



*Capacités épuratrices des zones humides
Étude hydrogéologique et géochimique
de zones humides en relation avec les nappes
d'eau souterraine*

Rapport d'étape - Année 1 - 1997

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM PRD 318

juillet 1998
R 40107





*Capacités épuratrices des zones humides
Étude hydrogéologique et géochimique
de zones humides en relation avec les nappes
d'eau souterraine*

Rapport d'étape - Année 1 - 1997

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM PRD 318

juillet 1998
R 40107



Mots clés : eau souterraine – Bretagne – nitrates – zones humides.

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

BRGM (1998) – Capacités épuratrices des zones humides – Etude hydrogéologique et géochimique de zones humides en relation avec les nappes d'eau souterraine; Rapport BRGM R40107 36 p., 5 tabl., annexes.

© BRGM, 1998, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM

TABLE DES MATIERES

Synthèse	4
1. Introduction – Problématique	7
1.1 Du point de vue hydrogéologique	8
1.2. Du point de vue géochimique.....	10
2. Sites étudiés	12
2.1. Choix des bassins versants	12
2.2. Equipements – Moyens de mesure	12
2.2.1. Mise en place de piézomètres	13
2.2.2. Suivi des niveaux et de la qualité.....	15
3. Informations recueillies	17
3.1. Les niveaux, amplitude des variations observées	17
3.2. Les différences de pression-échanges verticaux.....	18
3.3. Suivi de la qualité - Données géochimiques.....	19
Conclusions	23
Liste des tableaux et annexes	6

Synthèse

Interfaces permanents ou temporaires entre les milieux solides et aquatiques, les zones humides ont des fonctions multiples intervenant à l'échelle des bassins versants dans les processus hydrologiques, biologiques et physico-chimiques.

La reconquête de la qualité des eaux gravement atteinte par les pollutions d'origine principalement agricole (nitrates, pesticides) est un chantier prioritaire en Bretagne. La gestion des zones humides de fonds de vallées et l'optimisation de leurs capacités épuratrices font partie des moyens de lutte engagés ou proposés : actions de préservation, conservation, aménagement, modifications (en particulier des conditions d'écoulement), re-création, réhabilitation....

Les zones humides de fonds de vallées sont très diverses et hétérogènes. Les opérations d'aménagement devront être précédées par l'évaluation de leur intérêt et des impacts prévisibles. On notera que la Bretagne n'est pas la seule région confrontée aux pollutions azotées et que les zones humides répertoriées représentant 4 % du territoire national. En Bretagne, 450 à 600 000 hectares seraient occupés par des zones hydromorphes de bas-fonds, selon le Conseil Scientifique Régional de l'Environnement.

Le projet mis en œuvre par le BRGM avec des cofinancements régionaux (programme Bretagne Eau Pure 2) vise à développer un outil permettant d'évaluer le rôle des eaux souterraines dans le fonctionnement hydraulique et géochimique des zones humides, notamment sur leurs capacités dénitrifiantes. Les critères hydrogéologiques à prendre en compte par les projets d'aménagement pourront alors être définis. Les travaux se poursuivant jusqu'à fin 1999, ceci n'est qu'un rapport d'étape.

Dix neuf piézomètres (3 à 9 m de profondeur) complémentaires aux installations existantes ont été mis en place en novembre et décembre 1997 sur deux bassins versants, l'un à Naizin (56) –terrain d'étude commun avec l'INRA, Sciences des sols et Géosciences, l'autre à Pleine Fougères (35) –terrain d'étude commun avec le CNRS, laboratoire ECO-BIO. L'évolution des niveaux est suivie manuellement (contrôles bi-mensuels) ou en continu (Naizin). Des échantillons d'eau sont prélevés mensuellement. Deux préleveurs automatiques et 2 sondes multi-paramètres installés à Naizin complètent le dispositif actuel. Les déterminations portent essentiellement sur les anions majeurs.

Dans l'état actuel des travaux (période d'observation inférieure à 1 cycle hydrogéologique), il est difficile d'obtenir des conclusions définitives. Cependant, il apparaît clairement que, pendant la période observée, les zones humides de fonds de vallées étudiées sont en continuité avec la nappe dont elles sont l'expression visible; secteurs d'exfiltration des eaux souterraines (et non d'infiltration des eaux de pluie), elles drainent à la fois la partie supérieure de la nappe, parfois très chargée en azote et la partie la plus profonde, sans nitrates, ou à faibles teneurs. Les apports respectifs des eaux plus ou moins profondes varient constamment dans le temps, gouvernés par les

différences de charges hydrauliques dans les divers horizons conducteurs du sous-sol, elles-mêmes dépendant des conditions climatiques du moment et du passé proche.

Ces résultats partiels doivent être précisés, confirmés et quantifiés pour que les conséquences pratiques de l'influence des nappes souterraines sur l'aménagement et l'optimisation du potentiel épurateur des zones humides puissent être définies.

Le recueil des données géochimiques et hydrogéologiques commencé en début de période de recharge sera poursuivi jusqu'à un état d'étiage satisfaisant pour permettre une interprétation tenant compte des variations saisonnières. Des mesures hydrogéologiques complémentaires (perméabilités, gradients) seront nécessaires pour approcher une quantification réaliste des flux.

Les conditions d'extension des résultats à d'autres zones humides de fonds de vallées situées dans des contextes différents devront être recherchées et définies.

Liste des tableaux et Annexes

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Profil Kerrolland

Tableau 2 : Profil Guériniee

Tableau 3 - Pleine-Fougères

Tableau 4 - Eau prélevée dans PG2 à différentes périodes, pourcentage d'eau de type PG3 calculée à partir des chlorures

Tableau 5 : Profil de Kerrolland – Quelques résultats d'analyses

ANNEXES :

Naizin :

- Localisation à 1/25000

Kerrolland :

- Profils piézométriques de hautes eaux et de basses eaux
- Résultats d'analyses, échantillonnage par préleveurs automatiques à PK2
- PK2 - Graphique de fluctuations de NO₃ et Cl – Mesures par sonde
- PK2 – Graphique de fluctuations de Ph et conductivité – Mesures par sonde
- PJ2 – Graphique de fluctuations de NO₃ , Cl et SO₄ – Analyses chimiques d'échantillons (préleveur automatique)

Guériniee :

- Profils piézométriques de hautes et basses eaux
- Résultats d'analyses

Pleine-Fougères :

- Localisation à 1/25000
- Schéma d'implantation des piézomètres
- Résultats d'analyses

1. Introduction – Problématique

Les paramètres qui régissent les relations entre la rivière et son bassin versant sont multiples et souvent interdépendants. A l'amont de la chaîne, l'activité humaine génère les pollutions, à l'aval, la rivière les reçoit. De l'amont à l'aval, le transfert des polluants véhiculés par l'eau est plus ou moins direct, plus ou moins rapide, plus ou moins complet, selon les conditions rencontrées, liées au relief, à la nature des sols et des sous-sols, aux processus physico-chimiques ou bio-chimiques..... Certains des aménagements apportés par l'homme au milieu physique sont de nature à aggraver l'impact des pollutions : le raccourcissement du circuit de l'eau, en privilégiant le ruissellement au détriment de l'infiltration favorise l'érosion et les entraînements particulaires, modifie défavorablement la ressource, supprime ou limite l'intervention des processus épurateurs pouvant exister dans les sols et les sous-sols.

Une des voies susceptibles de contribuer à la maîtrise des pollutions diffuses est de privilégier les processus épurateurs naturels en y favorisant les circulations d'eau et, dans la mesure du possible, en renforçant les capacités épuratrices.

Le rôle épurateur des zones humides ou de certaines d'entre elles a été confirmé (INRA) mais les connaissances restent très insuffisantes pour évaluer leurs potentiels réels, définir les moyens d'en optimiser les fonctionnements, l'intérêt qu'il peut y avoir à restaurer celles que le drainage a pu supprimer, voire à en créer dans des secteurs favorables.

Les zones humides occupent des positions variées dans le paysage des bassins versants (plateaux, pentes, fonds de vallée). Elles sont de types très divers, leurs modes de fonctionnement hydrauliques et géochimiques peuvent par conséquent être également très divers. Leur efficacité, leur capacité de dénitrification sont probablement très variables, liées à plusieurs paramètres ; l'existence d'une zone humide n'est pas une assurance d'une eau épurée en aval.

Les zones humides de fonds de vallée bretonnes sont usuellement décrites à partir des critères de végétation, de degré d'hydromorphie et d'occupation du sol dont les études d'aménagement doivent tenir compte.

Des processus de dénitrification faisant intervenir plusieurs donneurs d'électrons (fer ferreux, sulfures des pyrites et matière organique) ont été étudiés (BRGM) dans l'aquifère du bassin versant du Coët Dan (56). L'existence d'un processus de dénitrification en sous-sol a pu être mis en évidence sur divers forages situés dans d'autres bassins versants bretons. Au niveau de la nappe, on a également pu montrer que dans des bas fonds, des échanges verticaux existent, variant saisonnièrement de sens entre les niveaux très pollués en nitrates et les niveaux où la dénitrification est effective. Ces deux milieux sont potentiellement drainables ou drainés par les zones humides et participent ainsi à leur dynamique.

Ainsi, les relations nappe-zone humide apparaissent comme un paramètre susceptible d'être important, à prendre également en compte par les projets d'aménagements.

1.1 DU POINT DE VUE HYDROGEOLOGIQUE

Les relations entre zones humides et nappes d'eau souterraines dépendent principalement des hétérogénéités du sol et du sous-sol et des contrastes de perméabilité pouvant exister entre les différents horizons. Une zone humide temporaire ou permanente peut être indépendante, sans relation avec la nappe souterraine, elle peut être infiltrante ou drainante, ses relations à la nappe peuvent varier en cours d'année.

Sur les schémas qui suivent ne concernant que les fonds de vallées, les zones humides sont symbolisées comme des plans d'eau, pour des commodités de dessin ; une zone humide ne s'exprime pas forcément par une lame d'eau en surface, elle peut être marquée simplement par l'hydromorphie du sol.

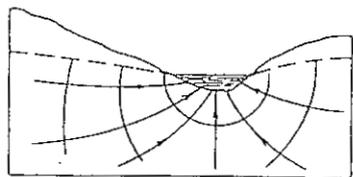
Selon les cas considérés, les entrées et sorties, les termes du bilan, l'amont et l'aval sont différents ; les flux en jeu ne sont pas les mêmes, les capacités épuratrices et les mécanismes peuvent être différents. Pour être efficace, les aménagements possibles doivent tenir compte de cette diversité.

L'épuration

- par les Z.H. " indépendantes " (perchées ou non), n'est liée qu'à " l'effet zone humide ", la nappe n'intervient pas.
- par les Z.H. " infiltrantes ", n'est également liée qu'à " l'effet zone humide " ; cependant la non prise en compte de l'infiltration conduirait à minimiser les flux épurés.
- au niveau des nappes émergentes (Z.H. drainantes), les flux sont influencés par l'eau souterraine. L'épuration constatée en surface peut être modifiée (provoquée, renforcée, contrariée) par la nappe : apports d'eau souterraine dénitrifiée, ou peu chargée (dilution), contribution des eaux souterraines par leurs caractéristiques physico-chimiques aux processus d'épuration dans la zone humide...

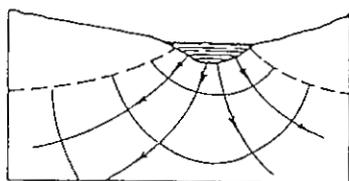
Zones humides en liaison hydraulique avec une nappe

Zones humides perchées

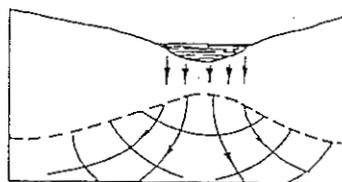


Zone humide drainante

- Profil de la surface piézométrique
- Ligne de courant
- - - Ligne équipotentielle
- ⏟ Horizon imperméable



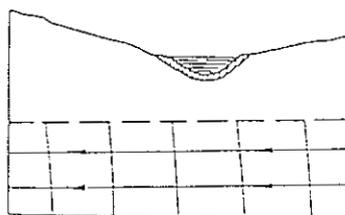
Zone humide infiltrante



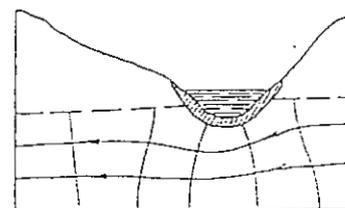
Zone humide perchée et infiltrante

Zones humides infiltrantes

Zones humides indépendantes



Zone humide perchée et indépendante



Zone humide indépendante

RELATIONS ENTRE ZONES HUMIDES DE FOND DE VALLEE ET NAPPES D'EAU SOUTERRAINE (Schémas bidimensionnels)
(d'après Castany et Margat modifié)

1.2. DU POINT DE VUE GEOCHIMIQUE

L'étude des eaux souterraines d'un bassin versant sur socle schisteux (Bassin Versant du Coët Dan) a permis de constater l'existence de deux unités hydrogéologiques qui présentent des caractéristiques géochimiques distinctes. La roche de l'unité supérieure est très altérée et les fluides sont très chargés en éléments dissous et notamment en nitrates. Des concentrations très élevées, jusqu'à 200 mg/l ont été enregistrées, ces teneurs sont supérieures à celles du ruisseau. Les fluides de l'unité la plus profonde sont plus dilués en éléments dissous, notamment en nitrates. La chute des teneurs en nitrates est partiellement liée à des processus de dénitrification par oxydation de la matière organique et/ou de la pyrite.

Si on considère le cas des zones drainantes, plusieurs cas peuvent se présenter :

- **La zone humide est alimentée par la nappe profonde.** Dans ce cas, de l'eau déjà dénitrifiée est apportée à la zone humide. Il est alors probable que la chute des teneurs en nitrates dans la zone humide soit au moins partiellement due à de la dilution. Si on ne tient pas compte de l'apport par la nappe dans le fonctionnement de la zone humide, le taux de dénitrification risque d'être surestimé, des aménagements qui n'en tiendraient pas compte pourraient se révéler disproportionnés et leurs résultats décevants.
- **La zone humide est alimentée par la nappe la plus superficielle.** Dans ce second cas, les fluides qui arrivent dans la zone humide sont très chargés en nitrates. Ainsi, si on ne tient pas compte de la nappe, le taux de dénitrification risque d'être sous-estimé, ainsi que le rôle réel de cette zone humide vis à vis de l'épuration.
- **La zone humide peut également être alimentée par les deux parties de la nappe.** Dans ce cas, les fluides qui arrivent à la zone humide sont variés et le taux de dénitrification peut être soit surestimé, soit sous-estimé. La proportion relative de chaque apport doit varier au cours de l'année.

Il est également possible que la zone humide soit à certaines périodes de l'année drainante et à d'autres périodes infiltrante. Un tel schéma aura également des répercussions sur les processus chimiques. Par exemple, si l'infiltration se fait dans une zone où la pyrite est encore présente, la dénitrification entraîne la formation de sulfate, lorsque cette eau remonte, si la matière organique est en quantité excédentaire par rapport aux nitrates disponibles, on peut voir apparaître des sulfures dans la zone humide par réduction des sulfates.

Les travaux mis en œuvre dans ce programme ont pour objectifs de définir les moyens de caractériser la place des zones humides dans le circuit de l'eau et, pour celles qui sont en relation avec les eaux souterraines, d'apporter des réponses à certaines des questions que se posent les aménageurs, telles que :

- A quelle distance de la rivière doit être placée une zone humide infiltrante pour que la dénitrification ait le temps de se produire avant la décharge dans la rivière ?

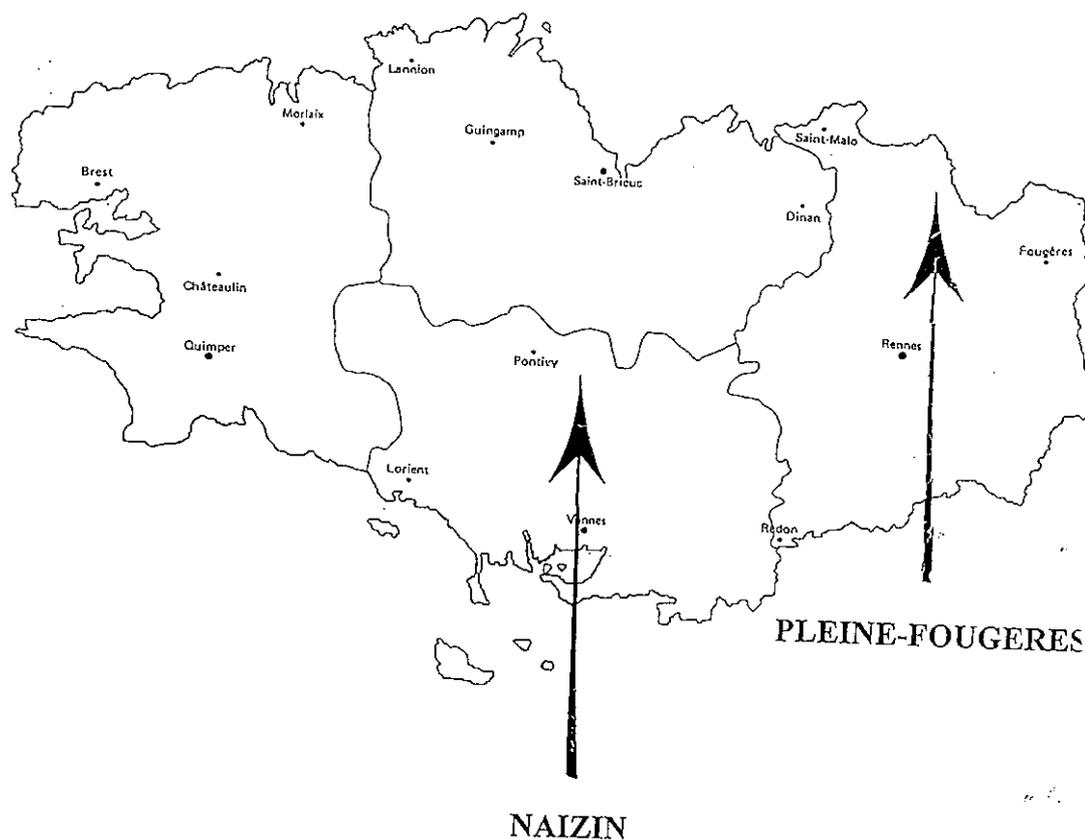
Capacités épuratrices des zones humides

- Est-ce que la présence d'une nappe drainée a une influence positive ou négative sur les processus intervenants dans la zone humide ?
- Faut-il favoriser les zones humides qui drainent la nappe profonde ou celles qui drainent la nappe supérieure ?

2. Sites étudiés

2.1. CHOIX DES BASSINS VERSANTS

Les sites tests sont localisés sur le bassin versant du Coët Dan à Naizin (56) et sur celui du ruisseau de l'Home à Pleine-Fougères (35).



Le Coët Dan, affluent de l'Evel a un substratum constitué de schistes briovériens assez peu perméables et aux capacités aquifères limitées. La rivière est fréquemment à sec en été, parfois pendant de longues périodes ; la contribution des eaux souterraines au régime du cours d'eau n'excède pas 30 % de la lame d'eau écoulee annuellement à l'exutoire du bassin contrôlé (Stimoës).

Le ruisseau de l'Home est un affluent du Couesnon qu'il rejoint à hauteur de Pontorson. Le substratum de son bassin est constitué de granite pour le tiers amont (forêt de

Villemartier dans le massif de Bonnemain), de cornéennes et de micaschistes pour les deux tiers aval. Ces formations apparaissent plus perméables que le Briovérien de Naizin et leurs capacités aquifères plus importantes ; le ruisseau de l'Home n'a pas la réputation de tarir en étiage.

Le choix de ces sites a été guidé par les contrastes qu'ils présentaient, par les équipements et les chroniques y existant (notamment à Naizin) et par les recherches qui y sont effectuées par d'autres équipes sur le fonctionnement des zones humides, dans d'autres directions que les relations avec les eaux souterraines, mais complémentaires : INRA (Naizin), CNRS, laboratoire Eco-Bio (Pleine-Fougères), Géosciences.

L'échange d'informations et de données, la mise en commun de moyens d'observations et de mesures réalise une réelle synergie devant permettre d'aboutir plus efficacement à une meilleure connaissance du fonctionnement des zones humides et à la définition des moyens pratiques d'en optimiser le rôle épurateur.

2.2. EQUIPEMENTS – MOYENS DE MESURE

2.2.1. Mise en place de piézomètres

▪ Naizin

Le site commun INRA-BRGM est constitué de deux profils, Kerrolland et Guériniac, installés en tête de bassin versant, équipés de piézomètres mis en place à différentes distances au ruisseau, dans la zone humide et sur le versant. Les piézomètres sont en PVC Ø 125 mm à Kerrolland et 140 mm à Guériniac. Le piézomètre le plus proche du ruisseau étant pris comme origine (distance : 0, altitude du sol : 0), leurs caractéristiques principales peuvent être résumées comme suit :

Tableau 1 - Profil Kerrolland

Nom du piézomètre	Profondeur sous le sol	Distance au piézo. d'origine (m)	Altitude ⁽³⁾ du sol (m)
PJ1 ⁽²⁾	env. 4 m	0	10,0
PK1 ⁽¹⁾	7,9 m	3,5	9,90
PJ2 ⁽²⁾	env. 4 m	58	11,67
PK2 ⁽¹⁾	8 m	58	11,71
PJ3 ⁽²⁾	env. 4 m	140	14,03
PJ4 ⁽²⁾	env. 4 m	170	15,66

(1) : piézomètre BRGM – (2) piézomètre INRA

(3) : origine conventionnelle : sol au pied de PJ1 = 10 m

PJ1 et PK1, d'une part, PJ2 et PK2 d'autre part, constituent des "doublets" dont l'un des membres (PJ1, PJ2) s'adressent à la partie la plus superficielle de la nappe et l'autre

(PK1, PK2) à une partie plus profonde : PK1 e PK2 sont crépinés sur les 4 m inférieurs, au dessus, l'étanchéité de l'espace annulaire est assuré par un corroi d'argile. Dans le bas fond (PK1 et PK2), les terrains sont constitués de colluvions-alluvions sur 3 à 3,5 m d'épaisseur, puis de schistes altérés.

Tableau 2 : Profil Guériniec

Nom du piézomètre	Profondeur sous le sol	Distance au piézo. d'origine (m)	Altitude ⁽¹⁾ du sol (m)
PG1	8	0	10,0
PG21	4	5	10,22
PG3	4	18	10,10
PG4	7,5	112	13,99
PG5	10	232	19,74
PG6	8	390	27,92

(1) : altitude relative dont la base est le sol au pied de PG1 affecté de l'altitude 10 m

PG1 et PG2 constituent un doublet, l'espace annulaire de PG1 étant étanché par de l'argile sur les 4 m supérieurs ; PG4, 5 et 6 sont implantés sur le versant, le doublet (PG1-PG2) et PG3 correspondent au bas-fond. PG1 et PG2 sont alignés selon une ligne parallèle au ruisseau, dont ils sont distants de 10 m.

Les schistes altérés (argileux) ont été rencontrés directement sous la terre végétale, épaisse d'une vingtaine de cm dans le bas fond.

Ces ouvrages ont été mis en place du 3 au 7/11/1997. Ils ont été réalisés avec une tarière continue Mobil-Drill (diamètre : 150-200 et 250 mm) montée sur camion. Le poids total de la foreuse est de 20 tonnes.

▪ Pleine-Fougères

Les travaux ont été réalisés du 18 au 25/11/1997. Les difficultés d'accès et le manque de portance du sol ont conduit à utiliser une machine plus légère (tarière Cédidrill montée sur 4 x 4 Toyota), aux performances plus limitées que celles de l'outil employé à Naizin ; le diamètre de foration n'excédant pas 100 mm, les sondages ont été équipés en PVC de diamètre extérieur 75 mm permettant cependant l'utilisation de préleveurs et la mise en place de capteurs de pression.

Douze sondages ont été réalisés complétant le dispositif mis en place par Eco-Bio (piézomètres Ø 30 mm, foncés à la tarière à main jusqu'à environ 1,5 m de profondeur). Onze piézomètres ont été équipés, le sondage n°10 tenté sur le versant s'est heurté à un refus (roche dure) à faible profondeur.

Tableau 3 - Pleine-Fougères

Nom du piézomètre	Profondeur atteinte	Partie crépinée	Position du bouchon annulaire d'étanchéité	Altitude (1) (m) du repère de mesures
PF1	4,8	2,8 à 4,8 m	0 à 1	10,83
PF2	2,70	0,7 à 2,7	0 à 0,3	10,745
PF3	7,80	3,8 à 7,8	0 à 0,95	9,985
PF4	2,70	0,7 à 2		10,55
PF5	3,40	1 à 3,4	0 à 0,5	10,415
PF6	3,50	1 à 3,5	0 à 0,5	10,24
PF7	3,50	1 à 3,5	0 à 0,5	10,195
PF8	4	2 à 4	0 à 0,5	10,58
PF9	4,70	1,7 à 4,7	0 à 0,9	13,815
PF10	Non équipé : refus sur roche dure			
PF11	8,50	4,5 à 8,5	0 à 0,7	14,51
PF12	9,40	5,4 à 9,4	0 à 0,9	14,53

(1) : altitudes conventionnelles ; l'origine est constituée par le sol au pied de PF1 affecté de la cote d'altitude 10 m

Les piézomètres PF1 à PF8 sont situés dans la zone humide de bas fond. PF8 est au pied du talus qui la limite. PF9, 11 et 12 ont été placés en haut de ce même talus.

Les terrains traversés sont constitués de colluvions et d'alluvions fines et argileuses (période Holocène récente probable pour les horizons les plus anciens). Aucun piézomètre n'a pu atteindre le substratum.

Nota : PF1-PF2 d'une part, PF3-PF4 d'autre part constituent des doublets. En fait, si le couple PF3-PF4 remplit bien ce rôle, PF1 est trop peu profond (refus à 4,4 m), par ailleurs, implanté dans des terrains ici extrêmement peu perméables, il ne réagit qu'avec une très grande lenteur aux variations de pression et les niveaux qui y sont mesurés ne paraissent pas significatifs.

2.2.2. Suivi des niveaux et de la qualité

Les niveaux sont contrôlés manuellement 2 fois par mois, depuis le 12 novembre 1997 à Naizin et depuis le 3 décembre à Pleine-Fougères. Des enregistreurs sont installés sur les piézomètres de Naizin (pour l'essentiel par l'INRA).

Outre des échantillonnages mensuels, des préleveurs automatiques ont été mis en place (12 décembre) sur le doublet PJ2-PK2 de Kerrolland, où 2 sondes multiparamètres ont également été testées. Les préleveurs automatiques recueillent un échantillon d'eau tous les deux jours.

Capacités épuratrices des zones humides

A partir du 8 avril 1998, les 2 sondes multiparamètres, complétées par une troisième ont été déplacées sur le profil de Guériniec où elles équipent les piézomètres PG1, PG2 et PG3.

3. Informations recueillies

3.1. LES NIVEAUX, AMPLITUDE DES VARIATIONS OBSERVEES

▪ Pleine-Fougères

Tous les piézomètres sont proches les uns des autres. Il semble que l'on puisse distinguer entre ceux qui sont en bordure de zone humide (PF8,9,11,12) où l'amplitude maximale observée est comprise entre 0,7 m et 0,85 m :

- ceux qui sont en milieu de zone humide et qui contrôlent la partie la plus superficielle de la nappe où l'amplitude maximale est comprise entre 0,15 et 0,50 m (moyenne : 0,30 m) ;
- celui (PF3) qui, situé en milieu de zone humide contrôle une partie plus profonde de la nappe où l'amplitude maximale n'est pas connue mais est supérieure à 0,35 m.

▪ Naizin - Kerrolland

Du piézomètre le plus proche du ruisseau (PJ1-PK1) vers le versant, les amplitudes maximales mesurées sont :

PJ1 : 0,48 m

PK1 : 0,47 m

PJ2 : 0,75 m

PK2 : 0,81 m

PJ3 : > 4,2 m (sec au début de la période de mesures)

PJ4 : > 2,93 m (sec au début de la période de mesures)

Les niveaux maximaux ont été observés vers le 7 janvier et vers le 24 avril, ils correspondent aux épisodes pluvieux majeurs.

Il faut noter que PJ3 installé à la rupture de pente reliant le versant à la zone plane de bas fond a débordé du 7 au 20 janvier et du 20 au 27 avril.

▪ Naizin - Guériniac

Le relief plus accusé du profil de Guériniac (18 m de dénivelé, pour seulement 6 m à Kerrolland) se traduit dans l'amplitude des variations maximales mesurées :

PG1 : 2,03 m

PG2 : 1,25 m

PG3 : 1,56 m

PG4 : 4,38 m

PG5 : 4,66 m

PG6 : > 5,49 m

Les niveaux maximaux sont observés sensiblement aux mêmes dates qu'à Kerrolland.

3.2. LES DIFFERENCES DE PRESSION-ECHANGES VERTICAUX

▪ Pleine-Fougères

Le doublet PF3 (" profond ") – PF4 (" superficiel ") montre que la partie plus profonde de la nappe est en charge par rapport à la partie plus superficielle : les eaux profondes alimentent les eaux peu profondes et contribuent à l'existence de la zone humide.

Différence de charge entre PF3 et PF4 :

Le 3/12/97 : - 0,31 m (valeur incertaine, à vérifier au prochain étiage)

Le 23/12 : + 0,15 m

25/01 : non significatif (pompage peu de temps avant la mesure)

28/01 : > + 0,22 m (artésien)

12/02 : > + 0,25 m (artésien)

25/02 : + 0,27 m

12/03 : + 0,40 m

25/03 : + 0,41 m

14/04 : + 0,47 m

28/04 : inondation par le ruisseau

19/05 : + 0,36

10/06 : + 0,23

▪ Naizin - Kerrolland

Le doublet PK2 (" profond ") – PJ2 (" superficiel ") montre le même type de comportement.

Différence de charge entre PK2 et PJ2 :

Le 13/11/97 : 0,00 m

Le 26 /11 : + 0,0,3 m

12/12 : + 0,11

17/12 : + 0,06 m

7/01 : + 0,09 m

10/01 : + 0,07 m

3/02 : + 0,09 m

17/02 : + 0,04 m

26/02 : + 0,09 m

3/03 : + 0,11 m

11/03 : + 0,12 m

26/03 : + 0,08 m

8/04 : + 0,08 m

20/04 : + 0,14 m
27/04 : + 0,11 m
11/05 : + 0,11 m
25/05 : + 0,09 m
9/06 : + 0,09 m

Comme à Pleine-Fougères, la nappe "profonde" alimente la zone humide au moins pendant cette période de recharge hivernale.

Rappelons que PJ3 a été artésien plusieurs fois pendant cette période ce qui, dans son cas, semble plutôt correspondre au débordement de la partie supérieure de la nappe.

▪ Naizin - Guériniec

Le doublet PG1 ("profond")-PG2 ("superficiel") montre un comportement inverse : la partie profonde de la nappe est toujours à un niveau de pression inférieur à celui de la nappe superficielle. La différence de charge est comprise entre 0,02 m et un maximum de 0,64 m.

En première analyse, cela paraît signifier que la partie supérieure de la nappe, constamment en charge, s'infiltré vers le sous-sol plus profond et alimente la partie inférieure de la nappe. Les résultats géochimiques contredisent ce mode de fonctionnement. Des vérifications sont en cours et préciser le mécanisme des échanges verticaux à Guériniec.

3.3. SUIVI DE LA QUALITE -DONNEES GEOCHIMIQUES

Les données recueillies permettent d'apporter les commentaires suivants :

▪ Naizin - Guériniec

On remarque les teneurs très basses en sulfates en haut de versant, alors que les chlorures et les nitrates sont élevés : il n'y a pas d'oxydation des minéraux sulfurés en haut de versant, (on ne retrouve pas de minéraux sulfurés ni sulfatés mais uniquement des oxydes de fer (lepidocrocite et Goethite) Les teneurs en sulfates augmentent à partir de PG3 pouvant résulter de l'oxydation des minéraux, éventuellement par dénitrification

Des nitrites ont été observés en PG5 et PG4, ce qui signifie que des nitrates sont réduits. A ce niveau, seule la matière organique entre dans le processus, il n'y a pas d'apport d'eau plus profonde dénitrifiée.

En descendant de PG5 (ou PG6) vers PG3, on constate une augmentation des teneurs en chlorures. Compte tenu des observations faites ailleurs sur le bassin (Stimoës), l'augmentation en Cl doit être corrélée avec une augmentation en nitrates si aucun processus de réduction des nitrates ne se passe. Au cours de sa circulation, l'eau se charge en NO₃ et Cl avec un rapport de l'ordre de 3, cette valeur est d'ailleurs vérifiée

sur les prélèvements effectués en PG6. En fait, on constate un abattement important du rapport NO₃/Cl dès le forage PG3 qui croît en PG2. cet abattement est dû à des réactions de dénitrification qui se produisent soit (1) in situ soit (2) plus profondément, des remontées d'eau dénitrifiées et peu chargées en Cl (cf. PG1) entraînant une dilution.

En supposant qu'il n'y a pas d'apport significatif de NO₃ et de Cl entre PG3 et PG2, on peut estimer la proportion d'eau dénitrifiée "profonde" dans PG2 et qui n'est pas dans PG3. On suppose alors que l'eau de PG2 résulte du mélange entre une eau de type PG1 (profonde) avec une eau de type PG3 (peu profonde) et des réactions de dénitrification. On obtient le tableau suivant:

Tableau 4 - Eau prélevée dans PG2 à différentes périodes, pourcentage d'eau de type PG3 calculée à partir des chlorures

Date	% d'eau type PG3	Abattement en NO ₃ par dilution avec eau profonde (mg.l-1)	Abattement en NO ₃ par dénitrification au niveau du prélèvement (mg.l-1)
13 nov. 97	76 %	17	30
26 nov. 97	79%	16	23
7 jan. 98	90%	7	35
8 Avril 98	42.5 %	27	8,5

On constate que la diminution des nitrates dans PG2 par dilution avec une eau profonde et dénitrifiée est importante et variable au cours du temps, elle représente entre 17 et 76 % de l'abattement en NO₃. Ces valeurs sont d'ailleurs sous-estimées car la contribution d'eau profonde à PG3 a été négligée.

Les teneurs en SO₄ qui devraient résulter de la dénitrification (PG1 – PG2) ne sont pas retrouvées. La réprécipitation des ions SO₄ et Fe libérés par l'oxydation des sulfures semble en être la cause : de la rozenite (Fe SO₄, 4H₂O) et de l'anhydrite (SO₄CA) ont été identifiés dans les déblais de foration de PG1..

Naizin - Kerrolland

Deux appareillages différents ont été utilisés pour acquérir les données de qualité :

- des préleveurs automatiques : les concentrations déterminées par l'analyse chimique des échantillons d'eau qu'ils fournissent peuvent être considérées comme justes et précises ;
- des sondes multi-paramètres (électrodes spécifiques) dont les résultats sont précis, mais pas forcément justes : seules les variations de concentrations ou de valeurs doivent être prises en compte.

A propos de la méthodologie de prélèvement :

Deux modes d'échantillonnage ont lieu sur PJ2 et PK2 :

- échantillonnages tous les deux jours par les préleveurs automatiques qui ne prélèvent que la quantité d'eau nécessaire au remplissage d'un flacon;
- échantillonnages bi-mensuels prélevés après vidange par pompage des piézomètres.

Sur PJ2, On observe des chutes de concentrations en Cl, SO₄ et NO₃ simultanées suivies par des remontées régulières, mais les concentrations n'ont pas le temps de se stabiliser avant la chute suivante (données préleveurs). Ces chutes sont situées aux dates suivantes: 7 janvier, 21 janvier, 5 mars, 17 mars, 2 avril à (+/- 1ou 2 jours). A un moment donné on attire de façon rapide une eau moins chargée en NO₃, Cl et SO₄ et de par la faible perméabilité du milieu, le retour à l'équilibre est difficilement atteint. On attire (par pompage) une eau probablement plus profonde. On note une différence par rapport aux observations faites ailleurs sur le bassin (Stimoës et Guériniec) : l'eau peu profonde est plus chargée en SO₄ que l'eau plus profonde. Il ne s'agit pas d'un SO₄ anthropique (PJ4 contient des nitrates et pas de sulfates), mais d'une oxydation par l'oxygène de minéraux sulfurés encore présents.

Sur PK2, plus profond que PJ2, on retrouve les variations brutales de composition, elles sont surtout marquées par le pH et la conductivité, paramètres enregistrés par la sonde; les dates de ces variations sont les suivantes : 18 février, le 4 mars, le 17 mars, le 1er avril. Par rapport à PJ2, les différences sont les suivantes :

- l'installation de la sonde n'a eu lieu que le 5 février : on ne retrouve pas les pics constatés en janvier à PJ2,
- Il y a eu un manque dans les prélèvements en PJ2 au mois de février, on peut donc observer en PK2 un pic supplémentaire le 28 février.

Dans un tel système où les différences de charges gouvernent en partie le sens des échanges, l'échantillonnage doit être aussi "doux" que possible, sous peine de perturber le milieu. Des essais sont en cours pour vérifier l'impact du mode de prélèvement sur la composition de l'eau.

▪ **Pleine-Fougères**

Les niveaux les plus profonds sont moins chargés en NO₃, Cl et SO₄. Ces anions ne peuvent donc suffire pour mettre en évidence des remontées d'eau plus profondes. Ca est plus élevé en profondeur, mais ne peut constituer un bon marqueur de mélange, les teneurs devant varier avec le degré d'altération de la roche.

Les teneurs en sulfates augmentent à peu près régulièrement avec les teneurs en chlorures, ce qui pourrait indiquer un processus de mélange, mais on ne connaît pas la composition des pôles (substratum micaschisteux, partie supérieure de la nappe sous le coteau).

D'après la piézométrie, les transferts sont ascendants; les teneurs en nitrates chutent de façon importante avec la profondeur, probablement par 2 processus :

1. dénitrification,
2. mélange avec une eau plus profonde dépourvue de nitrates.

Cependant, les teneurs en Cl (mais également en SO₄) dans le substratum profond ne sont pas connues, on ne peut donc pas en déduire à partir des valeurs en un point donné, la contribution de chacun des processus mentionnés.

A Pleine-Fougères, actuellement, les résultats ne sont pas clairement interprétables.

Conclusions

Six mois après le début de cette étude, de nombreuses données ont été recueillies, aux plans géochimiques et hydrogéologiques. La période d'observation et de mesures correspond à la recharge des nappes par les pluies abondantes de décembre 1997, janvier 1998 et d'avril 1998.

Une interprétation permettant d'aboutir à des conclusions pratiques nécessite que les paramètres variables continuent à être mesurés jusqu'au constat de conditions d'étiage et que les paramètres stables (perméabilité) soient mesurés dans les piézomètres.

Il apparaît que les bas-fonds étudiés sont, au moins pendant la période observée, des lieux d'émergence des eaux souterraines, qui y convergent par deux cheminements : les écoulements latéraux des eaux peu profondes, parfois très chargées en sels dissous, et les apports verticaux d'eau plus profonde à faibles concentrations (ce dernier point est à vérifier sur le site de Naizin – Guériniec).

De plus, elles reçoivent directement les pluies, et peuvent être recouvertes par des inondations (cas observé à Pleine-Fougères).

Dans les sites tests, les eaux profondes peu chargées contribuent à améliorer la qualité globale des eaux à l'aval en s'ajoutant à la capacité épuratrice propre à ces milieux.

De l'importance et du poids respectifs de ces mécanismes, de leurs variabilité inter saisonnière dépendent la possibilité d'en optimiser les effets positifs et les modes d'aménagements envisageables.

ANNEXES

Naizin :

- Localisation à 1/25000

Kerrolland :

- Profils piézométriques de hautes eaux et de basses eaux
- Résultats d'analyses, échantillonnage par préleveurs automatiques à PK2
- PK2 - Graphique de fluctuations de NO₃ et Cl – Mesures par sonde
- PK2 – Graphique de fluctuations de Ph et conductivité – Mesures par sonde
- PJ2 – Graphique de fluctuations de NO₃ , Cl et SO₄ – Analyses chimiques d'échantillons (préleveur automatique)

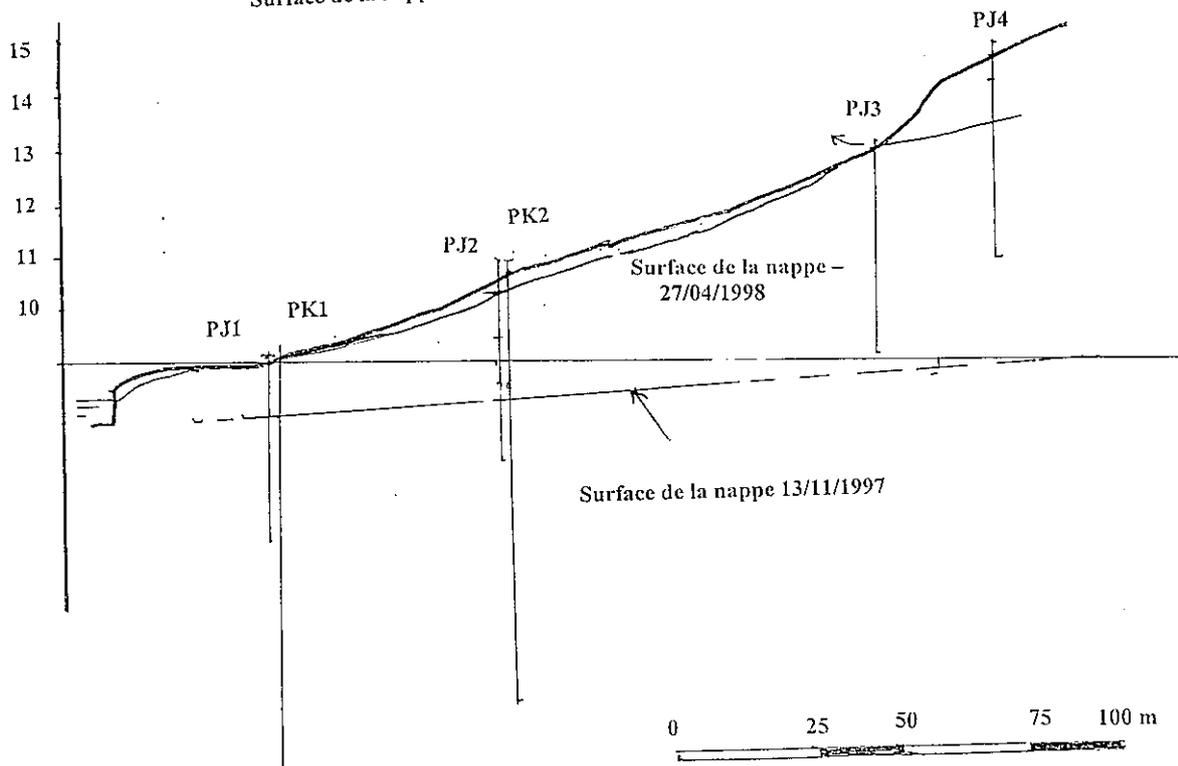
Guériniec :

- Profils piézométriques de hautes et basses eaux
- Résultats d'analyses

Pleine-Fougères :

- Localisation à 1/25000
- Schéma d'implantation des piézomètres
- Résultats d'analyses

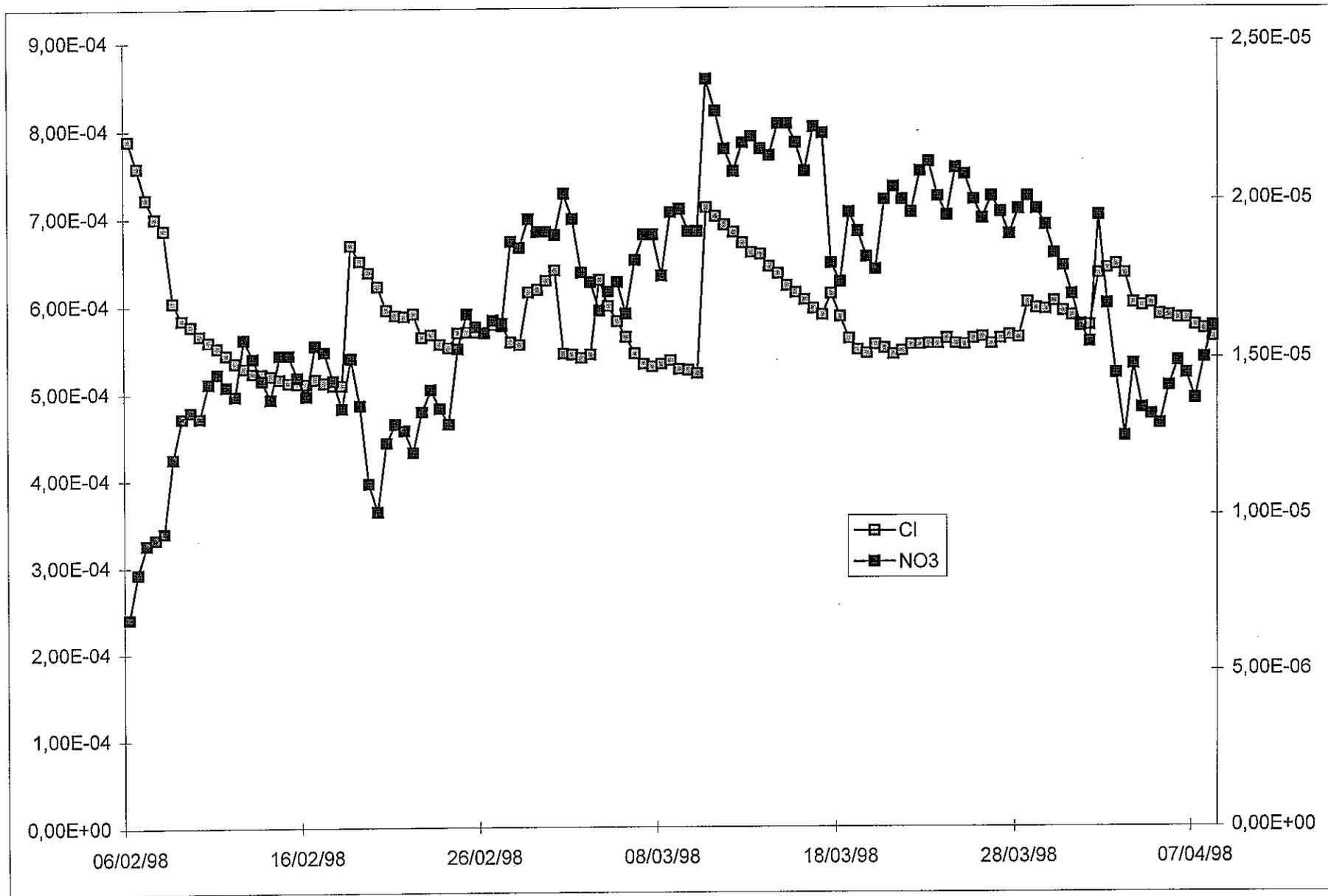
KEROLLAND (Naizin)
Profil piézométrique - Schéma
Surface de la nappe en basses eaux (?) - Ruisseau sec - 13/11/1997
Surface de la nappe en hautes eaux : 27/04/1998



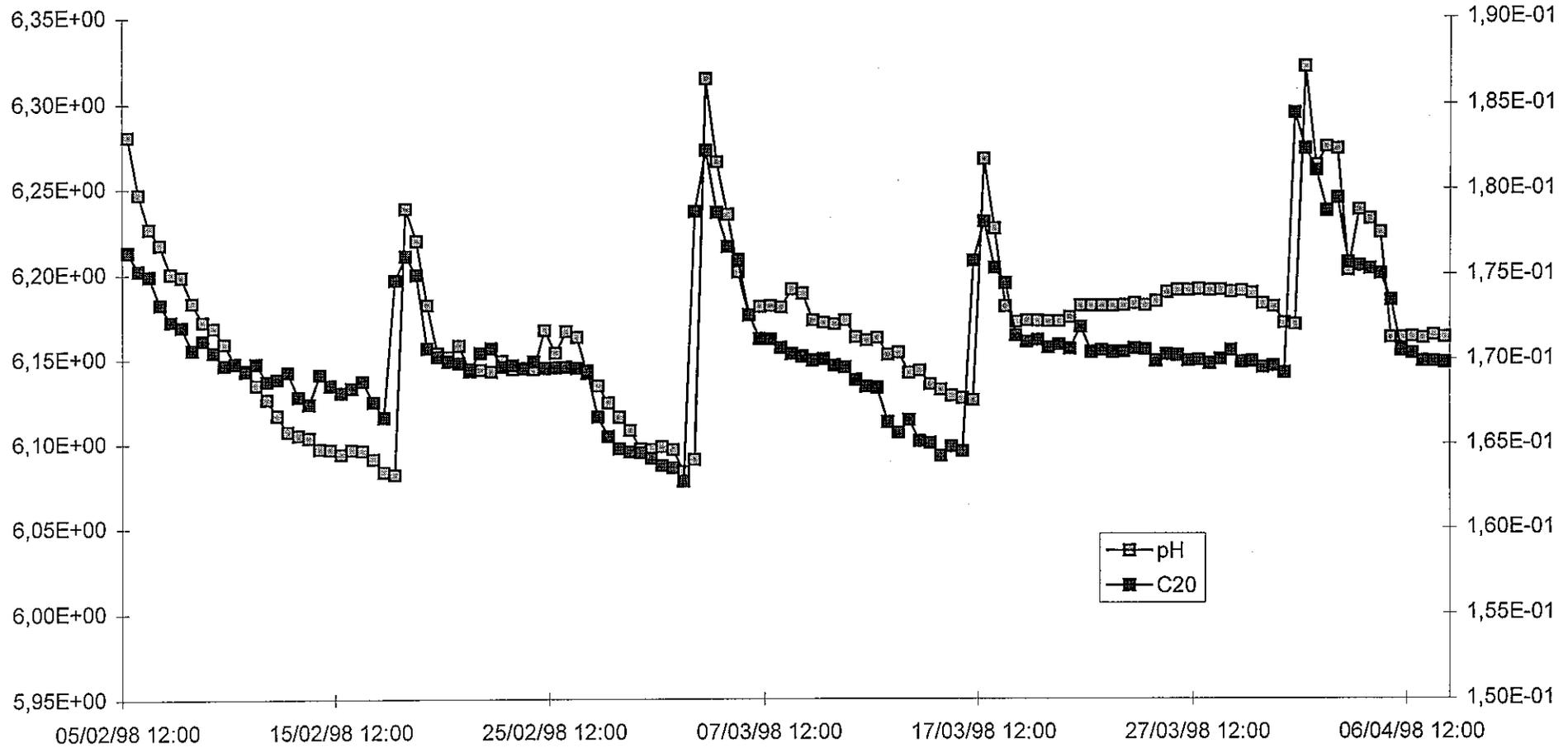
PK2 - Echantillonnage par préleveur automatique

Piézomètre PK2													
Date	pH	température	Conductivité µS	Cl (mg/l)	NO2 (mg/l)	NO3 (mg/l)	SO4 (mg/l)	COD (mg/l)	CMD (mg/l)	K+	Ca ²⁺	Na+	Mg ²⁺
04/11/97	6,32	14	235	26,4	<1	8	16,5						
13/11/97	6,77		326	27,5	1	5,1	33,8						
26/11/97	6,94		298	28,7	<1	<1	27,9						
12/12/97 0 vol				5,0	<1	3,7	3,0						
12/12/97 1/2 vol				5,0	<1	3,2	3,0						
12/12/97 1 vol				20,1	<1	<1	13,8						
12/12/97 2 vol				20,6	<1	<1	13,8						
12/12/97 3 vol				20,4	<1	<1	13,6						
13/12/97				20,9	<1	<1	14,0						
15/12/97				20,8	<1	<1	14,0						
17/12/97				20,7	<1	<1	15,0						
19/12/97				20,5	<1	2,0	14,0						
21/12/97				20,6	<1	<1	13,5						
23/12/97				20,9	<1	<1	13,1						
07/01/98	6,72	10,2	211	22,0	<1	<1	11,5	1,2	11,6				
09/01/98				20,7	<2	<2	14,3						
11/01/98				21	<2	<2	14,6						
13/01/98				22,6	<2	<2	14,2						
15/01/98				21,3	<2	<2	13,8						
17/01/98				21,7	<2	<2	14						
19/01/98				21,9	<2	<2	14,1						
21/01/98				19,9	<2	<2	15,4						
23/01/98				20,9	<2	<2	15,7						
25/01/98				21,2	<2	<2	14,4						
27/01/98				21,1	<2	<2	15,1						
29/01/98				21,3	<2	<2	15						
31/01/98				21,2	<2	<2	14,4						
02/02/98				21,6	<2	<2	14,6			4,7	28,4	###	11,9
28/02/98				21,8	<1	<1	13,4						
02/03/98				21,7	<1	<1	13,3						

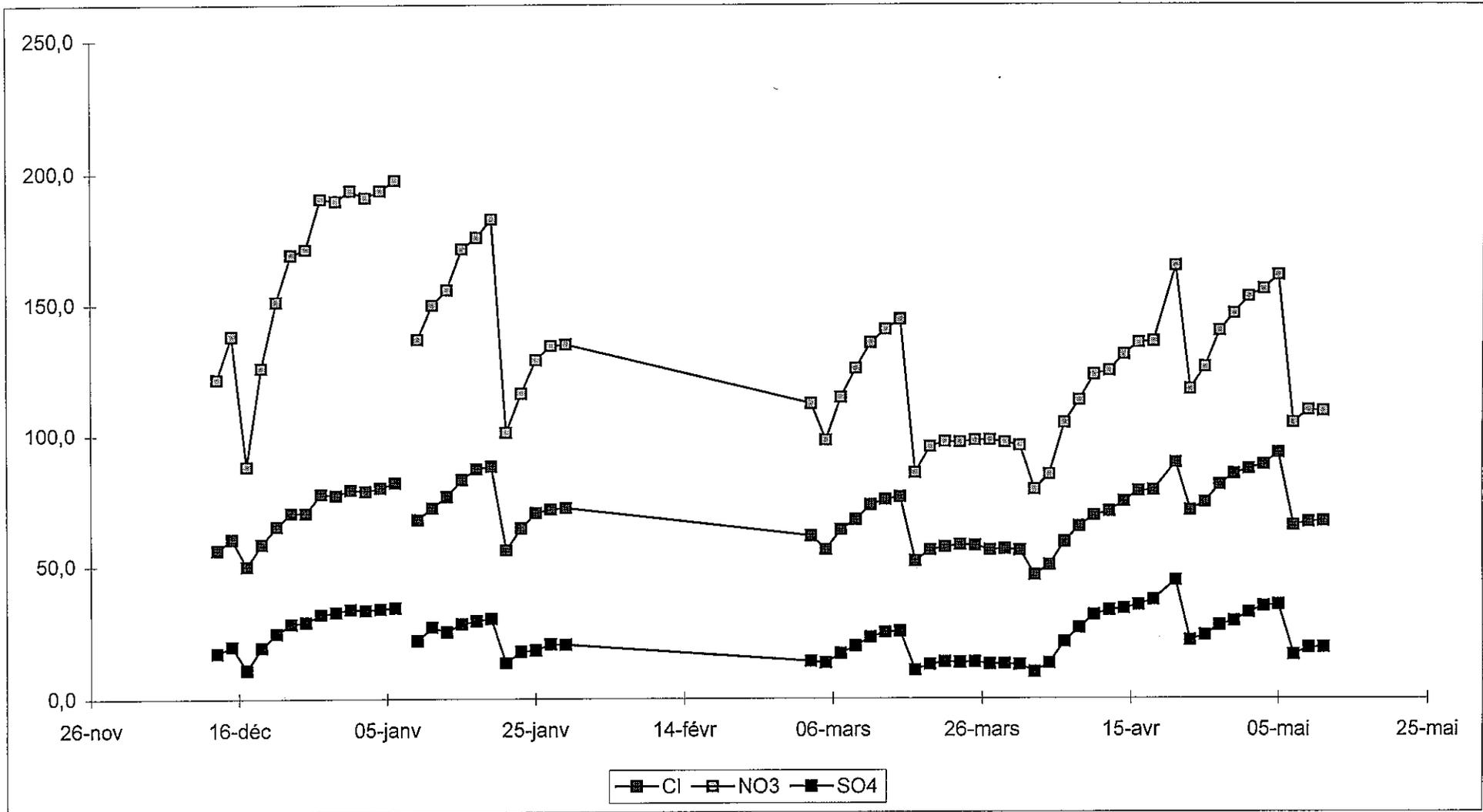
PK2 - Mesures par sonde



pH et Conductivité à 20°C de PK2 (mesures par sonde)



PJ2 - Analyse chimique des échantillons du préleveur



Altitudes

GUERINIEC (NAIZIN)

Profil pézométrique - Schéma

25

20

15

14

13

12

11

10

PG6

PG5

Surface de la nappe « hautes eaux » - 27/04/1998

PG4

Surface de la nappe « basses eaux » - 13/11/1997

PG2

PG1

PG3

0 25 50 75 100 m

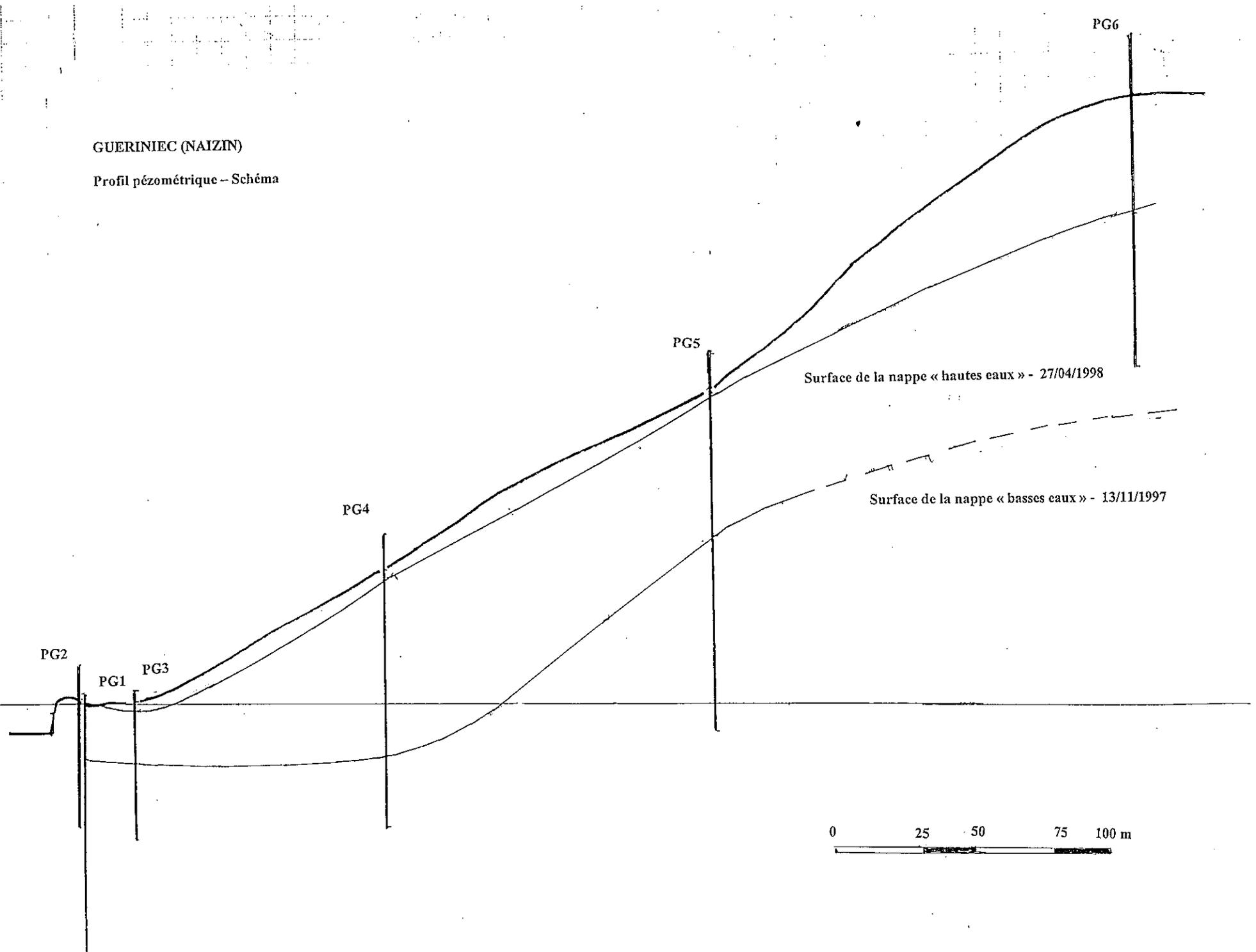


Tableau 5 - Profil de Guériniec
Quelques résultats d'analyses

Echantillon	Cl- mg/L	NO2- mg/L	NO3- mg/L	SO4- - mg/L
-------------	-------------	--------------	--------------	----------------

Prélèvement du 13/11/97.

PG1	16,2	<1	<1	18,0
PG2	31,7	4,2	24,5	17,9
PG3	36,5	<1	70,8	8,4
PG4	36,0	4,8	80,5	2,5
PG5	29,4	6,0	71,2	2,5

Prélèvement du 26/11/97.

PG1	15,9	<1	<1	16,8
PG2	33,0	1,5	36,8	18,8
PG3	37,5	1,5	75,2	9,6
PG4	36,8	9,9	69,4	2,0
PG5	32,0	24,1	53,2	2,0

Prélèvement du 7/01/98

PG1	15,3	<1	<1	16,4
PG2	30,2	1,5	26,5	13,0
PG3	31,8	<1	68,4	4,0

Prélèvement du 3/02/98

PG1	16,7	<2	<2	16,9
PG3	35,8	<2	72,3	2,7
PG6	30,7	<2	94,0	<2

Prélèvement du 26/03/98

Ru- Guerinie	32,6	<1	70,1	5,2
PG1	15,2	<1	<1	15,3
PG3	32,9	<1	70,7	2,9
PG6	27,5	<1	85,2	1,7

Prélèvement du 8/04/1998

PG1	15,0	<1	<1	15,6
PG2	26,0	<1	34,1	6,4
PG3	33,0	<1	69,7	2,7

PLEINE FOUGERES (35)

Site de Le Home

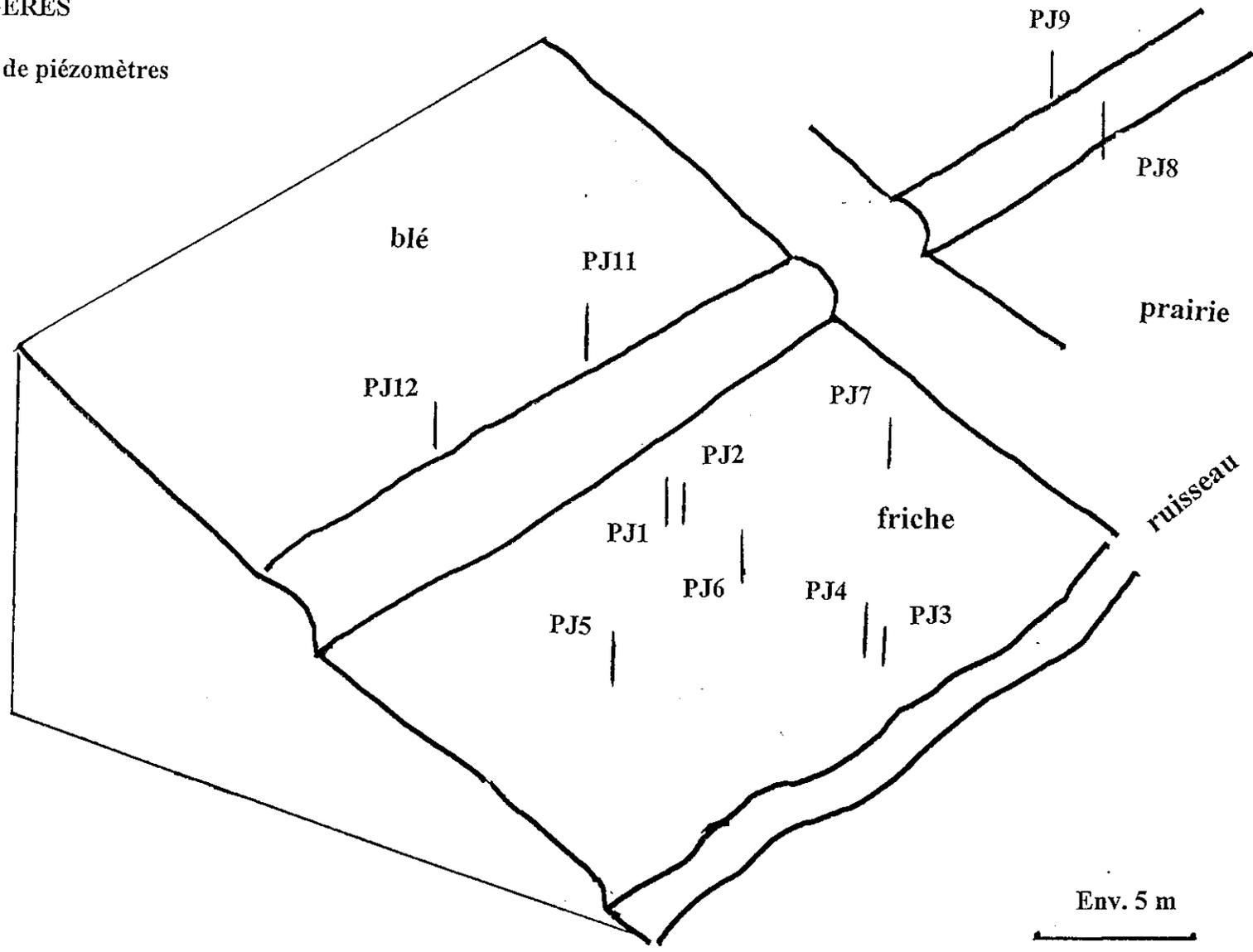
Echelle : 1/25 000

Carte IGN 1216 Est - Pontorson



PLEINE-FOUGERES

Schéma d'implantation de piézomètres



Pleine-Fougères - Analyses chimiques (prélèvements manuels)

Prélèvement du 03/12/97.

Echantillon	pH	Température	Conductivité	Cl- mg/L	NO2- mg/L	NO3- mg/L	SO4-- mg/L	NO3/Cl
Ruisseau	6,16		263	42,6	<1	1,3	30,0	0,03
PF1	6,41		206	23,4	<1	<1	16,1	0,00
PF2	5,96		313	59,2	<1	<1	29,5	0,00
PF3	6,54		280	27,1	<1	<1	18,2	0,00
PF4	5,94		184	27,8	<1	1,5	20,1	0,05
PF5	6,15		240	31,9	<1	1,0	35,2	0,03
PF6	6,04		262	39,3	<1	<1	22,5	0,00
PF7	6,05		343	50,6	<1	<1	47,2	0,00
PF8	6,56		646	51,0	10,6	41,5	26,3	
PF9	6,24		428	52,5	1,0	55,7	23,6	1,06
PF11	5,92		352	47,5	6,7	33,4	31,1	0,70
PF12	5,78		302	32,6	<1	56,1	16,4	1,72

Prélèvement du 15/01/1998

Echantillon	pH	Température	Conductivité	Cl- mg/L	NO2- mg/L	NO3- mg/L	SO4-- mg/L	NO3/Cl
1	6,43		256	29,4	<2	<2	14,1	0,00
2	5,81		329	56,8	<2	7,7	29,7	0,14
3	6,45		310	30	<2	<2	17,1	0,00
4	5,9		179	32,7	<2	<2	27,1	0,00
5	5,91		234	41,6	<2	<2	35,9	0,00
6	5,84		256	47,6	<2	<2	24,8	0,00
7	5,59		308	50,4	<2	<2	45,1	0,00
8	6,05		423	48,8	<2	63,1	26,6	
9	5,98		103	10,9	<2	10,5	8,5	0,96
11	5,88		201	31,3	<2	<2	19,5	0,00
12	5,9		359	43	<2	56,9	21,5	1,32
Etang	6,59		270	41,5	<2	25,1	20,4	0,60

Prélèvement du 12/02/1998

Echantillon	pH	Température	Conductivité	Cl- mg/L	NO2- mg/L	NO3- mg/L	SO4-- mg/L	NO3/Cl
1	6,56		264	31,5	<2	<2	17,5	0,00
2	5,14		295	52,6	<2	6,4	26	0,12
3	6,32		271	26,2	<2	<2	16,1	0,00
4	5,68		188	31,6	<2	<2	25,1	0,00
5	5,82		241	39,7	<2	<2	26,4	0,00
6	5,93		240	38	<2	<2	17,1	0,00
7	5,34		298	49,5	<2	<2	42,4	0,00
8	6,46		401	48,8	10,6	23,8	22,3	
9	5,81		96,8	9,5	<2	9	9,9	0,95
11	6,31		209	28,7	<2	7,2	17,4	0,25
12	5,83		385	48,7	<2	59,6	22,2	1,22
Ruisseau a	6,12		297	50,2	<2	5,1	29,6	0,10
Ruisseau aval			315	47,3	<2	8,0	24,0	0,17

Prélèvement du 12/03/1998

Echantillon	pH	Température	Conductivité	Cl- mg/L	NO2- mg/L	NO3- mg/L	SO4-- mg/L	NO3/Cl
1				29,9	<2	<2	15,3	0,00
2				46,3	<2	3,3	24,1	0,07
3				24,5	<2	<2	12,8	0,00
4				32,3	<2	<2	18,3	0,00
5				36,9	<2	<2	22,1	0,00
6				37,7	<2	<2	16,3	0,00
7				55,8	<2	<2	42,4	0,00
8				49,9	<2	<2	21,1	
9				14,1	<2	16,4	11,4	1,17
11				33,5	<2	24,3	17,9	0,73
12				46,4	<2	64,2	21,4	1,38
Ruisseau				48,4	<2	<2	13,8	0,00

Prélèvement du 14/04/1998

Echantillon	pH	Température	Conductivité	Cl- mg/L	NO2- mg/L	NO3- mg/L	SO4-- mg/L	NO3/Cl
PF1				29,3	<1	<1	8,7	0,00
PF2				46,3	<1	6,3	23,5	0,14
PF3				23,8	<1	<1	13,0	0,00
PF4				28,9	<1	<1	17,0	0,00
PF5				37,8	<1	4,8	21,2	0,13
PF6				41,2	<1	<1	17,6	0,00
PF7				54,5	<1	<1	41,1	0,00
PF8				51,0	<1	19,3	20,3	
PF9				18,2	<1	21,4	13,3	1,18
PF11				37,4	<1	35,5	19,1	0,95
PF12				46,7	<1	60,0	20,7	1,28
PFru-amont				34,0	<1	<1	7,0	0,00