0,05	0,76
de 0,8 à 1 µm	0,00100	0,06	0,71
de 0,63 à 0,8 µm	0,00080	0,06	0,65
de 0,5 à 0,63 µm	0,00063	0,06	0,59
< 0,5 µm	0,00050	0,53	0,53



Références échantillon : TROMORGANT M 9h10





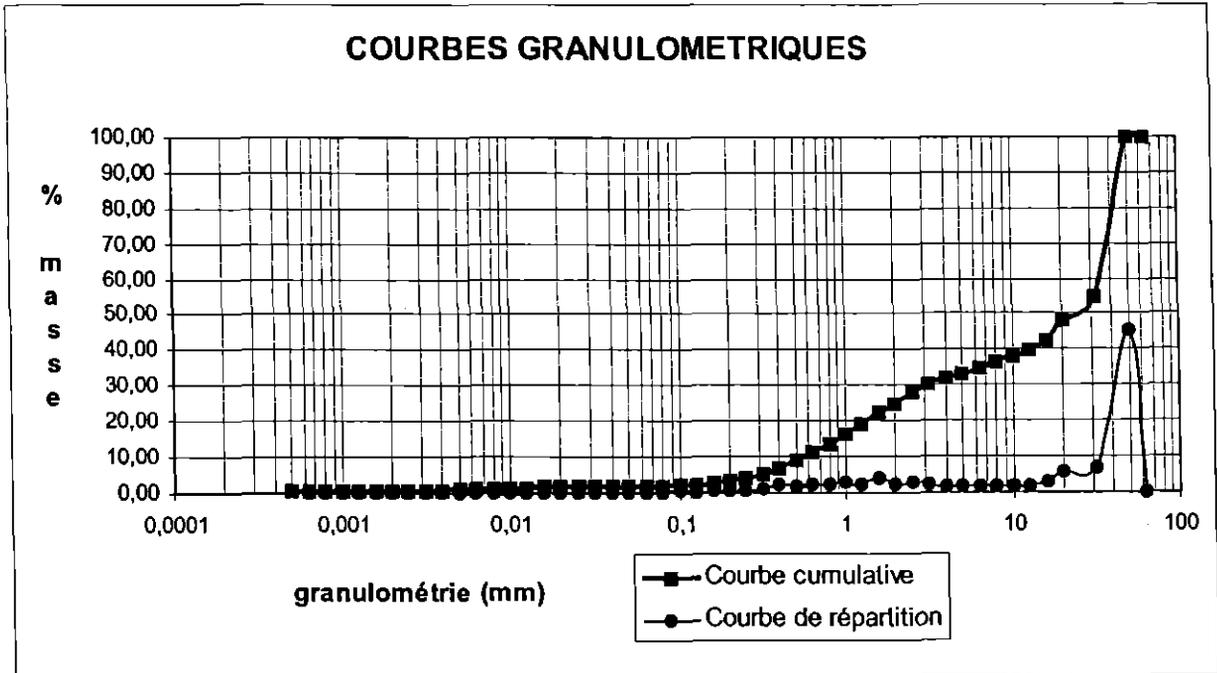
RAPPORT D'ESSAIS N° 02-1-033-A

Références échantillon : JARLOT B 15h20

Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés	Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés
> 50 mm	63,00000	0,00	100,00	de 63 à 80 µm	0,08000	0,00	1,63
de 31,5 à 50 mm	50,00000	45,44	100,00	de 50 à 63 µm	0,06300	0,00	1,63
de 20 à 31,5 mm	31,50000	6,65	54,56	de 40 à 50 µm	0,05000	0,00	1,63
de 16 à 20 mm	20,00000	5,50	47,91	de 31,5 à 40 µm	0,04000	0,01	1,62
de 12,5 à 16 mm	16,00000	2,55	42,41	de 25 à 31,5 µm	0,03150	0,04	1,62
de 10 à 12,5 mm	12,50000	1,85	39,87	de 20 à 25 µm	0,02500	0,06	1,58
de 8 à 10 mm	10,00000	1,79	38,02	de 16 à 20 µm	0,02000	0,08	1,52
de 6,3 à 8 mm	8,00000	1,56	36,23	de 12,5 à 16 µm	0,01600	0,10	1,44
de 5 à 6,3 mm	6,30000	1,47	34,67	de 10 à 12,5 µm	0,01250	0,10	1,34
de 4 à 5 mm	5,00000	1,42	33,20	de 8 à 10 µm	0,01000	0,12	1,24
de 3,15 à 4 mm	4,00000	1,80	31,78	de 6,3 à 8 µm	0,00800	0,13	1,12
de 2,5 à 3,15 mm	3,15000	2,24	29,98	de 5 à 6,3 µm	0,00630	0,09	0,99
de 2 à 2,5 mm	2,50000	2,99	27,74	de 4 à 5 µm	0,00500	0,06	0,90
de 1,6 à 2 mm	2,00000	2,20	24,75	de 3,15 à 4 µm	0,00400	0,06	0,83
de 1,25 à 1,6 mm	1,60000	3,64	22,55	de 2,5 à 3,15 µm	0,00315	0,05	0,77
de 1 à 1,25 mm	1,25000	2,47	18,91	de 2 à 2,5 µm	0,00250	0,05	0,72
de 0,8 à 1 mm	1,00000	2,87	16,44	de 1,60 à 2 µm	0,00200	0,05	0,67
de 630 à 800 µm	0,80000	2,50	13,58	de 1,25 à 1,6 µm	0,00160	0,06	0,63
de 500 à 630 µm	0,63000	2,32	11,08	de 1 à 1,25 µm	0,00125	0,06	0,57
de 400 à 500 µm	0,50000	1,92	8,76	de 0,8 à 1 µm	0,00100	0,04	0,51
de 315 à 400 µm	0,40000	2,01	6,84	de 0,63 à 0,8 µm	0,00080	0,02	0,48
de 250 à 315 µm	0,31500	1,06	4,83	de 0,5 à 0,63 µm	0,00063	0,02	0,46
de 200 à 250 µm	0,25000	0,46	3,77	< 0,5 µm	0,00050	0,43	0,43
de 160 à 200 µm	0,20000	0,73	3,30				
de 125 à 160 µm	0,16000	0,36	2,57				
de 100 à 125 µm	0,12500	0,25	2,21				
de 80 à 100 µm	0,10000	0,33	1,96				



Références échantillon : JARLOT B 15h20





RAPPORT D'ESSAIS N° 02-1-033-A

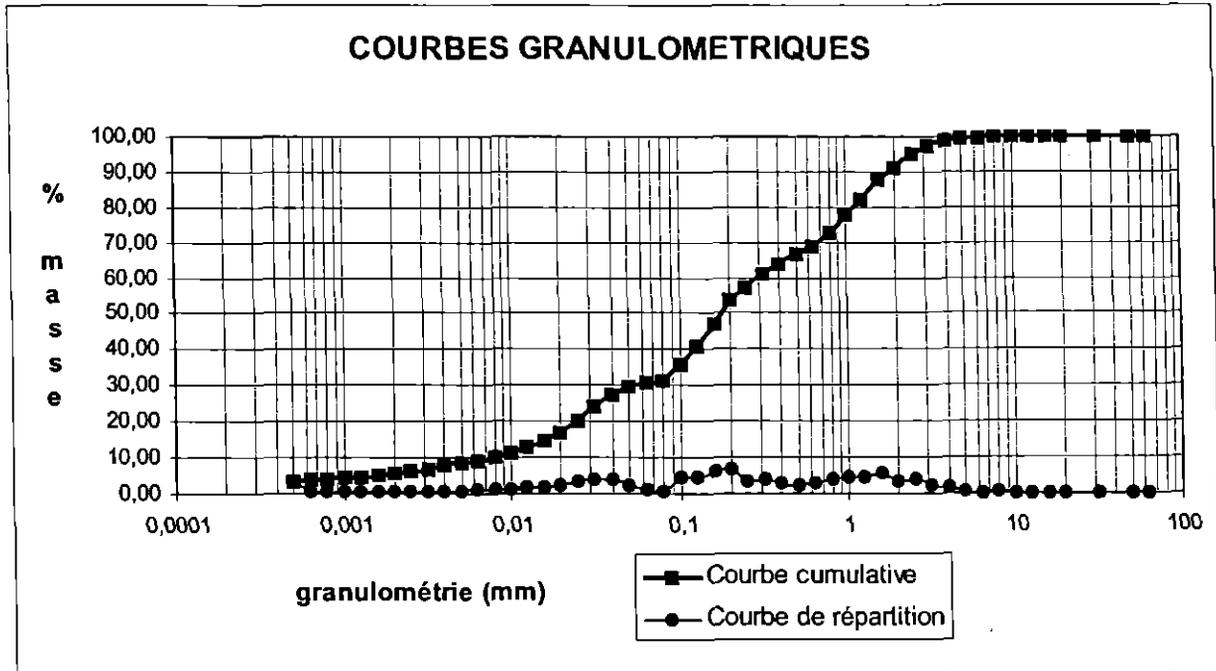
Références échantillon : JARLOT H 14h00

Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés
> 50 mm	63,00000	0,00	100,00
de 31,5 à 50 mm	50,00000	0,00	100,00
de 20 à 31,5 mm	31,50000	0,00	100,00
de 16 à 20 mm	20,00000	0,00	100,00
de 12,5 à 16 mm	16,00000	0,00	100,00
de 10 à 12,5 mm	12,50000	0,00	100,00
de 8 à 10 mm	10,00000	0,00	100,00
de 6,3 à 8 mm	8,00000	0,29	100,00
de 5 à 6,3 mm	6,30000	0,16	99,71
de 4 à 5 mm	5,00000	0,54	99,55
de 3,15 à 4 mm	4,00000	1,80	99,01
de 2,5 à 3,15 mm	3,15000	2,35	97,21
de 2 à 2,5 mm	2,50000	3,89	94,87
de 1,6 à 2 mm	2,00000	3,27	90,98
de 1,25 à 1,6 mm	1,60000	5,72	87,71
de 1 à 1,25 mm	1,25000	4,48	81,98
de 0,8 à 1 mm	1,00000	4,72	77,50
de 630 à 800 µm	0,80000	3,87	72,79
de 500 à 630 µm	0,63000	2,68	68,92
de 400 à 500 µm	0,50000	2,36	66,24
de 315 à 400 µm	0,40000	3,06	63,88
de 250 à 315 µm	0,31500	3,75	60,82
de 200 à 250 µm	0,25000	3,21	57,07
de 160 à 200 µm	0,20000	6,94	53,86
de 125 à 160 µm	0,16000	6,26	46,92
de 100 à 125 µm	0,12500	4,70	40,66
de 80 à 100 µm	0,10000	4,61	35,96

Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés
de 63 à 80 µm	0,08000	0,38	31,35
de 50 à 63 µm	0,06300	1,16	30,97
de 40 à 50 µm	0,05000	2,26	29,81
de 31,5 à 40 µm	0,04000	3,64	27,56
de 25 à 31,5 µm	0,03150	3,79	23,92
de 20 à 25 µm	0,02500	3,20	20,13
de 16 à 20 µm	0,02000	2,29	16,93
de 12,5 à 16 µm	0,01600	1,85	14,64
de 10 à 12,5 µm	0,01250	1,41	12,79
de 8 à 10 µm	0,01000	1,16	11,38
de 6,3 à 8 µm	0,00800	1,03	10,22
de 5 à 6,3 µm	0,00630	0,85	9,19
de 4 à 5 µm	0,00500	0,69	8,34
de 3,15 à 4 µm	0,00400	0,72	7,65
de 2,5 à 3,15 µm	0,00315	0,60	6,93
de 2 à 2,5 µm	0,00250	0,60	6,33
de 1,60 à 2 µm	0,00200	0,60	5,74
de 1,25 à 1,6 µm	0,00160	0,47	5,14
de 1 à 1,25 µm	0,00125	0,38	4,67
de 0,8 à 1 µm	0,00100	0,31	4,29
de 0,63 à 0,8 µm	0,00080	0,28	3,98
de 0,5 à 0,63 µm	0,00063	0,38	3,70
< 0,5 µm	0,00050	3,32	3,32



Références échantillon : JARLOT H 14h00





RAPPORT D'ESSAIS N° 02-1-033-A

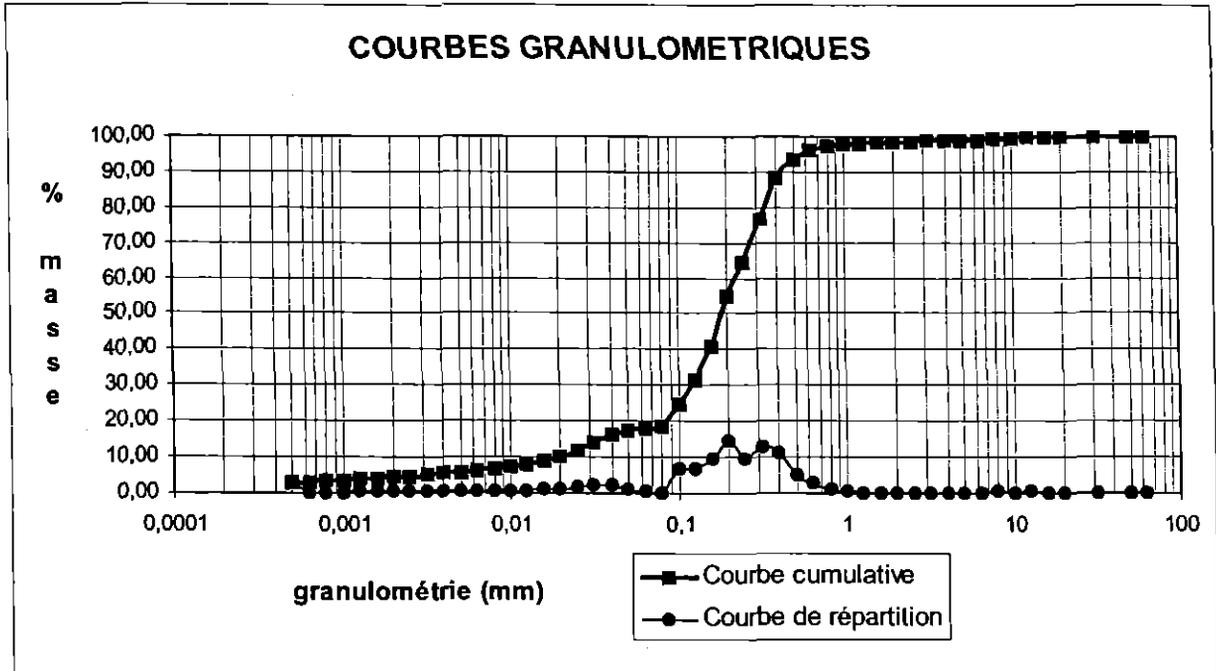
Références échantillon : JARLOT J 8h50

Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés
> 50 mm	63,00000	0,00	100,00
de 31,5 à 50 mm	50,00000	0,00	100,00
de 20 à 31,5 mm	31,50000	0,00	100,00
de 16 à 20 mm	20,00000	0,00	100,00
de 12,5 à 16 mm	16,00000	0,00	100,00
de 10 à 12,5 mm	12,50000	0,51	100,00
de 8 à 10 mm	10,00000	0,00	99,49
de 6,3 à 8 mm	8,00000	0,34	99,49
de 5 à 6,3 mm	6,30000	0,06	99,16
de 4 à 5 mm	5,00000	0,22	99,10
de 3,15 à 4 mm	4,00000	0,16	98,87
de 2,5 à 3,15 mm	3,15000	0,20	98,71
de 2 à 2,5 mm	2,50000	0,20	98,51
de 1,6 à 2 mm	2,00000	0,19	98,31
de 1,25 à 1,6 mm	1,60000	0,21	98,12
de 1 à 1,25 mm	1,25000	0,21	97,91
de 0,8 à 1 mm	1,00000	0,37	97,70
de 630 à 800 µm	0,80000	1,09	97,33
de 500 à 630 µm	0,63000	2,80	96,23
de 400 à 500 µm	0,50000	5,20	93,43
de 315 à 400 µm	0,40000	11,42	88,23
de 250 à 315 µm	0,31500	12,71	76,81
de 200 à 250 µm	0,25000	9,25	64,10
de 160 à 200 µm	0,20000	14,28	54,86
de 125 à 160 µm	0,16000	9,37	40,58
de 100 à 125 µm	0,12500	6,46	31,21
de 80 à 100 µm	0,10000	6,48	24,75

Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés
de 63 à 80 µm	0,08000	0,20	18,27
de 50 à 63 µm	0,06300	0,60	18,07
de 40 à 50 µm	0,05000	1,28	17,47
de 31,5 à 40 µm	0,04000	2,06	16,19
de 25 à 31,5 µm	0,03150	2,17	14,12
de 20 à 25 µm	0,02500	1,77	11,95
de 16 à 20 µm	0,02000	1,22	10,18
de 12,5 à 16 µm	0,01600	0,95	8,95
de 10 à 12,5 µm	0,01250	0,71	8,00
de 8 à 10 µm	0,01000	0,60	7,29
de 6,3 à 8 µm	0,00800	0,53	6,69
de 5 à 6,3 µm	0,00630	0,42	6,16
de 4 à 5 µm	0,00500	0,38	5,74
de 3,15 à 4 µm	0,00400	0,40	5,35
de 2,5 à 3,15 µm	0,00315	0,33	4,95
de 2 à 2,5 µm	0,00250	0,29	4,62
de 1,60 à 2 µm	0,00200	0,31	4,33
de 1,25 à 1,6 µm	0,00160	0,33	4,02
de 1 à 1,25 µm	0,00125	0,29	3,69
de 0,8 à 1 µm	0,00100	0,26	3,40
de 0,63 à 0,8 µm	0,00080	0,20	3,14
de 0,5 à 0,63 µm	0,00063	0,09	2,94
< 0,5 µm	0,00050	2,85	2,85



Références échantillon : JARLOT J 8h50





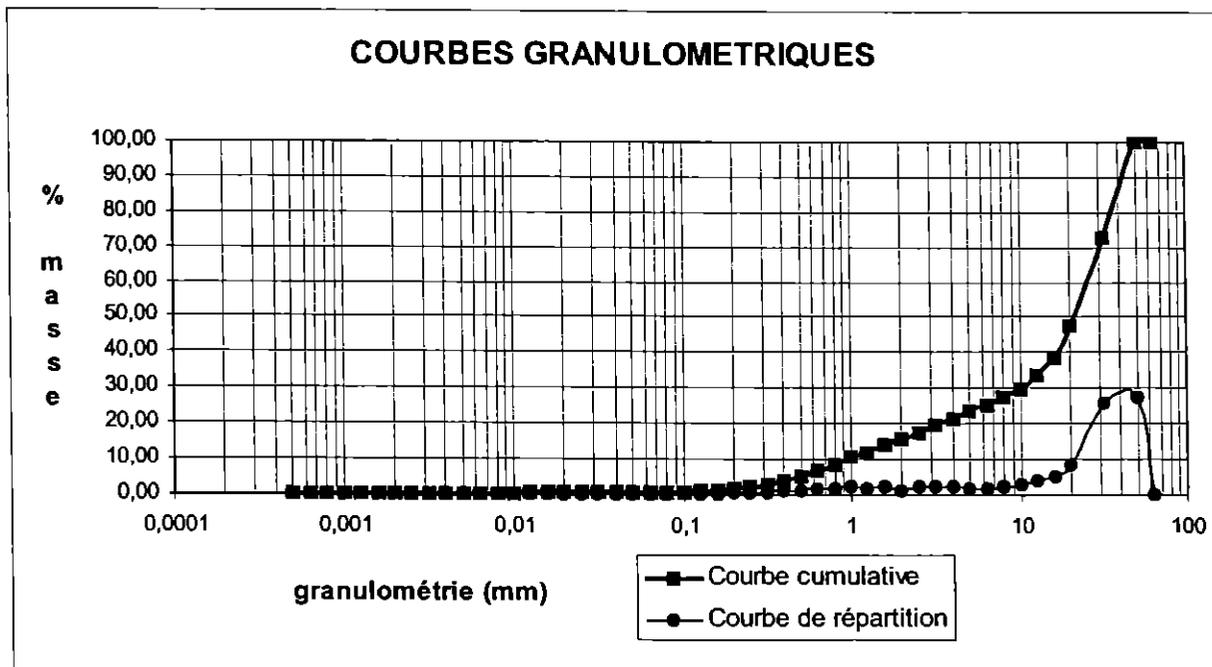
RAPPORT D'ESSAIS N° 02-1-033-A

Références échantillon : QUEFFLEUTH F 11h00

Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés	Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés
> 50 mm	63,00000	0,00	100,00	de 63 à 80 µm	0,08000	0,00	0,47
de 31,5 à 50 mm	50,00000	27,10	100,00	de 50 à 63 µm	0,06300	0,01	0,47
de 20 à 31,5 mm	31,50000	25,66	72,90	de 40 à 50 µm	0,05000	0,02	0,45
de 16 à 20 mm	20,00000	8,42	47,24	de 31,5 à 40 µm	0,04000	0,03	0,43
de 12,5 à 16 mm	16,00000	5,03	38,81	de 25 à 31,5 µm	0,03150	0,03	0,40
de 10 à 12,5 mm	12,50000	3,99	33,78	de 20 à 25 µm	0,02500	0,03	0,37
de 8 à 10 mm	10,00000	2,52	29,79	de 16 à 20 µm	0,02000	0,03	0,33
de 6,3 à 8 mm	8,00000	2,35	27,27	de 12,5 à 16 µm	0,01600	0,02	0,31
de 5 à 6,3 mm	6,30000	1,58	24,92	de 10 à 12,5 µm	0,01250	0,02	0,29
de 4 à 5 mm	5,00000	1,86	23,33	de 8 à 10 µm	0,01000	0,03	0,26
de 3,15 à 4 mm	4,00000	2,01	21,48	de 6,3 à 8 µm	0,00800	0,02	0,23
de 2,5 à 3,15 mm	3,15000	2,01	19,47	de 5 à 6,3 µm	0,00630	0,02	0,21
de 2 à 2,5 mm	2,50000	2,02	17,46	de 4 à 5 µm	0,00500	0,01	0,20
de 1,6 à 2 mm	2,00000	1,30	15,43	de 3,15 à 4 µm	0,00400	0,01	0,19
de 1,25 à 1,6 mm	1,60000	2,15	14,14	de 2,5 à 3,15 µm	0,00315	0,01	0,17
de 1 à 1,25 mm	1,25000	1,50	11,99	de 2 à 2,5 µm	0,00250	0,01	0,16
de 0,8 à 1 mm	1,00000	2,00	10,49	de 1,60 à 2 µm	0,00200	0,01	0,15
de 630 à 800 µm	0,80000	1,78	8,48	de 1,25 à 1,6 µm	0,00160	0,01	0,14
de 500 à 630 µm	0,63000	1,56	6,70	de 1 à 1,25 µm	0,00125	0,01	0,13
de 400 à 500 µm	0,50000	1,22	5,14	de 0,8 à 1 µm	0,00100	0,01	0,12
de 315 à 400 µm	0,40000	1,14	3,92	de 0,63 à 0,8 µm	0,00080	0,01	0,11
de 250 à 315 µm	0,31500	0,72	2,78	de 0,5 à 0,63 µm	0,00063	0,00	0,10
de 200 à 250 µm	0,25000	0,37	2,05	< 0,5 µm	0,00050	0,10	0,10
de 160 à 200 µm	0,20000	0,47	1,69				
de 125 à 160 µm	0,16000	0,26	1,21				
de 100 à 125 µm	0,12500	0,17	0,95				
de 80 à 100 µm	0,10000	0,32	0,79				



Références échantillon : QUEFFLEUTH F 11h00





RAPPORT D'ESSAIS N° 02-1-033-A

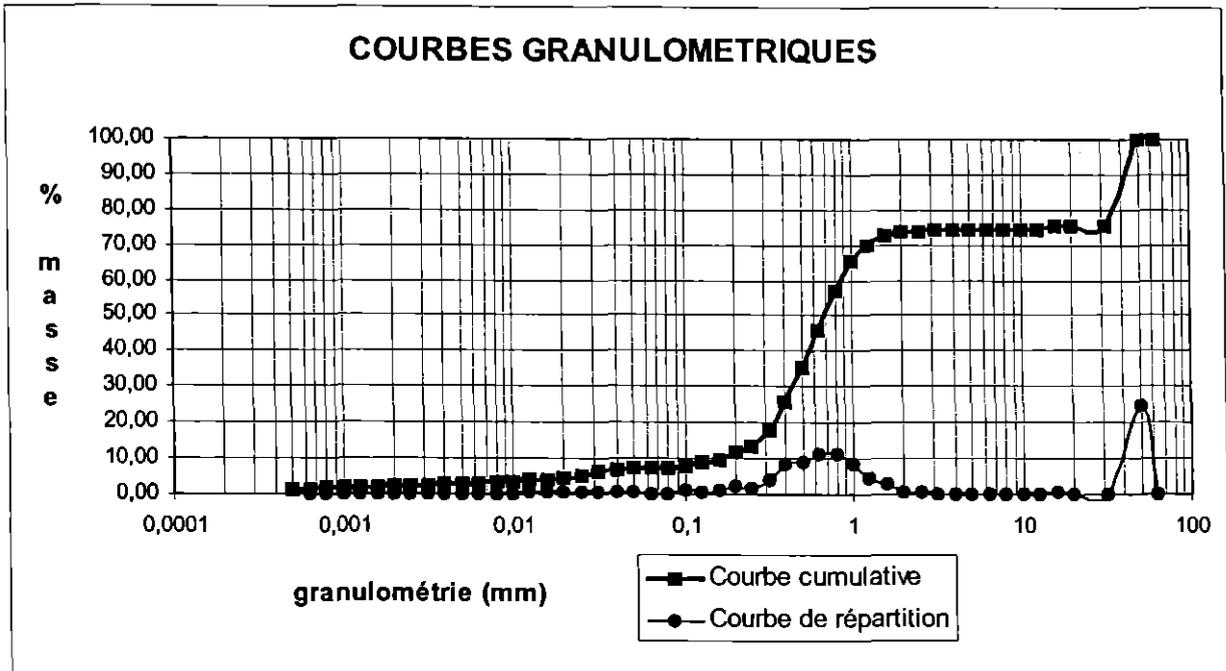
Références échantillon : QUEFFLEUTH J 11h20

Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés
> 50 mm	63,00000	0,00	100,00
de 31,5 à 50 mm	50,00000	24,86	100,00
de 20 à 31,5 mm	31,50000	0,00	75,14
de 16 à 20 mm	20,00000	0,00	75,14
de 12,5 à 16 mm	16,00000	0,66	75,14
de 10 à 12,5 mm	12,50000	0,00	74,48
de 8 à 10 mm	10,00000	0,00	74,48
de 6,3 à 8 mm	8,00000	0,13	74,48
de 5 à 6,3 mm	6,30000	0,02	74,35
de 4 à 5 mm	5,00000	0,06	74,33
de 3,15 à 4 mm	4,00000	0,11	74,27
de 2,5 à 3,15 mm	3,15000	0,15	74,16
de 2 à 2,5 mm	2,50000	0,46	74,01
de 1,6 à 2 mm	2,00000	0,72	73,55
de 1,25 à 1,6 mm	1,60000	2,93	72,83
de 1 à 1,25 mm	1,25000	4,35	69,90
de 0,8 à 1 mm	1,00000	8,35	65,55
de 630 à 800 µm	0,80000	11,19	57,20
de 500 à 630 µm	0,63000	10,92	46,01
de 400 à 500 µm	0,50000	9,21	35,09
de 315 à 400 µm	0,40000	8,22	25,87
de 250 à 315 µm	0,31500	4,01	17,66
de 200 à 250 µm	0,25000	1,73	13,65
de 160 à 200 µm	0,20000	2,14	11,92
de 125 à 160 µm	0,16000	1,07	9,77
de 100 à 125 µm	0,12500	0,70	8,71
de 80 à 100 µm	0,10000	0,88	8,01

Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés
de 63 à 80 µm	0,08000	0,04	7,13
de 50 à 63 µm	0,06300	0,09	7,09
de 40 à 50 µm	0,05000	0,34	7,01
de 31,5 à 40 µm	0,04000	0,64	6,67
de 25 à 31,5 µm	0,03150	0,73	6,03
de 20 à 25 µm	0,02500	0,66	5,29
de 16 à 20 µm	0,02000	0,51	4,63
de 12,5 à 16 µm	0,01600	0,39	4,13
de 10 à 12,5 µm	0,01250	0,30	3,74
de 8 à 10 µm	0,01000	0,26	3,44
de 6,3 à 8 µm	0,00800	0,24	3,19
de 5 à 6,3 µm	0,00630	0,21	2,95
de 4 à 5 µm	0,00500	0,19	2,74
de 3,15 à 4 µm	0,00400	0,20	2,55
de 2,5 à 3,15 µm	0,00315	0,18	2,35
de 2 à 2,5 µm	0,00250	0,16	2,17
de 1,60 à 2 µm	0,00200	0,17	2,01
de 1,25 à 1,6 µm	0,00160	0,19	1,84
de 1 à 1,25 µm	0,00125	0,13	1,65
de 0,8 à 1 µm	0,00100	0,11	1,53
de 0,63 à 0,8 µm	0,00080	0,12	1,41
de 0,5 à 0,63 µm	0,00063	0,09	1,29
< 0,5 µm	0,00050	1,21	1,21



Références échantillon : QUEFFLEUTH J 11h20





RAPPORT D'ESSAIS N° 02-1-033-A

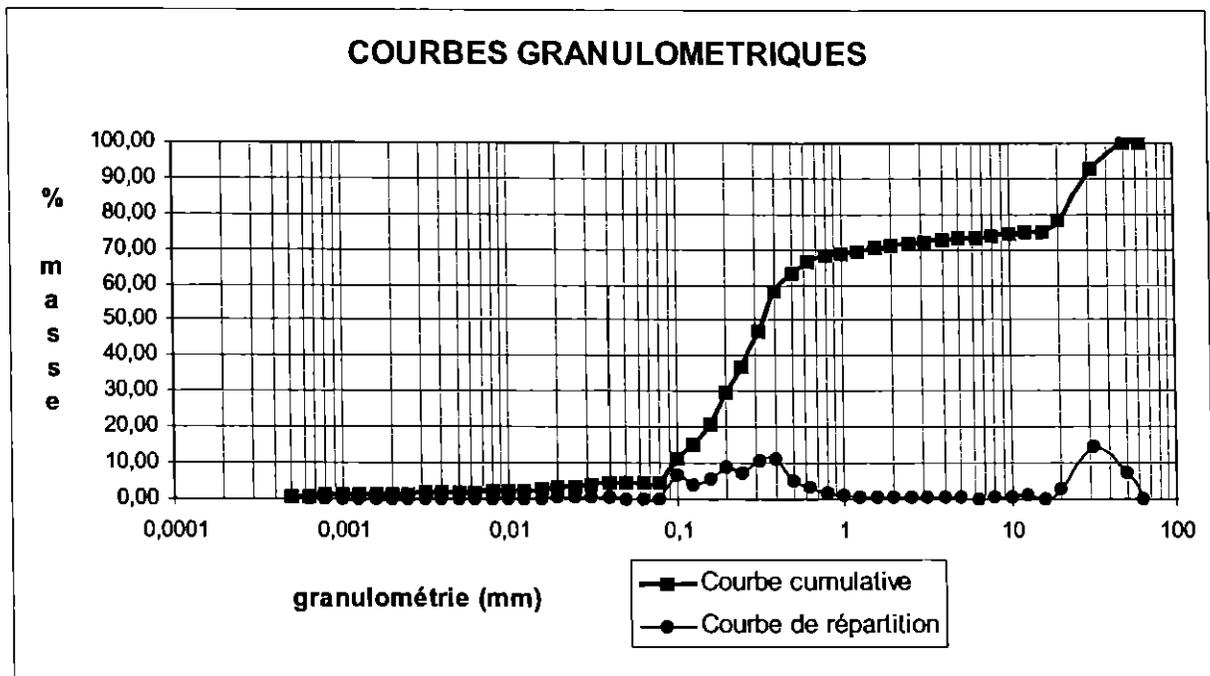
Références échantillon : QUEFFLEUTH M 10h15

Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés
> 50 mm	63,00000	0,00	100,00
de 31,5 à 50 mm	50,00000	7,41	100,00
de 20 à 31,5 mm	31,50000	14,48	92,59
de 16 à 20 mm	20,00000	3,02	78,11
de 12,5 à 16 mm	16,00000	0,00	75,09
de 10 à 12,5 mm	12,50000	0,91	75,09
de 8 à 10 mm	10,00000	0,45	74,18
de 6,3 à 8 mm	8,00000	0,43	73,74
de 5 à 6,3 mm	6,30000	0,21	73,31
de 4 à 5 mm	5,00000	0,31	73,10
de 3,15 à 4 mm	4,00000	0,70	72,78
de 2,5 à 3,15 mm	3,15000	0,68	72,08
de 2 à 2,5 mm	2,50000	0,70	71,40
de 1,6 à 2 mm	2,00000	0,47	70,70
de 1,25 à 1,6 mm	1,60000	0,71	70,23
de 1 à 1,25 mm	1,25000	0,64	69,52
de 0,8 à 1 mm	1,00000	0,90	68,88
de 630 à 800 µm	0,80000	1,61	67,97
de 500 à 630 µm	0,63000	3,09	66,36
de 400 à 500 µm	0,50000	5,02	63,27
de 315 à 400 µm	0,40000	11,07	58,25
de 250 à 315 µm	0,31500	10,49	47,18
de 200 à 250 µm	0,25000	7,26	36,69
de 160 à 200 µm	0,20000	8,78	29,44
de 125 à 160 µm	0,16000	5,49	20,66
de 100 à 125 µm	0,12500	4,10	15,17
de 80 à 100 µm	0,10000	6,46	11,07

Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés
de 63 à 80 µm	0,08000	0,03	4,61
de 50 à 63 µm	0,06300	0,08	4,58
de 40 à 50 µm	0,05000	0,19	4,50
de 31,5 à 40 µm	0,04000	0,36	4,31
de 25 à 31,5 µm	0,03150	0,45	3,96
de 20 à 25 µm	0,02500	0,43	3,51
de 16 à 20 µm	0,02000	0,33	3,07
de 12,5 à 16 µm	0,01600	0,26	2,74
de 10 à 12,5 µm	0,01250	0,20	2,48
de 8 à 10 µm	0,01000	0,20	2,28
de 6,3 à 8 µm	0,00800	0,18	2,08
de 5 à 6,3 µm	0,00630	0,14	1,90
de 4 à 5 µm	0,00500	0,12	1,76
de 3,15 à 4 µm	0,00400	0,13	1,63
de 2,5 à 3,15 µm	0,00315	0,12	1,50
de 2 à 2,5 µm	0,00250	0,11	1,38
de 1,60 à 2 µm	0,00200	0,10	1,27
de 1,25 à 1,6 µm	0,00160	0,10	1,17
de 1 à 1,25 µm	0,00125	0,08	1,07
de 0,8 à 1 µm	0,00100	0,07	0,99
de 0,63 à 0,8 µm	0,00080	0,09	0,92
de 0,5 à 0,63 µm	0,00063	0,06	0,83
< 0,5 µm	0,00050	0,77	0,77



Références échantillon : QUEFFLEUTH M 10h15





RAPPORT D'ESSAIS N° 02-1-033-A

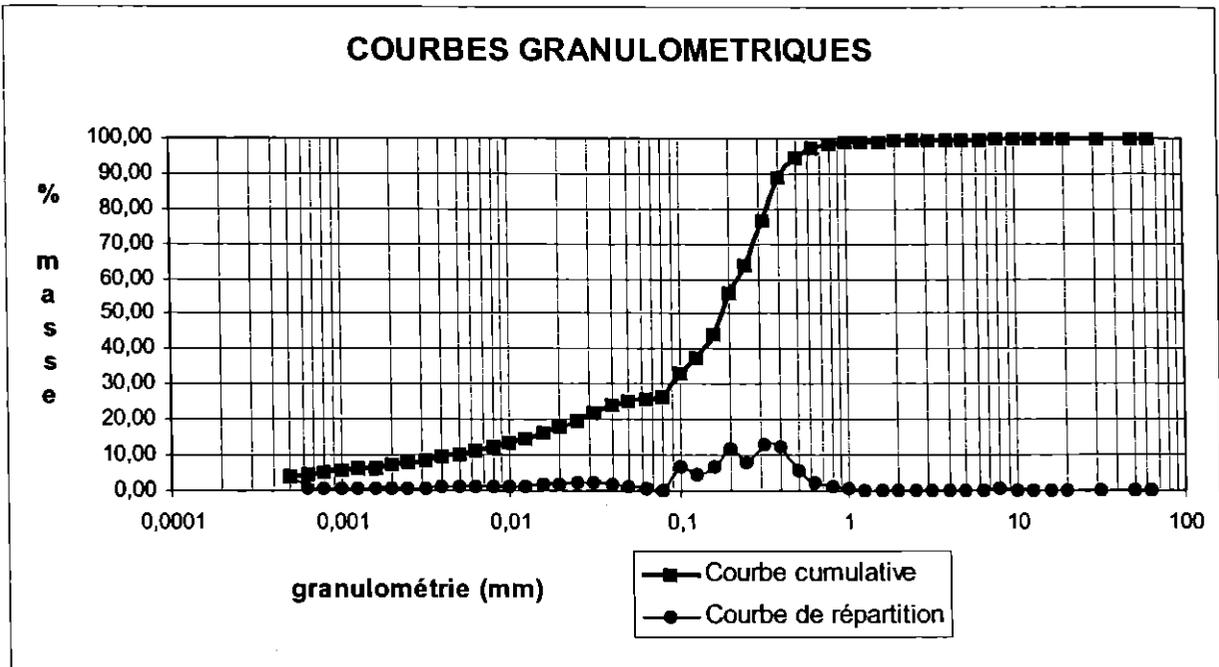
Références échantillon : QUEFFLEUTH O 9h50

Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés
> 50 mm	63,00000	0,00	100,00
de 31,5 à 50 mm	50,00000	0,00	100,00
de 20 à 31,5 mm	31,50000	0,00	100,00
de 16 à 20 mm	20,00000	0,00	100,00
de 12,5 à 16 mm	16,00000	0,00	100,00
de 10 à 12,5 mm	12,50000	0,00	100,00
de 8 à 10 mm	10,00000	0,00	100,00
de 6,3 à 8 mm	8,00000	0,56	100,00
de 5 à 6,3 mm	6,30000	0,00	99,44
de 4 à 5 mm	5,00000	0,00	99,44
de 3,15 à 4 mm	4,00000	0,05	99,44
de 2,5 à 3,15 mm	3,15000	0,01	99,38
de 2 à 2,5 mm	2,50000	0,05	99,38
de 1,6 à 2 mm	2,00000	0,16	99,32
de 1,25 à 1,6 mm	1,60000	0,20	99,16
de 1 à 1,25 mm	1,25000	0,25	98,96
de 0,8 à 1 mm	1,00000	0,49	98,71
de 630 à 800 µm	0,80000	1,15	98,22
de 500 à 630 µm	0,63000	2,51	97,07
de 400 à 500 µm	0,50000	5,72	94,56
de 315 à 400 µm	0,40000	12,32	88,84
de 250 à 315 µm	0,31500	12,98	76,53
de 200 à 250 µm	0,25000	7,86	63,55
de 160 à 200 µm	0,20000	11,55	55,69
de 125 à 160 µm	0,16000	6,67	44,14
de 100 à 125 µm	0,12500	4,74	37,47
de 80 à 100 µm	0,10000	6,69	32,73

Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés
de 63 à 80 µm	0,08000	0,23	26,04
de 50 à 63 µm	0,06300	0,60	25,80
de 40 à 50 µm	0,05000	1,20	25,20
de 31,5 à 40 µm	0,04000	1,95	24,01
de 25 à 31,5 µm	0,03150	2,24	22,05
de 20 à 25 µm	0,02500	1,98	19,81
de 16 à 20 µm	0,02000	1,61	17,84
de 12,5 à 16 µm	0,01600	1,48	16,22
de 10 à 12,5 µm	0,01250	1,25	14,74
de 8 à 10 µm	0,01000	1,15	13,49
de 6,3 à 8 µm	0,00800	1,09	12,34
de 5 à 6,3 µm	0,00630	0,99	11,25
de 4 à 5 µm	0,00500	0,91	10,26
de 3,15 à 4 µm	0,00400	0,89	9,35
de 2,5 à 3,15 µm	0,00315	0,76	8,46
de 2 à 2,5 µm	0,00250	0,70	7,71
de 1,60 à 2 µm	0,00200	0,60	7,00
de 1,25 à 1,6 µm	0,00160	0,52	6,41
de 1 à 1,25 µm	0,00125	0,49	5,88
de 0,8 à 1 µm	0,00100	0,49	5,39
de 0,63 à 0,8 µm	0,00080	0,47	4,90
de 0,5 à 0,63 µm	0,00063	0,42	4,43
< 0,5 µm	0,00050	4,01	4,01



Références échantillon : QUEFFLEUTH O 9h50



## **Annexe 4**

Rose des vents à la station de Pleyber-Christ

Mars 1994-Octobre 2000

(données Météo-France)

Station automatique **PLEYBER-CHRIST**

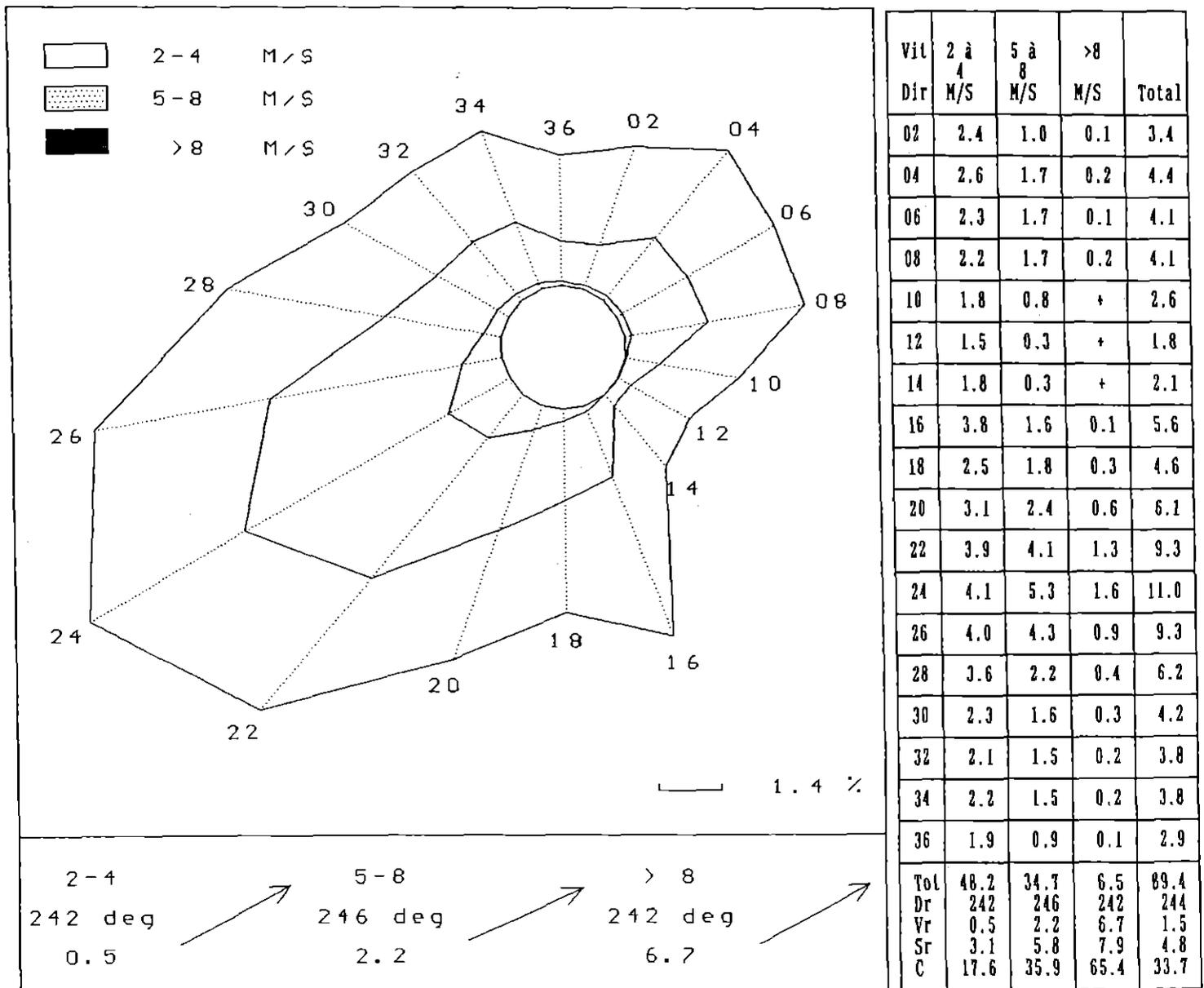
Commune **PLEYBER-CHRIST**  
Lieu-dit **KERGALEIN**  
Département **FINISTERE**

Altitude **146.0 m**  
Latitude **48° 30' 2 N**  
Longitude **03° 51' 7**  
Hauteur anémo. **10 m**

Période : **MARS 1994 à OCTOBRE 2000**

Fréquence des vents en fonction de leur provenance en %  
par groupes de vitesses : 2-4 M/S, 5-8 M/S, sup. à 8 M/S

Type de données : Valeurs trihoraires de 00 à 21 heures UTC



Nombre de cas observés : 19246    Nombre de cas manquants: 234

VENT VECTORIEL MOYEN (Vent résultant):

de direction Dr, de force Vr, d'écart type Sr en M/S.

C=constance, paramètre de variabilité directionnelle=100\*(Vr/vent moyen).

TABLEAU: pour les trois classes de force ( 2-4 M/S, 5-8 M/S, sup. 8 M/S)

ou pour l'ensemble (dernière colonne), on retrouve par direction

(lignes) la fréquence exprimée en %. Si on ne s'intéresse qu'à la

force, la ligne "Total" donne les résultats indépendamment de la direction.

Dans ce cas Total= 89.4 % soit 10.6 % de vents inférieurs à 2M/S.

Le signe + indique une fréquence non nulle mais inférieure à 0.05 %

**Centre scientifique et technique  
Service environnement industriel et procédés  
innovants**  
3, avenue Claude-Guillemin  
BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 33  
(0)2 38 64 34 34

**Service géologique de Bretagne  
Atalante Beaulieu**  
2 rue de Jouanet  
35700 RENNES  
Tél. 02.99.84.26.70.