

NAQUA

Qualité des eaux souterraines en Suisse 2002/2003

DIV:
Diverses substances

- CN⁻
- NTA
- EDTA

HH:
Hydrocarbures halogénés

- Chloroforme
- 1,1,1-Trichloréthane
- Tétrachloro-carbone
- Tri (trichloro-éthylène)
- Per (tétrachloro-roéthylène)

BT:
BTEX; MTBE

- Benzène
- Ethylbenzène
- Toluène

PB:
Programme de base

- Conductivité
- Turbidité
- pH

P:
Pesticides

- Atrazine
- Déséthyl-atrazine
- Désisopropyl-atrazine
- Simazine
- Terbutylazine
- Terbutryne
- Metribuzine

ML:
Métaux lourds au sens large

- Cr total
- Ni
- Cu
- Be
- Co
- Ti
- Hg
- As
- Pb
- Cd
- Se

PAN:
Phosphates;
Ammonium;
Nitrites

- PO₄³⁺
- NO₄⁺
- NO₂⁻



Bundesamt für Wasser und Geologie **BWG**
Office fédéral des eaux et de la géologie **OFEG**
Ufficio federale delle acque e della geologia **UFAEG**
Uffizi federal per aua e geologia **UFAEG**
Federal Office for Water and Geology **FOWG**



Office fédéral de
l'environnement,
des forêts et
du paysage
OFEFP

NAQUA
Qualité des eaux
souterraines en Suisse
2002/2003

Publié par l'Office fédéral
de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP
et l'Office fédéral des eaux et de la géologie OFEG,
Berne 2004

Éditeurs

Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) et Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG)

L'OFEFP et OFEG sont des offices du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC

Auteurs

OFEFP :

Reto Muralt, Sybille Kilchmann, Frédéric Guhl,
Samuel Cornaz, tous de la division Protection des eaux

OFEG :

Thilo Herold, David Clavien, Ronald Kozel,
tous de la division Service géologique national
Le résumé (pages 11 à 18) a été rédigé par Beat Jordi,
journaliste RP, Bienne

Référence

OFFICE FÉDÉRAL DE L'ENVIRONNEMENT, DES FORÊTS ET
DU PAYSAGE/OFFICE FÉDÉRAL DES EAUX ET DE LA
GÉOLOGIE (éd.) 2004 : *NAQUA – Qualité des eaux
souterraines en Suisse 2002/2003*. Berne 204 p.

Traduction

Joseph Thierrin, CSD SA, Porrentruy
et Michel George, Bâle

Mise en page du rapport

Ursula Nöthiger-Koch, Uerkheim

Mise en page de « L'important en bref »

Brigitte Schrade (OFEFP)

Crédit photographique de « L'important en bref »

OFEFP/AURA : 11 ;
OFEG : 11 (à gauche), 12 , 17 à droite (3 photos), 18 ;
Agence de photo AURA, Lucerne : 13 ;
OFEFP/Docuphot : 15, 16, 17 à gauche

Couverture

AVD, Hans-Peter Hauser, Berne

Commande

OFCL

Vente de publications

CH-3003 Berne

Fax +41 (0)31 325 50 58

Internet : www.publicationsfederales.ch

Commande :

804.901.f

Ce rapport est aussi disponible en allemand
(n° de commande 804.901.d).

Cette publication est également disponible en format
PDF : www.buwalshop.ch oder www.bwg.admin.ch.

© OFEFP/OFEG, Berne, 2004

Table des matières

Avant-propos	5	2.4 Paramètres de base	111
Zusammenfassung	7	2.4.1 Introduction	111
Résumé	8	2.4.2 Vue d'ensemble	111
Riassunto	9	2.4.3 Paramètres de terrain	113
Summary	10	2.4.4 Composants principaux et secondaires, éléments traces	119
L'important en bref	11	3 Conclusions et perspectives	138
1 Introduction	19	4 Bibliographie	143
1.1 Objectifs de l'observation des eaux souterraines de la Confédération	19	Annexes	
1.2 Bases légales	20	A1 Résultats	146
1.3 Historique	20	A2 Courbes d'évolution temporelle de quelques paramètres des stations NAQUA _{TREND}	158
1.4 Le réseau NAQUA	21	A3 Limites utilisées pour l'évaluation de la qualité des eaux souterraines	203
1.4.1 Critères de sélection des stations	22		
1.4.2 Module NAQUA _{TREND}	24		
1.4.3 Module NAQUA _{SPE}	31		
1.5 Interprétation des résultats	38		
1.5.1 Calculs/Statistiques	38		
1.5.2 Interprétation en relation avec l'utilisation du sol, l'altitude, la zone agricole et la géologie	40		
2 Résultats	44		
2.1 Composés azotés	44		
2.1.1 Introduction	44		
2.1.2 Ammonium (NH ₄ ⁺)	45		
2.1.3 Nitrites (NO ₂ ⁻)	47		
2.1.4 Nitrates (NO ₃ ⁻)	49		
2.2 Produits phytosanitaires	70		
2.2.1 Introduction	70		
2.2.2 Analyses réalisées	72		
2.2.3 Résultats	74		
2.2.4 Interprétation	83		
2.2.5 Relation entre nitrates et produits phytosanitaires	88		
2.3 Hydrocarbures et MTBE	91		
2.3.1 Introduction	91		
2.3.2 Analyses réalisées	91		
2.3.3 Hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM)	93		
2.3.4 MTBE	96		
2.3.5 Hydrocarbures (aliphatiques) halogénés volatils (HHV)	99		
2.3.6 Autres hydrocarbures	103		
2.3.7 Réflexion sur l'ensemble des substances	103		
2.3.8 Interprétation	106		

Avant-propos

On ne peut protéger que ce que l'on connaît

Une qualité de l'eau souterraine proche de l'état naturel constitue la base indispensable pour une qualité élevée de l'eau potable, à laquelle tout citoyen a droit. Cependant, une vision cohérente de la qualité de la ressource en eau souterraine sur l'ensemble de la Suisse, manquait jusqu'à présent. Même pour des polluants aussi réputés que les nitrates et les produits phytosanitaires, il n'était pas possible de présenter une image cohérente et pratiquement impossible de montrer des évolutions chronologiques valables pour l'ensemble de la Suisse.

Les résultats du réseau national d'observation de la qualité des eaux souterraines NAQUA comblent désormais pour la première fois cette lacune. Ils permettent à la Confédération de se conformer aux exigences de la Loi fédérale sur la protection des eaux (Art. 57) concernant les relevés nationaux sur l'état de la qualité des eaux souterraines. Cette tâche a pu être menée à bien grâce à une collaboration étroite et très active entre les services cantonaux spécialisés, l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) et l'Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG).

Toutes les substances problématiques pour l'eau souterraine n'ont pas encore pu être examinées en détail et les séries chronologiques, du fait de leur courte durée, ne présentent encore pas de tendance fiable. Cependant avec cette publication, les connaissances sur l'état de notre eau souterraine augmentent considérablement. Nous voyons aussi que la qualité de cette dernière est dans l'ensemble bonne. Pourtant des signaux d'alarme apparaissent, comme la présence fréquente de traces de produits phytosanitaires et d'hydrocarbures dans les réservoirs aquifères analysés. Cette présence doit maintenant être suivie avec attention et son origine doit faire l'objet d'investigations de détail.

Avec cette première publication de résultats, le réseau d'observation NAQUA fournit une base pour une gestion durable de l'une de nos rares matières premières indigènes. Cette base permet de définir les mesures appropriées, nécessaires à la résolution des problèmes de qualité mis en évidence.

Office fédéral de l'environnement,
des forêts et du paysage

Dr. Ph. Roch
Directeur

Office fédéral des eaux
et de la géologie

Dr. Chr. Furrer
Directeur

Zusammenfassung

D

Der vorliegende Bericht enthält die erste Zusammenstellung und Auswertung der Ergebnisse des nationalen Messnetzes zur Beobachtung der Grundwasserqualität NAQUA, das seit 1997 sukzessive aufgebaut wurde. Er ermöglicht zum ersten Mal eine breit abgestützte, weitgehend repräsentative Darstellung des Zustands der wichtigen schweizerischen Grundwasservorkommen und erweitert und ergänzt somit die Anstrengungen verschiedener Kantone bei der Grundwasserbeobachtung auf ihrem Kantonsgebiet.

Der Bericht ermöglicht eine Standortbestimmung über die Grundwasserqualität auf nationaler Ebene und bildet die Grundlage für zukünftige Bewertungen der langfristigen Entwicklung umweltrelevanter Parameter. Der Bericht zeigt an Hand umfassender Analysen auf, dass die chemische Grundwasserqualität in den wichtigen Grundwasservorkommen der Schweiz durchwegs gut ist. Besonders die erhöhten Nitratwerte sowie häufig gefundene Spuren von künstlichen und langlebigen Substanzen wie Pflanzenschutzmittel und Kohlenwasserstoffe weisen aber auf eine deutliche Beeinflussung der Grundwasserqualität durch menschliche Einflüsse hin.

Auswertungen zeigen, dass die Intensität dieser Einflüsse stark von Faktoren wie der Bodennutzung bzw. der Art der Grundwasserleiter abhängt. So sind die Grundwasserleiter des Mittellandes, wo die Mehrzahl der Bevölkerung lebt und wo die Flächennutzung durch Landwirtschaft, Siedlungen, Verkehr und Industrie besonders intensiv ist, am stärksten durch Schadstoffe beeinflusst. Dabei werden in verschiedenen Fällen auch die numerischen Anforderungen der Gewässerschutzverordnung an als Trinkwasser genutztes Grundwasser überschritten.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen jedoch, dass das Grundwasser nach heutigem Kenntnisstand nahezu überall ohne gesundheitliche Bedenken als Trinkwasser genutzt werden kann. Dieser Befund ist einerseits eine Bestätigung für die bisherigen Anstrengungen im Grundwasserschutz, andererseits ist er aber auch eine Warnung vor einer schleichenden Verschlechterung der Grundwasserqualität durch die zunehmend intensivere Landnutzung.

Das NAQUA-Messnetz erlaubt es, die Entwicklung der Grundwasserqualität in der Schweiz über längere Zeiträume zu verfolgen und so die für die Weiterentwicklung des Grundwasserschutzes notwendigen Erkenntnisse zu gewinnen.

Stichwörter:

Grundwasserqualität,
Grundwasserbeobach-
tung, NAQUA, Nitrat,
Pflanzenschutzmittel,
Kohlenwasserstoffe,
MTBE

Résumé

F Le présent rapport contient la première présentation d'ensemble et la première mise en valeur des résultats du réseau national d'observation de la qualité des eaux souterraines NAQUA, mis en place progressivement depuis 1997. Il permet pour la première fois une représentation solidement étayée et largement représentative de l'état des principaux réservoirs aquifères en Suisse. Il élargit et complète par là même les efforts des cantons dans l'observation des eaux souterraines sur leur territoire.

Le rapport dresse un état des lieux de la qualité des eaux souterraines au niveau national et constitue la base pour de futures évaluations de l'évolution à long terme de paramètres pertinents pour l'environnement. A partir d'analyses ciblées, il montre que la qualité chimique des eaux souterraines dans les principaux réservoirs aquifères de Suisse est dans l'ensemble bonne. Cependant, les teneurs élevées en nitrates ainsi que les traces souvent rencontrées de substances de synthèse persistantes, comme les produits phytosanitaires et les hydrocarbures, en particulier, signalent l'influence marquée des actions humaines sur la qualité de l'eau souterraine.

L'interprétation montre que l'ampleur de cette influence dépend fortement de facteurs tels que l'utilisation du sol ou bien le type d'aquifère. Ainsi les aquifères les plus fortement influencés par les polluants sont ceux du Plateau, là où vit la grande majorité de la population et où l'utilisation de l'espace par l'agriculture, les zones urbanisées, le trafic et l'industrie est particulièrement intense. Avec cela, les exigences de concentration de l'Ordonnance sur la protection des eaux, applicables à l'eau souterraine utilisée comme eau potable, sont dépassées dans certains cas.

Mots-clés :
qualité des eaux
souterraines,
observation des eaux
souterraines, réseau
NAQUA, nitrates,
produits
phytosanitaires,
hydrocarbures, MTBE

Les résultats obtenus montrent toutefois que l'eau souterraine, en l'état actuel des connaissances, peut être utilisée comme eau potable sans hésitation du point de vue sanitaire. Ce résultat est d'une part, une confirmation du bien-fondé des efforts menés jusqu'ici dans le domaine de la protection des eaux souterraines et d'autre part, un signal de mise en garde contre une dégradation insidieuse de la qualité des eaux souterraines du fait de l'utilisation de plus en plus intensive du territoire.

Le réseau de mesures NAQUA permet de suivre à long terme l'évolution de la qualité des eaux souterraines en Suisse et d'acquies ainsi les connaissances nécessaires au développement de leur protection.

Riassunto

I

Il presente rapporto fornisce per la prima volta sia il quadro completo che l'analisi dei risultati scaturiti dalla Rete nazionale d'osservazione della qualità delle acque sotterranee NAQUA, allestita gradualmente dal 1997. Lo studio consente una descrizione ampiamente rappresentativa dello stato delle più importanti falde acquifere svizzere ampliando e completando in tal modo gli sforzi compiuti da vari Cantoni nell'ambito del monitoraggio delle acque sotterranee sul loro territorio.

La pubblicazione permette di fare il punto della situazione per quanto riguarda la qualità delle acque sotterranee a livello nazionale e costituisce la base per future valutazioni dell'andamento di lungo periodo dei parametri ambientali. Il rapporto illustra, mediante analisi mirate, che la qualità chimica delle acque delle più importanti falde acquifere è in genere buona su tutto il territorio nazionale. Vi sono tuttavia alcuni indicatori, in particolare gli elevati valori di nitrati e le tracce di sostanze sintetiche e persistenti come i prodotti fitosanitari e gli idrocarburi, che rivelano la presenza di un forte impatto sulla qualità delle acque sotterranee causato da influssi antropici.

Le analisi dimostrano anche che l'intensità di tali influssi dipende fortemente da fattori come l'utilizzazione del suolo o dal tipo di acquifero. Nell'Altipiano, ad esempio, dove vive la maggior parte della popolazione e dove lo sfruttamento di aree geografiche da parte dell'agricoltura, degli insediamenti, del traffico e dell'industria è particolarmente intenso, si registra la concentrazione più elevata di inquinanti negli acquiferi. In parecchi casi, per le acque sotterranee utilizzate come acqua potabile si verifica anche il superamento dei valori limite stabiliti dall'ordinanza sulla protezione delle acque.

I risultati dello studio rivelano però anche che, in base allo stato attuale delle conoscenze, le acque sotterranee possono essere utilizzate come acqua potabile senza che ciò comporti conseguenze negative per la salute. Questo dato di fatto conferma da un lato gli sforzi compiuti sinora nell'ambito della protezione delle acque sotterranee, dall'altro rappresenta anche un monito di fronte al lento deterioramento della qualità delle acque sotterranee provocato dall'intensificazione dell'uso del territorio.

La rete di misurazione NAQUA consente di monitorare sul lungo periodo l'andamento della qualità delle acque sotterranee in Svizzera al fine di acquisire le conoscenze necessarie per l'ulteriore sviluppo della protezione delle acque sotterranee.

Parole chiave :
qualità delle acque
sotterranee,
monitoraggio delle
acque sotterranee,
NAQUA, nitrati, prodotti
fitosanitari, idrocarburi,
MTBE

Summary

E This report contains the first compilation and analysis of the results of the National Network for the Observation of Groundwater Quality NAQUA, which has been gradually set up since 1997. For the first time it allows a broad-based, representative description of the state of important Swiss groundwater resources and thus extends and supplements the efforts of various cantons to monitor groundwater in their regions.

The report describes the present state of the groundwater quality at national level and forms the basis for future evaluations of the long-term evolution of environmentally relevant parameters. On the basis of specific analyses, the report shows that chemical quality of Switzerland's major groundwater resources is in general good. However, increased nitrate levels and frequently found traces of synthetic and long-lived substances such as pesticides and hydrocarbons show clear influences on groundwater quality due to human activities.

The intensity of these influences depends to a great extent on factors such as land use or the type of aquifer. Thus, the aquifers of the Swiss Plateau, where the majority of the population lives and where land use for agriculture, settlements, transport and industry is particularly intensive, are most affected by pollutants. In several cases, the water quality requirements of the Water Protection Ordinance laid down for groundwater used as drinking water are exceeded.

Keywords :
groundwater quality,
groundwater
monitoring, NAQUA,
nitrate, pesticides,
hydrocarbons, MTBE
(Methyl Tertiary Butyl
Ether)

However, according to the present state of knowledge, groundwater can safely be used as drinking water. The results of this report confirm the efforts made to date to protect groundwater, but at the same time are warnings against creeping deterioration in the quality of groundwater due to increasingly intensive land use.

The NAQUA observation network allows to monitor the long-term evolution of groundwater quality in Switzerland and thus to obtain the knowledge necessary for the further development of groundwater protection in Switzerland.



L'important en bref

Jusqu'en 2002, la Suisse ne disposait pas, au niveau national, d'une vue d'ensemble de la qualité des eaux souterraines. Depuis, le programme d'observation NAQUA a comblé cette lacune. Il permet aux services environnementaux de réagir à temps aux modifications indésirables de la qualité des eaux souterraines. C'est surtout sur le Plateau, densément peuplé et intensément utilisé, que les analyses décèlent des charges en nitrates, pesticides et hydrocarbures dans un grand nombre de captages. Bien que les concentrations rencontrées ne présentent pas de risque pour la santé, elles invitent à la prudence. Afin de maintenir la qualité de l'eau potable, l'eau souterraine doit à l'avenir faire l'objet d'une protection accrue.



Avec une contribution supérieure à 80%, l'eau souterraine représente, en Suisse, la ressource de loin la plus importante pour l'alimentation en eau potable. Les eaux souterraines sont exposées à une multiplicité de dangers liés aux activités humaines, particulièrement dans les plaines alluviales du Plateau et les grandes vallées alpines fortement peuplées et intensément exploitées par l'activité économique. Des résidus d'engrais, de produits phytosanitaires, de combustibles, de carburants, de produits chimiques et d'autres substances susceptibles de polluer l'eau peuvent dégrader cette denrée vulnérable. Afin de préserver les réserves en eau potable de ces risques, il faut une protection préventive de l'eau souterraine. Cela exige notamment que les nouveaux dangers et les évolutions négatives soient reconnus suffisamment tôt.

Une vue d'ensemble nationale

Des données comparables et représentatives de la qualité des eaux souterraines manquaient cependant jusqu'à présent, au niveau national. Cela fait longtemps que les cantons réalisent aussi des analyses de la qualité des



Échantillonnages effectués sur le terrain pour le programme d'observation des eaux souterraines NAQUA.

eaux souterraines sur leur territoire. Toutefois, les données recueillies à l'issue de procédures hétérogènes sont trop diverses et trop peu interconnectées pour en faire une synthèse et fournir une vue d'ensemble fiable au niveau national. De ce fait, les offices fédéraux OFEFP et OFEG ont depuis 1997 mis en place avec les cantons le réseau national d'observation de la qualité des eaux souterraines NAQUA. Sur l'ensemble du pays, il comprend près de 550 stations, prélevées en général tous les trois mois. Elles livrent depuis 2002 les résultats nécessaires à la vue d'ensemble nationale.

Grâce à ce programme, la Confédération souhaite analyser et documenter, avec les cantons, la qualité de l'eau souterraine et son évolution à moyen et long terme. Pour cela, l'accent est mis sur une large gamme de paramètres physiques et chimiques. La microbiologie se trouve pour le moment mise entre parenthèses. NAQUA permet la recherche ciblée de substances et l'observation de leur devenir. Il assure ainsi la possibilité de reconnaître et d'aborder à temps des évolutions problématiques et des lacunes éventuelles dans la protection des eaux souterraines. De plus, les séries chronologiques permettront de juger de l'efficacité des mesures de protection actuelles et futures.

Le réseau d'observation n'offre pas seulement une vue d'ensemble largement représentative, il fournit également des informations sur la situation et les ten-

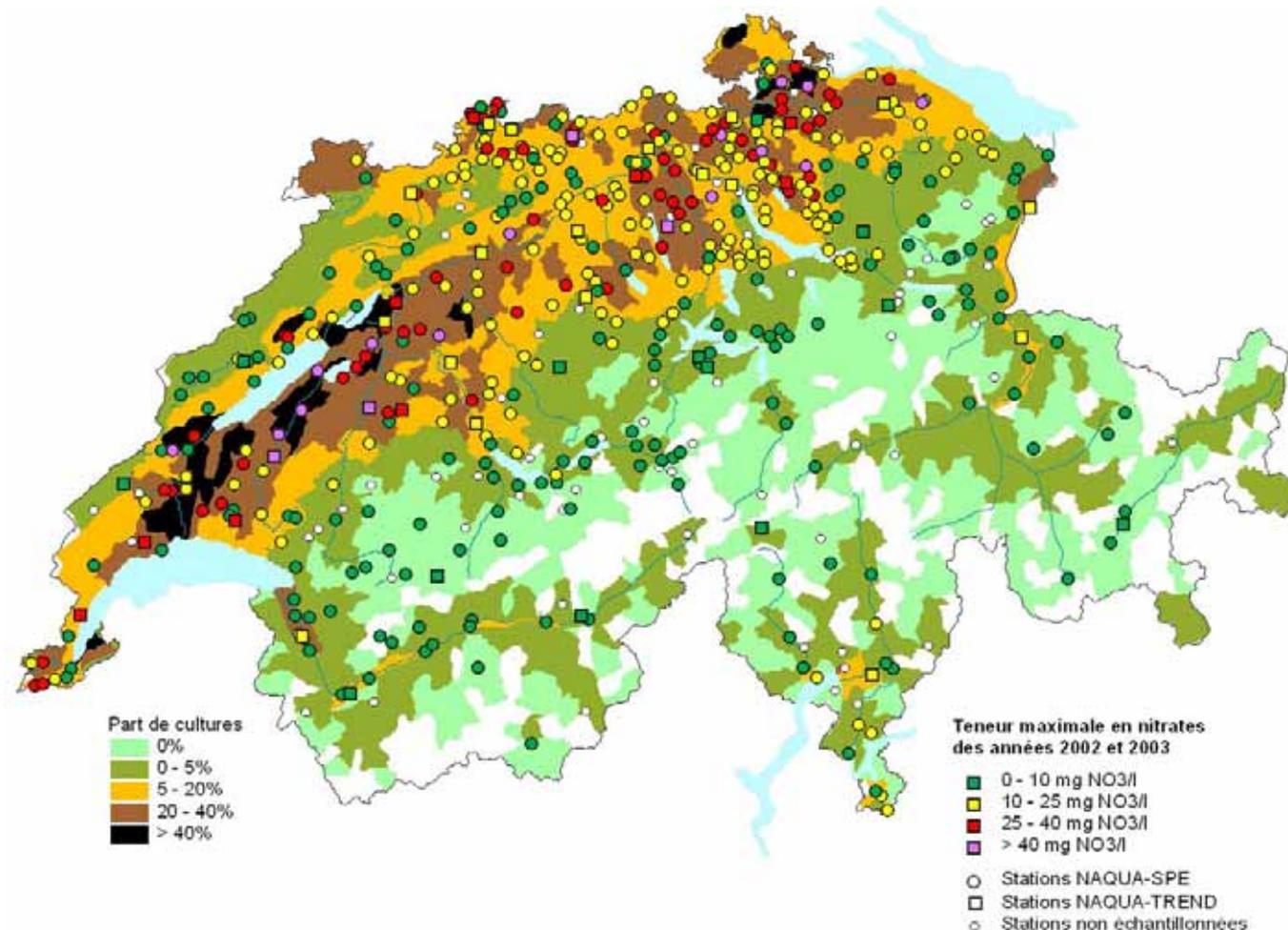


dances évolutives dans les grandes régions de la Suisse.

Les nitrates restent une question d'actualité

En Suisse, l'eau souterraine non polluée contient naturellement très peu de nitrates, c'est-à-dire seulement quelques milligrammes par litre (mg/l). Plus de 80% des stations analysées respectent l'exigence (25 mg/l au maximum) fixée par l'ordonnance sur la protection des eaux (OEaux), comme le montrent les résultats NAQUA de 2002 et 2003. Un peu plus de 15% des points de mesures choisis se situent entre 25 et 40 mg/l, et 4% des aquifères analysés présentent des teneurs maximales en nitrates qui dépassent la valeur de tolérance (40 mg/l) pour l'eau potable.

Pratiquement toutes les teneurs en nitrates dépassant 25 mg/l se situent sur le Plateau, entre les lacs de Genève et de Constance, dans la région bâloise, au pied du Jura ainsi que dans les vallées jurassiennes marquées également par l'agriculture intensive. Par contre, l'eau souterraine dans les Préalpes, dans les Alpes ainsi que sur le versant sud des Alpes renferme des concentrations en nitrates nettement plus basses, inférieures à 10 mg/l. Les analyses dans les vallées intérieures alpines présentent certes des valeurs légèrement plus élevées, entre 10 et 25 mg/l, mais ne dépassant jamais 40 mg/l.



Teneur maximale en nitrates des stations analysées en 2002/2003 : les teneurs les plus élevées se trouvent dans les régions dominées par les grandes cultures du Plateau.

Grandes cultures problématiques

Les résultats NAQUA confirment par là-même la relation nette avec l'utilisation du sol. Les problèmes apparaissent en premier lieu dans les régions d'agriculture intensive et dans les agglomérations. Les grandes cultures sont ainsi de loin la principale cause des concentrations élevées en nitrates. Alors qu'en moyenne, à peine 20% de l'ensemble des stations étudiées ne satisfont pas l'exigence chiffrée de l'OEaux, dans les régions de grandes cultures, ce chiffre atteint 52%.

Les valeurs supérieures à 40 mg/l se rencontrent presque exclusivement en dessous de 600 m d'altitude. Il s'agit

d'un indice clair de la relation existant avec l'intensité et le type d'utilisation agricole, et avec l'influence de la densité urbaine. Dans les régions d'altitude de la zone de montagne et de la zone d'estivage, l'analyse des données ne constate, comme il fallait s'y attendre, aucune teneur notablement élevée en nitrates.

Dans les régions urbaines, 22% des stations présentent une valeur maximale supérieure à 25 mg/l. A côté de l'influence de l'agriculture également souvent présente dans ce contexte, d'autres causes peuvent intervenir comme, par exemple, les fuites depuis des conduites d'eaux usées ou la forte fertilisation des pelouses dans les espaces verts et les installations sportives.



Tendance à la baisse des teneurs en nitrates

La comparaison avec les quelques résultats des relevés antérieurs disponibles montre, sur la période s'étalant de 1989 à 1996, des teneurs moyennes en nitrates pratiquement stables. Ensuite, jusqu'en 2001, de nombreux captages présentent une baisse continue, qui s'accroît encore par la suite. La tendance à la baisse des teneurs en nitrates ne s'observe certes pas partout, mais malgré tout sur deux tiers des stations étudiées.

Les causes de cette diminution sont multiples. Elles doivent particulièrement être recherchées dans le changement structurel de l'agriculture suisse. Les évolutions économiques et écologiques depuis 1990 ont abouti, au cours des dernières années, à une augmentation des surfaces de compensation et des bandes tampon. Les mesures ciblées, prises par certains cantons et syndicats des eaux dans le bassin d'alimentation de captages très chargés, montrent aussi des effets positifs. Les programmes d'assainissement selon l'article 62a de la loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux) comportent des modifications fondamentales des structures d'exploitation avec une extensification des terres arables. Dans ce cadre, les agriculteurs perçoivent des dédommagements pour les pertes de revenus. Ces efforts ont conduit à une nette diminution de la teneur en nitrates, pour de nombreux captages d'eau potable plus chargés que la moyenne.

Le dépassement ininterrompu des exigences de l'OEaux en régions de grandes cultures montre toutefois que de tels changements, comme la transformation accrue de surfaces de cultures en pâturages, doivent être poursuivis afin d'améliorer durablement la qualité de l'eau souterraine.

Lessivage des produits phytosanitaires

Environ 1'600 tonnes de produits phytosanitaires ont été vendues en Suisse, en 2002. L'offre autorisée comprend plus de 350 substances actives organiques de synthèse, dans plus de 1'000 produits différents. La première place des ventes est occupée par les fongicides et les désinfectants des semences (env. 48%), suivis par les herbicides (env. 43%) et les insecticides (env. 8%).

Suite aux précipitations, ces substances peuvent traverser la barrière protectrice du sol et se retrouver ainsi dans l'eau souterraine. Le lessivage des substances actives dépend de nombreux facteurs dont les principaux sont les propriétés des substances phytosanitaires appliquées, les caractéristiques du sol, la répartition des précipitations, les circulations souterraines ainsi que l'hydrogéologie de l'aquifère. La migration vers l'eau souterraine n'est en général pas continue ; elle peut au contraire fortement varier d'une année à l'autre.

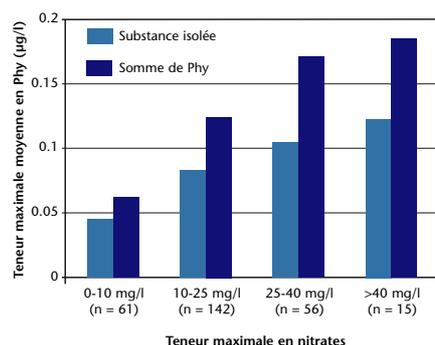
Selon l'OEaux, l'eau souterraine ne doit pas contenir de substances de synthèse persistantes, et par conséquent aucun produit phytosanitaire. Par mesure de précaution, l'ordonnance fixe de plus une exigence chiffrée applicable à l'eau souterraine utilisée comme eau potable ou destinée à l'être. Elle s'élève à 0,1 microgramme par litre ($\mu\text{g/l}$) au maximum pour chaque substance. L'ordonnance sur les substances étrangères et les composants (OSEC) fixe une valeur de tolérance pour l'eau potable également à 0,1 $\mu\text{g/l}$ par substance et à 0,5 $\mu\text{g/l}$ pour la somme de toutes les substances.

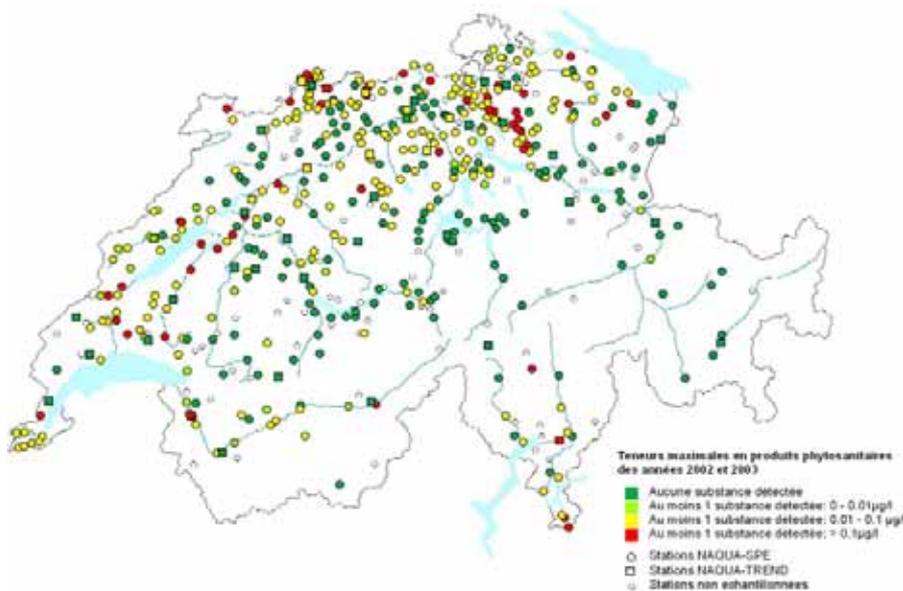
Plus les teneurs maximales en nitrates sont élevées, plus on trouve en général des résidus de produits phytosanitaires.

Produits phytosanitaires dans les eaux souterraines

Durant la période d'études 2002 et 2003, les analyses NAQUA décèlent des produits phytosanitaires dans environ 60% des stations. Près de 12% de l'ensemble des stations ne respectent pas l'exigence de l'OEaux. L'herbicide total atrazine et ses produits de dégradation totalisent 72% de toutes les détections. Les régions de grandes cultures et d'agglomérations situées sur le Plateau et dans les grandes vallées intensivement utilisées sont à nouveau les plus touchées, comme pour les nitrates. Dans le contexte de ces principales utilisations du sol, 80% des captages étudiés contiennent des traces de produits phytosanitaires. Parmi ceux-ci, 20% ne peuvent pas respecter les exigences de l'OEaux.

La problématique des produits phytosanitaires ne touche pas seulement le Plateau, mais aussi de grandes zones dans la vallée du Rhône, au Tessin et dans le Jura. Ceci vient du fait qu'à côté des grandes cultures, les produits phytosanitaires sont aussi utilisés dans l'arboriculture fruitière, la viticulture et les cultures maraîchères. En dehors de ces principales applications agricoles, ils sont aussi appliqués dans des pépinières, des jardins privés, des installations sportives, des zones industrielles ou le long de voies de communication.





Teneurs maximales en produits phytosanitaires des stations analysées en 2002/2003 : contrairement aux nitrates, on observe également des teneurs élevées dans le Jura, dans la vallée du Rhône et au Tessin.

Des connaissances encore lacunaires

Les nitrates comme les produits phytosanitaires proviennent essentiellement de l'agriculture, par contre la contamination de l'eau souterraine par ces produits n'est pas partout comparable. En général, les captages fortement chargés en nitrates contiennent aussi plus de produits phytosanitaires. Cependant, du fait des sources d'émissions ponctuelles, des aquifères contenant des teneurs en nitrates basses peuvent présenter, dans de rares cas, de hautes concentrations en produits phytosanitaires. A l'inverse, il existe des captages qui, malgré des teneurs en nitrates élevées, ne contiennent pas de produits phytosanitaires.

Du fait de la multitude de produits phytosanitaires organiques de synthèse, les analyses NAQUA ne peuvent pas fournir une vision d'ensemble complète des pesticides présents dans l'eau souterraine. Ainsi, la contamination des captages par le glyphosate, l'herbicide total le plus vendu (10% des ventes de produits phytosanitaires sur l'ensemble de la Suisse), ou par des produits phytosanitaires utilisés certes en petites quantités mais possédant un pouvoir de nuisance environnementale élevé, est encore peu connue. Ces lacunes dans la connaissance doivent cependant être comblées par une extension planifiée du programme de base NAQUA, afin d'englober de nouvelles substances.

Toujours trop de résidus de produits phytosanitaires parviennent dans les eaux souterraines.

Des obligations plus strictes concernant les produits phytosanitaires

D'après l'état actuel des connaissances, les concentrations en produits phytosanitaires rencontrées ne présentent pas de danger pour la santé humaine. Bien que la situation ne soit pas alarmante, le nombre de stations contenant des traces quantifiables de produits phytosanitaires a de quoi préoccuper. A l'inverse des nitrates, de petites quantités de produits phytosanitaires suffisent déjà pour altérer amplement et durablement la qualité de l'eau souterraine. Ces produits peuvent ainsi polluer des captages d'eau potable encore des années après leur application. De nouveaux efforts sont nécessaires pour réduire les apports de produits phytosanitaires dans l'eau souterraine, surtout dans les régions utilisées par l'agriculture intensive ainsi que dans les zones urbanisées. Les mesures envisageables sont, par exemple, un renforcement des obligations légales concernant les produits phytosanitaires rémanents, une interdiction stricte d'utilisation des produits phytosanitaires à proximité des captages (zone de protection rapprochée S2), un soutien renforcé à l'agriculture biologique, des campagnes d'information aux exploitants agricoles, aux propriétaires de jardins, aux concierges et aux responsables de voirie, ainsi qu'un contrôle conséquent de l'interdiction des produits phytosanitaires le long des routes, chemins et places. Les données disponibles ne permettent pas encore une évaluation à long terme des pollutions en produits phytosanitaires dans les eaux souterraines.



Pollutions par les hydrocarbures

Le groupe des hydrocarbures comprend des milliers de substances avec des propriétés chimiques différentes. Les carburants et les combustibles forment quantitativement la principale catégorie. Ils se retrouvent aussi en Suisse en relativement grandes quantités dans l'environnement. En 2002 seulement, la Suisse a utilisé 11,7 millions de tonnes de produits pétroliers, soit 1'600 kilos par personne. En 2001, les émissions de composés organiques volatils (COV) dans l'environnement ont avoisiné 132'500 t. Elles provenaient surtout des secteurs de l'industrie et de l'artisanat, ainsi que des voies de circulation très fréquentées. Des résidus de ces substances atteignent aussi les eaux souterraines par l'intermédiaire du sol ou de l'infiltration depuis les cours d'eau.

Plus une région est urbanisée et soumise à une exploitation intensive, plus les pollutions par hydrocarbures dans le sous-sol sont en général fortes. En effet, un plus grand nombre de substances et des valeurs maximales plus élevées se rencontrent dans l'eau souterraine des zones urbanisées.

Les analyses NAQUA décèlent des traces d'hydrocarbures dans 45% des aquifères étudiés. Par ailleurs, 7,5% de l'ensemble des stations dépassent l'exigence de concentration de l'OEaux pour les hydrocarbures halogénés volatils, fixée à 1 µg/l. Cependant, la base de données est ici plus réduite que celle des produits phytosanitaires.

Aux alentours des centres fortement industrialisés et densément peuplés, on observe les teneurs en hydrocarbures les plus élevées.

Particulièrement au cours des trois dernières décennies et surtout à cause de trop hautes pollutions en solvants chlorés, l'exploitation de nombreux captages d'eau potable a déjà dû être abandonnée en Suisse. Comme ces puits ne sont en général plus disponibles pour le réseau d'observation, les résultats du réseau NAQUA livrent de ce fait une image plutôt positive des polluants de type hydrocarbures, caractéristiques des régions urbanisées et soumises à une exploitation intensive. C'est du reste aussi le cas des pollutions de l'eau souterraine par les nitrates et les produits phytosanitaires.



Une nouvelle substance dans l'eau souterraine – le MTBE

La substance apparentée aux hydrocarbures le plus souvent rencontrée est le méthyl-tert-butyléther (MTBE). Cette substance chimique, qui a remplacé le plomb comme anti-détonnant dans l'essence, est abondamment utilisée. Les ventes nationales atteignent presque 100'000 tonnes par an, et une estimation chiffre entre 500 et 2'600 tonnes les pertes par évaporation dans l'environnement.

Le MTBE est bien soluble dans l'eau, il est mal adsorbé par les particules du sol et peu dégradé dans le sous-sol. Malgré sa faible toxicité, de très basses concentrations suffisent déjà à rendre l'eau



Chaque année, des millions de tonnes d'hydrocarbures sont utilisés. Sous forme de traces, ces substances atteignent aussi les eaux souterraines, en passant par les sols ou les eaux superficielles.



Seules de longues séries de mesures apportent des précisions

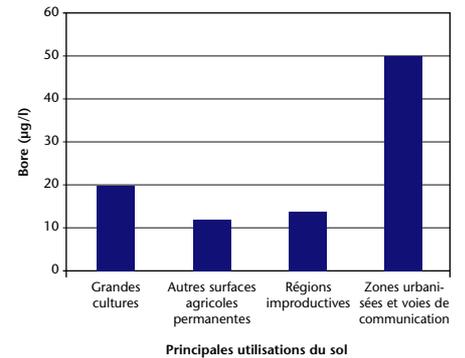
impropre à la consommation, car le MTBE a un seuil de détection olfactive et gustative très bas, de quelques $\mu\text{g}/\text{l}$. Jusqu'à maintenant, les concentrations trouvées dans les aquifères en Suisse se situent nettement en dessous des valeurs critiques, ce qui n'est pas le cas en Californie p. ex. Ceci vient du fait que les prescriptions techniques pour les réservoirs d'essence sont plus sévères et que la teneur moyenne en MTBE dans l'essence est plus faible en Suisse qu'aux USA. Cependant, la surveillance de l'évolution des concentrations en MTBE dans les eaux souterraines doit être poursuivie de manière conséquente, afin de pouvoir reconnaître suffisamment tôt une éventuelle dégradation de la situation. Le MTBE fournit un exemple de l'efficacité du réseau NAQUA dans l'observation d'ensemble de la qualité de l'eau souterraine et l'identification précoce de l'arrivée de nouveaux polluants en Suisse.



Afin de mieux pouvoir évaluer l'évolution de l'eau souterraine à long terme, un grand nombre d'autres constituants chimiques et d'éléments traces de l'eau, tels que le calcium, le magnésium, le bore ou les sulfates, sont aussi mesurés dans le cadre de NAQUA, en plus des substances problématiques comme les nitrates, les produits phytosanitaires ou les hydrocarbures. Il s'agit en partie d'indicateurs d'influences humaines directes, alors que quelques paramètres reflètent plutôt des changements naturels. Ainsi, des modifications générales de la chimie des eaux souterraines, causées par des influences environnementales comme le réchauffement global, des modifications éventuelles des quantités de précipitations ou les pluies acides, peuvent aussi être observées. De manière générale, les conditions géologiques en Suisse sont favorables. L'arsenic, p. ex., ne constitue pas un problème d'un point de vue national.

Du fait de l'absence de données comparatives à long terme sur l'ensemble de la Suisse et des séries d'observations disponibles trop courtes, il n'est pas possible, à l'exception des nitrates, d'estimer actuellement si les concentrations des diverses substances chimiques dans l'eau souterraine augmentent ou diminuent. Ainsi, il n'est pas encore possible d'évaluer si les changements climatiques ou de nouvelles méthodes de travail du sol ont une influence sur la qualité de l'eau souterraine. Les analyses NAQUA des prochaines années fourniront davantage d'éclaircissements dans ce domaine.

Le produit chimique MTBE est ajouté à l'essence comme anti-détonant. Les analyses d'eaux souterraines, effectuées régulièrement dans le cadre du réseau NAQUA, empêchent que la présence de nouvelles substances débouche subrepticement sur des problèmes de qualité.



Médiane des teneurs en bore, en correspondance avec la principale utilisation du sol.

Sous l'influence des zones urbanisées et des voies de communication, on observe les teneurs en bore les plus élevées dans les eaux souterraines. Cependant, cet élément est pour partie aussi d'origine naturelle.



Que reste-t-il à faire?

Malgré les pollutions constatées en nitrates, produits phytosanitaires et hydrocarbures, l'eau souterraine en Suisse et donc aussi l'eau potable est dans l'ensemble de bonne qualité et peut, par là-même, être consommée sans hésitation du point de vue sanitaire.

Cependant, les traces indésirables de polluants dans l'eau souterraine sont à prendre sérieusement comme signal d'alarme. L'utilisation par trop négligente, durant des décennies, de nombreuses substances chimiques susceptibles de polluer les eaux et les constructions croissantes dans le bassin d'alimentation de réservoirs aquifères importants menacent la ressource souterraine et en compliquent la protection.

Il est donc très important de délimiter réglementairement partout les zones de protection et de prendre les mesures requises de protection des eaux souterraines.



Malgré les nombreuses influences anthropiques, les eaux souterraines de Suisse sont généralement de bonne qualité. Afin de préserver ce produit naturel à long terme, tous les captages doivent faire l'objet d'une délimitation de zones de protection des eaux souterraines.

1 Introduction

1.1 Objectifs de l'observation des eaux souterraines de la Confédération

Les eaux souterraines sont notre principale source d'approvisionnement en eau potable

En Suisse plus de 80% des eaux potables et industrielles proviennent des eaux souterraines. Les eaux souterraines sont donc notre principale source d'approvisionnement en eau potable. Elles représentent ainsi un important facteur économique. L'eau souterraine est cependant un bien vulnérable qui peut être détérioré, avant tout par l'omniprésence des activités humaines. C'est pourquoi une stratégie globale de protection des réservoirs aquifères, basée prioritairement sur les mesures préventives, s'avère nécessaire.

Observation à long terme des eaux souterraines comme préalable à leur protection

L'observation à long terme des eaux souterraines, du point de vue quantitatif et qualitatif, constitue un préalable essentiel à une protection efficace des eaux souterraines. En effet, la prescription adéquate et à temps des mesures requises est conditionnée par la reconnaissance précoce d'une évolution négative de la qualité des eaux souterraines. Les cantons observent également la qualité des eaux souterraines. Les résultats de cette surveillance basée sur des organisations et des fréquences de prélèvements différentes, ne permettent cependant pas d'avoir une vue d'ensemble représentative au niveau national.

Avant le programme NAQUA, il n'existait au niveau national que le réseau d'observation quantitatif des eaux souterraines (NABESS). Une vision de la qualité des eaux souterraines sur l'ensemble du pays n'était ainsi pas possible. Depuis 1997 le réseau national d'observation de la qualité des eaux souterraines NAQUA^[1, 2, 3] comble cette lacune avec les objectifs suivants :

- Documentation de la qualité actuelle des eaux souterraines en Suisse et de son évolution à moyen et long terme.
- Observation ciblée de l'évolution d'un choix de produits problématiques et de polluants dans les réservoirs aquifères de la Suisse.
- Fourniture des bases pour la reconnaissance précoce des évolutions problématiques de qualité et l'optimisation de la protection des eaux souterraines en Suisse.
- Contrôle de l'efficacité (contrôle du succès) des mesures légales, techniques, d'organisation ou administratives, actuelles ou futures concernant la protection des eaux souterraines, ainsi que des autres domaines politiques influençant la protection des eaux souterraines (p. ex. la réorientation de la politique agricole).
- Caractérisation et classification hydrogéochimique des principaux réservoirs aquifères de la Suisse.

1.2 Bases légales

Constitution fédérale

Loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux)

La Constitution fédérale (Cst.) oblige la Confédération à pourvoir « Dans les limites de ses compétences [...] à l'utilisation rationnelle des ressources en eau, à leur protection et à la lutte contre l'action dommageable de l'eau » et à fixer « les principes applicables à la conservation et à la mise en valeur des ressources en eau » (Art. 76 1^{er} et 2^e al.). La Loi fédérale sur la protection des eaux du 24 janvier 1991 (LEaux^[4]) confie à la Confédération la mission d'effectuer « des relevés d'intérêt national sur [...] la qualité des eaux superficielles et des eaux souterraines » (Art. 57 1^{er} al. LEaux). En outre « Elle met les données recueillies et leur interprétation à la disposition des intéressés » (Art. 57 3^e al. LEaux) et informe « le public sur la protection des eaux et sur l'état de celles-ci » (Art. 50 1^{er} al. LEaux). En plus « Les cantons effectuent les autres relevés nécessaires à l'exécution de la présente loi. Ils en communiquent les résultats aux services fédéraux compétents » (Art. 58 1^{er} al. LEaux).

1.3 Historique

Les premières ébauches d'une observation nationale de la qualité des eaux souterraines ont été réalisées dès la fin des années 1970. Au milieu des années 1980, l'Office fédéral de la protection de l'environnement d'alors réunissait environ 130'000 mesures sur 282 stations réparties dans 24 cantons, interprétées et publiées dans^[5]. Les résultats obtenus ne permirent cependant aucune description représentative, pour l'ensemble de la Suisse, de l'état de la qualité des principales eaux souterraines utilisées pour la production d'eau potable. Ils montraient au contraire la nécessité de disposer au niveau national d'une observation représentative des eaux souterraines.

En conséquence, un concept et une étude de faisabilité pour un réseau national d'observation de la qualité des eaux souterraines furent élaborés au début des années 1990. Les deux Offices fédéraux, de l'environnement, des forêts et du paysage et celui des eaux et de la géologie lancèrent la planification et la mise en place du réseau NAQUA et de la banque de données nécessaires au traitement des informations. La phase opérationnelle du réseau de mesures a débuté le 15.9.1997 avec les premiers prélèvements à deux stations. A la fin de 2003 comme prévu, la mise en place du réseau est à quelques détails près terminée.

1.4 Le réseau NAQUA

**Deux modules :
NAQUA_{TREND} et NAQUA_{SPE}**

Le réseau NAQUA comprend deux modules dans lesquels les eaux souterraines sont observées sous deux approches différentes mais complémentaires : le réseau de base voué au long terme NAQUA_{TREND} et le réseau destiné à des études particulières NAQUA_{SPE}. Le réseau et les stations seront décrits dans une publication spéciale^[6].

L'objectif de l'observation des eaux souterraines dans le cadre de NAQUA n'est pas de rechercher les problèmes de qualité de captages ou de réservoirs aquifères particuliers. Il s'agit au contraire de saisir la situation dans l'ensemble de la Suisse et d'en documenter l'évolution. En cas de découverte de problèmes de qualité dans certains captages, les services cantonaux compétents et responsables sont informés, pour au besoin prendre les mesures appropriées. Le présent rapport n'aborde ces cas particuliers qu'à titre d'exemple.

Les stations appartiennent aux syndicats d'approvisionnement en eau, aux communes ou à des privés. Pour la plupart des stations, il n'y a pas d'autorisation du propriétaire du captage pour rendre public l'identité de chaque station. Les résultats sont donc présentés sous forme anonyme, afin d'éviter de pouvoir remonter à un captage particulier.

**Environ 550 stations
NAQUA**

Le réseau NAQUA donne une vue représentative bien qu'encore perfectible de la qualité chimique des principaux réservoirs aquifères de la Suisse utilisées pour la production d'eau potable. La densité de 550 stations pour toute la Suisse permet de plus une évaluation de la situation par grandes régions géographiques (Plateau, Jura, Préalpes, vallées alpines, Sud des Alpes). Par contre le réseau NAQUA n'est pas conçu pour des interprétations au niveau local, la densité des stations étant trop faible pour cela. C'est pourquoi il n'est pas possible, à partir des résultats disponibles, de tirer des conclusions sur l'état des eaux souterraines de certaines régions telles que l'Emmental, le Haut-Valais, le Fricktal, l'Ajoie, la vallée du Rhin au niveau de Coire, etc. L'interprétation correspondante au niveau local relève en premier lieu, de l'observation et de la surveillance cantonale.

Les données brutes rassemblées au cours des études effectuées dans le cadre de l'observation nationale des eaux souterraines se trouvent en annexe 1, les données interprétées sont présentées dans le texte ci-après.

1.4.1 Critères de sélection des stations

La sélection des stations s'appuie sur des critères qui doivent permettre, autant que possible, de fournir des données représentatives sur les réservoirs aquifères typiques utilisés en Suisse^[7, 8, 9, 10, 11]. Les stations de mesure existantes et leurs installations sont utilisées dans la mesure du possible. Les critères de choix des stations sont les suivants :

Type (source, piézomètre, puits de pompage) : en principe les sources captées à gros débit et les grands puits fournissent des valeurs moyennes pour de grands bassins d'alimentation, alors que les petits captages et les piézomètres reflètent juste le chimisme des eaux dans une zone limitée.

Géologie et hydrogéologie : la composition chimique des eaux souterraines dépend en premier lieu des conditions (hydro)géologiques. L'influence des eaux de surface infiltrées joue aussi un rôle important.

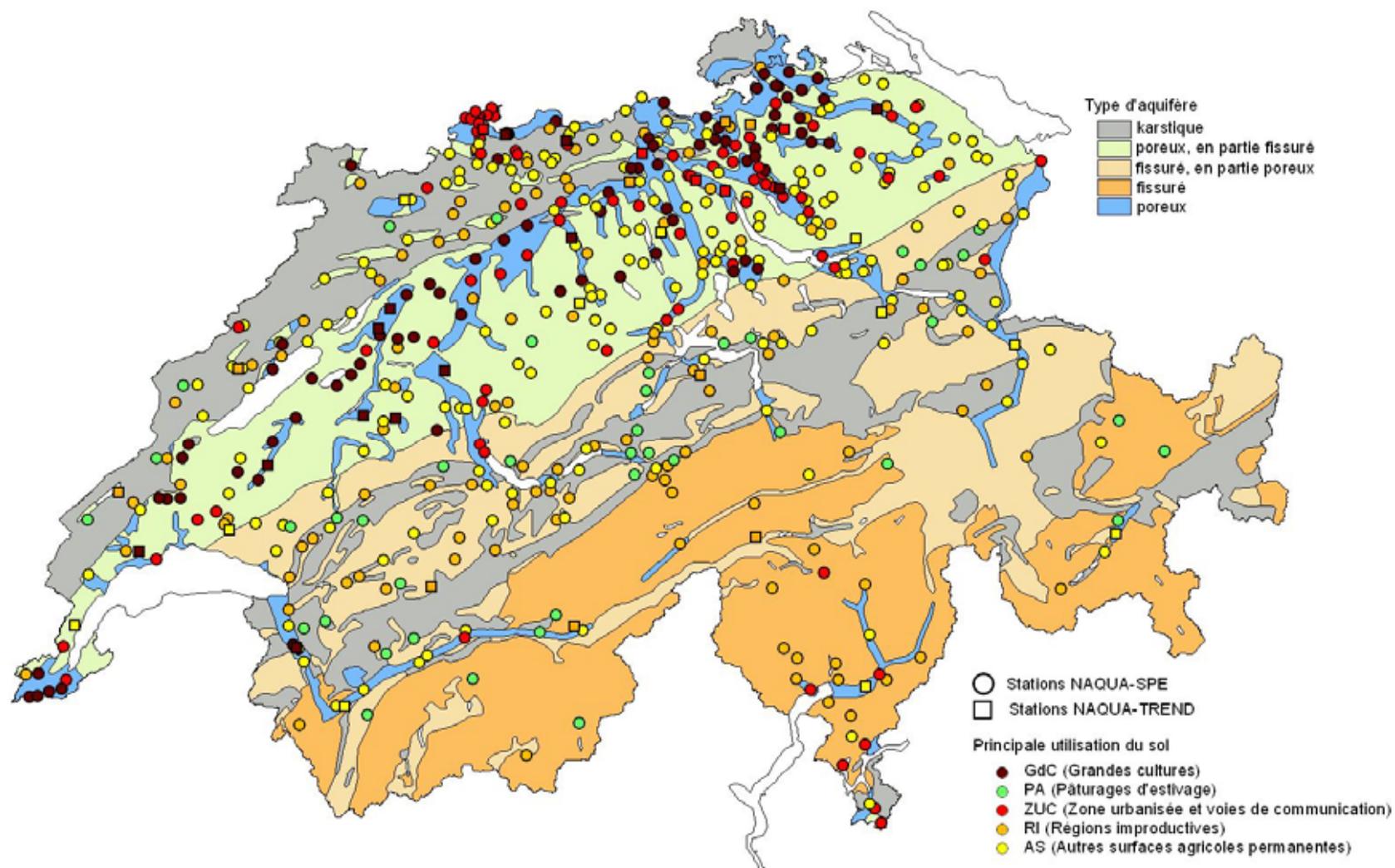
Région géographique et altitude : ce critère prend en compte l'épaisseur des sols, les facteurs climatiques comme la température, la quantité de précipitation, etc. comme autres paramètres importants de la composition chimique des eaux souterraines.

Utilisation du sol : l'utilisation du sol est, avec la géologie et la région géographique, un des facteurs importants de la composition chimique des eaux souterraines. C'est pourquoi le choix des stations a fait l'objet d'une attention particulière afin d'être représentatif des principales utilisations actuelles du sol^[12, 13].

Utilisation comme eau potable : afin de pouvoir fournir des données aussi représentatives que possibles sur l'état et l'évolution des principales ressources en eau potable de la Suisse, mais aussi pour des raisons logistiques, techniques et financières, les stations utilisées pour la production d'eau potable ont été privilégiées. Les stations inutilisées mais où il est encore possible de prélever des échantillons d'eau ainsi que les piézomètres, constituent des exceptions.

Caractéristiques et situation de la station : ce critère n'a été utilisé que comme critère d'exclusion en cas de conditions défavorables comme p. ex. des installations corrodées, des possibilités de pompage mal pratiques, un danger d'avalanche, etc. Une trop grande influence des caractéristiques de la station sur la composition chimique des eaux souterraines analysées est ainsi évitée.

La figure 1 présente la répartition des stations avec les principales utilisations du sol à l'intérieur du bassin d'alimentation (cf. aussi chap. 1.5).



1.4.2 Module NAQUA_{TREND}

**Evolution à long terme
de la qualité des eaux
souterraines**

60 paramètres différents

Le réseau de base NAQUA_{TREND} suit l'évolution à long terme de la qualité des eaux souterraines. Lorsqu'il sera achevé, il comprendra 50 stations réparties sur l'ensemble du territoire suisse. Fin 2003, 44 stations étaient en service (cf. tab. 1 et fig. 3). Des échantillons d'eau souterraine sont régulièrement prélevés à ces stations pour y analyser jusqu'à **60 paramètres différents**. Au fur et à mesure, les stations sont équipées de dispositifs de mesure en continu du niveau de l'eau ou bien du débit, de la température et de la conductivité électrique.

C'est en septembre 1997 que furent réalisés les prélèvements sur les deux premières stations du réseau pour déterminer la chimie de l'eau. Au fil des ans, le réseau a été élargi par l'ajout de nouvelles stations (cf. fig. 2).

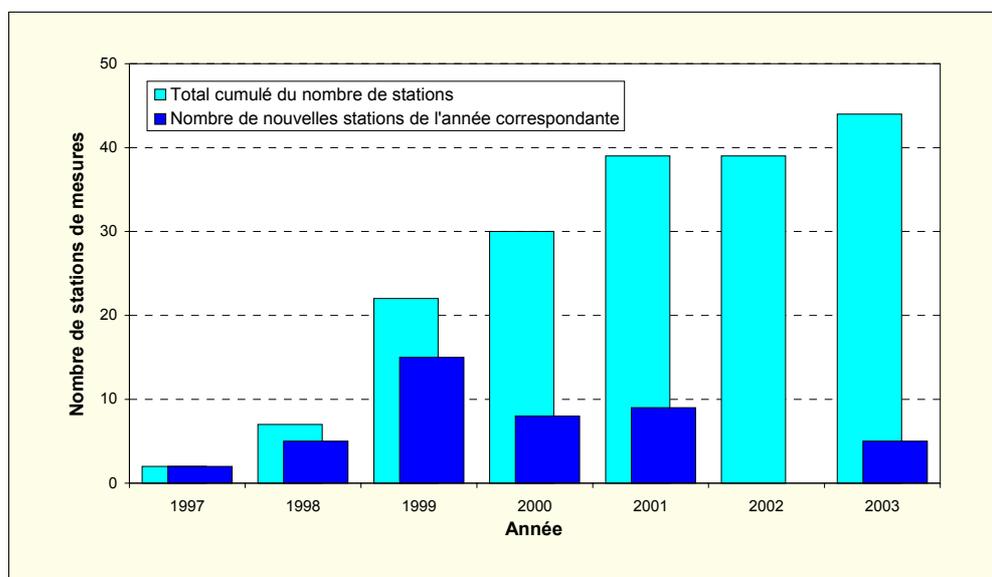


Fig. 2 :
Augmentation du nombre
de stations NAQUA_{TREND} de
1997 à 2003.

**Module NAQUA_{TREND} géré
par la Confédération**

Procédures standardisées

Le réseau NAQUA_{TREND} est entièrement géré par la Confédération. Des experts de la Confédération effectuent les prélèvements selon une procédure standard et les analyses sont réalisées selon des critères unifiés par un laboratoire spécialisé dûment mandaté. C'est ainsi qu'une parfaite homogénéité et continuité, non seulement des appareils utilisés mais également des méthodes d'échantillonnage et d'analyse, sont assurées dans le temps et que les résultats restent comparables à long terme.

Tab. 1 : Critères de sélection des stations NAQUA_{TREND}, état 31.12.2003.

Critères	Classes	Nombre de stations	
Type de station	Source	12	
	Station de pompage des eaux souterraines	29	
	Piézomètre	3	
	Total	44	
Géologie	Roches karst ; p. ex. calcaires (RK)	6	
	roches détritiques ; p. ex. grès (RD)	3	
	roches cristallines ; p. ex. granite (RC)	2	
	Terrains meubles	graviers de fonds de vallées (GV)	29
		graviers hors fonds de vallées (GT)	4
		moraines (Mo)	0
éboulis (Eb)		0	
Total	44		
Principale utilisation du sol dans le bassin d'alimentation	Grandes cultures (GdC)	15	
	Autres surfaces agricoles permanentes (AS)	14	
	Régions improductives (RI) ¹	9	
	Zone urbanisée et voies de communication (ZUC)	6	
Total	44		
Région géographique	Plateau et régions limitrophes	27	
	Alpes	13	
	Jura	4	
	Total	44	
Altitude	<600 m	31	
	600–1000 m	8	
	1000–1500 m	3	
	1500–2500 m	2	
Total	44		
Utilisation	Utilisé	40	
	Non utilisé	4	
	Total	44	

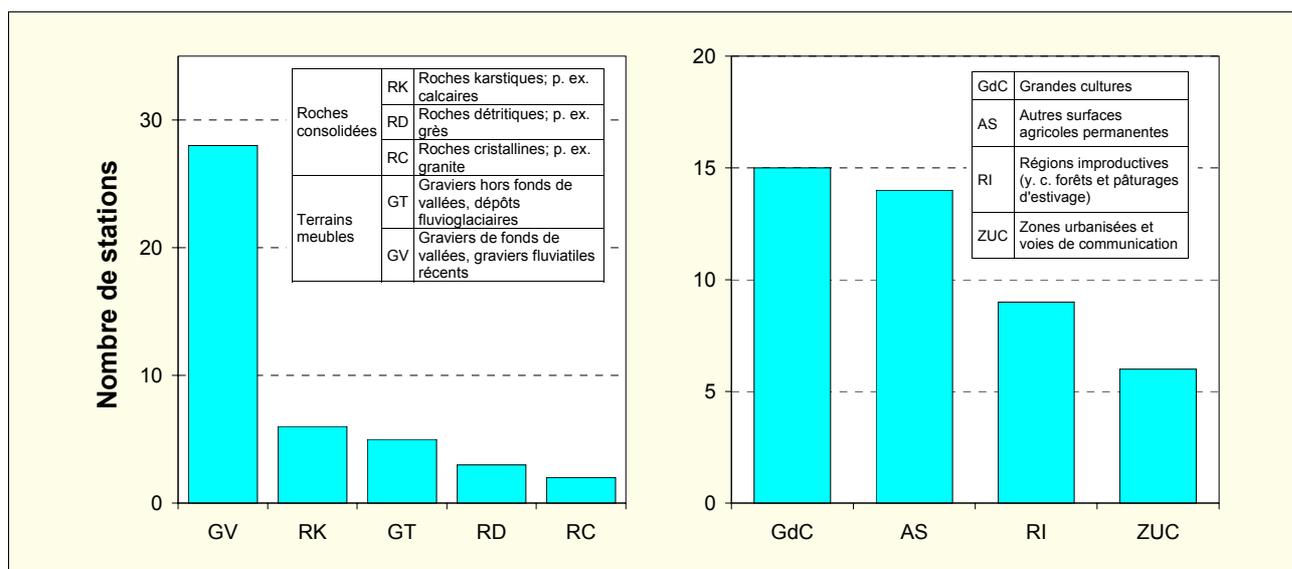


Fig. 3 : Répartition des stations NAQUA_{TREND} selon la géologie et la principale utilisation du sol.

¹ Cette catégorie regroupe les utilisations du sol : forêt, pâturages d'estivage et zone non productive au sens strict (terres incultes).

Sept modules avec analyses de routine

Principaux polluants connus

1.4.2.1 Paramètres analysés

Le programme analytique comprend sept modules dont les paramètres correspondants peuvent être analysés en routine^[15] (cf. fig. 4). Il comprend un programme de base, identique pour toutes les stations de mesure et appliqué à chaque échantillon, dans lequel les substances principales et secondaires sont analysées de manière presque complète. Différents programmes complémentaires peuvent être ajoutés, en fonction de l'utilisation du sol dans le bassin d'alimentation des stations et des caractéristiques chimiques, par exemple en cas d'influence anthropique déjà avérée. Ils comprennent les principaux polluants connus. Chaque programme complémentaire est réalisé au moins une fois par an à chaque station afin d'assurer une comparaison des données à long terme au niveau national.

Actuellement le niveau de l'eau ou bien le débit, la température et la conductivité électrique sont enregistrés en continu sur 21 stations.

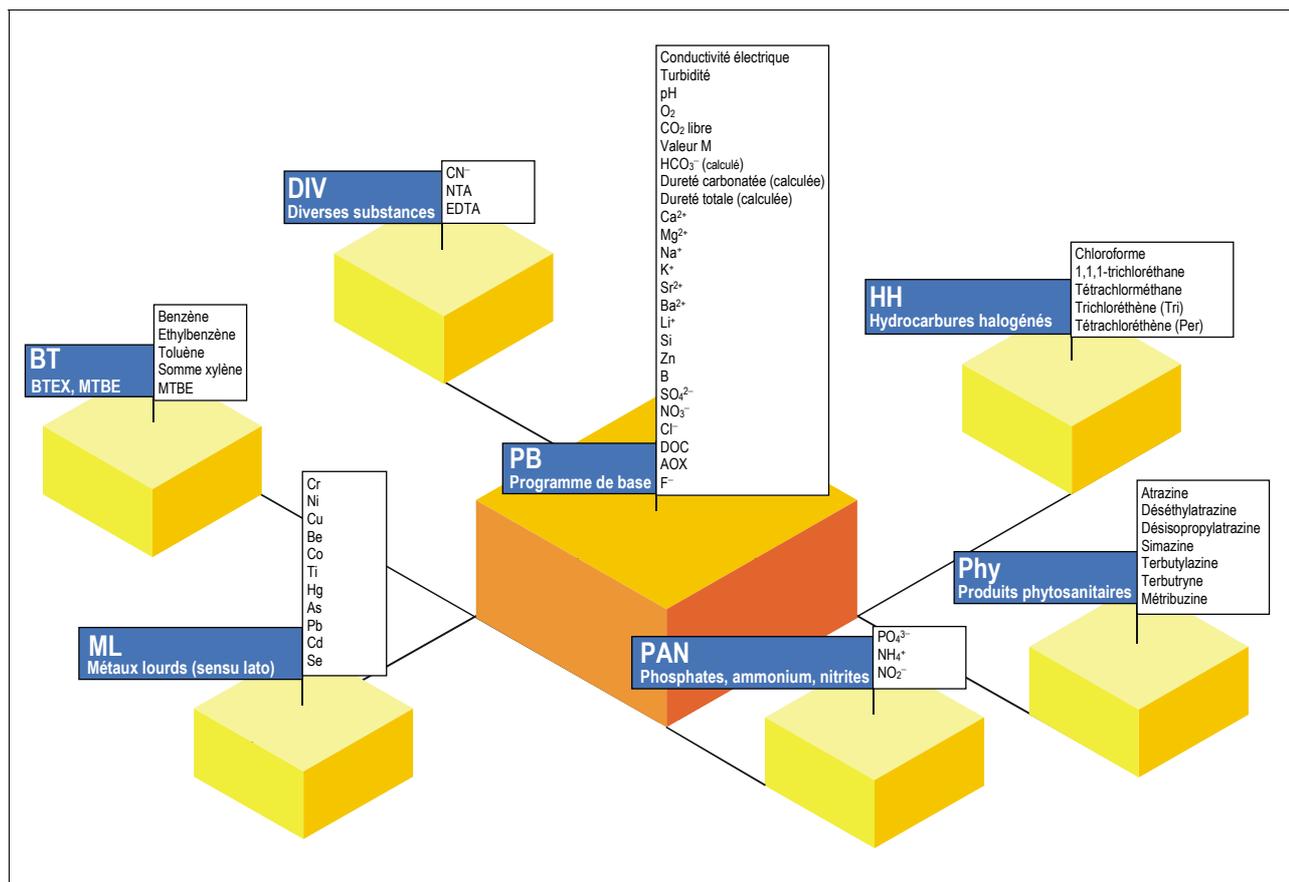


Fig. 4 : Les sept modules du programme analytique NAQUA_{TREND}.

Echantillonnage périodique avec une procédure identique pour toutes les stations

1.4.2.2 Fréquence d'échantillonnage

Pour toutes les stations, l'échantillonnage s'effectue selon une procédure fixe et identique. Chaque nouvelle station de mesure est échantillonnée une fois par mois pendant la première année de mise en service, afin de la caractériser sur la base des paramètres collectés (cf. fig. 5). A cette occasion le programme de base est appliqué à chaque échantillonnage et les six programmes complémentaires le sont trimestriellement (cf. fig. 4). Lors de la deuxième année, les échantillons sont encore prélevés tous les deux mois et à partir de la troisième année, ils sont réduits à quatre. La fréquence d'échantillonnage peut bien sûr être adaptée en fonction de thèmes particuliers ou de conditions locales.

C'est surtout pendant la première année de mise en service avec la fréquence d'échantillonnage mensuelle, que la variabilité des paramètres des eaux souterraines peut être reconnue (cf. annexe 2).

1.4.2.3 Traitement des données

Les données enregistrées en continu (débit, niveau, température, conductivité électrique) sont archivées, contrôlées et au besoin corrigées dans une banque de données de la Confédération.

Les laboratoires extérieurs mandatés livrent les résultats des analyses des eaux souterraines à la Confédération, où leur plausibilité est estimée par comparaison avec les mesures effectuées sur le terrain. Les données validées sont saisies dans la banque de données géoréférencée du projet NAQUA et mises à disposition pour l'interprétation.

Documentation depuis la planification de l'échantillonnage jusqu'à l'analyse

1.4.2.4 Assurance qualité (AQ)

La garantie d'obtenir des mesures et des résultats d'analyses fiables et de qualité définie figure au centre d'un système AQ. Pour obtenir des données de la meilleure qualité possible dans le module NAQUA_{TREND}, il faut que tous les maillons, depuis la conception de l'échantillonnage, en passant par l'échantillonnage et jusqu'à l'analyse, soient intégrés dans un contrôle de la qualité. Pour NAQUA_{TREND} une grande importance a été attachée à ce que le programme AQ contienne, d'une part la surveillance des procédures et d'autre part, le contrôle et au besoin la rectification du contenu.

Pour que la qualité des données soit constamment vérifiable et compréhensible, des protocoles détaillés sont dressés à chaque échantillonnage concernant le prélèvement et le stockage des échantillons, ainsi que la validation des appareils de mesure et des mesures elles-mêmes.

AQ par des expertises internes et externes

En plus des mesures AQ internes du laboratoire, le programme AQ de NAQUA_{TREND} pour les résultats d'analyse a contrôlé la plausibilité des résultats individuels (p. ex. comparaison avec des valeurs extrêmes) et des analyses (p. ex. balance ionique). Ces contrôles ont été effectués principalement par des experts extérieurs et de la Confédération. De plus le « fichier historique des analyses » permet un rapide aperçu des éventuels changements des limites de quantification (LQ) ou des méthodes d'analyses.

Pour obtenir des résultats de mesures comparables dans toute la Suisse, toutes les analyses ont été confiées à un laboratoire unique disposant d'un système certifié de gestion de la qualité. L'assurance qualité de ce laboratoire est garantie entre autres par des analyses comparatives (p. ex. essais inter laboratoires).

A côté des mesures de contrôle des résultats, mentionnées ci-dessus à titre d'exemple, des études détaillées sont réalisées pour chaque station. Les résultats sont consignés dans un rapport sur les caractéristiques hydrogéologiques et hydrochimiques des stations et publiés ensemble à la fin des travaux^[6].

Système AQ rétroactif

Les mesures AQ citées permettent un contrôle de la qualité des mesures, de telle sorte qu'en cas de résultats insatisfaisants, l'origine du déficit de qualité soit identifiée et que les mesures correctives nécessaires soient prises. L'objectif d'un système AQ fiable et ininterrompu sur les chaînes de procédures est ainsi atteint.

Tab. 2 : Liste des limites de quantification (LQ) et des méthodes d'analyses (cf. fig. 4).

Module	Paramètre	Unité	LQ	Récipient		Méthode	Méthode de référence
				Matériel	Vol [ml]		
Mesures de terrain	Conductivité él. (25 °C)	[µS/cm]					
	Température	[°C]					
	pH						
	Saturation en O ₂	[%]					
Programme de base (PB)	Turbidité	[FTU]	0.1	Verre	500	Photométrie	SLMB 27A/5
	CO ₂ , libre	[mg/l]	1	Verre	250	Titrimétrie	SLMB 27A/35
	Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	[mg/l]			250		
	Dureté carbonatée	[°F]			250		
	Dureté totale	[°F]			250		
	Calcium (Ca ²⁺)	[mg/l]	0.1	PE	250	ICP-OES	DIN EN ISO 11'885
	Magnésium (Mg ²⁺)	[mg/l]	0.1	PE	250	ICP-OES	DIN EN ISO 11'885
	Sodium (Na ⁺)	[mg/l]	0.1	PE	250	ICP-OES	DIN EN ISO 11'885
	Potassium (K ⁺)	[mg/l]	0.1	PE	250	ICP-OES	DIN EN ISO 11'885
	Strontium (Sr ²⁺)	[mg/l]	0.01	PE	250	ICP-OES	DIN EN ISO 11'885
	Baryum (Ba ²⁺)	[mg/l]	0.01	PE	250	ICP-OES	DIN EN ISO 11'885
	Lithium (Li ⁺)	[mg/l]	0.02	PE	250	ICP-OES	DIN EN ISO 11'885
	Silicium (Si)	[mg/l]	0.01	PE	250	ICP-OES	DIN EN ISO 11'885
	Zinc (Zn)	[µg/l]	1	PE	250	ICP-OES (Pulvérisation aux ultrasons)	DIN EN ISO 11'885
	Bore (B)	[µg/l]	2	PE	250	ICP-OES	DIN EN ISO 11'885
	Sulfates (SO ₄ ²⁻)	[mg/l]	1	Verre	250	IC	SLMB 27A/30
	Nitrates (NO ₃ ⁻)	[mg/l]	0.1	Verre	250	IC	SLMB 27A/30
	Chlorures (Cl ⁻)	[mg/l]	0.1	Verre	250	IC	SLMB 27A/30
	Carbone organique dissous (COD)	[mg C/l]	0.05	Verre	500	Spectroscopie IR	DIN EN 1484-H3
	AOX	[µg/l]	1	Verre	500	Coulométrie	DIN EN 1485-H14
Fluorures (F ⁻)	[mg/l]	0.01	Verre	250	Potentiométrie	SLMB 27A/25.1	
PAN	Phosphates (PO ₄ ³⁻)	[mg/l]	0.01	Verre	500	Photométrie	SLMB 27A/27
	Ammonium (NH ₄ ⁺)	[mg/l]	0.03	Verre	500	Photométrie	SLMB 27A/21
	Nitrites (NO ₂ ⁻)	[mg/l]	0.01	Verre	500	Photométrie	SLMB 27A/22
Métaux lourds (ML)	Chrome (Cr)	[µg/l]	1	PE	250	ICP-OES (Pulvérisation aux ultrasons)	DIN EN ISO 11'885
	Nickel (Ni)	[µg/l]	1	PE	250	ICP-OES (Pulvérisation aux ultrasons)	DIN EN ISO 11'885
	Cuivre (Cu)	[µg/l]	1	PE	250	ICP-OES (Pulvérisation aux ultrasons)	DIN EN ISO 11'885
	Béryllium (Be)	[µg/l]	1	PE	250	ICP-OES (Pulvérisation aux ultrasons)	DIN EN ISO 11'885
	Cobalt (Co)	[µg/l]	1	PE	250	ICP-OES (Pulvérisation aux ultrasons)	DIN EN ISO 11'885
	Titane (Ti)	[µg/l]	1	PE	250	ICP-OES (Pulvérisation aux ultrasons)	DIN EN ISO 11'885
	Argent (Hg)	[µg/l]	0.5	PE	250	ICP-OES (Pulvérisation aux ultrasons)	DIN EN 12'338
	Arsenic (As)	[µg/l]	0.5	PE	250	ICP-OES (Pulvérisation aux ultrasons)	DIN EN ISO 11'969
	Plomb (Pb)	[µg/l]	1	PE	250	ICP-OES (Pulvérisation aux ultrasons)	DIN EN ISO 11'885
	Cadmium (Cd)	[µg/l]	0.2	PE	250	ICP-OES (Pulvérisation aux ultrasons)	DIN EN ISO 11'885
Sélénium (Se)	[µg/l]	1	PE	250	AAS – Hydride	Veritas	
Hydrocarbures halogénés (HH)	Chloroforme	[µg/l]	0.05	Verre	500	GC-ECD	DIN EN ISO 10'301
	1,1,1-Trichloréthane	[µg/l]	0.05	Verre	500	GC-ECD	DIN EN ISO 10'301
	Tétrachlorure de carbone	[µg/l]	0.05	Verre	500	GC-ECD	DIN EN ISO 10'301
	Trichloréthène	[µg/l]	0.05	Verre	500	GC-ECD	DIN EN ISO 10'301
	Tétrachloréthène	[µg/l]	0.02	Verre	500	GC-ECD	DIN EN ISO 10'301
BTEX, MTBE (BT)	Benzène	[µg/l]	0.05	Verre	500	GC-MS	DIN 38'407
	Toluène	[µg/l]	0.05	Verre	500	GC-MS	DIN 38'407
	Ethylbenzène	[µg/l]	0.05	Verre	500	GC-MS	DIN 38'407
	Somme des xylènes	[µg/l]	0.05	Verre	500	GC-MS	DIN 38'407
	MTBE	[µg/l]	0.05	Verre	500	GC-MS	BUWAL ^[16]
Produits phytosanitaires (PHY)	Atrazine	[µg/l]	0.01	Verre	500	GC-MS	Veritas
	Déséthylatrazine	[µg/l]	0.01	Verre	500	GC-MS	Veritas
	Désisopropylatrazine	[µg/l]	0.01	Verre	500	GC-MS	Veritas
	Simazine	[µg/l]	0.01	Verre	500	GC-MS	Veritas
	Terbutylazine	[µg/l]	0.01	Verre	500	GC-MS	Veritas
	Terbutryne	[µg/l]	0.01	Verre	500	GC-MS	Veritas
	Métribuzine	[µg/l]	0.01	Verre	500	GC-MS	Veritas
Paramètres isolés (DIV)	Cyanures (CN ⁻)	mg/l	0.01	Verre	250	Photométrie	DIN 38'405
	NTA	[µg/l]	0.5	Verre	500	GC-MS	SLMB 27A/44
	EDTA	[µg/l]	0.5	Verre	500	GC-MS	SLMB 27A/44

1.4.3 Module NAQUA_{SPE}

Près de 500 stations NAQUA_{SPE}

Le module NAQUA_{SPE} permet de procéder à des études ciblées sur certains polluants spécifiques. Il y a actuellement près de 500 stations réparties sur la Suisse³. Selon les questions à résoudre, il est procédé à une sélection ciblée parmi les stations disponibles pour choisir celles qui sont échantillonnées.

Le module NAQUA_{SPE} a été élaboré avec les services cantonaux des eaux souterraines^[11] et sera autant que possible, aussi géré avec eux. Les prélèvements aux stations NAQUA_{SPE} sont en général assurés par les services cantonaux, exceptionnellement par des bureaux spécialisés privés. Selon les cantons les analyses sont effectuées dans différents laboratoires spécialisés et accrédités (laboratoires cantonaux, laboratoires des services de protection de l'environnement, laboratoires privés). C'est le seul moyen de pouvoir échantillonner plusieurs centaines de stations et obtenir des résultats de bonne qualité en un minimum de temps.

L'analyse des échantillons par différents laboratoires a pour conséquence que différentes méthodes d'analyse, avec des limites de quantification différentes, peuvent être utilisées. C'est surtout pour les éléments-trace (produits phytosanitaires, hydrocarbures) que les limites de quantification diffèrent d'un laboratoire à l'autre.

Etude sur l'ensemble du territoire avec NAQUA_{SPE}

Les campagnes de mesures effectuées dans le cadre de NAQUA_{SPE}, fournissent pour l'ensemble du territoire et le polluant analysé, une image parlante de la situation actuelle dans les eaux souterraines de la Suisse. Avec le temps ces images constituent des séries chronologiques qui permettent une évaluation fiable de l'évolution à moyen et long terme du polluant.

² Les paramètres présents dans l'eau essentiellement sous forme ionique dissoute, sont listés selon leur nombre d'oxydation. Font exception le zinc et les métaux lourds pouvant présenter en solution aqueuse, plusieurs états d'oxydation qui cependant, ne sont pas différenciés par la méthode d'analyse choisie. Le silicium et le bore (présents dans l'eau essentiellement sous forme d'acide silicique et d'acide borique indissociés) sont listés comme éléments sans état d'oxydation.

³ Jusqu'à l'impression de ce rapport, les cantons d'Appenzell Rhodes-Extérieures et Schaffhouse n'ont pas participé au programme NAQUA_{SPE}.

Tab. 3 : Stations NAQUA_{SPE}, état au 31.12.2003.

Critères	Classes	Nombre de stations
Type de station	Source	260
	Station de pompage des eaux souterraines	243
	Piézomètre	5
	Total	508
Géologie ⁴	Roches karst ; p. ex. calcaires (RK)	105
	cohérentes roches détritiques ; p. ex. grès (RD)	55
	roches cristallines ; p. ex. granite (RC)	23
	Terrains graviers de fonds de vallées (GV)	228
	meubles graviers hors fonds de vallées (GT)	26
	moraines (Mo)	46
	éboulis (Eb)	25
	Total	508
Principale utilisation du sol dans le bassin d'alimentation ⁵	Grandes cultures (GdC)	85
	Autres surfaces agricoles permanentes (AS)	178
	Pâturages d'estivage (PA)	42
	Forêt (Fo) et régions improductives (RI)	118
	Zone urbanisée et voies de communication (ZUC)	85
	Total	508
Région géographique	Plateau et régions limitrophes	210
	Jura	99
	Alpes et Préalpes	176
	Sud des Alpes	23
	Total	508
Altitude	<400 m	79
	400–600 m	217
	600–800 m	99
	800–1000 m	49
	1000–1500 m	40
	>1500 m	24
	Total	508
Utilisation	Eau potable	483
	Eau industrielle	8
	Non utilisé	17
	Total	508

Prise en compte, dans la mesure du possible des stations des réseaux cantonaux

Les critères de sélection des stations sont décrits dans^[11]. Les connaissances locales des services cantonaux furent essentielles lors du choix final. Dans la mesure du possible, le choix s'est porté sur des stations déjà intégrées dans des programmes de surveillance et d'observation cantonaux.

Une restriction dans le choix des stations provient du fait que, dans le passé, de nombreux captages ont été abandonnés lorsque la charge en produits polluants tels

⁴ Dans de rares cas, l'attribution géologique peut encore changer en fonction des études de caractérisation des stations en cours.

⁵ L'attribution selon la principale utilisation du sol peut encore partiellement changer en fonction des études de caractérisation des stations en cours. Dans ce contexte, le regroupement «AS» sera subdivisé en utilisations plus détaillées (cf. chap. 1.5.2).

que les nitrates, les produits phytosanitaires ou les hydrocarbures chlorés est devenue trop importante pour l'utilisation comme eau potable. De tels captages n'ont en général pas pu être intégrés à la liste des stations, soit parce qu'ils n'ont plus de pompe, soit qu'ils ont été fermés ou encore qu'ils ne font plus partie du réseau d'observation cantonal.

Les réservoirs aquifères fortement pollués sont plutôt sous-représentés

Pour cette raison, le nombre de réservoirs aquifères fortement pollués (indépendamment de l'utilisation comme eau potable) dans le réseau NAQUA est probablement sous-représenté, comme cela doit être aussi le cas dans les réseaux cantonaux. Les résultats des polluants de l'eau souterraine, dans les zones densément peuplées et soumises à une exploitation intensive, renvoient par conséquent une image plutôt optimiste de l'état général des eaux souterraines. D'autre part il n'est pas possible d'exclure que dans l'avenir, une station polluée sorte du réseau à la suite de l'abandon du captage.

Stations sélectionnées en fonction des polluants analysés

1.4.3.1 Choix des stations pour les campagnes de mesures

Toutes les stations du réseau NAQUA_{SPE} ne sont pas utilisées lors des campagnes de mesures spécifiques sur un polluant ou un groupe de polluants, entre autres pour des raisons financières ou opérationnelles. La sélection des stations pour une campagne donnée prend essentiellement en considération l'utilisation du sol, dans le bassin d'alimentation, pouvant influencer la qualité de l'eau ainsi que l'adéquation des paramètres analysés permettant d'identifier cette influence.

Bien sûr, à titre de comparaison, un certain nombre de stations où une influence anthropique peut être exclue ou jugée peu probable, est toujours inclus dans les campagnes. Les analyses à ces stations font office de valeurs de référence.

L'observation à long terme nécessite un réseau stable

Pour comparer les données obtenues à long terme et les évolutions éventuelles, chaque campagne successive doit être réalisée avec une sélection de stations aussi peu modifiée que possible. Comme les stations ne dépendent pas de la Confédération mais qu'elles appartiennent à des syndicats d'approvisionnement en eau, des communes ou à des privés, des changements de stations (p. ex. à la suite de l'arrêt d'exploitation d'un captage) ne pourront pas toujours être évités.

Deux programmes d'analyses en 2002 et 2003

En 2002 et 2003, deux campagnes ont été réalisées respectivement dans les domaines « Agriculture » et « Trafic et industrie ». En 2002, l'année de mise en service du réseau, ces campagnes ont démarré par paliers, soit plus ou moins tôt au cours de l'année, selon les cantons. L'année 2003 fût une année de consolidation au cours de laquelle les deux campagnes purent être menées dès le début, dans un grand nombre de cantons.

Ensemble des stations « Agriculture »

Les stations sur la zone d'alimentation desquelles une agriculture permanente prédomine, ont été choisies en priorité pour cette campagne. Etant donné que les paramètres analysés peuvent aussi, en partie, subir l'influence des zones urbanisées et des voies de communication, des stations présentant ces caractéristiques ont aussi

été prises en compte. Au total 426 stations en 2002 et 420 en 2003 ont été sélectionnées. Les chiffres regroupés pour 2002/03 se trouvent au tableau 4.

Ensemble des stations « Trafic et industrie »

Les stations dont le bassin d'alimentation se trouve en zone urbanisée et/ou qui contient des infrastructures de communications importantes, ont été choisies en priorité pour cette campagne. Au total 186⁶ stations en 2002 et 387 en 2003 ont été sélectionnées.

Tab. 4 : Stations sélectionnées pour les campagnes 2002/03 de NAQUA_{SPE} selon l'utilisation du sol.

Principale utilisation du sol	Stations disponibles n	Stations « Azote »		Stations « Phytosanitaires »		Stations « Trafic et industrie »	
		n	%	n	%	n	%
Grandes cultures	85	84	99	81	95	72	85
Autres surfaces agricoles permanentes	178	173	97	172	97	149	84
Pâturages d'estivage	42	29	69	26	62	25	60
Forêt et régions improductives	118	72	61	67	57	59	50
Zone urbanisée et voies de communication	85	84	99	83	98	82	96

1.4.3.2 Paramètres analysés

Paramètres de terrain

Au contraire du réseau NAQUA_{TREND}, aucun paramètre chimique global (géogènes) n'est pour l'instant analysé par la Confédération dans le réseau NAQUA_{SPE}. Les recherches se limitent aux paramètres de terrain ainsi qu'aux polluants ciblés recherchés. Dans la mesure du possible, les paramètres de terrain suivants ont été mesurés à chaque campagne :

- niveau de l'eau ou débit,
- conductivité électrique,
- température de l'eau,
- teneur en oxygène.

Campagne « Agriculture »

Programme d'analyses « Agriculture »

La campagne « Agriculture » fournit la situation relative à une sélection de substances utilisées en agriculture, mais pouvant aussi être présentes dans les zones urbanisées et le long des voies de communication. Le programme d'analyses comprend un programme de base identique pour toutes les stations (tab. 5).

⁶ En 2002, la campagne « Trafic et industrie » a été réalisée comme projet pilote dans 7 cantons seulement.

Tab. 5 : Campagne « Agriculture », programme de base.

	Substance analysée	Classe de substance	Origine principale (composés azotés) ou utilisation (produits phytosanitaires)
Composés azotés	Nitrates	-	engrais, labour du sol, eaux usées
	Ammonium	-	eaux usées, purin, engrais, décharges, décomposition de matière organique, réduction de l'azote
	Nitrites	-	eaux usées, produit intermédiaire lors de la réduction des nitrates ou de l'oxydation de l'ammonium
Produits phytosanitaires	Atrazine	Herbicide de la famille des triazines	Maïs (interdite dans les autres cultures et partout en régions karstiques) ⁷
	Déséthylatrazine	Métabolite	Métabolite de l'atrazine
	Désisopropylatrazine	Métabolite	Métabolite de l'atrazine
	Simazine	Herbicide de la famille des triazines	Viticulture, arboriculture fruitière, culture des baies, rhubarbe, asperge, maïs et pépinières forestières ⁷
	Terbutylazine	Herbicide de la famille des triazines	Viticulture, fruits à pépins, maïs
	Isoproturon	Herbicide de la famille des phénylurées	Céréales
	Diuron	Herbicide de la famille des phénylurées	Viticulture, fruits à pépins, asperge, pépinières forestières

Les sept substances du programme de base sont d'une part les produits les plus couramment employés. D'autre part, ils sont inclus dans les programmes d'analyses de routine de plusieurs laboratoires cantonaux et privés. Ils représentent ainsi le plus petit dénominateur commun pour les possibilités analytiques des laboratoires participants.

Un maximum de 78 produits phytosanitaires analysés par station

Ce programme de base a été étendu à d'autres substances selon les possibilités des laboratoires. Dans le cadre de la campagne « Agriculture », les analyses ont été réalisées par près de 15 laboratoires avec des programmes d'analyses en partie différents. Dans de nombreuses stations, un maximum de 56 produits phytosanitaires différents a été analysé par station en 2002, respectivement 78 en 2003. En tout, les résultats d'analyses de 97 substances en 2002 et 124 en 2003, sont disponibles en nombre variable. Parmi ces substances, 62 en 2002 et 79 en 2003 sont autorisées en Suisse comme principes actifs pour l'application en agriculture. Les détails se trouvent en annexe 1.

Programme d'analyses « Trafic et industrie »

Campagne « Trafic et industrie »

La campagne « Trafic et industrie » fournit la situation relative à une sélection de substances typiques de la circulation motorisée et d'utilisations industrielles et artisanales. Toutefois, beaucoup de ces produits ont un emploi très large, de sorte que, dans des cas particuliers, une petite entreprise artisanale, une maison familiale et l'agriculture peuvent être prises en considération comme origine des émissions (p.

⁷ Depuis 2003, l'atrazine et la simazine sont aussi interdites en zones S2 de protection des eaux souterraines.

ex. certains produits phytosanitaires, préparés en émulsion, contiennent de grandes quantités de solvants aromatiques comme le xylène ou l'éthylbenzène). Le programme d'analyses comprend un programme de base identique pour toutes les stations (tab. 6). Il a été mis en œuvre en 2002 sous forme d'une campagne-pilote dans 7 cantons seulement, à partir de 2003 les résultats du programme d'analyses complet sont disponibles.

Tab. 6 : Campagne « Trafic et industrie », programme de base.

Substance	Utilisation
Hydrocarbures aromatiques monocycliques (BTEX)	Additif pour carburant (antidétonant, substituant du plomb)
Hydrocarbures aromatiques monocycliques (BTEX)	
Benzène	Constituant de l'essence et d'autres carburants.
Toluène	Constituant de l'essence et d'autres carburants. Aussi utilisé comme substance de base pour la synthèse chimique et comme solvant (colorants, laques, colles, huiles, résines, etc.).
Ethylbenzène	Constituant de l'essence et d'autres carburants. Aussi utilisé comme produit de base pour la production de matières plastiques (production de styrène) et comme solvant (colorants, laques, produits phytosanitaires).
Xylène (m/p-xylène ; o-xylène)	Constituant de l'essence et d'autres carburants. Aussi utilisé comme solvant (colorants, industrie du cuir et du caoutchouc, produits phytosanitaires).

Les cinq substances du programme de base sont des hydrocarbures couramment utilisés. Ils font partie des programmes d'analyses de routine de plusieurs laboratoires cantonaux et privés. Ils forment ainsi le plus petit dénominateur commun concernant les possibilités analytiques des laboratoires participants.

Un maximum de 63 substances analysées par station

Selon les possibilités des laboratoires, ce programme de base a été étendu à d'autres substances, comme p. ex. les hydrocarbures aliphatiques, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les hydrocarbures halogénés volatils (HHV), etc. Sur un grand nombre de stations de la campagne « Trafic et industrie », un maximum de 60 substances différentes a été analysé par station en 2002, respectivement 63 en 2003. En tout, les analyses de 69 substances en 2002, 73 en 2003, sont disponibles en nombres variables par substance. Les détails figurent en annexe 1.

1.4.3.3 Fréquence de prélèvement

La fréquence d'échantillonnage d'une station est déterminée en fonction de divers facteurs :

- la probabilité d'une influence anthropique,
- les caractéristiques hydrogéologiques de la station (variabilité des conditions hydrauliques, surtout selon la saison, milieu karstique, etc.),
- la variabilité hydrochimique déterminée si possible par d'anciennes analyses.

En principe, les prélèvements devraient se réaliser selon une fréquence adaptée aux caractéristiques particulières de chaque station. Cependant, pour des raisons opérationnelles, il ne peut se faire au maximum qu'un échantillonnage tous les trois mois. Une mesure par saison est ainsi disponible et l'état des eaux souterraines correspondant à diverses conditions hydrologiques, est documenté au cours d'une année. De même, pour des raisons opérationnelles, les prélèvements trimestriels ne sont pas réalisables actuellement sur un grand nombre de stations.

En principe, au moins un échantillon par saison

Normalement les prélèvements sont effectués au cours des mois de février, mai, août et novembre. Les stations avec une forte influence anthropique ou avec une variabilité importante du débit et de la chimie, sont échantillonnées quatre fois par an selon les possibilités. En règle générale les autres stations ne sont échantillonnées que deux fois par an, au printemps (hautes eaux, période d'application des produits phytosanitaires) et en automne (basses eaux).

Rôle fondamental des fournisseurs de données

1.4.3.4 Assurance qualité

Dans le module NAQUA_{SPE}, il n'est pas possible de contrôler les prélèvements et les analyses avec un niveau comparable à celui de NAQUA_{TREND}. Ceci est dû à l'organisation décentralisée des campagnes, effectuées principalement par les cantons. La Confédération doit ici plus fortement compter sur la qualification des participants : services cantonaux compétents, laboratoires et bureaux de géologie mandatés.

Données livrées soigneusement contrôlées par un expert

Les services compétents et les bureaux responsables de l'échantillonnage remplissent les protocoles de prélèvement. Dans le cadre du transfert de données standardisé, les laboratoires livrent de même les renseignements concernant les méthodes d'analyses ainsi que les limites de quantification et de détection.

Chaque livraison de données fait l'objet d'un examen par un expert de la Confédération qui en contrôlera la crédibilité. Les ambiguïtés éventuelles, les problèmes rapportés par les services compétents et les laboratoires des cantons ainsi que les autres observations sortant du cadre de plausibilité sont documentés.

Seules les données plausibles sont interprétées

Toutes les données originales fournies par les services cantonaux compétents et les laboratoires sont enregistrées séparément avec les renseignements concernant les méthodes d'analyses utilisées, les unités et les limites de quantification correspondantes, de telle sorte qu'elles soient toujours reproductibles. Comme pour NAQUA_{TREND} un « fichier historique des analyses » est constitué et continuellement actualisé.

Au cours de l'importation dans la base de données, les données se voient attribuer un statut (en dessous de la limite de quantification, non plausible, non examiné, provisoire ou plausible). Pour l'interprétation, seules les données avec les statuts « en dessous de la limite de quantification » ou « plausible » ont été utilisées.

1.5 Interprétation des résultats

1.5.1 Calculs/Statistiques

Indices statistiques

Pour les calculs des indices statistiques des paramètres analysés (moyenne, médiane, quantile), se pose la question du traitement des mesures pour lesquelles les résultats se situent en dessous de la limite de quantification. Cette dernière varie d'un laboratoire à l'autre et, la plus haute valeur fournie peut, selon les paramètres, représenter jusqu'à 50 fois la valeur de la plus faible.

Le taux de détection souvent faible et les limites de quantification en partie élevées ont pour conséquence que, pour la plupart des produits phytosanitaires et des substances de la campagne « trafic et industrie », la médiane et le quantile de 90% se retrouvent à une valeur inférieure au seuil de quantification le plus élevé. Ainsi la médiane comme les quantiles perdent une grande partie de leur signification pour l'ensemble des mesures.

Lors du calcul des moyennes, si les résultats d'analyses situés en dessous de la limite de quantification étaient fixés par exemple à 50% de cette limite, il s'agirait d'une falsification inadmissible des résultats, tout comme la mise à zéro.

En outre, concernant les paramètres rarement décelés, les moyennes ont peu de sens si elles sont calculées sur l'ensemble des mesures : pour une seule détection sur cent analyses et nonante-neuf valeurs en dessous de la limite de quantification, la moyenne sur l'ensemble des cent mesures a peu de sens.

Pour ces raisons les indices statistiques n'ont été calculés qu'avec les valeurs dépassant le seuil de quantification.

Ainsi, les données statistiques relatives à chaque substance fournissent les informations suivantes :

- nombre de stations (absolu et en pourcentage par rapport à celles analysées) où la substance est décelée,
- nombre de stations (absolu et en pourcentage par rapport à celles analysées) où la substance dépasse un seuil donné (exigence de qualité, valeur de tolérance, valeur limite, valeur indicative),
- nombre de mesures (absolu et pourcentage) pour lesquelles la substance a été décelée,
- nombre de mesures (absolu et pourcentage) pour lesquelles la substance dépasse un seuil donné (exigence chiffrée, valeur de tolérance, valeur limite, valeur indicative),
- valeurs de la moyenne, de la médiane et des 1^{er} et 3^e quartiles des mesures dépassant le seuil de quantification.

Les indices statistiques répondent ainsi aux questions « quelle est la probabilité de trouver une substance et, le cas échéant, quel est l'ordre de grandeur des valeurs » ?

Utilisation des valeurs maximales pour l'interprétation des paramètres partiellement décelés

En plus des problèmes évoqués plus haut, liés au traitement statistique des mesures en dessous de la limite de quantification, subsiste le problème du nombre différent de mesures effectuées par station : pour diverses raisons selon les cantons et la situation des stations, entre une et quatre analyses sont disponibles par an et par station (cf. chap. 1.4.3.3).

Pour régler le problème au mieux lors de l'interprétation de paramètres comme les produits phytosanitaires ou les hydrocarbures et le MTBE, seules les valeurs maximales à chaque station ont été utilisées.⁸

Evolution chronologique des paramètres analysés

Les analyses réalisées dans le cadre de NAQUA sur l'ensemble de la Suisse sont encore trop récentes pour déceler et représenter une évolution chronologique. Pour deux stations les données sont disponibles sur un maximum de six années, alors que sur la majorité des autres stations l'acquisition des données se fait seulement depuis 2002.

Les données des stations NAQUA acquises par d'autres services (cantons, syndicats des eaux) avant le démarrage du programme renseignent à peine sur les évolutions chronologiques. Très peu de stations disposent de données anciennes concernant les produits phytosanitaires, les hydrocarbures ou le MTBE, qui pourraient p. ex. montrer l'évolution des concentrations de ces substances dans les eaux souterraines sur les dix dernières années.

Il n'y a que les nitrates pour lesquels les relevés cantonaux peuvent remonter jusqu'à 1990 sur un certain nombre de stations. Malgré tout, la base de données pour l'interprétation des teneurs en nitrates depuis le début des années 1990 reste mince (cf. chap. 2.1.4.3). Aux stations NAQUA étudiées en 2002 et 2003, la collecte des données a pu remonter jusqu'à 1990 sur seulement 158 stations provenant de 11 cantons. Et même pour ces stations il a fallu regrouper les données en cycles de trois ans, afin de pouvoir tirer des informations sur les périodes 1989–1991, 1994–1996 et 1999–2001. En outre le nombre de mesures peut très fortement varier d'une station à l'autre, mais aussi entre les différentes périodes pour une même station.

Il n'est pas possible de ne retenir que des mesures effectuées en même temps, sur l'ensemble des stations. Les résultats obtenus sont plus à prendre comme des orientations et des tendances que comme des valeurs représentatives.

⁸ En outre, il convient de faire remarquer que, aussi bien les exigences chiffrées OEaux^[17] que les valeurs de tolérance et les valeurs limite OSEC^[18] ne se rapportent pas à des concentrations moyennes, mais qu'elles sont à respecter de manière permanente, respectivement sont valables au moment de la distribution au consommateur.

Avec le temps seulement, il sera possible de décrire sur l'ensemble de la Suisse l'évolution dans l'eau souterraine des différents paramètres analysés et le cas échéant, de confirmer voire préciser les tendances dessinées.

Un réseau d'observation des eaux souterraines comme NAQUA permet de suivre l'évolution des concentrations relevées par échantillonnages. Il ne permet par contre pas de calculer les charges en substances et d'en documenter l'évolution. Pour cela, il faudrait procéder à un échantillonnage beaucoup plus rapproché, couplé à un suivi en continu des débits des sources étudiées, ainsi qu'à une modélisation détaillée des écoulements souterrains dans le secteur des puits de pompage échantillonnés.

Dépassement de limites

Des limites chiffrées pour la teneur en diverses substances dans l'eau souterraine sont produites dans différents actes législatifs :

- Exigences chiffrées OEaux^[17] applicables à la qualité de l'eau souterraine utilisée comme eau potable ou destinée à l'être. En cas de dépassement de ces exigences, les autorités compétentes doivent déterminer la nature, l'ampleur et les causes de la pollution et prendre les mesures appropriées pour la protection des eaux souterraines concernées (art. 47 OEaux). Les exigences chiffrées sont fondées sur des critères de protection des eaux souterraines.
- Valeurs de tolérance et valeurs limite OSEC^[18] pour la qualité de l'eau potable à la livraison au consommateur. En cas de dépassement de la valeur de tolérance, l'eau est considérée comme souillée ou alors diminuée dans sa valeur intrinsèque ; en cas de dépassement de la valeur limite elle est jugée comme impropre à la consommation. Valeurs de tolérance et valeurs limite sont fondées sur des critères de santé.
- Valeurs indicatives des « Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines »^[19], dont le dépassement signale en général une atteinte d'origine humaine à l'eau souterraine et doit fournir l'occasion d'en rechercher les causes.

Les paramètres analysés dans le cadre de NAQUA ont été évalués en référence aux limites citées.

Les diverses limites sont détaillées sous forme de listes en annexe 3.

1.5.2 Interprétation en relation avec l'utilisation du sol, l'altitude, la zone agricole et la géologie

Les analyses dans le cadre du réseau d'observation NAQUA sont subdivisées en trois : paramètres agricoles, polluant du trafic et de l'industrie et autres paramètres. Les données relatives aux paramètres influencés par l'« agriculture » et le « trafic et l'industrie » proviennent des deux modules NAQUA_{TREND} et NAQUA_{SPE}, celles relatives aux autres paramètres principalement du module NAQUA_{TREND}. La représentation et l'interprétation des résultats suivent cette partition en trois.

Le paysage morcelé mène à des chevauchements d'utilisation dans le bassin d'alimentation de nombreuses stations

Le paysage suisse est fortement morcelé et l'utilisation de l'espace souvent intensive. Dans le bassin d'alimentation d'un captage, les différents types d'utilisation se superposent fréquemment ou se modifient dans le temps. Par conséquent, pour un certain nombre de stations, l'utilisation du sol principale dans le bassin versant, définie comme critère de sélection, est relativement peu représentative et/ou d'autres utilisations du sol influencent également une partie importante du bassin versant.

De plus, l'eau d'infiltration depuis les rivières et ruisseaux peut masquer, du moins en partie, l'influence des activités humaines sur la chimie des eaux souterraines, p. ex. par dilution des nitrates provenant de cultures intensives. Les données de détail à ce sujet manquent encore pour de nombreuses stations.

Pour ces raisons l'utilisation de l'espace dans le bassin d'alimentation de chaque station ainsi que les conditions concernant l'infiltration d'eaux de surface font actuellement l'objet d'un contrôle et d'une évaluation de détail. L'interprétation plus détaillée des résultats des mesures en fonction des différentes utilisations du sol et de l'infiltration des eaux de surface, ne sera donc possible que plus tard.

Pour les paramètres des campagnes « **agriculture** » et « **trafic et industrie** » les interprétations en référence aux caractéristiques du bassin versant et à l'emplacement des stations ont été réalisées comme suit :

Evaluation d'après la principale utilisation du sol

Répartition des stations d'après la principale **utilisation du sol** dans le bassin d'alimentation selon le **critère de sélection** (cf. tab. 1 et 3). Cinq types d'utilisation principale ont été définis :

- grandes cultures **GdC**
- autres surfaces utilisées toute l'année par des exploitations agricoles (mentionnées dans le texte comme « autres surfaces agricoles permanentes ») **AS**
- pâturages d'estivage **PA**
- forêt **Fo**
et régions improductives **RI**
- zone urbanisée et voies de communication **ZUC**

La catégorie « **autres surfaces agricoles permanentes** » englobe des formes d'exploitation d'intensité très diverse (arboriculture fruitière et viticulture, cultures fourragères avec pour partie un fort pourcentage de cultures, prairies et pâturages à différentes altitudes et avec diverses intensités d'utilisation). Cette catégorie fourre-tout a été introduite parce que la subdivision détaillée en utilisations d'intensités différentes selon^[12] et^[13] n'est pas encore possible actuellement. Il sera remédié à ce défaut à l'issue de la caractérisation détaillée des stations, pour autant que cela soit possible compte tenu des effets de petite échelle.

A défaut d'une analyse détaillée du bassin d'alimentation de chaque station, la délimitation des différents types d'utilisation principale présente encore quelques in-

certitudes. Celles-ci seront également levées lors de la prochaine parution du rapport concernant les eaux souterraines, à l'issue des caractérisations de station en cours.

Evaluation d'après l'altitude

Répartition des stations d'après leur **altitude**. L'altitude d'une station fournit des informations sur l'intensité potentielle des activités humaines dans le bassin versant : plus la station se trouve à une altitude élevée, plus faible est en moyenne la probabilité d'une utilisation intensive du sol.

- ≤400 m
- 400–600 m
- 600–800 m
- 800–1000 m
- >1000 m

Cette répartition ne prend pas en compte l'altitude moyenne et l'utilisation du sol effective dans le bassin d'alimentation. Un certain flou en résulte, surtout concernant les stations situées en bas de versants et dans les secteurs d'infiltration d'eau de surface, l'image globale n'étant toutefois faussée que de manière négligeable.

Evaluation d'après la zone agricole

Répartition des stations d'après la **zone agricole** dans laquelle elles se situent. Les zones agricoles fournissent également une information sur l'intensité moyenne de l'utilisation agricole du sol ou de la densité de la population. De plus, elles décrivent dans les grandes lignes les régions géographiques de la Suisse : les zones de grandes cultures et intermédiaire représentent approximativement le Plateau, l'Ajoie, la vallée du Rhône et les plaines du Tessin avec l'utilisation la plus intensive du sol ; la zone de collines correspond aux parties les plus basses de la région préalpine et au Jura tabulaire avec globalement une intensité moyenne de l'utilisation du sol ; les zones de montagne et d'estivage représentent quant à elles, les Alpes et le Jura plissé avec en moyenne la plus faible intensité d'utilisation :

- zone de grandes cultures
- zone intermédiaire
(regroupement des zones intermédiaire et intermédiaire élargie)
- zone de collines
- zone de montagne (regroupement des zones de montagne I à IV)
- zone d'estivage

L'attribution des stations selon la zone agricole a été réalisée à l'aide des données polygonales « limites des zones agricoles »^[20]. Cette répartition ne tient pas non plus compte de la situation effective et de l'utilisation du sol dans le bassin d'alimentation. De plus les zones agricoles ne permettent pas une distinction précise des surfaces en fonction de l'intensité de l'utilisation. P. ex. les surfaces appropriées pour l'agriculture intensive dans la haute vallée du Rhône vers Brig sont classées en zone de montagne I, tout comme les versants escarpés attenants. Ces restrictions ne perturbent toutefois l'interprétation de l'ensemble des données que de manière négligeable.

**Evaluation d'après
la géologie de l'aquifère**

Pour les **autres paramètres** (paramètres de terrain, composants principaux et secondaires, traces inorganiques, AOX), une interprétation supplémentaire a été réalisée en référence à la **géologie de l'aquifère** (cf. tab. 1 et 3), car les teneurs de la majorité de ces paramètres sont conditionnées en premier lieu par des facteurs géogènes :

- karst ; p. ex. calcaires **RK**
- roches détritiques ; p. ex. grès **RD**
- roches cristallines ; p. ex. granite **RC**
- graviers hors fonds de vallées **GT**
- graviers de fonds de vallées **GV**

Pour l'interprétation des paramètres conductivité électrique, température et teneur en oxygène, il est possible de rajouter des stations avec la géologie suivante :

- moraines **Mo**
- éboulis **Eb**

Pour la plupart des autres paramètres, les analyses n'ont pu être réalisées que sur 44 stations, l'interprétation en référence avec la **principale utilisation du sol** dans le bassin d'alimentation de la station n'a donc retenu comme **critères de sélection** que quatre types d'utilisation principale :

- grandes cultures **GdC**
- autres surfaces agricoles permanentes **AS**
- forêt, régions improductives s.s., pâturages d'estivage, regroupés sous régions improductives **RI**
- zone urbanisée et voies de communication **ZUC**

2 Résultats

2.1 Composés azotés

2.1.1 Introduction

Azote :
élément nutritif important
des plantes

L'azote (N) est un élément nutritif important des plantes. Une agriculture moderne sans engrais azotés est impensable. L'azote arrive dans le sol de différentes manières et sous différentes formes (engrais minéraux ammoniacés ou nitrates, ammoniac et oxydes d'azote de l'air, azote organique du lisier, du fumier et des débris végétaux, ammoniac du lisier, du jus de fumier ou provenant de conduites d'eaux usées non étanches).

Teneurs élevées en ammonium
comme possible
indicateur de fuites de
conduites d'eaux usées

L'**ammonium** se forme à partir de la décomposition biologique des protéines, qui dans des cas rares peuvent aussi pénétrer dans l'eau souterraine de manière naturelle. En l'absence d'oxygène dans les eaux souterraines, l'ammonium peut aussi se former par réduction du nitrate ou de l'azote gazeux (N₂), et présenter ainsi des teneurs en hausse dans des conditions naturelles spéciales (p. ex. eaux souterraines riches en carbone organique dissous, aquifères à haute teneur en matières organiques). Des teneurs élevées en ammonium dans les eaux souterraines peuvent signaler des fuites proches sur le réseau d'eaux usées, des pollutions aiguës par du lisier ou de l'engrais minéral ammoniacé ou encore des sites à forte contamination organique (eau infiltrée à partir de décharges d'ordures ménagères).

L'Ordonnance fédérale sur la protection des eaux (OEaux,^[17]) présente deux exigences chiffrées pour l'ammonium : 0.1 mg/l dans des conditions oxydantes et 0.5 mg/l dans des conditions anoxiques, pour s'adapter aux particularités naturelles. Ces deux valeurs se trouvent également dans l'Ordonnance fédérale sur les substances étrangères et les composants (OSEC,^[18]) dans les denrées alimentaires comme valeurs de tolérance pour l'eau potable.

En présence d'oxygène, l'ammonium est oxydé en nitrate avec consommation d'oxygène (nitrification).

Nitrites :
rarement stables

Le **nitrite** est un composé azoté qui peut se former dans les eaux peu oxygénées, comme produit intermédiaire de la réduction du nitrate en azote gazeux (dénitrification). De même, il peut se former comme produit secondaire lors de l'oxydation de l'ammonium en nitrate et de cette façon, des concentrations élevées en nitrites peuvent également indiquer l'influence d'eaux usées. Le nitrite n'est relativement stable que dans les eaux réduites.

L'OEaux^[17] ne fournit pas d'exigence chiffrée pour l'eau souterraine concernant les nitrites. Les « Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines »^[19] définissent une valeur indicative de 0.05 mg/l, dont le dépassement indique une influence anthropique. La valeur de tolérance pour l'eau potable est de 0.1 mg/l^[18].

Nitrates : forme azotée
assimilable par les plantes

Les **nitrates** sont très solubles et constituent la forme azotée assimilable par les plantes. Dans les sols, les différentes formes azotées (ammonium, azote organique)

sont partiellement transformées en nitrates, surtout par des bactéries. Divers facteurs tels que le degré de travail du sol (p. ex. retournement du sol), la température, l'humidité et la couverture du sol jouent ici un rôle. Même en l'absence de fumure azotée, il se produit ainsi plus de nitrates sous un sol intensément cultivé que sous une prairie permanente ou une forêt. De plus, le travail du sol et l'absence temporaire de plantes couvrantes facilitent l'infiltration des eaux et donc le lessivage des nitrates.

La quantité de nitrates présente dans un sol ne peut en général pas être totalement absorbée par les plantes. Les précipitations entraînent alors une partie des nitrates vers les eaux souterraines, surtout dans les sols peu épais et très perméables, ainsi que dans les champs en friche où aucune plante ne peut fixer les nitrates disponibles.

L'eau souterraine sans influence anthropique : ne contient que quelques mg/l de nitrates

En Suisse, dans des conditions proches des conditions naturelles (p. ex. dans les Alpes), l'eau souterraine contient au plus quelques milligrammes de nitrates par litre^[21]. Dans les eaux réduites, les teneurs en nitrates peuvent descendre en dessous du seuil de détection analytique (réduction des nitrates en azote gazeux). C'est seulement dans des conditions spéciales que les eaux souterraines peuvent, de manière naturelle, contenir nettement plus que quelques milligrammes de nitrates par litre (p. ex. lors de l'assèchement de marais ou le défrichage de grandes surfaces). Des teneurs en nitrates plus hautes que 6 à 10 mg/l proviennent en général d'une influence anthropique.

Les teneurs élevées en nitrates sont l'indice d'une agriculture intensive

Des teneurs élevées en nitrates indiquent généralement un travail du sol par une agriculture intensive (p. ex. grandes cultures et cultures maraîchères), prenant insuffisamment en compte les caractéristiques locales. Une application d'engrais inadéquate ou excessive, un réseau d'eaux usées non étanche, des jus de compost, des apports élevés d'oxydes d'azote et d'ammoniac à partir de l'air ou la fumure excessive de jardins, peuvent aussi entraîner une hausse des concentrations de nitrates dans les eaux souterraines.

L'OEaux^[17] fournit une exigence chiffrée de 25 mg/l, tandis que la valeur de tolérance OSEC^[18] pour l'eau potable est de 40 mg/l.

2.1.2 Ammonium (NH₄⁺)

2.1.2.1 Résultats

Au cours de la période 1997–2001, le nombre de stations disponibles augmente de 2 (1997) à 39 (2001). L'ammonium a été décelé dans 3.5% des analyses et 31% des stations (moyenne des analyses \geq limite de quantification = 0.039 mg/l, valeur maximale = 0.08 mg/l). Pour 2002 et 2003 les résultats de 443, respectivement 427 stations sont disponibles. L'ammonium a été décelé dans 23% des analyses et 43% des stations analysées (moyenne des analyses \geq limite de quantification = 0.015 mg/l, valeur maximale = 0.24 mg/l, cf. tab. 7).

Tab. 7 : Résultats des analyses de l'ammonium depuis 1997.

Année	LQ (mg/l)	Stations de mesures			Mesures			Statistique (seulement les résultats \geq LQ)					
		n	\geq LQ	>limite	n	\geq LQ	>limite	min. (mg/l)	max. (mg/l)	moyenne (mg/l)	médiane (mg/l)	1 ^{er} quartile (mg/l)	3 ^{ème} quartile (mg/l)
1997–2001	0.030	39	12	0	469	17	0	0.030	0.080	0.039	0.030	0.030	0.040
2002	0.001–0.05	443	121	0 ⁹	1045	217	0	0.001	0.210	0.016	0.010	0.005	0.026
2003	0.001–0.05	427	161	2 ¹⁰	1158	297	2	0.001	0.240	0.014	0.008	0.005	0.018

Limite = exigence chiffrée OEaux de 0.1 mg/l dans des conditions oxydantes, respectivement de 0.5 mg/l dans des conditions anoxiques ;

LQ = limite de quantification, n = nombre

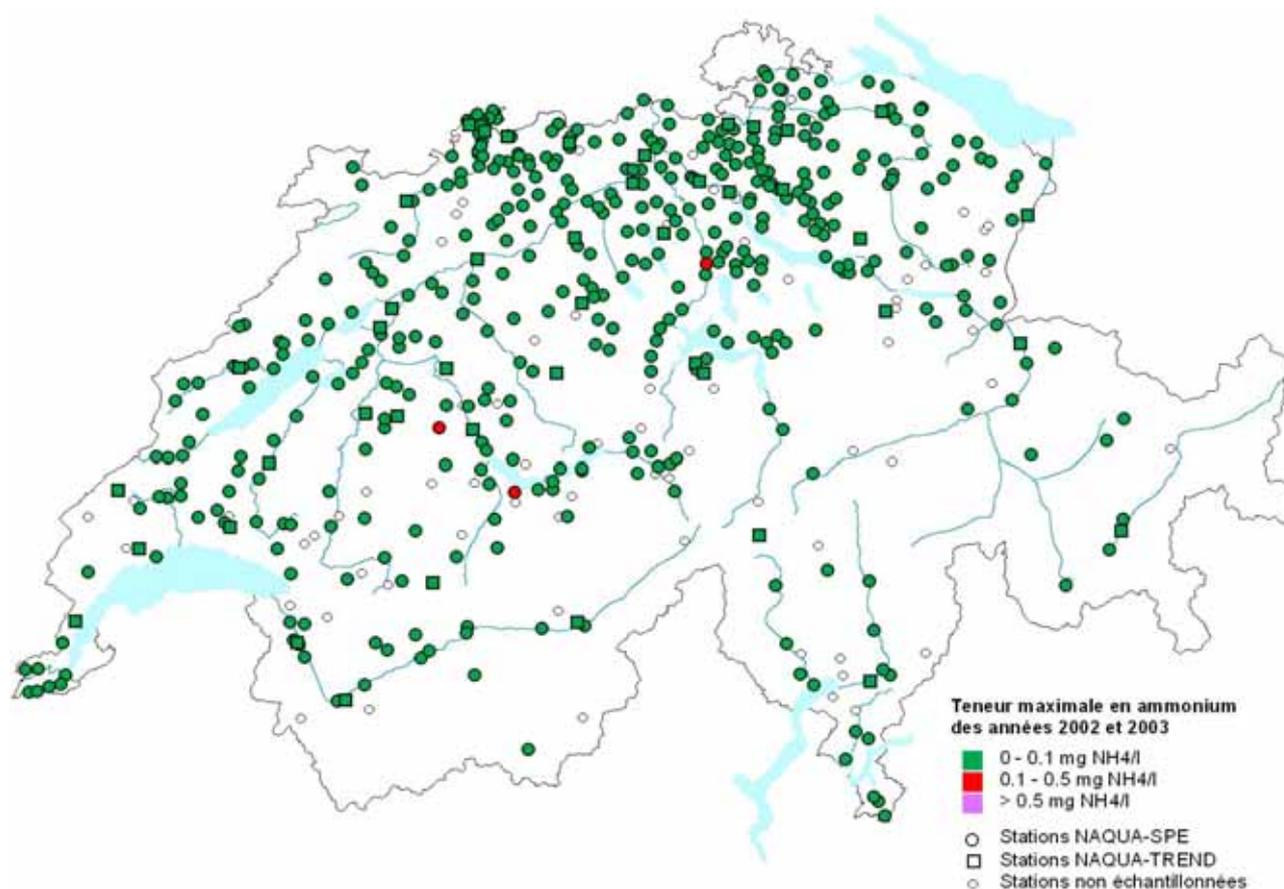


Fig. 6 : Teneur maximale en ammonium des stations analysées en 2002 à 2003 (fond topographique^[22]).

⁹ Une station présente une teneur en ammonium supérieure à 0.1 mg/l (exigence de concentration OEaux^[17] pour des conditions oxydantes). Comme il s'agit de l'occurrence d'une eau souterraine réduite, pour laquelle l'exigence de qualité OEaux est de 0.5 mg/l, il n'y a pas de dépassement de limite.

¹⁰ L'exigence de concentration pour l'eau souterraine (0.1 mg/l) a été dépassée trois fois, parmi ces cas se trouve la même eau anoxique qu'en 2002.

Dans l'ensemble de la Suisse, aucun problème avec l'ammonium dans l'eau souterraine

Pour les années 1997 à 2001, aucune mesure ne dépasse les exigences chiffrées OEaux^[17].

En 2002 et 2003 les exigences chiffrées OEaux n'ont été dépassées que ponctuellement : en 2002 une seule station sur 443 dépasse l'exigence chiffrée en conditions oxydantes (valeur = 0.21 mg/l) et en 2003, ce sont 3 stations sur 427 analysées.

2.1.2.2 Interprétation

Pour l'ammonium il n'y a, sur l'ensemble de la Suisse, aucun indice de pollution attribuable à une utilisation abusive d'engrais ammoniacés, à des sites contaminés par de la matière organique ou à des conduites d'eaux usées défectueuses, même si en 2002 et 2003 un dépassement de l'exigence chiffrée OEaux applicable à l'eau souterraine (en conditions oxydantes) a été identifié sur trois stations au total. Il s'agit d'une part d'un réservoir aquifère en conditions réduites dans lequel les nitrates n'ont pas pu être décelés et d'autre part de deux sources en conditions oxydantes, dans lesquelles des teneurs en ammonium légèrement élevées de 0.14, respectivement 0.15 mg/l ont été mesurées en novembre 2003. Ces valeurs sont probablement à mettre en relation avec des épandages de lisier pendant le sommeil de la végétation (vidange des fosses à lisier avant l'hiver). Les pollutions identifiées sont des phénomènes locaux qui ne présentent pas de problème au niveau de l'ensemble de la Suisse.

2.1.3 Nitrites (NO₂)

2.1.3.1 Résultats

Au cours de la période 1997–2001, le nombre de stations disponibles augmente de 2 (1997) à 39 (2001). L'ion nitrite a été décelé dans 1.5% des analyses et 13% des stations (moyenne des analyses \geq limite de quantification = 0.015 mg/l, valeur maximale = 0.03 mg/l). Pour les années 2002 et 2003 les résultats de 445, respectivement 446 stations sont disponibles, des nitrites ont été décelés dans 12% des analyses et 23% des stations analysées (moyenne des analyses \geq limite de quantification = 0.008 mg/l, valeur maximale = 0.082 mg/l, cf. tab. 8).

Tab. 8 : Résultats des analyses de nitrites depuis 1997.

Année	LQ (mg/l)	Stations de mesures			Mesures			Statistique (seulement les résultats \geq LQ)					
		n	\geq LQ	>limite	n	\geq LQ	>limite	min. (mg/l)	max. (mg/l)	moyenne (mg/l)	médiane (mg/l)	1 ^{er} quartile (mg/l)	3 ^{ème} quartile (mg/l)
1997–2001	0.010	39	5	0	469	7	0	0.010	0.030	0.015	0.010	0.010	0.017
2002	0.001–0.026	445	85	0	1047	164	0	0.001	0.053	0.008	0.004	0.003	0.009
2003	0.001–0.049	446	65	0	1206	116	0	0.001	0.082	0.009	0.007	0.003	0.010

Limite = valeur de tolérance selon OSEC^[16] (0.1 mg/l) ; LQ = limite de quantification, n = nombre

Depuis le début des analyses en 1997, aucune mesure ne dépasse la valeur de tolérance pour l'eau potable de 0.1 mg/l.

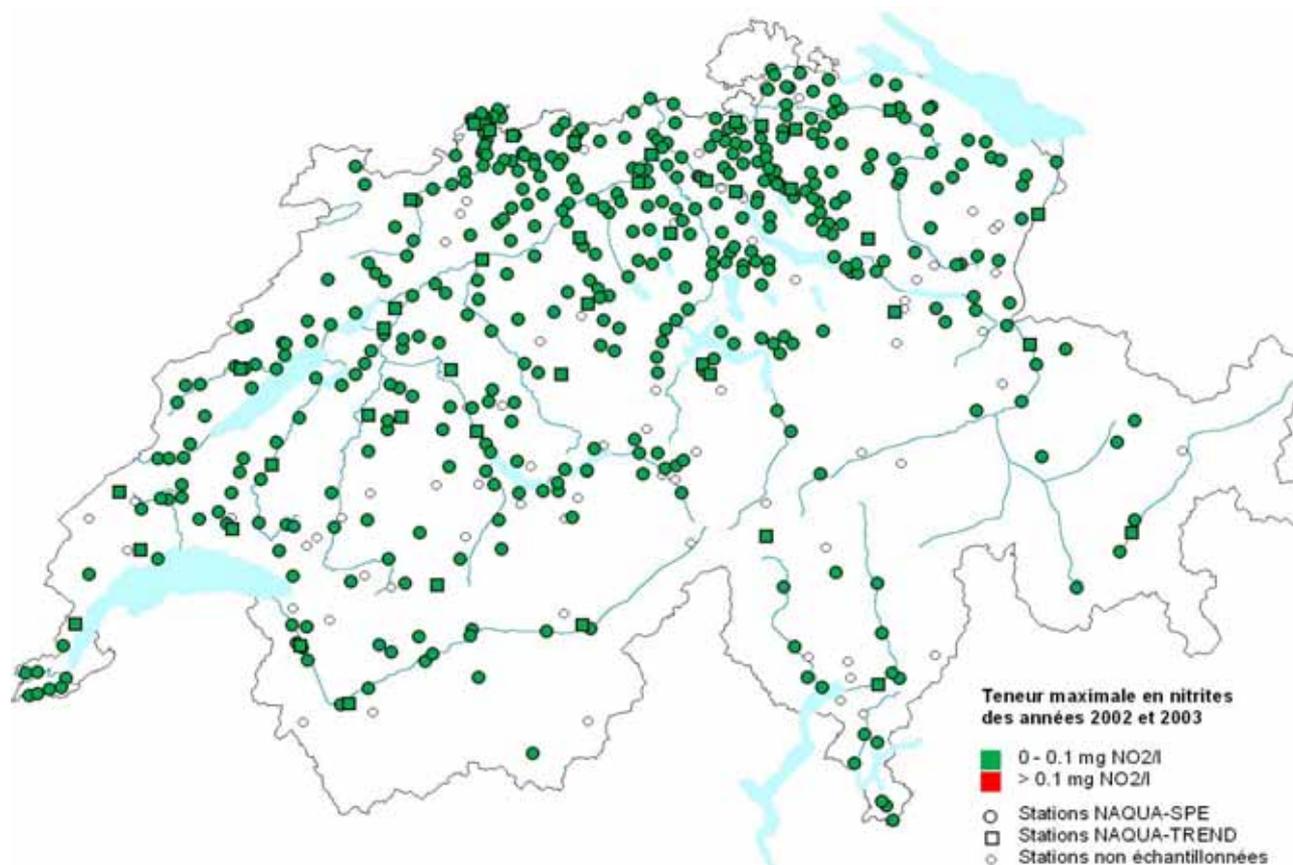


Fig. 7 : Teneur maximale en nitrites des stations analysées en 2002–2003 (fond topographique^[22]).

Dans l'ensemble de la Suisse, aucun problème avec les nitrites dans l'eau souterraine

2.1.3.2 Interprétation

Comme il fallait s'y attendre, il n'y a pour les nitrites, sur l'ensemble de la Suisse, aucun indice de pollution de l'eau souterraine attribuable à des conduites d'eaux usées défectueuses. Cela n'exclut pas des pollutions locales de l'eau souterraine, mais de telles pollutions ne constituent pas un problème au niveau de l'ensemble de la Suisse.

2.1.4 Nitrates (NO₃)

2.1.4.1 Résultats

Nitrates : vue d'ensemble

Au cours de la période 1997–2001, le nombre de stations disponibles augmente de 2 (1997) à 39 (2001). Les nitrates ont été décelés, à une exception près, dans toutes les stations analysées (moyenne des analyses \geq limite de quantification = 16.2 mg/l, valeur maximale = 46.7 mg/l). Pour les années 2002 et 2003 les résultats de 450, respectivement 446 stations sont disponibles (468¹¹ en tout, pour les deux années). Les nitrates ont été décelés dans 99% des analyses et dans 99.5% des stations analysées (moyenne des 2435 analyses \geq limite de quantification = 15.9 mg/l, valeur maximale = 85 mg/l, cf. tab. 9).

Tab. 9 : Résultats des analyses de nitrates depuis 1997.

Année	LQ (mg/l)	Stations de mesures			Mesures			Statistique (seulement les résultats \geq LQ)					
		n	\geq LG	>limite	n	\geq LG	>limite	min. (mg/l)	max. (mg/l)	moyenne (mg/l)	médiane (mg/l)	1 ^{er} quartile (mg/l)	3 ^{eme} quartile (mg/l)
1997–2001	0.1	39	39	12	622	621	139	0.1	46.7	16.2	14.9	4.5	23.9
2002	0.1–1	450	446	82	1198	1189	234	0.2	85.0	15.7	13.9	6.6	22.7
2003	0.1–1	446	442	86	1251	1246	253	0.2	70.0	16.1	14.0	6.9	23.0
2002/2003	0.1–1	468	466	91	2449	2435	487	0.2	85.0	15.9	14.0	6.8	23.0

Limite = exigence chiffrée OEaux^[17] (25 mg/l) ; LQ = limite de quantification, n = nombre

Du fait du nombre restreint de stations analysées avant 2000, les résultats ne sont interprétés ci-après qu'à partir de 2000. Le tableau 10 montre le nombre de stations dans lesquelles les teneurs maximales en nitrates dépassent l'exigence chiffrée OEaux^[17], applicable à l'eau souterraine¹² (25 mg/l), respectivement la valeur de tolérance pour l'eau potable (40 mg/l)^[18]. Il montre également les différences dans la répartition des teneurs moyennes en nitrates.

¹¹ Le nombre plus élevé des stations pour l'ensemble des deux années provient du fait que certaines stations n'ont été analysées que sur une année.

¹² Annexe 2 chiffre 22 OEaux : «Exigences pour les eaux du sous-sol utilisées comme eau potable ou destinées à l'être" = 5.6 mg/l N (correspond à 25 mg/l de nitrates).

Tab. 10 : Nombre et pourcentage de stations dans lesquelles les teneurs maximales légales en nitrates ont été dépassées, et répartition des teneurs moyennes. Total des stations analysées en 2002/03 : 468.

Année	Teneur maximale en nitrates						Teneur moyenne en nitrates ¹³					
	0–25 mg/l		25–40 mg/l		>40 mg/l		0–25 mg/l		25–40 mg/l		>40 mg/l	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
2000–2001 ¹⁴	26	67.0	11	28.0	2	5.0	31	79.5	7	18.0	1	2.5
2002	368	81.8	67	14.9	15	3.3	374	83.1	66	14.7	10	2.2
2003	360	80.7	70	15.7	16	3.6	371	83.2	63	14.1	12	2.7
2002/2003	377	80.5	72	15.4	19	4.1	388	82.9	69	14.7	11	2.4

Teneurs maximales légales : exigence chiffrée OEaux = 25 mg/l, valeur de tolérance pour l'eau potable = 40 mg/l ; n = nombre de stations.

Les pourcentages de dépassement de l'exigence chiffrée OEaux, respectivement de la valeur de tolérance applicable à l'eau potable, ne peuvent pas être comparées entre la période 2000–2001 et les années suivantes. Jusqu'en 2001, seule une tranche du module NAQUA_{TREND} était en service, soit environ 12 fois moins de stations analysées qu'à partir de 2002 (sur l'évolution des teneurs en nitrates depuis le début des années 1990, cf. chap. 2.1.4.3).

Peu de différences entre 2002 et 2003

Les différences entre 2002 et 2003 sont faibles et la durée de deux ans s'avère trop courte pour pouvoir interpréter d'éventuelles différences dans les teneurs en nitrates. Sur un espace de temps aussi court, l'évolution des teneurs en nitrates dépend en grande partie de facteurs relevant du court terme, comme p. ex. le changement de cultures ou les événements climatiques extrêmes (été record de 2003 avec son déficit pluviométrique sévère). De même, des écarts dans la date d'échantillonnage par rapport aux variations climatiques annuelles (p. ex. durée séparant les premières grandes pluies d'automne et l'échantillonnage de novembre), ainsi que de petites variations dans le choix des stations, peuvent assez fortement influencer les résultats.

Les figures 8 et 9 présentent une vue d'ensemble de la répartition spatiale des teneurs maximales et moyennes en nitrates mesurées en 2002 et 2003.

¹³ La teneur moyenne en nitrates est délicate à interpréter. Selon les stations le nombre de mesures disponibles varie fortement (entre 1 et 11 mesures par an).

¹⁴ Seulement les stations du réseau NAQUA_{TREND}

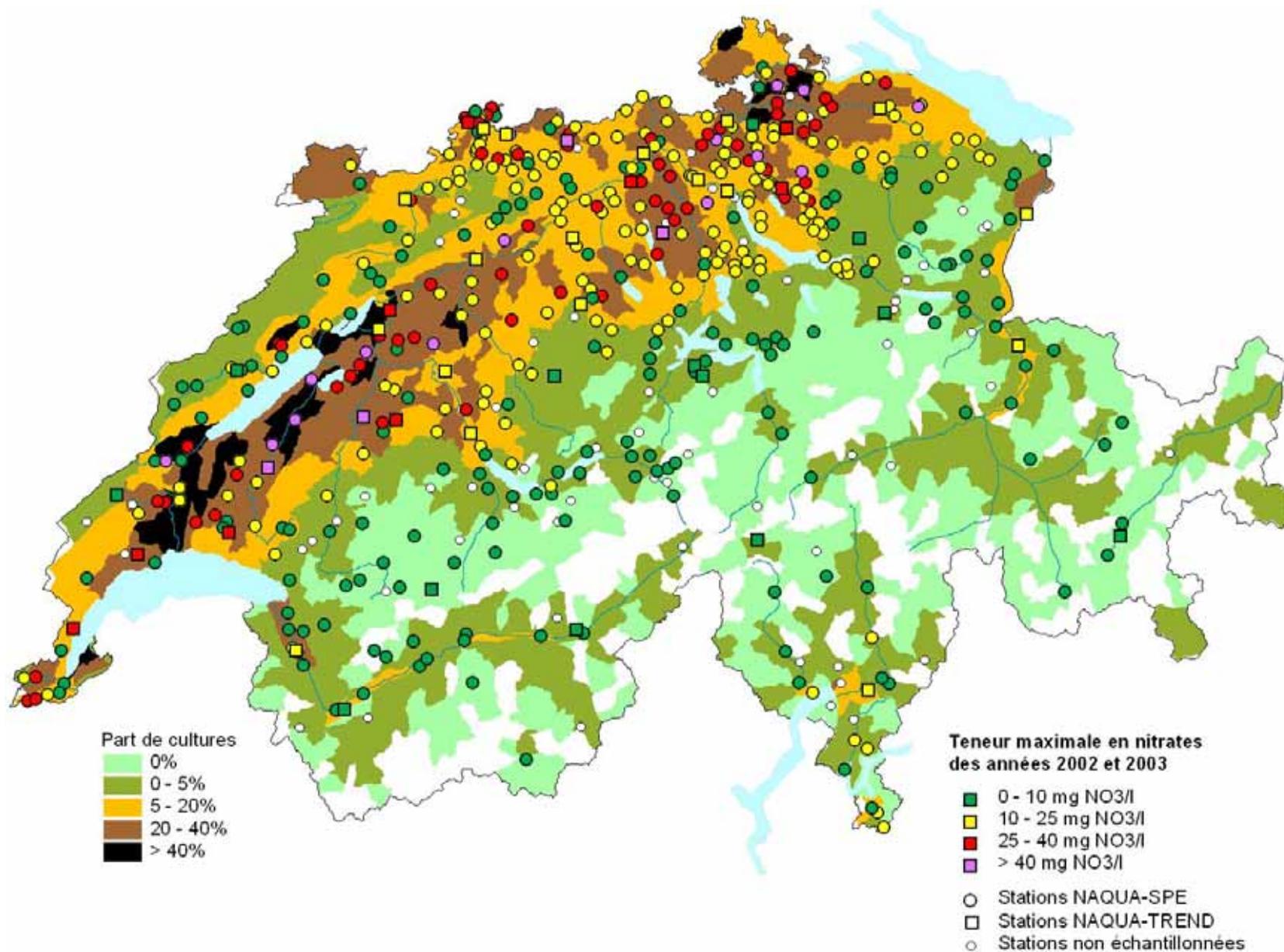


Fig. 8 : Teneurs maximales en nitrates des stations analysées en 2002 et 2003 (fond cartographique^[22] ; part de cultures^[23], additionnées selon^[24]).

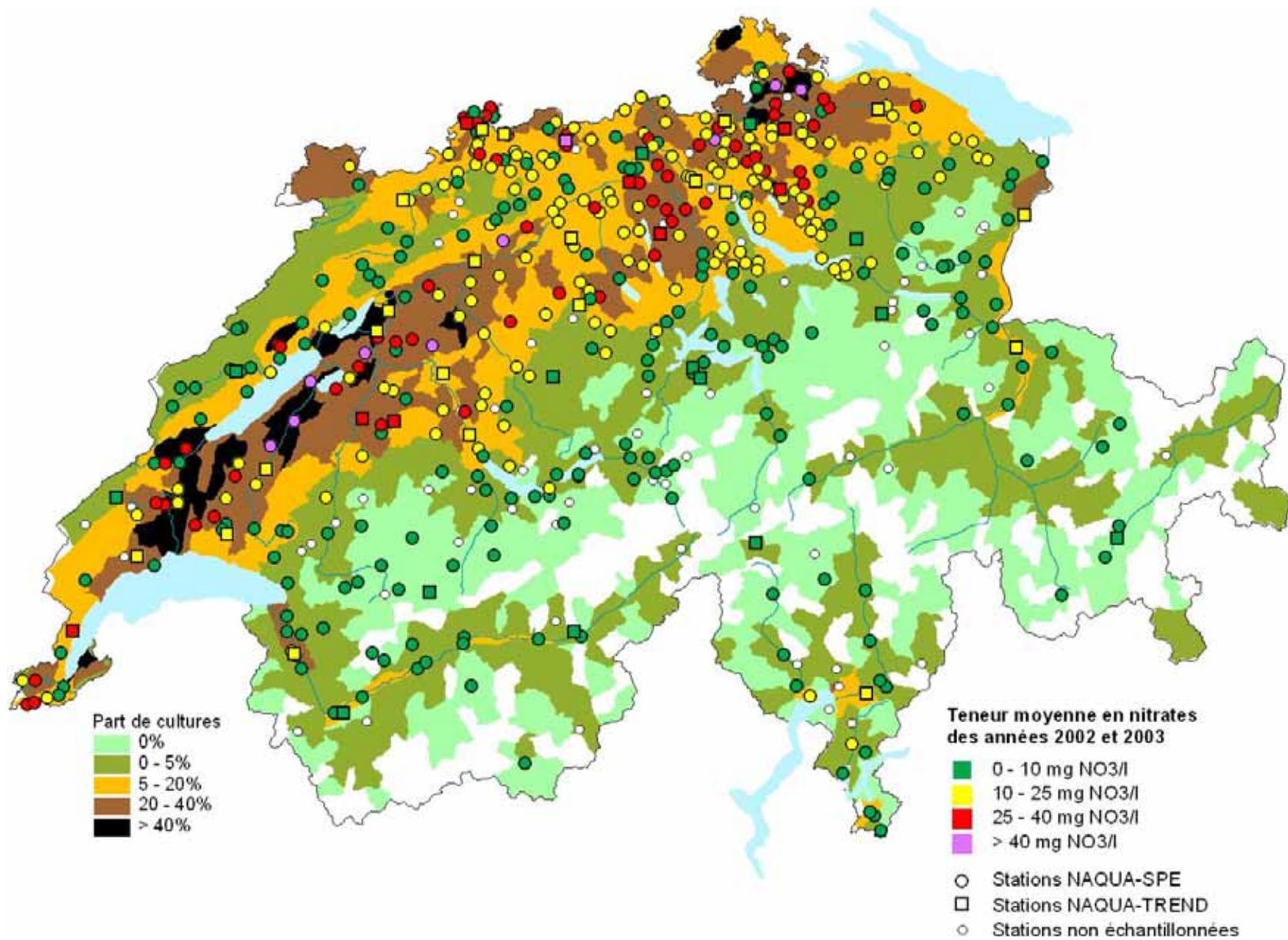


Fig. 9 : Teneurs moyennes en nitrates des stations analysées en 2002 et 2003 (fond cartographique^[22] ; part de cultures^[23], additionnées selon^[24]).

Nitrates : répartition des teneurs en nitrates par stations, en fonction de l'utilisation du sol et de l'altitude

Les critères du chapitre 1.5.2 ont été utilisés pour l'interprétation des teneurs en nitrates en fonction de l'utilisation du sol et de l'altitude du bassin d'alimentation.

Tab. 11 : Pourcentage de répartition des teneurs moyennes (\emptyset) et maximales (max.) en nitrates par stations, en fonction de la principale utilisation du sol (2002/2003).

	≤10 mg/l		10–25 mg/l		25–40 mg/l		>40 mg/l	
	\emptyset (%)	max. (%)						
Grandes cultures (n = 92)	8.7	5.5	44.5	42.4	37.0	39.1	9.8	13.0
Zone urbanisée et voies de communication (n = 87)	26.4	20.7	54.0	57.5	17.3	18.4	2.3	3.4
Autres surfaces agricoles permanentes (n = 184)	45.7	38.1	45.1	50.5	9.2	9.8	0.0	1.6
Forêt et régions improductives (n = 76)	82.9	80.3	13.2	15.8	3.9	2.6	0.0	1.3
Pâturages d'estivage (n = 29)	96.6	96.6	3.4	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0

n = nombre de stations

Fig. 10 : Pourcentage de répartition des teneurs moyennes en nitrates par stations, en fonction de la principale utilisation du sol (2002/2003).

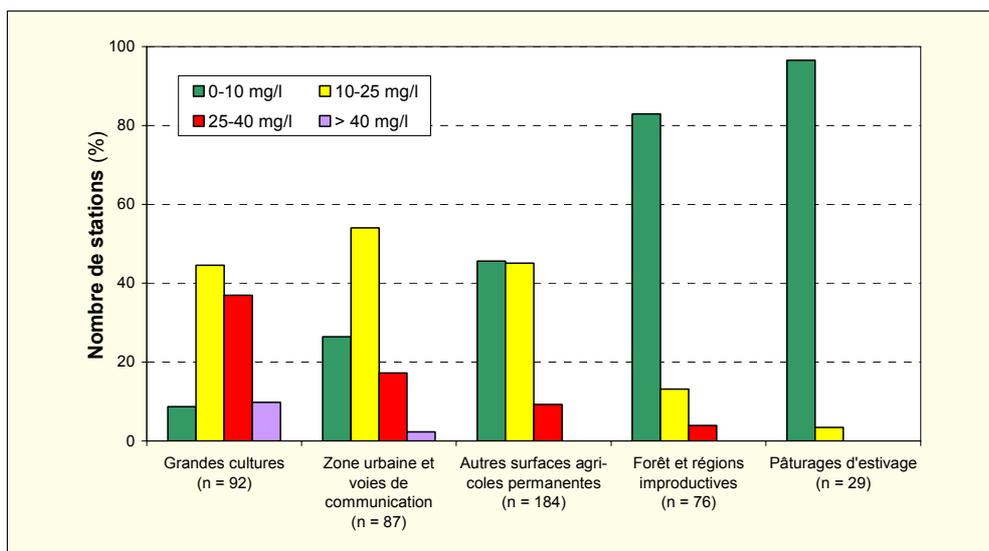
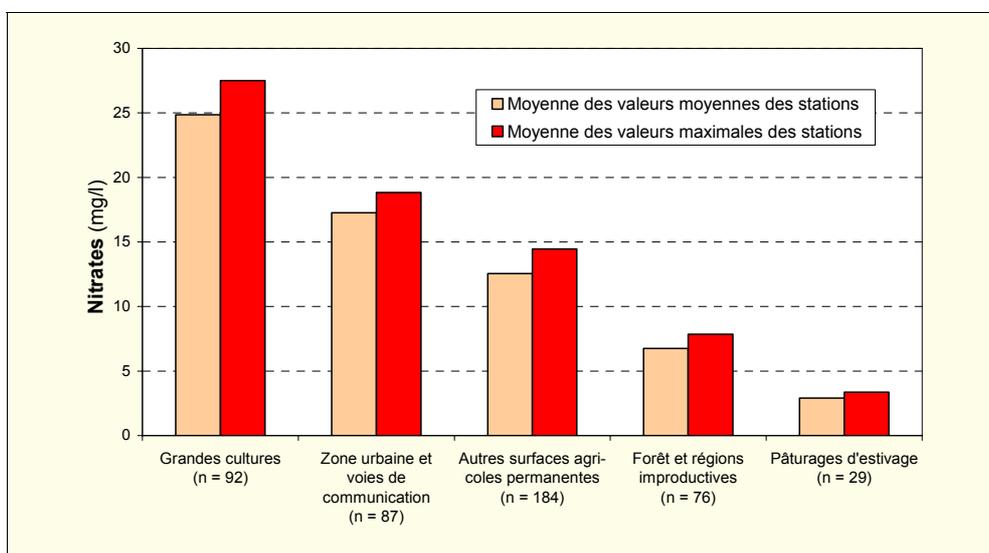


Fig. 11 : Moyennes des teneurs en nitrates moyennes et maximales par stations, en fonction de la principale utilisation du sol (2002/2003).



Tab. 12 : Pourcentage de répartition des teneurs moyennes (\emptyset) et maximales (max.) en nitrates par stations, en fonction de l'altitude (2002/2003).

	≤10 mg/l		10–25 mg/l		25–40 mg/l		>40 mg/l	
	\emptyset (%)	max. (%)						
0–400 m (n = 85)	31.8	20.0	51.7	61.2	15.3	17.6	1.2	1.2
401–600 m (n = 218)	26.6	22.5	48.6	49.5	20.2	20.7	4.6	7.3
601–800 m (n = 92)	58.7	54.3	29.3	32.6	12.0	10.9	0.0	2.2
801–1000 m (n = 36)	81.8	81.8	15.2	15.2	3.0	3.0	0.0	0.0
>1000 m (n = 37)	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

n = nombre de stations

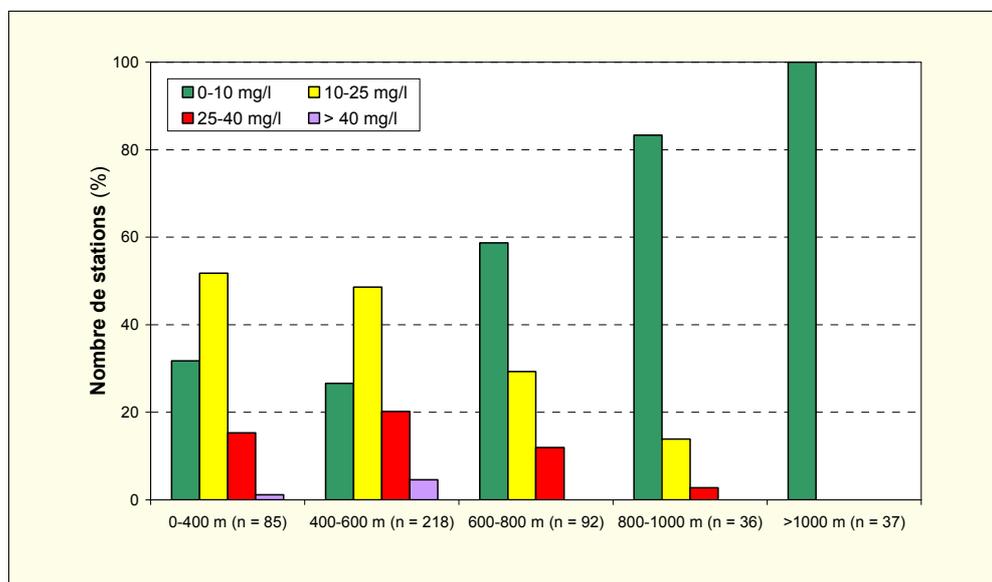


Fig. 12 : Pourcentage de répartition des teneurs moyennes en nitrates, par stations, en fonction de l'altitude (2002/2003).

Tab. 13 : Pourcentage de répartition des teneurs moyennes (\emptyset) et maximales (max.) en nitrates par stations, en fonction des zones agricoles (2002/2003).

	≤ 10 mg/l		10–25 mg/l		25–40 mg/l		> 40 mg/l	
	\emptyset (%)	max. (%)						
Zone de grandes cultures (n = 153)	14.4	11.8	50.3	49.0	28.8	30.1	6.5	9.1
Zone intermédiaire (n = 137)	32.8	24.8	56.2	61.3	11.0	11.7	0.0	2.2
Zone de collines (n = 53)	41.5	33.9	37.7	43.4	18.9	18.9	1.9	3.8
Zone de montagne I-IV (n = 105)	92.4	87.6	7.6	12.4	0.0	0.0	0.0	0.0
Zone d'estivage (n = 20)	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

n = nombre de stations

Fig. 13 : Pourcentage de répartition des teneurs moyennes en nitrates, par stations, en fonction des zones agricoles (2002/2003).

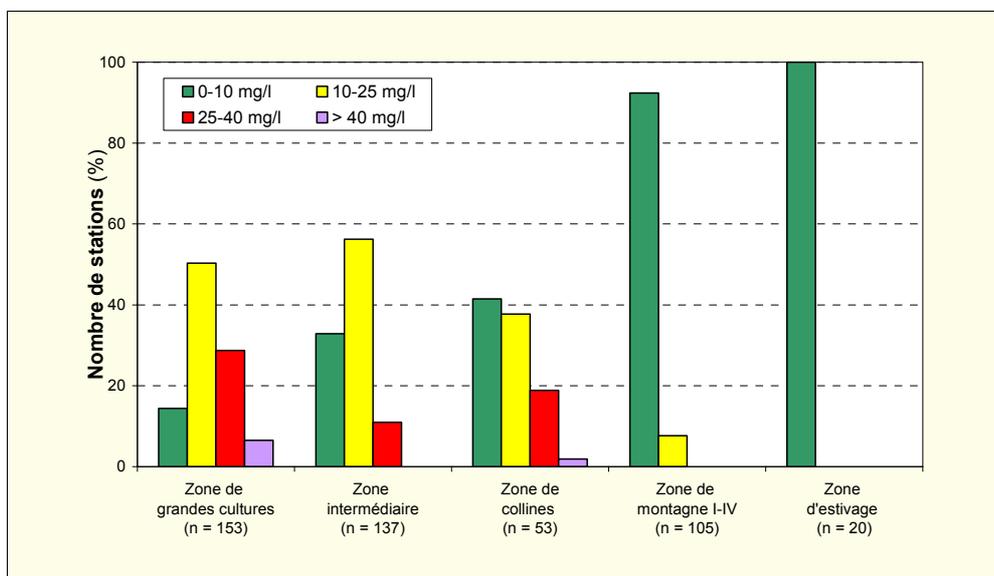
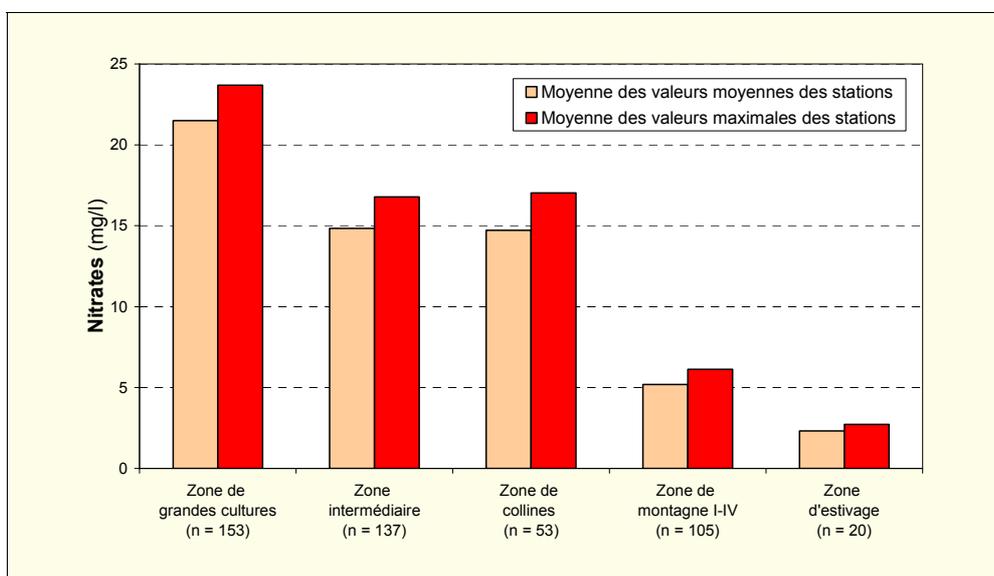


Fig. 14 : Moyennes des teneurs moyennes et maximales en nitrates par stations, analysées en fonction des zones agricoles (2002/2003).



2.1.4.2 Interprétation

L'exigence chiffrée OEaux pour l'eau souterraine (max. 25 mg/l), dépassée presque uniquement sur le Plateau

La situation actuelle est sans équivoque. L'exigence chiffrée OEaux^[17] de 25 mg/l est dépassée presque uniquement dans les vallées et les plaines du Plateau utilisées par l'agriculture intensive ou dans les agglomérations, parfois en grand nombre. Dans les **régions d'agriculture intensive** les valeurs dépassent aussi souvent la valeur de tolérance pour l'eau potable de 40 mg/l. Ainsi dans la **zone de grandes cultures** près de 39% des stations analysées présentent des teneurs maximales en nitrates supérieures à 25 mg/l, c.-à-d. que l'exigence chiffrée OEaux n'est pas satisfaite (tab. 13). Pour 52% des stations avec la principale utilisation du sol **grandes cultures**, la teneur en nitrates maximale se situe au dessus de l'exigence chiffrée OEaux (tab. 11). Mais les régions urbanisées (**zone urbanisée et voies de communication**) présentent aussi, pour partie, des teneurs en nitrates nettement élevées : 22% des stations ont ici une valeur maximale supérieure à 25 mg/l. Par contre, dans les régions avec **d'autres types d'utilisation principale**, la pollution par les nitrates est en général faible.

Aucune teneur en nitrates élevées dans les zones de montagne et d'estivage

Environ 14% des stations situées dans la **zone intermédiaire** et 22% de celles situées en **zone de collines** présentent des teneurs maximales en nitrates supérieures à 25 mg/l. La charge maximale en nitrates est en moyenne plus faible dans la zone intermédiaire que dans la zone de collines. Cela proviendrait du fait que de nombreuses stations de la zone intermédiaire se situent au Tessin, où la principale utilisation du sol n'entraîne qu'un faible lessivage des nitrates ou parce que plusieurs stations dans la zone intermédiaire sont sous l'influence de grands cours d'eau (infiltration d'eaux superficielles peu chargées en nitrates). Par contre les stations de la zone de collines ne se trouvent qu'exceptionnellement sous l'influence de grands cours d'eau. Dans les régions d'altitude de la **zone de montagne** et de la **zone d'estivage**, il n'est constaté aucune teneur élevée en nitrates notable.

La relation évidente entre la principale utilisation du sol et la teneur en nitrates se voit aussi avec les valeurs atteintes par la **moyenne des teneurs maximales en nitrates** : celle-ci, avec 27.5 mg/l en **zone de grandes cultures**, dépasse largement l'exigence chiffrée OEaux alors que la valeur de 3.4 mg/l pour la zone d'estivage correspond à la concentration naturelle d'une eau non polluée (cf. fig. 11).

Trois stations de la catégorie « **forêt et régions improductives** » avec un dépassement de l'exigence chiffrée OEaux sont, en plus de leur situation en forêt, fortement influencées par des surfaces utilisées par l'agriculture intensive (cf. tab. 11 et fig. 10).

Les trois stations avec la principale utilisation du sol « **zone urbanisée et voies de communication** », qui présentent un dépassement de la valeur de tolérance pour l'eau potable, sont en plus fortement influencées par des surfaces utilisées pour l'agriculture intensive.

Teneurs en nitrates élevées, surtout dans les zones de grandes cultures et en partie dans les zones urbanisées

Il se confirme ainsi que les pollutions marquées par les nitrates se produisent majoritairement dans les régions de cultures et secondairement dans les régions fortement urbanisées. Si les processus responsables des fortes teneurs en nitrates dans les zones de culture sont évidents (cf. chap. 2.1.1), divers mécanismes pourraient être à l'origine des pollutions en zones urbanisées. Il s'agit de fuites sur les conduites

d'eaux usées, d'un fort apport local d'oxydes d'azote à partir du trafic, des installations de chauffage et de l'industrie, du fort taux d'imperméabilisation des surfaces. Cette imperméabilisation entraîne une part proportionnellement plus élevée d'infiltration sur les jardins privés et ouvriers, avec p. ex. des jus de compost, ainsi que sur les pelouses des espaces verts et des installations sportives, en partie fortement fertilisées. Par ailleurs, il manque dans ces régions, une certaine dilution par des eaux peu chargées provenant de zones boisées par exemple. L'agriculture intensive (comme utilisation secondaire du sol) devrait aussi, du moins en partie, provoquer l'augmentation des concentrations en nitrates dans l'eau souterraine. Ce facteur devrait être précisé dans le futur, à la lumière de la caractérisation des stations en cours (cf. chap. 1.5.2).

La relation des teneurs en nitrates avec l'intensité et le type d'utilisation agricoles ou avec la densité d'urbanisation se reflète aussi dans l'interprétation selon l'**altitude** des stations : les valeurs supérieures à 40 mg/l se situent presque exclusivement en dessous d'une altitude de 600 m. Les seules exceptions sont constituées par deux stations situées à 650 et 686 m s. m., dont les bassins d'alimentation peu inclinés ont une utilisation presque exclusivement agricole (cf. tab. 12).

Sur la base de la pollution en nitrates de l'eau souterraine, la Suisse peut être clairement divisée en deux :

Le Plateau entre Genève et le lac de Constance, la région bâloise, le pied du Jura et les vallées jurassiennes. Dans cette région, on trouve presque exclusivement des teneurs élevées en nitrates, à l'exception des stations influencées par des infiltrations d'eau de surface et des eaux souterraines réductrices. Presque toutes les stations avec des valeurs supérieures à 25 mg/l se trouvent dans ce secteur,

Les Préalpes, les Alpes et le Sud des Alpes. Dans cette région, on trouve presque exclusivement des valeurs inférieures à 10 mg/l. Seules quelques valeurs légèrement élevées, entre 10 et 25 mg/l, se rencontrent dans les vallées alpines, surtout le versant sud des Alpes. Aucune valeur supérieure à 40 mg/l n'a été trouvée.

2.1.4.3 Evolution temporelle des teneurs en nitrates dans l'eau souterraine depuis 1989

Introduction et problématique

Tirer des conclusions sur l'évolution temporelle jusqu'à présent s'avère difficile

Il s'avère difficile de vouloir observer sur de longues durées, l'évolution des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines suisses. Des problèmes apparaissent alors, limitant la représentativité statistique des données :

Limitations géographiques et chronologiques

La densité des données insuffisante et irrégulière avant NAQUA complique l'interprétation

Une partie seulement des cantons a pu livrer des données historiques sur les stations NAQUA en remontant au moins à 1990. Les cantons de Berne et Zürich sont ainsi surreprésentés dans l'ensemble de données, alors que pour le sud de la Suisse, la partie ouest du Plateau, le Jura et les Alpes il y a peu de données disponibles.

Les fréquences d'échantillonnage varient, aussi bien entre les stations et les cantons qu'entre les séries de mesures pour une même station. Selon les stations et les cantons, les échantillonnages sont disponibles mensuellement, trimestriellement, annuellement, tous les deux ou trois ans ou encore irrégulièrement. La fréquence d'échantillonnage est souvent indépendante de la variabilité chimique des eaux souterraines.

Pour de nombreuses stations la fréquence d'échantillonnage a fortement varié au cours du temps, de telle sorte que les quantités de données disponibles diffèrent entre le début et la fin de la période d'observation.

La variabilité de la teneur en nitrates par station est ainsi saisie selon les cantons et la période d'observation ou l'année, de manière plus ou moins précise et intense. Pour les stations présentant une forte variabilité, la possibilité de faire des comparaisons sur la durée d'observation, n'est pas assurée et des différences systématiques peuvent se produire entre cantons, puisque la variabilité de la teneur en nitrates n'y est pas appréhendée avec la même précision. Au cours du temps, les teneurs moyennes en nitrates des stations sont donc difficilement comparables. Mais un nombre de mesures variant selon les périodes à comparer, influence également de manière négative l'interprétation des valeurs maximales trouvées : c'est surtout pour les stations qui présentent la plus forte variabilité que les comparaisons sont le plus limitées. En effet avec une fréquence d'échantillonnage en baisse, la probabilité de trouver une valeur élevée diminue. Ces difficultés valent particulièrement pour la comparaison avec les données acquises en 2002 et 2003, soit seulement sur deux années, contre trois pour les périodes de comparaison.

Souvent, la situation de l'endroit exact du prélèvement des anciens échantillons n'est pas documentée ou n'est pas claire. Il n'est pas exclu qu'à une même station, le point de prélèvement ait pu varier au cours du temps (p. ex. captage avec plusieurs drains, ce qui signifie des sous-bassins d'alimentation peut-être différents).

Limitation de la représentativité des échantillons analysés.

Les études intensives ont surtout porté sur les réservoirs aquifères à fortes teneurs en nitrates, alors que les réservoirs « sans problème » étaient plutôt analysés moins intensément. Leur variabilité est ainsi d'autant moins connue.

**Captages contaminés
souvent abandonnés**

Dans le passé l'exploitation de nombreux captages trop riches en nitrates a été abandonnée et plus aucune mesure n'y a été effectuée. Cet ensemble de réservoirs aquifères est ainsi exclu de l'observation à long terme, ce qui fausse la vue d'ensemble dans une proportion inconnue.

En comparaison de l'ensemble des eaux souterraines de Suisse et de leur variabilité régionale, les possibilités de choix de stations sont relativement restreintes et surtout trop peu représentatives (seules les données de 11 cantons sont disponibles pour l'évolution depuis 1989).

Données disponible

Malgré toutes ces limitations et afin de pouvoir réaliser les comparaisons sur au moins 10 ans (depuis 1990), les données existantes ont été regroupées sur plusieurs années. Les années suivantes ont été regroupées : 1989 à 1991, 1994 à 1996, 1999 à 2001 et 2002–2003 (valeurs actuelles du réseau NAQUA).

De 1989 à 2003 : données de seulement 158 stations et 11 cantons

Sur la période de **1989 à 2001**, un total de **171** stations NAQUA provenant de 11 cantons, sont disponibles. Environ 35% des stations concernent le canton de Zürich et 19% le canton de Berne. En étendant l'évolution **jusqu'en 2003**, il reste seulement **158** stations pour l'interprétation (cf. tab. 14).

A partir des données complémentaires fournies par^[25] et^[26], 271 autres stations des cantons de Berne et Zürich (n'appartenant pas au réseau NAQUA) ont pu être interprétées pour la période de 1989 à 2001. Pour la période de 1994 à 2001, des données complémentaires proviennent de^[27],^[28] et^[29] (cantons d'Argovie, Lucerne et Valais).

L'évaluation de la variation temporelle relative des teneurs en nitrates sur toutes les données existantes – y compris celles ne provenant pas des stations NAQUA – a fourni une très bonne concordance avec les valeurs des stations NAQUA. De ce fait, l'interprétation de l'évolution de ce paramètre a été réalisée uniquement à partir des 158 stations NAQUA.

Il va de soi que ces données livrent seulement des indications sur les orientations ou un ordre de grandeur des tendances, et pas des résultats corroborés par des statistiques. Il convient notamment de signaler que le choix de stations à disposition pour l'évaluation de l'évolution à long terme, n'est représentatif ni régionalement ni pour l'utilisation du sol.

Evolution de la teneur en nitrates de 1989 à 2003.

Tab. 14 : Variation de la moyenne des teneurs moyennes en nitrates depuis 1989 (données de 158 stations fournies par 11 cantons)

Teneur moyenne en nitrates (mg/l)				Variation moyenne de 1989/91 jusqu'à 2002/2003	
1989–1991	1994–1996	1999–2001	2002–2003	mg/l	Pourcentage
20.9	21.3	19.3	17.2	-3.7	-18

Teneurs en nitrates stables au début des années 1990

Entre le **début et le milieu des années 1990**, une légère augmentation de la teneur moyenne en nitrates s'observe. Les données étant relativement limitées, il est tout au plus permis de parler d'une **évolution stable**. La variation moyenne observée de 0.4 mg/l de la teneur en nitrates reste clairement à l'intérieur de la bande de variation naturelle déterminée par les variations climatiques à court terme.

**Baisse du milieu
à la fin des années 1990**

Entre le **milieu et la fin des années 1990**, on constate une baisse relativement nette de 2 mg/l de la teneur moyenne en nitrates, soit 10% de la valeur de départ.

Entre la **fin des années 1990 (période 1999–2001) et 2002–2003**, la moyenne des teneurs moyennes en nitrates baisse à nouveau d'environ 10% par rapport à la période 1999–2001.

**Baisse nette durant
les dernières années**

Dans l'ensemble, on observe donc, entre la période 1989–1991 et les années 2002–2003, une nette baisse de la teneur moyenne en nitrates d'environ 10 à 20%, après que cette teneur soit restée à peu près stable jusqu'au milieu des années 1990. C'est seulement à partir de 1995 environ qu'on observe une nette baisse de la teneur en nitrates, avec une tendance encore plus marquée dans les dernières années. Cette tendance semble suivre, avec un décalage de quelques années, l'évolution similaire observée sur des rivières comme la Glatt ou la Thur^[30].

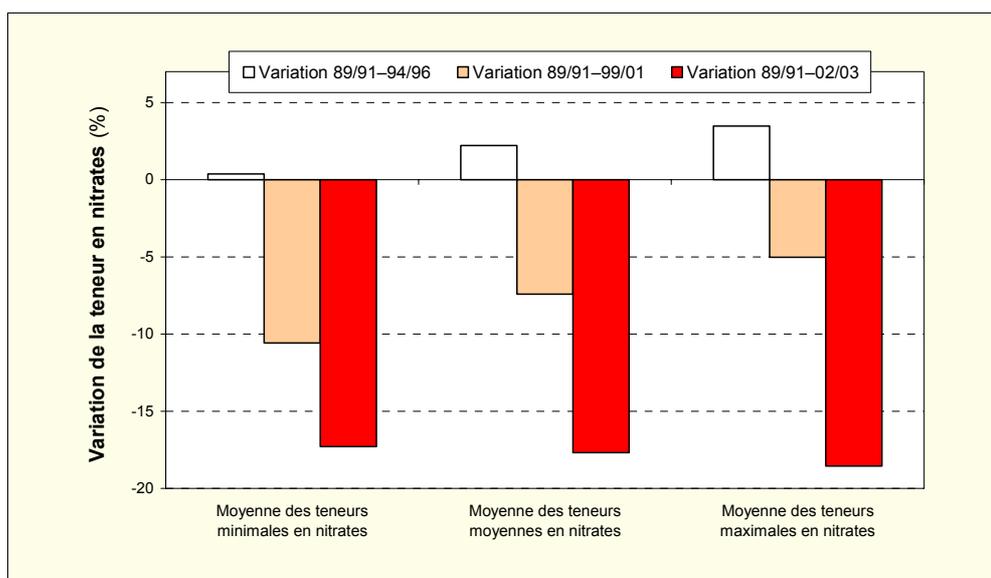
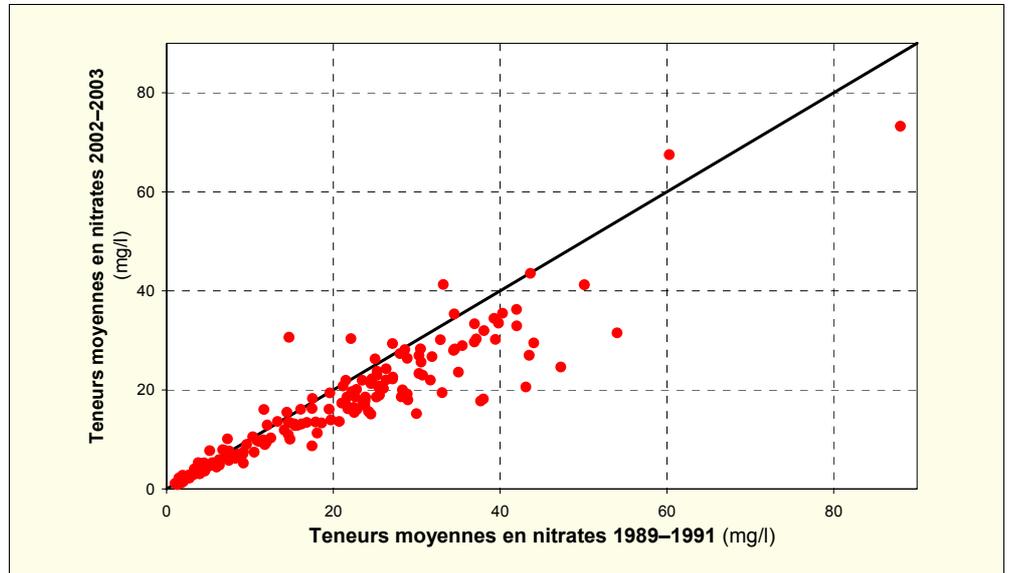


Fig. 15 :
Variation des teneurs minimales, moyennes et maximales en nitrates entre les périodes 1989–1991, 1994–1996, 1999–2001 et 2002–2003 (158 stations NAQUA).

**Pas de baisse des teneurs
en nitrates sur près d'un
tiers des stations**

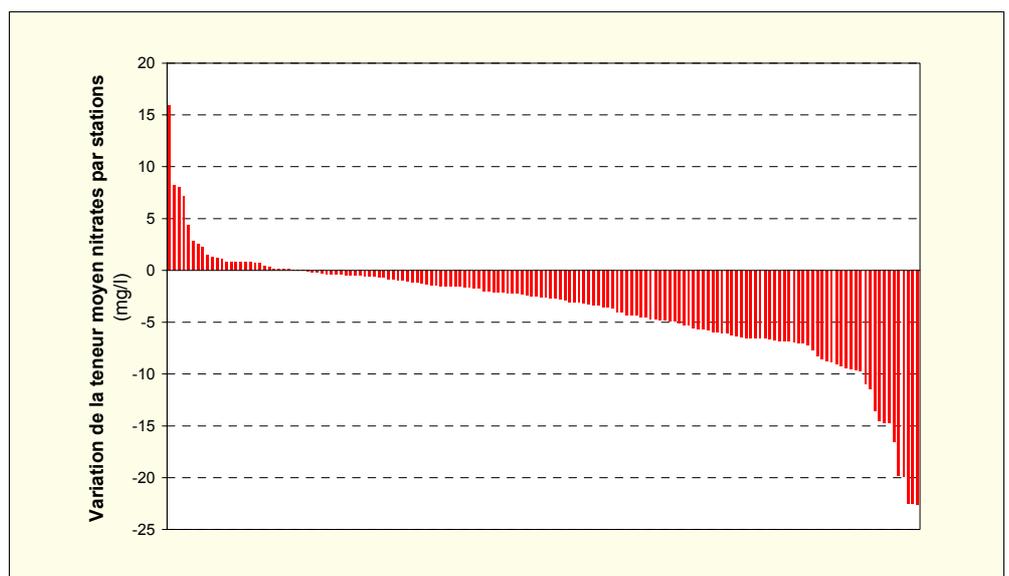
68% des captages montrent une diminution de la teneur moyenne en nitrates comprise entre 1 et 22.7 mg/l. Par contre, près de 8% présentent une augmentation comprise entre 1 et 16 mg/l (cf. fig. 16 et 17). Près de 24% des captages montrent une teneur en nitrates stable (variation comprise entre +1 et -1 mg/l).

Fig. 16 :
Rapport de la teneur moyenne en nitrates entre 1989–1991 et 2002–2003. Les valeurs inchangées se situent sur la droite passant par l'origine (158 stations).



Il n'y a pas de relation claire entre la baisse de la teneur en nitrates et le type de principale utilisation du sol ou le type de zone agricole. L'ensemble des interprétations montre en moyenne, depuis la période 1989–1991, une réduction des teneurs en nitrates pour toutes les principales utilisations du sol et toutes les zones agricoles. Selon le type d'utilisation du sol, la baisse des teneurs moyennes en nitrates se situe globalement entre 16 et 20% de la valeur initiale observée sur la période 1989–1991. Ces informations sont purement qualitatives car le nombre de stations exploitables par type d'utilisation du sol est en partie très faible.

Fig. 17 :
Augmentation ou diminution de la teneur moyenne en nitrates entre les périodes 1989–1991 et 2002–2003 par station (158 stations).



De plus la baisse moyenne de la teneur en nitrates pour les principales utilisations du sol « forêt, pâturages d'estivage et régions improductives » p. ex., est due à

quelques stations présentant des teneurs en nitrates élevées et pour lesquelles visiblement la principale utilisation du sol supposée n'est pas suffisamment fondée. Mises à part ces quelques stations, la baisse de la teneur moyenne en nitrates se laisse à peine reconnaître.

Interprétation

Des changements dans l'agriculture entraînent une baisse des teneurs en nitrates

L'évolution des teneurs en nitrates observée d'après les données disponibles depuis 1989, indique que les changements généraux (écologiques et économiques) intervenus dans l'agriculture sont au moins en partie responsables de la baisse moyenne observée. Il faut des investigations complémentaires pour définir la part de l'évolution des concentrations en nitrates liée à ces changements dans l'agriculture.

En plus de ces changements généraux, les mesures ciblées mises en place par certains cantons et syndicats des eaux dans le bassin d'alimentation de captages très chargés, jouent certainement un rôle important (assainissement selon l'article 62a LEaux^[4], encouragement des programmes de semis direct et des couvertures hivernales, extensification ciblée dans les zones de protection S2, etc.). La baisse des teneurs en nitrates, relativement plus forte sur les stations aux teneurs les plus élevées, pourrait être attribuée à ces mesures.

De même, une baisse de la charge en nitrates des eaux souterraines pourrait aussi provenir d'une légère diminution de l'apport d'azote par l'air. Cette diminution, attendue à la suite de la baisse des émissions d'oxydes d'azote provenant du trafic (depuis la fin des années 1980), devrait surtout se faire sentir dans les régions densément peuplées du Plateau. Jusqu'ici cependant, aucune donnée concluante sur l'évolution des apports d'azote à partir de l'air ne vient soutenir cette hypothèse.

Baisse des teneurs en nitrates probablement en partie aussi d'origine climatique

Les variations climatiques (p. ex. l'été 2003 exceptionnel) peuvent aussi être à l'origine au moins en partie, du net recul des teneurs en nitrates remarqué dans quelques stations après la période 1999–2001. Un indice de ces influences climatiques est fourni par les teneurs en nitrates exceptionnellement élevées, observées à quelques stations en novembre 2003 et/ou février-mars 2004, après les teneurs très basses relevées sans discontinuer durant le printemps et l'été 2003.

2.1.4.4 Exemples de courbes évolutives des nitrates

Ce chapitre présente les courbes évolutives des teneurs en nitrates de quelques stations depuis 1989. Elles montrent la diversité de l'évolution des teneurs en nitrates en fonction de la région géographique, du réservoir aquifère, de la principale utilisation du sol, etc. Les utilisations du sol principales et secondaires mentionnées (pour autant que ces dernières occupent une surface significative) sont décrites au chapitre 1.5.2. Les abréviations utilisées se trouvent au tableau 3.

De nombreuses sources, mais en partie aussi des puits, présentent d'importantes variations irrégulières de la teneur en nitrates (figures 20 [station 1], 21, 24, 26 et 29 [station 1]). Jusqu'ici, la trop faible fréquence des prélèvements à de nombreuses stations, ne permet d'estimer, ni l'évolution des teneurs en nitrates, ni la hauteur et

la fréquence des variations (figures 21, 26 et 29 [station 1]). Seuls des prélèvements rapprochés dans le temps (p. ex. à la station de la fig. 30, dans le cadre de NAQUA) permettent de découvrir une variation nettement plus forte et non identifiée auparavant.

Même si une majorité des stations étudiées depuis la fin des années 1980 présente une diminution des teneurs en nitrates (chap. 2.1.4.3), cette tendance ne s'observe pas pour un tiers des stations. De toute évidence, la situation à de nombreux réservoirs aquifères dépend fortement des conditions locales, des mesures de protection spécifiques sur des captages ou de la part des cantons et des changements dans les pratiques agricoles, diversement prononcés selon les régions.

Les tendances observées sont largement indépendantes du niveau des teneurs en nitrates. Même lorsque les teneurs en nitrates sont très élevées, aussi bien une nette baisse, qu'une évolution plus ou moins stable peuvent s'observer. Et ceci se remarque à l'intérieur d'une même région, ainsi que dans des situations hydrogéologiques presque identiques et dont les principales utilisations du sol sont semblables (fig. 18).

La tendance majoritairement à la baisse des concentrations en nitrates s'exprime de manière très contrastée. Des stations présentent un maximum des teneurs, au cours de la première moitié des années 1990 (figures 18 [station 1], 25 [station 1] et 28 [station 1]), certaines au milieu ou dans la deuxième moitié des années 1990 (figures 27 [station 1] et 28 [stations 2 et 3]) et d'autres au début des années 2000 (fig. 19).

En revanche, d'autres stations ne montrent sur l'ensemble des 14 années d'observation, aucune évolution significative à long terme des teneurs en nitrates (figures 18 [station 2], 20 [station 2], 23 [station 2], 25 [station 2], 29 [station 2] et 31).

Plusieurs stations présentent une forte baisse des teneurs en nitrates depuis 2001 ou même particulièrement en 2003, éventuellement des suites de l'été 2003 très chaud et sec (figures 18 [station 1], 19, 21, 22, 23 [station 1] et 28 [stations 1 et 3]).

Enfin, la figure 27 présente la relation entre des mesures d'assainissement ciblées et les teneurs en nitrates à deux stations présentant des conditions pratiquement identiques concernant la principale utilisation du sol, l'hydrogéologie, l'altitude et le climat régional. Grâce aux mesures d'un projet d'assainissement des nitrates selon Art. 62a LEaux, les teneurs à la station 2 baissent nettement, depuis environ 45 mg/l jusqu'en dessous de 30 mg/l. Par contre, les teneurs à la station 1 restent au niveau de la fin des années 1980 après une hausse passagère au milieu des années 1990.

Fig. 18 :
 Deux sources de l'ouest du Plateau (molasse, 535 (1) resp. 532 m s. m. (2)).
 Principale utilisation du sol « GdC » (1 et 2), secondaire « Fo » (2).

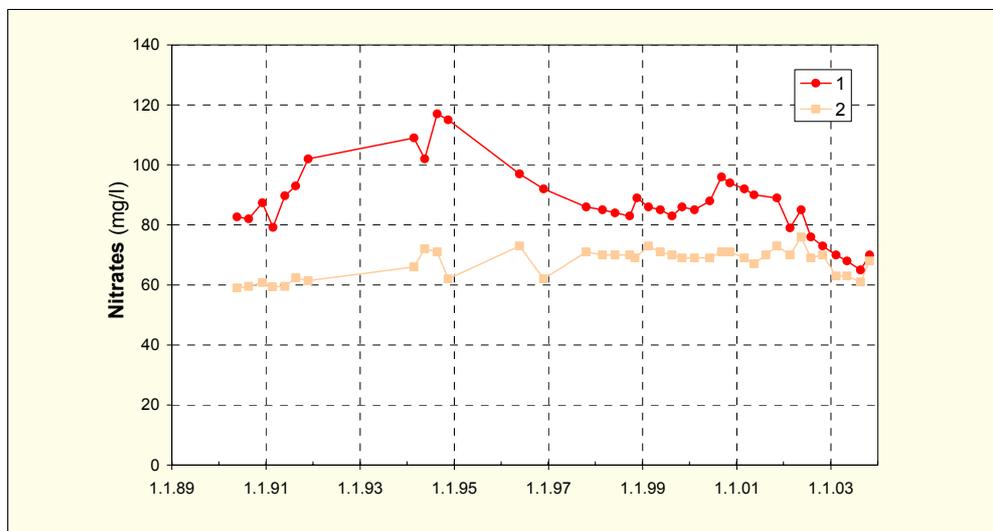


Fig. 19 :
 Station de pompage des eaux souterraines de l'ouest du Plateau (alluvions sans cours d'eau important, 446 m s. m.).
 Principale utilisation du sol « GdC ».

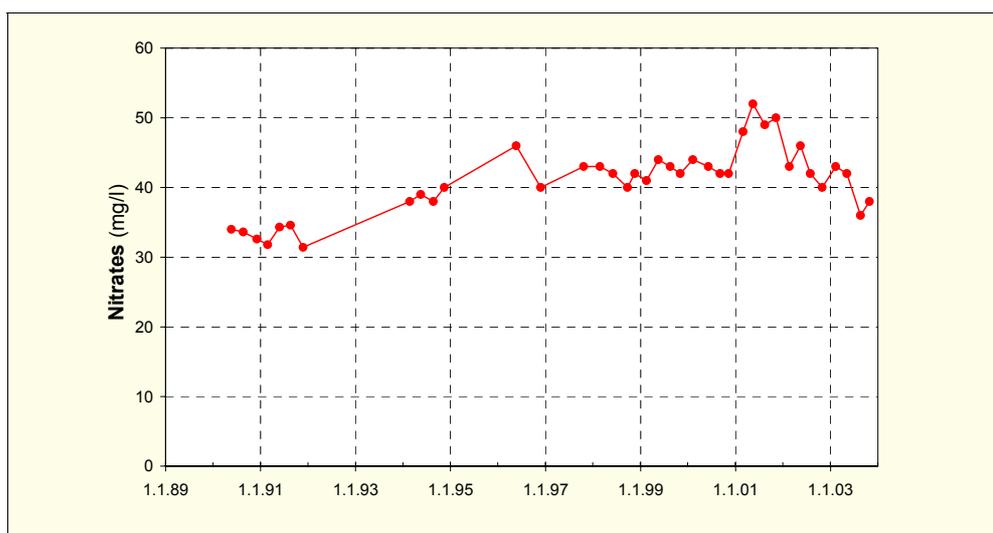


Fig. 20 :
 Deux sources au pied sud du Jura plissé (Karst, 480 (1) resp. 490 m s. m. (2)).
 Principale utilisation du sol « AS », secondaire « Fo ».

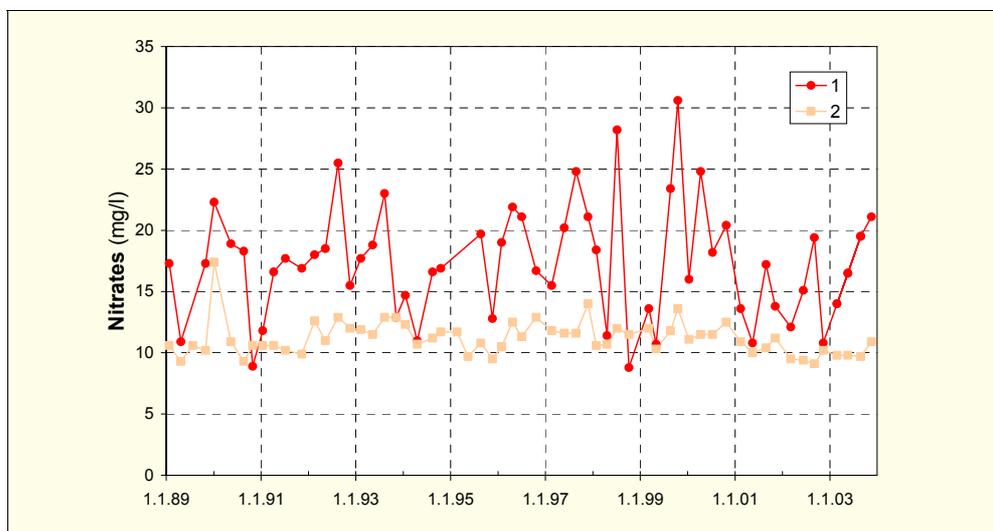


Fig. 21 :
 Station de pompage des
 eaux souterraines de
 l'ouest du Plateau (allu-
 vions, influence d'un petit
 cours d'eau, 460 m s. m.).
 Principale utilisation du sol
 « ZUC », secondaire
 « AS ».

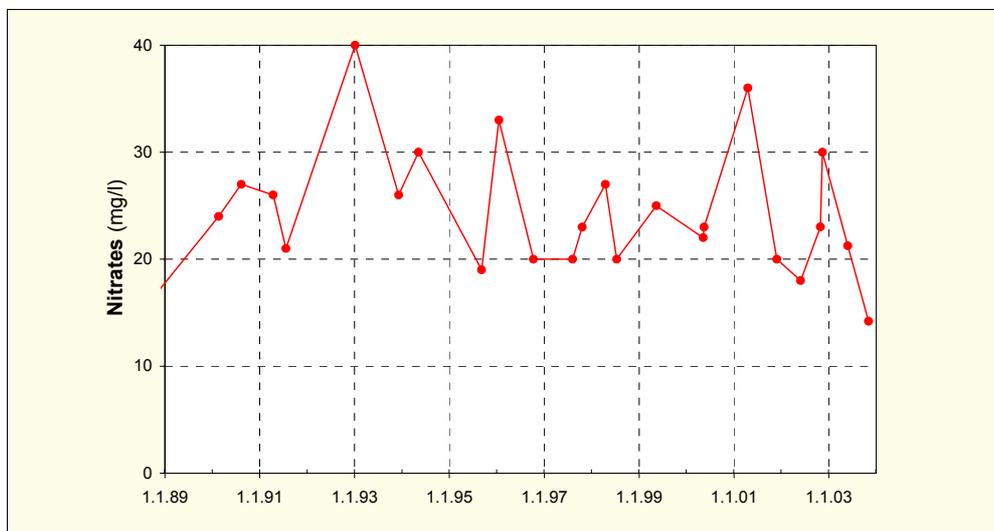


Fig. 22 :
 Source du Plateau (mo-
 raine sur molasse,
 642 m s. m.). Principale
 utilisation du sol « AS »,
 secondaire « Fo ».

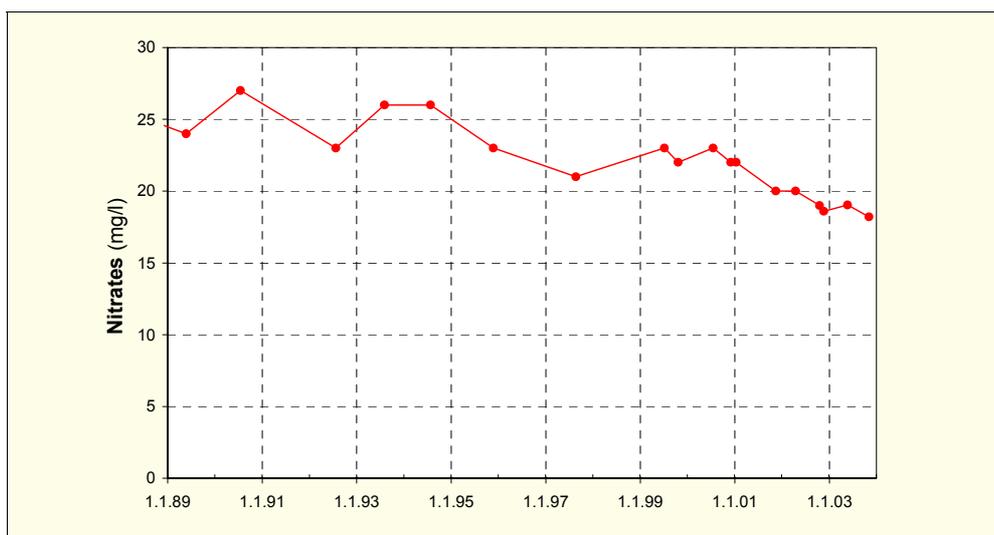


Fig. 23 :
 Deux stations de pompage
 des eaux souterraines du
 Plateau central :
 (1) alluvions en dehors de
 l'influence directe d'une
 rivière, 525 m s.m. Princi-
 pale utilisation du sol
 « AS », utilisation se-
 condaire « GdC » ;
 (2) alluvions sous l'influence
 d'une petite rivière, condi-
 tions partiellement réduites
 dans l'aquifère, 439 m s.m.
 Principale utilisation du sol
 dC ». Principale utilisation
 du sol AB.

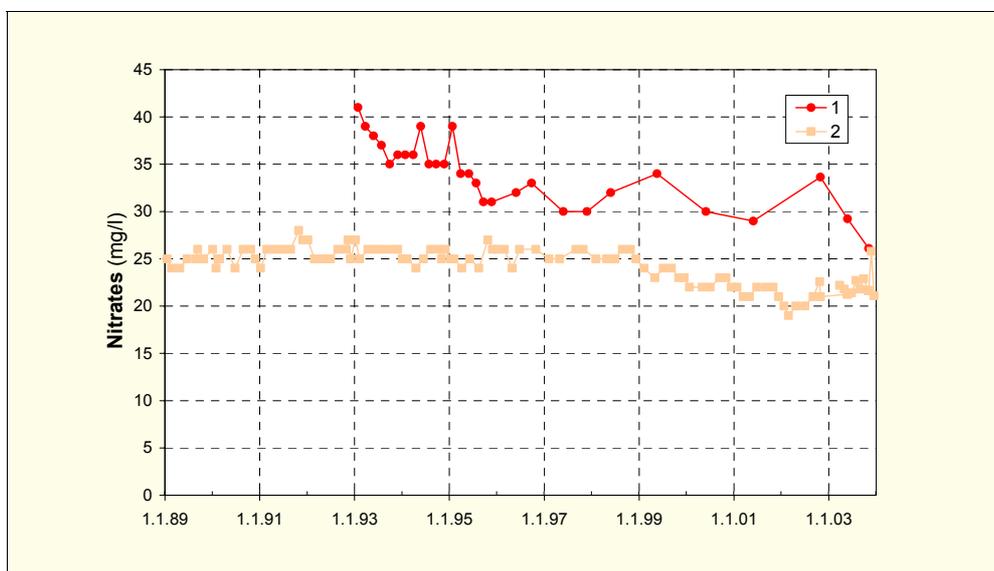


Fig. 24 :
Station de pompage des
eaux souterraines du nord-
ouest de la Suisse (allu-
vions, 267 m s. m.). Princi-
pale utilisation du sol
« ZUC ».

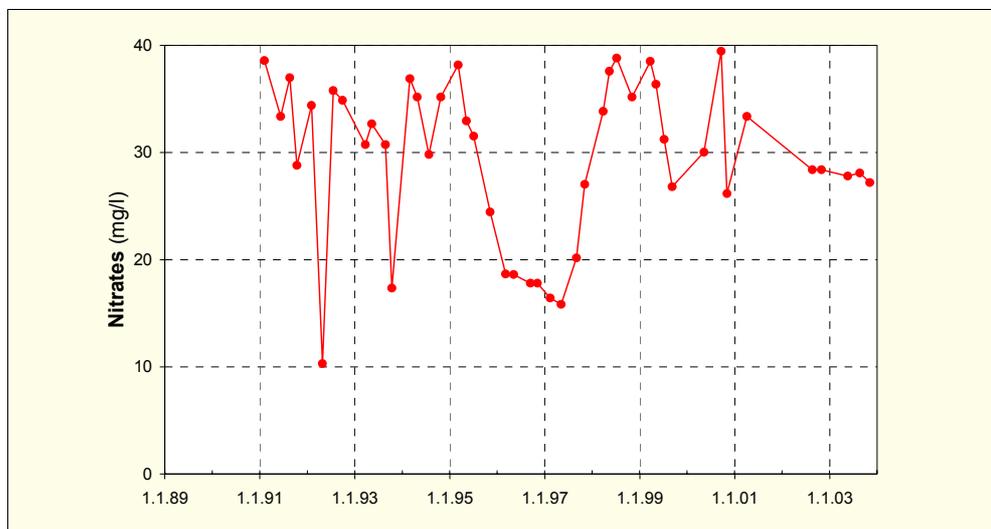


Fig. 25 :
Deux stations de pompage
des eaux souterraines du
nord-ouest du Plateau :
(1) alluvions de la vallée de
l'Aare, 427 m s. m. Princi-
pale utilisation du sol
« GdC », utilisation se-
condaire « Fo ».
(2) alluvions de la vallée de
l'Aare, situé à seulement
70 m de l'Aare,
388 m s. m.). Principale
utilisation du sol « ZUC ».

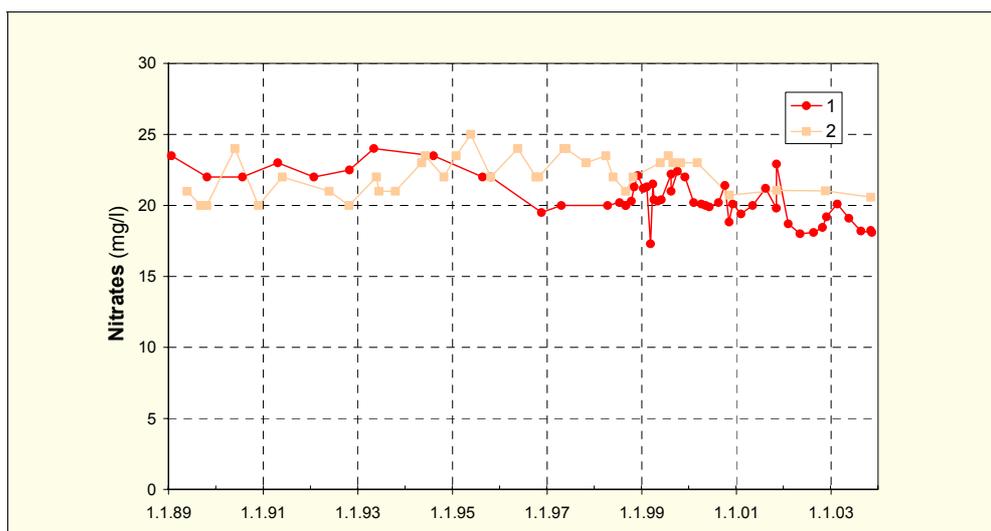


Fig. 26 :
Station de pompage des
eaux souterraines de l'est
du Plateau (alluvions en
dehors de l'influence des
eaux de surface,
612 m s. m.). Principale
utilisation du sol « AS ».

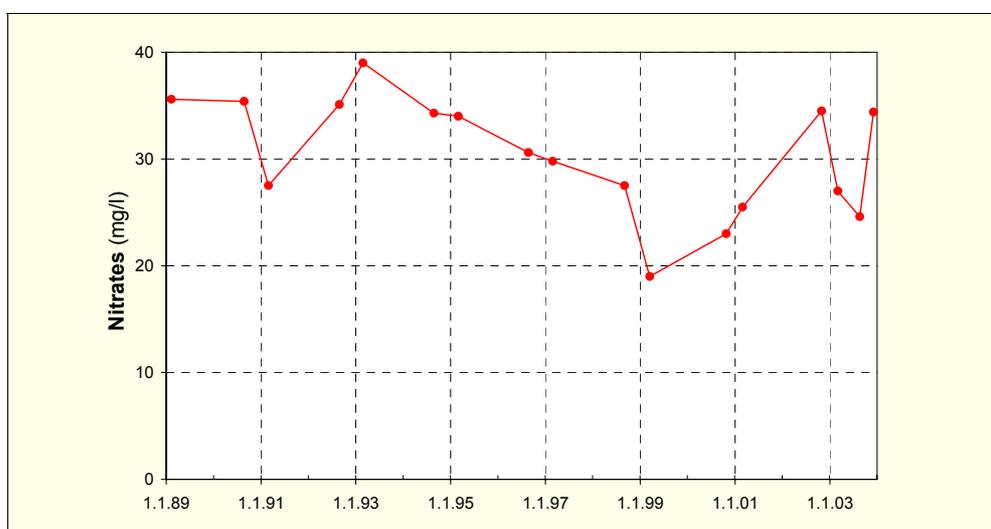


Fig. 27 :
 Deux stations de pompage
 des eaux souterraines de
 l'est du Plateau (alluvions
 en dehors de l'influence
 des eaux de surface,
 476 m s. m. (1),
 467 m s. m. (2)). Principale
 utilisation du sol « GdC »,
 utilisation secondaire (1)
 « ZUC ».

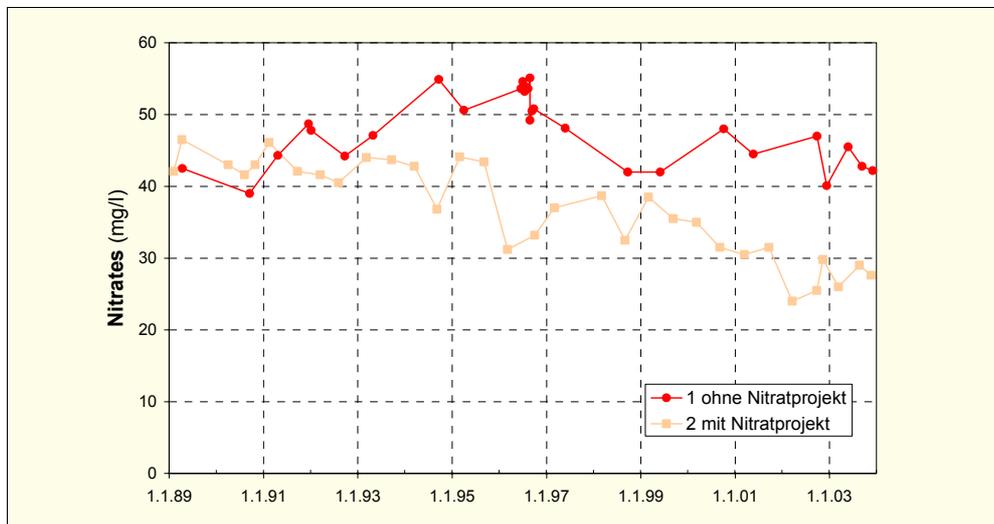


Fig. 28 :
 Trois stations de pompage
 des eaux souterraines de
 l'est du Plateau. (1) alluvions
 sous l'influence d'un petit
 cours d'eau, 436 m s.m.
 Principale utilisation du sol
 « ZUC », utilisation second-
 aire « GdC ». (2) alluvions
 sous l'influence d'un cours
 d'eau moyen, 371 m s.m.
 Principale utilisation du sol
 « Fo », utilisation secondaire
 « GdC ». (3) alluvions sous
 l'influence d'un grand cours
 d'eau, 387 m s. m. Principa-
 le utilisation du sol « ZUC ».

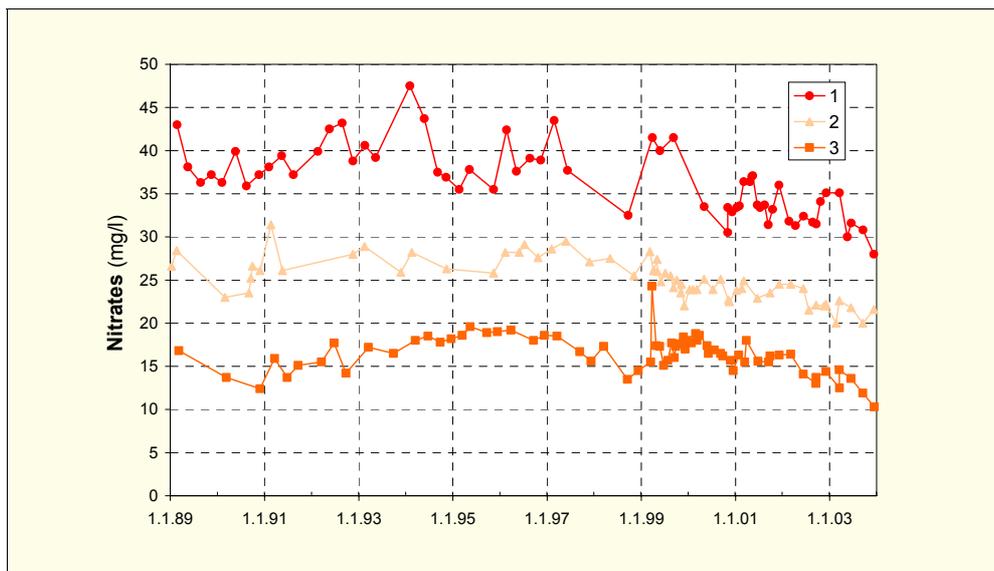


Fig. 29 :
 Deux stations de pompage
 des eaux souterraines de
 l'est du Plateau, dans la
 même commune (alluvion
 en dehors de l'influence
 d'une rivière, 549 m s. m.
 (1), 539 m s. m. (2)). Prin-
 cipale utilisation du sol
 « AS » (1), resp. « ZUC »
 (2).

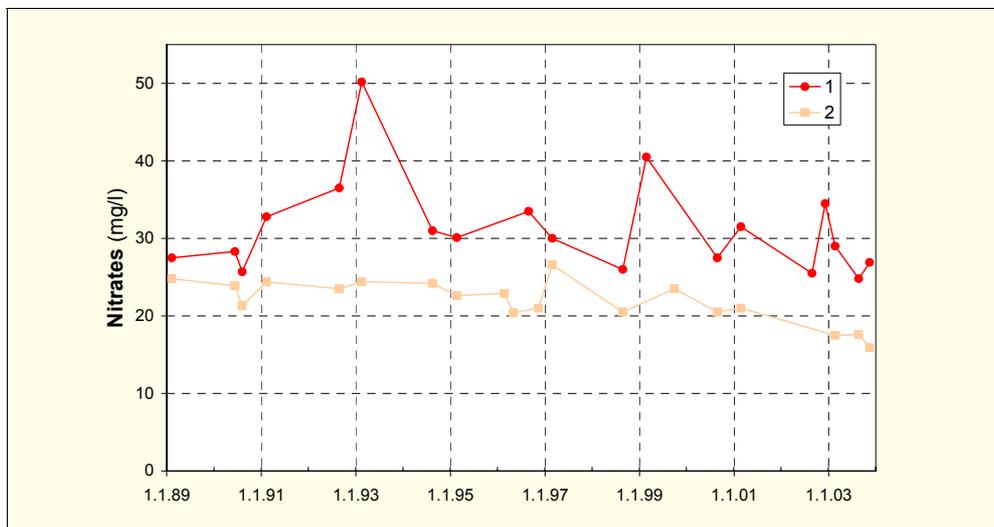


Fig. 30 :
 Source en Suisse centrale
 (Préalpes, 630 m s. m.).
 Principale utilisation du sol
 « FO », secondaire « PA ».

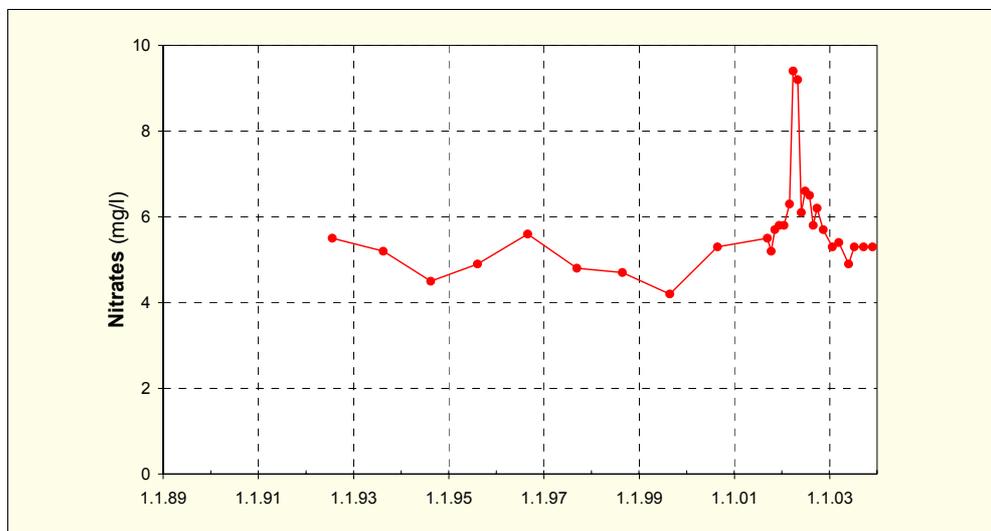
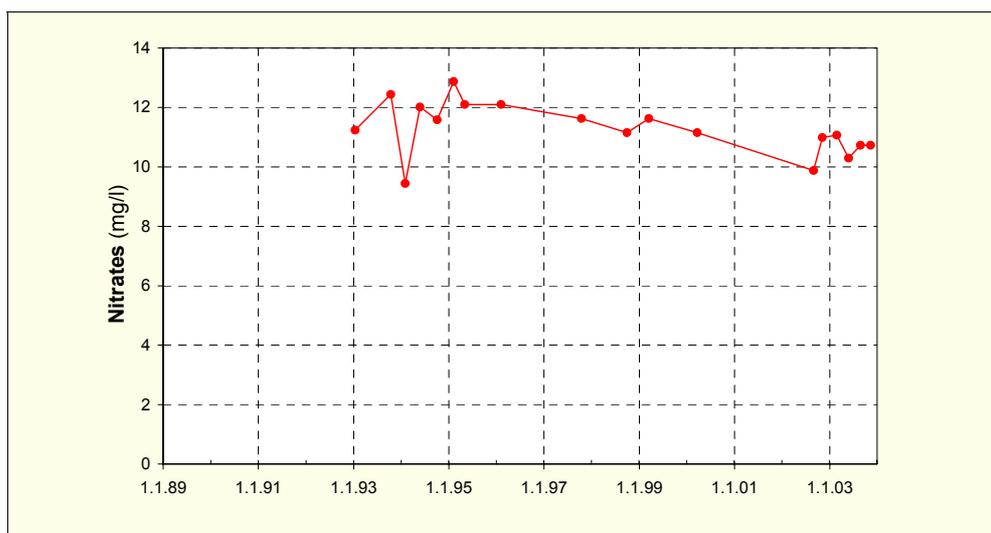


Fig. 31 :
 Station de pompage des
 eaux souterraines du sud
 des Alpes (alluvions le long
 d'un petit cours d'eau,
 328 m s. m.). Principale
 utilisation du sol « AS »,
 utilisation secondaire
 « ZUC ».



Plus de 350 produits phytosanitaires actifs autorisés en Suisse

2.2 Produits phytosanitaires

2.2.1 Introduction

Plus de 350 substances actives organiques de synthèse sont autorisées en Suisse pour l'application comme produits phytosanitaires, soit plus de 1000 produits différents sur le marché (herbicides, insecticides, acaricides, fongicides, désinfectants des semences, rodenticides, régulateurs de croissance, etc.)^[31,32]. Entre 1600 et 1700 tonnes de produits phytosanitaires ont été vendues en Suisse, en 2002^{[33]15}.

Les fongicides et les désinfectants des semences constituent la plus grande part (env. 48%) des produits phytosanitaires vendus, suivie par les herbicides (env. 43%) et les insecticides (env. 8%). Les produits phytosanitaires organiques de synthèse les plus vendus en Suisse sont l'herbicide total glyphosate (env. 165 t) et le fongicide folpet (env. 111 t). Le plus connu des produits phytosanitaires organiques de synthèse, l'herbicide total atrazine vient au 7^{ème} rang avec environ 36 t.

Cependant, la quantité totale vendue est en net recul depuis plusieurs années. En 1990, il s'en vendait encore entre 2400 et 2500 t.

En plus des modifications survenues dans le milieu de la politique agricole et de l'introduction de produits phytosanitaires plus efficaces, les mesures légales ont joué un rôle important dans le recul des ventes de ces produits, principalement des herbicides. Depuis les années 1980, la législation a progressivement renforcé les limitations d'application d'herbicides, concernant surtout les triazines. L'interdiction d'application générale tout d'abord sur les routes, les chemins et les places publiques, puis plus tard aussi en domaine privé, l'interdiction générale d'emploi des triazines dans les installations ferroviaires et en zones karstiques ainsi qu'en dehors de la maïsiculture, la réduction massive des doses maximales autorisées à l'hectare constituent des exemples des textes édictés.

Les différents produits phytosanitaires présentent des propriétés très variables qui influencent leur probabilité de lessivage dans l'eau souterraine : solubilité dans l'eau, pression de vapeur, conditions de décomposition sur la plante, dans le sol ou dans l'eau souterraine, adsorption sur les particules du sol. De plus, l'objectif du traitement et le mode d'action du produit conditionnent le type d'application, qui joue aussi un rôle : soit directement au sol (les herbicides-sol atrazine ou isoproturon p. ex.), soit sur la plante (l'herbicide foliaire glyphosate ou la plupart des fongicides). A côté des produits et de leur mode d'emploi, les quantités appliquées ainsi que les dates et les fréquences d'application variables, influencent aussi la probabilité de lessivage.

¹⁵ Les quantités effectivement annoncées dans^[33] pour 2002, soit 1525 t, ne représentent qu'environ 90 à 95% de l'ensemble du marché suisse^[34].

Exigence chiffrée OEaux pour l'eau souterraine : 0.1 µg/l au maximum

L'un des objectifs écologiques formulé par OEaux^[17] pour l'eau souterraine, ambitionne qu'elle ne doit pas contenir de substances de synthèse persistantes¹⁶, par conséquent aucun produit phytosanitaire. De plus, par mesure de précaution, l'exigence chiffrée OEaux applicable à la qualité de l'eau souterraine utilisée comme eau potable ou destinée à l'être, a été fixée à 0.1 µg/l pour chaque substance. La valeur de tolérance alimentaire OSEC^[18] pour l'eau potable est aussi de 0.1 µg/l par substance ou bien de 0.5 µg/l pour la somme de tous les pesticides organiques.

De nombreux facteurs influencent le lessivage des produits phytosanitaires

En général, le lessivage de grandes quantités de produits phytosanitaires dans l'eau souterraine reste peu probable du fait de leurs propriétés chimiques et physiques. Pourtant, un très faible pourcentage de pertes des produits phytosanitaires épandus, suffit déjà à dépasser l'exigence chiffrée de 0.1 µg/l. Ainsi, en cas d'application de 1 kg/ha, un lessivage de seulement 0.04% de la quantité appliquée (pour une recharge annuelle de 350 l/m²) permet théoriquement d'atteindre l'exigence chiffrée. Par conséquent, le danger de pollution de l'eau souterraine s'élève déjà à partir de faibles pourcentages de pertes.

D'autres facteurs que les propriétés des produits phytosanitaires jouent un rôle important dans leur migration vers l'eau souterraine : propriétés hydrogéologiques des aquifères (karstiques, poreux, fissurés), épaisseur et propriétés du sol (p. ex. fractions argileuse et sableuse ou teneur en matière organique), présence de circulations préférentielles (p. ex. nids de gravier, fentes de dessiccation), infiltration d'eaux superficielles, pente du terrain, précipitations avant, pendant et après l'application, distance entre les zones traitées et le captage, etc. Enfin des manipulations inappropriées peuvent entraîner des produits phytosanitaires dans l'eau souterraine, comme p. ex. le surdosage, l'application au mauvais moment, le non-respect des limitations d'emploi ou une élimination des restes de produits à pulvériser contraire à la législation.

Lessivage des produits phytosanitaires : phénomène en général non continu

La combinaison des caractéristiques de l'aquifère, des substances, des précipitations et de la date d'application fait qu'en général la migration des produits phytosanitaires dans l'eau souterraine n'est pas continue et qu'elle varie fortement d'une année à l'autre. Ainsi, un produit phytosanitaire facilement dégradable peut aussi être entraîné vers les eaux souterraines, si une grosse pluie survient juste après son application, mais avant sa dégradation complète. En l'absence d'un tel événement pluvieux, le produit n'atteint alors généralement pas l'eau souterraine. Par contre, un événement pluvieux survenant plus d'un mois après l'application peut encore mobiliser les produits phytosanitaires peu dégradables, comme l'atrazine, et les entraîner dans l'eau souterraine.

La détection des produits phytosanitaires dans les eaux souterraines dépend aussi de la date du prélèvement. La détection d'un produit rapidement dégradable exige d'une part, que la recharge ait lieu avant la dégradation du produit et d'autre part,

¹⁶ Annexe 1 chiffre 2 paragraphe 3 lettre b OEaux.

que le prélèvement survienne à temps après l'apport dans l'eau souterraine. De même, les phytosanitaires très solubles ne sont souvent pas décelés du fait de leur lessivage rapide, le créneau temporel favorable pour les détecter étant très court. Par contre, la détection d'un produit phytosanitaire peu dégradé et peu soluble comme l'atrazine, dépend beaucoup moins de la date du prélèvement.

La détection certaine des produits phytosanitaires arrivés dans l'eau souterraine, et la détermination de la charge maximale, exigeraient de cibler les prélèvements en fonction, de chaque substance, de la date d'application, des conditions pédologiques et hydrogéologiques locales et enfin de la répartition des précipitations dans le bassin d'alimentation. Ceci est exclu dans un réseau étendu comportant des prélèvements réguliers du type NAQUA, pour des raisons aussi bien d'organisation que financières.

Les produits de dégradation et les adjuvants arrivent aussi dans l'eau souterraine

A côté des produits phytosanitaires proprement dits, les produits de dégradation (appelés métabolites), résultant de la dégradation du principe actif, ainsi que les impuretés de production et les adjuvants¹⁷ peuvent aussi atteindre l'eau souterraine. La déséthylatrazine ou la désisopropylatrazine (à partir de l'atrazine) ou l'AMPA (à partir du glyphosate) constituent des exemples de produits de dégradation connus. La propazine, herbicide non autorisé en Suisse, est un exemple d'impureté de production de l'atrazine.

2.2.2 Analyses réalisées

Les produits phytosanitaires ont des propriétés différentes qui conditionnent les méthodes nécessaires pour analyser chaque substance. Des analyses de routine n'existent que pour à peine un tiers des produits autorisés^[35] et parmi ceux-ci, seuls 5 à 10 produits autorisés en Suisse sont intégrés dans les programmes analytiques de divers laboratoires.

Par conséquent, le programme de base défini dans le cadre de NAQUA comprend seulement cinq produits phytosanitaires et deux produits de dégradation : atrazine, déséthylatrazine, désisopropylatrazine, diuron, isoproturon, simazine, terbutylazine (cf. chap. 1.4.3.2). Ce programme de base a été élargi selon les possibilités des laboratoires exécutants.

Suivant la station, les analyses présentent donc parfois une très forte variation du nombre maximal de produits phytosanitaires analysés (cf. tab. 15 et 16).

¹⁷ Produits qui soutiennent l'action des produits phytosanitaires ; p. ex solvants organiques comme le triméthylbenzène, l'éthylbenzène ou le xylène pour certains insecticides.

Tab. 15 : Analyses des produits phytosanitaires 2002 ; nombre de substances et de stations.

Nombre de substances analysées	dont les substances actives autorisées en Suisse	Nombre de stations	Cantons
7	5	87	AG, BS, GE, GR, NAQUA ^{TREND}
8	6	24	BL
11	8	4	LU
13	8	42	AG, NW, OW, SZ
13	10	18	LU
21	18	29	SG
22	18	3	JU
23	19	33	BE, SO
43	32	56	FR, NE, VD
49	39	4	ZH
56	29	115	BE, TG, VS, ZG, ZH

En 2002, l'ensemble des analyses disponibles comprend 97 produits phytosanitaires et produits de dégradation différents, dont 62 produits actifs autorisés en Suisse. Seulement 13 d'entre eux ont été analysés dans plus de la moitié des stations, alors que 16 autres produits ne l'ont été que dans moins de 10% des stations. L'atrazine est le produit le plus souvent recherché (884 analyses), la bentazone le moins souvent recherché (4 analyses). Les résultats détaillés de tous les produits phytosanitaires et métabolites analysés se trouvent à l'annexe 1.

Tab. 16 : Analyses des produits phytosanitaires 2003 ; nombre de substances et de stations.

Nombre de substances analysées	dont les substances actives autorisées en Suisse	Nombre de stations	Cantons
7	5	158	AG, BE, GE, SG, TI, NAQUA ^{TREND}
9	6	23	BL
10	8	1	BS
11	6	1	AI
13	7	10	GR
13	8	16	NW, OW, SZ, UR
13	10	22	LU
22	18	37	BE, JU, SO
43	31	57	FR, NE, VD
52	40	9	ZH
56	30	95	SO, TG, VS, ZG, ZH
67	46	8	BS
78	54	3	BS

En 2003, 124 produits phytosanitaires et produits de dégradation différents ont été analysés, dont 79 produits actifs autorisés en Suisse. Seulement 9 d'entre eux ont été analysés dans plus de la moitié des stations, et 32 dans moins de 10% des stations. L'atrazine est le produit le plus souvent recherché (1114 analyses), le terbacile le moins souvent recherché (1 analyse).

2.2.3 Résultats

Produits phytosanitaires : vue d'ensemble

Au cours de la période 1997–2001, le nombre de stations disponibles augmente, comme pour les nitrates, de 2 (1997) à 39 (2001). Malgré la limite de quantification relativement haute de 0.05 µg/l et les analyses limitées à la recherche de 7 substances, des produits phytosanitaires ont été décelés sur cette période dans 18% des stations. La substance rencontrée le plus souvent est l'atrazine (valeur moyenne des 13 analyses \geq limite de quantification, sur un total de 317, = 0.107 µg/l, valeur maximale = 0.24 µg/l). Du fait de la représentativité limitée des données recueillies avant 2002, seules les données postérieures sont prises en compte ci-après.

En 2002 et 2003, 415 respectivement 440 stations ont été analysées (soit un ensemble de 445¹⁸ pour les deux années). Des phytosanitaires ont été décelés dans 60% des stations. La substance rencontrée le plus souvent est le métabolite déséthylatrazine (valeur moyenne des 821 analyses \geq limite de quantification, sur un total de 1998, = 0.066 µg/l, valeur maximale = 1.17 µg/l ; cf. tab. 17).

Tab. 17 : Les six produits phytosanitaires rencontrés le plus souvent en 2002/2003 (résultats détaillés de toutes les substances analysées cf. annexe 1).

Substance	LQ (µg/l)	Stations			Mesures			Statistique (seulement les mesures \geq LQ)					
		n	\geq LQ	>limite	n	\geq LQ	>limite	min. (µg/l)	max. (µg/l)	moyenne (µg/l)	médiane (µg/l)	1 ^{er} quartile (µg/l)	3 ^{ème} quartile (µg/l)
2002													
Déséthylatrazine	0.002–0.05	414	194	26	884	379	45	0.003	0.920	0.065	0.040	0.025	0.070
Atrazine	0.002–0.05	414	153	18	884	277	27	0.001	0.797	0.046	0.025	0.017	0.046
Simazine	0.002–0.05	414	72	1	884	121	1	0.001	0.128	0.016	0.011	0.009	0.020
Terbutylazine	0.001–0.05	414	35	1	882	42	2	0.004	0.130	0.020	0.012	0.008	0.022
Désisopropyl-atrazine	0.005–0.05	413	30	1	852	45	2	0.008	0.147	0.029	0.020	0.016	0.033
Propazine	0.01–0.05	276	11	0	529	13	0	0.010	0.025	0.013	0.010	0.010	0.017
2003													
Déséthylatrazine	0.002–0.05	439	184	29	1114	442	59	0.003	1.17	0.067	0.040	0.022	0.071
Atrazine	0.002–0.05	439	172	21	1114	368	44	0.053	0.029	0.015	0.059	0.053	0.029
Simazine	0.002–0.05	439	97	1	1114	200	2	0.017	0.012	0.008	0.020	0.017	0.012
Désisopropyl-atrazine	0.005–0.05	438	41	1	1101	79	2	0.009	0.12	0.028	0.021	0.015	0.031
Terbutylazine	0.001–0.05	439	32	0	1114	32	0	0.016	0.010	0.008	0.017	0.016	0.010
Cyanazine	0.001–0.02	165	16	1	421	17	1	0.010	0.138	0.025	0.014	0.013	0.020

LQ = limite de quantification, n = nombre, limite = exigence chiffrée OEaux¹⁷¹ (0.1 µg/l)

¹⁸ Le chiffre plus élevé pour l'ensemble des deux années, provient du fait que certaines stations n'ont été analysées que l'une des deux années.

L'interprétation des résultats des produits phytosanitaires a été effectuée exclusivement sur la base des valeurs maximales déterminées. Le calcul et l'interprétation des teneurs moyennes ont été délibérément écartés, car les teneurs moyennes fournissent des données peu significatives et pour diverses raisons, elles n'autorisent qu'une interprétation qualitative : limite de quantification variable selon les laboratoires pour une même substance, teneur effective inconnue pour les mesures inférieures à la limite de quantification, nombre de mesures variables selon la station, l'année et la saison (cf. chap. 1.5.1).

33 substances différentes décelées

En 2002 et 2003, les substances décelées se répartissent, d'une part en un total de 21 produits actifs différents autorisés en Suisse (soit 19 en 2002 et 16 en 2003) et d'autre part, en un total de 12 produits non autorisés ou métabolites (soit 7 en 2002 et 9 en 2003).

Le 95% de toutes les détections concerne les triazines

Les 2218 cas de produits phytosanitaires décelés en 2002 et 2003, se répartissent en 645 cas (29%) pour l'herbicide total atrazine et 821 cas (37%) pour son produit de dégradation la déséthylatrazine. Ensemble, l'atrazine et ses métabolites représentent 72% de toutes les détections. Ce pourcentage monte à 86% en regroupant les deux herbicides, atrazine et simazine ainsi que les métabolites de l'atrazine, et il atteint même 95% avec tous les herbicides du groupe des triazines et leurs métabolites (cf. fig. 32).

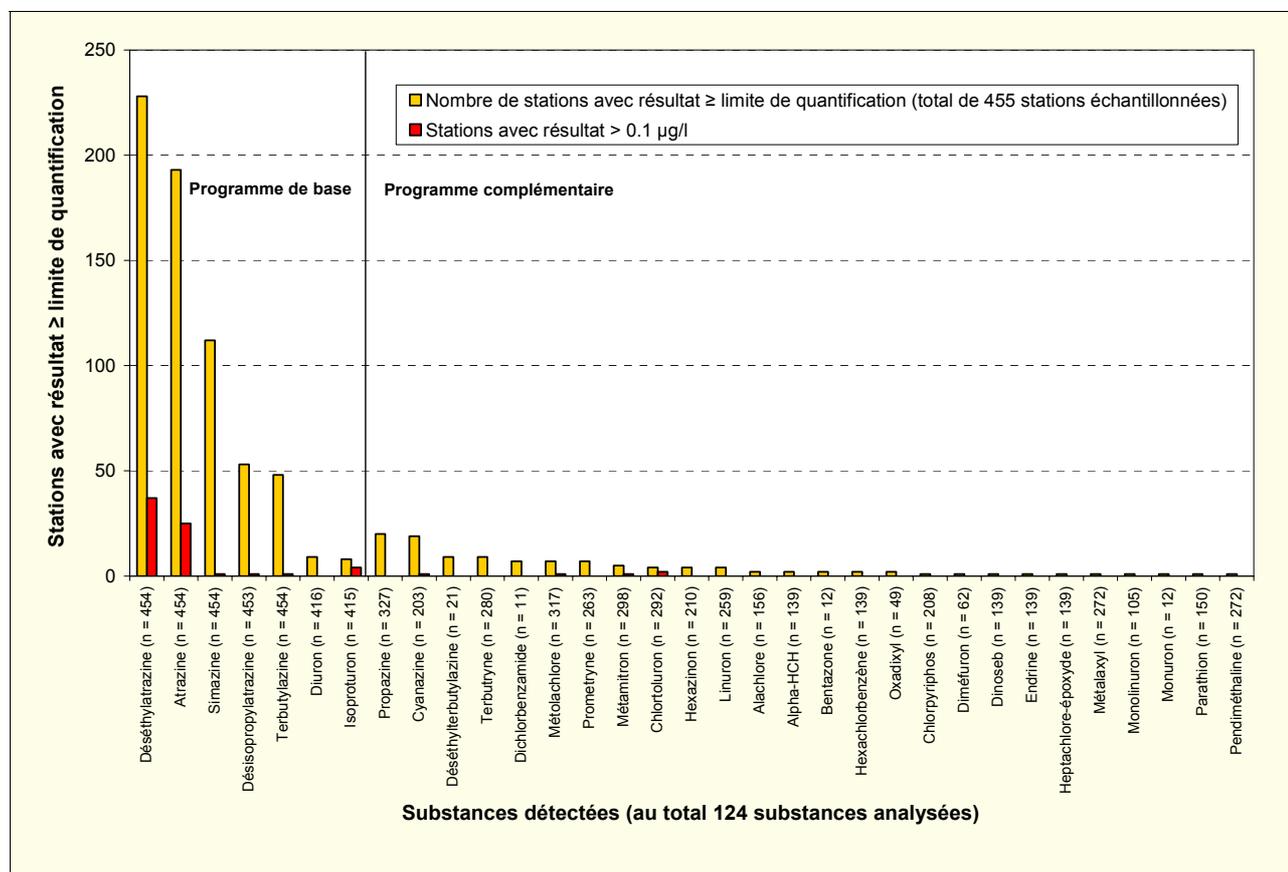


Fig. 32 : Produits phytosanitaires décelés en 2002 et 2003 : n = nombre de stations par substance.

Au total en 2002 et 2003, près de 60% des stations présentent au moins un phytosanitaire décelé et près de 12% au moins un dépassement de l'exigence chiffrée OEaux^[17] applicable à l'eau souterraine¹⁹. De plus, le tableau 18 présente le nombre de stations où la valeur de tolérance OSEC^[18] a été dépassée²⁰.

Tab. 18 : Produits phytosanitaires. Proportion de stations avec au moins une détection et teneur maximale par substance dans les stations analysées. Stations analysées : 455 (415 en 2002 ; 440 en 2003).

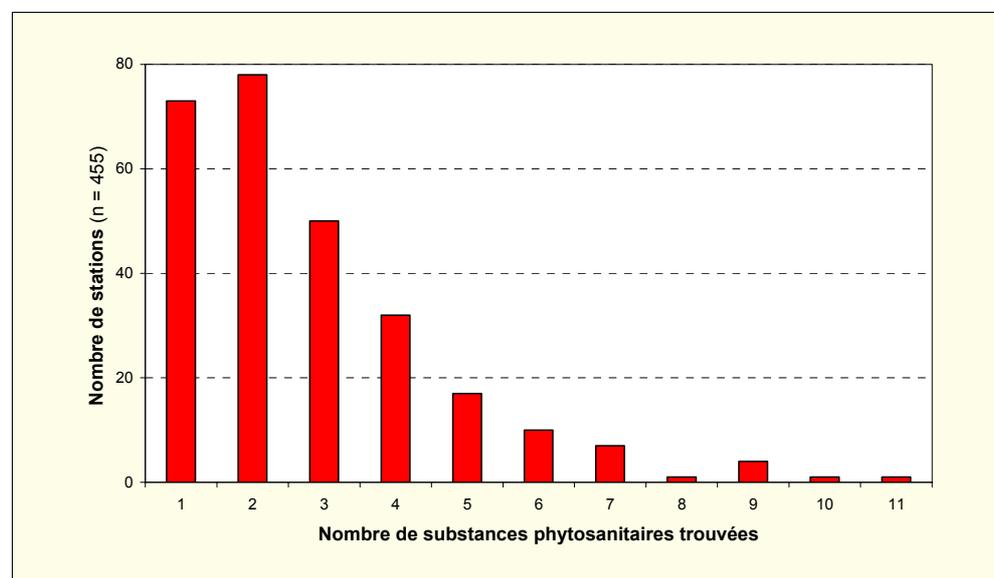
Année	≥ LQ		≥ LQ, ≤0.01 µg/l		0.01–0.05 µg/l		0.05–0.1 µg/l		>0.1 µg/l		Somme phytosanitaires >0.5 µg/l	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
2002	224	54	19	5	117	28	50	12	38	9	7	2
2003	223	51	16	4	120	27	49	11	38	9	6	1
02/03	274	60	24	5	140	31	57	13	53	12	9	2

LQ = limite de quantification, n = nombre de stations

Un maximum de 11 substances différentes décelées à une même station

Parmi la plupart des stations avec des concentrations détectables de produits phytosanitaires, entre une et trois substances différentes ont pu être décelées, et dans le pire des cas, un maximum de 11 (cf. fig. 33).

Fig. 33 : Nombre de détections des divers produits phytosanitaires par station en 2002 et 2003 (seules 5 substances analysées pratiquement à toutes les stations, et 2 autres sur 90% des stations).



¹⁹ Annexe 2 chiffre 22 OEaux : «Exigence applicable à l'eau souterraine utilisée comme eau potable ou destinée à l'être» = 0.1 µg/l pour chaque substance.

²⁰ 0.1 µg/l par substance ou bien 0.5 µg/l pour la somme de tous les pesticides organiques.

Les onze substances suivantes ont été trouvées à cette station :
alachlore, atrazine, cyanazine, déséthylatrazine, désisopropylatrazine, métalaxyl,
métamitron, métolachlore, prométryne, terbutryne et terbutylazine.

Il s'agit d'un réservoir aquifère situé dans une région agricole, même s'il se trouve aussi à l'aval hydraulique d'une usine chimique, de voies ferrées, d'une zone urbanisée et d'anciennes exploitations de graviers. La présence de sites contaminés, provenant de la production et du chargement de produits phytosanitaires, ainsi que de la mise en décharge de résidus de production, n'est ici pas totalement exclue.

Il faut toutefois encore signaler ici, que seules 5 substances ont été analysées sur la presque totalité des stations, 2 autres sur près de 90% des stations et toutes les autres substances sur 0.7 à 60% des stations.

La figure 34 présente la répartition spatiale de la teneur individuelle la plus élevée d'un produit phytosanitaire, mesurée en 2002 et 2003 à chaque station (au maximum 17 analyses par station).

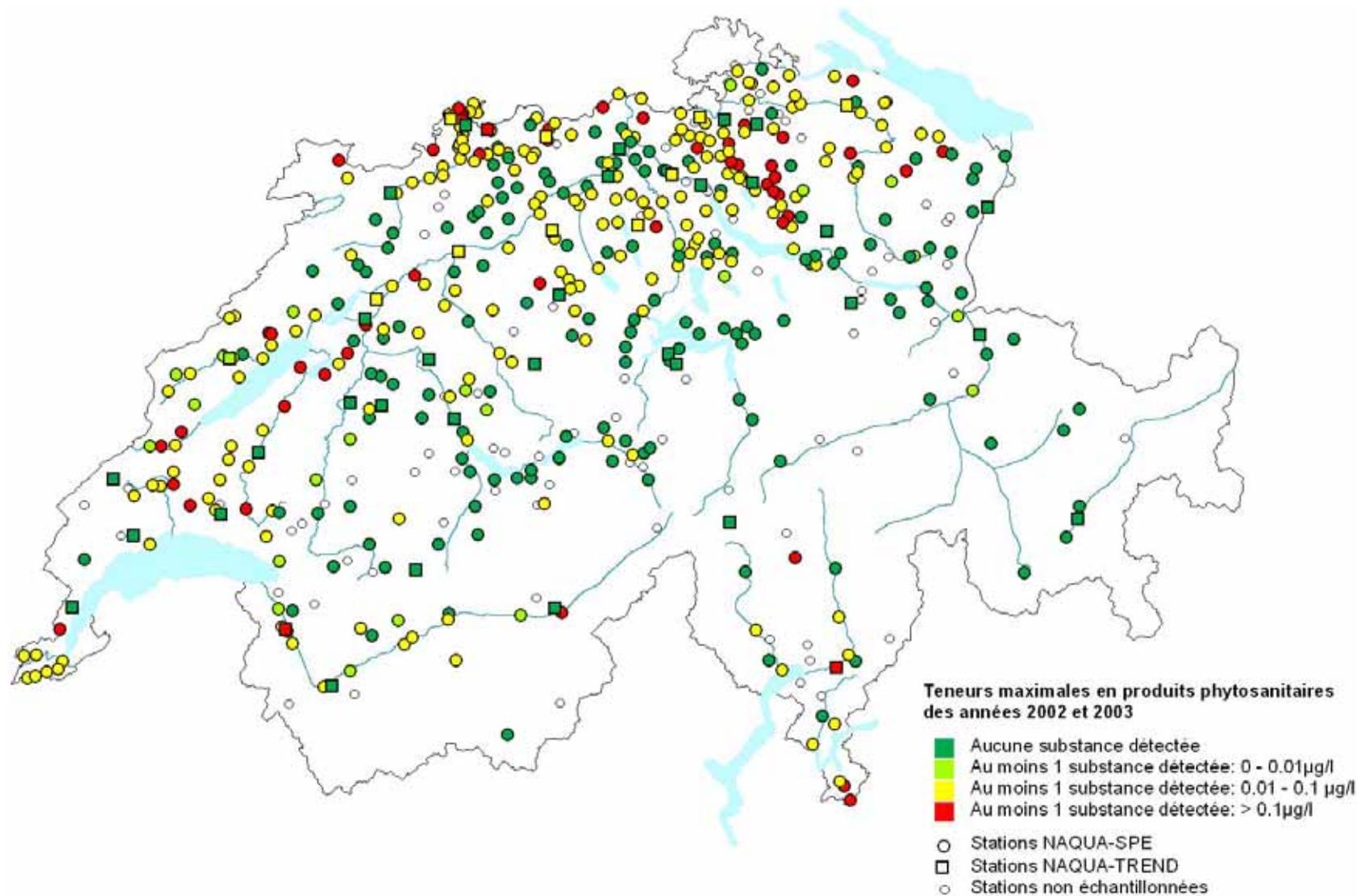


Fig. 34 : Teneur maximale en produits phytosanitaires (par substance) des stations analysées en 2002/2003 (fond cartographique^[22]).
La catégorie 0–0.01 µg/l a été différenciée car tous les laboratoires ne sont pas en état de déceler des teneurs aussi basses.

Dans 40% des stations, des produits phytosanitaires ont été décelés dans plus de la moitié des analyses

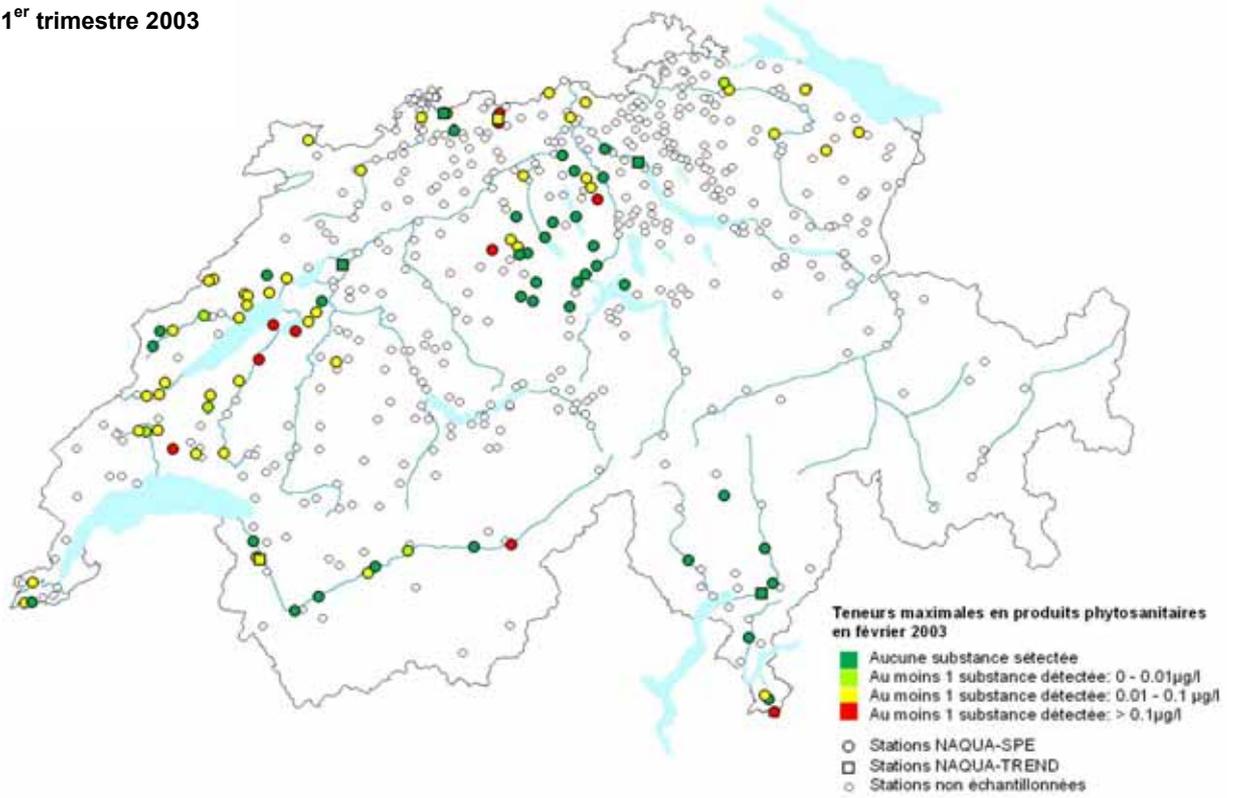
Toutes les stations ne présentant pas le même nombre d'analyses en 2002 et en 2003, l'interprétation de la fréquence des détections de produits phytosanitaires s'en trouve limitée. Le tableau 19 présente cette fréquence de détection. Sur 182 stations (40% de l'ensemble des stations analysées, surlignées en vert et jaune), les produits phytosanitaires ont été décelés dans plus de 50% des analyses, sur 138 stations (30% des stations analysées, surlignées en jaune) dans 100% des analyses. Par contre, 69 stations (15% des stations analysées, surlignées en bleu) présentent des charges polluantes en produits phytosanitaires décelables seulement sporadiquement, pouvant cependant, dans des cas isolés, nettement dépasser l'exigence chiffrée OEaux^[17] (0.1 µg/l).

Tab. 19 : Fréquence de détection des produits phytosanitaires en 2002/2003
(explication des couleurs dans le texte).

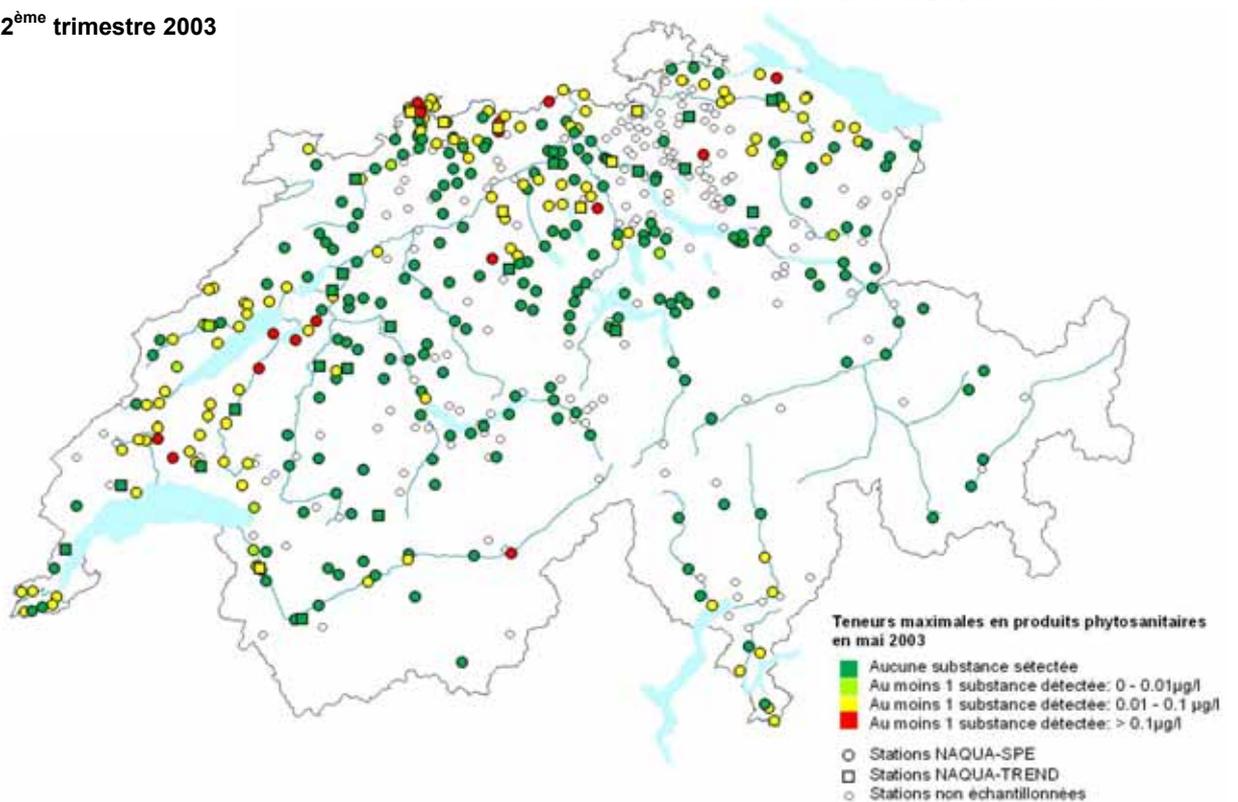
Nombre d'analyses par station	Nombre de stations	Nombre de résultats ≥ LQ									
		1	2	3	4	5	6	7	8	>8	
Nombre de stations pour chaque nombre de résultats ≥ LQ											
1	6	6									
2	26	8	18								
3	44	11	7	26							
4	57	17	10	8	22						
5	39	7	3	1	4	24					
6	28	5	4	4	1	6	8				
7	51	11	3	1	3	1	8	24			
8	19	1	2	2	0	0	1	3	10		
>8	4	2	0	1	0	0	0	1	0	0	
Total	274	68	47	43	30	31	17	28	10	0	

La figure 35 présente pour chaque prélèvement trimestriel effectué en 2003, la répartition régionale de la fréquence de détection des produits phytosanitaires. Il faut signaler, que pour des raisons opérationnelles, plusieurs cantons n'ont pas pu participer aux analyses du premier trimestre 2003.

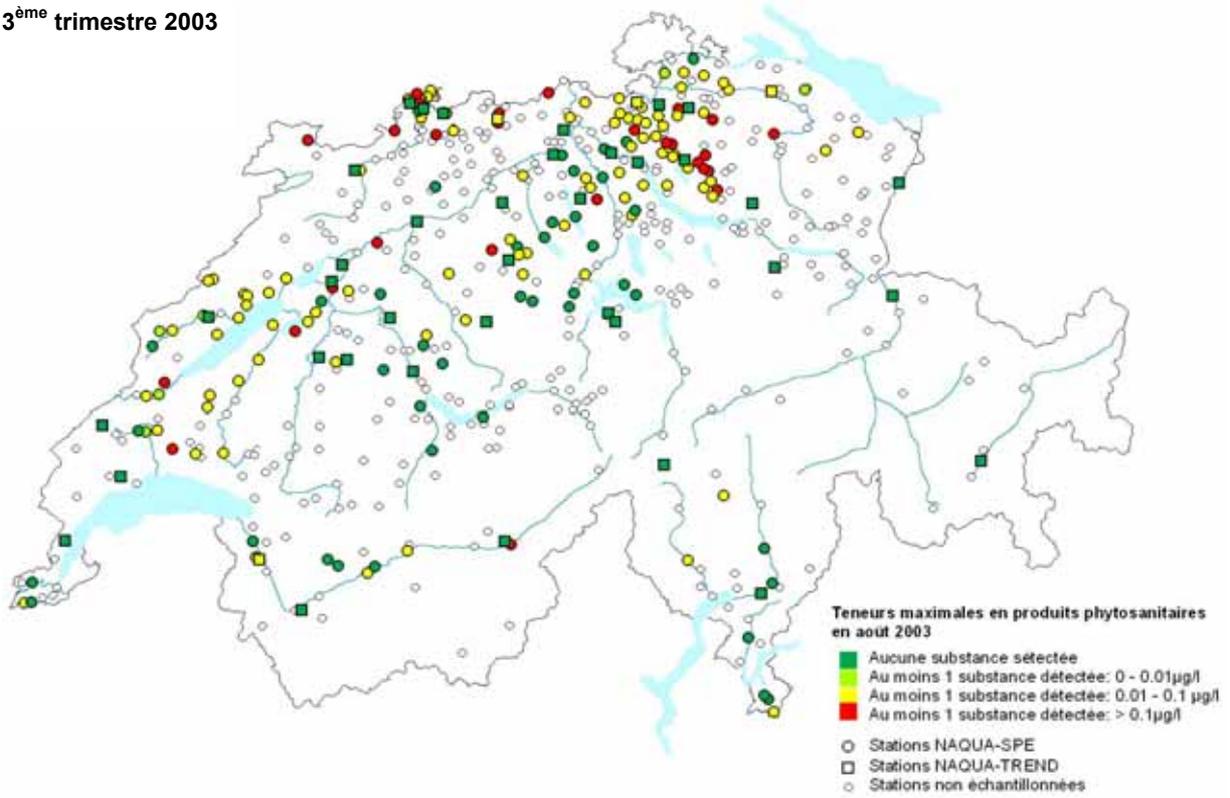
1^{er} trimestre 2003



2^{ème} trimestre 2003



3^{ème} trimestre 2003



4^{ème} trimestre 2003

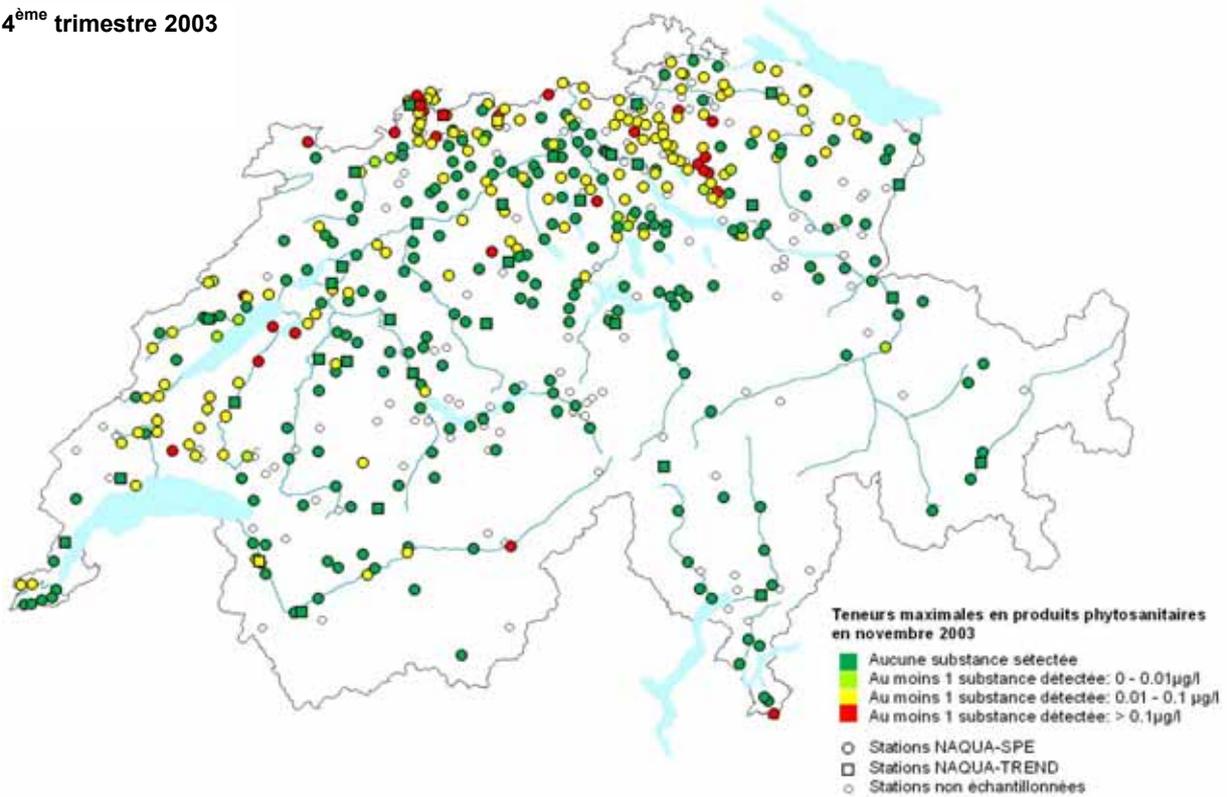


Fig. 35 : Analyses trimestrielles des produits phytosanitaires en 2003 (fond cartographique^[22]).

Produits phytosanitaires :
répartition des détections
en fonction de la princi-
pale occupation du sol,
de l'altitude et de la zone
agricole

Fig. 36 :
Pourcentage de répartition
en 2002 et 2003, des dé-
tections et des teneurs
maximales >0.1 µg/l (par
substance), pour les pro-
duits phytosanitaires, en
fonction de la principale
occupation du sol.

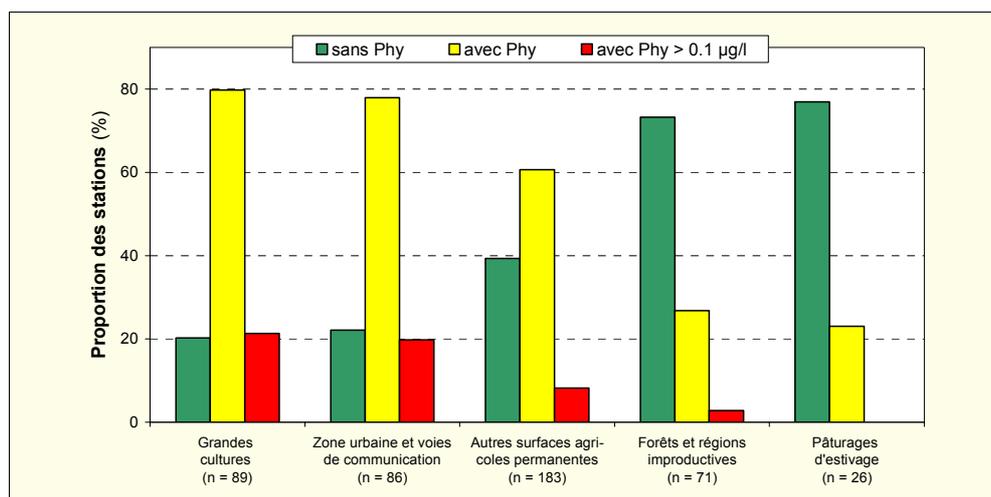


Fig. 37 :
Pourcentage de répartition
en 2002 et 2003, des dé-
tections et des teneurs
maximales >0.1 µg/l (par
substance), pour les pro-
duits phytosanitaires, en
fonction de l'altitude

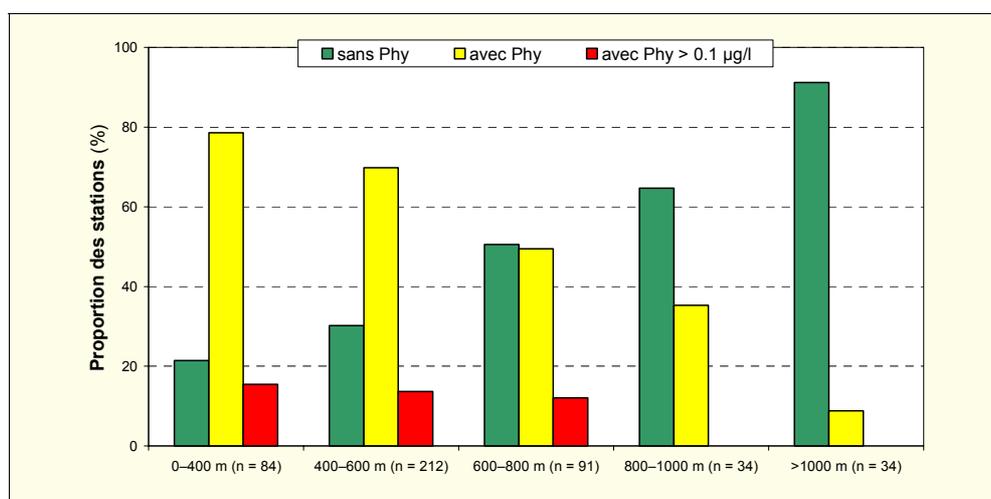
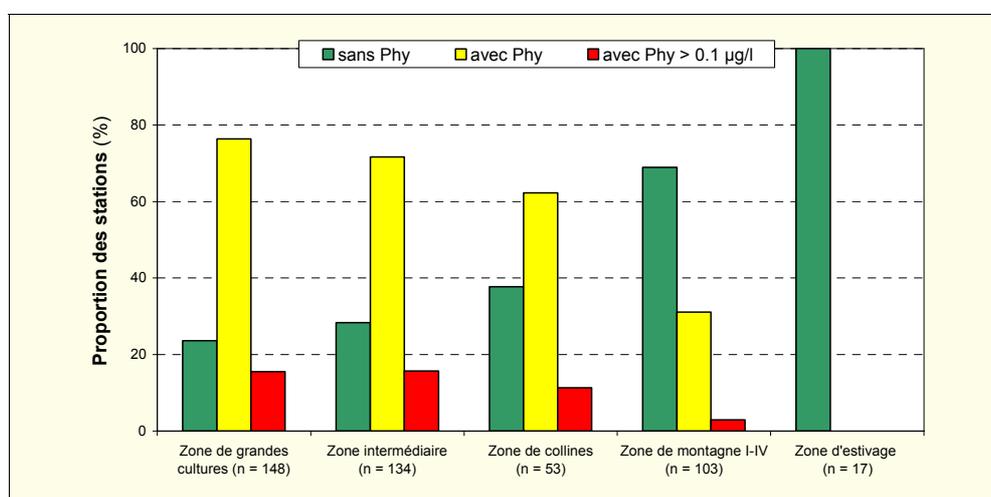


Fig. 38 :
Pourcentage de répartition
en 2002 et 2003, des dé-
tections et des teneurs
maximales >0.1 µg/l (par
substance) pour les pro-
duits phytosanitaires, en
fonction des zones agric-
oles.



L'interprétation des produits phytosanitaires décelés dans les différents réservoirs aquifères investigués, a été réalisée selon les mêmes principes que pour les nitrates (cf. chap. 1.5.2).

2.2.4 Interprétation

Dans le cadre de NAQUA, les résultats des analyses des produits phytosanitaires mettent en évidence en premier lieu, les substances actives et les produits de dégradation faisant partie de tous les programmes d'analyses de routine et/ou, ceux dont le comportement environnemental conduit à une présence plus ou moins permanente dans l'eau souterraine. Ceci concerne surtout l'atrazine et son produit de dégradation la déséthylatrazine, ainsi que les autres triazines.

Par contre, les substances rapidement dégradables ou très solubles ne sont que rarement ou parfois même pas décelées, même si elles se trouvaient durant de courtes périodes dans l'eau souterraine (cf. chap. 2.2.1). C'est également le cas des substances demandant un gros investissement d'analyses et ne pouvant de ce fait, être recherchées qu'à quelques stations, ainsi que des produits ne pouvant tout simplement pas être analysés. De plus, en cas de fortes variations des teneurs en produits phytosanitaires, les prélèvements, trimestriels dans le meilleur des cas, rendent aléatoire l'identification des pointes de pollution.

Une absence de détection ne garantit pas que la substance considérée ne se trouve pas dans l'eau souterraine. Les charges polluantes constatées doivent donc être prises avec précaution et ne pas être interprétées comme la contamination maximale à attendre pour les eaux souterraines en Suisse.

**Pas d'information
actuellement sur quelques
produits phytosanitaires
importants**

Pour l'instant, aucune information ne peut être fournie sur des substances importantes et utilisées en grandes quantités comme le glyphosate par exemple, pour lequel il n'existe pas de procédure d'analyses de routine. De ce fait, cette substance n'a jusqu'à maintenant, pas fait l'objet d'analyses dans le cadre de NAQUA.

Dans l'ensemble, la situation des produits phytosanitaires est analogue à celle des nitrates. Les réservoirs aquifères touchés se rencontrent majoritairement dans les vallées (zone de cultures, zone intermédiaire et zone de collines en dessous de 800 m) et dans les régions exploitées par l'agriculture intensive ou dans les zones urbanisées. Alors que les concentrations en nitrates des régions agricoles dépassent largement celles des zones urbanisées, la charge en produits phytosanitaires de ces deux principales utilisations du sol diffère peu. De plus et contrairement aux nitrates, la contamination en produits phytosanitaires se rencontre aussi en dehors du Plateau, dans la vallée du Rhône, au Tessin et dans le Jura.

Deux différences essentielles se révèlent ici par rapport aux nitrates. D'une part, les teneurs élevées en nitrates apparaissent surtout avec les terres cultivées. Par contre, des produits phytosanitaires sont également utilisés ou l'ont été jusqu'il y a peu, dans d'autres cultures agricoles comme l'arboriculture fruitière et la viticulture ou, les cultures maraîchères, les pépinières, les jardins privés, les installations sportives, les zones industrielles et le long des voies de communication. D'autre part, le comportement au lessivage est très différent. Le lessivage d'une infime fraction des produits phytosanitaires épandus suffit pour contaminer l'eau souterraine. Par

contre, il faut beaucoup plus de nitrates dans le sol et une fraction lessivée nettement plus grande, avant qu'une réelle pollution de l'eau souterraine ne survienne.

Produits phytosanitaires décelés dans 80% des stations avec le bassin d'alimentation en grandes cultures et zones urbanisées

Dans les bassins d'alimentation à dominance de **grandes cultures** et de **zones urbanisées**, près de 80% des stations présentent des traces de produits phytosanitaires, contre 60% pour l'ensemble des stations analysées. L'exigence chiffrée OEaux^[17] (0.1 µg/l) y est dépassée sur près de 20% des stations. La moyenne des teneurs maximales dans les « grandes cultures » et « zone urbanisée » (**uniquement les stations avec détections**) présente le même ordre de grandeur (0.12 respectivement 0.09 µg/l). Concernant les produits phytosanitaires, ces deux principales utilisations du sol ne se distinguent donc pratiquement pas. Cependant, il faut signaler que pour beaucoup de stations, l'utilisation intensive du sol à une échelle locale ne permet pas une séparation nette entre ces deux types d'utilisation.

Par contre, les autres principales utilisations du sol présentent des moyennes des teneurs maximales en produits phytosanitaires nettement plus basses : « **autres surfaces agricoles permanentes** » avec 0.06 µg/l et « **forêt et régions improductives** » avec 0.05 µg/l. L'interprétation des « pâturages d'estivage » est écartée, car seulement 6 des 26 stations présentent une détection des produits phytosanitaires.

Rares contaminations au-dessus de 800 m

Toutes les stations avec des valeurs >0.1 µg/l se situent **en dessous de 800 m**. L'exigence chiffrée OEaux (0.1 µg/l) y est dépassée sur près de 14% des stations, contre 12% pour l'ensemble des stations analysées. Cependant, des détections isolées se rencontrent **au-dessus de 1000 m**, mais seulement en concentrations très faibles. Il peut s'agir de résidus d'applications sporadiques, le long des routes d'accès, sur des surfaces désherbées aux abords immédiats des abreuvoirs à bœufs et des bâtiments d'alpages, ou dans les jardins des maisons de vacances.

Sur près d'un quart de l'ensemble des stations analysées, les **teneurs maximales** en produits phytosanitaires dépassent 0.05 µg/l, soit la moitié de l'exigence chiffrée OEaux (0.1 µg/l). Sur plus d'un tiers de l'ensemble des stations analysées, la **somme maximale** de tous les produits phytosanitaires décelés dépasse cette valeur de 0.05 µg/l.

Détections d'atrazine en partie liées à d'anciennes utilisations le long des voies ferrées

Une partie des traces d'**atrazine** et de **déséthylatrazine** trouvées provient probablement des applications d'atrazine effectuées le long des voies ferrées jusqu'à la fin des années 1980. Il s'agit donc bien ici, de sites contaminés. Une analyse du bassin d'alimentation supposé montre cependant que cette hypothèse ne tient pas dans 50% des détections car vraisemblablement, aucune voie ferrée ne se trouve dans le bassin d'alimentation. Cependant, l'origine par application d'atrazine le long des routes et des chemins, ainsi que sur les places ne peut être exclue.

La proportion du métabolite déséthylatrazine (DEA) par rapport à l'atrazine (son produit de départ), peut permettre d'estimer l'âge des résidus identifiés. Plus ce rapport est élevé, plus la probabilité que les résidus soient âgés et ne proviennent donc pas d'une application récente, augmente. Cependant, des phénomènes naturels

conduisent aussi à une rapide dégradation de l'atrazine, car une teneur élevée en DEA peut se rencontrer après une application récente d'atrazine. A l'inverse, des conditions souterraines défavorables pour la dégradation de l'atrazine peuvent produire, malgré la relative ancienneté des applications, une faible quantité de DEA par rapport au produit de départ.

Environ 50% des détections d'atrazine sont probablement liées à des utilisations récentes

Parmi les analyses avec des détections d'atrazine ou de DEA, 22% présentent deux fois plus de DEA que d'atrazine, et 23 autres pourcents ne présentent que du DEA. Dans ces cas, la probabilité que ces résidus proviennent d'applications remontant à plusieurs années, est élevée. A l'inverse, cela signifie aussi que dans presque la moitié des cas, les traces d'atrazine et de DEA résultent très probablement d'applications récentes. Un grand nombre de ces échantillons d'eau provient à nouveau de bassins d'alimentations où se trouve une voie ferrée. Pour les stations correspondantes, l'hypothèse d'un site contaminé par application d'atrazine le long des voies passe ainsi plutôt en arrière-plan.

Les détections relativement fréquentes de **propazine**, un herbicide non autorisé en Suisse appartenant au groupe des triazines, proviennent probablement d'impuretés liées à la production de l'atrazine utilisée. Dans tous les cas, la propazine apparaît exclusivement en compagnie de l'atrazine.

Détections de simazine, cyanazine et terbutylazine relativement nombreuses dans les zones urbanisées

Les autres herbicides du groupe des triazines (**cyanazine, métamitron, prométryne, simazine, terbutryne, terbutylazine**) apparaissent aussi presque exclusivement (dans 90.5% des cas) en compagnie de l'atrazine ou de ses produits de dégradation. Le pourcentage de détections relativement élevé dans la principale utilisation du sol « zone urbanisée et voies de communication », frappe par opposition à l'atrazine et la déséthylatrazine. Alors que près de 25% des détections d'atrazine et de déséthylatrazine se rencontrent dans cette utilisation du sol, les détections de simazine, de cyanazine et de terbutylazine atteignent respectivement 30, 36 et 40%. Apparemment, une partie non négligeable de ces traces d'herbicides provient de l'utilisation dans les zones urbanisées.

La **prométryne** n'est pas non plus autorisée en Suisse. Pourtant cet herbicide a été décelé à sept stations, bien qu'à des concentrations très basses. Si dans le cas de quatre stations, des sites de production chimique peuvent être rendus responsables de la présence des résidus dans l'eau souterraine, les trois autres stations semblent plutôt indiquer une utilisation illégale de ce produit.

Les apparitions uniquement sporadiques de produits phytosanitaires comme l'**endrine** et l'**hexachlorobenzène** (non autorisés en Suisse), ainsi que l'**isoproturon**, illustrent les difficultés liées au suivi de ces substances utilisées temporairement et en partie très localement. La possibilité pour ces substances, d'atteindre l'eau souterraine et d'y être décelées, dépend de facteurs qui varient fortement d'une année à l'autre, en fonction de la localisation, de la saison et de la météorologie.

L'été 2003 exceptionnel, responsable de la légère baisse de contamination par rapport à 2002 ?

En 2002 par exemple, le **chlortoluron** et le **métamitron**, décelés six fois au total, ont dépassé chacun une fois l'exigence chiffrée OEaux (0.1 µg/l). En 2003 par contre, sur un ensemble de trois détections, aucun dépassement de l'exigence chiffrée n'est décelé.

Sur les 48 stations analysées en 2002 et en 2003 et présentant pour l'une ou l'autre année une teneur maximale en produits phytosanitaires dépassant 0.1 µg/l, 30 stations révèlent une diminution de cette teneur maximale entre 2003 et 2002 et 18 stations une augmentation. Sur la même période, la moyenne des teneurs maximales en produits phytosanitaires de ces 48 stations diminue de 0.2 à 0.17 µg/l.

Cette évolution est peut-être en rapport avec la grande sécheresse de l'été – automne 2003 qui a pu d'une part, conduire à des changements dans l'utilisation des produits phytosanitaires et d'autre part, empêcher pendant longtemps le lessivage de ces substances. Du fait que les données disponibles ne couvrent qu'une période de deux ans, il n'est pas possible pour le moment d'en tirer des informations concernant cette problématique.

Aucune détection de produits phytosanitaires à des concentrations menaçantes pour la santé

Les résultats montrent qu'au niveau des stations analysées, il n'apparaît, selon l'état des connaissances actuelles, aucun produit phytosanitaire à une concentration pouvant présenter une menace pour la santé humaine. Actuellement, l'absence de références ne permet pas d'évaluer les éventuelles répercussions sur la faune et la flore, des concentrations relevées.

Mais en même temps, le pourcentage élevé de réservoirs aquifères analysés, qui présentent des résidus de produits phytosanitaires (près de 60%) est préoccupant, ceci d'autant plus qu'environ 12% des stations analysées présentent un dépassement, aussi bien de l'exigence chiffrée OEaux (0.1 µg/l) applicable à la qualité de l'eau souterraine utilisée comme eau potable, que de la valeur de tolérance alimentaire OSEC (0.1 µg/l) pour l'eau potable.

Sur 13% de stations supplémentaires, la moitié (0.05 µg/l) de l'exigence chiffrée OEaux est dépassée (cf. tab. 18).

De plus, il est fort probable que les analyses effectuées n'ont recensé les teneurs maximales effectives de chacune des substances parvenues dans l'eau souterraine, que dans quelques cas seulement (cf. chap. 2.2.1). La situation réelle doit plutôt être moins favorable que ne le montrent les résultats actuels.

Egalement préoccupant, est le fait de détecter de nombreux produits phytosanitaires, à des concentrations parfois assez hautes, dans de nombreuses stations dont le bassin d'alimentation se trouve presque exclusivement influencé par les zones urbanisées, l'industrie et le trafic. Les stations, qui présentent un véritable « cocktail de substances » (jusqu'à 11 produits), se situent souvent à proximité de vastes zones urbanisées et industrielles. L'herbicide atrazine, uniquement encore autorisé dans la

maïsculture, se rencontre également souvent (avec ses produits de dégradation) dans les zones urbanisées.

Impossibilité de présenter l'évolution temporelle des teneurs en produits phytosanitaires par manque de données historiques

Du fait de l'absence de données anciennes concernant les stations NAQUA, les données actuellement disponibles ne permettent pas d'interpréter l'évolution à long terme de la charge polluante en produits phytosanitaires dans l'eau souterraine en Suisse. L'interdiction d'utilisation de l'atrazine sur les rails et l'interdiction généralisée des herbicides le long des rails et des routes, ainsi que la restriction d'emploi de l'atrazine à la maïsculture²¹ en dehors des zones karstiques ont sans aucun doute conduit à une nette baisse de la charge en atrazine dans l'eau souterraine. Dans de nombreux cas, cette baisse est bien documentée, mais afin de saisir et d'évaluer de manière fiable, l'évolution de la charge de l'eau souterraine en produits phytosanitaires sur l'ensemble de la Suisse, il faut recenser les applications de ces produits dans les domaines agricoles et urbains et intensifier davantage les observations du réseau NAQUA par la réalisation de mesures ciblées.

²¹ L'utilisation d'atrazine est autorisée, en plus du maïs, sur le roseau de Chine (comme pour le maïs, au maximum une application par an et jusqu'à fin juin au plus tard). Les surfaces plantées en roseau de Chine sont toutefois insignifiantes.

2.2.5 Relation entre nitrates et produits phytosanitaires

Nitrates et produits phytosanitaires : évolution des teneurs en partie seulement parallèle

Les nitrates comme les produits phytosanitaires proviennent de manière prépondérante de l'agriculture. Cependant, la charge polluante résultante dans l'eau souterraine n'adopte pas un comportement linéaire pour les deux produits. L'hypothèse que dans un réservoir aquifère la quantité de produits phytosanitaires augmente avec la quantité de nitrates trouvée, est juste pour la tendance, mais fautive dans la relation simplificatrice.

Produits phytosanitaires : probabilité de teneurs élevées en hausse en présence de fortes teneurs en nitrates

La probabilité de rencontrer des produits phytosanitaires dans l'eau souterraine est évidemment plus grande dans un réservoir aquifère avec de fortes teneurs en nitrates que dans un réservoir avec des teneurs basses. Les teneurs maximales (de chaque substance mais aussi leur somme) ainsi que le nombre de produits décelés augmentent aussi en moyenne avec les teneurs en nitrates (cf. tab. 20 et fig. 39 à 41). Les stations avec des teneurs en nitrates >10 mg/l sont plus de 70% à présenter des traces de produits phytosanitaires, contre seulement 35% pour des teneurs en nitrates ≤10 mg/l. De plus, les stations avec des teneurs en nitrates >25 mg/l sont plus de 20% à présenter des concentrations maximales de produits individualisés >0.1 µg/l, contre seulement 2% pour des teneurs en nitrates ≤10 mg/l.

Bien qu'ainsi, entre les stations présentant de fortes, respectivement de basses teneurs en nitrates, une nette différence puisse s'établir concernant la probabilité de présence de produits phytosanitaires et de dépassement de la teneur maximale de 0.1 µg/l, cette différence s'estompe entre les catégories 10–25 mg/l et >25 mg/l de nitrates.

Cependant dans de rares cas, des réservoirs aquifères avec de très faibles teneurs en nitrates, peuvent présenter des teneurs en produits phytosanitaires élevées, et des réservoirs avec des teneurs en nitrates élevées, contenir aucun produit phytosanitaire (cf. tab. 20). Les quatre stations qui présentent des teneurs en produits phytosanitaires >0.1 µg/l et des teneurs en nitrates ≤10 mg/l, ne sont toutefois pas des emplacements caractéristiques pour observer les effets de l'agriculture intensive (cf. ci-après).

Tab. 20 : Relation entre les teneurs maximales en nitrates et l'occurrence, respectivement les teneurs maximales en produits phytosanitaires dans toutes les stations analysées (2002/2003).

Teneur maximale en nitrates	Nombre de stations	Pourcentage de stations avec phytosanitaires	Pourcentage de stations avec phytosanitaires	Nombre de stations avec phytosanitaires >0.1µg/l (par substance)	Pourcentage de stations avec phytosanitaires >0.1µg/l
>40 mg/l	19	15	79	4	21
25–40 mg/l	70	56	80	17	24
10–25 mg/l	191	142	74	28	15
0–10 mg/l	175	61	35	4	2

Fig. 39 :
Proportion de stations avec
détections de produits
phytosanitaires en relation
avec les teneurs maximales
en nitrates (2002/2003).

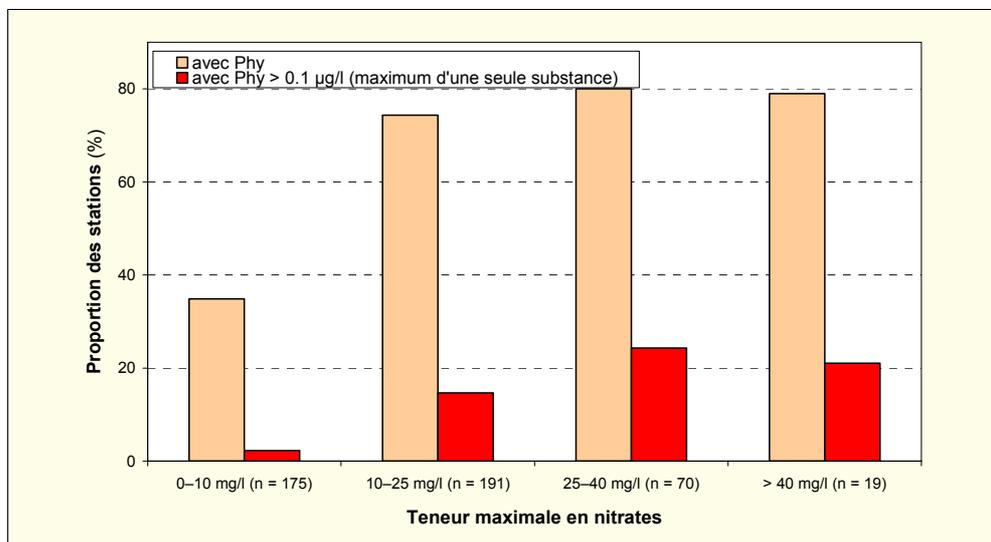


Fig. 40 :
Teneurs maximales
moyennes en produits
phytosanitaires (stations
avec produits décelés)
en relation avec les teneurs
maximales en nitrates
(2002/2003).

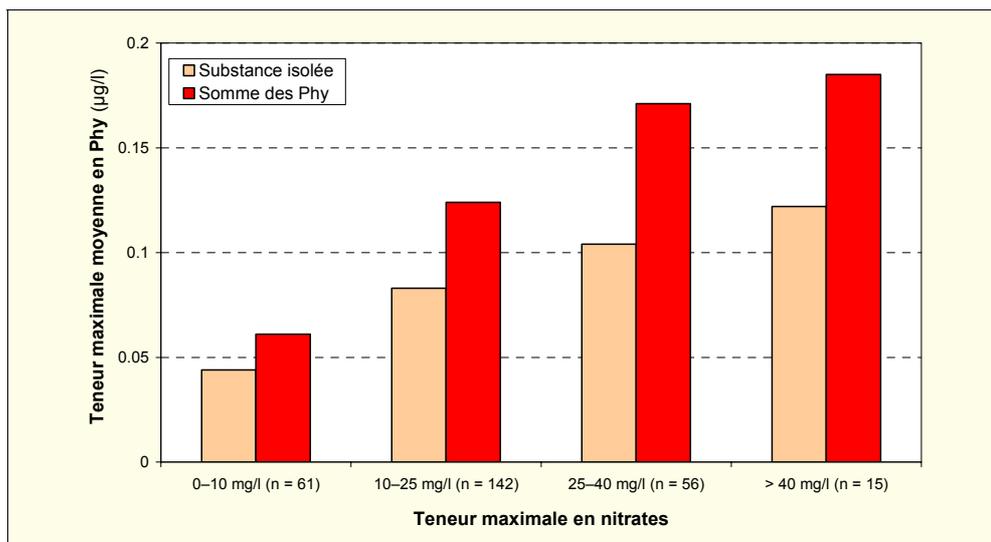
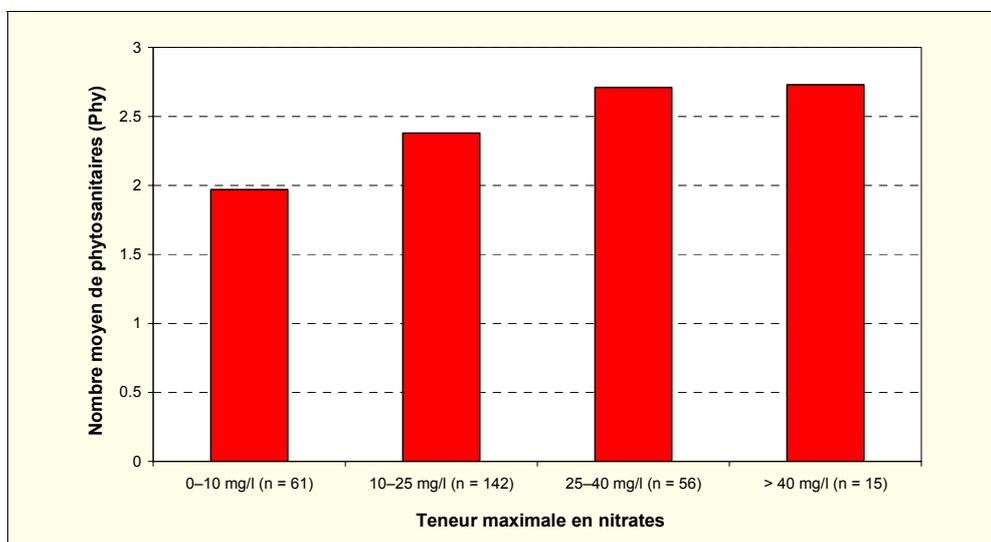


Fig. 41 :
Nombre moyen de produits
phytosanitaires décelés (7
substances du programme
de base) en relation avec
les teneurs maximales en
nitrates (2002/2003).



Teneurs en produits phytosanitaires très différentes de part et d'autre de 10 mg/l de nitrates

Une séparation nette intervient pour une teneur en nitrates maximale d'environ 10 mg/l :

- En dessous de 10 mg/l, la probabilité de trouver des traces de produits phytosanitaires se limite à environ 35%, au-dessus elle passe à plus de 70%.
- En dessous de 10 mg/l, la moyenne de la somme des produits phytosanitaires décelés se trouve nettement en dessous de 0.1 µg/l, au-dessus cette valeur est en moyenne nettement dépassée.
- En dessous de 10 mg/l, la probabilité de trouver des concentrations maximales de phytosanitaires individualisés >0.1 µg/l reste très faible, autour de 2%. Au-dessus de 10 mg/l, cette probabilité augmente nettement pour s'établir vers 15 à 24%.
- En dessous de 10 mg/l, soit les teneurs maximales en produits phytosanitaires supérieures à 0.1 µg/l s'expliquent avec toute vraisemblance par des facteurs non agricoles, soit les basses teneurs en nitrates résultent de conditions particulières. Parmi les quatre stations évoquées précédemment et correspondant à ce cas de figure, la première se situe dans une grande ville. Sur la deuxième, les conditions réductrices dans l'aquifère favorisent la réduction des nitrates et font chuter leur teneur, élevée à l'origine, à moins de 1 mg/l. Bien que la troisième station se situe effectivement en zone agricole, il n'y a que peu d'agriculture intensive sur l'ensemble du bassin d'alimentation. Il s'agit d'une station de pompage d'eau industrielle qui ne dispose pas de zones de protection et qui présente une contamination unique et relativement élevée d'isoproturon, utilisé comme herbicide dans la culture des céréales. Celui-ci a probablement été appliqué dans l'environnement immédiat de la station de pompage. Enfin, la quatrième station se situe, non seulement à l'aval hydraulique de champs de maïs, mais aussi de routes et de voies ferrées. L'eau y subit probablement une forte dilution par infiltration depuis une rivière.

D'une part, il apparaît donc une relation nette entre les teneurs en nitrates élevées et la présence de produits phytosanitaires dans l'eau souterraine. D'autre part, les données reflètent des différences fondamentales :

- Si les teneurs en nitrates élevées nécessitent le lessivage d'une proportion relativement grande du bassin d'alimentation, par contre, une source ponctuelle relativement petite suffit, le cas échéant, pour entraîner la présence de produits phytosanitaires.
- Les nitrates, en tant que substances problématiques, proviennent essentiellement de l'agriculture et leur lessivage à des concentrations élevées dans les zones urbanisées apparaît secondaire. Par contre, les produits phytosanitaires ont été et sont beaucoup plus largement utilisés (cultures spéciales, pépinières, cultures maraîchères, jardins privés, zones industrielles, le long des voies de communication, etc.).

Les produits phytosanitaires les plus fréquemment identifiés, l'atrazine et ses produits de dégradation ainsi que la simazine, adhèrent bien aux particules du sol. Dans les sols, ils sont mal et lentement dégradables (demi-vie, selon les conditions, supérieure à un an) et sont relativement peu solubles dans l'eau. Ces substances peuvent ainsi, le cas échéant, être lessivées de manière continue dans l'eau souterraine, plu-

sieurs années encore après une application. Par contre les nitrates, peu retenus dans le sol, présentent des teneurs qui réagissent déjà, selon l'aquifère, relativement rapidement à des changements d'exploitation.

2.3 Hydrocarbures et MTBE

2.3.1 Introduction

Les hydrocarbures sont un groupe de produits extrêmement hétérogène et varié. Des milliers de substances de la famille des hydrocarbures ayant des propriétés chimiques et des effets écologiques et toxicologiques différents, sont utilisées en Suisse et dans le monde entier. Elles sont libérées dans l'environnement sous forme de carburants, combustibles, lubrifiants, solvants, produits de base pour l'industrie chimique, sous-produit des synthèses chimiques, déchets et résidus d'incinération des plastiques, etc. Les domaines d'emploi dépassent largement les applications industrielles et artisanales proprement dites : p. ex. laques, colorants, diluants, nettoyeurs pour pinces, carburants, etc., sont aussi utilisés en grandes quantités par les ménages.

Les hydrocarbures sont extraits, produits et utilisés en quantités énormes. Ils arrivent aussi en relativement grandes quantités dans l'environnement. En Suisse p. ex., 11'662'000 t de produits pétroliers, dont plus de la moitié de carburants (essence, gazole, kérosène), ont été utilisés en 2002^[36]. Près de 100'000 t de MTBE (méthyl-tert-butyléther) sont utilisées annuellement comme anti-détonnant dans l'essence^[37, 38]. Pour l'année 2001, les émissions de composés organiques volatils (COV²²) ont été estimées à près de 132'500 t, dont environ 70'000 t proviennent de l'industrie et de l'artisanat et 24'000 t de la circulation automobile, par évaporation des carburants^[39]. Trois ans auparavant les émissions de COV représentaient encore 160'000 t, dont 87'000 t de l'industrie et de l'artisanat et 36'000 t du trafic routier.

2.3.2 Analyses réalisées

Les hydrocarbures sont subdivisés en différents groupes qui se recoupent partiellement. Dans le cadre du réseau NAQUA, les analyses ont particulièrement porté sur les hydrocarbures aromatiques monocycliques ou HAM – (principalement les BTEX), l'additif pour carburant MTBE et les hydrocarbures halogénés volatils²³ ou HHV – (cf. chap. 1.4.3.2). En tout, les analyses de 73 substances et 2 paramètres globaux sont disponibles. Un maximum de 63 substances a été analysé par station (cf. tab. 21 et 22).

²² Les hydrocarbures sensu lato et le MTBE forment une part essentielle des COV.

²³ Un hydrocarbure est volatil si son point d'ébullition est <250°C à pression standard.

Tab. 21 : Hydrocarbures et MTBE 2002 ; nombre de substances analysés et de stations.

Nombre de substances analysées	Nombre de stations 2002	Cantons
11	34	NAQUA _{TREND}
23	15	LU
45	21	BE
47	11	SO
53	72	BE, FR, SO, TG, VS, ZH
60	57	ZH

Tab. 22 : Hydrocarbures et MTBE 2003 ; nombre de substances analysés et de stations.

Nombre de substances analysées	Nombre de stations 2003	Cantons
6	31	AI, JU, SG, NAQUA _{TREND}
13	35	NAQUA _{TREND}
23	15	LU
32	12	BS
54	94	AG, FR, GR, SO, TG, VS, ZG, ZH
57	16	NW, OW, SZ, UR
58	16	NE
59	8	GE
60	57	BE, SO
60	19	VD
61	38	BL, TI
63	60	ZH

En 2002, les hydrocarbures et le MTBE ont été analysés dans seulement 7 cantons, dans le cadre d'une campagne-pilote, ainsi que sur les stations NAQUA_{TREND}. C'est seulement en 2003 qu'une campagne étendue a été réalisée sur l'ensemble de la Suisse.

La liste de tous les paramètres analysés au cours des années 2002/2003 dans le cadre de NAQUA se trouve en annexe 1.

L'interprétation des résultats des hydrocarbures et MTBE a été effectuée exclusivement sur la base des valeurs maximales déterminées. Le calcul et l'interprétation des teneurs moyennes ont été délibérément écartés car les teneurs moyennes fournissent des données peu significatives et pour différentes raisons, elles n'autorisent qu'une interprétation qualitative : limite de quantification variable, selon les laboratoires, pour une même substance, teneur en hydrocarbures effective inconnue pour les mesures inférieures à la limite de quantification, nombre de mesures variables selon la station et l'année (cf. chap. 1.5.1).

2.3.3 Hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM)

2.3.3.1 Introduction

Les HAM sont surtout des composants de l'essence et des solvants

Les HAM, surtout les BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylène) se trouvent dans l'essence ainsi qu'en faible quantité dans d'autres produits pétroliers comme le fuel domestique, le gazole ou le kérosène. L'essence p. ex., peut contenir jusqu'à 1% de benzène, 3% d'éthylbenzène ainsi que du toluène et des xylènes chacun au-delà de 10%. En 2002, 3.8 millions de tonnes d'essence automobile ont été consommées en Suisse^[36]. De plus, les HAM sont souvent employés comme produits de base pour les synthèses chimiques et comme solvants.

Les HAM peuvent d'une part s'évaporer dans l'air (p. ex. lors des activités de transport, stockage, transbordement et remplissage de carburants, lors du fonctionnement de moteurs à explosion, ainsi qu'au cours de l'utilisation de solvants dans les colorants ou dans l'industrie chimique). D'autre part, ils peuvent se retrouver dissous dans les eaux de surface et les eaux souterraines par l'intermédiaire de la pluie. Cependant, du fait de leur grande volatilité, de leur haute réactivité et de leur relativement faible solubilité dans l'eau, ce type d'apport reste en général d'importance limitée. Les principales sources d'apport dans l'eau souterraine seraient les négligences lors de l'utilisation des solvants, leur élimination incorrecte ainsi que les accidents et les installations de stockage défectueuses.

La solubilité des HAM est en général relativement faible, mais souvent sensiblement plus élevée que pour les phytosanitaires. Alors que l'atrazine, le produit phytosanitaire le plus couramment rencontré dans l'eau souterraine, a une solubilité de seulement 28 mg/l (à 20 °C), la solubilité à 20 °C est de près de 1770 mg/l pour le benzène, 870 mg/l pour l'éthylbenzène, 500 mg/l pour le toluène et 200 mg/l pour le xylène.

D'autres formes benzéniques avec des radicaux d'alcane substitués comme p. ex. les différents triméthylbenzènes ou avec des radicaux d'alcènes substitués comme le styrène (vinylbenzène), appartiennent aux HAM. Les HAM halogénés, comme p. ex. le chlorobenzène, se trouvent également dans ce groupe, il s'ensuit un chevauchement avec la catégorie des hydrocarbures halogénés.

Exigence chiffrée OEaux pour l'eau souterraine : 1 µg/l au maximum

Pour les HAM, l'exigence chiffrée OEaux^[17] applicable à l'eau souterraine utilisée comme eau potable est de 1 µg/l pour chaque substance.

2.3.3.2 Résultats

Au cours de la période 1997–2001, le nombre de stations disponibles augmente de 2 (1997) à 39 (2001). Les HAM ont été décelés dans 15% des stations. La substance rencontrée le plus souvent est le toluène (valeur moyenne des 9 analyses \geq limite de quantification, sur un total de 262, = 2.02 µg/l, valeur maximale = 10.5 µg/l).

Toluène : HAM le plus souvent rencontré

En 2002 et 2003, 210 respectivement 401 stations ont été analysées (soit un ensemble de 413²⁴ pour les deux années). Les HAM ont été décelés dans 11.9% des sta-

²⁴ Le nombre plus élevé de stations pour l'ensemble des deux années, provient du fait que certaines stations n'ont été analysées que sur une année.

tions. La substance rencontrée le plus souvent est à nouveau le toluène (valeur moyenne des 53 analyses \geq limite de quantification, sur un total de 1205, = 0.26 $\mu\text{g/l}$, valeur maximale = 3.5 $\mu\text{g/l}$; cf. tab. 23).

Tab. 23 : Les six HAM rencontrés le plus souvent en 2002/2003 (résultats détaillés de tous les HAM analysés cf. annexe 1).

	Stations				Mesures			Statistique (seulement les mesures \geq LQ)					
	LQ ($\mu\text{g/l}$)	n	\geq LQ	>limite	n	\geq LQ	>limite	min. ($\mu\text{g/l}$)	max. ($\mu\text{g/l}$)	moyenne ($\mu\text{g/l}$)	médiane ($\mu\text{g/l}$)	1 ^{er} quar-tile ($\mu\text{g/l}$)	3 ^{ème} quar-tile ($\mu\text{g/l}$)
2002													
Toluène	0.03–0.2	210	10	0	315	11	0	0.10	0.30	0.17	0.20	0.10	0.20
Ethylbenzène	0.03–0.2	210	3	0	315	3	0	0.10	0.10				
Benzène	0.03–0.2	210	1	0	315	1	0	0.10	0.10				
1,2,4-triméthylbenzène	0.03–0.2	177	1	0	244	1	0	0.07	0.07				
1,3,5-triméthylbenzène	0.03–0.2	177	1	0	244	1	0	0.05	0.05				
Styrène	0.03–0.2	177	1	0	244	1	0	0.50	0.50				
2003													
Toluène	0.01–0.5	400	37	1	890	42	1	0.02	3.50	0.28	0.10	0.10	0.20
m/p-xylène ²⁵	0.01–0.5	365	6	1	782	7	1	0.20	1.70	0.54	0.20	0.20	0.65
Benzène	0.01–0.5	400	4	1	890	5	2	0.10	9.50	2.88	0.80	0.40	3.60
1,2,4-triméthylbenzène	0.03–0.5	335	3	0	724	3	0	0.05	0.54				
Ethylbenzène	0.01–0.5	400	2	0	890	2	0	0.10	0.20				
o-xylène	0.01–0.5	365	1	1	782	2	2	2.40	2.50				

LQ = limite de quantification, n = nombre, limite = exigence chiffrée OEaux (1 $\mu\text{g/l}$ pour chaque substance)

Le faible nombre de stations disponibles avant 2002, limite l'interprétation des données à partir de cette date (cf. tab. 24).

Tab. 24 : HAM, teneur maximale par substance. Interprétation des analyses par station.

Année	Valeurs \geq LQ		$\leq 0.1 \mu\text{g/l}$		0.1–1 $\mu\text{g/l}$		$> 1 \mu\text{g/l}$	
	n	%	n	%	n	%	n	%
2002	11	5	1	0.5	10	4.5	0	0
2003	44	11	20	5.0	22	5.5	2	0.5
2002/2003	49	11.9	19	4.6	28	6.8	2	0.5

LQ = limite de quantification, n = nombre de stations

La moyenne des teneurs maximales en HAM des stations avec résultats \geq limite de quantification, se monte à 0.68 $\mu\text{g/l}$ pour le total des substances et à 0.48 $\mu\text{g/l}$ par substance. Six HAM différents ont été rencontrés au maximum par station.

L'exigence chiffrée OEaux (1 $\mu\text{g/l}$) a été dépassée dans six analyses.

²⁵ Pour certaines stations, le total des isomères du xylène a été analysé en lieu et place de chaque isomère différencié.

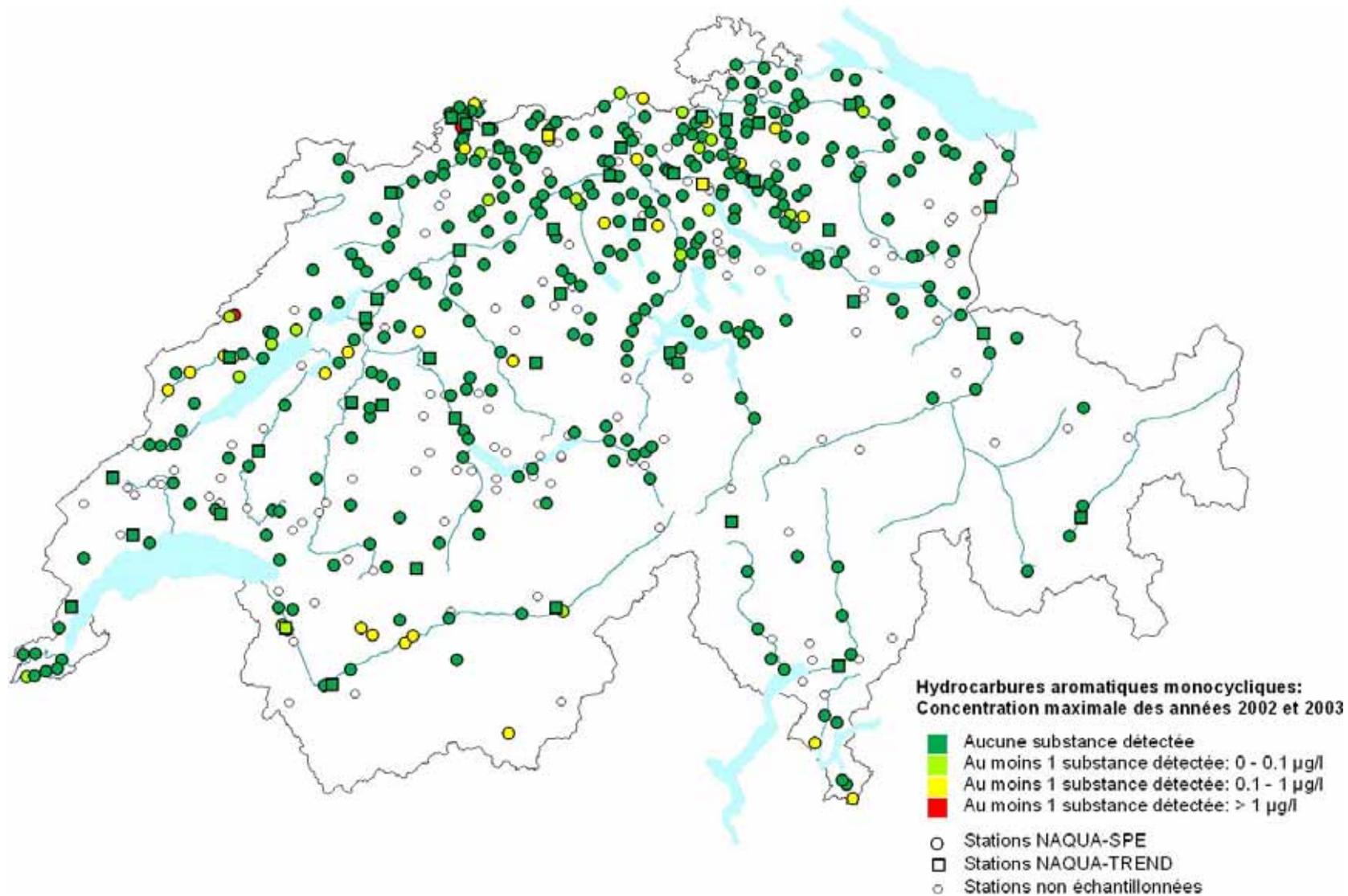


Fig. 42 Teneurs maximales en HAM (par substance, surtout BTEX) des stations analysées en 2002/2003 (fond cartographique^[22]).
La catégorie 0–0.1 µg/l a été différenciée, car tous les laboratoires ne sont pas en état de déceler des teneurs aussi basses.

2.3.4 MTBE

2.3.4.1 Introduction

MTBE :
100'000 t utilisées
annuellement en Suisse

Le **MTBE** (**M**éthyl-**T**ert-**B**utyl**E**ther) est l'une des substances chimiques organiques les plus produites et les plus utilisées dans le monde. Depuis 1985, il a peu à peu remplacé le plomb comme agent anti-détonnant dans l'essence. Le MTBE est relativement bien soluble dans l'eau (50 g/l à 25 °C). Il est cependant mal adsorbé par les particules du sol et peu dégradé dans le sous-sol. De plus sur la quantité énorme de 100'000 t utilisées annuellement en Suisse, une estimation chiffre entre 500 et 2600 t les pertes par évaporation dans l'environnement^[37,38], auxquelles s'ajoute une quantité difficilement estimable provenant des accidents et des fuites de réservoirs.

Le MTBE a un seuil de détection olfactive et gustative très bas : des personnes aux sens très aiguisés peuvent constater une dégradation de l'odeur et du goût de l'eau déjà à partir de 2.5 µg/l. Il peut ainsi, à très faible concentration et malgré sa faible toxicité, rendre l'eau impropre à la consommation. Du fait de sa grande persistance et mobilité et, de son seuil de détection olfactive et gustative bas, le MTBE représente un risque potentiel pour l'eau souterraine utilisée comme eau potable. Dans certains pays (surtout aux USA et particulièrement en Californie) de nombreux captages présentent des teneurs en MTBE rendant l'eau souterraine inutilisable comme eau potable. En Suisse également, au cours des dernières années, le MTBE a été de plus en plus souvent décelé dans les eaux souterraines, toutefois et à une exception près, dans un domaine de concentrations nettement en dessous de son seuil de détection olfactive et gustative. Pour diverses raisons, la situation en Suisse concernant le MTBE, est beaucoup moins problématique qu'en Californie p. ex. (prescriptions plus sévères pour les installations de stockage, teneur moyenne en MTBE plus faible dans l'essence).

MTBE :
exigence chiffrée
seulement pour les sites
contaminés

Concernant le MTBE dans l'eau souterraine et l'eau potable, il n'y a actuellement en Suisse pas de limite légale (exigence chiffrée OEaux^[17], valeur de tolérance ou valeur limite OSEC^[18]). Seule l'Ordonnance sur les sites contaminés fournit une valeur de concentration de 200 µg/l pour l'évaluation des sites pollués. Les « Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines »^[19] donnent une valeur indicative de 2 µg/l pour l'eau souterraine. En cas de dépassement de cette valeur, il serait judicieux d'effectuer des recherches sur l'origine de la pollution et d'appliquer les mesures requises.

2.3.4.2 Résultats

Au cours de la période 1997–2001, le nombre de stations disponibles augmente de 2 (1997) à 39 (2001). Le MTBE a été décelé une fois dans 23% des stations (valeur moyenne des 9 analyses \geq limite de quantification, sur un total de 200, = 0.19 µg/l, valeur maximale = 0.35 µg/l).

Traces de MTBE dans 20%
des stations analysées en
2002 et 2003

En 2002 et 2003, 210 respectivement 400 stations ont été analysées (soit un ensemble de 413 pour les deux années). Le MTBE a été décelé dans 19.8% des stations (valeur moyenne des 159 analyses \geq limite de quantification, sur un total de 1203, = 0.15 µg/l, valeur maximale = 2.1 µg/l ; tab. 25).

Tab. 25 : Résultats des analyses de MTBE 2002/2003.

	Stations				Mesures			Statistique (seulement les mesures \geq LQ)					
	LQ ($\mu\text{g/l}$)	n	\geq LQ	>limite	n	\geq LQ	>limite	min. ($\mu\text{g/l}$)	max. ($\mu\text{g/l}$)	moyenne ($\mu\text{g/l}$)	médiane ($\mu\text{g/l}$)	1 ^{er} quartile ($\mu\text{g/l}$)	3 ^{ème} quartile ($\mu\text{g/l}$)
2002													
MTBE	0.03–0.2	210	21	0	315	24	0	0.03	0.50	0.13	0.10	0.06	0.17
2003													
MTBE	0.03–1	400	72	1	888	135	1	0.03	2.10	0.15	0.09	0.05	0.19

LQ = limite de quantification ; n = nombre ; limite = valeur indicative des « Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines » (2 $\mu\text{g/l}$)

Le faible nombre de stations disponibles avant 2002, limite l'interprétation des données à partir de cette date (cf. tab. 26).

Tab. 26 : MTBE, teneur maximale. Interprétation des analyses par station.

Année	Valeurs \geq LQ		$\leq 0.1 \mu\text{g/l}$		0.1–2 $\mu\text{g/l}$		$>2 \mu\text{g/l}$	
	n	%	n	%	n	%	n	%
2002	21	10	15	7.1	6	2.9	0	0
2003	72	18	45	11.2	26	6.5	1	0.3
2002/03	82	19.8	52	12.6	29	7	1	0.2

LQ = limite de quantification ; n = nombre

Alors qu'au cours des années 2002 et 2003 le MTBE a pu être décelé dans presque 20% des stations analysées, il est vrai que la valeur indicative des « Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines »^[19] de 2 $\mu\text{g/l}$ n'est dépassée que dans une station et la deuxième valeur la plus élevée s'établit à 0.5 $\mu\text{g/l}$.

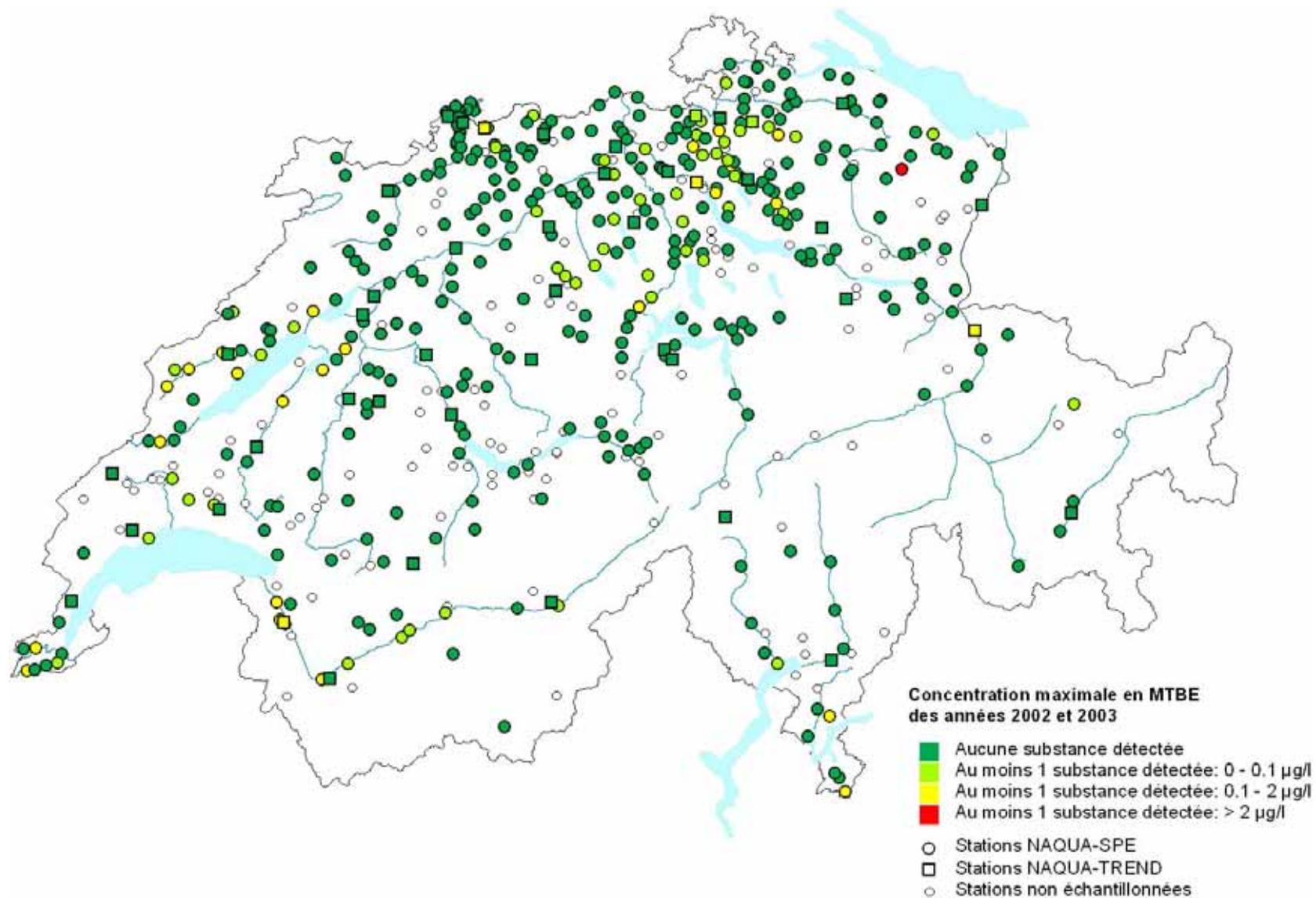


Fig. 43 : Teneurs maximales en MTBE des stations analysées en 2002/2003 (fond cartographique^[22]). La catégorie 0–0.1 µg/l a été différenciée car tous les laboratoires ne sont pas en état de déceler des teneurs aussi basses.

2.3.5 Hydrocarbures (aliphatiques) halogénés volatils (HHV)

2.3.5.1 Introduction

HHV :
utilisation très répandue

Les HHV contiennent des halogènes (chlore, fluor, brome, iode) à la place d'un ou plusieurs atomes d'hydrogène. Il s'agit de produits souvent utilisés dans l'industrie et l'artisanat (produits de base et intermédiaires pour la synthèse des plastiques, diluant pour colles, laques, colorants et autres enduits, solvant dans l'usinage des métaux et le nettoyage chimique, produits d'extraction pour graisse, pesticides, etc.). Les HHV peuvent aussi se former comme sous-produits indésirables de réactions chimiques et lors de l'incinération des plastiques ou d'autres HHV (p. ex. chloroforme et autres trihalométhanes lors de la désinfection de l'eau au chlore, en présence de matière organique ou lors du blanchiment au chlore).

Les HHV sont souvent toxiques ou cancérigènes. Généralement très stables, ils s'accumulent dans les tissus adipeux des êtres vivants et s'avèrent le plus souvent difficilement biodégradables. Des représentants notoires des HHV sont en plus des trihalométhanes, le 1,1,1-trichloréthane, le trichloréthène (synonyme : Tri, trichloroéthylène), le tétrachloréthène (synonyme : Per, perchloréthylène), le tétrachlorométhane (synonyme : tétrachlorure de carbone) ainsi que les chloro-fluoro-carbones (CFC, fréons). Les hydrocarbures halogénés peu volatils comme les PCB, les dioxines et les furanes n'ont pas été analysés dans le cadre de NAQUA. Par contre, certains des produits phytosanitaires analysés se trouvent dans cette catégorie (p. ex. DDT ou lindane).

Du fait de leur toxicité et de leur pouvoir cancérigène en partie élevés, des efforts pour réduire l'utilisation des hydrocarbures halogénés volatils ont été entrepris depuis environ 20 ans. Leur emploi a effectivement baissé.

HHV:
exigence chiffrée OEaux
pour l'eau souterraine :
1 µg/l par substance au
maximum

Concernant les HHV, l'exigence chiffrée OEaux^[17] applicable à l'eau souterraine utilisée comme eau potable est de 1 µg/l pour chaque substance. La valeur de tolérance OSEC^[18] pour l'eau potable s'élève à 20 µg/l (somme, calculée en chlore) pour l'eau traitée au chlore ou bien de 8 µg/l (somme, calculée en chlore) pour l'eau provenant de l'environnement.

2.3.5.2 Résultats

Au cours de la période 1997–2001, le nombre de stations disponibles augmente de 2 (1997) à 39 (2001). Les HHV ont été décelés dans 33% des stations. La substance la plus souvent rencontrée est le tétrachloréthène (valeur moyenne des 65 analyses \geq limite de quantification, sur un total de 268, = 1.64 µg/l, valeur maximale = 10.6 µg/l).

HHV :
traces dans 32.5% des
stations analysées

En 2002 et 2003, 210 respectivement 401 stations ont été analysées (soit un ensemble de 413 pour les deux années) et les HHV ont été décelés dans 32.5% des stations. La substance rencontrée le plus souvent est à nouveau le tétrachloréthène (valeur moyenne des 265 analyses \geq limite de quantification, sur un total de 1231, = 1.05 µg/l, valeur maximale = 25 µg/l ; cf. tab. 27).

Le faible nombre de stations disponibles avant 2002, limite l'interprétation des données à partir de cette date (cf. tab. 27 et 28).

Tab. 27 : Les six HHV rencontrés le plus souvent en 2002/2003 (résultats détaillés de tous les HHV analysés cf. annexe 1).

	Stations				Mesures			Statistique (seulement les mesures \geq LQ)					
	LQ ($\mu\text{g/l}$)	n	\geq LQ	>limite	n	\geq LQ	>limite	min. ($\mu\text{g/l}$)	max. ($\mu\text{g/l}$)	moyenne ($\mu\text{g/l}$)	médiane ($\mu\text{g/l}$)	1 ^{er} quartile ($\mu\text{g/l}$)	3 ^{ème} quartile ($\mu\text{g/l}$)
2002													
Tétrachloréthène	0.02–0.2	210	32	4	353	70	14	0.02	8.80	0.65	0.30	0.16	0.45
Trichloréthène	0.03–0.2	210	25	1	353	35	1	0.05	1.79	0.30	0.20	0.10	0.35
1,1,1-trichloréthène	0.03–0.2	210	19	1	353	33	1	0.05	3.80	0.45	0.14	0.10	0.25
Chloroforme	0.05–0.5	195	12	0	324	15	0	0.05	0.55	0.22	0.13	0.11	0.25
Trichlorofluorométhane	0.05	57	5	0	57	5	0	0.05	0.46	0.22	0.18	0.16	0.25
cis-1,2-dichloréthène	0.05–0.2	162	2	0	215	3	0	0.30	0.42				
2003													
Tétrachloréthène	0.01–0.2	371	73	20	878	195	50	0.02	25.00	1.19	0.36	0.16	1.05
Trichloréthène	0.01–0.2	371	70	9	878	181	16	0.03	5.40	0.44	0.25	0.10	0.44
Chloroforme	0.01–0.2	356	46	0	834	103	0	0.02	0.73	0.23	0.20	0.09	0.31
1,1,1-trichloréthène	0.01–0.2	371	44	7	878	105	12	0.01	5.20	0.49	0.10	0.08	0.38
Trichlorofluorométhane	0.01–0.2	226	13	1	424	19	2	0.01	1.46	0.22	0.10	0.02	0.14
cis-1,2-dichloréthène	0.03–0.2	308	11	0	645	27	0	0.03	0.80	0.28	0.21	0.13	0.40

LQ = limite de quantification ; n = nombre ; limite = exigence chiffrée OEaux^[17] (1 $\mu\text{g/l}$ pour chaque substance)

Tab. 28 HHV, teneur maximale par substance. Interprétation des analyses par station.

Année	Valeurs \geq LQ		0.03–0.1 $\mu\text{g/l}$		0.1–1 $\mu\text{g/l}$		>1 $\mu\text{g/l}$	
	n	%	n	%	n	%	n	%
2002	54	25.5	5	2.5	43	20.5	6	3
2003	130	32.5	19	4.5	80	20	31	7.5
2002/03	134	32.5	16	4	87	21	31	7.5

LQ = limite de quantification ; n = nombre de stations

Les HHV sont les hydrocarbures les plus souvent rencontrés, tétrachloréthène en tête

Les HHV sont de loin les hydrocarbures les plus fréquemment trouvés. En 2002 et 2003, un total de 18 HHV différents a pu être décelé. Les 851 détections de HHV se répartissent en 265 cas (31%) pour le tétrachloréthène, 216 cas (25%) pour le trichloréthène, 138 cas (16%) pour le 1,1,1-trichloréthane et 118 cas (14%) pour le chloroforme (cf. annexe 1 et fig. 45). Ces quatre substances représentent donc au total 86% des détections de HHV.

La moyenne des teneurs maximales en HHV aux stations à résultat \geq limite de quantification se monte à 1.5 $\mu\text{g/l}$ pour le total des substances et à 1.2 $\mu\text{g/l}$ par substance.

HHV: exigence chiffrée OEaux pour l'eau souterraine dépassée dans 7.5% des stations analysées

L'exigence chiffrée OEaux (1 $\mu\text{g/l}$) a été dépassée dans 31 cas (7.5%) : dans 20 cas pour le tétrachloréthène (valeur maximale par station de 1.3 à 25 $\mu\text{g/l}$), dans 9 stations pour le trichloréthène (1.1 à 5.4 $\mu\text{g/l}$), dans 6 cas pour le 1,1,1-trichloréthane (2 à 5.2 $\mu\text{g/l}$), deux fois pour le bromoforme (1.66 et 1.74 $\mu\text{g/l}$) ainsi qu'une fois pour le trichlorofluorométhane (1.46 $\mu\text{g/l}$) et une fois pour le dibromochlorométhane (1.17 $\mu\text{g/l}$). La somme des HHV la plus élevée se monte à 25.8 $\mu\text{g/l}$ et la teneur maximale pour une substance à 25 $\mu\text{g/l}$. La valeur de tolérance OSEC pour l'eau non chlorée (somme des HHV = 8 $\mu\text{g/l}$ au maximum, calculée en chlore) a été dépassée dans trois stations.

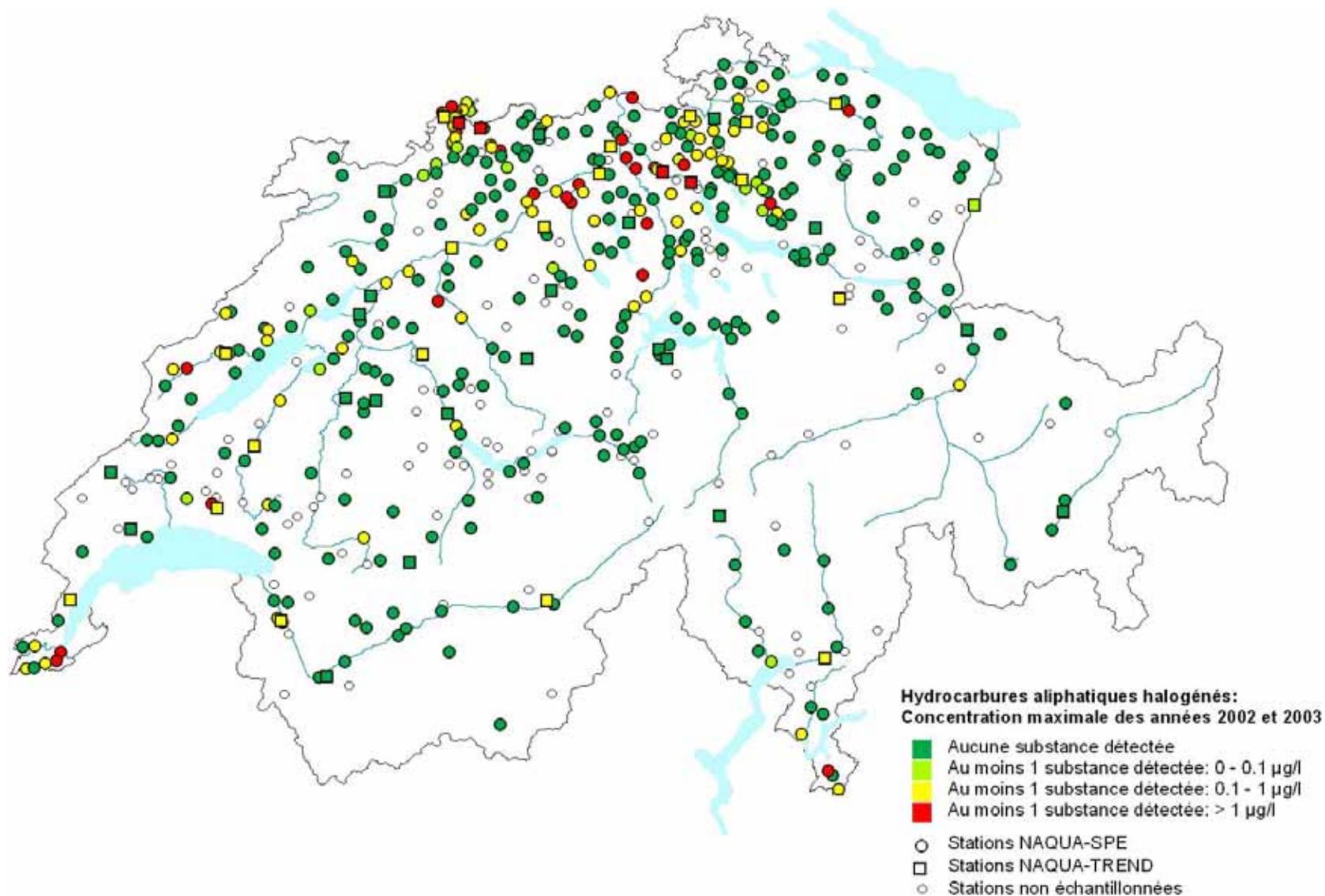


Fig. 44 : Teneurs maximales en HHV (par substance) des stations analysées en 2002/2003 (fond cartographique^[22]). La catégorie 0–0.1 µg/l a été différenciée car tous les laboratoires ne sont pas en état de déceler des teneurs aussi basses.

2.3.6 Autres hydrocarbures

Les autres hydrocarbures analysés comprennent les hydrocarbures aliphatiques comme p. ex. le n-hexane ou le n-octane (composants des carburants) ou les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) comme le naphthalène (à l'époque dans les boules anti-mites, actuellement surtout dans les produits de bases des colorants, des produits phytosanitaires, des solvants, etc.). Les hydrocarbures aliphatiques ont été analysés chaque fois (2002 et 2003) dans 15 stations et le naphthalène dans 162 (2002) et 308 (2003) stations. Seul le naphthalène a pu être décelé et ceci une seule fois en 2003 dans une station, avec une valeur de 0.08 µg/l, soit juste en dessous de l'exigence chiffrée OEaux (0.1 µg/l)^[17].

2.3.7 Réflexion sur l'ensemble des substances

Hydrocarbures et MTBE: vue d'ensemble

Dans le groupe de substances provenant typiquement de l'industrie et des voies de communication, le MTBE est le plus souvent rencontré, suivi de près par le tétrachloréthène et le trichloréthène. Il convient cependant de noter que ces deux dernières substances ne font pas partie du programme de base d'analyses. Elles ont toutefois été analysées dans 383 stations, contre 413 pour le MTBE. La prise en considération du dépassement de l'exigence chiffrée OEaux ou du dépassement de la valeur indicative des « Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines », fait alors passer le tétrachloréthène en tête et, vu sous cet aspect, le MTBE ne pose pas de problème (cf. fig. 45).

Dans 40% des stations avec détections : une seule substance a été décelée

Une seule substance a été décelée dans 76 des 186 stations présentant des concentrations d'hydrocarbures et de MTBE \geq limite de quantification ; mais au maximum, 10 substances ont été décelées à une même station (cf. fig. 46).

Il faut toutefois encore signaler que seules 5 substances ont été analysées dans toutes les stations (en comptant les divers isomères du xylène comme une substance. Seules 9 autres substances ont été analysées sur plus de 80% des stations et toutes les autres substances sur seulement 4 à 80% des stations.

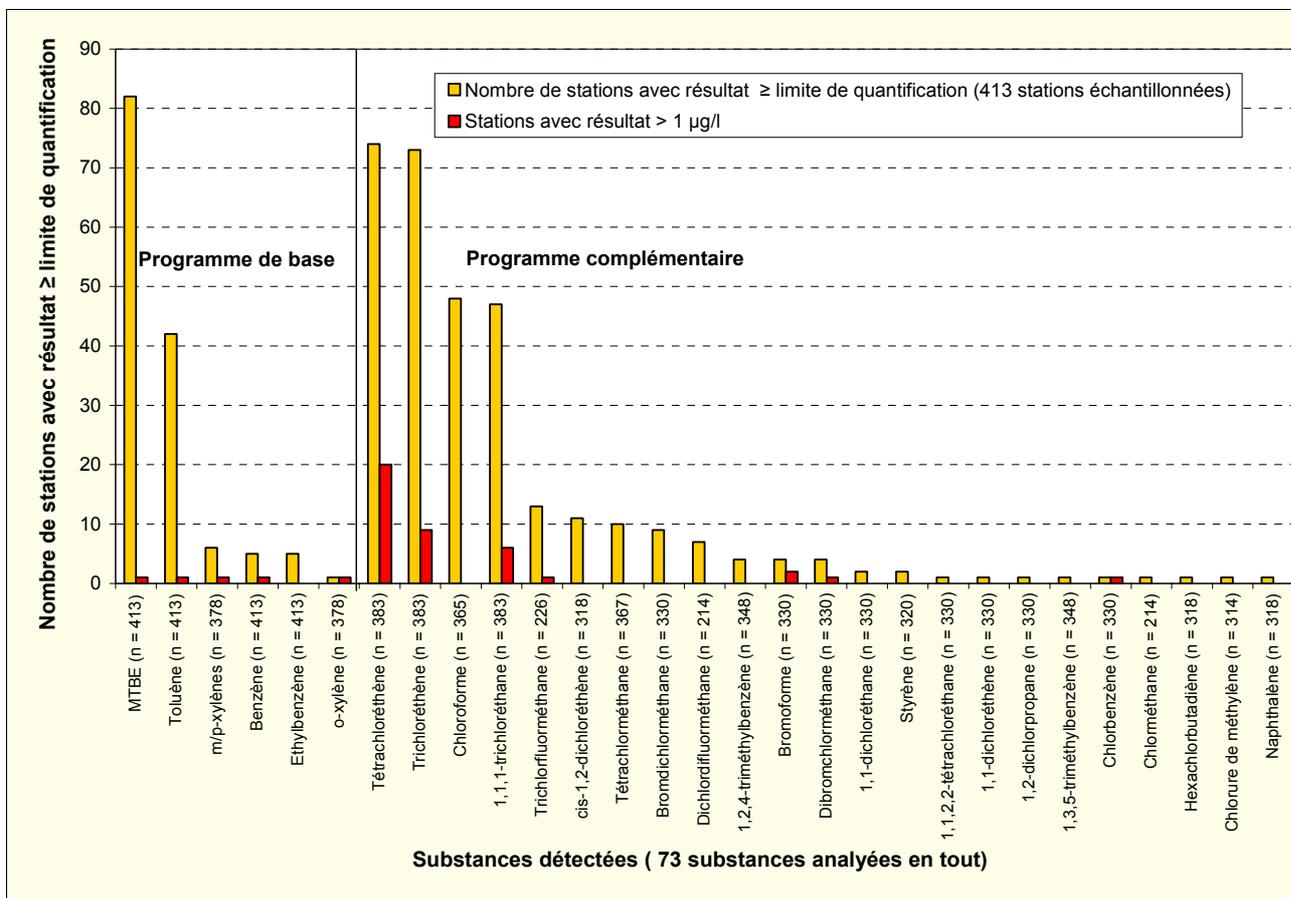
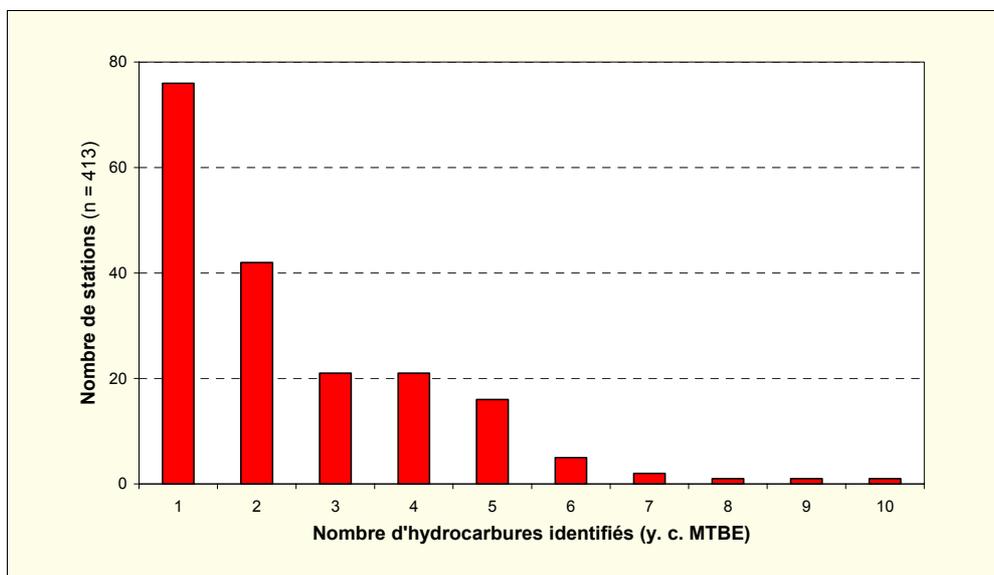


Fig. 45 : Hydrocarbures et MTBE décelés en 2002 et 2003 : n = nombre de stations analysées par substance (o-xylène : pour 35 stations supplémentaires seule la somme de tous les isomères du xylène a été analysée, sans que ces substances ne soient décelées).

Fig. 46 : Nombre de détections des divers hydrocarbures et du MTBE par station en 2002 et 2003 (seules 5 substances analysées dans toutes les stations).



Hydrocarbures et MTBE :
répartition des détections
en fonction de la principale
utilisation du sol, de l'alti-
tude et de la zone agricole

L'interprétation des hydrocarbures et du MTBE décelés dans les différentes eaux souterraines étudiées, a été réalisée selon les mêmes principes que pour les nitrates et les produits phytosanitaires (cf. chap. 1.5.2).

Fig. 47 :
Pourcentage de répartition en 2002 et 2003, des détections et des teneurs maximales >1 µg/l, pour les hydrocarbures (HC, toutes les substances), les HHV et le MTBE en fonction de la principale occupation du sol. Le MTBE est inclus dans le total des HC.
n = nombre de stations ;
LQ = limite de quantification

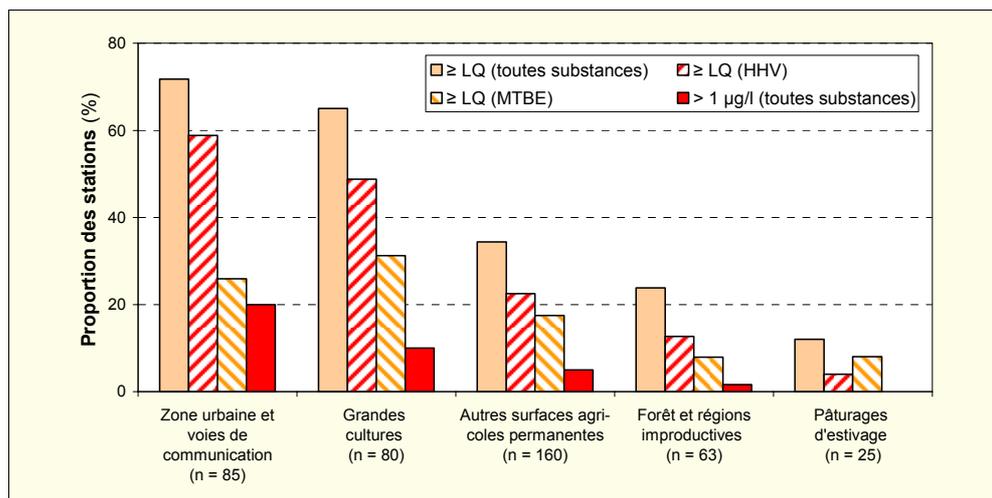


Fig. 48 :
Pourcentage de répartition en 2002 et 2003, des détections et des teneurs maximales >1 µg/l, pour les hydrocarbures (toutes substances), les HHV et le MTBE, en fonction de l'altitude. Le MTBE est inclus dans le total des hydrocarbures.
n = nombre de stations ;
LQ = limite de quantification.

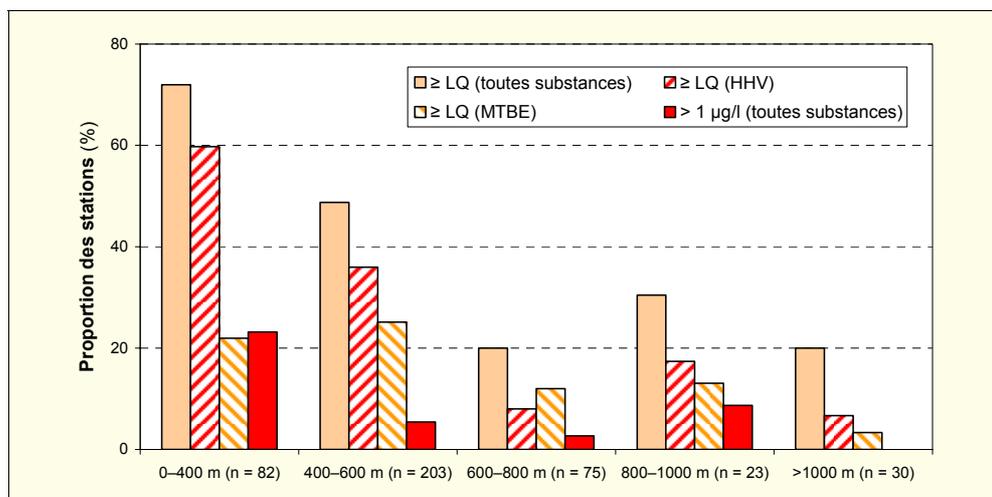
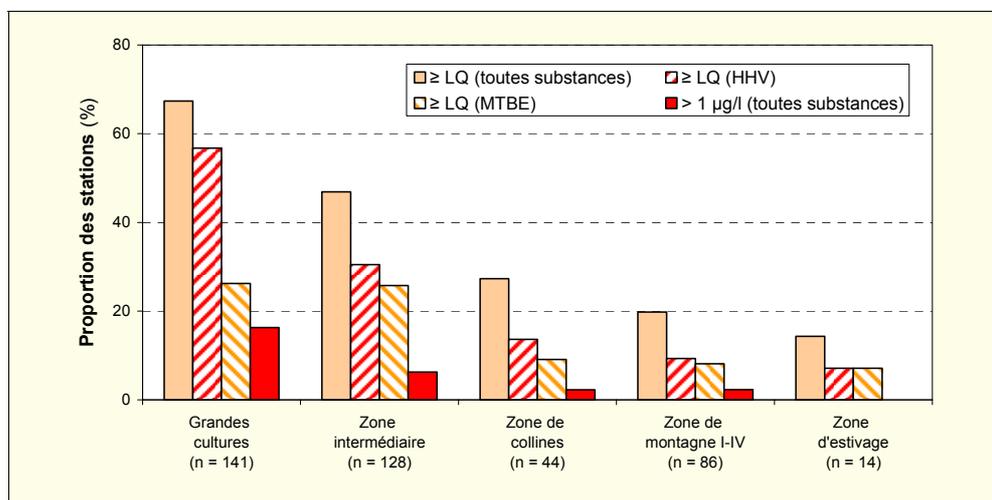


Fig. 49 :
Pourcentage de répartition en 2002 et 2003, des détections et des teneurs maximales >1 µg/l, pour les hydrocarbures (toutes substances), les HHV et le MTBE, en fonction des zones agricoles. Le MTBE est inclus dans le total des hydrocarbures.
n = nombre de stations ;
LQ = limite de quantification



2.3.8 Interprétation

2.3.8.1 Généralités

Hydrocarbures et MTBE :
moins souvent rencontrés
que les produits
phytosanitaires

Les hydrocarbures et le MTBE ont été proportionnellement moins souvent rencontrés que les produits phytosanitaires (environ 45% de stations à résultats \geq limite de quantification contre 60%). Toutefois en 2002, les résultats proviennent seulement de 7 cantons pilotes et du module NAQUA_{TREND}, si bien que la base de données est globalement plus mince que pour les produits phytosanitaires.

Dans les grandes lignes, les hydrocarbures montrent l'image attendue. Plus une région est urbanisée et soumise à une exploitation intensive, plus on découvre de pollutions par hydrocarbures dans l'eau souterraine, plus les substances rencontrées sont nombreuses et plus les valeurs maximales sont en général élevées.

Hydrocarbures et MTBE :
surtout rencontrés en
zones urbanisées

Bien que dans un grand nombre de stations avec la principale utilisation du sol « grandes cultures » ou « autres surfaces agricoles permanentes » (le critère de sélection) des hydrocarbures ou du MTBE sont décelés, un examen détaillé de l'environnement proche de ces stations (jusqu'à une distance maximale de 1 km), montre sur une majorité d'entre elles, la présence d'éléments urbains importants : autoroutes, routes principales, voies ferrées, aérodromes, stations-service, raffineries, réservoirs, zones industrielles, quartiers d'habitations. D'anciennes exploitations de graviers, de tourbe et d'argile se trouvant également dans l'environnement proche de nombreuses stations, la présence de sites pollués n'est pas à exclure.

Malgré tout, quelques détections se rencontrent aussi dans des réservoirs aquifères pratiquement sans influence anthropique, en partie d'ailleurs à haute altitude. Pour certaines stations, ceci constitue un indice de la vaste diffusion des BTEX ou des HHV comme solvants (colorants, nettoyeurs pour pinceaux, pesticides, matériaux de construction, etc.) ou comme constituants des carburants. Par contre, pour d'autres stations avec une seule détection, il pourrait également s'agir de contaminations lors de l'échantillonnage. Pour les très faibles concentrations rencontrées, la plus petite salissure (p. ex. des traces d'essence sur les mains ou les habits de la personne chargée du prélèvement) suffit déjà pour contaminer l'échantillon (avec du toluène p. ex.).

2.3.8.2 Hydrocarbures aromatiques monocycliques (surtout les BTEX)

HAM (2002–2003) :
traces dans 12% des
stations analysées

Les HAM ont été rencontrés dans près de 12% des stations analysées, majoritairement en concentrations relativement faibles. La substance la plus fréquente est le toluène, largement répandu aussi bien comme solvant que comme constituant de l'essence. Le nombre relativement faible de détections ne permet pas de faire une analyse statistique nuancée, en fonction de la principale utilisation du sol dans le bassin d'alimentation.

Cependant, une certaine relation existe entre les détections d'hydrocarbures et l'intensité d'utilisation du sol. Les stations où les HAM ont été décelés sont nettement plus nombreuses dans la principale utilisation du sol « zone urbanisée et voies

de communication » (16.5%), que dans les autres types d'utilisation (seulement 10.5% de stations avec valeurs \geq limite de quantification). De même, la moyenne des teneurs maximales en HAM dans la principale utilisation du sol « zone urbanisée et voies de communication » est avec 0.9 $\mu\text{g/l}$, trois fois plus élevée que dans les autres types d'utilisation.

Toluène :
traces relativement
fréquentes dans les
sources karstiques

Cependant, il est frappant qu'à coté des captages en zones urbanisées ou traversées par de grandes routes, certains captages situés dans des régions très agricoles ou même en montagne, puissent présenter des traces de toluène. La relative fréquence des détections de toluène dans les sources karstiques analysées, frappe aussi. La couche de sol protectrice, susceptible de retenir des carburants ou des solvants répandus, manque souvent sur ces réservoirs aquifères, si bien que de petites fuites de carburant peuvent, le cas échéant, suffire à provoquer une pollution de l'eau souterraine.

La série d'observations est encore trop courte pour permettre de tirer des conclusions sur le comportement à long terme des hydrocarbures aromatiques monocycliques aux stations analysées. Il semble s'agir ici, principalement d'apparitions sporadiques, ce qui fait penser à des apports locaux de petites quantités de solvant ou d'essence, provenant probablement entre autres d'utilisations négligentes ou de pertes par goutte-à-goutte provenant des voitures garées. Le toluène n'a ainsi été décelé plus d'une fois, que dans 7 des 42 stations avec des valeurs \geq limite de quantification.

L'exigence chiffrée OEaux (teneur maximale en HAM de 1 $\mu\text{g/l}$)^[17] n'a été dépassée que dans deux stations : un lieu d'accident bien connu en zone urbaine d'une part et une source karstique située également en milieu urbain d'autre part.

2.3.8.3 Méthyl-tert-butyléther (MTBE)

MTBE :
en tête parmi les sub-
stances de la campagne
« Trafic et industrie »

Parmi les polluants du trafic et de l'industrie, le MTBE est la substance individualisée la plus souvent rencontrée. Ces fréquentes apparitions ne sont pas étonnantes, eu égard à l'énorme quantité de MTBE employée et à ses propriétés environnementales. Pourtant la fréquence ainsi que les concentrations rencontrées restent dans l'ensemble relativement faibles, en comparaison aux produits phytosanitaires et aux hydrocarbures chlorés.

Le nombre de détections et les concentrations en MTBE rencontrées sont en nette relation avec le degré d'urbanisation d'une région.

Par contre, cette relation n'apparaît pas aussi nette quant à la principale utilisation du sol dans le bassin d'alimentation du captage concerné. La concentration maximale moyenne en MTBE est presque deux fois plus élevée pour le type d'utilisation « zone urbanisée et voies de communication » que pour le type « grandes cultures » (0.23 $\mu\text{g/l}$ contre 0.13 $\mu\text{g/l}$), mais le nombre de stations avec valeurs \geq limite de quantification, situées en « grandes cultures » se monte à près de 31%, contre seulement 26% pour les zones urbanisées.

MTBE :
fréquence dans l'eau
souterraine liée au degré
d'urbanisation

Au niveau régional, le résultat apparaît cependant sans équivoque. Le nombre de détections du MTBE dans l'eau souterraine dépend du degré d'urbanisation d'une région : densité de la circulation automobile, nombre de stations-service, présence de réservoirs et de raffinerie, densité des voies de circulation à proximité des stations. En dessous d'une altitude de 600 m, 24% des stations analysées présentent des traces de MTBE, contre seulement 7.5% des stations situées au dessus de 800 m. Les concentrations en MTBE rencontrées ainsi que la répartition régionale confirment largement l'hypothèse, selon laquelle la majeure partie du MTBE présent dans l'eau souterraine provient des pertes diffuses (évaporation lors des opérations de remplissage et lors du fonctionnement des véhicules à moteurs) puis de leur apport à partir de l'atmosphère, par les précipitations^[38].

MTBE :
détections sporadiques
dans la majorité des
stations

Dans la majorité des stations avec traces de MTBE, cette substance n'apparaît que sporadiquement, c. à d. qu'il n'y a pas de pollution chronique. Ceci laisse à penser que l'apport, en relation avec l'évolution climatique à court terme et la recharge en eau souterraine (différentes conditions d'évaporation, de dégradation dans l'atmosphère, d'entraînement par la pluie, d'infiltration), n'est pas continu et n'a pas provoqué jusqu'ici un enrichissement notable dans le sous-sol (cf. tab. 29).

Tab. 29 : Fréquence de détection du MTBE par station.

	n	en % des stations avec MTBE	en % de toutes les stations
Toutes les stations avec détection de MTBE	82		20
Stations avec 100% d'analyses ≥ LQ	20	24	5
Stations avec plus de 50% d'analyses ≥ LQ	30	37	7
Stations avec moins de 50% d'analyses ≥ LQ	52	63	13

LQ = limite de quantification, n = nombre de stations

MTBE :
actuellement, problème ni
toxicologique, ni
organoleptique

Les concentrations rencontrées sont, à une exception près, nettement en dessous de la valeur indicative des « Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines » fixée à 2 µg/l^[19]. Elles ne présentent ainsi pour le moment aucun problème d'ordre toxicologique ou organoleptique (odeur, goût) pour l'eau souterraine ou l'environnement.

MTBE :
présence fréquente
indésirable

Par contre, la présence fréquente de cette substance de synthèse dans l'eau souterraine (et donc pour partie dans l'eau potable) est fortement indésirable. Elle contredit l'objectif écologique de l'OEaux^[17] pour lequel l'eau souterraine doit avoir une qualité proche de l'état naturel et ne pas contenir des substances de synthèse décelables. L'évolution ultérieure de ce polluant dans l'eau souterraine doit être attentivement observée.

La station qui présente un dépassement de la valeur indicative des « Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines », est un captage d'eau souterraine situé en aval hydraulique d'une zone industrielle. La valeur rencontrée indique un accident ou l'infiltration d'essence dans le bassin d'alimentation.

2.3.8.4 Hydrocarbures halogénés volatils (HHV)

**HHV :
tétra- et trichloréthène les
plus souvent rencontrés**

Les substances les plus souvent rencontrées sont les hydrocarbures chlorés, tétrachloréthène (Per) et trichloréthène (Tri), et un peu moins fréquemment le 1,1,1-trichloréthane et le chloroforme.

Des substances comme le trichlorofluorométhane, le dichlorodifluorométhane, le tétrachlorométhane, le bromodichlorométhane, le dibromochlorométhane, le tribromométhane, le cis-1,2-dichloréthène ou le 1,1-dichloréthane se manifestent sporadiquement. Les deux premiers sont des fréons (chlorofluorocarbones, CFC), autrefois utilisés en grandes quantités comme réfrigérants et propulseurs, mais dont la production et l'utilisation ont été depuis interdites à cause de leur effet destructif vis-à-vis de la couche d'ozone. Les autres substances sont des solvants, des sous-produits de la chloration ou des résidus de la dégradation d'autres HHV (p. ex. le cis-1,2-dichloréthène).

Du fait de leur poids spécifique supérieur à celui de l'eau et de leur faible solubilité dans l'eau en général, ces substances s'accumulent au fond des réservoirs aquifères et peuvent ainsi, des décennies après leur intrusion dans le sous-sol, encore polluer l'eau souterraine.

**HHV :
les plus nettement liés à
l'urbanisation du bassin
d'alimentation**

Les HHV présentent la corrélation positive la plus nette avec l'urbanisation du bassin d'alimentation d'un réservoir aquifère, aussi bien en pourcentage de détections qu'en concentrations rencontrées. Plus une région est urbanisée, plus les pollutions par HHV surviennent tôt et plus les concentrations dans l'eau souterraine sont élevées.

Du fait de la longévité des pollutions par les HHV, il n'est pas possible, sans de longues séries de données, de trancher si les pollutions rencontrées sont actuelles ou bien historiques (sites pollués, p.ex. entreprises de nettoyage chimique, exploitations métallurgiques ou décharges de déchets recouvertes dans le bassin d'alimentation).

Les noms de lieu-dits et les traces observables sur le terrain permettent de retrouver d'anciennes exploitations d'argile, de graviers ou de tourbe à proximité de certaines stations. La présence de sites pollués dans le remblaiement de ces sites n'est ainsi pas exclue.

Les détections de chloroforme (trichlorométhane) sont relativement fréquentes. Dans quelques cas (surtout en présence simultanée d'autres trihalométhanes), elles proviennent probablement de résidus de la désinfection par chloration des eaux captées. Ces détections indiquent un échantillonnage incorrect (prélèvement d'eau

traitée et non d'eau brute) ou un retour d'eau traitée dans le domaine de l'eau brute. Dans les autres cas, les causes probables de pollution sont les mêmes que pour les autres HHV : émissions de l'industrie et de l'artisanat ou sites pollués. Les résidus de l'emploi du chlore par les ménages (p. ex. eau de Javel utilisée comme produit de nettoyage ou comme désinfectant de piscine, etc.) sont aussi envisageables.

**HHV :
situation non alarmante,
mais insatisfaisante**

La situation dans le domaine des hydrocarbures halogénés volatils, bien que non alarmante, n'est quand même pas satisfaisante. Les HHV apparaissent en concentration inférieure à l'exigence chiffrée OEaux (1 µg/l)^[17] dans 25% de l'ensemble des stations analysées (comprenant 41% des stations avec la principale utilisation du sol « zone urbanisée et voies de communication »). Cette exigence est même dépassée dans 7.5% des stations étudiées (comprenant 18% des stations en « zone urbanisée et voies de communication »). Ceci entraîne des problèmes de qualité justifiant, selon l'utilisation de l'eau souterraine, des investigations et des travaux de dépollution selon l'article 47 OEaux.

En complément des résultats du programme NAQUA, il convient de retenir que dans le passé, certains captages d'eau potable fortement pollués par les HHV ont été abandonnés et ne sont de ce fait plus disponibles pour le réseau NAQUA. A de rares exceptions, l'aspect « sites pollués » manque aussi dans le réseau NAQUA, or ceux-ci polluent souvent l'eau souterraine avec des hydrocarbures et surtout des HHV. Les résultats du réseau NAQUA livrent donc certainement une image plutôt optimiste des concentrations en HHV dans les régions construites de Suisse.

2.4 Paramètres de base

2.4.1 Introduction

Facteurs limitant l'interprétation

Ce chapitre présente et commente la qualité de l'eau souterraine aux stations en relation avec la géologie et la principale utilisation du sol. Les paramètres déjà traités dans les chapitres précédents ne sont pas repris.

Les paramètres décrits ici ont principalement été analysés aux stations du module NAQUA_{TREND}. Les données disponibles proviennent donc en général, de 44 stations au maximum.

La durée d'observation relativement courte -- au plus de six ans pour deux stations (mise en service en 1997) et au minimum de un an pour cinq stations -- ne permet pas encore de présenter une évolution temporelle significative. Pour cette raison, la description de l'état actuel de l'eau souterraine est privilégiée. Les tendances, s'il y en a, ne peuvent se dessiner que sur de courtes périodes.

Le nombre restreint de stations disponibles n'a pas permis d'utiliser ci-après les données datant d'avant 2000. Ces données se trouvent cependant sous forme de graphiques de synthèse à l'annexe 2.

Pour l'interprétation des paramètres, mesurés uniquement aux 44 stations du module NAQUA_{TREND}, il faut en outre tenir compte du fait que seules trois stations représentent les réservoirs aquifères de la molasse (type RD) et deux stations ceux des roches cristallines (type RC).

Le type d'utilisation du sol prédominant en superficie, a été repris pour le classement des stations en fonction de la principale utilisation du sol (cf. tab. 1 et chap. 1.5.2). Des utilisations du sol peu étendues, mais qui dans certains cas, présentent une grande influence sur le chimisme de l'eau souterraine, ne sont ainsi pas prises en compte.

2.4.2 Vue d'ensemble

Stations présentant la diversité hydrochimique habituelle

La répartition des stations sur l'ensemble de la Suisse permet d'observer le spectre classique du chimisme des eaux souterraines en conditions normales. Parmi les 44 stations analysées, 38 (soit 86%) appartiennent aux deux types très proches Ca-HCO₃ et Ca-Mg-HCO₃, si bien que la variabilité du chimisme observé reste très limitée (cf. fig. 50). La conductivité électrique varie de 25 µS/cm pour l'eau souterraine d'un aquifère à composants cristallins à 1062 µS/cm pour une source émergeant de roches carbonatées. Le calcium et les bicarbonates prédominent dans les eaux analysées. Le magnésium et les sulfates sont les seuls autres éléments qui dépassent, à certaines stations, 10 méq % de la concentration totale en ions.

Les analyses chimiques complètes des 44 stations ne mettent en évidence aucune relation explicite entre le type d'eau et la géologie ou la principale utilisation du sol.

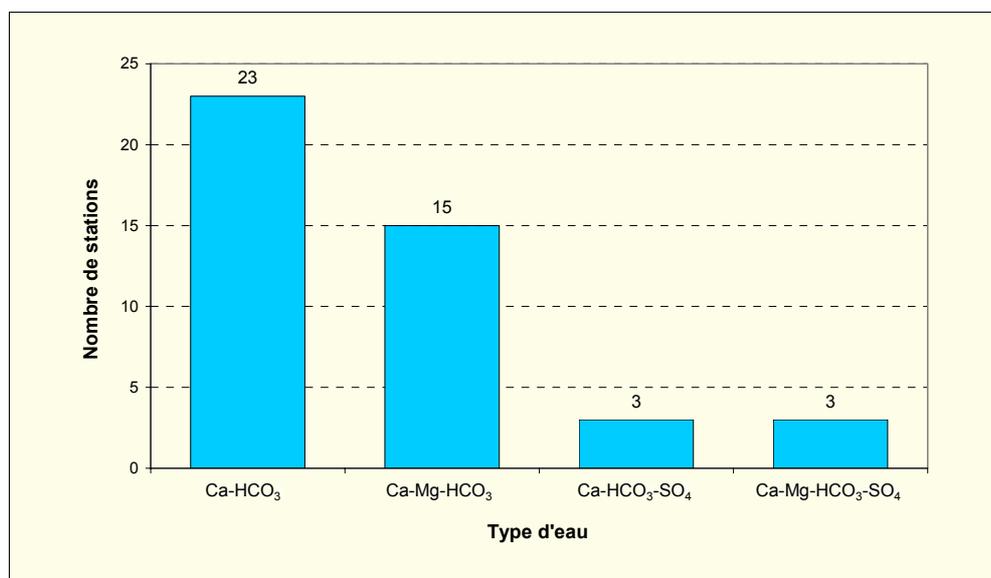


Fig. 50 : Répartition des stations NAQUA_{TREND} selon les principaux types chimiques.

Au cours de la période d'observation couvrant en partie jusqu'à six années dans le cadre des analyses NAQUA_{TREND}, une fraction seulement des éléments traces analysés a pu être décelée. Les substances suivantes n'ont été décelées que dans une partie des analyses, respectivement des stations :

Parmi les substances à peine décelées, surtout les métaux lourds

Le baryum (Ba), le bore (B), les AOX, les phosphates (PO₄) et le zinc (Zn) ont été décelés dans environ 40% (Zn) à 80% (Ba) des analyses. L'arsenic (As), le cuivre (Cu), le chrome (Cr), l'ammonium (NH₄), les nitrites (NO₂), le nickel (Ni), le béryllium (Be), le titane (Ti) et le lithium (Li) n'ont été décelés que dans des analyses isolées (cf. fig. 51).

Jusqu'à présent, le plomb (Pb), le cobalt (Co), le mercure (Hg), le cadmium (Cd), le sélénium (Se), les cyanures (CN), l'acide nitrilotriacétique (NTA) et l'acide éthylènediaminetétracétique (EDTA) n'ont depuis 2000 jamais été décelés.

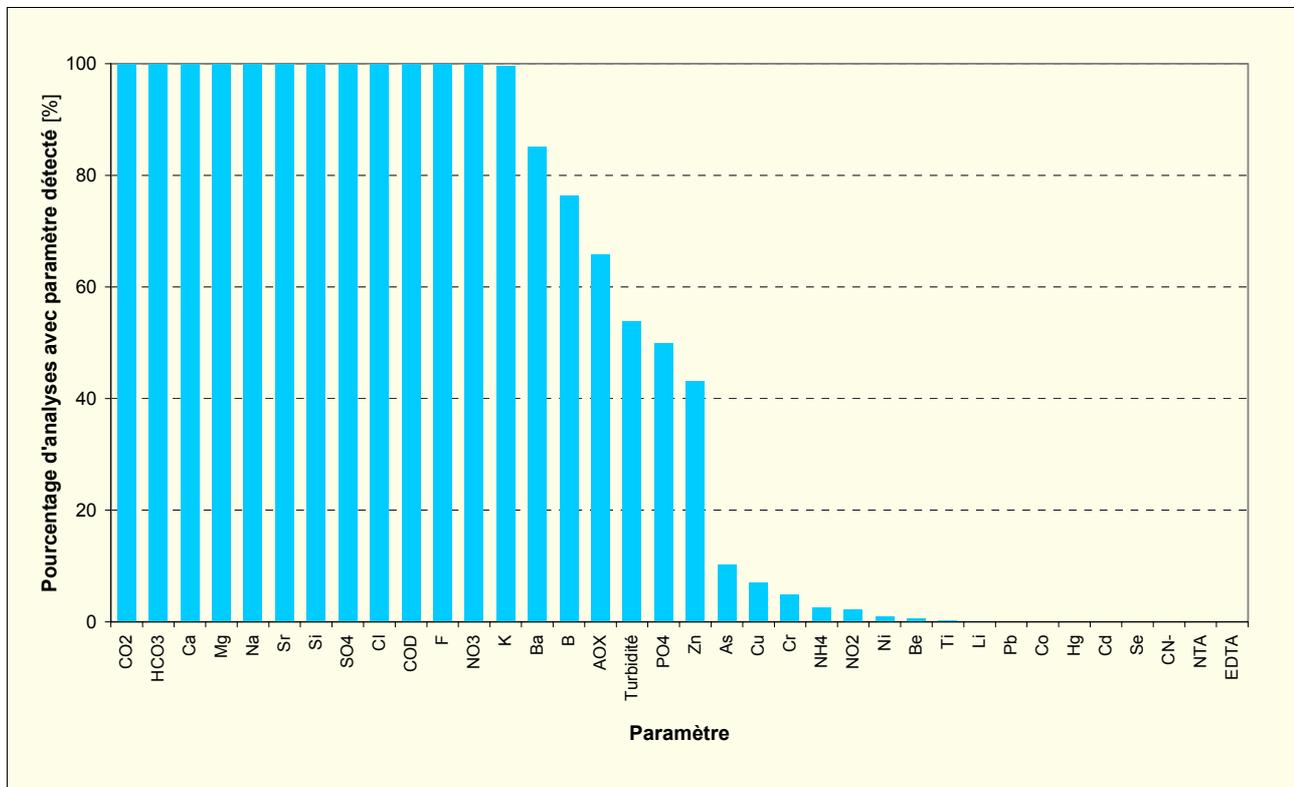


Fig. 51 : Classement statistique des détections selon les paramètres analysés.

2.4.3 Paramètres de terrain

En plus de la mesure des paramètres de terrain effectuée lors du prélèvement des échantillons, la conductivité électrique, la température, le débit et le niveau de l'eau sont mesurés en continu grâce à des enregistreurs de données, sur un grand nombre des stations NAQUA_{TREND} (cf. chap. 1.4.2.1). Ceci est indispensable pour resituer les mesures ponctuelles par rapport au comportement d'ensemble de l'aquifère.

Conductivité électrique

La conductivité électrique est une mesure du contenu de l'eau souterraine en substances dissoutes (ions, électrolyte). Une variation de la conductivité électrique peut avoir une cause aussi bien anthropique (pollution de l'eau souterraine) que naturelle (dilution par les eaux météoriques, infiltration d'eau de surface peu minéralisée, etc.).

L'interprétation des stations NAQUA disposant de suffisamment d'analyses chimiques, montre que la conductivité électrique de l'eau souterraine dépend en premier lieu des teneurs en calcium et en bicarbonates. Une influence marquée du magnésium ou des sulfates ne s'observe que secondairement.

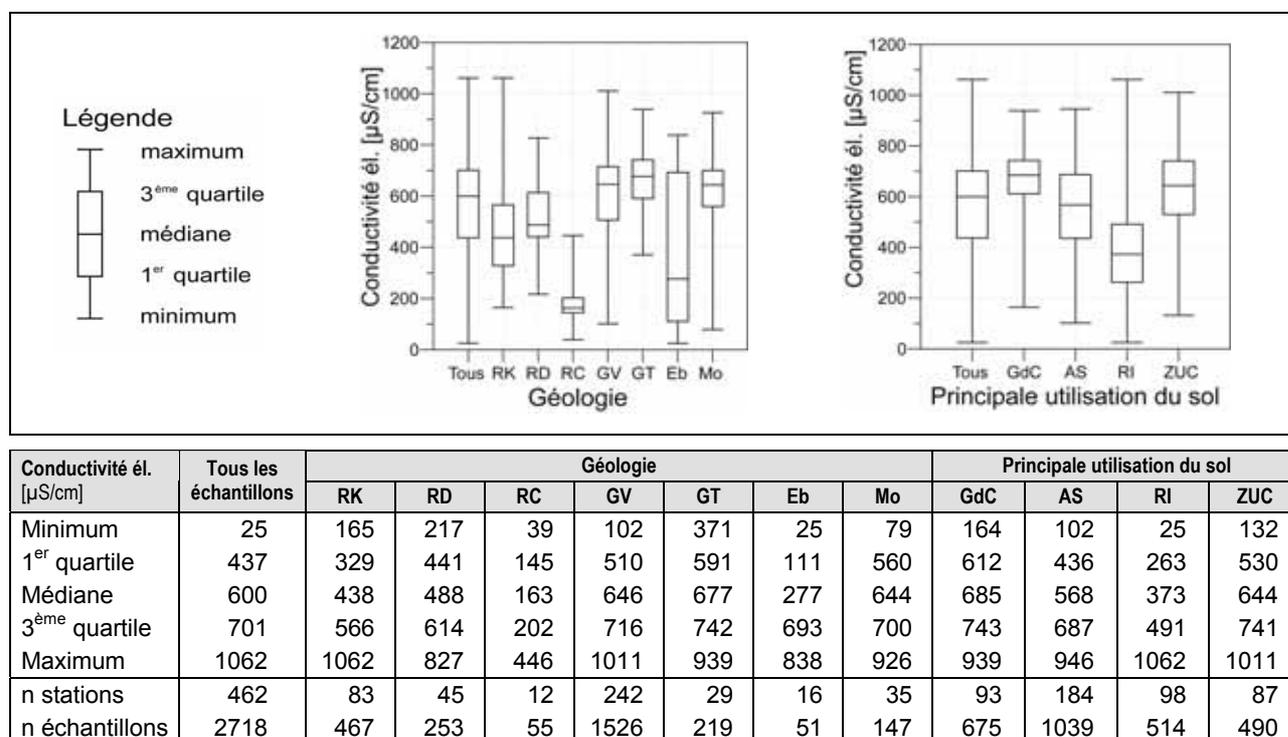


Fig. 52 : Conductivité électrique en fonction de la géologie de l'aquifère et de la principale utilisation du sol²⁶.

La valeur médiane de la conductivité électrique s'élève à 600 µS/cm. Elle varie entre une valeur minimale de 25 µS/cm et une valeur maximale de 1062 µS/cm.

La plus grande variabilité ($\Delta = 909$ µS/cm) se rencontre dans les aquifères composés de graviers de fond de vallées (type GV), car la composition minéralogique des composants alluvionnaires y est très variable (alluvions cristallines par endroits, carbonatées ailleurs). De plus l'infiltration des eaux de surface joue occasionnelle-

²⁶ Voir la signification des abréviations aux tab. 1 et 3

ment un rôle. Près de la moitié des stations, exactement 242 sur 462, appartiennent à ce type.

Une variabilité presque aussi élevée ($\Delta = 897 \mu\text{S/cm}$) se rencontre dans les eaux souterraines karstiques (type RK), où elle résulte en grande partie du mélange entre eaux souterraines sulfatées et carbonatées. La conductivité électrique maximale mesurée atteint $1062 \mu\text{S/cm}$.

Des conductivités électriques basses sont en général mesurées dans l'eau souterraine des stations en roches cristallines (type RC), avec une valeur médiane de $163 \mu\text{S/cm}$. De plus ces stations subissent peu d'influences anthropiques.

C'est dans une station située dans des éboulis (type Eb), avec un aquifère à éléments de composition cristalline, qu'a été mesurée fin octobre, la plus faible conductivité électrique ($25 \mu\text{S/cm}$). Un épisode de crue est probablement la cause de cette faible valeur.

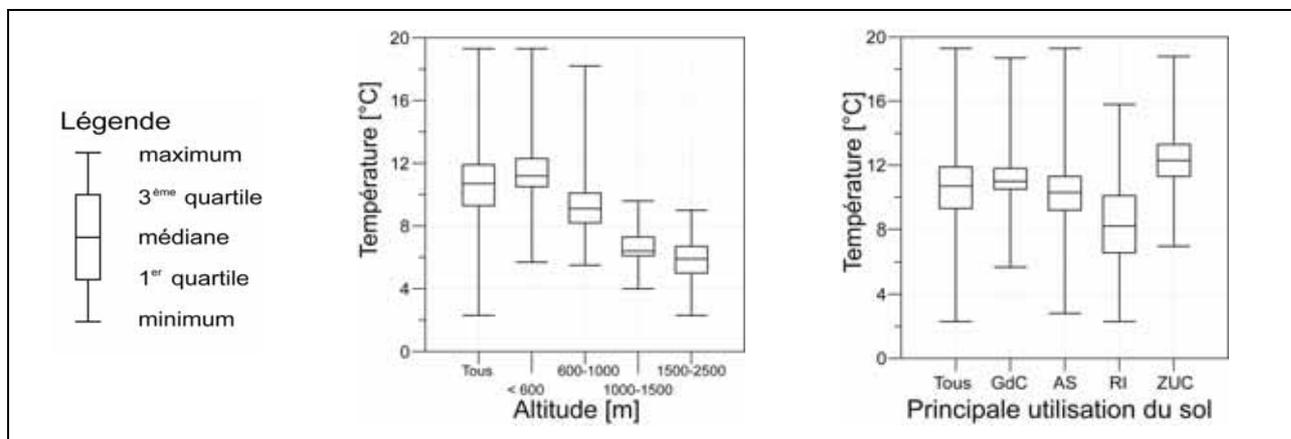
En relation avec l'utilisation du sol, les valeurs de médiane les plus élevées s'observent pour les principales utilisations du sol « grandes cultures » (type GdC) et « zone urbanisée et voies de communication » (type ZUC). Ceci est au moins partiellement à mettre en relation avec des activités humaines comme le salage des routes, les canalisations non étanches ou la fertilisation et le travail intensifs du sol. Par ailleurs, les teneurs en CO_2 habituellement plus élevées dans les eaux souterraines à de basses altitudes, jouent également un rôle dans le sens qu'elles augmentent la solubilité des carbonates et par là même, la minéralisation de l'eau.

Température

La température de l'eau souterraine est influencée de manière naturelle par différents facteurs : le climat et l'altitude du bassin d'alimentation et de la station, la durée de transit dans le sous-sol en relation avec la profondeur de circulation de l'eau souterraine, etc.

Des influences anthropiques peuvent aussi causer des changements de température. Dans les villes, les températures de l'eau souterraine peuvent souvent dépasser de 2 à 3 °C celles des secteurs voisins comparables mais non urbanisés^[40].

De grandes variations de la température de l'eau souterraine indiquent des influences superficielles ou un mélange de différentes eaux variant au cours du temps.



Température [°C]	Tous les échantillons	Altitude [m s.m.]				Principale utilisation du sol			
		<600	600-1000	1000-1500	1500-2500	GdC	AS	RB	ZUC
Minimum	2.3	5.7	5.5	4.0	2.3	5.7	2.8	2.3	7.0
1 ^{er} quartile	9.3	10.5	8.2	6.1	5.0	10.5	9.2	6.6	11.3
Médiane	10.7	11.2	9.1	6.4	5.9	11.0	10.3	8.2	12.3
3 ^{ème} quartile	11.9	12.3	10.1	7.3	6.7	11.8	11.3	10.1	13.3
Maximum	19.3	19.3	18.2	9.6	9.0	18.7	19.3	15.8	18.8
n stations	463	303	126	22	12	93	184	99	87
n échantillons	2709	1846	657	132	74	669	1034	520	486

Fig. 53 : Température de l'eau souterraine en fonction de l'altitude du captage et de la principale utilisation du sol.

La valeur médiane de toutes les stations s'élève à 10.7 °C. La température diminue avec l'augmentation d'altitude de la station.

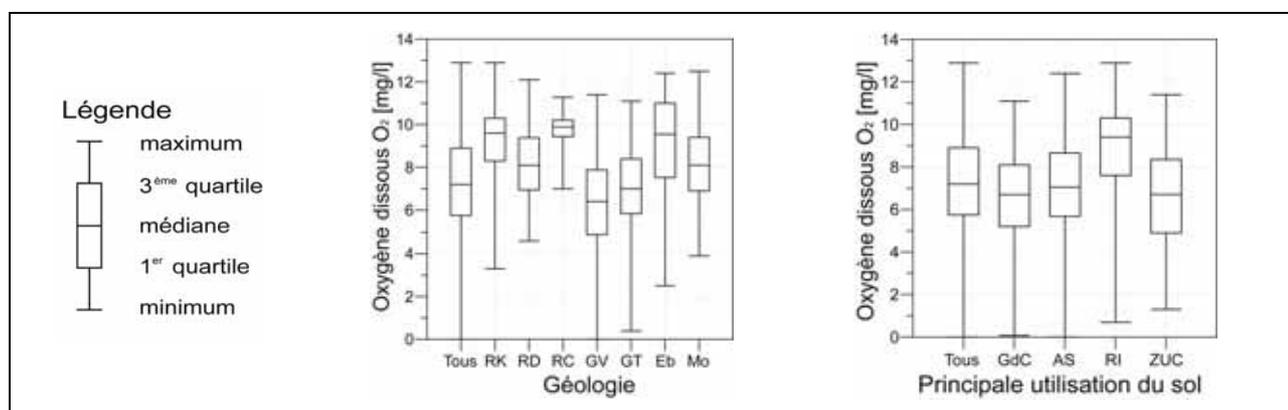
Les stations en « zone urbanisée et voies de communication » (type ZUC) ont tendance à avoir une température plus élevée, supérieure à la médiane de l'ensemble des stations. Les valeurs varient entre 7.0 °C et 18.8°C, avec une médiane à 12.3 °C. Des observations similaires, avec des températures généralement plus hautes en zones urbaines, ont été également faites à l'étranger^[40]. Cependant, Il faut signaler que presque toutes les stations avec ce type d'utilisation du sol se trouvent en dessous de 600 m s. m. Elles présentent donc naturellement des températures de l'eau souterraine plutôt élevées.

La valeur maximale de 19.3 °C mesurée dans une eau souterraine située en dehors de l'influence des zones urbanisées provient probablement d'un mélange avec des remontées d'eau thermale.

Les températures basses de nombreuses stations situées en « régions improductives » (type UP) coïncident avec l'altitude élevée du bassin d'alimentation de ces stations.

Oxygène dissous

La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend entre autres de la température de l'eau, de la pression et de la quantité de substances dissoutes dans l'eau. Une concentration élevée de matière organique et une activité microbienne intense, favorisée par cette dernière, peuvent produire des conditions réductrices dans l'aquifère et entraîner ainsi une diminution de la concentration en oxygène. Cet effet peut être renforcé p. ex. par un horizon argileux superficiel ou par une imperméabilisation de la surface, empêchant ainsi les arrivées d'oxygène. Les faibles concentrations en oxygène renseignent donc sur la présence de conditions réductrices.



Oxygène dissous O ₂ [mg/l]	Tous les échantillons	Géologie							Principale utilisation du sol			
		RK	RD	RC	GV	GT	Eb	Mo	GdC	AS	RI	ZUC
Minimum	0.0	3.3	4.6	7.0	0.0	0.4	2.5	3.9	0.1	0.0	0.7	1.3
1 ^{er} quartile	5.8	8.3	7.0	9.5	4.9	5.8	7.5	6.9	5.2	5.7	7.6	4.9
Médiane	7.2	9.6	8.1	9.9	6.4	7.0	9.6	8.1	6.7	7.1	9.4	6.7
3 ^{ème} quartile	8.9	10.3	9.4	10.2	7.9	8.4	11.0	9.4	8.1	8.7	10.3	8.4
Maximum	12.9	12.9	12.1	11.3	11.4	11.1	12.4	12.5	11.1	12.4	12.9	11.4
n stations	387	67	39	10	202	25	11	33	80	157	80	70
n échantillons	2159	348	187	49	1258	178	27	112	557	815	407	380

Fig. 54 : Oxygène dissous en fonction de la géologie et de la principale utilisation du sol.

La valeur médiane de toutes les stations se situe, avec 7.2 mg/l, dans la plage normale des concentrations en oxygène des eaux souterraines non polluées (6 à 12 mg/l d'après^[41]). Les valeurs médianes les plus hautes se rencontrent dans les aquifères karstiques, fissurés et d'éboulis (types RK, RC et Eb).

Surtout pour les types RK et RC, les principaux facteurs sont probablement les conditions hydrauliques régnant dans ces aquifères d'une part, mais aussi l'altitude des captages en rapport avec des température d'eau basses et une faible charge en substances organiques d'origine anthropique d'autre part. Des valeurs isolées pouvant atteindre 12.9 mg/l, dépassent légèrement la concentration maximale théorique dans l'eau souterraine. Ces valeurs sont à relier p. ex. à des sources karstiques prélevées lors d'épisodes de crue, alors que l'eau était sursaturée en oxygène et présentait un dégazage lors de la mesure.

Plusieurs stations des aquifères alluviaux (types GV et GT) présentent des concentrations en oxygène très faibles (<1.5 mg/l).

pH

Le pH est avant tout déterminé par la teneur en acide carbonique libre. Il peut cependant aussi être influencé par l'utilisation du sol (p. ex. utilisation d'engrais ammoniacés) ou par des processus naturels (p. ex. échanges de matières entre les plantes et le sol, formation d'acides humiques au cours de la dégradation de matière organique, etc.). Par ailleurs, les pluies acides (apport d'ions H⁺) peuvent abaisser le pH des eaux souterraines dans des sols peu tamponnés, car dépourvus de carbonates.

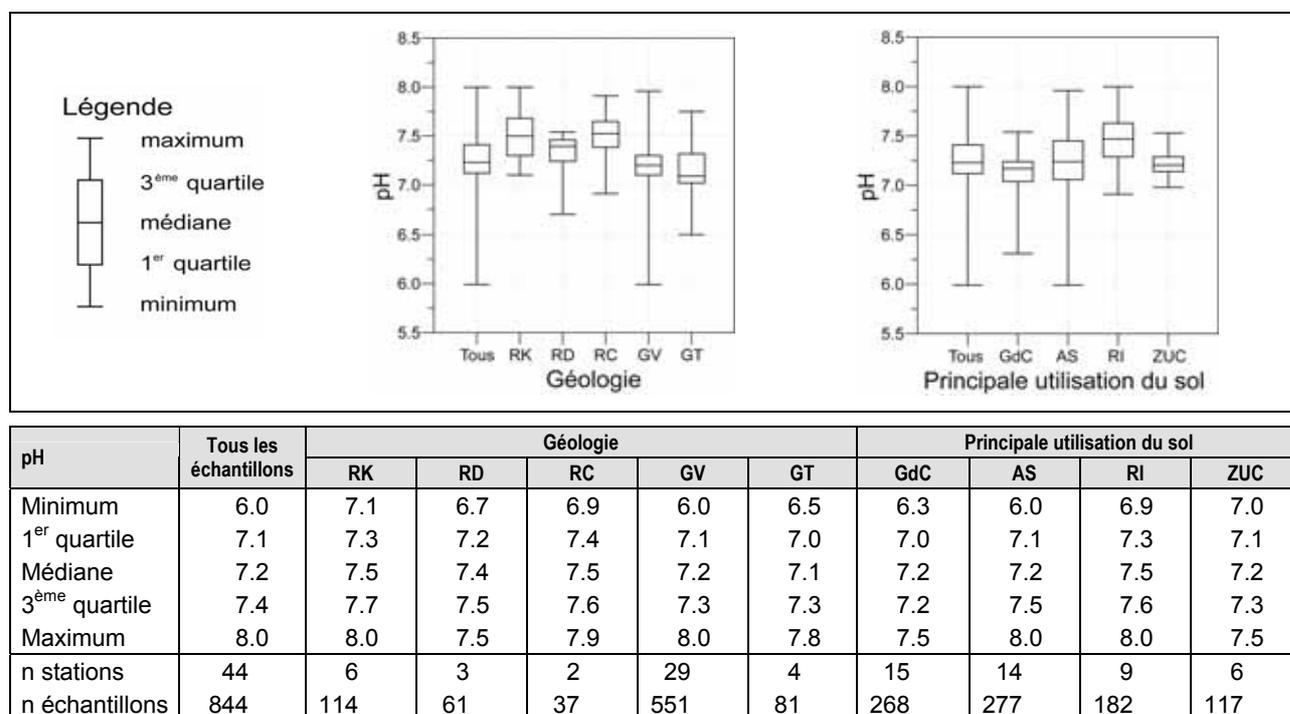


Fig. 55 : pH en fonction de la géologie et de la principale utilisation du sol.

Les valeurs de pH mesurées varient autour de 7.2, valeur typique des eaux provenant des aquifères carbonatés. La plus grande plage de variation – de 5.9 à 8.0 – se rencontre dans les eaux souterraines alluviales (types GV et GT). La valeur la plus basse se trouve typiquement, comme pour la conductivité électrique, dans un aquifère alluvial à éléments de composition cristalline.

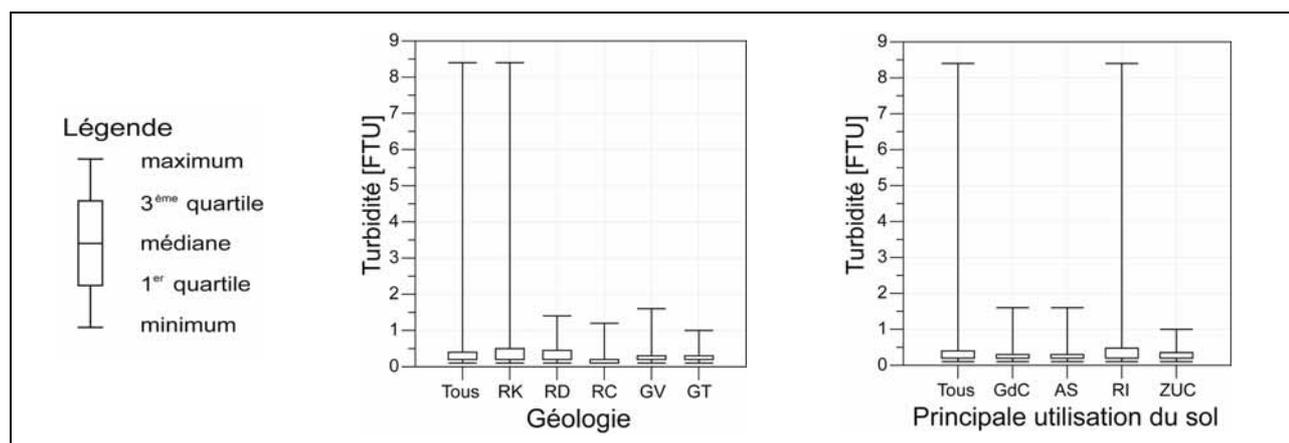
Les valeurs de pH ne présentent pas de corrélation avec les principales utilisations du sol. Elles sont presque exclusivement déterminées par la géologie de l'aquifère ou plutôt par la teneur en carbonates des sols dans le bassin d'alimentation.

2.4.4 Composants principaux et secondaires, éléments traces

Tous les paramètres analysés n'ont pas été décelés (cf. chapitre 2.4.2). Pour d'autres paramètres, seules quelques valeurs détectées sont disponibles, si bien qu'une interprétation statistique n'est pas possible. Les paramètres décelés suffisamment souvent à l'analyse, sont présentés ci-dessous.

Turbidité

La turbidité dans l'eau souterraine est causée en premier lieu par des particules : minéraux insolubles, particules organiques ou colloïdes provenant de l'érosion du sol ou microorganismes (algues ou bactéries). De plus des dégazages (p. ex. de CO₂) ou des changements de la valeur du pH peuvent faire flocculer des substances dissoutes.



Turbidité [TE/F]	Tous les échantillons	Géologie					Principale utilisation du sol			
		RK	RD	RC	GV	GT	GdC	AS	ZUC	ZUC
Minimum	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
1 ^{er} quartile	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Médiane	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
3 ^{ème} quartile	0.4	0.5	0.5	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.4
Maximum	8.4	8.4	1.4	1.2	1.6	1.0	1.6	1.6	8.4	1.0
n stations	44	6	3	2	29	4	15	14	9	6
n échantillons	404	82	27	19	240	36	105	136	121	42

Fig. 56 : Turbidité en fonction de la géologie et de la principale utilisation du sol.

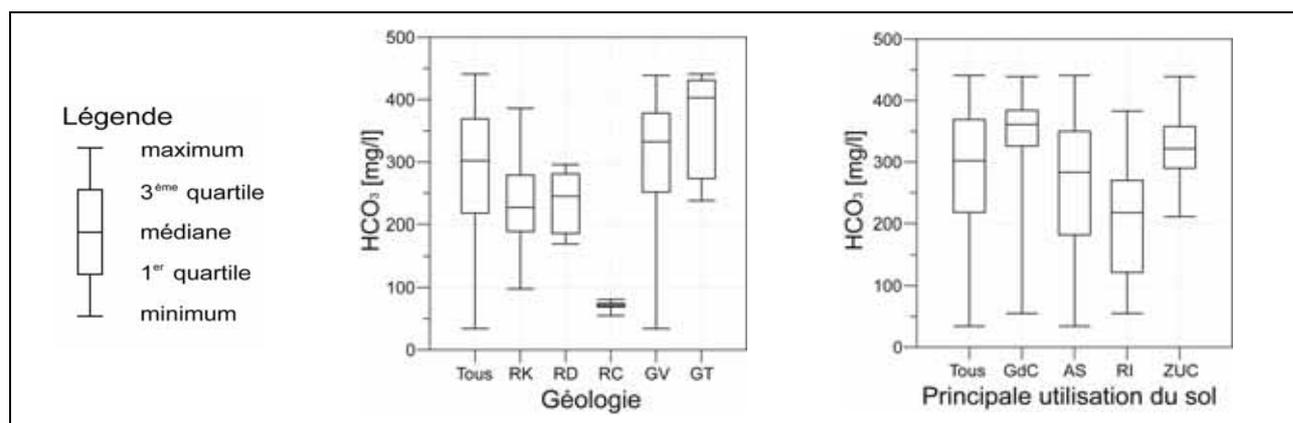
La majorité des valeurs de turbidité sont basses et elles présentent une faible variabilité, résultat attendu pour des eaux souterraines habituelles. Une partie des stations dans les aquifères karstiques (type RK), constitue cependant une exception avec de fortes variations jusqu'à des valeurs de turbidité élevées (maximum = 8.4 UT/F). Il s'agit d'un phénomène typique pour les aquifères karstiques largement dépourvus de sols filtrants.

Bicarbonates (ion hydrogénocarbonate, HCO₃⁻)

La teneur en bicarbonates dans l'eau souterraine dépend surtout de la présence de minéraux carbonatés dans le sol et l'aquifère, ainsi que de la teneur en CO₂ de l'air du sol dans le bassin d'alimentation. Selon^[41] la teneur en bicarbonates des eaux souterraines non soumises aux influences anthropiques, varie entre 50 et 400 mg/l.

La valeur médiane des teneurs en bicarbonates se situe avec 302 mg/l dans le domaine habituel des eaux souterraines non polluées. Des mesures isolées dépassent 400 mg/l, alors que dans une station la valeur n'atteint pas 50 mg/l.

Les teneurs en bicarbonates les plus basses (valeur minimale = 34 mg/l) se rencontrent typiquement à une station en alluvions cristallines et aux deux stations en roches cristallines (type RC), où la disponibilité en minéraux carbonatés comme la teneur en CO₂ de l'air du sol (à cause de l'altitude du bassin d'alimentation des stations concernées) sont très faibles. Les trois stations présentent une nette sous-saturation en calcite.



HCO ₃ [mg/l]	Tous les échantillons	Géologie					Principale utilisation du sol			
		RK	RD	RC	GV	GT	GdC	AS	RI	ZUC
Minimum	34	98	170	55	34	237	55	34	55	211
1 ^{er} quartile	218	190	187	69	252	273	326	183	122	290
Médiane	302	227	245	72	333	403	361	283	218	322
3 ^{ème} quartile	369	279	281	75	378	431	384	350	270	358
Maximum	441	386	296	81	439	441	439	441	383	439
n stations	44	6	3	2	29	4	15	14	9	6
n échantillons	853	120	64	37	551	81	270	279	187	117

Fig. 57 : Teneur en bicarbonates en fonction de la géologie et de la principale utilisation du sol.

Les teneurs en bicarbonates les plus élevées se rencontrent surtout dans les aquifères alluviaux (types GT et GV). Ceci résulte de la combinaison de plusieurs facteurs. Ces stations se situent en majorité à basse altitude avec des sols bien développés et intensivement utilisés (teneur en CO₂ élevée de l'air du sol). Les aquifères sont en général constitués de galets carbonatés. Les vitesses de circulation plutôt faibles offrent un temps de séjour de l'eau souterraine dans l'aquifère relativement long. Enfin, la surface de roche en contact avec l'eau est grande et la nappe, souvent

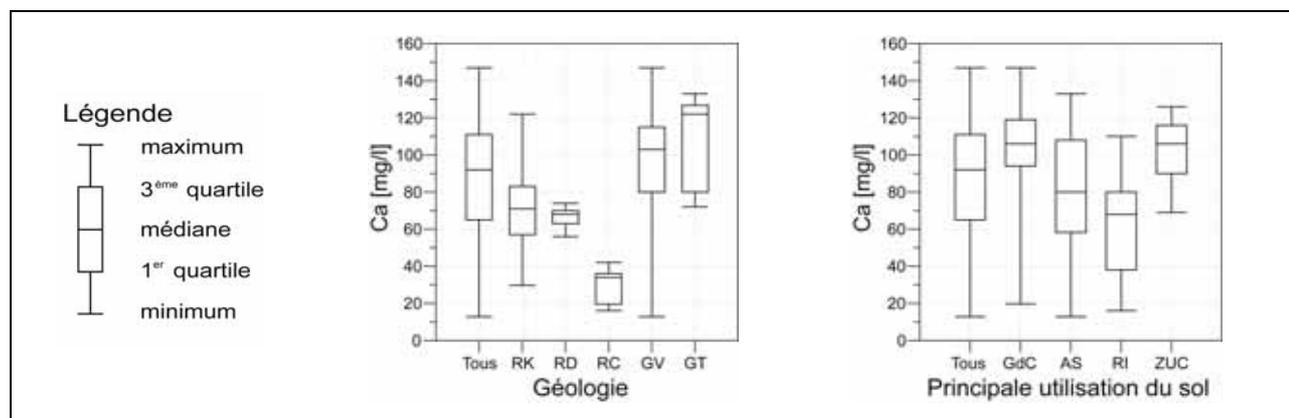
proche de la surface, permet à l'eau souterraine d'échanger longuement du CO₂ avec l'air du sol.

Calcium (Ca²⁺)

Le calcium, cation dominant dans l'eau souterraine, joue un rôle décisif dans la détermination de la dureté de l'eau.

L'eau souterraine des aquifères cristallins présente en général de faibles concentrations en calcium (<100 mg/l). Par contre, dans les aquifères carbonatés, on observe des teneurs naturelles voisines de 100 mg/l ou même encore plus élevées^[41]. Des eaux souterraines ayant dissous du gypse ou de l'anhydrite, présentent des teneurs naturelles en calcium beaucoup plus élevées.

Aux teneurs naturelles en calcium de l'eau souterraine peut se superposer l'influence de diverses sources anthropiques. Une utilisation du sol intensive (par augmentation de la production de CO₂ dans le sol), mais aussi des émissions industrielles (p. ex. production de verre et de ciment, décharges de gravats, etc.) conduisent par exemple à une augmentation des teneurs en calcium dans l'eau souterraine.



Ca [mg/l]	Tous les échantillons	Géologie					Principale utilisation du sol			
		RK	RD	RC	GV	GT	GdC	AS	RI	ZUC
Minimum	12.8	29.7	56.0	16.0	12.8	72.0	19.7	12.8	16.0	69.0
1 ^{er} quartile	65.0	57.0	63.0	19.6	80.0	80.0	94.0	58.3	38.0	90.3
Médiane	92.0	71.0	68.0	34.0	103.0	122.0	106.0	80.0	68.0	106.0
3 ^{ème} quartile	111.0	83.0	70.0	36.0	115.0	126.8	119.0	108.0	80.0	116.0
Maximum	147.0	122.0	74.0	42.1	147.0	133.0	147.0	133.0	110.0	126.0
n stations	44	6	3	2	29	4	15	14	9	6
n échantillons	853	120	64	37	551	81	270	279	187	117

Fig. 58 : Teneur en calcium en fonction de la géologie et de la principale utilisation du sol.

En général les teneurs en calcium montrent sans surprise, une tendance analogue à celle des bicarbonates. Les stations présentent pour la plupart, une teneur en calcium inférieure à 100 mg/l. La valeur médiane se situe, avec 92 mg/l, dans le domaine habituel des eaux souterraines non polluées provenant d'aquifères carbonatés^[42].

Les valeurs les plus basses se rencontrent aux stations en roches cristallines (type RC) ou en alluvions cristallines, avec des valeurs minimales de 16.0 mg/l, respectivement 12.8 mg/l. Ces eaux sont aussi nettement sous-saturées vis-à-vis de la calcite (cf. bicarbonates). Certaines eaux souterraines provenant d'aquifères karstiques (type RK) présentent aussi des teneurs très basses en calcium. La valeur observée la plus basse (29.7 mg/l) se trouve à une station clairement influencée par des infiltrations provenant d'un ruisseau.

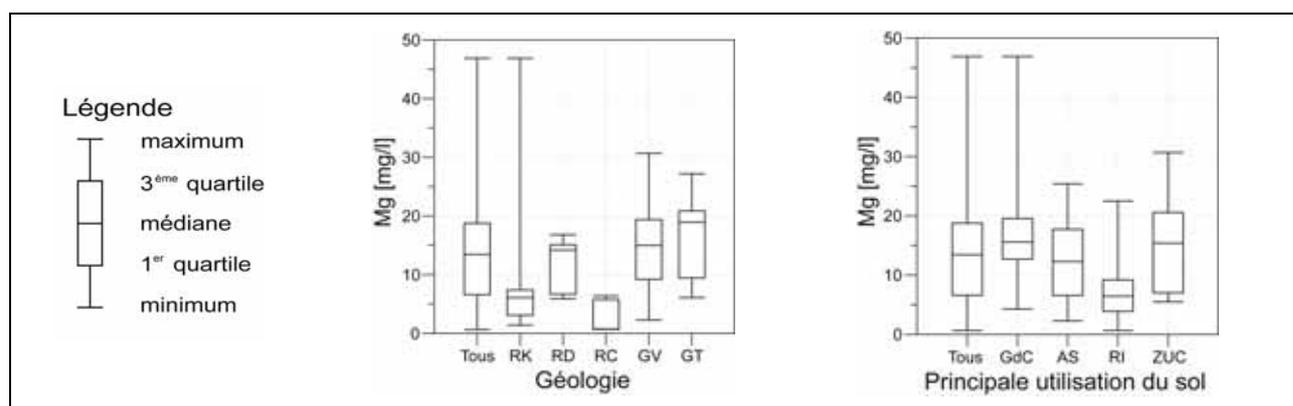
La teneur en calcium la plus haute (147 mg/l) apparaît, comme pour les bicarbonates, dans un aquifère alluvial et sous des surfaces d'agriculture intensive.

Actuellement les teneurs en calcium ne présentent pas de corrélation nette avec les principales utilisations du sol.

Magnésium (Mg²⁺)

Le magnésium, deuxième constituant essentiel de la dureté, est nettement moins abondant dans la nature que le calcium. Il provient de l'altération et de la dissolution des minéraux carbonatés (dolomite, magnésite, calcite magnésienne). Les eaux présentant un temps de séjour souterrain élevé, peuvent aussi s'enrichir en magnésium au détriment du calcium, par échange cationique sur des minéraux argileux. Dans les roches cristallines, l'altération des silicates magnésiens peut aussi fournir du magnésium.

Le magnésium d'origine anthropique arrive dans l'eau souterraine avec les engrais ou les eaux d'infiltration (décharges d'ordures ménagères ou de gravats).



Mg [mg/l]	Tous les échantillons	Géologie					Principale utilisation du sol			
		RK	RD	RC	GV	GT	GdC	AS	RI	ZUC
Minimum	0.6	1.4	5.9	0.6	2.3	6.1	4.3	2.3	0.6	5.5
1 ^{er} quartile	6.0	3.1	6.7	0.7	9.2	9.5	12.7	6.6	3.9	7.0
Médiane	13.5	6.1	14.2	0.7	15.0	19.0	15.6	12.3	6.5	15.4
3 ^{ème} quartile	18.8	7.4	15.1	5.8	19.4	20.9	19.6	17.7	9.2	20.6
Maximum	46.9	46.9	16.8	6.4	30.7	27.2	46.9	25.4	22.5	30.7
n stations	44	6	3	2	29	4	15	14	9	6
n échantillons	853	120	64	37	551	81	270	279	187	117

Fig. 59 : Teneur en magnésium en fonction de la géologie et de la principale utilisation du sol.

La valeur médiane des teneurs en magnésium se situe avec 13.5 mg/l, dans le domaine naturel des eaux souterraines habituelles^[41]. La valeur médiane de chaque type d'aquifère et de chaque utilisation du sol se trouve aussi nettement en dessous de 40 mg/l, considérée comme limite supérieure pour les eaux non polluées. Une seule station présente – pour des raisons géologiques – des concentrations légèrement au-dessus de cette limite (médiane = 43 mg/l, maximum = 46.9 mg/l). Il s'agit d'une source provenant du Muschelkalk, dont l'eau traverse aussi des sédiments dolomitiques. Pour toutes les autres stations, la valeur maximale reste au-dessous de 40 mg/l (maximum = 30.7 mg/l).

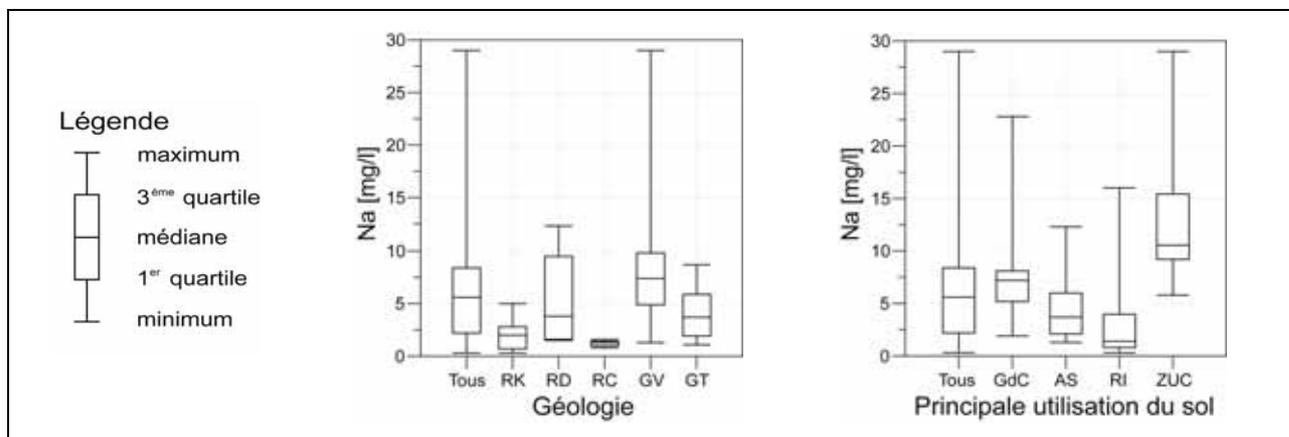
Du fait de la station évoquée précédemment, la teneur en magnésium la plus élevée pour les aquifères karstiques (type RK) se trouve nettement au-dessus de celles des autres types d'aquifères. Par contre la valeur médiane des eaux karstiques est comparativement basse. Ce résultat ne surprend pas pour des eaux souterraines s'écoulant rapidement dans des aquifères karstiques où la calcite domine. Les valeurs médianes les plus élevées se rencontrent (comme pour les carbonates et le calcium) dans les aquifères alluviaux (types GV et GT), avec des valeurs respectives de 15.0 et 19.0 mg/l.

Les teneurs en magnésium les plus basses se rencontrent à nouveau dans les stations dont l'aquifère se trouve en roches cristallines (type RC). La valeur minimale est de 0.6 mg/l.

Pour identifier une influence anthropique sur les teneurs en magnésium, les teneurs observées sont trop basses et les séries d'observations trop courtes.

Sodium (Na⁺)

Le sodium est un élément dit conservatif car une fois en solution, pratiquement aucune réaction ne permet de l'extraire de l'eau souterraine. Les précipitations apportent une quantité de sodium minime dans l'eau souterraine. Le sodium présent dans l'eau souterraine provient de l'échange cationique sur les minéraux argileux (échange de calcium contre du sodium) ou de la dissolution du sel gemme. Dans les roches cristallines, l'altération des silicates sodiques peut aussi fournir du sodium. Dans les eaux souterraines non polluées et sans contact avec des évaporites, la teneur en sodium se situe entre 1 et 20 mg/l^[41]. L'utilisation de sel de déverglacage constitue la principale source d'apports anthropiques^[42]. L'apport d'eaux usées des ménages ou de l'industrie peut aussi entraîner une hausse de la teneur en sodium dans l'eau souterraine. Un risque d'apports plus élevés à partir de canalisations défectueuses existe justement dans les zones urbanisées.



Na [mg/l]	Tous les échantillons	Géologie					Principale utilisation du sol			
		RK	RD	RC	GV	GT	GdC	AS	RI	ZUC
Minimum	0.3	0.3	1.5	0.8	1.3	1.1	1.9	1.3	0.3	5.8
1 ^{er} quartile	2.2	0.7	1.6	1.0	4.9	1.9	5.2	2.1	0.8	9.2
Médiane	5.6	2.0	3.8	1.3	7.4	3.7	7.2	3.7	1.4	10.6
3 ^{ème} quartile	8.4	2.8	9.5	1.4	9.8	5.9	8.1	6.0	4.0	15.4
Maximum	29.0	5.0	12.3	1.6	29.0	8.7	22.8	12.3	16.0	29.0
n stations	44	6	3	2	29	4	15	14	9	6
n échantillons	853	120	64	37	551	81	270	279	187	117

Fig. 60 : Teneur en sodium en fonction de la géologie et de la principale utilisation du sol.

Avec une valeur médiane de 5.6 mg/l, la teneur en sodium des eaux souterraines analysées est relativement basse et en grande partie d'origine naturelle.

Dans les aquifères karstiques (type RK) et en roches cristallines (type RC), le sodium d'origine naturel apparaît en relativement faibles concentrations, variant entre 0.3 et 5.0 mg/l.

Des teneurs en sodium nettement élevées se rencontrent dans les eaux souterraines alluviales (type GV). La valeur la plus élevée (29.0 mg/l) observée à une station (valeur médiane de 25.9 mg/l), dépasse largement les valeurs d'origine géogène des eaux souterraines ordinaires sans contact avec des évaporites. Cette station se trouve dans une grande ville. Ses teneurs en sodium élevées résultent probablement d'une influence anthropique (produits de déverglaçage, infiltration d'eaux usées).

Avec une valeur médiane de 10.6 mg/l, nettement supérieure aux autres principales utilisations du sol, les stations en « zone urbanisée et voies de communication » (type ZUC) présentent des teneurs en sodium attribuables aux influences anthropiques.

Potassium (K⁺)

Le potassium présent dans les eaux souterraines non polluées provient essentiellement de la mise en solution de sels évaporitiques potassiques (p. ex. KCl) ou de l'altération des minéraux potassiques : micas (biotite, muscovite, phlogopite) ou feldspaths (Orthose). Les eaux souterraines non polluées avec une teneur en sodium moyenne inférieure à 10 mg/l, présentent en général une teneur en potassium comprise entre 1 et 5 mg/l^[41].

Le potassium anthropique parvient dans l'eau souterraine avec les engrais ou les eaux d'infiltration de décharges de déchets. Les argiles adsorbent fortement le potassium, ce qui peut conduire à une diminution de sa concentration dans les eaux souterraines après un certain temps de séjour dans un aquifère contenant des argiles.

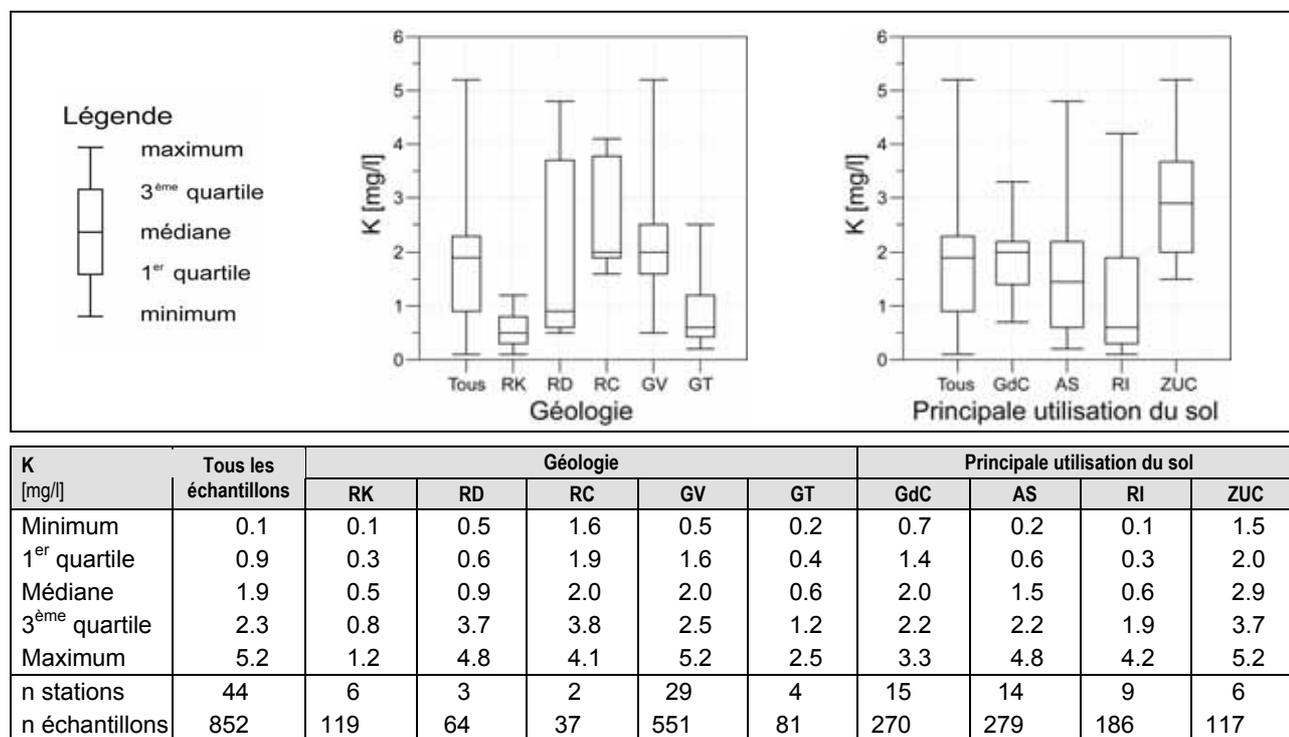


Fig. 61 : Teneur en potassium en fonction de la géologie et de la principale utilisation du sol.

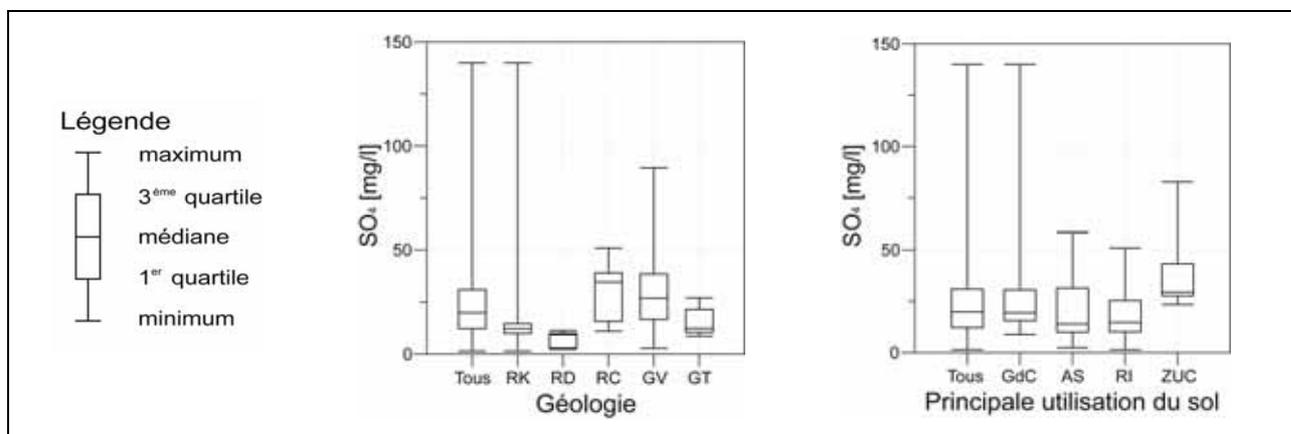
La valeur médiane de la teneur en potassium relativement faible de 1.9 mg/l, correspond pour la majorité des stations, à une origine naturelle. Les valeurs les plus basses se rencontrent dans les eaux karstiques, les roches carbonatées renfermant en général peu de potassium et l'agriculture intensive n'étant que peu développée dans ces régions.

La teneur en potassium la plus élevée (5.2 mg/l) s'observe dans les eaux souterraines alluviales d'une grande ville. L'influence des activités agricoles peut donc être exclue. Cependant, l'origine exacte en reste indéterminée.

Avec une valeur médiane relativement basse de 2.9 mg/l, mais cependant nettement supérieure aux autres utilisations du sol, les stations en « zone urbanisée et voies de communication » (type ZUC) présentent des teneurs en potassium probablement attribuables aux activités anthropiques. De même, une baisse régulière de la médiane correspond à la baisse d'intensité de l'utilisation du sol (ZUC → GdC → AS → RI).

Sulfates (SO₄²⁻)

Les sulfates présents dans l'eau souterraine proviennent essentiellement de la dissolution des minéraux évaporitiques sulfatés (p. ex. gypse, anhydrite). Du fait de la solubilité élevée des sulfates, l'eau souterraine en conditions normales peut en contenir jusqu'à 1.5 g/l. L'oxydation des sulfures (p. ex. la pyrite) ainsi que la dégradation de la biomasse dans le sol constituent d'autres sources possibles. De nombreuses activités humaines peuvent générer des apports de sulfates dans l'eau souterraine : application d'engrais sulfatés, précipitations chargées en dioxyde de soufre, eaux usées industrielles, eaux de percolation de décharges de déchets, gravats, etc. En conditions réductrices, des bactéries spécifiques peuvent transformer les sulfates dissous dans l'eau souterraine, en hydrogène sulfuré gazeux (H₂S).



SO ₄ [mg/l]	Tous les échantillons	Géologie					Principale utilisation du sol			
		RK	RD	RC	GV	GT	GdC	AS	RI	ZUC
Minimum	1.4	1.4	2.4	11.0	2.8	8.7	8.8	2.4	1.4	23.4
1 ^{er} quartile	12.2	9.9	2.9	15.8	16.7	10.5	15.6	10.0	10.2	27.7
Médiane	19.0	12.2	9.3	34.6	26.8	12.3	19.5	14.0	14.8	19.5
3 ^{ème} quartile	31.0	14.6	9.9	39.0	38.5	21.4	30.7	31.5	25.4	43.3
Maximum	140.0	140.0	11.3	50.9	89.5	26.9	140.0	58.3	50.9	82.8
n stations	44	6	3	2	29	4	15	14	9	6
n échantillons	853	120	64	37	551	81	270	279	187	117

Fig. 62 : Teneur en sulfates en fonction de la géologie et de la principale utilisation du sol.

La valeur médiane relativement faible de la teneur en sulfates de l'ensemble des eaux analysées (19.0 mg/l) se trouve en dessous de 30 mg/l, considérée comme limite supérieure pour les eaux non polluées, sans contact avec des évaporites^[41].

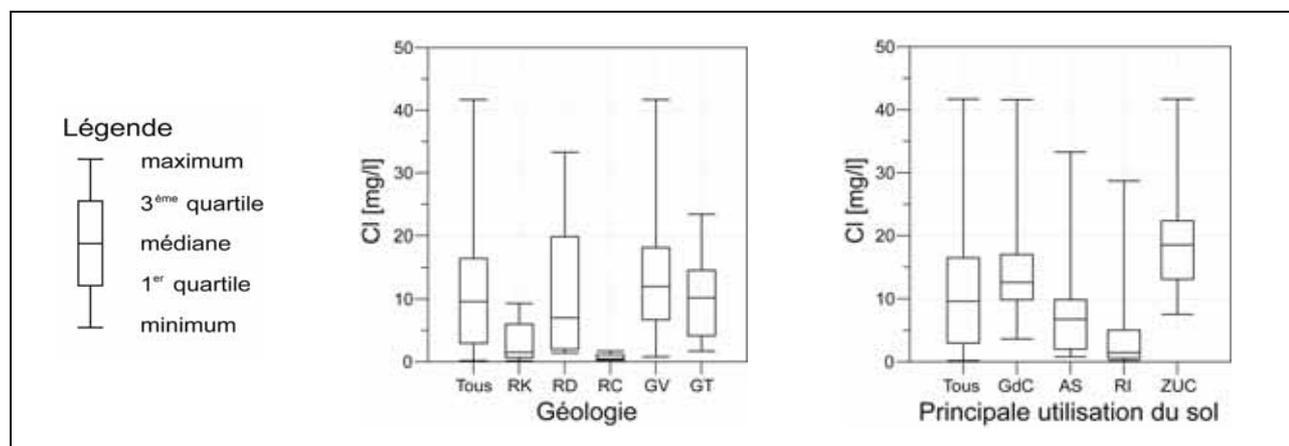
Des valeurs isolées très basses (valeur la plus basse = 1.4 mg/l) se rencontrent dans des eaux souterraines karstiques (type RK), apparemment du fait de la faible disponibilité en sulfates dans le sol et la roche de l'aquifère.

Les teneurs en sulfates les plus élevées (valeur maximale = 140 mg/l) se rencontrent dans une source karstique (type RK) provenant du Muschelkalk. A cette station, la baisse de débit en été et en automne s'accompagne d'une faible baisse des teneurs en nitrates alors que les teneurs en sulfates, calcium et magnésium augmentent selon une relation linéaire. Ces observations indiquent la présence d'un mélange de deux eaux : une eau karstique typique proche de la surface et provenant des calcaires du Muschelkalk d'une part et, une eau très fortement minéralisée provenant de couches sulfatées d'autre part.

Chlorures (Cl)

L'ion chlorure est un élément conservatif. Les sources naturelles de chlorures sont souvent les mêmes que pour le sodium, à l'exception de l'échange ionique dans les eaux souterraines, qui n'apporte pas de chlorures et de l'altération des silicates, qui ne joue qu'un très faible rôle.

La charge en chlorures d'origine anthropique dans l'eau souterraine provient souvent du lessivage des chaussées (sel de déverglaçage), mais aussi des déchets industriels et ménagers ou des engrais contenant des chlorures.



Cl [mg/l]	Tous les échantillons	Géologie					Principale utilisation du sol			
		RK	RD	RC	GV	GT	GdC	AS	RI	ZUC
Minimum	0.2	0.2	1.4	0.2	0.8	1.7	3.6	0.8	0.2	7.5
1 ^{er} quartile	3.0	0.7	2.0	0.3	6.7	4.2	9.9	2.0	0.6	13.1
Médiane	9.6	1.5	7.0	0.5	12.0	10.2	12.6	6.8	1.5	18.6
3 ^{ème} quartile	16.5	6.0	19.8	0.7	18.2	14.6	17.0	9.8	5.0	22.4
Maximum	41.7	9.3	33.3	1.7	41.7	23.4	41.6	33.3	28.7	41.7
n stations	44	6	3	2	29	4	15	14	9	6
n échantillons	853	120	64	37	551	81	270	279	187	117

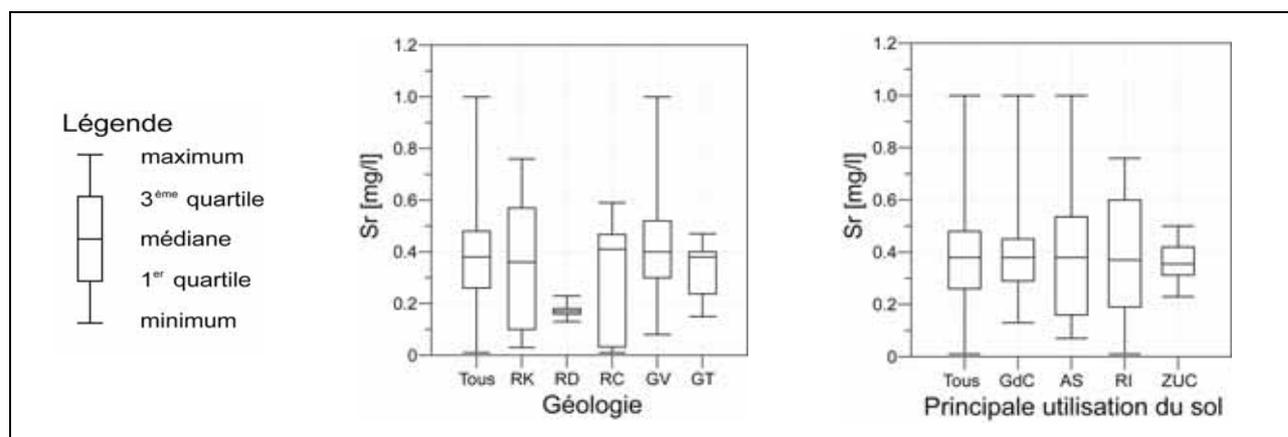
Fig. 63 : Teneur en chlorures en fonction de la géologie et de la principale utilisation du sol.

Dans l'ensemble, la valeur médiane relativement faible de la teneur en chlorures (9.6 mg/l) correspond au domaine des eaux souterraines non polluées, sans contact avec des évaporites^[41]. Les valeurs de médiane très basses se rencontrent surtout dans des eaux souterraines en roches cristallines (type RC) ou avec la principale utilisation du sol « régions improductives » (type RI) avec des valeurs de 0.5 mg/l, respectivement 1.5 mg/l qui reflètent l'absence d'influences anthropiques.

Par contre, la principale utilisation du sol « zone urbanisée et voies de communication » présente une valeur médiane de 18.6 mg/l (valeur maximale = 41.7 mg/l) nettement élevée. Comme pour le sodium, cela provient probablement des influences anthropiques.

Strontium (Sr²⁺)

Le strontium présent dans l'eau souterraine provient essentiellement de l'altération de minéraux contenant cet élément. Les activités anthropiques (p. ex. industrie, production pharmaceutique, technologie nucléaire) constituent d'autres sources possibles^[43].



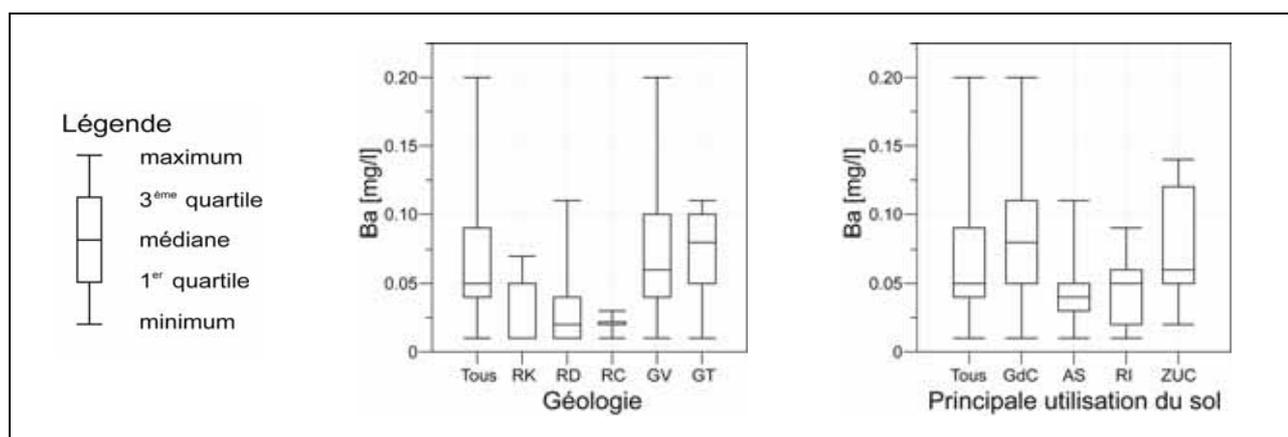
Sr [mg/l]	Tous les échantillons	Géologie					Principale utilisation du sol			
		RK	RD	RC	GV	GT	GdC	AS	RI	ZUC
Minimum	0.01	0.03	0.13	0.01	0.08	0.15	0.13	0.07	0.01	0.23
1 ^{er} quartile	0.26	0.10	0.16	0.03	0.30	0.24	0.29	0.16	0.19	0.31
Médiane	0.38	0.36	0.17	0.41	0.40	0.38	0.38	0.38	0.37	0.36
3 ^{ème} quartile	0.48	0.57	0.18	0.47	0.52	0.40	0.45	0.54	0.60	0.42
Maximum	1.00	0.76	0.23	0.59	1.00	0.47	1.00	1.00	0.76	0.50
n stations	44	6	3	2	29	4	15	14	9	6
n échantillons	853	120	64	37	551	81	270	279	187	117

Fig. 64 : Teneur en strontium en fonction de la géologie et de la principale utilisation du sol.

L'interprétation des teneurs en strontium ne présente pas de tendance particulière. La valeur médiane de l'ensemble des analyses (0.38 mg/l) se situe dans le domaine des résultats obtenus dans le cadre d'autres études (0.01–1.0 mg/l)^[41].

Baryum (Ba²⁺)

Dans la nature, le baryum se trouve essentiellement sous forme de baryte (BaSO₄), mais il peut aussi remplacer le calcium dans l'apatite ou la calcite et le potassium dans des minéraux potassiques (orthose, micas). Lors de l'altération de ces minéraux, le baryum se solubilise en se liant toutefois fortement aux minéraux argileux. Dans l'eau souterraine, le baryum se trouve à l'état de trace, sa concentration étant limitée par la solubilité de la baryte. Ainsi, la concentration maximale en baryum est voisine de 0.06 mg/l pour des teneurs en sulfates comprises entre 50 et 100 mg/l. Le baryum présent dans l'eau souterraine provient essentiellement d'une origine naturelle. Cependant, son utilisation dans de nombreuses applications industrielles (p. ex. boues de forage, industrie du papier, industrie du verre et de la céramique, produit de lestage, feux d'artifice) peut favoriser son arrivée dans l'eau souterraine par le biais des eaux usées.



Ba [mg/l]	Tous les échantillons ≥ LQ	Géologie					Principale utilisation du sol			
		RK	RD	RC	GV	GT	GdC	AS	RI	ZUC
Minimum	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
1 ^{er} quartile	0.04	0.01	0.01	0.02	0.04	0.05	0.05	0.03	0.02	0.05
Médiane	0.05	0.05	0.02	0.02	0.06	0.08	0.08	0.04	0.05	0.06
3 ^{ème} quartile	0.09	0.05	0.04	0.02	0.10	0.10	0.11	0.05	0.06	0.12
Maximum	0.20	0.07	0.11	0.03	0.20	0.11	0.20	0.11	0.09	0.14
n stations	42	4	3	2	29	4	15	14	7	6
n échantillons	690	43	48	35	498	66	246	232	100	112

Fig. 65 : Teneur en baryum en fonction de la géologie et de la principale utilisation du sol (interprétation des analyses et des stations avec valeurs ≥ limite de quantification ; le baryum n'étant pas décelé dans 15% des analyses).

Les teneurs en baryum des eaux souterraines, dans lesquelles cet élément a pu être quantifié, sont avec une valeur médiane de 0.05 mg/l, relativement proche du seuil de quantification de 0.01 mg/l.

Les teneurs les plus basses se trouvent dans les aquifères en roches détritiques (type RD), cristallines (type RC) et karstiques (type RK). Les stations dans les aquifères

alluviaux (types GV et GT) présentent des valeurs médianes nettement plus hautes, ainsi que la valeur maximale la plus élevée.

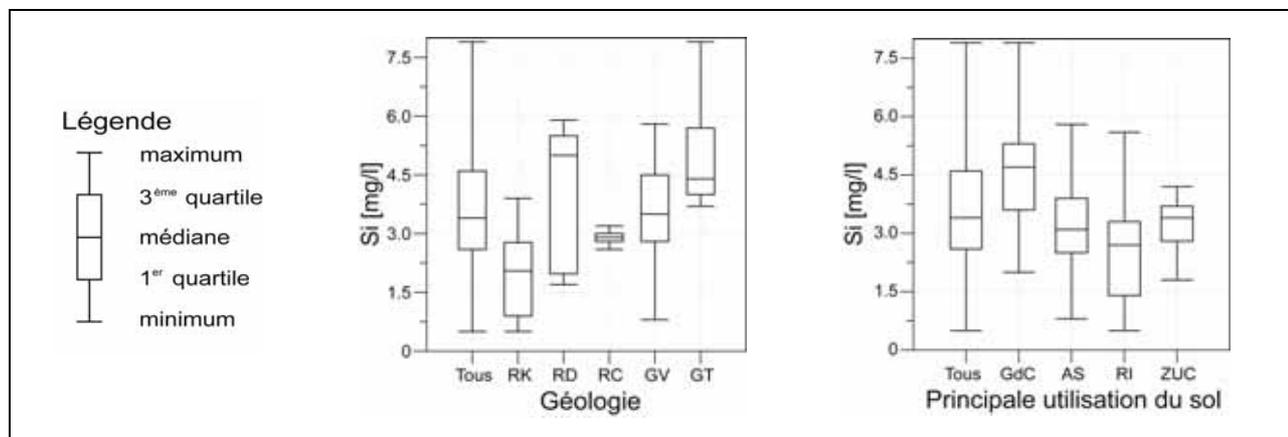
Les principales utilisations du sol « grandes cultures » (type GdC) et « zone urbanisée et voies de communication » (type ZUC) présentent des valeurs médianes légèrement supérieures aux deux autres (types AS et RI). Par contre, les données disponibles ne permettent pas de déterminer si les différences de concentration en baryum découlent de différences de géologie ou d'intensité d'utilisation. En effet, les stations avec les teneurs les plus élevées appartiennent non seulement au groupe des aquifères alluviaux, mais encore aux types d'utilisations intensives du sol « grandes cultures » et « zone urbanisée et voies de communication ». De plus, 9 des 11 stations avec une teneur en baryum ≥ 0.1 mg/l, ainsi que 12 autres stations avec une teneur en sulfates supérieure à 30 mg/l, présentent une saturation ou même une sursaturation vis à vis de la baryte. Pour l'ensemble de ces stations, ce n'est ni la géologie de l'aquifère, ni la principale utilisation du sol, qui conditionne la teneur maximale en baryum, mais la solubilité maximale de la baryte. Ceci conduit à ce qu'à 3 stations, la teneur la plus élevée en baryum ne peut pas dépasser la limite de solubilité de 0.03 mg/l.

Silicium (Si)

Le silicium est après l'oxygène, le deuxième élément le plus répandu sur terre. Il se trouve presque exclusivement dans des minéraux peu solubles (p. ex. quartz, feldspath, mica). A l'exception des roches carbonatées (calcaires, dolomie), ces minéraux sont aussi les principaux constituants des roches les plus courantes (grès, granite, gneiss, etc.). Le silicium présent dans l'eau souterraine provient de l'altération des roches. Cependant ce processus se déroule en général lentement, si bien que des eaux jeunes circulant dans des roches peu siliceuses ne contiennent que peu de silicium. La concentration maximale possible du silicium dans l'eau souterraine est définie en règle générale par la solubilité du quartz ou de la calcédoine²⁷ qui de son côté, dépend fortement de la température de l'eau. Les concentrations dans l'eau souterraine peuvent varier de quelques mg/l à quelques dizaines de mg/l^[41], mais se situent en moyenne entre 12 et 17 mg/l^[42]. Dans l'eau souterraine, le silicium se présente le plus souvent sous forme d'acide silicique non dissocié (H₄SiO₄)

Les apports anthropiques de silicium peuvent provenir p. ex. de décharges de gravats^[42].

²⁷ La calcédoine est formée de quartz cryptocristallin et présente une solubilité à l'eau plus élevée que le quartz normal. Dans le domaine des basses températures, c. à d. aux températures régnant dans les eaux analysées, la solubilité du silicium est déterminée par celle de la calcédoine.



Si [mg/l]	Tous les échantillons	Géologie					Principale utilisation du sol			
		RK	RD	RC	GV	GT	GdC	AS	RI	ZUC
Minimum	0.5	0.5	1.7	2.6	0.8	3.7	2.0	0.8	0.5	1.8
1 ^{er} quartile	2.6	0.9	2.0	2.8	2.8	4.0	3.6	2.5	1.4	2.8
Médiane	3.4	2.1	5.0	2.9	3.5	4.4	4.7	3.1	2.7	3.4
3 ^{ème} quartile	4.6	2.8	5.5	3.0	4.5	5.7	5.3	3.9	3.3	3.7
Maximum	7.9	3.9	5.9	3.2	5.8	7.9	7.9	5.8	5.6	4.2
n stations	44	6	3	2	29	4	15	14	9	6
n échantillons	841	117	63	37	544	80	267	277	181	116

Fig. 66 : Teneur en silicium en fonction de la géologie et de la principale utilisation du sol.

La médiane de l'ensemble des mesures de silicium s'établit à 3.3 mg/l.

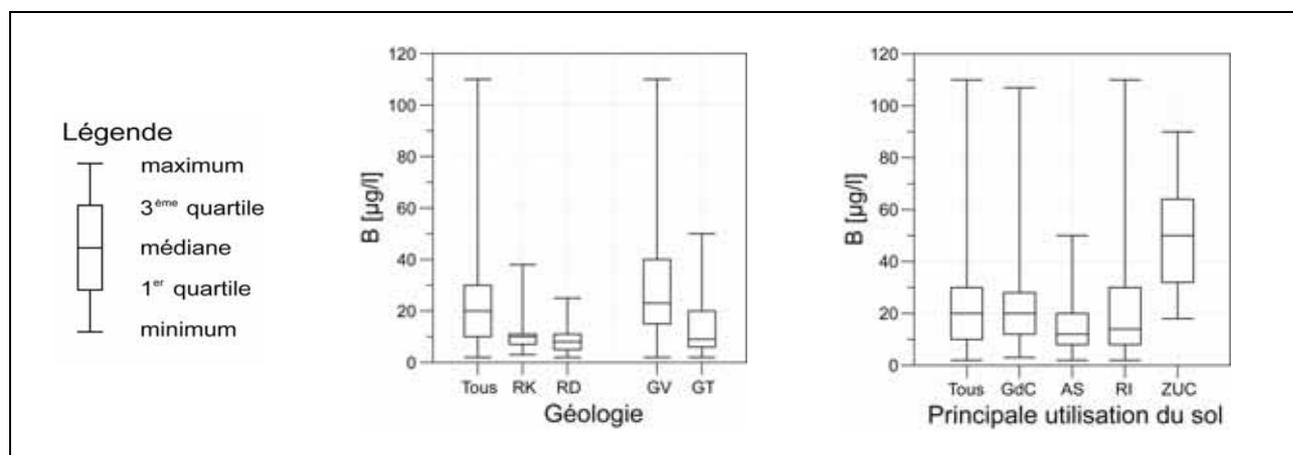
Les valeurs médianes de chaque type d'aquifère montrent de légères différences. Avec une valeur médiane de 2.1 mg/l, les eaux karstiques (type RK) présentent les teneurs en silicium les plus basses. Il s'agit d'un résultat logique compte tenu de la nature carbonatée des aquifères et du faible temps de séjour de l'eau. Ainsi, les six stations de type RK présentent une nette sous-saturation vis à vis de la calcédoine. Les eaux souterraines alluviales, situées en dehors des fonds de vallée (type GT), contiennent le plus de silicium (médiane = 4.4 mg/l, valeur maximale = 7.9 mg/l). De même, les stations dans les roches détritiques (type RD) présentent relativement beaucoup de silice (médiane = 5.0 mg/l). Pour ces dernières, deux des trois stations présentent une saturation vis à vis de la calcédoine, indiquant une forte proportion siliceuse dans les composants de l'aquifère ainsi qu'un temps de séjour souterrain de l'eau relativement élevé. Les faibles teneurs en silicium dans les eaux en roches cristallines (type RC), reflètent les basses températures de ces eaux souterraines et le courts temps de séjour souterrain : les deux stations concernées présentent une sous-saturation vis à vis de la calcédoine.

Bore (B)

Dans la nature, le bore est présent comme élément trace dans de nombreux minéraux (p. ex. tourmaline, mica, amphibole). Dans les sédiments, il se concentre surtout dans la matière organique et les argiles. Le bore étant très soluble dans l'eau, l'altération le solubilise rapidement. La forme principale dans l'eau souterraine est l'acide borique non dissocié (H_3BO_3). Dans les eaux souterraines non polluées, les teneurs maximales peuvent atteindre $1\text{ mg/l}^{[41]}$. Dans la plupart des eaux souterraines, les teneurs en bore varient entre quelques $\mu\text{g/l}$ et quelques dizaines de $\mu\text{g/l}^{[43]}$. Les valeurs fournies pour le bruit de fond d'origine géogène varient de moins de $10\text{ }\mu\text{g/l}$ à $65\text{ }\mu\text{g/l}^{[44]}$.

Le bore est employé en grandes quantités dans les lessives comme agent blanchissant, sous forme de perborate de sodium. La fabrication du verre, de substances ignifuges, de médicaments, d'engrais, d'insecticides, etc. constitue d'autres domaines d'utilisation.

Sa grande mobilité et son caractère conservatif (cf. sodium) font du bore un indicateur important pour les infiltrations d'eaux usées, d'eau de surface et d'effluents de décharge.



B [µg/l]	Tous les échantillons ≥ LQ	Géologie					Principale utilisation du sol			
		RK	RD	RC	GV	GT	GdC	AS	RI	ZUC
Minimum	2	3	2	14	2	2	3	2	2	18
1 ^{er} quartile	10	7	5		15	6	12	8	8	32
Médiane	20	10	8		23	9	20	12	14	50
3 ^{ème} quartile	30	11	11		40	20	28	20	30	64
Maximum	110	38	25	14	110	50	107	50	110	90
n stations	42	5	3	1	29	4	15	14	7	6
n échantillons	670	66	40	1	507	56	250	213	90	117

Fig. 67 : Teneur en bore en fonction de la géologie et de la principale utilisation du sol (interprétation des analyses et des stations avec valeurs \geq limite de quantification ; le bore n'étant pas détecté dans environ 28% des analyses).

Dans les eaux souterraines de la Suisse, la médiane des teneurs naturelles en bore varie entre 3 µg/l (aquifères molassiques) et 63 µg/l (évacuaires des Préalpes)^[21]. Selon^[15], des valeurs supérieures à 50 µg/l environ, indiquent déjà une atteinte anthropique de l'eau souterraine.

La médiane des teneurs en bore des eaux souterraines analysées, dans lesquelles il a été décelé, s'établit à 20 µg/l (valeur minimale ≤ 2 µg/l, valeur maximale = 110 µg/l). Le bore n'a pas été décelé dans toutes les stations.

Les analyses réalisées montrent que la majorité des teneurs en bore se situe dans le domaine des concentrations naturelles. Les teneurs les plus élevées (sur la base de la valeur médiane) se rencontrent dans les aquifères alluviaux (type GV).

Parmi les cinq stations dont la médiane dépasse 50 µg/l, trois appartiennent à la principale utilisation du sol « zone urbanisée et voies de communication » (type ZUC), une au type « grandes cultures » (type GdC) et la dernière au type « régions improductives » (type RI) mais avec une grande partie du bassin d'alimentation couvert de forêt. Cependant, dans le bassin versant de cette dernière station se trouvent des utilisations secondaires significatives de type « zone urbanisée et voies de communication » et « grandes cultures », ainsi qu'une rivière infiltrante. Ce dernier cas rassemble la médiane la plus élevée pour une station (90 µg/l), ainsi qu'une valeur maximale très élevée (110 µg/l). Ces valeurs extrêmes peuvent probablement être attribuées aux infiltrations en provenance de la rivière, qui présente un fort taux d'eau usée ménagère épurée.

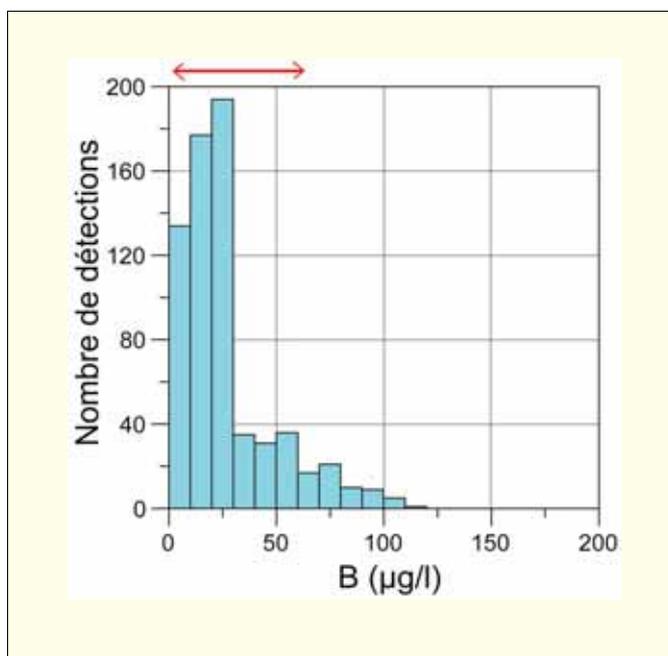


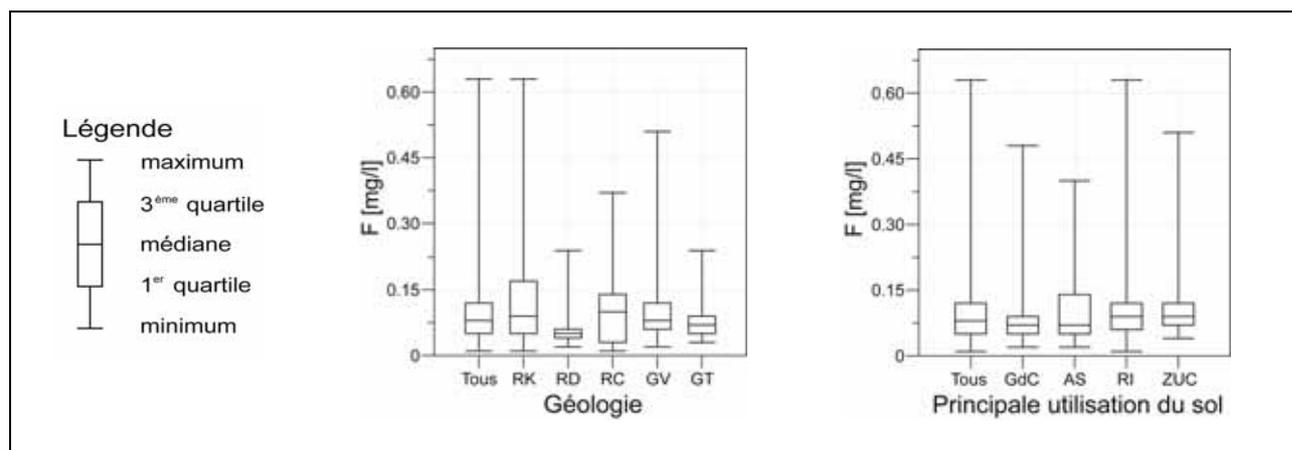
Fig. 68 : Répartition fréquentielle des détections du bore (résultats ≥ limite de quantification). Le domaine des teneurs naturelles selon^[44] est indiqué par une flèche.

Fluor (F⁻)

Dans la nature, le fluor est surtout présent dans des minéraux comme la fluorite (CaF₂) ou la fluorapatite (Ca₅(PO₄)₃F), mais aussi comme élément trace p. ex. dans la tourmaline. L'altération de ces minéraux provoque la solubilisation du fluor. Les roches cristallines contiennent souvent des teneurs en fluor élevées et dans les roches sédimentaires, le fluor se concentre dans les argiles.

Le fluor est utilisé comme fondant dans l'industrie métallurgique et, comme agent prophylactique contre la carie dentaire, par adjonction dans les dentifrices et le sel de cuisine.

Dans les eaux souterraines non polluées, les valeurs observées restent en général inférieures à 1 mg/l^[42]. La valeur de tolérance OSEC^[18] pour l'eau potable s'élève à 1.5 mg/l.



F [mg/l]	Tous les échantillons	Géologie					Principale utilisation du sol			
		RK	RD	RC	GV	GT	GdC	AS	RI	ZUC
Minimum	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.04
1 ^{er} quartile	0.05	0.05	0.04	0.03	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07
Médiane	0.08	0.09	0.05	0.10	0.08	0.07	0.07	0.07	0.09	0.09
3 ^{ème} quartile	0.12	0.17	0.06	0.14	0.12	0.09	0.09	0.14	0.12	0.12
Maximum	0.63	0.63	0.24	0.37	0.51	0.24	0.48	0.40	0.63	0.51
n stations	44	6	3	2	29	4	15	14	9	6
n échantillons	808	112	61	36	520	79	259	265	172	112

Fig. 69 : Teneur en fluor en fonction de la géologie et de la principale utilisation du sol.

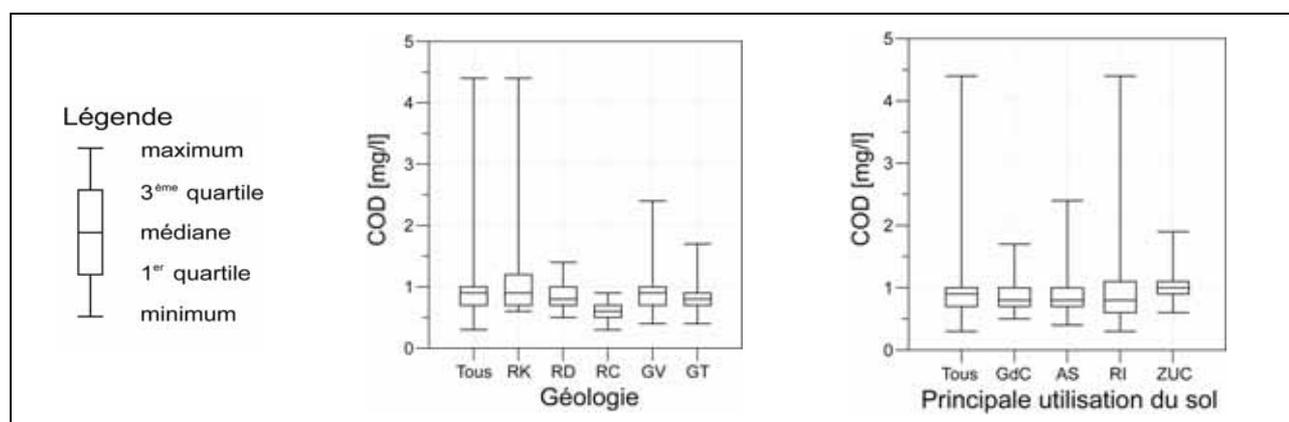
La valeur médiane de l'ensemble des analyses (0.08 mg/l) se situe dans le domaine des eaux souterraines non polluées. La valeur de tolérance pour l'eau potable n'est jamais dépassée.

Aucune tendance particulière ne se dessine en fonction de l'aquifère ou de la principale utilisation du sol. Seules deux sources karstiques présentent des valeurs relativement élevées avec des valeurs maximales de 0.47 et 0.63 mg/l.

COD (carbone organique dissous, DOC : Dissolved Organic Carbon)

Comme paramètre global, le COD englobe les composés organiques dissous dans l'eau et mesure la charge de l'eau en substances organiques.

Dans l'eau souterraine, les concentrations élevées de COD d'origine naturelle proviennent p. ex. de l'apport d'acides humiques à partir des tourbières ou des sols riches en humus. Cet apport augmente de manière naturelle dans les aquifères karstiques vulnérables à cause de la faible épaisseur ou de l'absence de sol filtrant. L'augmentation anthropique du COD dans l'eau souterraine provient p. ex. de l'infiltration d'eaux usées, de purin, de lixiviats de décharge ou du lessivage des matières organiques (érosion) des sols agricoles. L'OEaux^[17] donne une exigence chiffrée de 2 mg/l pour le COD dans l'eau souterraine utilisée comme eau potable.



COD [mg/l]	Tous les échantillons	Géologie					Principale utilisation du sol			
		RK	RD	RC	GV	GT	GdC	AS	RI	ZUC
Minimum	0.3	0.6	0.5	0.3	0.4	0.4	0.5	0.4	0.3	0.6
1 ^{er} quartile	0.47	0.7	0.7	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.9
Médiane	0.9	0.9	0.8	0.6	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0
3 ^{ème} quartile	1.0	1.2	1.0	0.7	1.0	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1
Maximum	4.4	4.4	1.4	0.9	2.4	1.7	1.7	2.4	4.4	1.9
n stations	44	6	3	2	29	4	15	14	9	6
n échantillons	853	120	64	37	551	81	270	279	187	117

Fig. 70 : Teneur en COD en fonction de la géologie et de la principale utilisation du sol.

La valeur médiane des teneurs en COD de l'ensemble des mesures (0.9 mg/l), est très basse.

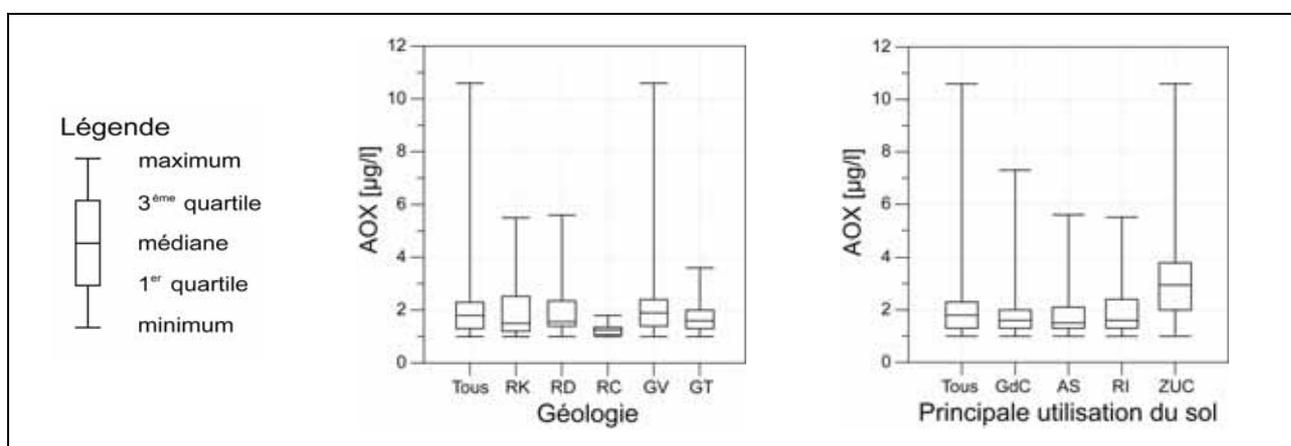
La valeur maximale (4.4 mg/l) s'observe dans une source karstique où la médiane (2.1 mg/l) est aussi nettement plus élevée que dans toutes les autres stations. C'est aussi la seule station où l'exigence chiffrée OEaux de 2 mg/l est dépassée à plusieurs reprises. Une seule autre station présente sur un total de 23 analyses, une valeur dépassant à peine l'exigence chiffrée. Aucune autre nuance ne se dessine en fonction de l'aquifère ou de la principale utilisation du sol.

AOX

Le paramètre global AOX englobe de nombreux hydrocarbures halogénés très différents de par leur impact sur l'environnement et de par leur origine (solvants, sous-produits du blanchiment au chlore, résidus d'incinération, phytosanitaires, etc.). Les quantités de phytosanitaires halogénés épandues dans l'environnement (p. ex. atrazine, simazine, terbutylazine) constituent une importante source potentielle d'AOX. Bien que ce paramètre ne recense pas tous les produits organohalogénés, il donne un aperçu de la charge en xénobiotiques (substances de synthèse étrangères aux organismes vivants) dans l'eau souterraine et fournit ainsi un indice des influences anthropiques.

Les AOX peuvent également provenir en faibles quantités, d'une origine naturelle (p. ex. production par des plantes, des champignons, des bactéries, des insectes). Les résultats des AOX ne sont généralement pas directement corrélables avec ceux des substances halogénées individualisées. La représentativité du paramètre AOX dans l'évaluation de la pression polluante des activités humaines se révèle ainsi limitée, surtout dans l'identification du type d'activités.

Pour les AOX, l'exigence chiffrée OEaux^[17] applicable à l'eau souterraine utilisée comme eau potable est de 10 µg/l pour la somme des halogènes généralement exprimée en équivalent-chlore.



AOX [µg/l]	Tous les échantillons ≥ LQ	Géologie					Principale utilisation du sol			
		RK	RD	RC	GV	GT	GdC	AS	RI	ZUC
Minimum	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1 ^{er} quartile	1.3	1.3	1.4	1.2	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	2.0
Médiane	1.8	1.5	1.6	1.3	1.9	1.6	1.6	1.5	1.6	3.0
3 ^{ème} quartile	2.3	2.6	2.4	1.4	2.4	2.0	2.0	2.1	2.5	3.8
Maximum	10.6	5.5	5.6	1.8	10.6	3.6	7.3	5.6	5.5	10.6
n stations	43	6	3	2	28	4	15	13	9	6
n échantillons	578	87	45	7	392	47	219	148	98	113

Fig. 71 : Teneur en AOX en fonction de la géologie et de la principale utilisation du sol (interprétation des analyses et des stations avec valeurs ≥ limite de quantification ; les AOX n'étant pas détectés dans 32% des analyses).

La valeur médiane de l'ensemble des échantillons dans lesquels les AOX ont été décelés, s'établit à 1.8 µg/l. A une exception près, les AOX sont décelés à toutes les stations.

Aucune corrélation nette ne se dessine entre les AOX et la principale utilisation du sol du bassin d'alimentation, bien que d'une part, la station avec la valeur maximale en AOX (un captage d'eau souterraine) se situe dans une région fortement urbanisée et que d'autre part, les plus hautes concentrations en HHV se rencontrent dans ce genre de région. Pour la principale utilisation du sol « zone urbanisée et voies de communication » (type ZUC), une seule station avec des concentrations particulièrement élevées est responsable de la médiane et de la valeur maximale légèrement supérieures aux autres utilisations. Des stations sans utilisation intensive dans le bassin d'alimentation et exemptes d'hydrocarbures et de pesticides, peuvent aussi présenter des teneurs en AOX notables (jusqu'à 5.5 µg/l dans un captage en région essentiellement forestière). Il faut en conclure que des substances naturelles, analysées comme AOX, se cachent aussi derrière ces valeurs.

Par contre, ces résultats montrent que la règle générale établissant la limite de pollution de l'eau souterraine à 10 µg/l (conformément à l'exigence chiffrée OEaux), ne devrait être appliquée qu'avec retenue. En effet, la station ayant la concentration la plus élevée (10.6 µg/l), présente aussi un dépassement de l'exigence chiffrée OEaux applicable à l'eau souterraine utilisée comme eau potable pour le trichloréthène et le tétrachloréthène et pour ce dernier, un dépassement de la valeur de tolérance OSEC pour l'eau potable. Par contre, une seule des 30 mesures réalisées depuis le 1.1.2000 dépasse 10 µg/l et la médiane atteint seulement 6.6 µg/l.

3 Conclusions et perspectives

La qualité chimique des eaux souterraines en Suisse est dans l'ensemble bonne. Près de la moitié de l'eau souterraine utilisée comme eau potable, peut en effet être introduite sans aucun traitement dans le réseau de distribution.

Cependant, la forte densité de population et l'utilisation intensive de notre territoire laissent des traces dans l'eau souterraine.

Dans environ 20% des stations étudiées, les concentrations en nitrates dépassent l'exigence chiffrée OEaux^[17] (25 mg/l). 60% des stations analysées présentent des traces de produits phytosanitaires : à environ 12% des stations, ces traces dépassent également l'exigence chiffrée OEaux (0.1 µg/l). Un tiers des stations présente des traces d'hydrocarbures halogénés volatils (HHV) et un cinquième des stations, des traces de l'additif pour carburant MTBE. Dans environ 7.5% des stations étudiées, les HHV dépassent aussi l'exigence chiffrée OEaux (0.1 µg/l).

L'ordre de grandeur des résultats obtenus ne présente, selon l'état des connaissances actuelles, aucune menace pour la santé humaine. Nous pouvons donc continuer à consommer notre eau potable directement du robinet, sans hésitation du point de vue sanitaire. Si en plus, l'eau distribuée est mélangée avec une eau non chargée, comme c'est généralement le cas, elle présente une meilleure qualité que l'eau brute analysée.

Cependant, les résultats obtenus doivent servir de signal d'alarme et montrer que les efforts de protection des eaux souterraines doivent se poursuivre intensément. Pendant longtemps en effet, trop peu de choses ont été réalisées de manière conséquente, pour planifier la protection des eaux souterraines et en appliquer la réglementation.

Il apparaît clair que p. ex., la réalisation de zones de protection des eaux souterraines en bonne et due forme et le décret des règlements de protection correspondants, ou l'abandon d'utilisations contraires aux zones de protection, revêtent une grande importance, particulièrement dans des régions fortement urbanisées.

Les négligences répétées lors de l'utilisation de nombreuses substances chimiques pouvant polluer les eaux, comme p. ex. les produits phytosanitaires et les solvants, la construction croissante d'installations industrielles, de voies de circulation et de lotissements dans le bassin d'alimentation de réservoirs aquifères importants, constituent une menace sérieuse pour les eaux souterraines et compliquent désormais la mise en place d'une protection efficace.

Cette problématique se manifeste de manière exemplaire dans les nombreux captages d'eau potable dont l'eau nécessite un traitement ou qui ont été abandonnés au cours des dernières décennies en raison d'une pollution trop élevée en nitrates, produits phytosanitaires ou hydrocarbures halogénés. L'abandon des captages ou le traitement de l'eau cause des frais considérables aux communautés.

Nitrates

Les analyses livrent une image, qui semble confirmer dans l'ensemble la politique suisse de réduction des nitrates dans l'eau souterraine : au cours des dix dernières années, les teneurs en nitrates ont baissé dans un nombre significatif de réservoirs aquifères. Ceci dépend aussi très vraisemblablement des évolutions de la politique agricole de la dernière décennie.

Toutefois, au-delà des mesures générales de l'agriculture, de gros efforts supplémentaires ont été entrepris, pour diminuer le lessivage des nitrates au niveau de nombreux captages d'eau potable chargés en nitrates (p. ex. extensification de l'agriculture dans la zone de protection S2, programme de couverture hivernale, conseil de fertilisation, etc.).

Dans divers réservoirs aquifères, particulièrement dans les régions de grandes cultures du plateau suisse, les mesures générales de l'agriculture ne suffisent cependant pas pour respecter l'exigence chiffrée OEaux concernant la teneur en nitrates de l'eau souterraine utilisée comme eau potable (≤ 25 mg/l). Dans ces cas, l'agriculture doit prendre des mesures complémentaires, comme p. ex. celles prévues dans le cadre des programmes d'assainissement à l'article 62a LEaux^[4], afin de satisfaire dans le futur à cette exigence chiffrée.

A titre d'exemple de ces efforts d'assainissement spéciaux, la figure 72 présente l'évolution des nitrates à un puits du canton d'Argovie, dans le bassin versant duquel, des efforts intensifs de réduction du lessivage des nitrates sont entrepris depuis 1996 : L'abandon entre autres, des cultures sur près de 22 ha de terre arable, permet actuellement d'exploiter en prairie un total de 45.3 des 61.6 ha de surface agricole utile dans le bassin d'alimentation.

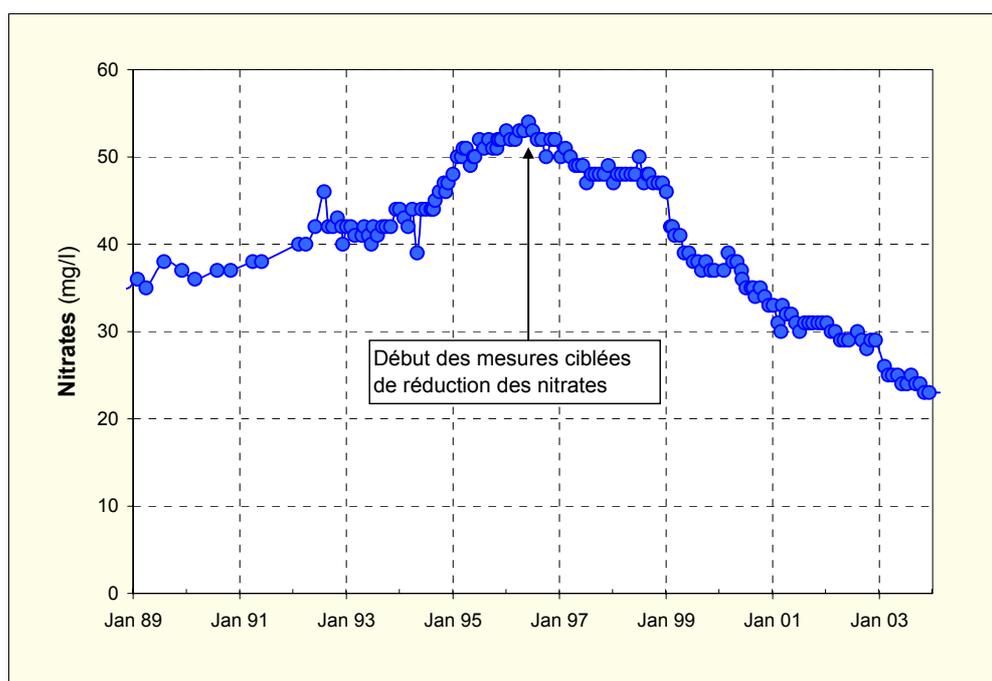


Fig. 72 : Evolution des teneurs en nitrates à un puits bénéficiant d'un programme ciblé d'assainissement des nitrates^[45].

Produits phytosanitaires

Dans l'ensemble, la situation concernant les produits phytosanitaires n'est pas alarmante, mais le nombre de stations présentant des traces de ces substances et de leurs produits de dégradation (métabolites), est préoccupant. De plus, l'utilisation des phytosanitaires se développe continuellement. De nouvelles substances gagnent des parts de marché. Certaines ne peuvent pour l'instant pas être analysées et il n'existe que peu de connaissance quant à leur comportement dans l'environnement.

De nouveaux efforts pour réduire les apports de produits phytosanitaires dans l'eau souterraine, sont nécessaires, surtout dans les régions utilisées par l'agriculture intensive et l'horticulture, ainsi que dans les zones urbanisées, comme p. ex. une interdiction stricte de l'utilisation de produits phytosanitaires dans les régions proches de captages d'eau potable (zone de protection rapprochée S2, ainsi que dans les secteurs de sensibilité analogue), un soutien renforcé à l'agriculture biologique, une diffusion de conseils et d'informations ciblés aux exploitants agricoles, propriétaires de jardins, concierges et responsables de voirie, ainsi que des contrôles et une mise en application plus conséquents de l'interdiction des produits phytosanitaires le long des routes, chemins et places. Des obligations renforcées, p. ex. l'interdiction de vente à des personnes non spécifiquement formées, ou bien une autorisation spéciale pour les produits phytosanitaires persistants comme les triazines, constitueraient d'autres mesures judicieuses.

Hydrocarbures et MTBE

La présence d'hydrocarbures et de MTBE dans l'eau souterraine est certes moins répandue que celle des produits phytosanitaires, mais ici aussi, le chiffre élevé des détections, dans 31.5, respectivement 20% des stations analysées, est préoccupant. Du fait qu'il n'y a pour les polluants produits par le trafic et l'industrie, que très peu de séries représentatives de données sur l'ensemble de la Suisse, il n'est pour l'instant pas possible de trancher si les contaminations ont plutôt tendance à diminuer ou à augmenter. D'après la baisse recensée de l'utilisation de solvants halogénés dans l'industrie et l'artisanat au cours des dernières années, une diminution des contaminations de l'eau souterraine serait plutôt attendue sur le long terme. La forte persistance de ces produits pourrait toutefois avoir pour conséquence une diminution très lente des teneurs dans les eaux souterraines.

L'anti-détonnant MTBE ne constitue pas actuellement un problème important pour les eaux souterraines en Suisse. Cependant, les traces de cette substance fréquemment trouvées dans les eaux souterraines analysées, sont un signal d'alarme sérieux. Seule une surveillance à long terme permettra d'indiquer, si une modification de la politique suisse (p. ex. une interdiction) s'impose concernant cette substance. Toutefois, le risque de contamination des eaux souterraines par le MTBE (et aussi par les BTEX) peut être nettement réduit dès maintenant par des économies de carburant et par l'abandon du super, inutile dans la plupart des moteurs.

En bonne voie, mais pas encore arrivé

Les résultats de l'observation des eaux souterraines obtenus jusqu'à présent dans le cadre du réseau NAQUA, prouvent l'importance de l'observation de leur qualité,

initiée à long terme. Seule une telle observation permet de distinguer, si les contaminations constatées augmentent ou diminuent et, si les mesures déjà prises pour la protection des eaux souterraines, sont efficaces et suffisent. C'est le cas particulièrement de l'observation à long terme des teneurs en nitrates et en produits phytosanitaires, car elle fournit des bases importantes pour le contrôle du succès de la politique dans les domaines de l'aménagement du territoire, de l'environnement et de l'agriculture.

De même, des données de référence à long terme, sur les polluants produits par le trafic et l'industrie, font cruellement défaut à l'échelle de la Suisse. La surveillance de ces substances dans l'eau souterraine doit donc se poursuivre de manière conséquente dans le cadre de NAQUA.

L'observation des composants « anodins » de l'eau (p. ex. le calcium, le magnésium, etc.), ne permettra qu'au cours du temps, de fournir des renseignements sur d'éventuelles évolutions de la qualité des eaux souterraines, survenant p. ex. en réaction à des changements climatiques ou à des modifications des méthodes de travail du sol en agriculture.

Il est donc nécessaire de continuer à analyser et interpréter régulièrement les paramètres présentés dans ce rapport. Etant donné toutefois que les résultats actuels, sur certains paramètres, ne montrent aucun signe d'une influence anthropique substantielle à l'échelle de la Suisse (p. ex. ammonium, nitrites...), une surveillance sporadique de ces paramètres suffit pleinement.

Par contre, un élargissement et une intensification du programme de base concernant les produits phytosanitaires s'impose, tout en restant dans le cadre des possibilités financières et opérationnelles du programme NAQUA et, des possibilités techniques des divers laboratoires cantonaux et privés associés au projet. D'autres substances couramment utilisées, comme p. ex. l'herbicide foliaire glyphosate, doivent être incluses dans les recherches. De même, une intensification du rythme des mesures est souhaitée aux stations ne faisant l'objet actuellement que d'une mesure annuelle et pour lesquelles l'utilisation du sol justifie un prélèvement plus fréquent.

Afin de mieux évaluer les variations des teneurs en produits phytosanitaires dans l'eau souterraine, une étude particulière est prévue sur une sélection de quelques stations auxquelles la fréquence des prélèvements sera nettement augmentée durant la période d'application de ces produits.

Dans le cadre de la surveillance nationale de la qualité des eaux souterraines, le débat autour d'autres micropolluants, comme p. ex. les médicaments ou les substances à effet endocrinien, est aussi suivi attentivement. Une campagne pilote à ce sujet est en projet.

Le réseau d'observation national des eaux souterraines doit continuer à garantir de la manière la plus performante et efficace possible, une évaluation représentative de l'état et de l'évolution de la qualité de nos plus importantes ressources en eau souterraine. De plus, des études de détail complémentaires, concernant p. ex. les diverses utilisations des terrains dans le bassin d'alimentation, sont prévues ou déjà en cours.

4 Bibliographie

Bibliografie

- [1] OFFICE FÉDÉRAL DE L'ENVIRONNEMENT DES FORÊTS ET DU PAYSAGE (Ed.) 1998: *NAQUA. Le réseau national d'observation de la qualité des eaux souterraines*. Brochure de vulgarisation, OFEFP, Berne.
- [2] OFFICE FÉDÉRAL DE L'ENVIRONNEMENT DES FORÊTS ET DU PAYSAGE, OFFICE FÉDÉRAL DES EAUX ET DE LA GÉOLOGIE (Ed.) 2002: *NAQUA News 2002*. Dépliant DIV-2501-F, OFEFP/OFEG, Berne.
- [3] OFFICE FÉDÉRAL DE L'ENVIRONNEMENT DES FORÊTS ET DU PAYSAGE, OFFICE FÉDÉRAL DES EAUX ET DE LA GÉOLOGIE (Ed.) 2003: *NAQUA News 2003*. Dépliant DIV-2510-F, OFEFP/OFEG, Berne.
- [4] *Loi fédérale du 24. janvier 1991 sur la protection des eaux (Loi sur la protection des eaux – LEaux)*, SR 814.20.
- [5] OFFICE FÉDÉRAL DE L'ENVIRONNEMENT DES FORÊTS ET DU PAYSAGE (Ed.), 1993: *Situation der Trinkwasserversorgung*. Schriftenreihe Umwelt 212, OFEFP, Berne.
- [6] OFFICE FÉDÉRAL DE L'ENVIRONNEMENT DES FORÊTS ET DU PAYSAGE, OFFICE FÉDÉRAL DES EAUX ET DE LA GÉOLOGIE (Ed.): *NAQUA – Qualité des eaux souterraines en Suisse*. Le réseau. En préparation.
- [7] IB GROMBACH & Co. AG 1992 : *Qualitätsüberwachung des Grundwassers durch den Bund. Vorschlag für die Ermittlung des Messstellennetzes*. Rapport pour l'OFEFP, non publié.
- [8] IB GROMBACH & Co. AG 1996 : *Nationale Grundwasserqualitätsbeobachtung (Projekt NAQUA). Kurzbeschreibung des Projekts*. Rapport pour l'OFEFP, non publié.
- [9] MATOUSEK, BAUMANN & NIGGLI AG 1998 : *NAQUA_{TREND}, Vorschlag für 24 Messstellen zur Langzeitbeobachtung*. Rapport pour l'OFEFP, non publié.
- [10] MATOUSEK, BAUMANN & NIGGLI AG 1999 : *NAQUA_{TREND}, Vorschlag für 26 Messstellen zur Langzeitbeobachtung*. Rapport pour l'OFEFP, non publié.
- [11] MATOUSEK, BAUMANN & NIGGLI AG 1998 : *NAQUA_{SPEZ}, Grundlagen-Messnetz. Soll-Bestandesliste der Messstellen*. Rapport pour l'OFEFP, non publié.
- [12] OFFICE FEDERAL DE LA STATISTIQUE (Ed.) 1998: *GEOSTAT. Statistique de la superficie suisse 1979/85, 15 modes d'utilisation du sol*. Données à l'échelle des communes. OFS, Neuchâtel.
- [13] OFFICE FÉDÉRAL DE LA STATISTIQUE (Ed.) 1998: *GEOSTAT. Landwirtschaftlich und gartenbaulich genutztes Land nach Hauptkulturen*. Données à l'échelle des communes. OFS, Neuchâtel.
- [14] OFFICE FÉDÉRAL DES EAUX ET DE LA GÉOLOGIE (Ed.) 2003: *Carte hydro-géologique d'ensemble de la Suisse*. OFEG, Berne.
- [15] GREBER E., BAUMANN A., CORNAZ S., HEROLD T., KOZEL R., MURALT R., ZOBRIST J. 2002 : *Grundwasserqualität in der Schweiz*. GWA 3/2002, 191–201.
- [16] OFFICE FÉDÉRAL DE L'ENVIRONNEMENT DES FORÊTS ET DU PAYSAGE (Ed.) 2000: *Méthodes d'analyse pour échantillons solides et aqueux provenant de sites pollués et de matériaux d'excavation*. L'environnement pratique 3407, OFEFP, Berne. 53 p.
- [17] *Ordonnance sur la protection des eaux du 28. octobre 1998 (OEaux)*, RS 814.201.
- [18] *Ordonnance fédérale du 26. Juin 1995 sur les substances étrangères et les composants dans les denrées alimentaires (OSEC)*, RS 817.021.

- [19] OFFICE FÉDÉRAL DE L'ENVIRONNEMENT DES FORÊTS ET DU PAYSAGE (Ed.) 2004: *Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines*. L'environnement pratique, VU-2508-F, OFEFP, Berne.
- [20] OFFICE FÉDÉRAL DE LA STATISTIQUE, OFFICE FÉDÉRAL DE L'AGRICULTURE 2002: *Limite des zones agricoles*. Données polygonalisées 1:25'000, OFS, Berne.
- [21] KILCHMANN S. 2001 : *Typology of recent groundwaters from different aquifer environments based on geogenic tracer elements*. Dissertation Nr. 2411 EPFL, Lausanne.
- [22] EUROSTAT-GISCO 1992: *Base cartographique de la Suisse*. UNEP-GRID Genève.
- [23] OFFICE FÉDÉRAL DE LA STATISTIQUE (Ed.) 2001: *Recensement des exploitations agricoles 2000*. OFS, Neuchâtel.
- [24] SERVICE HYDROLOGIQUE ET GÉOLOGIQUE NATIONAL 1992: *Atlas hydrologique de la Suisse*. Table 1.2: Données de base sur les petits bassins versants. SHGN, Berne.
- [25] AMT FÜR ABFALL, WASSER, ENERGIE UND LUFT DES KANTONS ZÜRICH (Hrsg.) 2000 : *Qualitative Grundwasserbeobachtung im Kanton Zürich 2000*. AWEL, Zürich.
- [26] SPIESS E. 2004 : *Ökomassnahmen und Nitratgehalt des Grundwassers*. Agrarforschung 11(6), 246–251.
- [27] BAUDEPARTEMENT DES KANTONS AARGAU (Hrsg.) 1999, 2000 : *Hydrologisches Jahrbuch des Kantons Aargau 1999 bzw. 2000*. Abteilung Umweltschutz, Aarau.
- [28] KANTONALES LABORATORIUM LUZERN (Hrsg.) 2002 : *Jahresbericht 2002*. Kantonales Laboratorium, Luzern.
- [29] SERVICE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT DU CANTON DU VALAIS 2002: *Valeurs de nitrates 1992–2001*. Communication personnelle.
- [30] OFFICE FÉDÉRAL DE LA STATISTIQUE (Ed.) 2002: *Environnement Suisse 2002: Statistique et analyses*. OFS, Neuchâtel.
- [31] *Ordonnance du 23 juin 1999 sur l'homologation de produits phytosanitaires (Ordonnance sur les produits phytosanitaires)* RS 916.161.
- [32] OFFICE FÉDÉRAL DE L'AGRICULTURE (Ed.) 2003: *Produits phytosanitaires 2003*. http://www.blw.admin.ch/pflanzenschutzverz/pb_home_f.html
- [33] SCHWEIZERISCHE GESELLSCHAFT FÜR CHEMISCHE INDUSTRIE SGCI 2003 : *Pflanzenschutzmittelstatistik Schweiz 2002*. Rapport non publié.
- [34] Office fédéral de l'environnement des forêts et du paysage (Ed.), 2003: Réduction des risques environnementaux liés aux engrais et aux produits phytosanitaires. Rapport détaillé en complément à la réponse du Conseil fédéral à la motion 94.3005 CEATE-E.. – OFEFP, Berne.
- [35] ANGHERN D. 2001 : *Keine Pflanzenschutzmittel im Trinkwasser*. GWA 12/2001, 841–846.
- [36] OFFICE FÉDÉRAL DE L'ÉNERGIE (Ed.) 2003: *Statistique globale suisse de l'énergie 2002*. <http://www.energie-schweiz.ch/internet/02065/index.html?lang=fr>.
- [37] SCHMIDT T. C., HADERLEIN S. B. 2000 : *Does the use of MTBE pose environmental problems in Switzerland ?* EAWAG, Dübendorf, non publié.
- [38] OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT DES FORETS ET DU PAYSAGE 2002: *Abschätzung der Altlastenrelevanz von Methyl-tert-butylether (MTBE)*. Umwelt-Materialien Nr. 151, OFEFP, Berne.
- [39] OFFICE FÉDÉRAL DE L'ENVIRONNEMENT DES FORÊTS ET DU PAYSAGE (Ed.) 2003: *Anthropogene VOC-Emissionen Schweiz 1998 und 2001*. OFEFP, Berne.

- [40] HÖTZL H., MAKURAT A. 1981 : *Veränderungen der Grundwassertemperaturen unter dicht bebauten Flächen am Beispiel der Stadt Karlsruhe*. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 132. p. 767–777.
- [41] MATTHESS G. 1994 : *Die Beschaffenheit des Grundwassers*. Bornträger, 499 S., Berlin.
- [42] DVWK-Schriftenreihe 110 1996 : *Hydrogeochemische Stoffsysteme – Teil I*. Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V., Wirtschafts- und Verl.-Ges. Gas und Wasser. Bonn.
- [43] DVWK-Schriftenreihe 117 1998 : *Hydrogeochemische Stoffsysteme – Teil II*. Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V., Wirtschafts- und Verl.-Ges. Gas und Wasser. Bonn.
- [44] SCHLEYER R., KERNDORF H. 1992 : *Die Grundwasserqualität westdeutscher Trinkwasserressourcen*. Wiley-VCH, Weinheim.
- [45] GEMEINDE WOHLenschwil AG 2004 : *Ganglinie des Nitratgehaltes in der Grundwasserfassung Frohberg 1978–2004*. Persönliche Mitteilung, Christoph Ziltener, Fachstelle Düngung und Umwelt Liebegg.

Soutien de la part des administrations cantonales et des laboratoires officiels

Les administrations cantonales et les laboratoires officiels, énumérés ci-après, collaborent avec les services de la Confédération impliqués pour la mise en place du réseau NAQUA et en soutiennent le fonctionnement. Ils ont fourni les informations de base sur les stations et les résultats d'analyses antérieures, ou financent et réalisent les prélèvements et pour certains, réalisent aussi les analyses dans le cadre de la campagne NAQUA_{SPE} :

Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung für Umwelt
Kantonslabor Aargau
Amt für Umweltschutz des Kantons Appenzell Innerrhoden
Amt für Umweltschutz und Energie des Kantons Basel-Landschaft
Kantonslabor Basel-Landschaft
Amt für Umwelt und Energie des Kantons Basel-Stadt
Labor des Amtes für Umwelt und Energie des Kantons Basel-Stadt
Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern
Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern
Kantonslabor Bern
Office de la protection de l'environnement du canton de Fribourg
Laboratoire de l'office de la protection de l'environnement du canton de Fribourg
Service cantonal de géologie du canton de Genève
Laboratoire du service de la protection de la consommation du canton de Genève
Laboratoire du service de l'eau des services industriels de Genève
Amt für Umwelt des Kantons Graubünden
Kantonslabor Graubünden
Office des eaux et de la protection de la nature du canton du Jura
Laboratoire cantonal du canton du Jura
Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern

Kantonslabor Luzern
Service cantonal de la protection de l'environnement du canton de Neuchâtel
Laboratoire du service de la protection de l'environnement du canton de Neuchâtel
Amt für Umweltschutz des Kantons Nidwalden
Amt für Umwelt und Energie des Kantons Obwalden
Amt für Umweltschutz des Kantons St. Gallen
Kantonslabor St. Gallen
Amt für Umweltschutz des Kantons Schwyz
Amt für Umwelt des Kantons Solothurn
Amt für Umwelt des Kantons Thurgau
Labor des Amtes für Umweltschutz des Kantons Thurgau
Sezione della protezione dell'aria, dell'acqua e del suolo del cantone del Ticino
Laboratorio della sezione della protezione dell'aria, dell'acqua e del suolo del cantone
del Ticino
Amt für Umweltschutz des Kantons Uri
Laboratorium der Urkantone
Service des eaux, sols et assainissement du canton de Vaud
Laboratoire cantonal du canton de Vaud
Dienststelle für Umweltschutz des Kantons Wallis
Labor der Dienststelle für Umweltschutz des Kantons Wallis
Amt für Umweltschutz des Kantons Zug
Labor für Lebensmittelkontrolle des Kantons Zug
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich
Labor des Amtes für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich
Kantonslabor Zürich

Annexes

	Page
A1 Résultats	146
Explications pour les tableaux	146
1997–2001 : Composés de l'azote	146
2002 : Composés de l'azote	146
2003 : Composés de l'azote	146
1997–2001 : Produits phytosanitaires	147
2002 : Produits phytosanitaires	147
2003 : Produits phytosanitaires	150
1997–2001 : Hydrocarbures et MTBE	153
2002 : Hydrocarbures et MTBE	153
2003 : Hydrocarbures et MTBE	155
2000–2003 : Paramètres de base	157
A2 Courbes d'évolution temporelle de quelques paramètres des stations NAQUA_{TREND}	158
A3 Limites utilisées pour l'évaluation de la qualité des eaux souterraines	203

A1 Résultats

Sur la base de l'accord passé entre les différents cantons, les propriétaires de captages et l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, il n'est pas possible pour la plupart des stations du réseau NAQUA, de publier des informations permettant de remonter à un captage particulier. Les résultats sont présentés pour cette raison, uniquement sous forme de tableaux récapitulatifs.

Explications pour les tableaux

Limite	Exigence chiffrée OEaux ^[17] pour les eaux du sous-sol utilisées comme eau potable, valeur de tolérance ou valeur limite OSEC ^[18] pour l'eau potable ou valeur indicative des instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines ^[19] (cf. annexe 3).
LQ	Limite de quantification.
n	Nombre.
Type (produits phytosanitaires)	A = Acaricide; AL = Algicide, F = Fongicide; H = Herbicide; I = Insecticide; M = Métabolite; N = Nématicide, SP = Sous-produit; R = Insectifuge; S = Produit de conservation des semences, W = Régulateur de croissance.
Type (hydrocarbures et MTBE)	HC al. = hydrocarbures aliphatiques; HHV = hydrocarbures halogénés volatils; HAM = hydrocarbures aromatiques monocycliques; HAP = hydrocarbures aromatiques polycycliques.

1997–2001 : Composés de l'azote

Substance	LQ (mg/l)	Stations					Mesures					Statistique (seulement les mesures ≥LQ)					
		n	≥LQ	>limite	% ≥LQ	% >limite	n	≥LQ	>limite	% ≥LQ	% >limite	min. (mg/l)	max. (mg/l)	moyenne (mg/l)	médiane (mg/l)	1 ^{er} quartile (mg/l)	3 ^{ème} quartile (mg/l)
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0.03	39	12	0	30.8	0	469	17	0	3.6	0	0.03	0.08	0.039	0.03	0.03	0.04
Nitrites (NO ₂ ⁻)	0.01	39	5	0	12.8	0	469	7	0	1.5	0	0.01	0.03	0.015	0.01	0.01	0.017
Nitrates (NO ₃ ⁻)	0.1–1	39	39	12	100	30.8	621	620	139	99.8	22.4	0.1	46.7	16.2	14.9	4.5	23.9

2002 : Composés de l'azote

Substance	LQ (mg/l)	Stations					Mesures					Statistique (seulement les mesures ≥LQ)					
		n	≥LQ	>limite	% ≥LQ	% >limite	n	≥LQ	>limite	% ≥LQ	% >limite	min. (mg/l)	max. (mg/l)	moyenne (mg/l)	médiane (mg/l)	1 ^{er} quartile (mg/l)	3 ^{ème} quartile (mg/l)
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0.001–0.05	443	121	0 ¹	27.3	0	1045	217	0	20.8	0	0.001	0.210	0.016	0.010	0.005	0.026
Nitrites (NO ₂ ⁻)	0.001–0.026	445	85	0	19.1	0	1047	164	0	15.7	0	0.001	0.053	0.008	0.004	0.003	0.009
Nitrates (NO ₃ ⁻)	0.1–1	450	446	82	99.1	18.2	1198	1189	234	99.2	19.5	0.2	85	15.7	13.9	6.6	22.7

2003 : Composés de l'azote

Substance	LQ (mg/l)	Stations					Mesures					Statistique (seulement les mesures ≥LQ)					
		n	≥LQ	>limite	% ≥LQ	% >limite	n	≥LQ	>limite	% ≥LQ	% >limite	min. (mg/l)	max. (mg/l)	moyenne (mg/l)	médiane (mg/l)	1 ^{er} quartile (mg/l)	3 ^{ème} quartile (mg/l)
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0.001–0.05	427	161	2 ²	37.7	0.5	1158	297	2	25.6	0.2	0.001	0.240	0.014	0.008	0.005	0.018
Nitrites (NO ₂ ⁻)	0.001–0.049	446	65	0	14.6	0	1206	116	0	9.6	0	0.001	0.082	0.009	0.007	0.003	0.010
Nitrates (NO ₃ ⁻)	0.1–1	446	442	86	99.1	19.3	1251	1246	253	99.6	20.2	0.2	70	16.1	14.0	6.9	23.0

¹ L'exigence pour les eaux souterraines en conditions oxydantes (0.1 mg/l) a été dépassée une fois; la station correspondante a par contre une eau réduite pour laquelle, l'exigence s'élevant à 0.5 mg/l n'a pas été dépassée.

² L'exigence pour les eaux souterraines en conditions oxydantes (0.1 mg/l) a été dépassée trois fois. L'une des stations est la même qu'en 2002.

1997–2001 : Produits phytosanitaires

A) Substances autorisées en Suisse

Substance	Stations					Mesures					Statistique (seulement les mesures \geq LQ)							
	Type	LQ ($\mu\text{g/l}$)	n	\geq LQ	>limite	% \geq LQ	% >limite	n	\geq LQ	>limite	% \geq LQ	% >limite	min. ($\mu\text{g/l}$)	max. ($\mu\text{g/l}$)	moyenne ($\mu\text{g/l}$)	médiane ($\mu\text{g/l}$)	1er quartile ($\mu\text{g/l}$)	3ème quartile ($\mu\text{g/l}$)
Atrazine	H	0.05	39	8	3	20.5	7.7	317	13	6	4.1	1.9	0.051	0.240	0.107	0.090	0.069	0.120
Métribuzine	H	0.05	39	1	0	2.5	0	229	1	0	0.4	0	0.100	0.100				
Simazine	H	0.05	39	0	0	0	0	229	0	0	0	0						
Terbutryne	H	0.05	39	0	0	0	0	229	0	0	0	0						
Terbutylazine	H	0.05	39	0	0	0	0	229	0	0	0	0						

B) Produits de dégradation

Substance	Stations					Mesures					Statistique (seulement les mesures \geq LQ)							
	Type	LQ ($\mu\text{g/l}$)	n	\geq LQ	>limite	% \geq LQ	% >limite	n	\geq LQ	>limite	% \geq LQ	% >limite	min. ($\mu\text{g/l}$)	max. ($\mu\text{g/l}$)	moyenne ($\mu\text{g/l}$)	médiane ($\mu\text{g/l}$)	1er quartile ($\mu\text{g/l}$)	3ème quartile ($\mu\text{g/l}$)
Déséthylatrazine	M	0.05	39	3	0	7.7	0	284	6	0	2.1	0	0.050	0.080	0.060	0.050	0.050	0.058
Désisopropylatrazine	M	0.05	39	1	0	2.5	0	284	1	0	0.4	0	0.090	0.090				

2002 : Produits phytosanitaires

A) Substances autorisées en Suisse

Substance	Stations					Mesures					Statistique (seulement les mesures \geq LQ)							
	Type	LQ ($\mu\text{g/l}$)	n	\geq LQ	>limite	% \geq LQ	% >limite	n	\geq LQ	>limite	% \geq LQ	% >limite	min. ($\mu\text{g/l}$)	max. ($\mu\text{g/l}$)	moyenne ($\mu\text{g/l}$)	médiane ($\mu\text{g/l}$)	1er quartile ($\mu\text{g/l}$)	3ème quartile ($\mu\text{g/l}$)
Programme de base NAQUASPE																		
Atrazine	H	0.002–0.05	414	153	18	37.0	4.3	884	277	27	31.3	3.1	0.001	0.797	0.046	0.025	0.017	0.046
Simazine	H	0.002–0.05	414	72	1	17.4	0.2	884	121	1	13.7	0.1	0.001	0.128	0.016	0.011	0.009	0.020
Terbutylazine	H	0.001–0.05	414	35	1	8.5	0.2	882	42	2	4.8	0.2	0.004	0.130	0.020	0.012	0.008	0.022
Diuron	H	0.001–0.05	353	7	0	2.0	0	730	12	0	1.6	0	0.003	0.057	0.016	0.008	0.004	0.020
Isoproturon	H	0.001–0.05	353	7	4	2.0	1.1	734	7	4	1.0	0.5	0.017	0.380	0.169	0.190	0.035	0.263
Programme complémentaire																		
Cyanazine	H	0.001–0.02	177	9	0	5.1	0	367	9	0	2.5	0	0.010	0.035	0.018	0.016	0.014	0.020
Terbutryne	H	0.001–0.05	228	6	0	2.6	0	380	6	0	1.6	0	0.010	0.024	0.015	0.012	0.011	0.018
Métamitron	H	0.005–0.05	261	4	1	1.5	0.4	494	4	1	0.8	0.2	0.065	0.115	0.084	0.079	0.067	0.096
Métolachlore	H	0.002–0.05	258	3	0	1.2	0	488	4	0	0.8	0	0.010	0.026	0.017	0.017	0.014	0.020
Linuron	H	0.01–0.05	210	3	0	1.4	0	410	3	0	0.7	0	0.017	0.025				
Chlortoluron	H	0.002–0.05	252	2	2	0.8	0.8	456	2	2	0.4	0.4	0.193	0.199				
Alachlore	H	0.01–0.05	121	1	0	0.8	0	182	1	0	0.5	0	0.020	0.020				
Bentazone	H	0.02	4	1	0	25.0	0	4	1	0	25.0	0	0.060	0.060				
Chlorpyrifos	I	0.01–0.05	172	1	0	0.6	0	357	1	0	0.3	0	0.021	0.021				
Diméfurone	H	0.002–0.01	59	1	0	1.7	0	191	1	0	0.5	0	0.085	0.085				
Dinoseb	H	0.02–0.04	116	1	0	0.9	0	172	1	0	0.6	0	0.037	0.037				
Métalaxyl	F, S	0.02–0.05	236	1	0	0.4	0	433	1	0	0.2	0	0.024	0.024				
Parathion	I	0.02	116	1	0	0.9	0	172	1	0	0.6	0	0.020	0.020				
Pendiméthaline	H	0.01–0.05	236	1	0	0.4	0	433	1	0	0.2	0	0.010	0.010				
2,4-D	H	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
Bromopropylate	I, A	0.01	56	0	0	0	0	185	0	0	0	0						

Substance	Stations				Mesures				Statistique (seulement les mesures \geq LQ)									
	Type	LQ ($\mu\text{g/l}$)	n	\geq LQ	>limite	% \geq LQ	% >limite	n	\geq LQ	>limite	% \geq LQ	% >limite	min. ($\mu\text{g/l}$)	max. ($\mu\text{g/l}$)	moyenne ($\mu\text{g/l}$)	médiane ($\mu\text{g/l}$)	1er quartile ($\mu\text{g/l}$)	3ème quartile ($\mu\text{g/l}$)
Bromoxynil	H	0.05	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Carbendazime	F, S	0.025	56	0	0	0	0	185	0	0	0	0						
Carbofurane	I, N, M	0.005-0.05	208	0	0	0	0	406	0	0	0	0						
Chlorbromuron	H	0.002-0.01	175	0	0	0	0	363	0	0	0	0						
Chloridazone	H	0.025-0.05	89	0	0	0	0	228	0	0	0	0						
Chlorothalonil	F	0.04	56	0	0	0	0	185	0	0	0	0						
Cyperméthrine	I	0.05	33	0	0	0	0	33	0	0	0	0						
Cyproconazol	F	0.025	56	0	0	0	0	185	0	0	0	0						
Diazinon	I, A	0.01-0.05	180	0	0	0	0	248	0	0	0	0						
Dichlorprop (2,4-DP)	H	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
Diflufenican	H	0.025	56	0	0	0	0	185	0	0	0	0						
Diméthénamide	H	0.01	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
Diméthoate	I, M	0.01-0.05	66	0	0	0	0	76	0	0	0	0						
Endosulfan (Alpha-)	I, A	0.05	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Endosulfan (Beta-)	I, A	0.05	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Ethofumesate	H	0.01-0.05	122	0	0	0	0	261	0	0	0	0						
Fenpropimorphe	F	0.01-0.05	151	0	0	0	0	219	0	0	0	0						
Fluroxypyr	H	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
Lindane	S (l)	0.01-0.02	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
MCPA	H	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
MCPB	H	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
MCPP (Mecoprop)	H	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
Métazachlore	H	0.01-0.05	51	0	0	0	0	69	0	0	0	0						
Méthabenzthiazuron	H	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
Méthyl-Parathion	I	0.05	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Métobromuron	H, F	0.001-0.02	60	0	0	0	0	189	0	0	0	0						
Métoxuron	H	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
Métribuzine	H	0.01-0.05	193	0	0	0	0	447	0	0	0	0						
Metsulfuron-methyl	H	0.01	3	0	0	0	0	6	0	0	0	0						
Monolinuron	H	0.01-0.05	81	0	0	0	0	231	0	0	0	0						
Napropamide	H	0.002	56	0	0	0	0	185	0	0	0	0						
Oxadixyl	F	0.05	33	0	0	0	0	33	0	0	0	0						
Penconazole	F	0.01	33	0	0	0	0	33	0	0	0	0						
Permethrine	I	0.02-0.05	33	0	0	0	0	33	0	0	0	0						
Pirimicarbe	I	0.01	150	0	0	0	0	211	0	0	0	0						
Propachlore	H	0.01-0.025	89	0	0	0	0	218	0	0	0	0						
Propiconazole	F	0.025-0.1	60	0	0	0	0	189	0	0	0	0						
Sulcotrion	H	0.05	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Tétrachlorvinphos	I, A	0.003-0.02	172	0	0	0	0	357	0	0	0	0						
Triclopyr	H	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
Trifluraline	H	0.01-0.05	205	0	0	0	0	400	0	0	0	0						
Vinclozoline	F	0.003	56	0	0	0	0	185	0	0	0	0						

B) Substances non autorisées en Suisse, produits de dégradation, sous-produits et substances non utilisées en agriculture

Substance	Stations					Mesures					Statistique (seulement les mesures ≥LQ)							
	Type	LQ (µg/l)	n	≥LQ	>limite	% ≥LQ	% >limite	n	≥LQ	>limite	% ≥LQ	% >limite	min. (µg/l)	max. (µg/l)	moyenne (µg/l)	médiane (µg/l)	1er quartile (µg/l)	3ème quartile (µg/l)
Programme de base NAQUASPE																		
Déséthylatrazine	M	0.002-0.05	414	194	26	46.9	6.3	884	379	45	42.9	5.1	0.003	0.920	0.065	0.040	0.025	0.070
Désisopropylatrazine	M	0.005-0.05	413	30	1	7.3	0.2	852	45	2	5.3	0.2	0.008	0.147	0.029	0.020	0.016	0.033
Programme complémentaire																		
Propazine	H,SP	0.01-0.05	276	11	0	4.0	0	529	13	0	2.5	0	0.010	0.025	0.013	0.010	0.010	0.017
Alpha-HCH	I	0.01-0.02	116	2	0	1.7	0	172	3	0	1.7	0	0.010	0.026				
Hexachlorobenzène	F	0.02	116	2	0	1.7	0	172	2	0	1.2	0	0.020	0.021				
Prométryne	H	0.01-0.025	214	2	0	0.9	0	424	2	0	0.5	0	0.020	0.020				
Endrine	I	0.05	116	1	0	0.9	0	172	1	0	0.6	0	0.058	0.058				
2,4,5-T	H,W	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
2,4,5-TP (Fénoprop)	H	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
2,4-DB	H, W	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
2,4'-DDD	M	0.01-0.02	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
2,4'-DDE	M	0.01-0.02	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
2,4'-DDT	I	0.01-0.05	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
4,4'-DDD	M	0.01-0.02	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
4,4'-DDE	M	0.01-0.02	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
4,4'-DDT	I	0.01-0.05	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Aldrine	I	0.05	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Amétryne	H	0.01-0.05	177	0	0	0	0	367	0	0	0	0						
Beta-HCH	SP	0.01-0.02	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Bromacile	H	0.02-0.05	79	0	0	0	0	126	0	0	0	0						
DEET	R	0.01-0.025	122	0	0	0	0	261	0	0	0	0						
Delta-HCH	SP	0.02	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Déséthylterbutylazine	M	0.05	10	0	0	0	0	10	0	0	0	0						
Dieldrine	M	0.02	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Endosulfan-sulfate	M	0.02	172	0	0	0	0	357	0	0	0	0						
Fluométuron	H	0.025	26	0	0	0	0	185	0	0	0	0						
Heptachlore	I	0.02-0.05	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Hexazinon	H	0.01-0.02	174	0	0	0	0	361	0	0	0	0						
Malathion	I, A	0.01-0.1	118	0	0	0	0	176	0	0	0	0						
Methoxychlore	I	0.02	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Molinate	H	0.01	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Propoxur	I	0.025	56	0	0	0	0	185	0	0	0	0						
Sebutylazine	H	0.01-0.025	174	0	0	0	0	361	0	0	0	0						
l-Heptachlore-Epoxyd	M	0.02	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						

2003 : Produits phytosanitaires

A) Substances autorisées en Suisse

Substance	Stations					Mesures					Statistique (seulement les mesures \geq LQ)							
	Type	LQ ($\mu\text{g/l}$)	n	\geq LQ	>limite	% \geq LQ	% > limite	n	\geq LQ	>limite	% \geq LQ	% > limite	min. ($\mu\text{g/l}$)	max. ($\mu\text{g/l}$)	moyenne ($\mu\text{g/l}$)	médiane ($\mu\text{g/l}$)	1er quartile ($\mu\text{g/l}$)	3ème quartile ($\mu\text{g/l}$)
Programme de base NAQUASPE																		
Atrazine	H	0.002-0.05	439	172	21	39.2	4.8	1114	368	44	33.0	3.9	0.003	0.967	0.053	0.029	0.015	0.059
Simazine	H	0.002-0.05	439	97	1	22.1	0.2	1114	200	2	18.0	0.2	0.001	0.122	0.017	0.012	0.008	0.020
Terbutylazine	H	0.001-0.05	439	32	0	7.3	0	1114	32	0	2.9	0	0.004	0.094	0.016	0.010	0.008	0.017
Diuron	H	0.001-0.05	401	6	0	1.5	0	981	6	0	0.6	0	0.002	0.040	0.012	0.008	0.003	0.012
Isoproturon	H	0.001-0.05	390	2	0	0.5	0	970	4	0	0.4	0	0.020	0.080	0.048	0.045	0.028	0.065
Programme complémentaire																		
Cyanazine	H	0.001-0.02	165	16	1	9.7	0.6	421	17	1	4.0	0.2	0.010	0.138	0.025	0.014	0.013	0.020
Métolachlore	H	0.002-0.05	250	6	1	2.4	0.4	595	14	3	2.4	0.5	0.005	0.160	0.037	0.014	0.010	0.017
Métalaxyl	F,S	0.005-0.05	205	1	0	0.5	0	474	3	0	0.6	0	0.020	0.043				
Terbutryne	H	0.005-0.05	188	3	0	1.6	0	439	3	0	0.7	0	0.013	0.040				
Bentazone	H	0.01-0.02	12	2	0	16.7	0	15	2	0	13.3	0	0.040	0.040				
Chlortoluron	H	0.002-0.05	226	2	0	0.9	0	510	2	0	0.4	0	0.003	0.011				
Oxadixyl	F	0.005-0.05	20	2	0	10.0	0	41	2	0	4.9	0	0.005	0.060				
Alachlore	H	0.005-0.05	119	1	0	0.8	0	270	1	0	0.4	0	0.050	0.050				
Linuron	H	0.01-0.15	221	1	0	0.5	0	499	1	0	0.2	0	0.038	0.038				
Métamitron	H	0.005-0.05	231	1	0	0.4	0	561	1	0	0.2	0	0.028	0.028				
Monolinuron	H	0.01-0.05	104	1	0	1.0	0	303	1	0	0.3	0	0.028	0.028				
2,4-D	H	0.01-0.02	12	0	0	0	0	15	0	0	0	0						
Alpha-Endosulfan	I	0.05	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Azinphos-méthyl	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Beta-Endosulfan	I	0.05	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Bromopropylate	I, A	0.01	57	0	0	0	0	183	0	0	0	0						
Bromoxynil	H	0.05	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Carbendazime	F,S	0.025	57	0	0	0	0	183	0	0	0	0						
Carbofurane	I,N,M	0.005-0.01	163	0	0	0	0	412	0	0	0	0						
Chlorbromuron	H	0.002-0.025	175	0	0	0	0	436	0	0	0	0						
Chlorfenvinphos	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Chloridazone	H	0.005-0.05	101	0	0	0	0	248	0	0	0	0						
Chlorothalonil	F	0.04	57	0	0	0	0	183	0	0	0	0						
Chlorpyrifos-éthyl	I	0.005-0.05	170	0	0	0	0	432	0	0	0	0						
Chlorpyrifos-méthyl	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Cyperméthrine	I	0.05	9	0	0	0	0	9	0	0	0	0						
Cyproconazole	F	0.025	57	0	0	0	0	183	0	0	0	0						
Diazinon	I, A	0.005-0.05	148	0	0	0	0	291	0	0	0	0						
Dichlofluanide	F	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Dichlorprop (2,4-DP)	H	0.01-0.02	12	0	0	0	0	15	0	0	0	0						
Dichlorvos (DDVP)	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Diflufenican	H	0.025	57	0	0	0	0	183	0	0	0	0						
Diméfuron	H	0.002-0.01	61	0	0	0	0	195	0	0	0	0						
Diméthachlore	H	0.01	9	0	0	0	0	9	0	0	0	0						
Diméthènamide	H	0.005-0.01	20	0	0	0	0	41	0	0	0	0						
Diméthoate	I, M	0.005-0.05	53	0	0	0	0	74	0	0	0	0						
Dinoseb	H	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Ethofumesate	H	0.005-0.05	110	0	0	0	0	257	0	0	0	0						
Fénitrothion	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						

Substance	Stations							Mesures					Statistique (seulement les mesures ≥LQ)					
	Type	LQ (µg/l)	n	≥LQ	>limite	% ≥LQ	% >limite	n	≥LQ	>limite	% ≥LQ	% >limite	min. (µg/l)	max. (µg/l)	moyenne (µg/l)	médiane (µg/l)	1er quartile (µg/l)	3ème quartile (µg/l)
Fenpropimorphe	F	0.005-0.05	148	0	0	0	0	288	0	0	0	0						
Fluroxypyr	H	0.01-0.02	12	0	0	0	0	15	0	0	0	0						
Iprodione	F	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Lindane	S (l)	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
MCPA	H	0.01-0.02	12	0	0	0	0	15	0	0	0	0						
MCPB	H	0.01-0.02	12	0	0	0	0	15	0	0	0	0						
MCPP (Mecoprop)	H	0.01-0.02	12	0	0	0	0	15	0	0	0	0						
Métazachlore	H	0.005-0.05	42	0	0	0	0	116	0	0	0	0						
Méthabenzthiazuron	H	0.02-0.025	21	0	0	0	0	33	0	0	0	0						
Métobromuron	H, F	0.001-0.025	78	0	0	0	0	216	0	0	0	0						
Métoxuron	H	0.02-0.025	21	0	0	0	0	33	0	0	0	0						
Métribuzine	H	0.01-0.05	143	0	0	0	0	356	0	0	0	0						
Metsulfuron-méthyl	H	0.01-0.01	4	0	0	0	0	12	0	0	0	0						
Mévinphos	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Napropamide	H	0.002	57	0	0	0	0	183	0	0	0	0						
Orbencarb	H	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Parathion (-éthyl)	I	0.005-0.02	113	0	0	0	0	249	0	0	0	0						
Parathion-méthyl	I	0.005-0.05	113	0	0	0	0	249	0	0	0	0						
Penconazole	F	0.005-0.01	20	0	0	0	0	41	0	0	0	0						
Pendiméthaline	H	0.005-0.05	205	0	0	0	0	474	0	0	0	0						
Perméthrine	I	0.05	9	0	0	0	0	9	0	0	0	0						
Pirimicarbe	I	0.005-0.01	119	0	0	0	0	270	0	0	0	0						
Propachlore	H	0.01-0.025	66	0	0	0	0	192	0	0	0	0						
Propiconazole	F	0.01-0.025	66	0	0	0	0	192	0	0	0	0						
Propyzamide	H	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Prosulfocarbe	H	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Pyrazophos	F	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Sulcotrion	H	0.05	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Tébuconazole	F	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Tébutame	H	0.005-0.01	20	0	0	0	0	41	0	0	0	0						
Terbacil	H	0.02	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0						
Tétrachlorvinphos	I, A	0.003-0.02	159	0	0	0	0	400	0	0	0	0						
Triclopyr	H	0.01-0.02	12	0	0	0	0	15	0	0	0	0						
Trifluraline	H	0.005-0.05	203	0	0	0	0	465	0	0	0	0						
Vinclozoline	F	0.003-0.005	68	0	0	0	0	215	0	0	0	0						

B) Substances non autorisées en Suisse, produits de dégradation, sous-produits et substances non utilisées en agriculture

Substance	Stations					Mesures					Statistique (seulement les mesures \geq LQ)							
	Type	LQ ($\mu\text{g/l}$)	n	\geq LQ	>limite	% \geq LQ	% >limite	n	\geq LQ	>limite	% \geq LQ	% >limite	min. ($\mu\text{g/l}$)	max. ($\mu\text{g/l}$)	moyenne ($\mu\text{g/l}$)	médiane ($\mu\text{g/l}$)	1er quartile ($\mu\text{g/l}$)	3ème quartile ($\mu\text{g/l}$)
Programme de base NAQUASPE																		
Déséthylatrazine	M	0.002–0.05	439	184	29	41.9	6.6	1114	442	59	39.7	5.3	0.003	1.170	0.067	0.040	0.022	0.071
Désisopropylatrazine	M	0.005–0.05	438	41	1	9.4	0.2	1101	79	2	7.2	0.2	0.009	0.120	0.028	0.021	0.015	0.031
Programme complémentaire																		
Propazine	H,SP	0.005–0.05	259	16	0	6.2	0	594	32	0	5.4	0	0.005	0.032	0.014	0.012	0.010	0.014
Déséthylterbutylazine	M	0.005	11	9	0	81.8	0	32	22	0	68.8	0	0.006	0.013	0.009	0.009	0.007	0.011
Dichlorobenzamide	M	0.005	11	7	0	63.6	0	32	17	0	53.1	0	0.005	0.047	0.020	0.014	0.011	0.029
Prométryne	H	0.005–0.025	197	6	0	3.0	0	486	15	0	3.1	0	0.005	0.024	0.012	0.010	0.009	0.013
Hexazinon	H	0.005–0.025	172	4	0	2.3	0	441	12	0	2.7	0	0.005	0.018	0.011	0.010	0.008	0.014
Heptachlore époxyde	M	0.05	102	1	0	1.0	0	217	1	0	0.5	0	0.090	0.090				
Monuron	H	0.025	12	1	0	8.3	0	24	1	0	4.2	0	0.028	0.028				
2,4,5-T	H,W	0.01–0.02	12	0	0	0	0	15	0	0	0	0						
2,4,5-TP (Fénoprop)	H	0.01–0.02	12	0	0	0	0	15	0	0	0	0						
2,4-DB	H,W	0.01–0.02	12	0	0	0	0	15	0	0	0	0						
2,4'-DDD	M	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
2,4'-DDE	M	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
2,4'-DDT	I	0.05	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
4,4'-DDD	M	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
4,4'-DDE	M	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
4,4'-DDT	I	0.05	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Aldrin	I	0.02–0.05	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Alpha-HCH	I	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Amétryne	H	0.005–0.05	186	0	0	0	0	473	0	0	0	0						
Azinphos-éthyl	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Beta-HCH	SP	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Bromacile	H	0.02–0.05	49	0	0	0	0	128	0	0	0	0						
DEET	R	0.005–0.05	110	0	0	0	0	257	0	0	0	0						
Delta-HCH	SP	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Dieldrine	M	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Endosulfan sulfate	M	0.02–0.1	159	0	0	0	0	400	0	0	0	0						
Endrine	I	0.05	102	0	0	0	0	216	0	0	0	0						
Fenthion	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Fluométuron	H	0.025	57	0	0	0	0	183	0	0	0	0						
Heptachlore	I	0.05	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Hexachlorobenzène	F	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Irgarol_1051	AL	0.005–0.01	20	0	0	0	0	41	0	0	0	0						
Iso-Chloridazon	SP	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Malathion	I	0.005–0.1	115	0	0	0	0	258	0	0	0	0						
Méthoxychlore	I	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Molinate	H	0.01	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Propétamphos	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Propoxur	I	0.025	57	0	0	0	0	183	0	0	0	0						
Quinalphos	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Sebuthylazine	H	0.01–0.025	161	0	0	0	0	409	0	0	0	0						
Terbuméton	H	0.005–0.066	12	0	0	0	0	33	0	0	0	0						
Tolclofos-méthyl	F	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Triazophos	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						

1997–2001 : Hydrocarbures et MTBE

Substance			Stations					Mesures					Statistique (seulement les mesures ≥LQ)					
Type	LQ (µg/l)	n	≥LQ	>limite	% ≥LQ	% >limite	n	≥LQ	>limite	% ≥LQ	% >limite	min. (µg/l)	max. (µg/l)	moyenne (µg/l)	médiane (µg/l)	1er quartile (µg/l)	3ème quartile (µg/l)	
MTBE	Ether	0.1	39	9	0	23.1	0	200	9	0	4.5	0	0.12	0.34	0.19	0.18	0.17	0.19
Trichloréthène	HHV	0.2	39	9	1	23.1	2.5	268	30	2	11.2	0.8	0.20	1.33	0.46	0.30	0.20	0.65
Tétrachloréthène	HHV	0.02	39	8	2	20.5	5.1	268	65	15	24.3	5.6	0.02	10.60	1.63	0.13	0.09	0.87
Toluène	HAM	0.1	39	6	3	15.4	7.7	262	9	3	3.4	1.1	0.10	10.50	2.02	0.21	0.11	1.30
1,1,1-trichloréthane	HHV	0.2	39	5	0	12.8	0	268	25	0	9.3	0	0.20	0.96	0.36	0.34	0.26	0.37
Ethylbenzène	HAM	0.1	39	1	0	2.5	0	262	1	0	0.4	0	0.16	0.16				
Tétrachlorométhane	HHV	0.05	39	1	0	2.5	0	268	1	0	0.4	0	0.14	0.14				
Xylènes total	HAM	0.1	39	1	0	2.5	0	262	1	0	0.4	0	0.57	0.57				
Benzène	HAM	0.1	39	0	0	0	0	262	0	0	0	0						
Chloroforme	HHV	0.5	39	0	0	0	0	268	0	0	0	0						

2002 : Hydrocarbures et MTBE

Substance			Stations					Mesures					Statistique (seulement les mesures ≥LQ)					
Type	LQ (µg/l)	n	≥LQ	>limite	% ≥LQ	% >limite	n	≥LQ	>limite	% ≥LQ	% >limite	min. (µg/l)	max. (µg/l)	moyenne (µg/l)	médiane (µg/l)	1er quartile (µg/l)	3ème quartile (µg/l)	
Programme de base NAQASPE																		
MTBE	Ether	0.03–0.2	210	21	0	10.0	0	315	24	0	7.6	0	0.03	0.50	0.13	0.10	0.06	0.17
Toluène	HAM	0.03–0.2	210	10	0	4.8	0	315	11	0	3.5	0	0.10	0.30	0.17	0.20	0.10	0.20
Ethylbenzène	HAM	0.03–0.2	210	3	0	1.4	0	315	3	0	1	0	0.10	0.10				
Benzène	HAM	0.03–0.2	210	1	0	0.5	0	315	1	0	0.3	0	0.10	0.10				
m/p-xylènes ³	HAM	0.03–0.2	177	0	0	0	0	244	0	0	0	0						
o-xylène	HAM	0.03–0.2	177	0	0	0	0	244	0	0	0	0						
Xylènes total	HAM	0.1	39	0	0	0	0	71	0	0	0	0						
Programme complémentaire																		
Tétrachloréthène	HHV	0.02–0.2	210	32	4	15.2	1.9	353	70	14	19.8	4	0.02	8.80	0.65	0.30	0.16	0.45
Trichloréthène	HHV	0.03–0.2	210	25	1	11.9	0.5	353	35	1	9.9	0.3	0.05	1.79	0.30	0.20	0.10	0.35
1,1,1-trichloréthane	HHV	0.03–0.2	210	19	1	9.0	0.5	353	33	1	9.3	0.3	0.05	3.80	0.45	0.14	0.10	0.25
Chloroforme	HHV	0.05–0.5	195	12	0	6.2	0	324	15	0	4.6	0	0.05	0.55	0.22	0.13	0.11	0.25
Trichlorofluorométhane	HHV	0.05	57	5	0	8.8	0	57	5	0	8.8	0	0.05	0.46	0.22	0.18	0.16	0.25
cis-1,2-dichloréthène	HHV	0.05–0.2	162	2	0	1.2	0	215	3	0	1.4	0	0.30	0.42				
Dichlorodifluorométhane	HHV	0.05	57	2	0	3.5	0	57	2	0	3.5	0	0.06	0.12				
Tétrachlorométhane	HHV	0.03–0.5	210	2	0	1.0	0	353	2	0	0.6	0	0.16	0.26				
1,2,4-triméthylbenzène	HAM	0.03–0.2	177	1	0	0.6	0	244	1	0	0.4	0	0.07	0.07				
1,3,5-triméthylbenzène	HAM	0.03–0.2	177	1	0	0.6	0	244	1	0	0.4	0	0.05	0.05				
Bromodichlorométhane	HHV	0.05–0.2	162	1	0	0.6	0	215	1	0	0.5	0	0.44	0.44				
1,1-dichloréthane	HHV	0.05–0.2	162	1	0	0.6	0	215	1	0	0.5	0	0.05	0.05				
Styrène (Vinylbenzène)	HAM	0.03–0.2	177	1	0	0.6	0	244	1	0	0.4	0	0.50	0.50				
1,1,1,2-tétrachloréthane	HHV	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
1,1,2,2-tétrachloréthane	HHV	0.05–0.4	130	0	0	0	0	183	0	0	0	0	0	0				
1,1,2-trichloréthane	HHV	0.05–0.5	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
1,1-dichloréthène	HHV	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				

³ A quelques stations, le total des isomères des xylènes a été analysé en lieu et place de chaque isomère.

Substance			Stations					Mesures					Statistique (seulement les mesures \geq LQ)					
	Type	LQ ($\mu\text{g/l}$)	n	\geq LQ	>limite	% \geq LQ	% >limite	n	\geq LQ	>limite	% \geq LQ	% >limite	min. ($\mu\text{g/l}$)	max. ($\mu\text{g/l}$)	moyenne ($\mu\text{g/l}$)	médiane ($\mu\text{g/l}$)	1er quartile ($\mu\text{g/l}$)	3ème quartile ($\mu\text{g/l}$)
1,1-dichloropropène	HHV	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
1,2,3-trichlorobenzène	HAM	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
1,2,3-trichloropropane	HHV	0.05-0.2	130	0	0	0	0	183	0	0	0	0	0	0				
1,2,3-triméthylbenzène	HAM	0.03	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0				
1,2,4-trichlorobenzène	HAM	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
1,2-dibromo-3-chloropropane	HHV	0.05-5	130	0	0	0	0	183	0	0	0	0	0	0				
1,2-dibrométhane	HHV	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
1,2-dichlorobenzène	HAM	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
1,2-dichloréthane	HHV	0.05-0.2	130	0	0	0	0	194	0	0	0	0	0	0				
1,2-dichloropropane	HHV	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
1,3-dichlorobenzène	HAM	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
1,3-dichloropropane	HHV	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
1,4-dichlorobenzène	HAM	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
2,2-dichloropropane	HHV	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
2-chlorotoluène	HAM	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
4-chlorotoluène	HAM	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
Bromobenzène	HAM	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
Bromochlorométhane	HHV	0.05-0.2	130	0	0	0	0	183	0	0	0	0	0	0				
Bromométhane	HHV	0.05	57	0	0	0	0	57	0	0	0	0	0	0				
Bromoforme	HHV	0.05-0.2	130	0	0	0	0	183	0	0	0	0	0	0				
Chlorobenzène	HAM	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
Chlorure de méthyle	HHV	0.05	57	0	0	0	0	57	0	0	0	0	0	0				
Chlorure de vinyle	HHV	0.05	57	0	0	0	0	57	0	0	0	0	0	0				
Chlorométhane	HHV	0.05	57	0	0	0	0	57	0	0	0	0	0	0				
cis-1,3-dichloropropène	HHV	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
Dibromochlorométhane	HHV	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
Dibromométhane	HHV	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
Hexachlorobutadiène	HHV	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
Isopropylbenzène	HAM	0.03-0.2	177	0	0	0	0	244	0	0	0	0	0	0				
m/p-éthyltoluène	HAM	0.03	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0				
Chlorure de méthylène	HHV	0.05-5	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
Naphtalène	HAP	0.05-0.2	162	0	0	0	0	226	0	0	0	0	0	0				
n-butylbenzène	HAM	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
n-décane	HC al.	0.03	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0				
n-heptane	HC al.	0.03	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0				
n-hexane	HC al.	0.03	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0				
n-nonane	HC al.	0.03	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0				
n-octane	HC al.	0.03	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0				
n-propylbenzène	HAM	0.03-0.2	177	0	0	0	0	244	0	0	0	0	0	0				
o-éthyltoluène	HAM	0.03	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0				
p-isopropyltoluène	HAM	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
sec-butylbenzène	HAM	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
tert-butylbenzène	HAM	0.05-0.1	141	0	0	0	0	194	0	0	0	0	0	0				
trans-1,2-dichloréthène	HHV	0.05-0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
trans-1,3-dichloropropène	HHV	0.05-0.5	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				

2003 : Hydrocarbures et MTBE

Substance			Stations					Mesures					Statistique (seulement les mesures \geq LQ)					
Type	LQ ($\mu\text{g/l}$)	n	\geq LQ	>limite	% \geq LQ	% >limite	n	\geq LQ	>limite	% \geq LQ	% >limite	min. ($\mu\text{g/l}$)	max. ($\mu\text{g/l}$)	moyenne ($\mu\text{g/l}$)	médiane ($\mu\text{g/l}$)	1er quartile ($\mu\text{g/l}$)	3ème quartile ($\mu\text{g/l}$)	
Programme de base NAQUASPE																		
MTBE	Ether	0.03-1	400	72	1	18.0	0.3	888	135	1	15.2	0.1	0.03	2.10	0.15	0.09	0.05	0.19
Toluène	HAM	0.01-0.5	400	37	1	9.3	0.3	890	42	1	4.7	0.1	0.02	3.50	0.28	0.10	0.10	0.20
m/p-xylènes ⁴	HAM	0.01-0.5	365	6	1	1.6	0.3	782	7	1	0.9	0.1	0.20	1.70	0.54	0.20	0.20	0.65
Benzène	HAM	0.01-0.5	400	4	1	1.0	0.3	890	5	2	0.6	0.2	0.10	9.50	2.88	0.80	0.40	3.60
Ethylbenzène	HAM	0.01-0.5	400	2	0	0.5	0	890	2	0	0.2	0	0.10	0.20				
o-xylène	HAM	0.01-0.5	365	1	1	0.3	0.3	782	2	2	0.3	0.3	2.40	2.50				
Xylènes total	HAM	0.05-0.1	43	0	0	0	0	108	0	0	0	0						
Programme complémentaire																		
Tétrachloréthène	HHV	0.01-0.2	371	73	20	19.7	5.4	878	195	50	22.2	5.7	0.02	25.00	1.19	0.36	0.16	1.05
Trichloréthène	HHV	0.01-0.2	371	70	9	18.9	2.4	878	181	16	20.6	1.8	0.03	5.40	0.44	0.25	0.10	0.44
Chloroforme	HHV	0.01-0.2	356	46	0	12.9	0	834	103	0	12.4	0	0.02	0.73	0.23	0.20	0.09	0.31
1,1,1-trichloréthane	HHV	0.01-0.2	371	44	7	11.9	1.9	878	105	12	12.0	1.4	0.01	5.20	0.49	0.10	0.08	0.38
Trichlorofluorométhane	HHV	0.01-0.2	226	13	1	5.8	0.4	424	19	2	4.5	0.5	0.01	1.46	0.22	0.10	0.02	0.14
cis-1,2-dichloréthène	HHV	0.03-0.2	308	11	0	3.6	0	645	27	0	4.2	0	0.03	0.80	0.28	0.21	0.13	0.40
Tétrachlorométhane	HHV	0.01-0.5	355	10	0	2.8	0	820	14	0	1.7	0	0.01	0.28	0.08	0.04	0.02	0.11
Bromdichlorométhane	HHV	0.01-0.2	320	8	0	2.5	0	680	9	0	1.3	0	0.01	0.56	0.27	0.33	0.07	0.38
Dichlorodifluorométhane	HHV	0.05-0.2	214	6	0	2.8	0	389	10	0	2.6	0	0.07	0.77	0.33	0.32	0.13	0.46
Bromoforme	HHV	0.01-0.2	320	4	2	1.3	0.6	680	4	2	0.6	0.3	0.17	1.74	0.96	0.97	0.25	1.68
Dibromochlorométhane	HHV	0.01-0.2	320	4	1	1.3	0.3	680	5	1	0.7	0.1	0.08	1.17	0.55	0.35	0.26	0.89
1,2,4-triméthylbenzène	HAM	0.03-0.5	335	3	0	0.9	0	724	3	0	0.4	0	0.05	0.54				
1,1,2,2-tétrachloréthane	HHV	0.01-0.2	320	1	0	0.3	0	680	2	0	0.3	0	0.04	0.05				
1,1-dichloréthane	HHV	0.02-0.2	320	1	0	0.3	0	680	2	0	0.3	0	0.09	0.10				
1,1-dichloréthène	HHV	0.01-0.2	320	1	0	0.3	0	680	3	0	0.4	0	0.04	0.10				
1,2-dichloropropane	HHV	0.02-0.2	320	1	0	0.3	0	680	1	0	0.1	0	0.05	0.05				
Chlorobenzène	HAM	0.04-0.5	320	1	1	0.3	0.3	680	2	2	0.3	0.3	1.20	2.90				
Chlorométhane	HHV	0.01-0.2	214	1	0	0.5	0	389	1	0	0.3	0	0.21	0.21				
Hexachlorobutadiène	HHV	0.05-0.35	308	1	0	0.3	0	645	2	0	0.3	0	0.10	0.10				
Chlorure de méthylène	HHV	0.01-5	304	1	0	0.3	0	622	1	0	0.2	0	0.03	0.03				
Naphtalène	HAP	0.05-0.2	308	1	0	0.3	0	645	1	0	0.2	0	0.08	0.08				
Styrène	HAM	0.03-0.2	307	1	0	0.3	0	657	1	0	0.2	0	0.20	0.20				
1,1,1,2-tétrachloréthane	HHV	0.04-0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0						
1,1,2-trichloréthane	HHV	0.01-0.5	320	0	0	0	0	680	0	0	0	0						
1,1,2-trichlorotrifluoréthane	HHV	0.05	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0						
1,1-dichloropropène	HHV	0.05-0.2	293	0	0	0	0	616	0	0	0	0						
1,2,3-trichlorobenzène	HAM	0.05-0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0						
1,2,3-trichloropropane	HHV	0.05-0.5	308	0	0	0	0	638	0	0	0	0						
1,2,3-triméthylbenzène	HAM	0.03-0.5	27	0	0	0	0	79	0	0	0	0						
1,2,4-trichlorobenzène	HAM	0.05-0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0						
1,2-dibrom-3-chloropropane	HHV	0.05-1	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0						
1,2-dibrométhane	HHV	0.05-0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0						
1,2-dichlorobenzène	HAM	0.05-0.5	320	0	0	0	0	680	0	0	0	0						
1,2-dichloréthane	HHV	0.04-0.2	320	0	0	0	0	680	0	0	0	0						
1,2-dichloropropène	HHV	0.05	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0						

⁴ A quelques stations, le total des isomères des xylènes a été analysé en lieu et place de chaque isomère.

Substance				Stations					Mesures					Statistique (seulement les mesures \geq LQ)					
	Type	LQ ($\mu\text{g/l}$)	n	\geq LQ	> limite	% \geq LQ	% > limite	n	\geq LQ	> limite	% \geq LQ	% > limite	min. ($\mu\text{g/l}$)	max. ($\mu\text{g/l}$)	moyenne ($\mu\text{g/l}$)	médiane ($\mu\text{g/l}$)	1er quartile ($\mu\text{g/l}$)	3ème quartile ($\mu\text{g/l}$)	
1,3,5-triméthylbenzène	HAM	0.03-0.5	335	0	0	0	0	724	0	0	0	0							
1,3-dichlorobenzène	HAM	0.05-0.5	320	0	0	0	0	680	0	0	0	0							
1,3-dichloropropane	HHV	0.03-0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0							
1,4-dichlorobenzène	HAM	0.05-0.5	320	0	0	0	0	680	0	0	0	0							
1-chlorobutane	HHV	0.05	23	0	0	0	0	23	0	0	0	0							
2,2-dichloropropane	HHV	0.05-0.5	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0							
2-chlorotoluène	HAM	0.05-0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0							
4-chlorotoluène	HAM	0.05-0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0							
Bromobenzène	HAM	0.05-0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0							
Bromochloréthane	HHV	0.05-0.2	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0							
Bromochlorométhane	HHV	0.05-0.5	269	0	0	0	0	568	0	0	0	0							
Bromométhane	HHV	0.05-0.2	214	0	0	0	0	389	0	0	0	0							
Chlorure de méthyle	HHV	0.05-0.2	214	0	0	0	0	389	0	0	0	0							
Chlorure de vinyle	HHV	0.05-0.2	214	0	0	0	0	389	0	0	0	0							
cis-1,3-dichloropropène	HHV	0.01-0.2	320	0	0	0	0	680	0	0	0	0							
Dibromométhane	HHV	0.05-0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0							
Isopropylbenzène	HAM	0.03-0.2	323	0	0	0	0	689	0	0	0	0							
Isopropyltoluène	HAM	0.05	16	0	0	0	0	32	0	0	0	0							
m/p-éthyltoluène	HAM	0.03	15	0	0	0	0	44	0	0	0	0							
n-butylbenzène	HAM	0.05-0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0							
n-décane	HC al.	0.03	15	0	0	0	0	44	0	0	0	0							
n-heptane	HC al.	0.03	15	0	0	0	0	44	0	0	0	0							
n-hexane	HC al.	0.03	15	0	0	0	0	44	0	0	0	0							
n-nonane	HC al.	0.03	15	0	0	0	0	44	0	0	0	0							
n-octane	HC al.	0.03	15	0	0	0	0	44	0	0	0	0							
n-propylbenzène	HAM	0.03-0.2	323	0	0	0	0	689	0	0	0	0							
o-éthyltoluène	HAM	0.03	15	0	0	0	0	44	0	0	0	0							
p-isopropyltoluène	HAM	0.05-0.2	292	0	0	0	0	613	0	0	0	0							
sec-butylbenzène	HAM	0.05-0.2	292	0	0	0	0	613	0	0	0	0							
tert-butylbenzène	HAM	0.05-0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0							
trans-1,2-dichloréthène	HHV	0.01-0.2	320	0	0	0	0	680	0	0	0	0							
trans-1,3-dichloropropène	HHV	0.01-0.2	320	0	0	0	0	680	0	0	0	0							

2000–2003 : Paramètres de base

Paramètre	Unité	LQ	Stations					Mesures					Statistique (seulement les mesures ≥LQ)					
			n	≥LQ	>limite	% ≥LQ	% >limite	n	n ≥LQ	n >limite	% ≥LQ	% >limite	min.	max.	moyenne	médiane	1er quartile	3 ^{ème} quartile
Conductivité électrique (25°C)	[µS/cm]		462	462	0	100	0	2718	2718	0	100	0	25	1062	563	600	437	701
Température	[°C]		463	463	0	100	0	2709	2709	0	100	0	2.3	19.3	10.5	10.7	9.3	11.9
pH			44	44	0	100	0	844	844	0	100	0	6.0	8.0	7.2	7.2	7.1	7.4
O ₂	[mg/l]		387	387	0	100	0	2159	2159	0	100	0	0.0	12.9	7.1	7.2	5.8	8.9
Turbidité	[FTU]	0.1	44	44	10	100	23	853	404	13	47	5.5	0.1	8.4	0.4	0.2	0.2	0.4
CO ₂ , libre	[mg/l]	1	44	44	0	100	0	853	853	0	100	0	0	52	18	18	8	25
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	[mg/l]		44	44	0	100	0	853	853	0	100	0	34	441	283	302	218	369
Dureté carbonatée	[°F]		44	44	0	100	0	853	853	0	100	0	3	36	23	25	18	30
Dureté totale	[°F]		44	44	0	100	0	853	853	0	100	0	4	50	27	30	20	35
Calcium (Ca ²⁺)	[mg/l]	0.1	44	44	0	100	0	853	853	0	100	0	12.8	147.0	86.1	92.0	65.0	111.0
Magnésium (Mg ²⁺)	[mg/l]	0.1	44	44	0	100	0	853	853	0	100	0	0.6	46.9	13.1	13.5	6.0	18.8
Sodium (Na ⁺)	[mg/l]	0.1	44	44	0	100	0	853	853	0	100	0	0.3	29.0	6.4	5.6	2.2	8.4
Potassium (K ⁺)	[mg/l]	0.1	44	44	0	100	0	853	852	0	100	0	0.1	5.2	1.8	1.9	0.9	2.3
Strontium (Sr ²⁺)	[mg/l]	0.01	44	44	0	100	0	853	853	0	100	0	0.01	1.00	0.39	0.38	0.26	0.48
Baryum (Ba ²⁺)	[mg/l]	0.01	44	42	0	95	0	808	690	0	85	0	0.01	0.20	0.06	0.05	0.04	0.09
Lithium (Li ⁺)	[mg/l]	0.02	44	1	0	2	0	808	1	0	0.1	0	0.02	0.02				
Silice (SiO ₂)	[mg/l]	0.01	44	44	0	100	0	841	841	0	100	0	0.5	7.9	3.5	3.4	2.6	4.6
Zinc (Zn)	[µg/l]	1	44	28	0	64	0	808	340	0	42	0	1	208	26	13	5	35
Bore (B)	[µg/l]	2	44	42	0	95	0	853	670	0	78	0	2	110	26	20	10	30
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	[mg/l]	1	44	44	0	100	0	853	853	0	100	0	1.4	140.0	25.0	19.0	12.2	31.0
Nitrates (NO ₃ ⁻)	[mg/l]	0.1	voir plus haut															
Chlorures (Cl ⁻)	[mg/l]	0.1	44	44	0	100	0	853	853	0	100	0	0.2	41.7	11.0	9.6	3.0	16.5
Carbone organique dissous (COD)	[mg C/l]	0.05	44	44	2	100	5	853	853	13	100	1.5	0.3	4.4	0.9	0.9	0.47	1.0
AOX	[µg/l]	1	44	43	1	98	2	853	578	1	68	0.1	1.0	10.6	2.1	1.8	1.3	2.3
Fluorures (F ⁻)	[mg/l]	0.01	44	44	0	100	0	808	808	0	100	0	0.01	0.63	0.10	0.08	0.05	0.12
Phosphates (PO ₄ ³⁻)	[mg/l]	0.01	44	42	0	95	0	599	290	0	48	0	0.01	0.22	0.04	0.03	0.02	0.05
Ammonium (NH ₄ ⁺)	[mg/l]	0.03	voir plus haut															
Nitrites (NO ₂ ⁻)	[mg/l]	0.01	voir plus haut															
Chrome (Cr)	[µg/l]	1	44	3	0	7	0	463	27	0	6	1.3	1.5	5.5	3.6	3.5	3.2	3.9
Nickel (Ni)	[µg/l]	1	44	2	1	5	2	460	3	1	0.7	0.2	1.2	11.0				
Cuivre (Cu)	[µg/l]	1	44	12	0	27	0	463	33	0	7	0	1.1	4.3	1.9	2.0	1.3	2.3
Béryllium (Be)	[µg/l]	1	44	1	0	2	0	463	1	0	0.2	0	2.0	2.0				
Cobalt (Co)	[µg/l]	1	44	0	0	0	0	460	0	0	0	0						
Titan (Ti)	[µg/l]	1	44	1	0	2	0	460	1	0	0.2	0						
Mercure (Hg)	[µg/l]	0.5	44	0	0	0	0	347	0	0	0	0						
Arsenic (As)	[µg/l]	0.5	44	11	0	25	0	374	59	0	16	0	0.5	1.8	1.0	0.9	0.8	1.1
Plomb (Pb)	[µg/l]	1	44	0	0	0	0	387	0	0	0	0						
Cadmium (Cd)	[µg/l]	0.2	44	0	0	0	0	348	0	0	0	0						
Sélénium (Se)	[µg/l]	1	44	0	0	0	0	348	0	0	0	0						
Cyanures (CN ⁻)	[mg/l]	0.01	44	0	0	0	0	248	0	0	0	0						
NTA	[µg/l]	0.5	44	0	0	0	0	296	0	0	0	0						
EDTA	[µg/l]	0.5	44	0	0	0	0	296	0	0	0	0						

Concernant les composés de l'azote, les produits phytosanitaires, les hydrocarbures halogénés et les BTEX : voir plus haut.

A2 Courbes d'évolution temporelle de quelques paramètres des stations NAQUA_{TREND}

Origine des données pluviométriques :
MétéoSuisse

NTG 01

NAQUA_{TREND}

Type de station

Piézomètre

Altitude

791.35 m s.m.

Géologie

Graviers de fonds de vallées (GV)

Utilisation

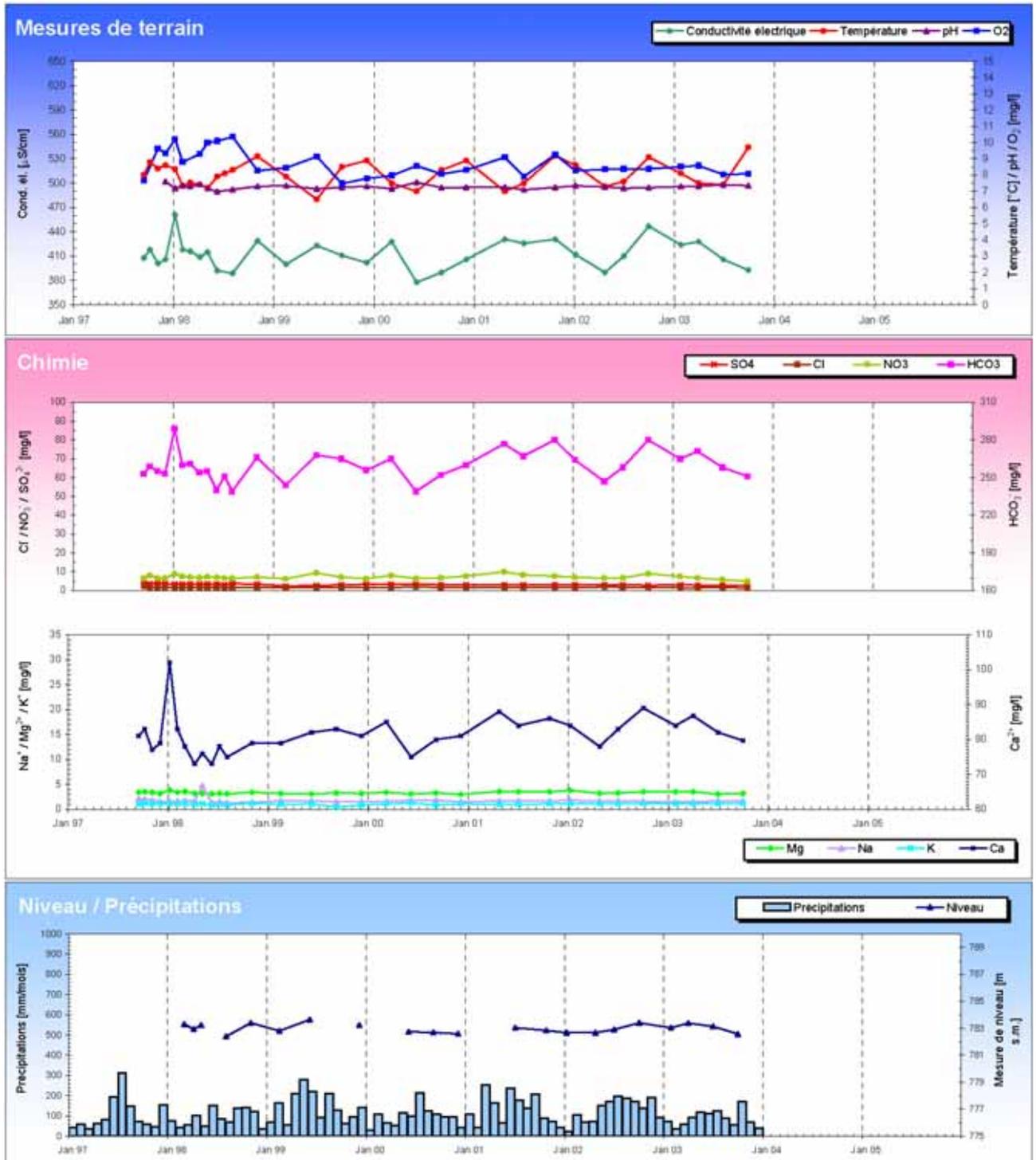
Non utilisé

Principale utilisation du sol

Autres surfaces agricoles permanentes (AS)

Région géographique

Plateau et régions limitrophes

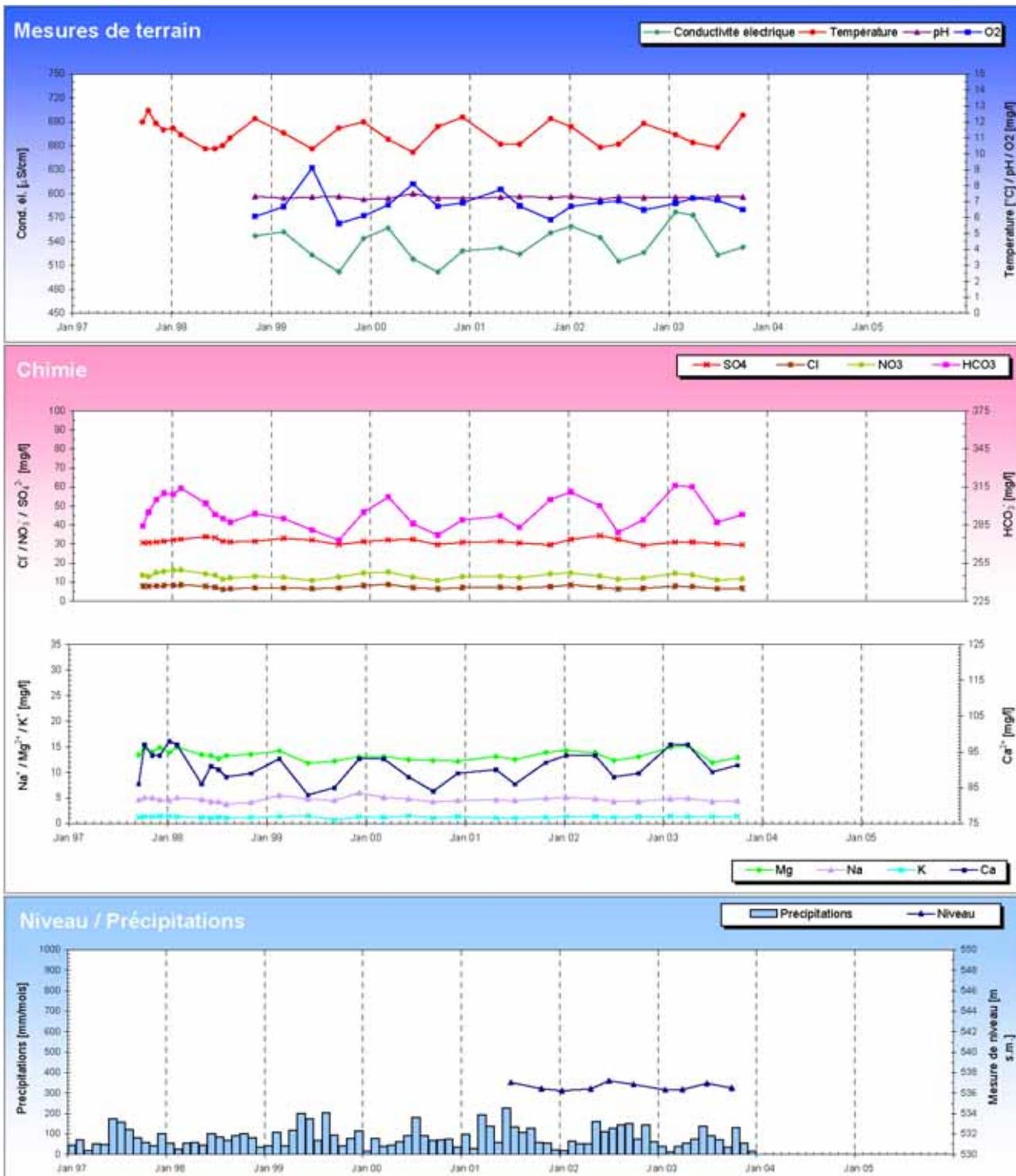


	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations	
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]	
maximum	461	9.7	7.6	96.3	10.4	102.0	3.8	4.7	1.3	3.7	9.9	2.2	289.0	783.7	311.0
moyenne	413	8.0	7.3	80.9	8.7	81.5	3.3	1.7	1.1	3.2	7.2	1.6	259.4	783.0	112.2
minimum	378	6.5	7.0	72.0	7.5	73.0	3.0	1.3	0.5	2.3	4.8	1.3	239.0	782.4	21.7

NTG 02

NAQUA_{TREND}

Type de station	Puits	Altitude	541.60 m s.m.
Géologie	Graviers de fonds de vallées (GV)	Utilisation	utilisé
Principale utilisation du sol	Autres surfaces agricoles permanentes (AS)		
Région géographique	Plateau et régions limitrophes		



	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations	
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]	
maximum	577	12.7	7.5	81.4	9.1	98.0	15.2	6.0	1.5	34.4	16.3	8.8	316.0	537.2	225.0
moyenne	537	11.3	7.3	67.0	6.9	90.9	13.4	4.7	1.3	31.4	13.2	7.3	295.0	536.6	84.0
minimum	502	10.1	7.1	58.4	5.6	83.0	11.8	3.8	0.7	29.3	10.7	6.1	273.0	536.2	13.5

NTQ 03

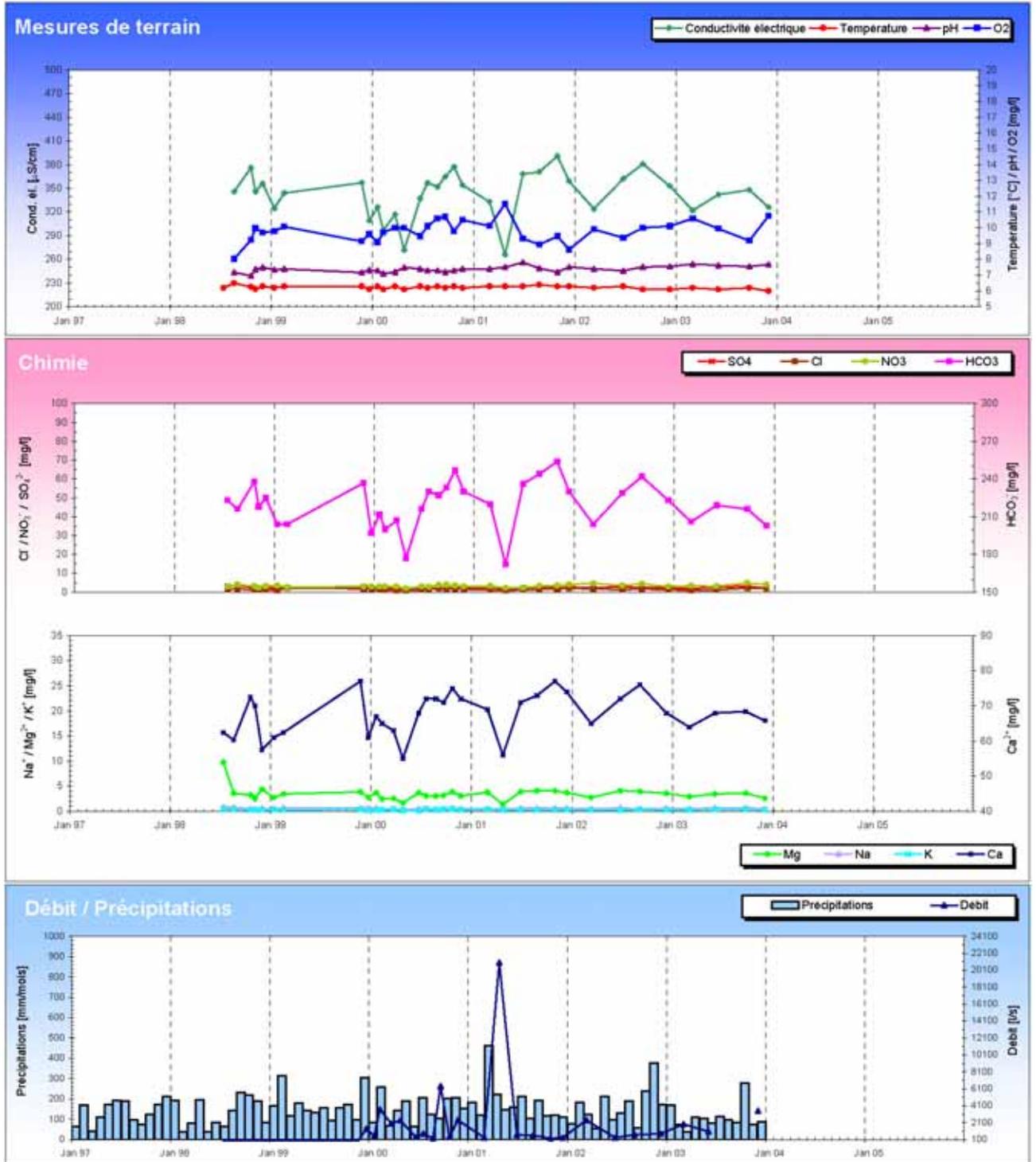
NAQUA_{TREND}

Type de station
Géologie
Principale utilisation du sol
Région géographique

Source
 Roches karstiques (RK)
 Régions improductives (RI)
 Jura

Altitude
Utilisation

1040 m s.m.
 Utilisé

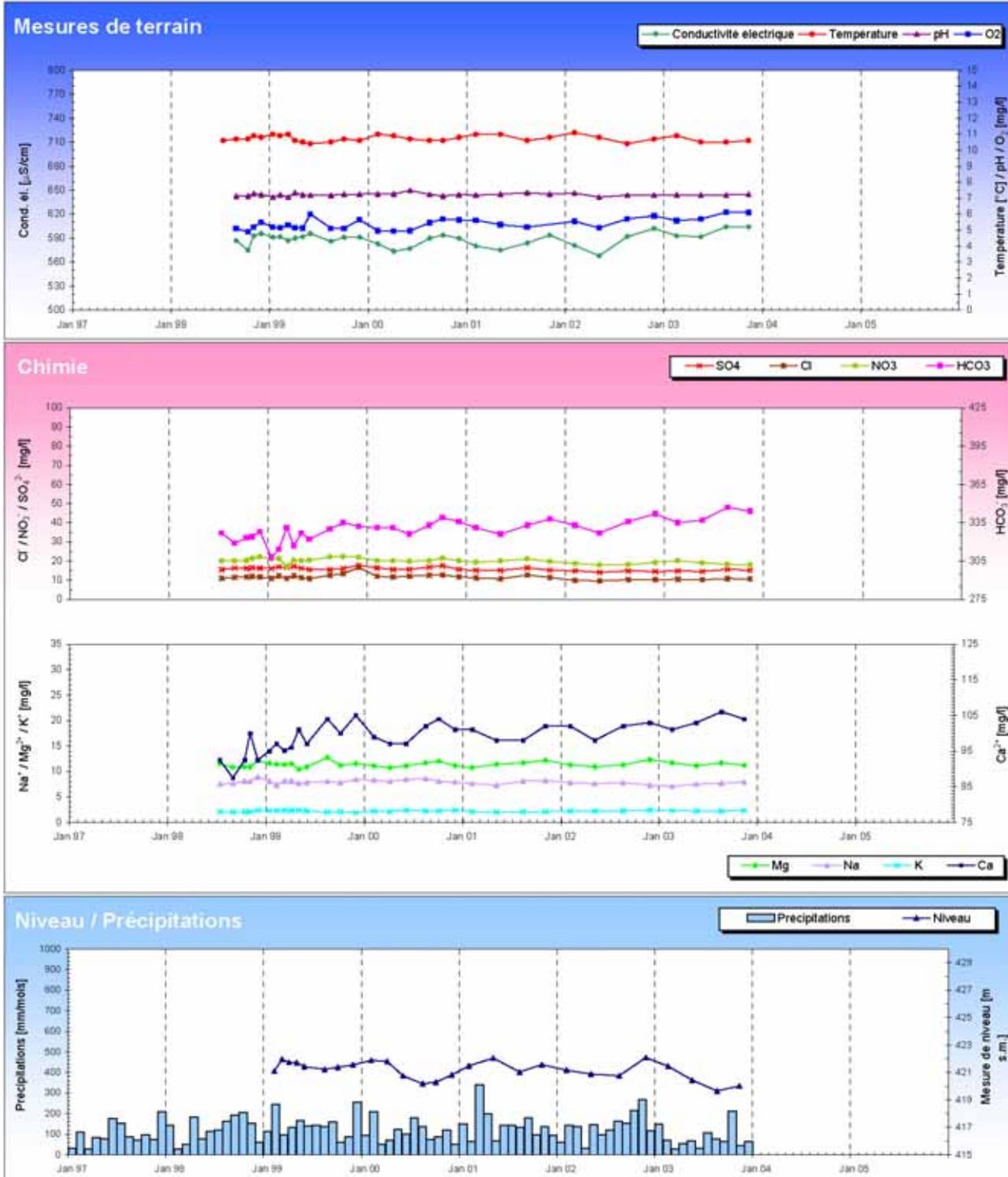


	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Débit	Précipitations
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/mois]
maximum	391	6.5	7.8	98.8	11.5	77.0	9.8	0.8	0.5	3.7	4.8	2.3	254.0	21000.0
moyenne	342	6.2	7.4	90.2	9.8	67.6	3.5	0.6	0.3	2.4	3.3	1.5	219.4	2260.7
minimum	266	6.0	7.0	75.0	8.0	55.0	1.4	0.3	0.1	1.4	2.0	0.8	172.0	240.0

NTG 04

NAQUA_{TREND}

Type de station	Puits	Altitude	426.75 m s.m.
Géologie	Graviers de fonds de vallées (GV)	Utilisation	Utilisé
Principale utilisation du sol	Grandes cultures (GdC)		
Région géographique	Plateau et régions limitrophes		

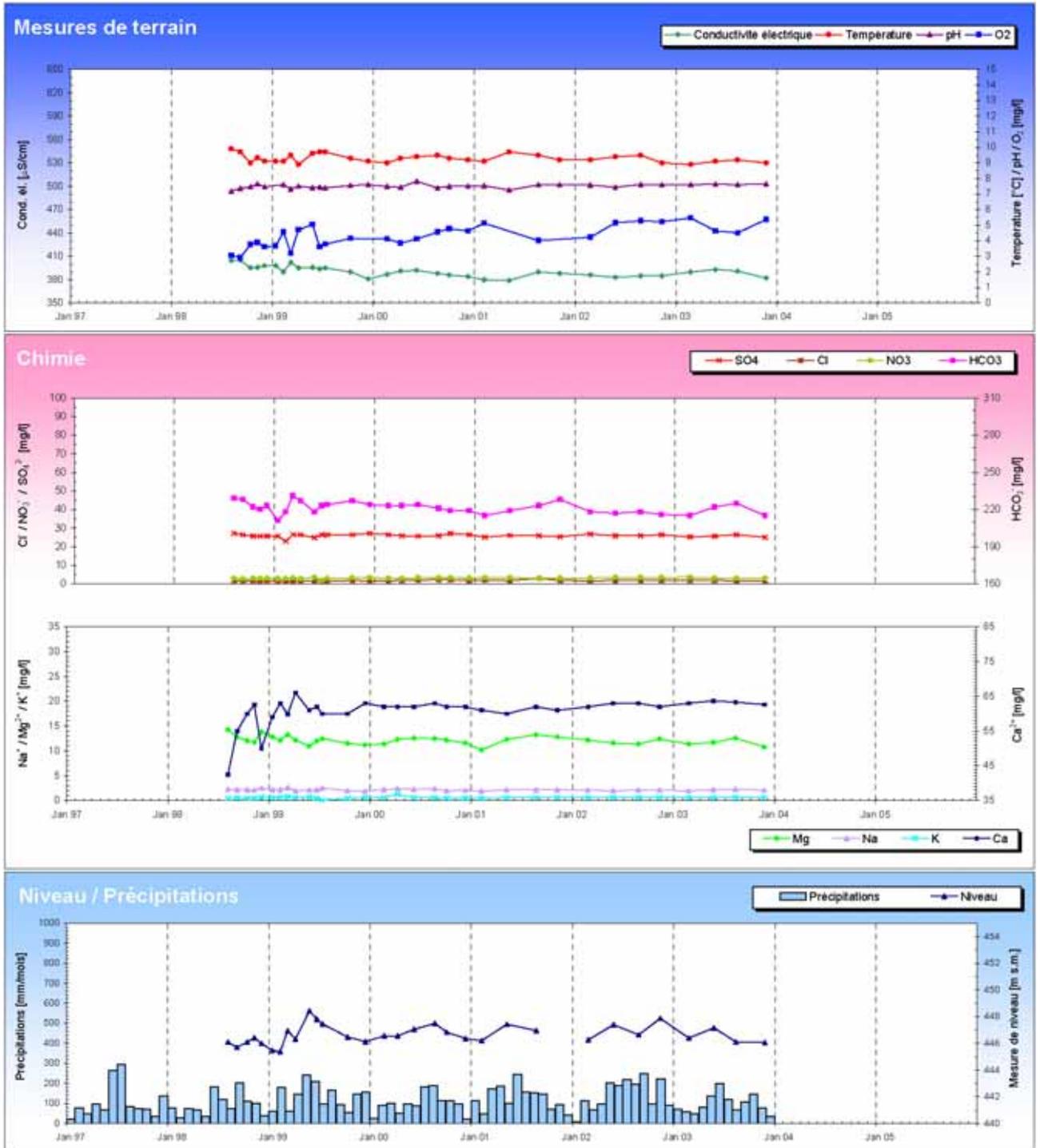


	Cond.él.	T	pH	O ₂		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]
maximum	604	11.1	7.5	57.7	6.1	106.0	12.7	8.9	2.4	17.8	22.4	16.6	347.0	422.1	342.0
moyenne	589	10.7	7.2	51.5	5.4	99.2	11.4	7.9	2.2	15.9	20.1	11.6	330.1	421.2	120.5
minimum	568	10.4	7.1	47.4	4.9	87.5	10.4	7.1	1.9	14.1	17.3	9.6	308.0	419.7	28.0

NTG 05

NAQUA_{TREND}

Type de station	Piézomètre	Altitude	450.28 m s.m.
Géologie	Graviers de fonds de vallées (GV)	Utilisation	Non utilisé
Principale utilisation du sol	Autres surfaces agricoles permanentes (AS)		
Région géographique	Plateau et régions limitrophes		

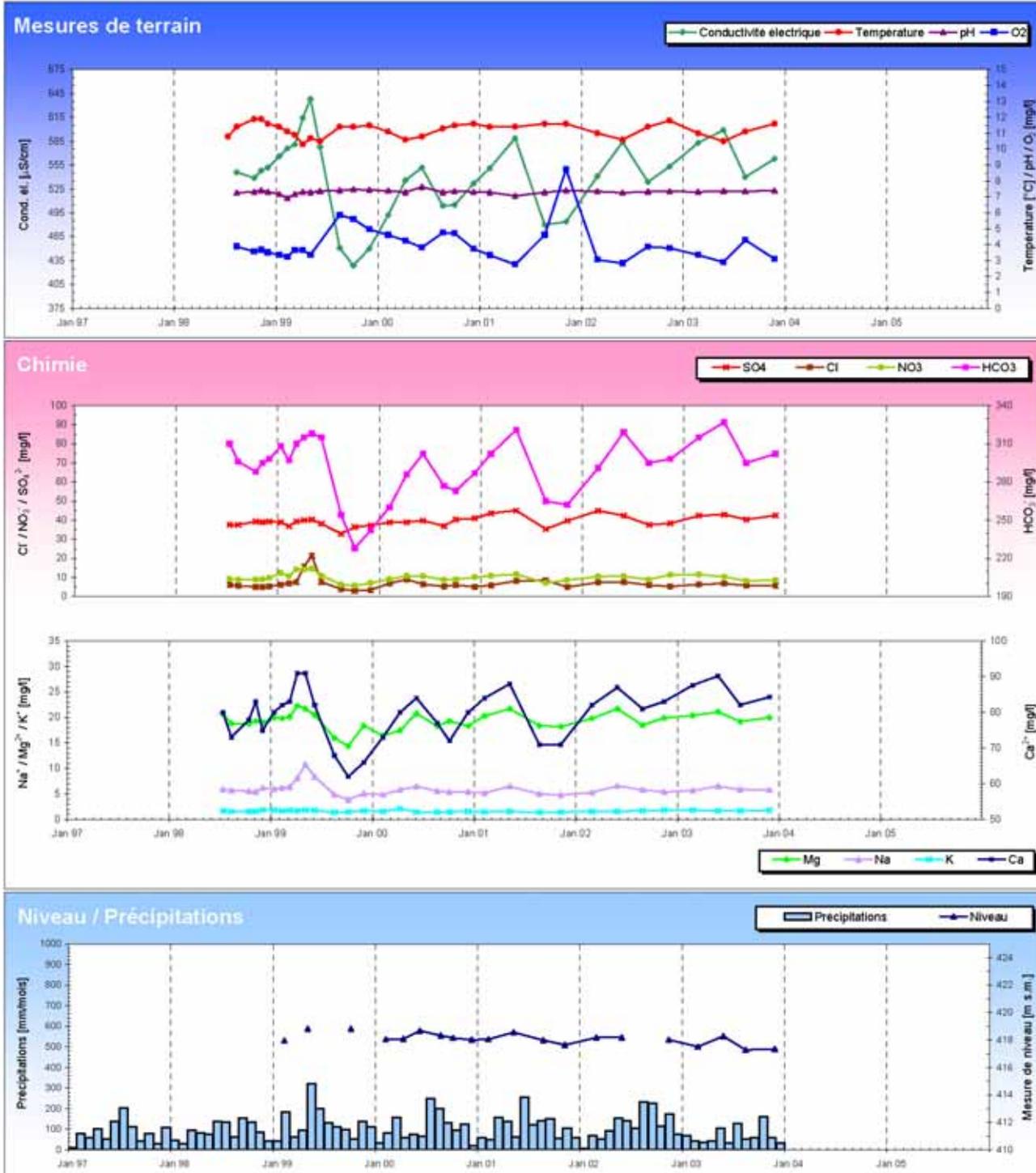


	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations	
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]	
maximum	405	9.9	7.8	49.9	5.5	66.0	14.3	2.6	1.3	27.2	3.5	2.9	231.0	448.4	294.0
moyenne	391	9.3	7.5	40.0	4.3	60.7	12.1	2.2	0.6	25.9	3.0	1.8	221.4	446.6	114.3
minimum	379	8.9	7.2	27.3	2.9	42.5	10.2	1.9	0.1	22.9	1.8	1.2	211.0	445.4	10.0

NTG 06

NAQUA_{TREND}

Type de station	Puits	Altitude	419.65 m s.m.
Géologie	Graviers de fonds de vallées (GV)	Utilisation	Utilisé
Principale utilisation du sol	Autres surfaces agricoles permanentes (AS)		
Région géographique	Plateau et régions limitrophes		



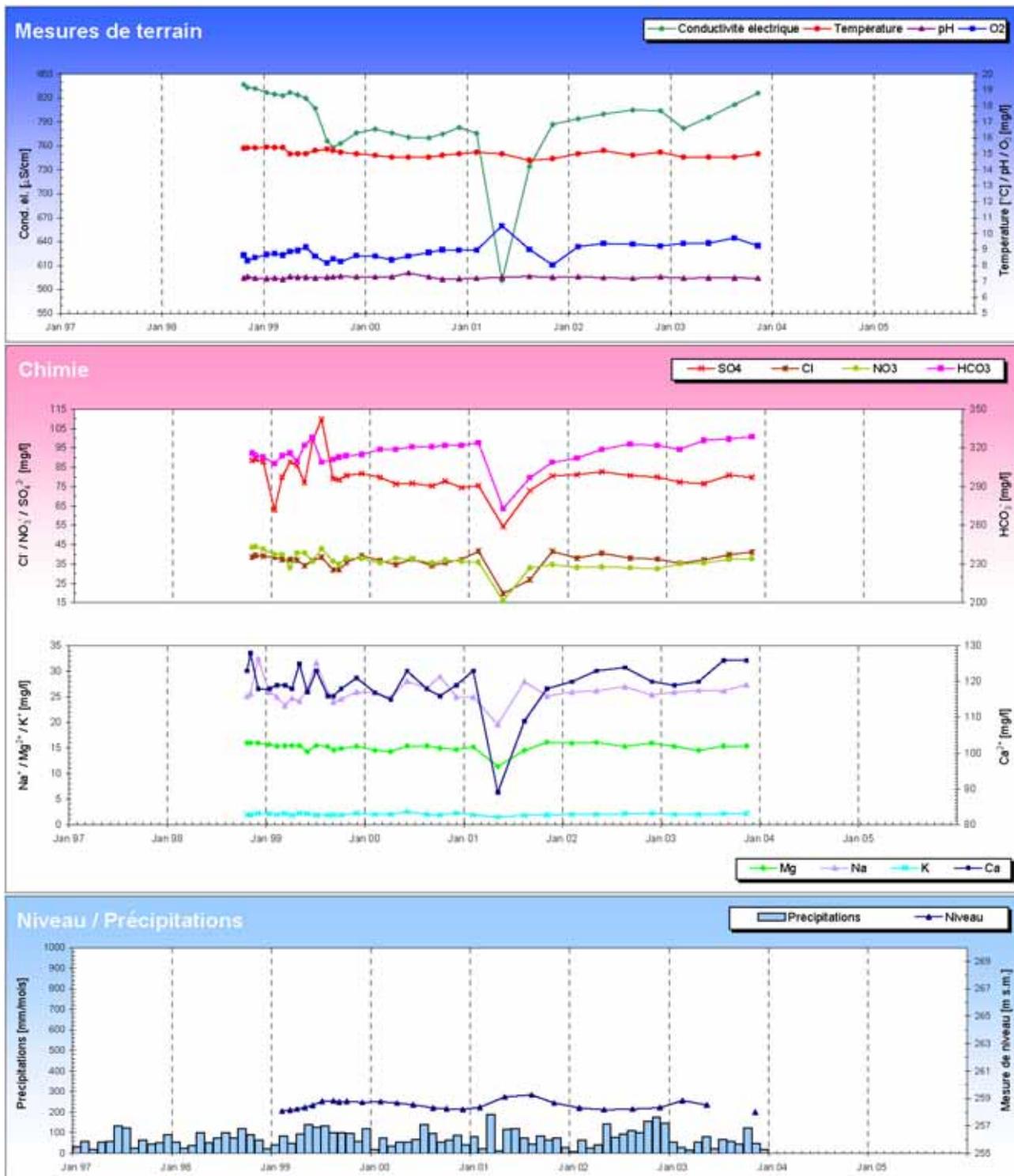
	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations	
	[$\mu\text{S/cm}$]	[$^{\circ}\text{C}$]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]	
maximum	638	11.9	7.6	87.2	8.8	91.0	22.3	10.8	2.1	45.1	14.6	21.4	327.0	418.8	321.0
moyenne	542	11.2	7.3	39.8	4.0	79.7	19.4	6.0	1.7	39.5	10.0	6.9	292.2	418.1	101.6
minimum	429	10.3	6.9	26.9	2.8	62.0	14.4	3.9	1.4	32.8	5.6	3.1	228.0	417.3	8.0

NTG 07

NAQUA_{TREND}

Type de station Puits
Géologie Graviers de fonds de vallées (GV)
Principale utilisation du sol Zone urbanisée et voies de communication (ZUC)
Région géographique Jura

Altitude 277.45 m s.m.
Utilisation Utilisé

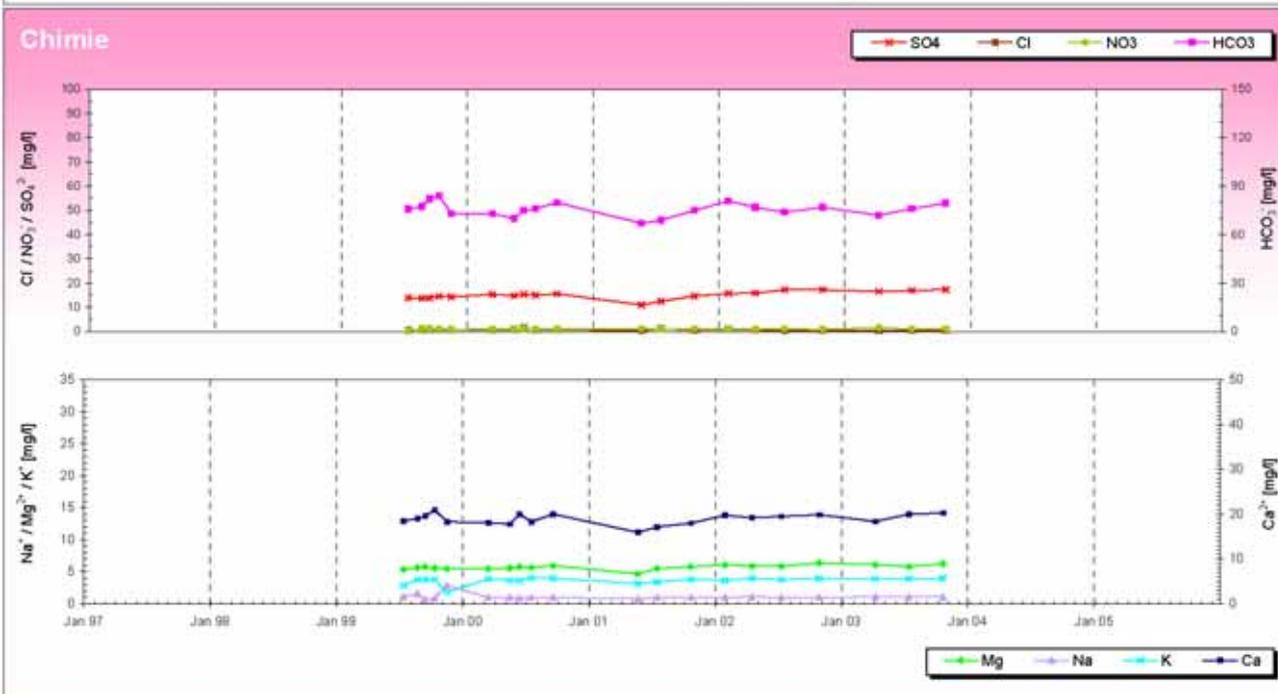
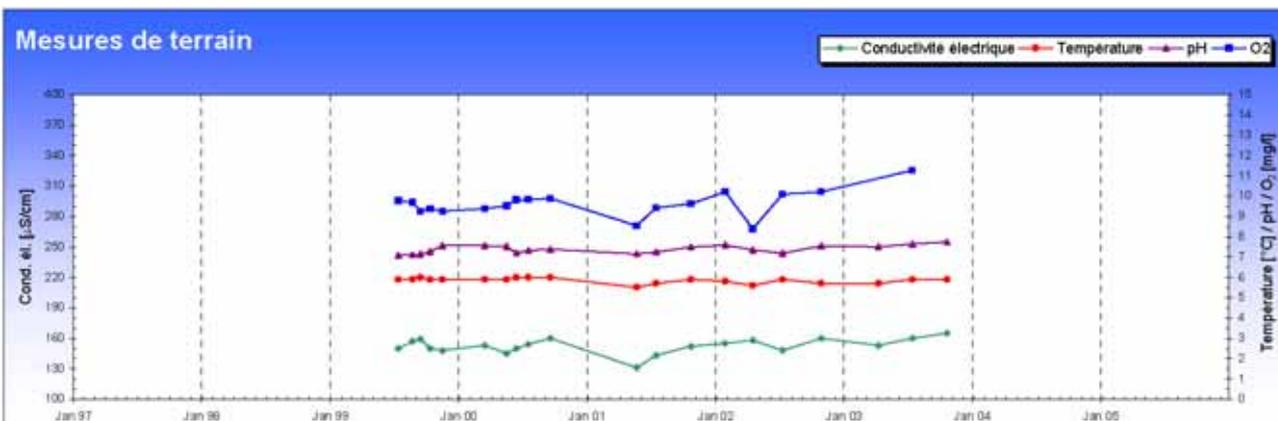


	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations	
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]	
maximum	837	15.4	7.5	100.5	10.5	128.0	16.1	32.5	2.5	110.0	44.0	41.7	329.0	259.3	189.0
moyenne	790	15.0	7.2	91.8	8.9	118.9	15.2	26.0	2.0	80.4	36.6	36.6	315.8	258.5	73.6
minimum	591	14.6	7.1	82.3	8.0	89.0	11.4	19.6	1.5	54.4	16.0	19.7	273.0	258.0	10.0

NTQ 08

NAQUA_{TREND}

Type de station	Source	Altitude	1595 m s.m.
Géologie	Roches cristallines (RC)	Utilisation	Utilisé
Principale utilisation du sol	Régions improductives (RI)		
Région géographique	Alpes		

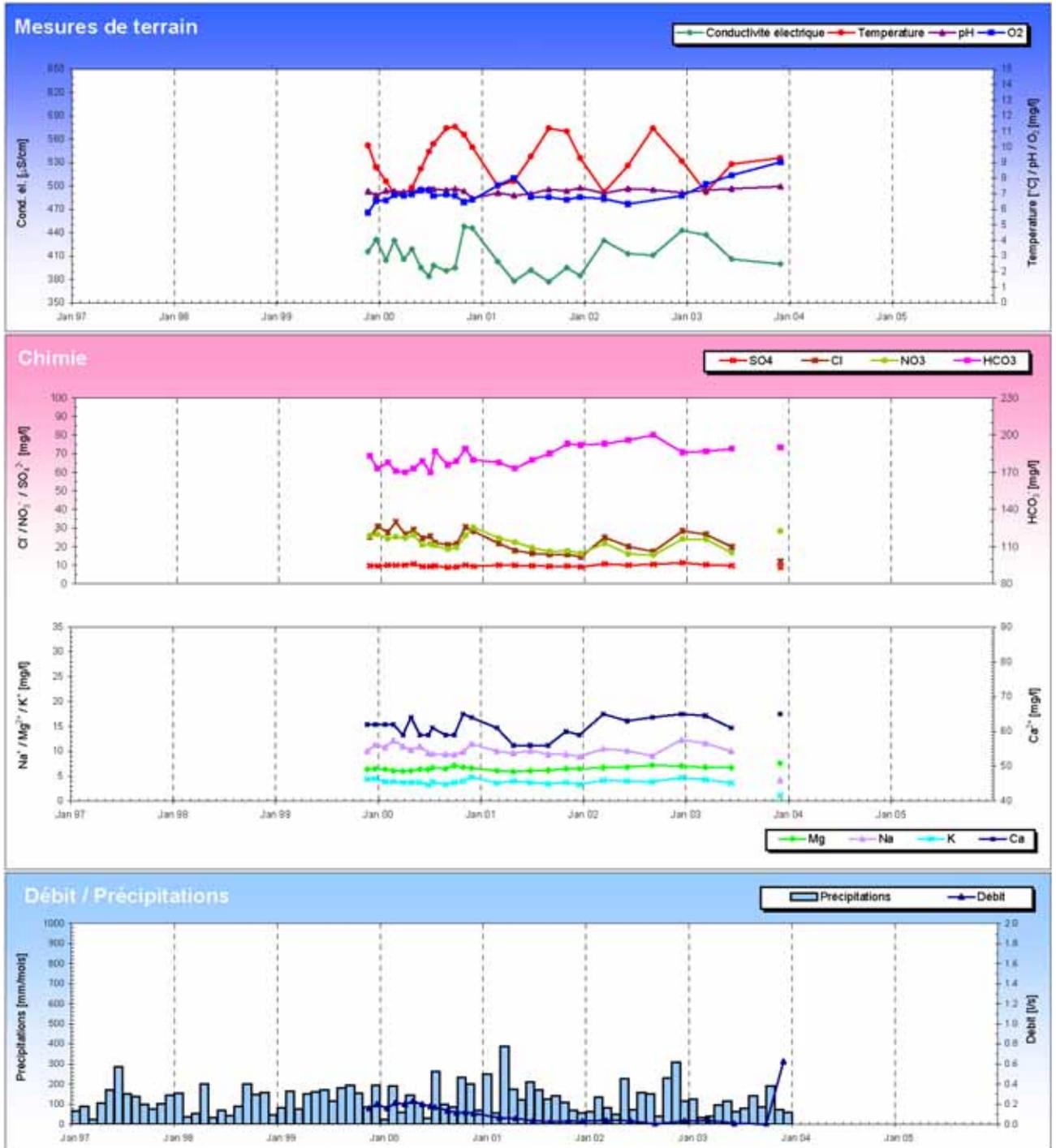


	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Débit	Précipitations	
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/mois]	
maximum	165.0	6.0	7.7	110.3	11.3	21.0	6.4	2.9	4.1	17.4	1.6	1.7	84.0	4.2	747.0
moyenne	152.6	5.9	7.4	96.4	9.6	18.9	5.8	1.1	3.7	15.1	1.0	0.7	75.7	3.2	148.3
minimum	131.0	5.5	7.1	86.0	8.4	16.0	4.7	0.7	1.8	11.0	0.2	0.4	2.1	0.0	0.0

NTQ 09

NAQUA_{TREND}

Type de station	Source	Altitude	860 m s.m.
Géologie	Roches détritiques (RD)	Utilisation	Utilisé
Principale utilisation du sol	Autres surfaces agricoles permanentes (AS)		
Région géographique	Plateau et régions limitrophes		



	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Débit	Précipitations	
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/mois]	
maximum	448	11.30	7.47	87.67	9.03	65.0	7.6	12.3	4.8	11.3	30.4	33.3	200.0	0.6	387.0
moyenne	409	9.13	7.17	68.01	7.00	61.3	6.5	10.0	3.8	9.8	22.1	23.0	182.7	0.1	125.0
minimum	377	7.00	6.70	61.30	5.79	56.0	4.2	1.1	8.8	15.5	12.0	170.0	0.0	22.0	

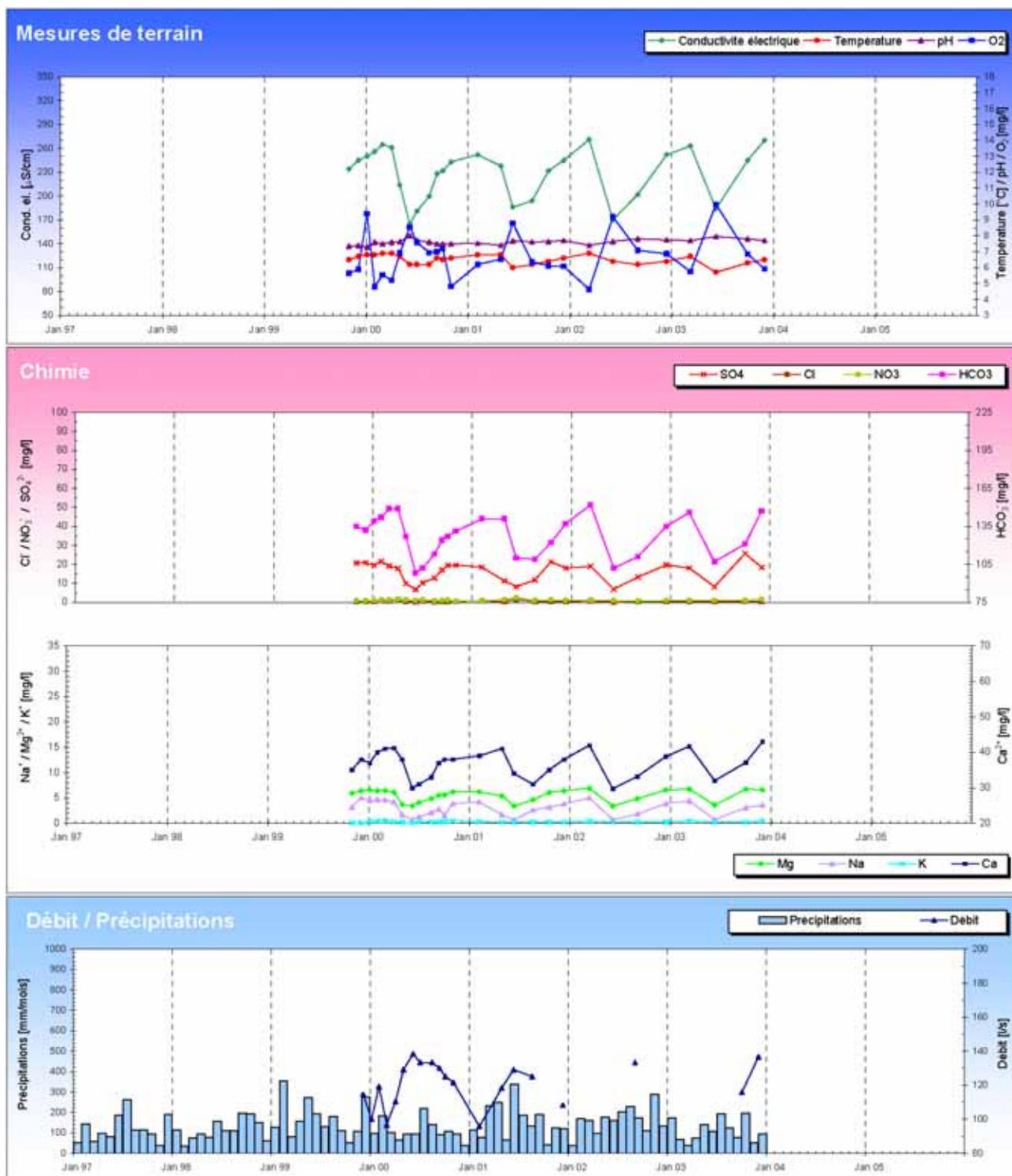
NTQ 10

NAQUA_{TREND}

Type de station
Géologie
Principale utilisation du sol
Région géographique

Source
Roches karstiques (RK)
Régions improductives (RI)
Alpes

Altitude 1220 m s.m.
Utilisation Utilisé



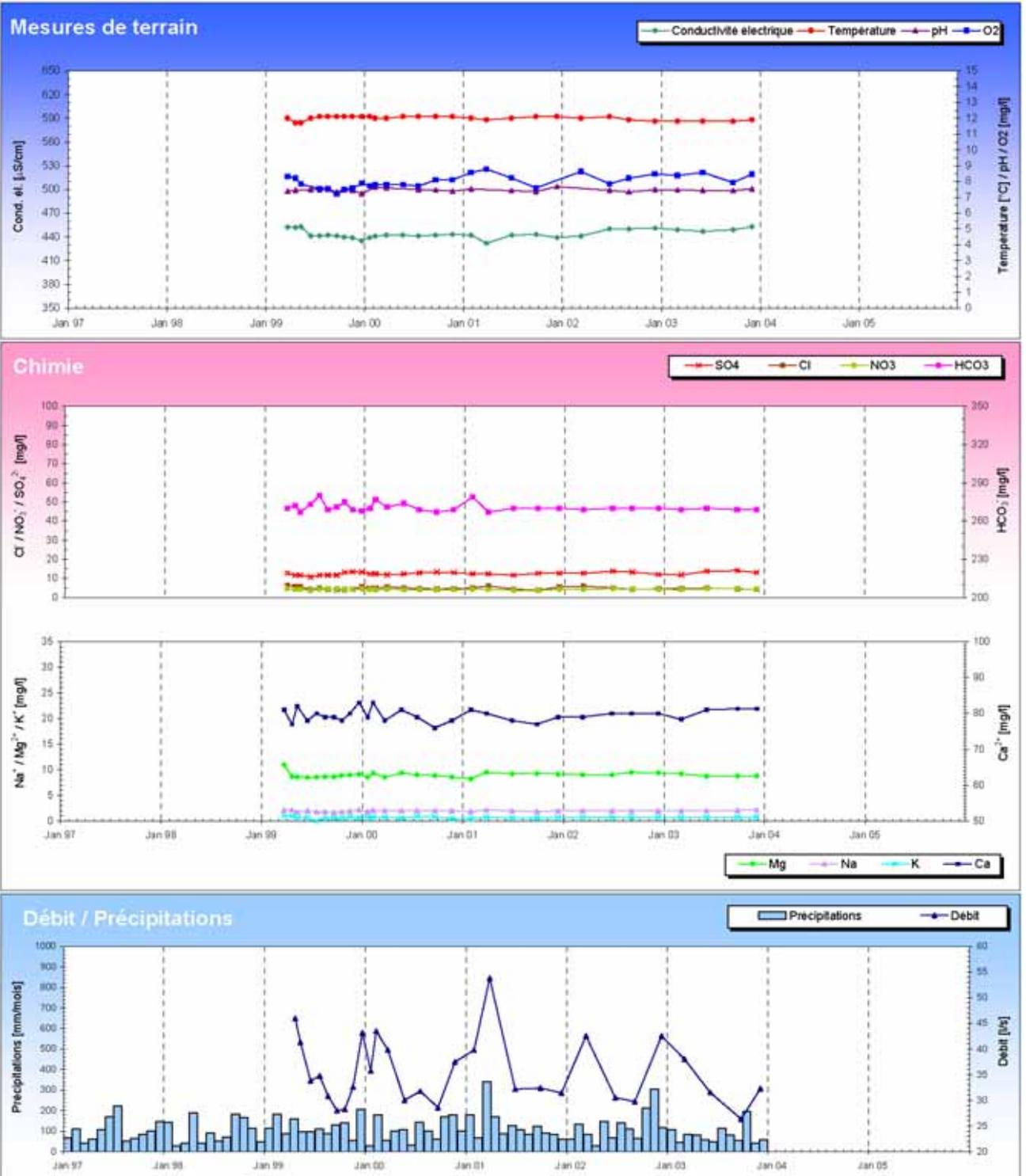
	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Débit	Précipitations
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/mois]
maximum	271	6.9	8.0	94.1	10.0	43.0	6.9	5.0	0.5	25.7	2.4	1.5	152.0	353.0
moyenne	229	6.5	7.6	64.1	6.7	36.8	5.5	3.0	0.3	16.1	1.1	0.5	120.7	134.9
minimum	165	5.7	7.3	45.0	4.6	29.7	3.4	0.7	0.1	6.7	0.5	0.2	95.8	36.0

NTQ 11

NAQUA_{TREND}

Type de station : Source
 Géologie : Roches karstiques (RK)
 Principale utilisation du sol : Régions improductives (RI)
 Région géographique : Jura

Altitude : 680 m s.m.
 Utilisation : Utilisé

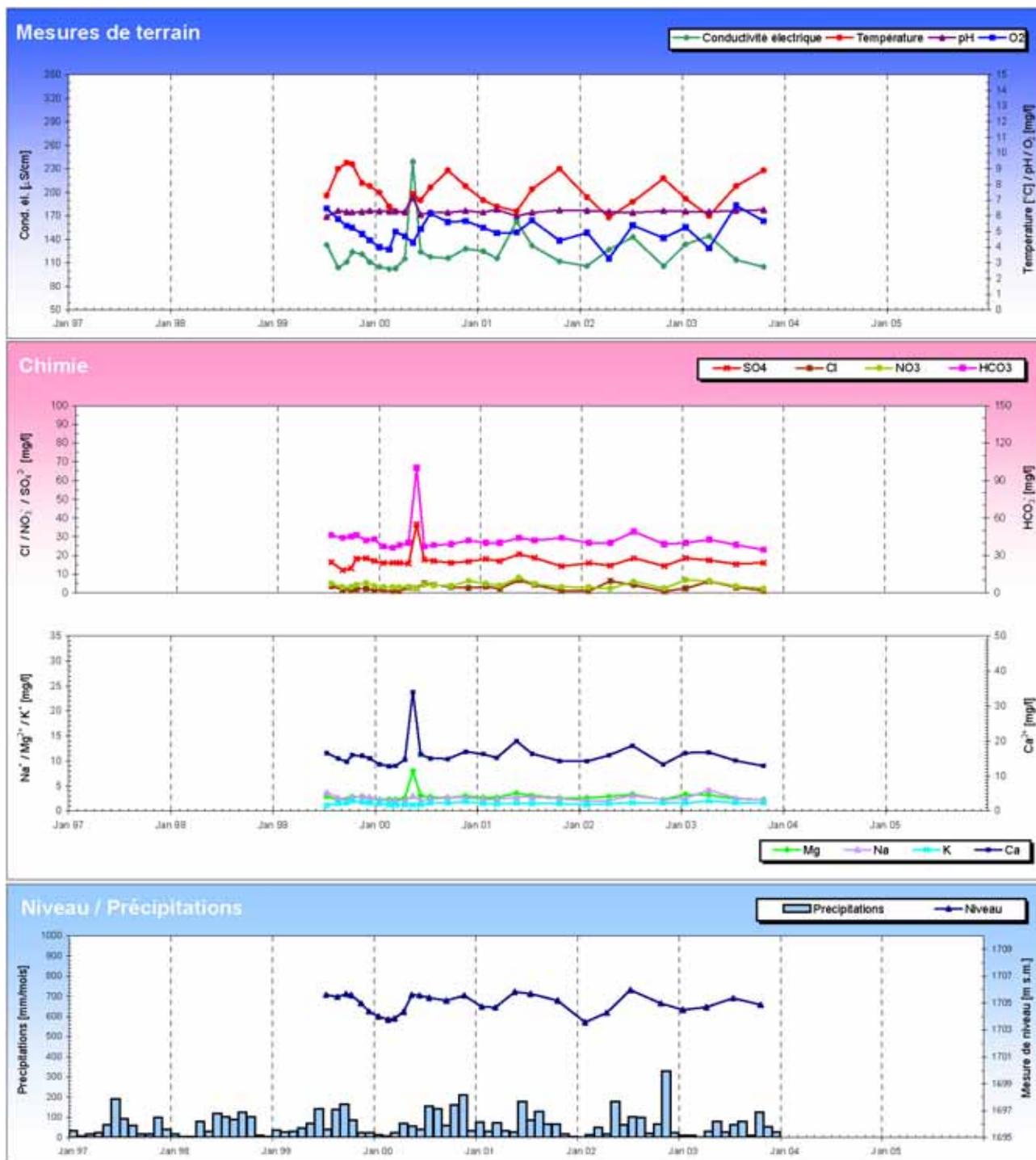


	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Débit	Précipitations
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/mois]
maximum	453	12.1	7.7	88.6	8.6	83.0	11.0	2.2	14.1	4.6	6.2	280.0	53.8	339.0
moyenne	444	12.0	7.5	82.1	8.0	79.6	9.0	2.0	12.6	4.2	4.9	270.8	35.5	108.2
minimum	432	11.7	7.2	76.8	7.5	76.0	8.3	1.7	10.8	3.6	3.9	267.0	26.3	28.0

NTG 12

NAQUA_{TREND}

Type de station	Piézomètre	Altitude	1707.72 m s.m.
Géologie	Graviers de fonds de vallées (GV)	Utilisation	Utilisé
Principale utilisation du sol	Autres surfaces agricoles permanentes (AS)		
Région géographique	Alpes		



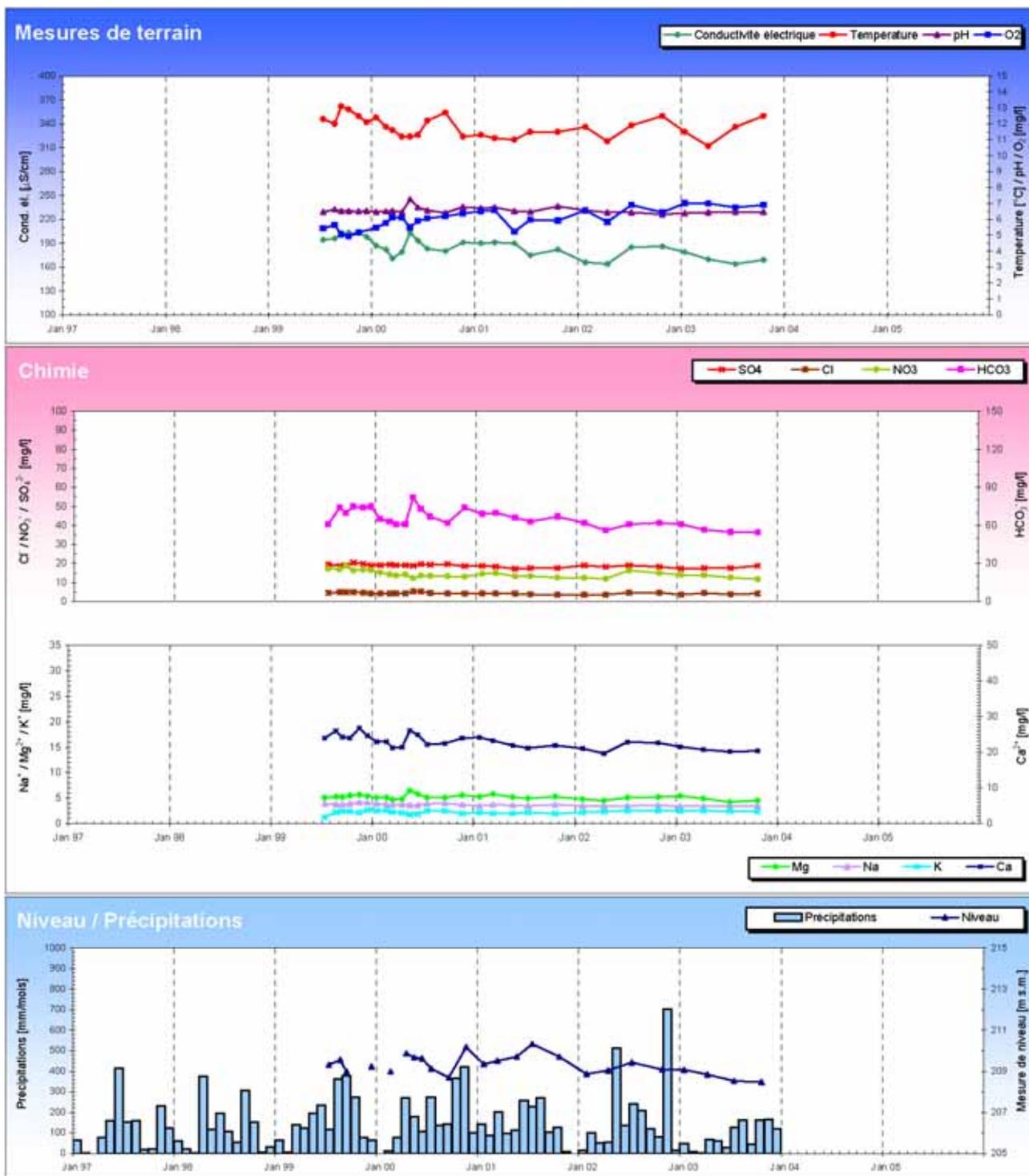
	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]
maximum	239	9.4	7.1	70.5	6.7	34.0	8.0	4.2	2.0	36.6	8.0	6.7	1706.0	330.0
moyenne	124	7.6	6.3	54.4	5.1	16.0	2.9	2.6	1.5	17.2	4.1	2.8	1705.0	65.0
minimum	102	5.9	5.9	35.4	3.3	12.8	2.2	2.0	1.1	12.2	2.2	0.8	1703.6	2.0

NTG 13

NAQUA_{TREND}

Type de station Puits
Géologie Graviers de fonds de vallées (GV)
Principale utilisation du sol Grandes cultures (GdC)
Région géographique Alpes

Altitude 211.20 m s.m.
Utilisation Utilisé



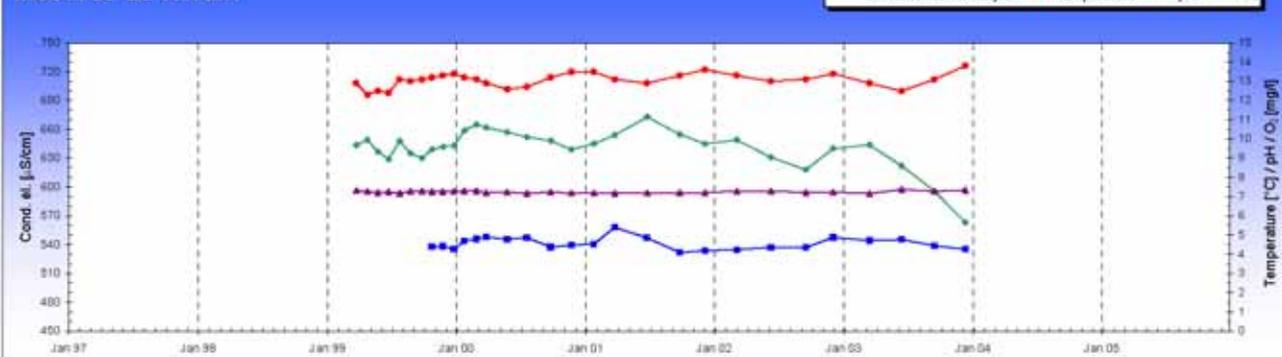
	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations	
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]	
maximum	203	13.1	7.3	66.5	7.0	26.8	6.5	4.2	2.7	20.4	18.8	5.4	82.0	210.3	703.0
moyenne	185	11.8	6.6	60.2	6.0	22.9	5.2	3.7	2.3	18.8	14.4	4.4	65.7	209.3	141.3
minimum	164	10.6	6.3	51.2	4.9	19.7	4.3	3.4	1.3	17.2	11.8	3.6	54.5	208.5	0.0

NTG 14

NAQUA_{TREND}

Type de station	Puits	Altitude	386.60 m s.m.
Géologie	Graviers de fonds de vallées (GV)	Utilisation	Utilisé
Principale utilisation du sol	Zone urbanisée et voies de communication (ZUC)		
Région géographique	Plateau et régions limitrophes		

Mesures de terrain



Chimie



Niveau / Précipitations



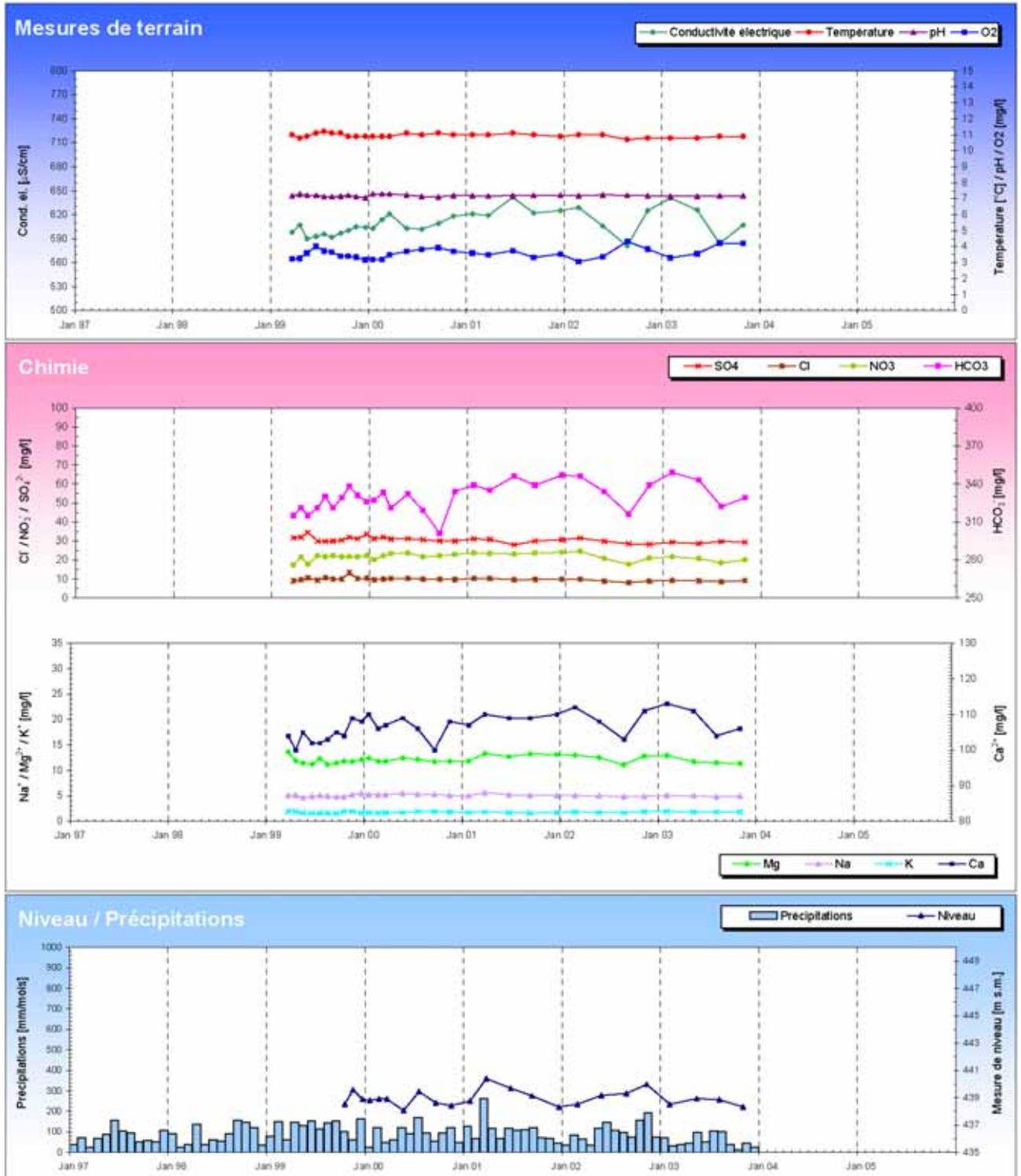
	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]
maximum	673	13.8	7.4	51.5	5.4	96.0	20.8	17.3	30.0	24.3	25.5	352.0	382.9	238.0
moyenne	640	13.1	7.2	46.6	4.6	91.4	19.1	15.3	27.9	16.4	21.5	339.6	382.3	94.6
minimum	563	12.3	7.2	41.9	4.1	81.0	16.7	13.4	23.4	10.3	15.7	304.0	381.4	7.0

NTG 15

NAQUA_{TREND}

Type de station Puits
Géologie Graviers de fonds de vallées (GV)
Principale utilisation du sol Grandes cultures (GdC)
Région géographique Plateau et régions limitrophes

Altitude 441.90 m s.m.
Utilisation Utilisé

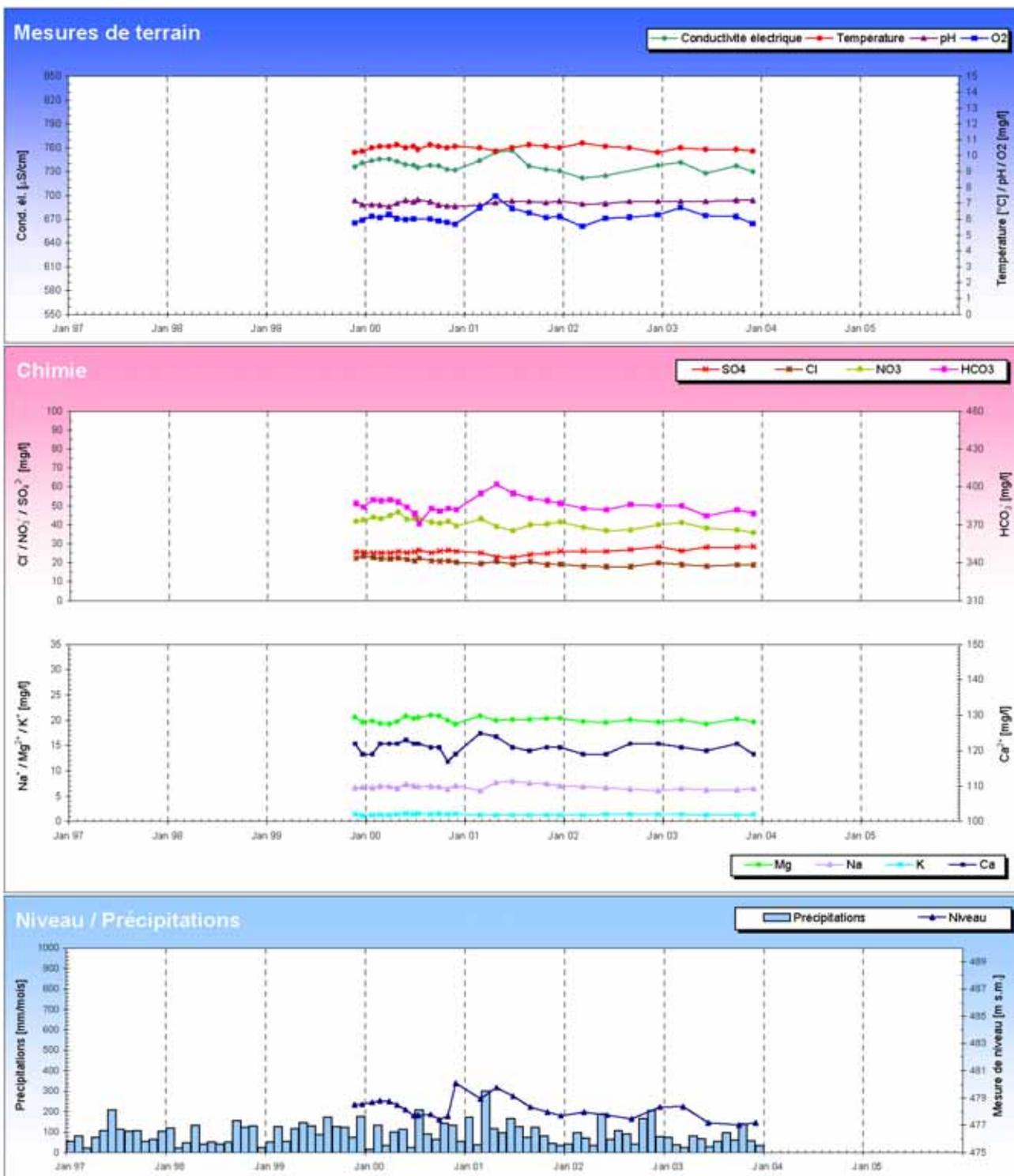


	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations	
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]	
maximum	642	11.2	7.3	41.4	4.3	113.0	13.6	5.6	1.9	34.4	24.5	13.2	349.0	440.4	261.0
moyenne	609	11.0	7.2	35.0	3.6	106.7	12.1	5.1	1.7	30.5	21.6	9.8	329.9	439.0	89.9
minimum	581	10.7	7.1	30.7	3.1	100.0	11.1	4.6	1.5	27.9	17.3	8.0	301.0	438.1	13.0

NTG 16

NAQUA_{TREND}

Type de station	Puits	Altitude	483.80 m s.m.
Géologie	Graviers de fonds de vallées (GV)	Utilisation	Utilisé
Principale utilisation du sol	Grandes cultures (GdC)		
Région géographique	Plateau et régions limitrophes		



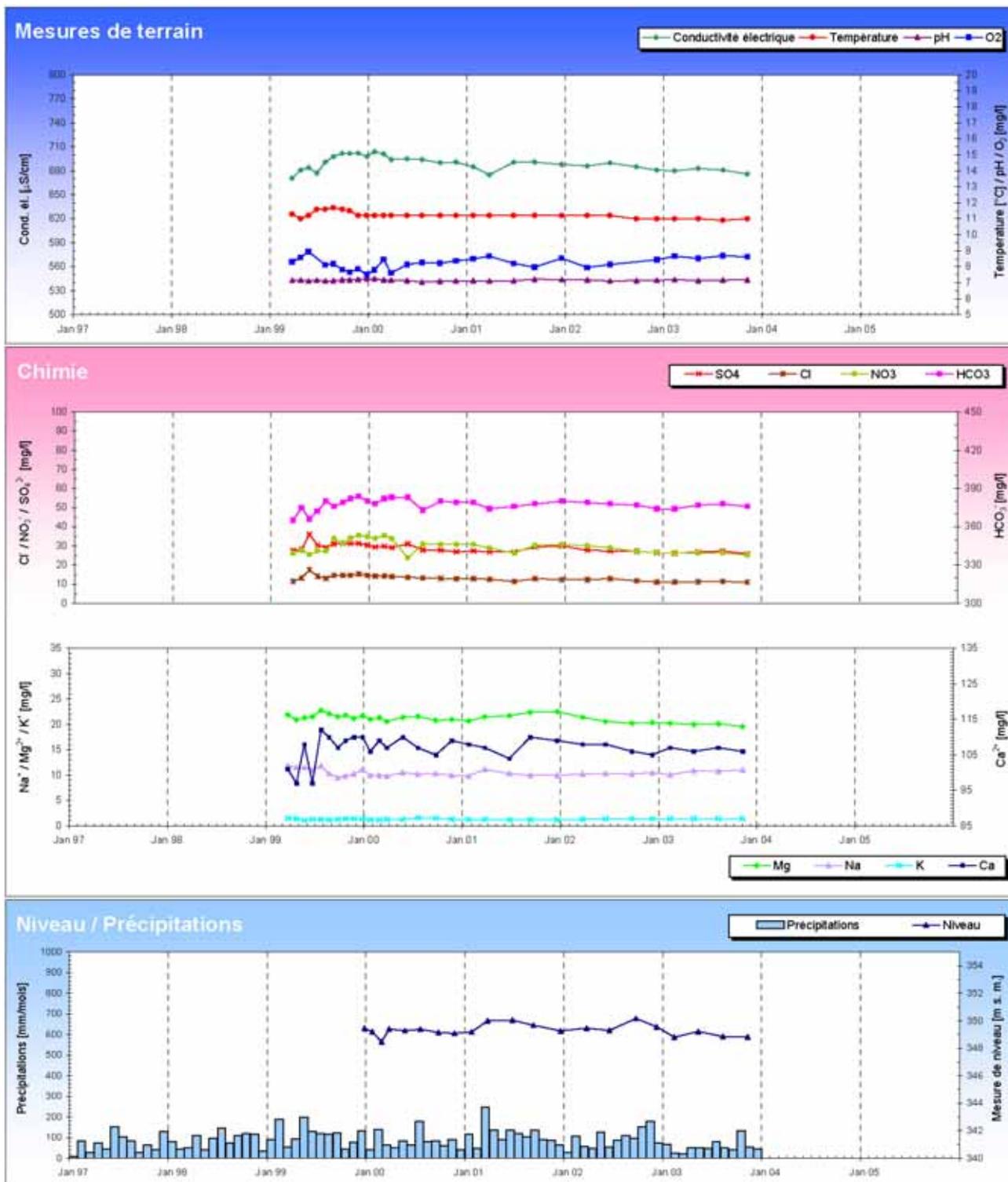
	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]
maximum	757	10.8	7.2	64.1	6.7	125.0	21.0	8.0	1.6	28.6	46.7	23.4	480.1	302.0
moyenne	738	10.5	7.0	60.2	6.2	121.0	20.1	6.9	1.4	25.9	40.8	20.4	478.2	93.8
minimum	722	10.2	6.8	52.1	5.5	117.0	19.3	6.1	1.2	22.8	35.8	18.0	477.0	15.0

NTG 17

NAQUA_{TREND}

Type de station Puits
Géologie Graviers de fonds de vallées (GV)
Principale utilisation du sol Régions improductives (RI)
Région géographique Plateau et régions limitrophes

Altitude 373.13 m s.m.
Utilisation Utilisé

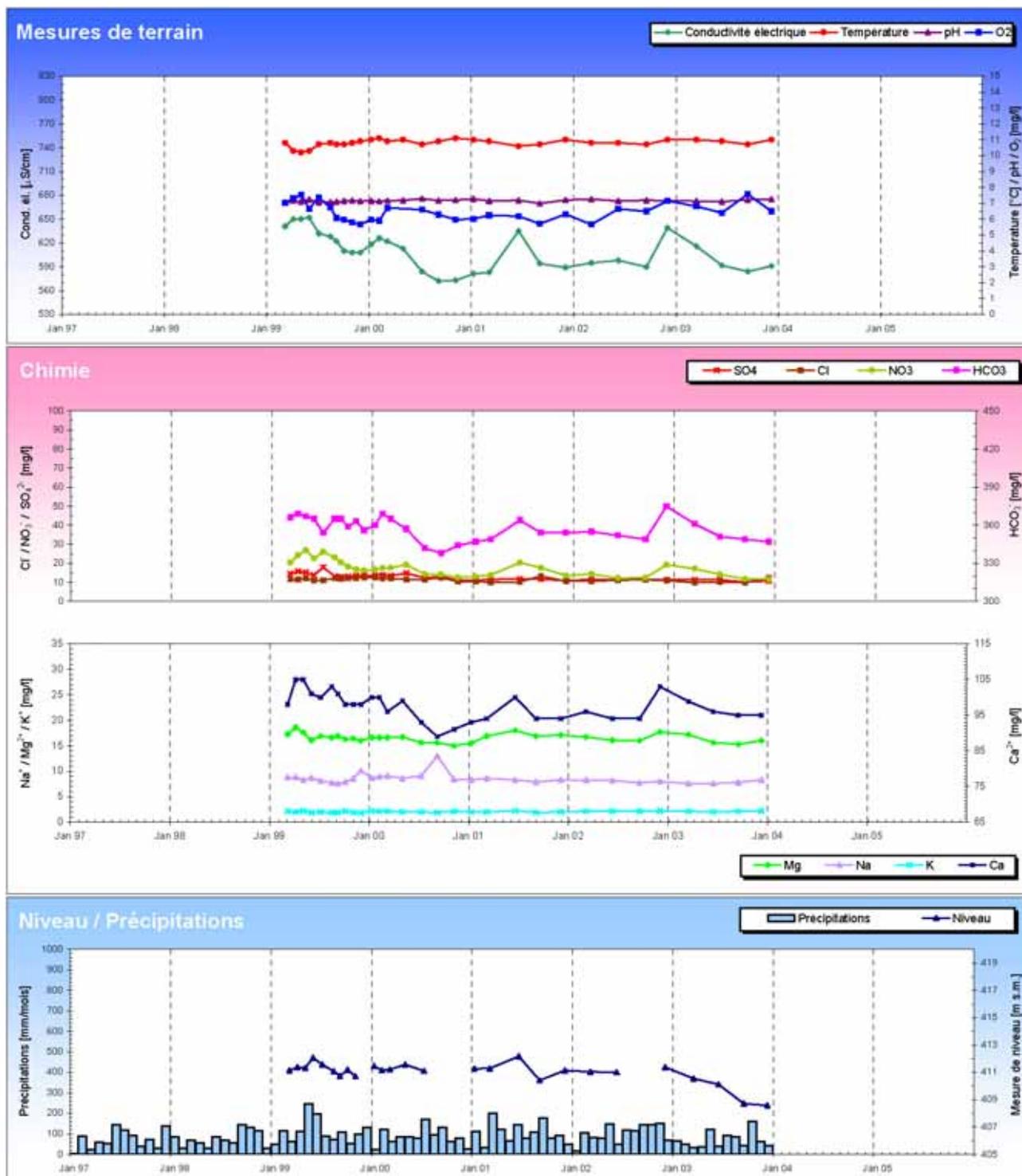


	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]
maximum	704	11.7	7.3	99.3	10.3	112.0	22.8	11.9	36.0	35.6	17.6	384.0	350.2	250.0
moyenne	689	11.2	7.2	80.8	8.2	106.8	21.2	10.5	28.8	29.6	13.2	377.2	349.3	88.4
minimum	671	10.9	7.1	75.5	7.5	97.0	19.6	9.5	25.9	23.7	11.1	365.0	348.5	10.0

NTG 18

NAQUA_{TREND}

Type de station	Puits	Altitude	417 m s.m.
Géologie	Graviers de fonds de vallées (GV)	Utilisation	Utilisé
Principale utilisation du sol	Grandes cultures (GdC)		
Région géographique	Plateau et régions limitrophes		

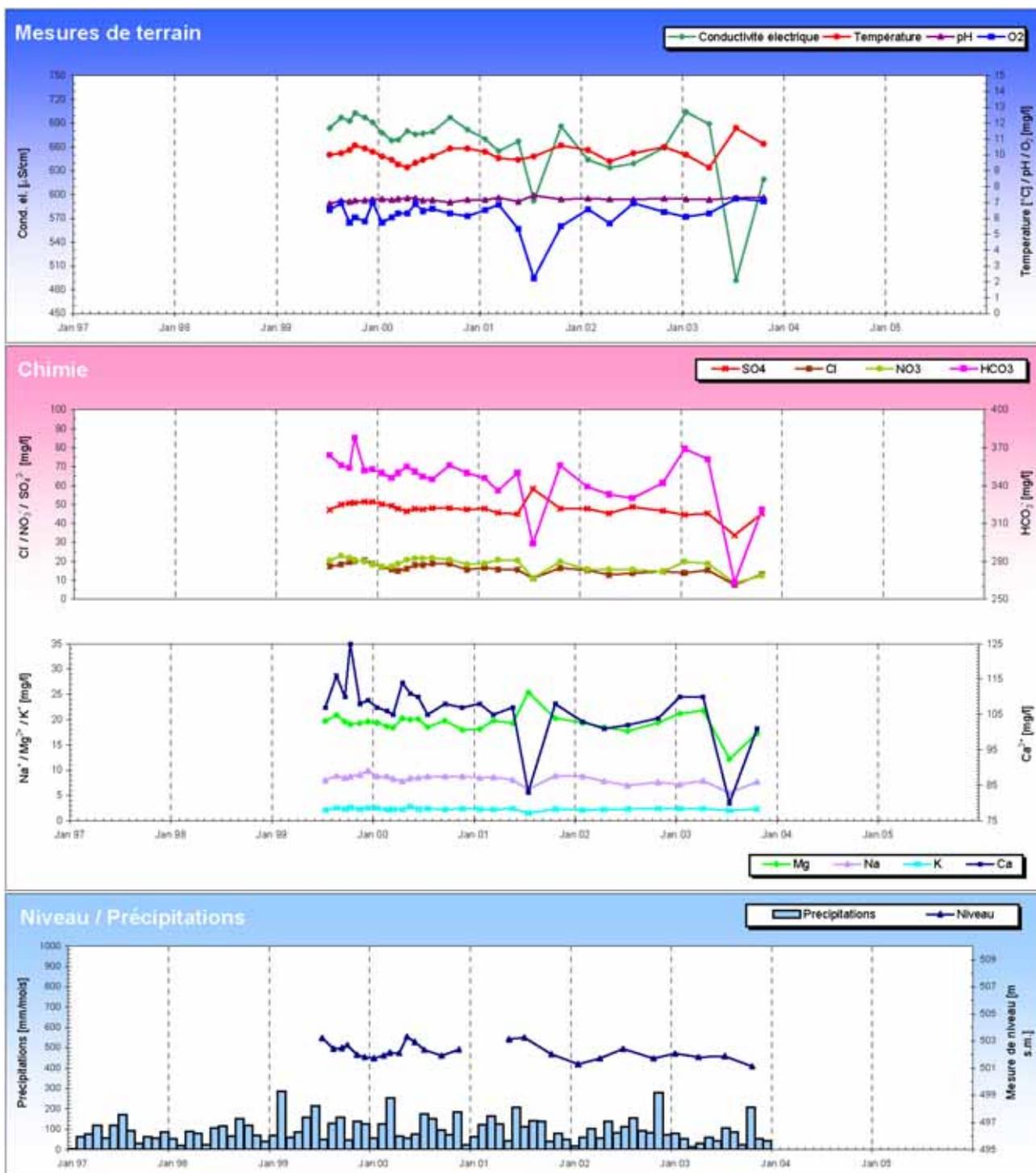


	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations	
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]	
maximum	652	11.1	7.3	74.2	7.6	105.0	18.6	13.0	2.2	17.9	27.0	13.3	375.0	412.2	246.0
moyenne	610	10.8	7.2	63.6	6.5	97.4	16.5	8.5	2.0	12.8	17.3	11.4	357.0	411.0	88.5
minimum	572	10.2	7.0	54.8	5.7	89.0	15.0	7.6	1.8	10.3	11.7	9.9	338.0	408.6	3.0

NTG 19

NAQUA_{TREND}

Type de station	Piézomètre	Altitude	506 m s.m.
Géologie	Graviers de fonds de vallées (GV)	Utilisation	Non utilisé
Principale utilisation du sol	Autres surfaces agricoles permanentes (AS)		
Région géographique	Alpes		



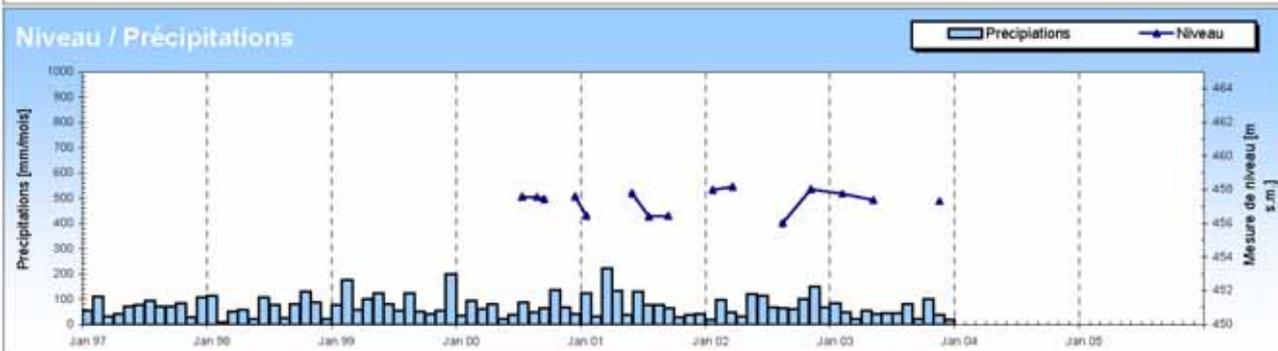
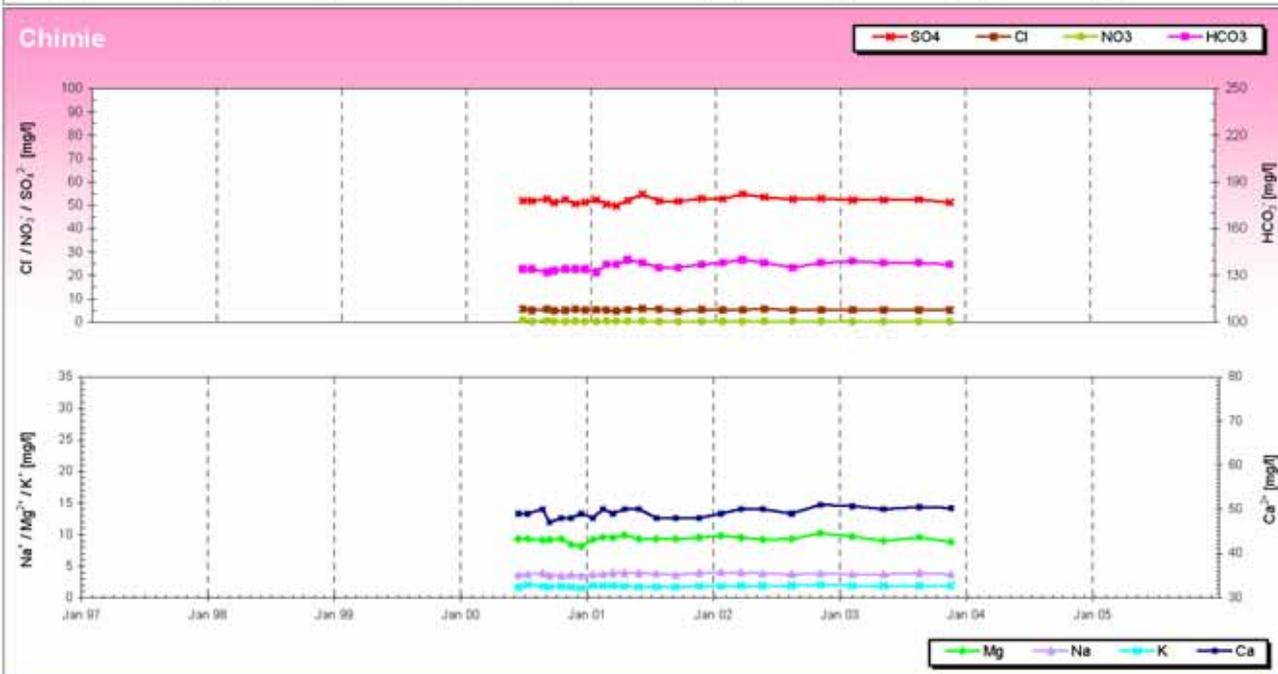
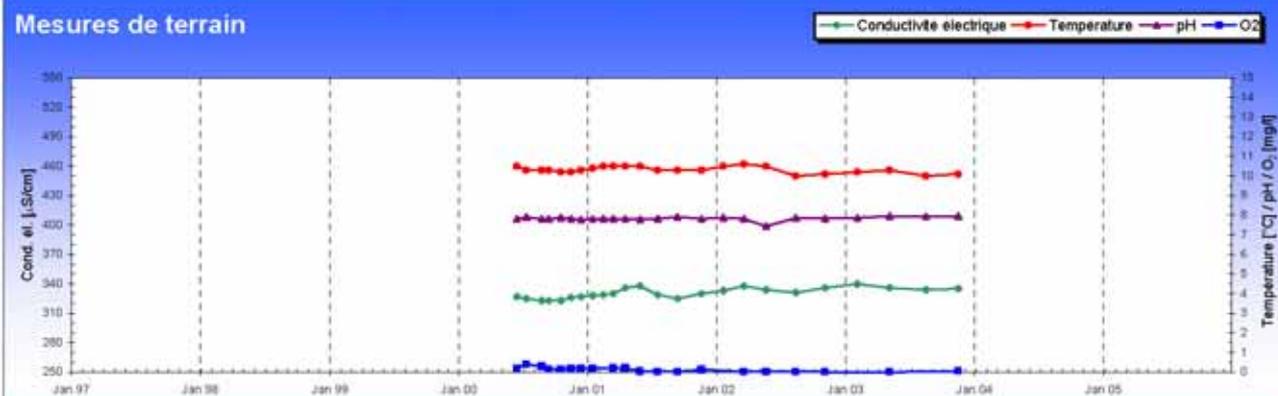
	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations	
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]	
maximum	704	11.7	7.5	73.6	7.2	125.0	25.4	9.9	2.8	58.3	23.0	20.6	378.0	503.3	287.0
moyenne	665	10.1	7.2	60.1	6.2	106.1	19.4	8.2	2.3	47.7	18.4	16.1	344.5	502.2	95.6
minimum	492	9.2	6.9	21.3	2.2	80.0	12.2	5.5	1.5	33.8	8.6	7.7	263.0	501.1	3.0

NTG 20

NAQUA_{TREND}

Type de station Puits
 Géologie Gravieres de fonds de vallées (GV)
 Principale utilisation du sol Autres surfaces agricoles permanentes (AS)
 Région géographique Alpes

Altitude 495.5 m s.m.
 Utilisation Utilisé



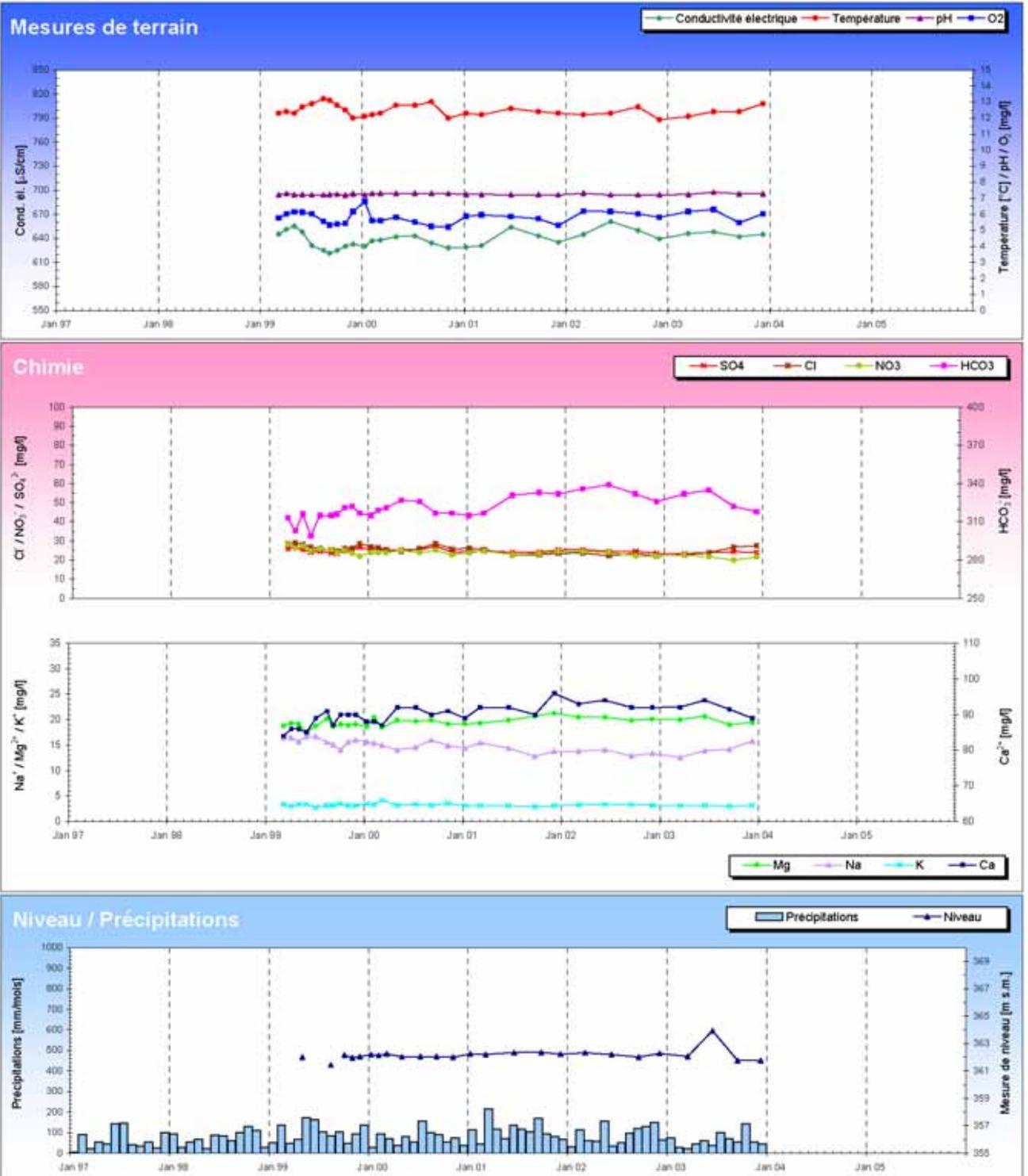
	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations	
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]	
maximum	340	10.6	8.0	4.0	0.4	51.0	10.2	4.0	2.0	54.8	0.7	5.7	140.0	458.2	221.0
moyenne	331	10.3	7.8	1.2	0.1	49.2	9.3	3.7	1.8	52.2	0.3	5.2	136.1	457.3	72.6
minimum	323	10.0	7.4	0.0	0.0	47.0	8.1	3.4	1.5	49.7	0.1	4.7	132.0	456.0	10.0

NTG 21

NAQUA_{TREND}

Type de station Puits
Géologie Graviers de fonds de vallées (GV)
Principale utilisation du sol Régions improductives (RI)
Région géographique Plateau et régions limitrophes

Altitude 370.60 m s.m.
Utilisation Utilisé



	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations	
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]	
maximum	661	13.2	7.4	70.2	6.8	96.0	21.3	16.7	4.2	27.3	28.3	29.1	339.0	363.9	215.0
moyenne	639	12.5	7.2	57.9	5.8	90.1	19.6	14.9	3.3	24.9	24.0	25.6	321.6	362.2	81.8
minimum	621	11.9	7.2	50.1	5.2	84.0	17.5	12.6	2.8	23.4	20.0	22.0	299.0	361.4	7.0

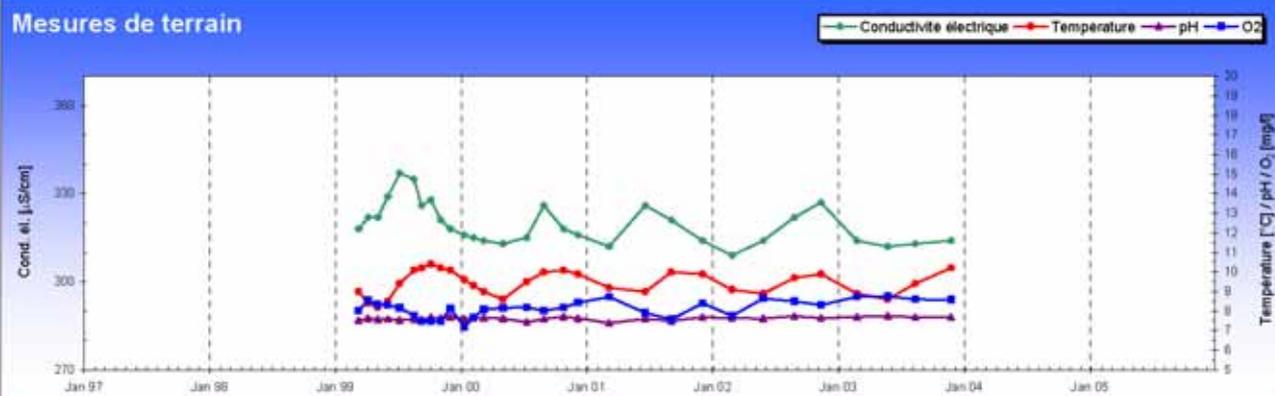
NTG 22

NAQUA_{TREND}

Type de station Puits
Géologie Graviers de fonds de vallées (GV)
Principale utilisation du sol Autres surfaces agricoles permanentes (AS)
Région géographique Plateau et régions limitrophes

Altitude 445 m s.m.
Utilisation Utilisé

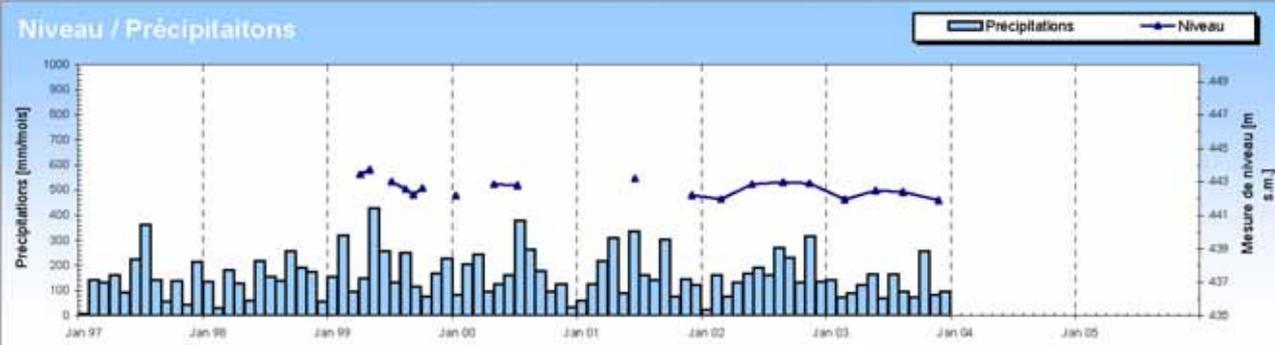
Mesures de terrain



Chimie



Niveau / Précipitations



	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations	
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]	
maximum	337	10.4	7.8	81.4	8.8	56.0	9.2	2.0	0.9	14.2	6.2	2.9	201.0	443.7	427.0
moyenne	320	9.4	7.6	76.4	8.1	52.8	8.3	1.6	0.7	13.3	4.6	1.9	186.8	442.6	158.3
minimum	309	8.2	7.4	70.3	7.2	49.1	7.6	1.3	0.5	12.4	3.8	1.4	180.0	441.9	8.0

NTQ 23

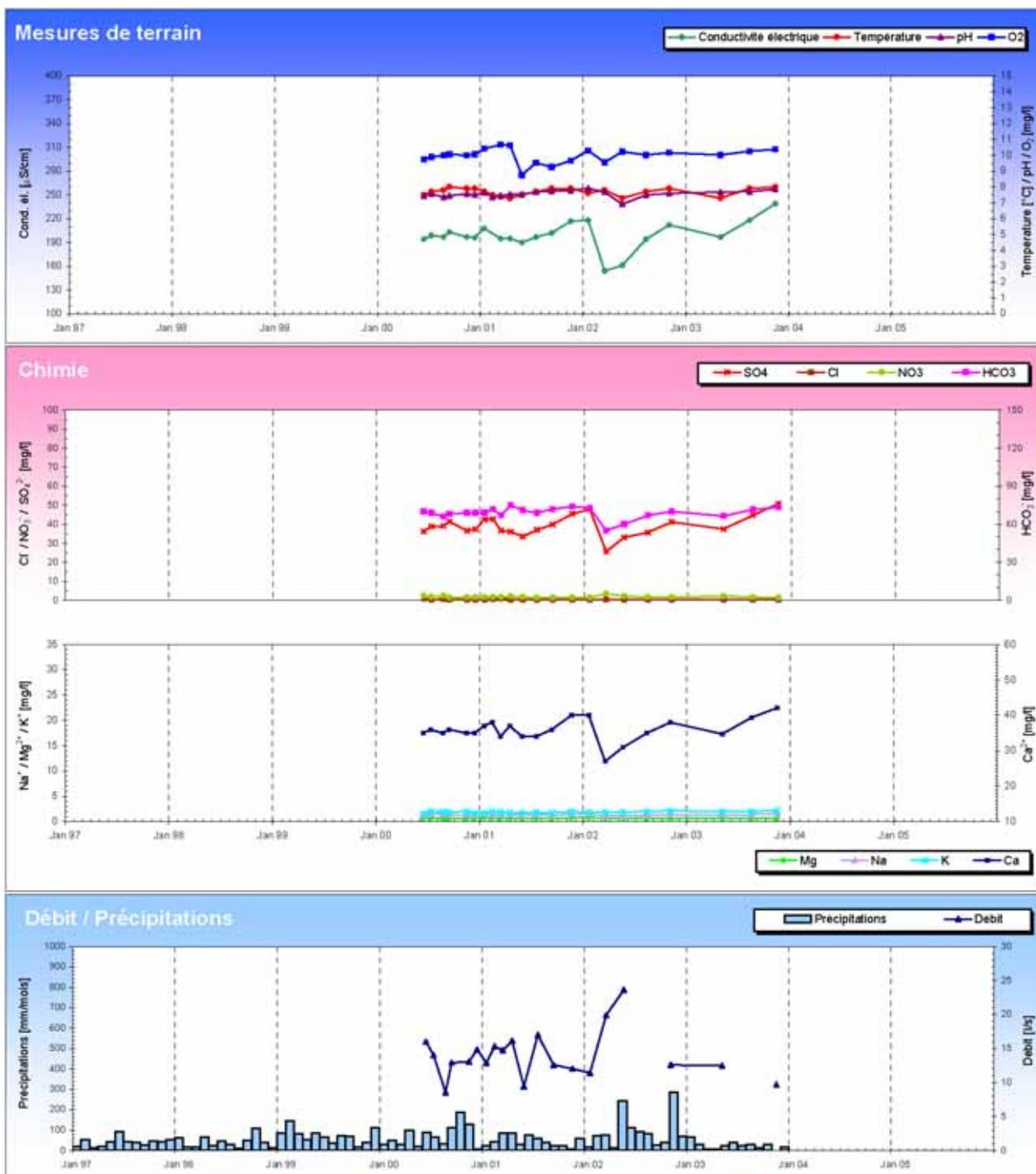
NAQUA_{TREND}

Type de station
Géologie
Principale utilisation du sol
Région géographique

Source
Roches cristallines (RC)
Régions improductives (RI)
Alpes

Altitude
Utilisation

1230 m s.m.
Utilisé



	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Débit	Précipitations
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/mois]
maximum	239	8.0	7.9	100.7	42.1	0.8	1.6	2.2	50.9	3.4	1.0	75.0	23.6	286.0
moyenne	199	7.7	7.6	95.5	10.0	0.7	1.4	1.9	39.1	1.9	0.4	68.9	14.0	55.9
minimum	154	7.3	6.9	91.2	8.8	0.6	1.2	1.6	25.6	1.4	0.2	55.0	8.5	5.0

NTQ 24

NAQUA_{TREND}

Type de station

Géologie

Principale utilisation du sol

Région géographique

Source

Graviers hors fonds de vallées (GT)

Régions improductives (RI)

Plateau et régions limitrophes

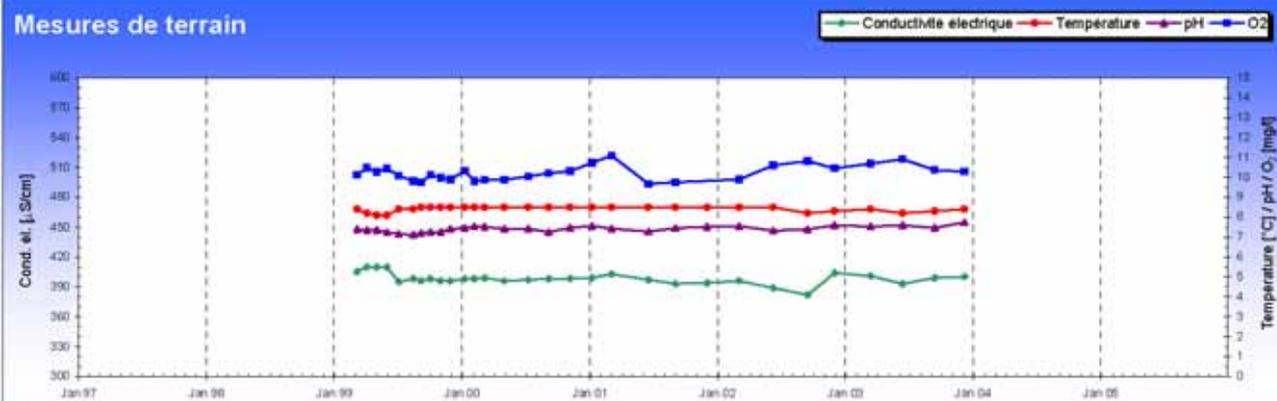
Altitude

620 m s.m.

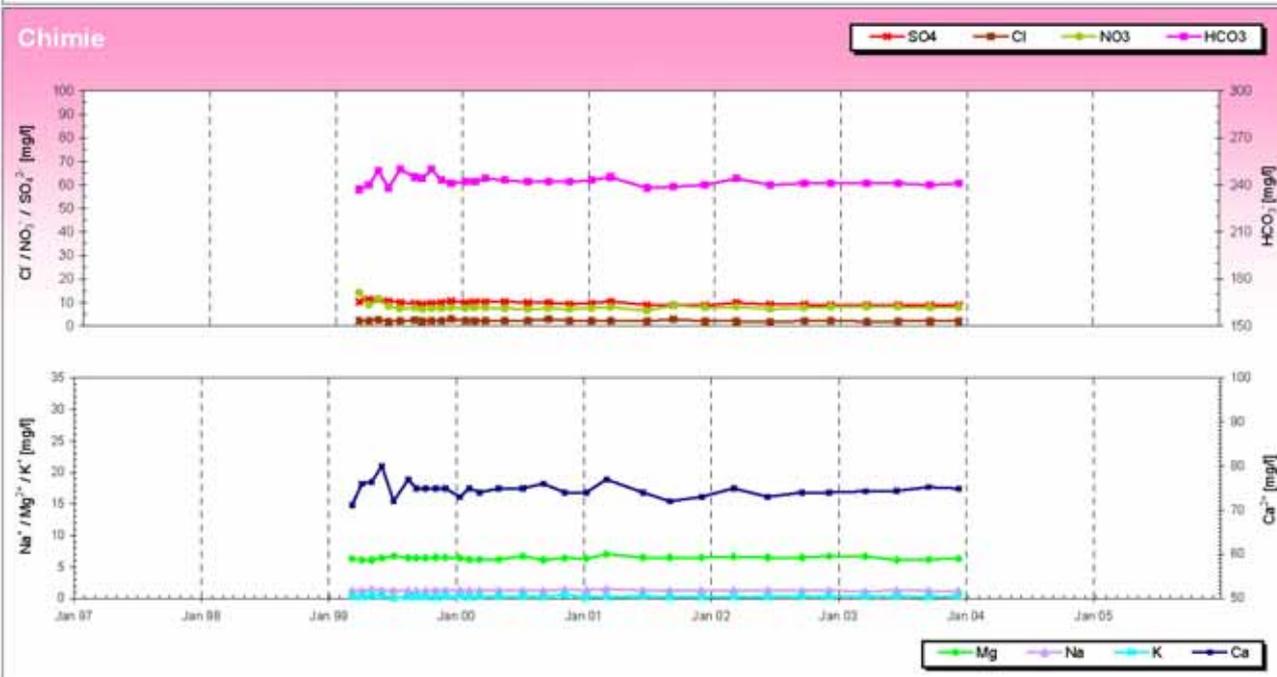
Utilisation

Utilisé

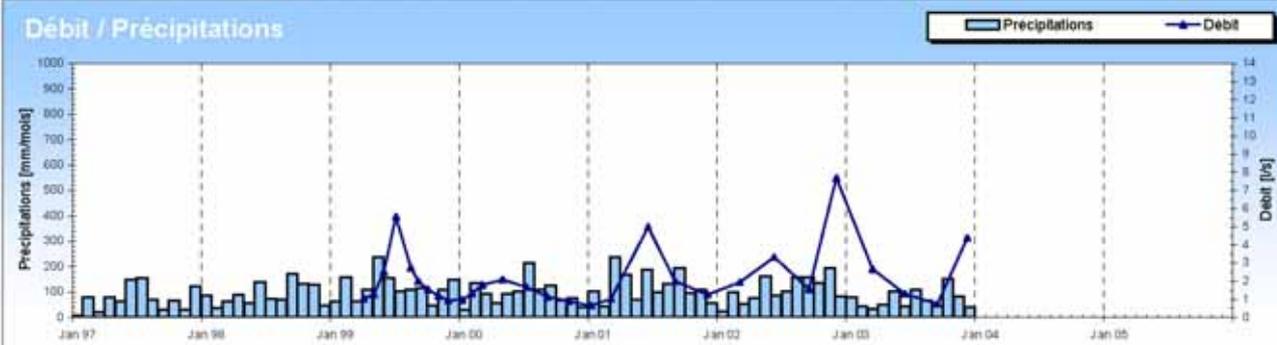
Mesures de terrain



Chimie



Débit / Précipitations



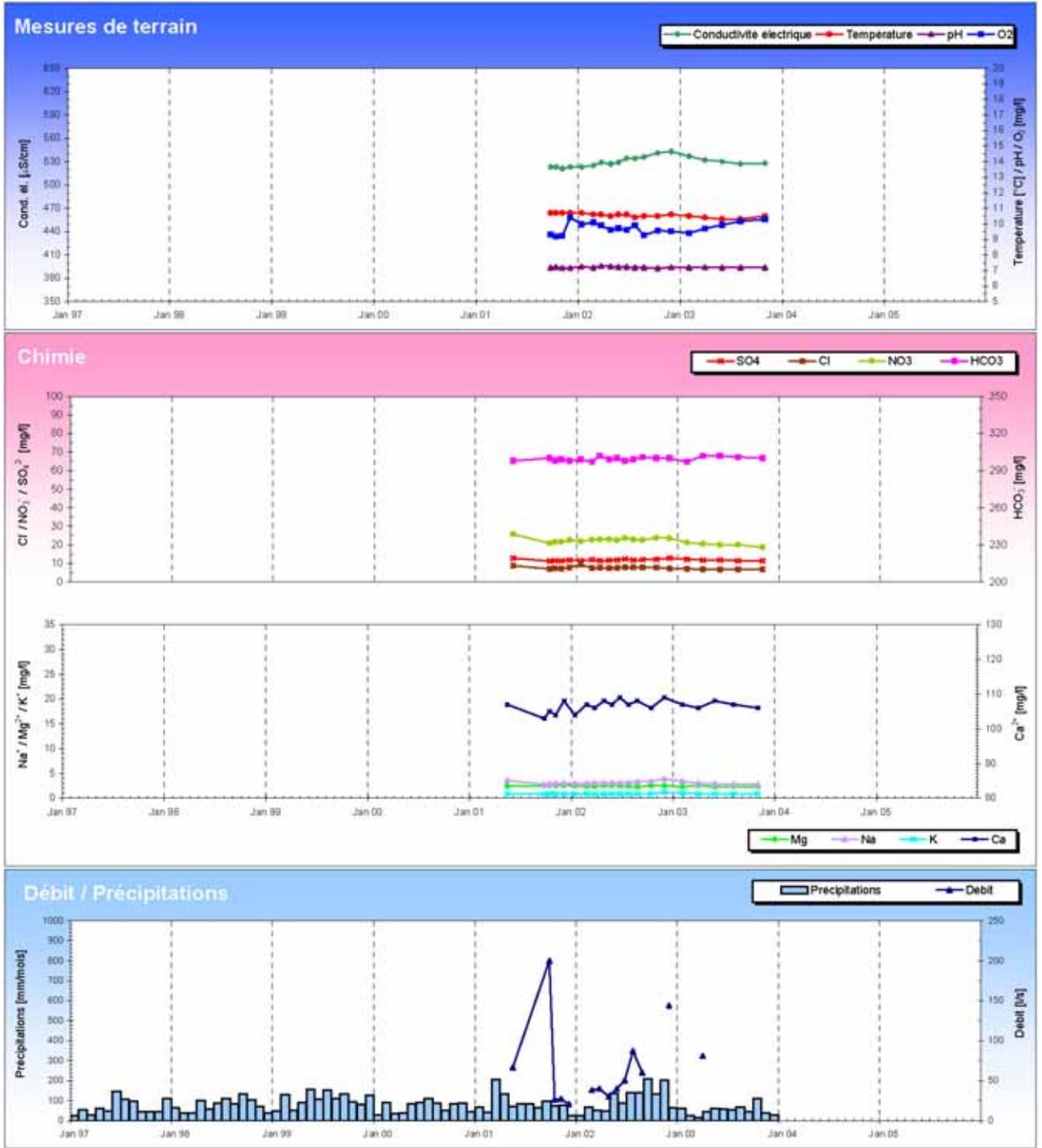
	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Débit	Précipitations	
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/mois]	
maximum	410	8.5	7.8	105.0	11.1	80.0	7.0	1.5	0.6	11.3	14.2	3.0	250.0	7.7	238.0
moyenne	398	8.4	7.4	96.0	10.2	74.6	6.4	1.3	0.3	9.7	8.1	2.2	242.3	2.1	98.1
minimum	382	8.1	7.1	89.2	9.7	71.2	6.1	1.1	0.2	8.7	6.5	1.7	237.0	0.7	8.0

NTQ 25

NAQUA_{TREND}

Type de station Source
Géologie Roches karstiques (RK)
Principale utilisation du sol Autres surfaces agricoles permanentes (AS)
Région géographique Jura

Altitude 443 m s.m.
Utilisation Utilisé



	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Débit	Précipitations
	[µS/cm]	[°C]		[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/mois]
maximum	543	10.7	7.3	99.7	10.4	109.0	2.6	3.9	12.8	25.7	9.3	302.0	200.0	210.0
moyenne	530	10.5	7.2	92.1	9.7	106.6	2.4	3.1	11.8	22.1	7.5	299.5	65.1	80.9
minimum	521	10.3	7.2	87.9	9.2	103.0	2.3	2.8	11.2	18.6	6.6	297.0	20.7	15.9

NTQ 26

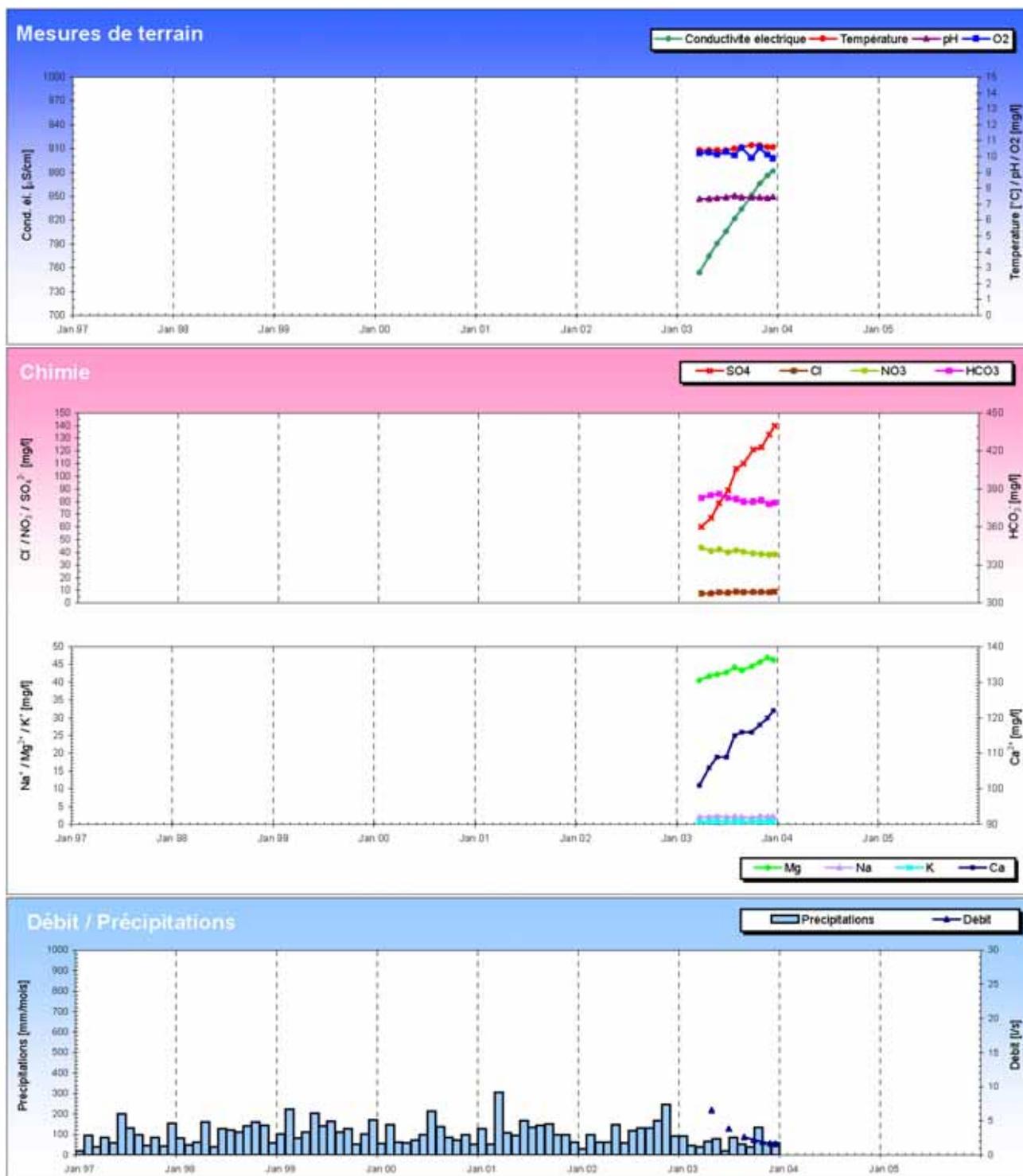
NAQUA_{TREND}

Type de station
Géologie
Principale utilisation du sol
Région géographique

Source
Roches karstiques (RK)
Grandes Cultures (GdC)
Jura

Altitude
Utilisation

441 m s.m.
Utilisé



	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Débit	Précipitations	
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/mois]	
maximum	882	10.7	7.5	100.4	10.6	122.0	46.9	2.3	0.9	140.0	43.7	9.1	386.0	6.6	307.0
moyenne	826	10.5	7.4	96.8	10.2	113.2	43.8	2.2	0.8	102.9	40.3	8.6	381.7	2.9	104.0
minimum	754	10.4	7.3	94.0	9.9	101.0	40.5	1.9	0.8	60.4	38.0	7.7	378.0	1.7	19.0

NTQ 28

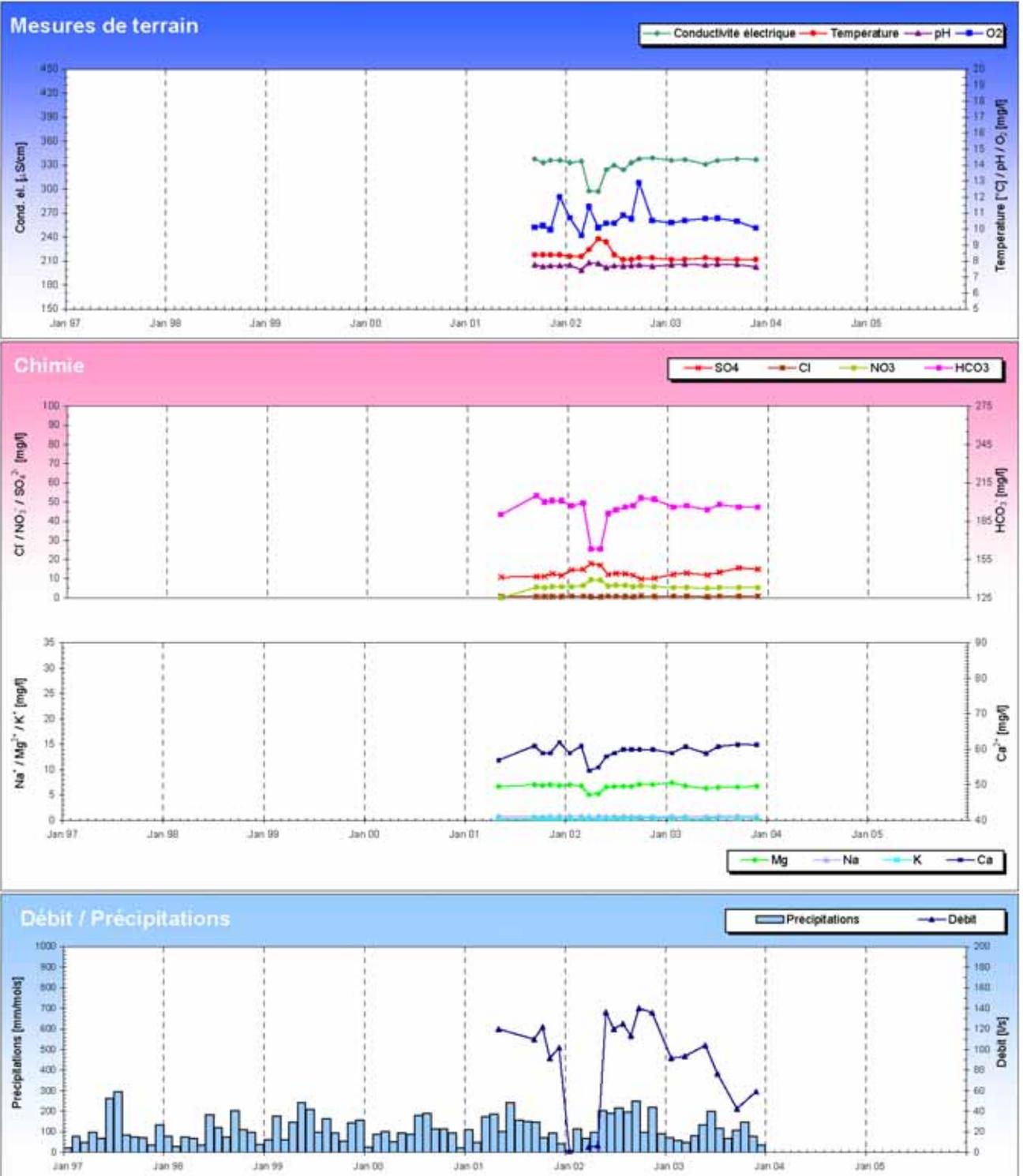
NAQUA_{TREND}

Type de station
Géologie
Principale utilisation du sol
Région géographique

Source
 Roches karstiques (RK)
 Régions improductives (RI)
 Plateau et régions limitrophes

Altitude
Utilisation

630 m s.m.
 Utilisé



	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Débit	Précipitations
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/mois]
maximum	339	9.4	7.9	118.4	12.9	62.0	7.4	0.9	0.5	17.9	9.4	0.9	205.0	140.0
moyenne	330	8.4	7.7	98.8	10.6	59.3	6.7	0.8	0.4	12.9	6.1	0.7	194.2	89.8
minimum	297	8.1	7.4	92.2	9.6	54.0	5.1	0.6	0.3	9.7	4.9	0.6	163.0	10.0

NTQ 30

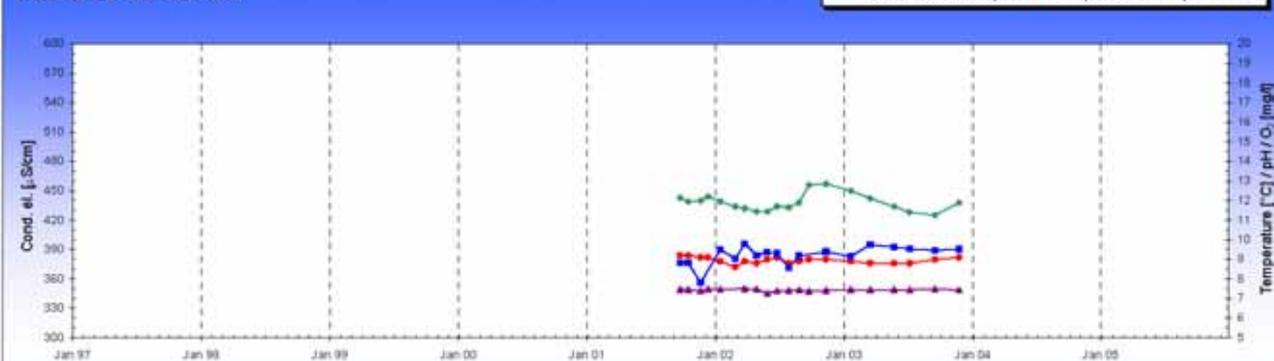
NAQUA_{TREND}

Type de station
Géologie
Principale utilisation du sol
Région géographique

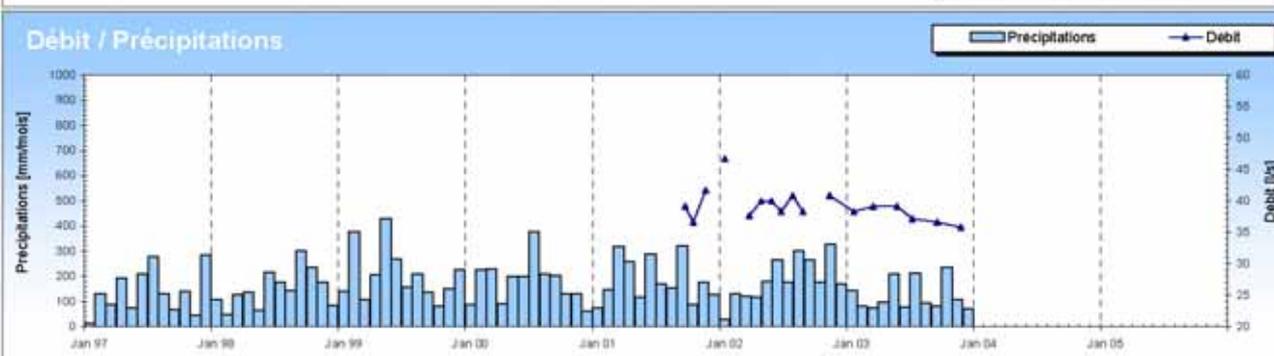
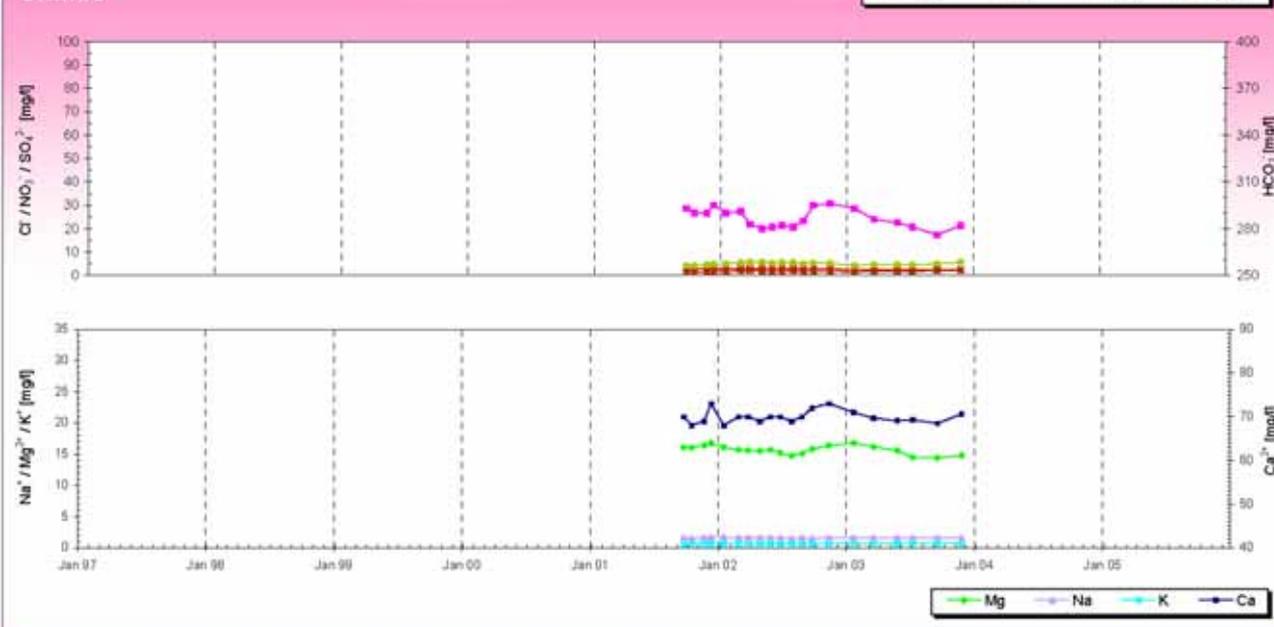
Source
 Roches détritiques (RD)
 Autres surfaces agricoles permanentes (AS)
 Plateau et régions limitrophes

Altitude 620 m s.m.
Utilisation Utilisé

Mesures de terrain



Chimie



	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Débit	Précipitations	
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/mois]	
maximum	457	9.2	7.5	90.6	9.8	73.0	16.8	1.7	0.6	3.0	5.7	2.1	296.0	46.7	429.0
moyenne	438	9.0	7.4	86.0	9.2	70.0	15.7	1.6	0.6	2.7	4.9	1.7	286.7	39.2	168.8
minimum	425	8.6	7.3	73.3	7.8	68.0	14.4	1.5	0.5	2.4	4.0	1.4	276.0	35.8	13.0

NTQ 31

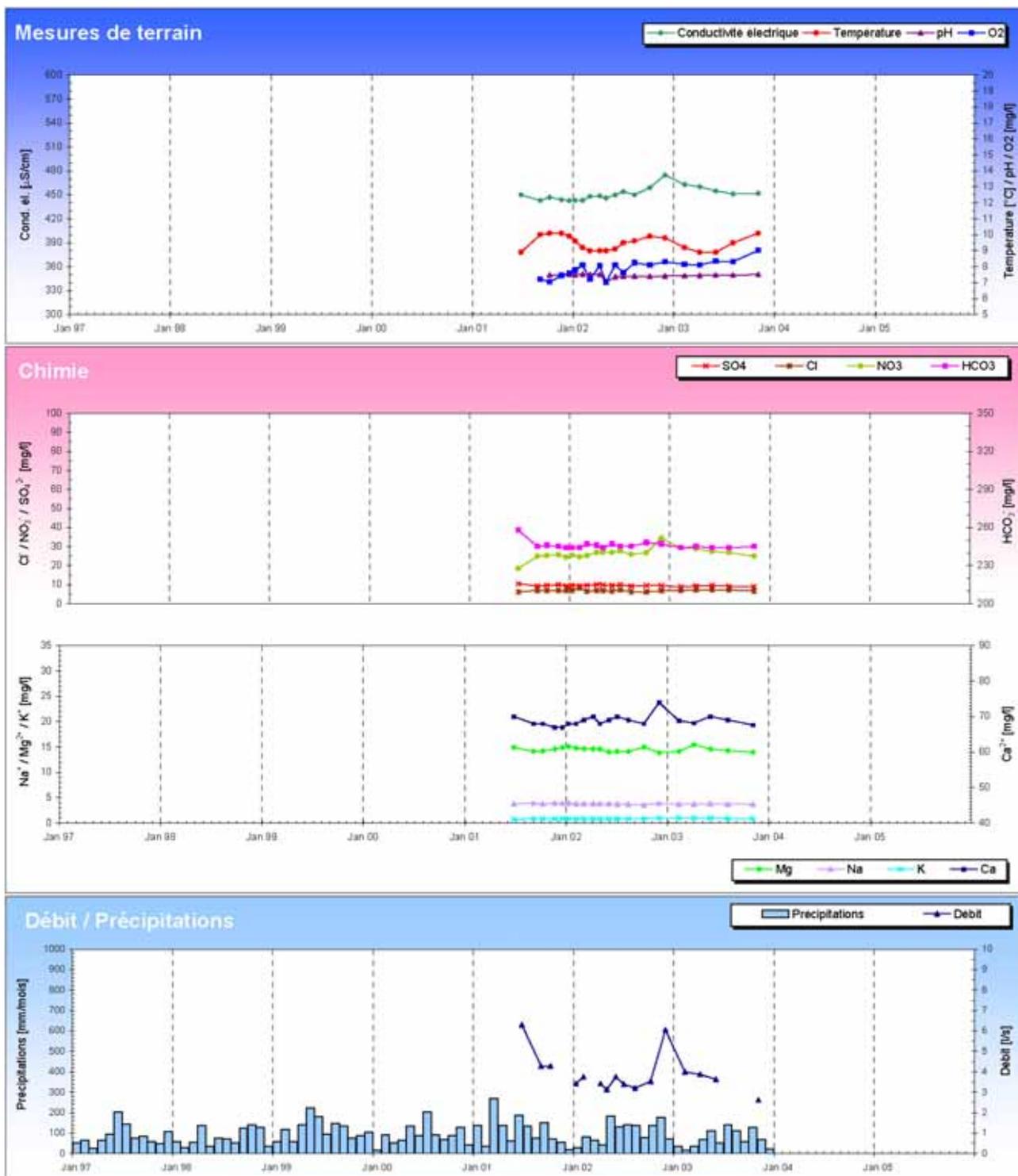
NAQUA_{TREND}

Type de station
Géologie
Principale utilisation du sol
Région géographique

Source
 Roches détritiques (RD)
 Grandes cultures (GdC)
 Plateau et régions limitrophes

Altitude
Utilisation

750 m s.m.
 Utilisé

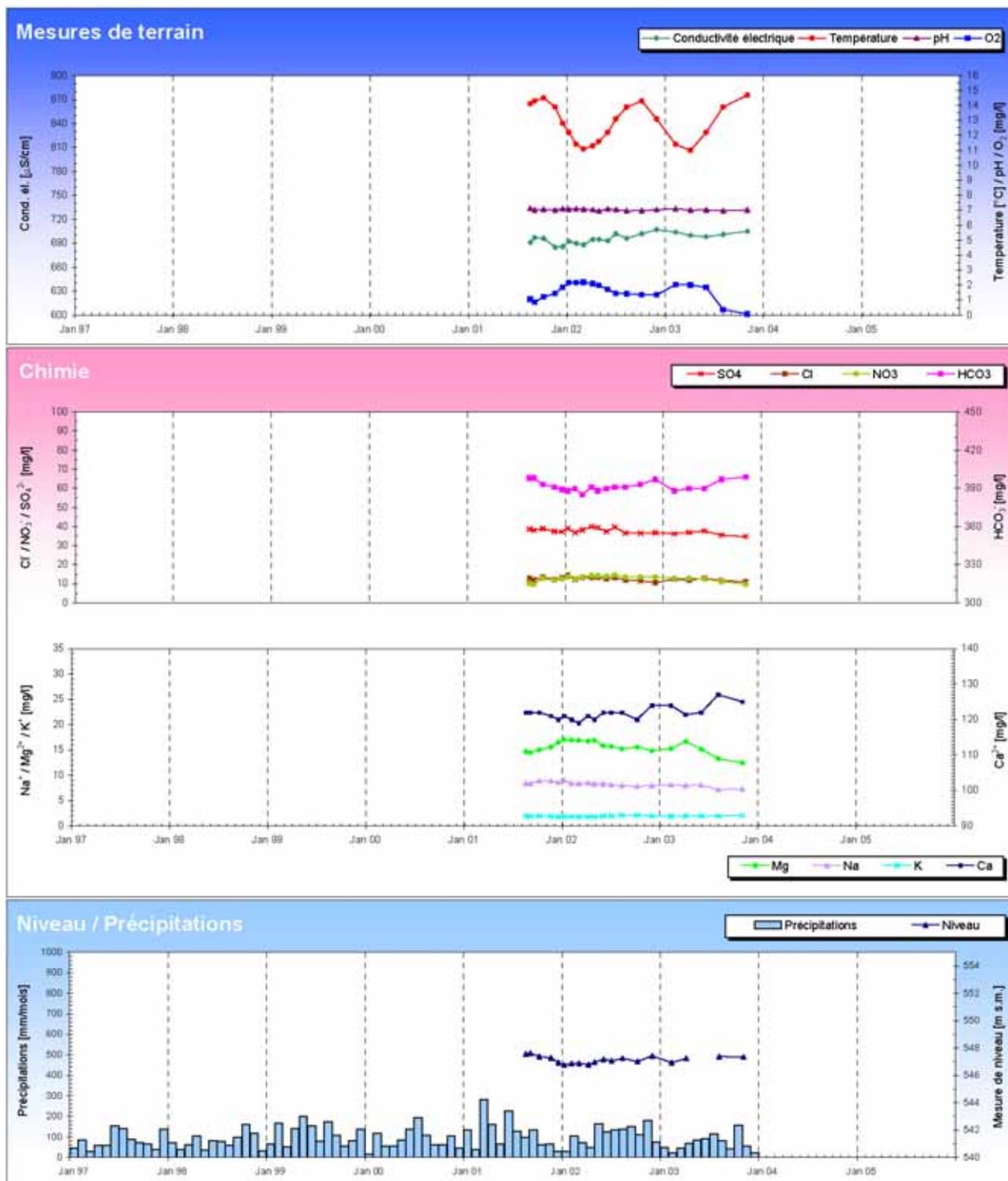


	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Débit	Précipitations
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/mois]
maximum	475	10.1	7.5	88.0	9.0	74.0	15.5	4.0	10.5	34.4	8.2	258.0	6.3	269.0
moyenne	451	9.5	7.4	76.7	7.9	68.8	14.5	3.8	9.5	26.3	6.9	245.9	3.9	93.8
minimum	443	8.9	7.0	69.2	7.0	67.0	13.9	3.6	8.8	18.5	6.3	244.0	2.6	16.0

NTG 34

NAQUA_{TREND}

Type de station	Puits	Altitude	549.55 m s.m.
Géologie	Graviers de fonds de vallées (GV)	Utilisation	Utilisé
Principale utilisation du sol	Grandes cultures (GdC)		
Région géographique	Plateau et régions limitrophes		



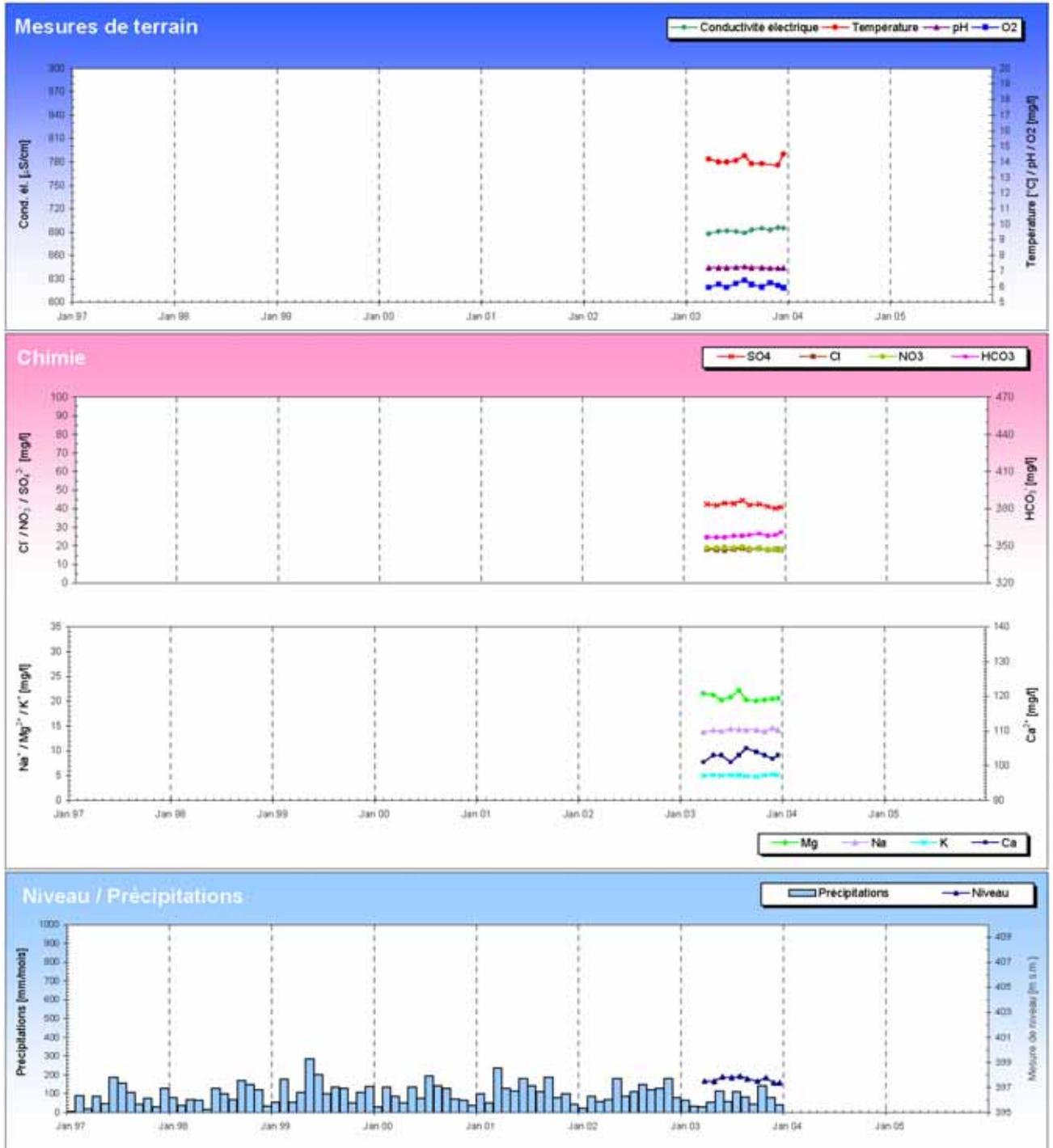
	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations	
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]	
maximum	707	14.7	7.1	21.9	2.2	127.0	17.1	9.0	2.1	39.9	14.7	14.5	399.0	547.6	281.0
moyenne	696	12.9	7.0	14.8	1.5	121.9	15.6	8.2	1.9	37.6	12.7	12.5	391.9	547.2	95.1
minimum	685	11.0	7.0	0.8	0.1	119.0	12.5	7.2	1.8	34.8	9.6	10.6	385.0	546.8	15.0

NTG 35

NAQUA_{TREND}

Type de station Puits
Géologie Graviers de fonds de vallées (GV)
Principale utilisation du sol Zone urbanisée et voies de communication (ZUC)
Région géographique Plateau et régions limitrophes

Altitude 405.50 m s.m.
Utilisation Utilisé



	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations	
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]	
maximum	696	14.5	7.3	66.4	6.4	105.0	22.2	14.6	5.2	44.4	19.4	18.8	361.0	397.9	287.0
moyenne	692	14.1	7.2	62.8	6.1	102.8	20.8	14.2	5.0	42.1	18.7	18.2	358.4	397.6	99.5
minimum	688	13.8	7.2	60.8	5.9	101.0	20.1	13.8	4.8	40.2	17.9	17.7	357.0	397.4	6.0

NTG 36

NAQUA_{TREND}

Type de station

Puits

Altitude

261.80 m s.m.

Géologie

Graviers de fonds de vallées (GV)

Utilisation

Utilisé

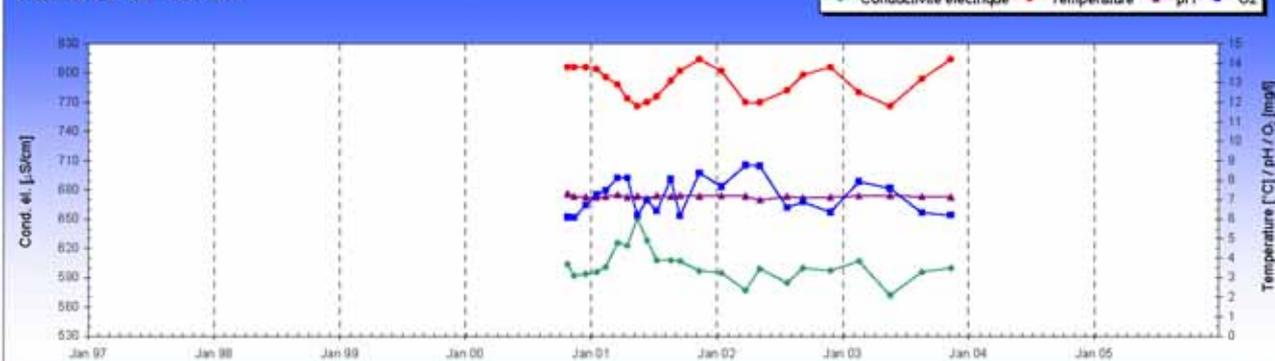
Principale utilisation du sol

Zone urbanisée et voies de communication (ZUC)

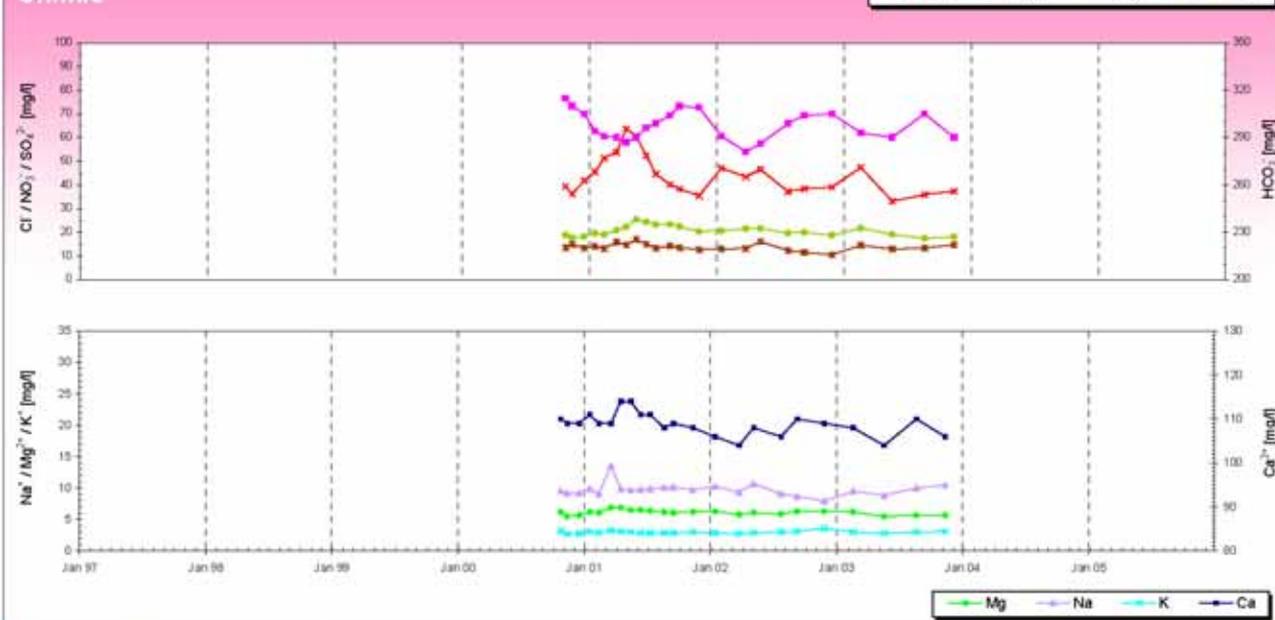
Région géographique

Jura

Mesures de terrain



Chimie



Niveau / Précipitations



	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations	
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]	
maximum	651	14.2	7.3	85.3	8.8	114.0	6.9	13.5	3.6	63.8	25.3	17.0	315.0	254.2	189.0
moyenne	603	13.0	7.2	69.8	7.2	108.8	6.1	9.8	3.0	43.9	20.6	13.8	297.6	253.3	73.5
minimum	572	11.8	7.0	59.6	6.1	104.0	5.5	7.9	2.7	33.1	17.4	10.5	281.0	252.4	10.0

NTG 37

NAQUA_{TREND}

Type de station

Puits

Altitude

347 m s.m.

Géologie

Graviers de fonds de vallées (GV)

Utilisation

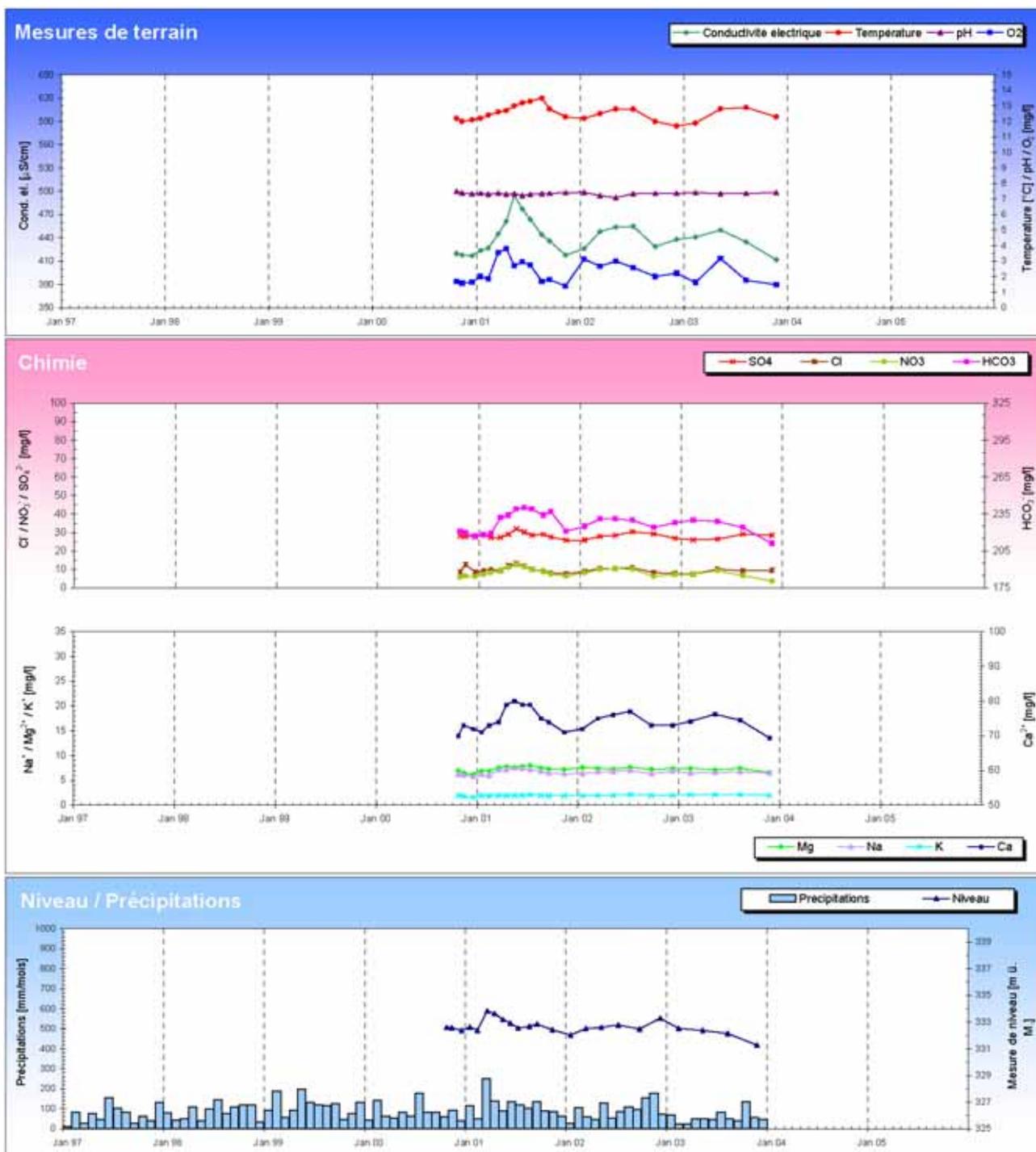
Utilisé

Principale utilisation du sol

Zone urbanisée et voies de communication (ZUC)

Région géographique

Plateau et régions limitrophes

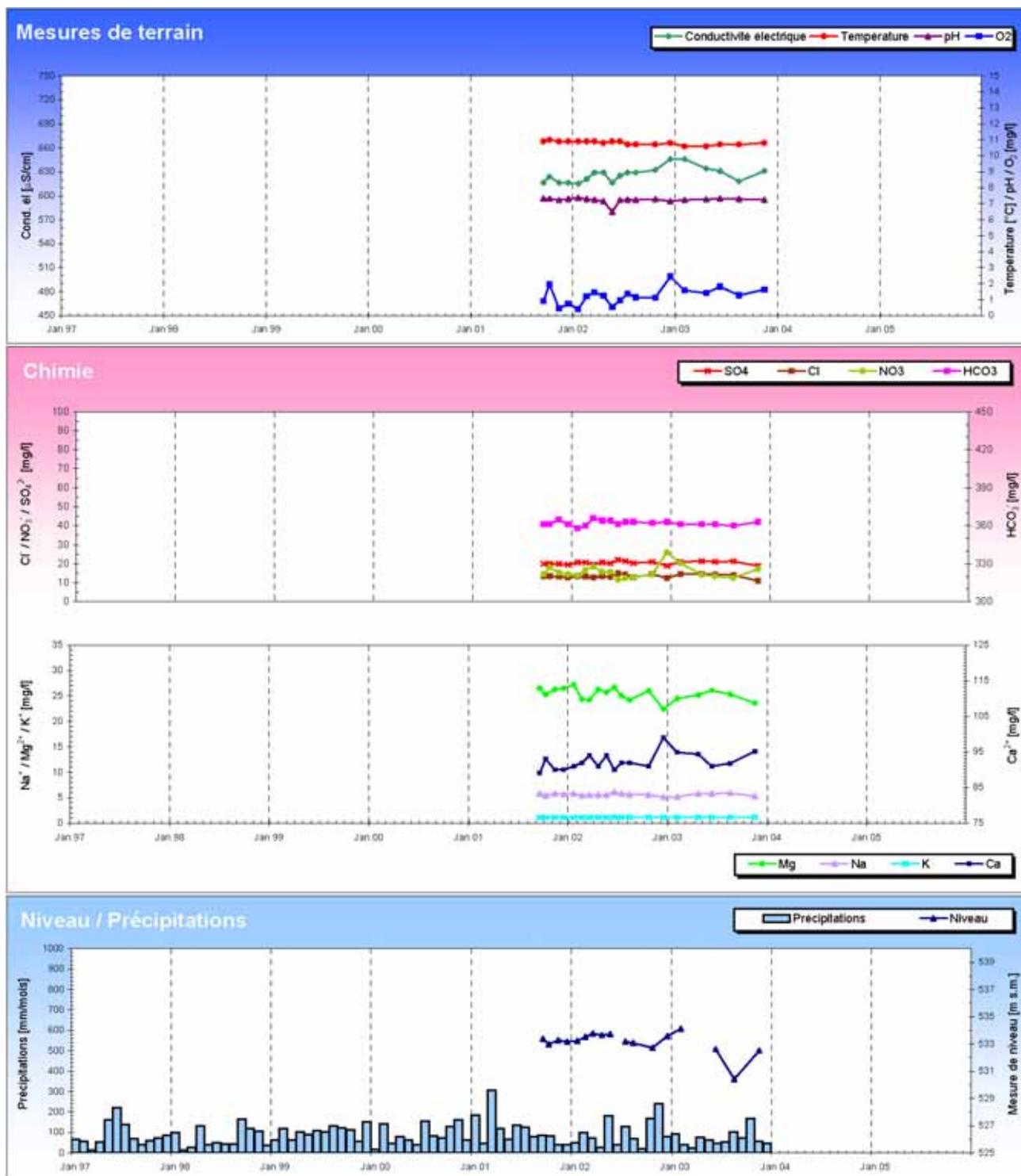


	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations	
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]	
maximum	495	13.5	7.5	34.9	3.8	80.0	8.0	7.5	2.1	32.0	12.6	13.1	240.0	333.8	250.0
moyenne	441	12.5	7.3	22.7	2.3	74.4	7.3	6.6	2.0	28.2	8.3	9.7	227.6	332.6	88.4
minimum	412	11.7	7.1	14.6	1.4	69.4	6.2	5.8	1.6	25.8	3.8	7.5	211.0	331.3	10.0

NTG 38

NAQUA_{TREND}

Type de station	Puits	Altitude	539.50 m s.m.
Géologie	Graviers hors fonds de vallées (GT)	Utilisation	Utilisé
Principale utilisation du sol	Grandes cultures (GdC)		
Région géographique	Plateau et régions limitrophes		



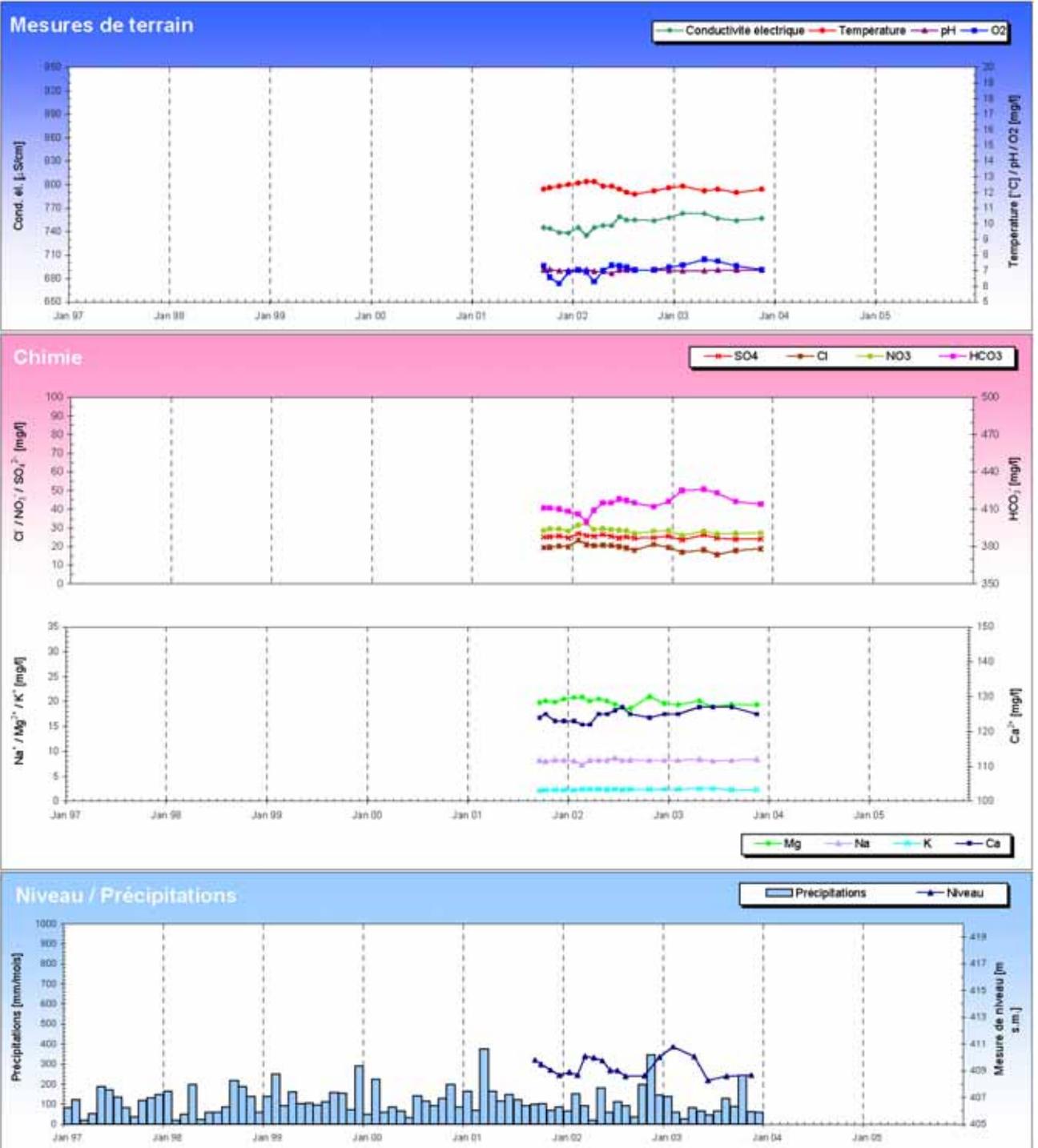
	Cond.él.	T	pH	O ₂		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]
maximum	646	11.0	7.4	23.6	2.4	99.0	27.2	6.1	1.2	22.0	26.0	15.0	366.0	534.1	307.0
moyenne	626	10.8	7.2	12.3	1.2	92.4	25.3	5.6	1.2	20.5	15.7	13.5	362.0	533.1	89.1
minimum	615	10.6	6.5	4.2	0.4	89.0	22.4	5.1	1.1	18.9	11.5	11.0	358.0	530.4	13.0

NTG 39

NAQUA_{TREND}

Type de station Puits
Géologie Gravieres hors fonds de vallées (GT)
Principale utilisation du sol Autres surfaces agricoles permanentes (AS)
Région géographique Plateau et régions limitrophes

Altitude 420.60 m s.m.
Utilisation Utilisé



	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]
maximum	763	12.7	7.1	75.6	7.7	127.0	21.0	8.7	26.9	32.3	23.4	426.0	410.8	377.0
moyenne	751	12.3	7.0	69.8	7.1	124.7	19.9	8.2	25.1	28.5	19.5	414.1	409.3	116.8
minimum	735	11.9	6.8	61.4	6.2	122.0	18.6	7.3	23.5	25.8	15.6	400.0	408.3	19.0

NTG 40

NAQUA_{TREND}

Type de station

Puits

Altitude

275.42 m s.m.

Géologie

Graviers de fonds de vallées (GV)

Utilisation

Utilisé

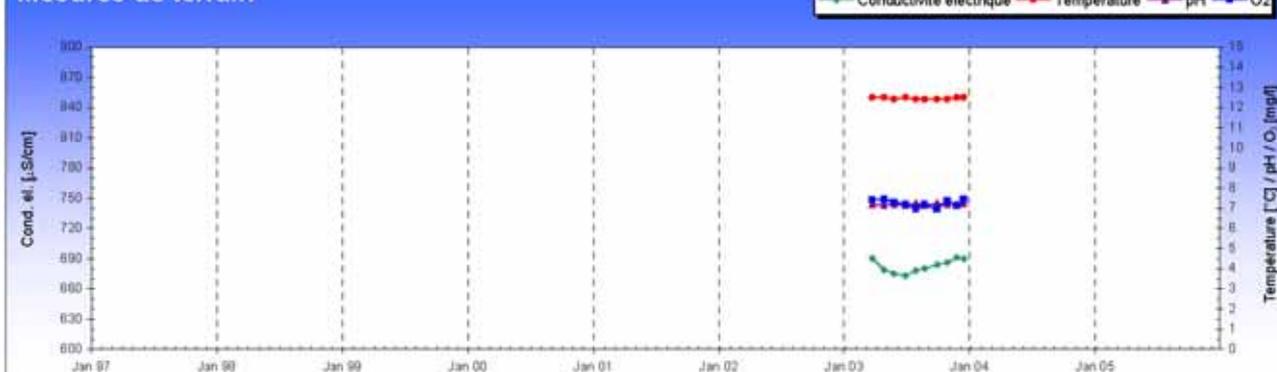
Principale utilisation du sol

Grandes cultures (GdC)

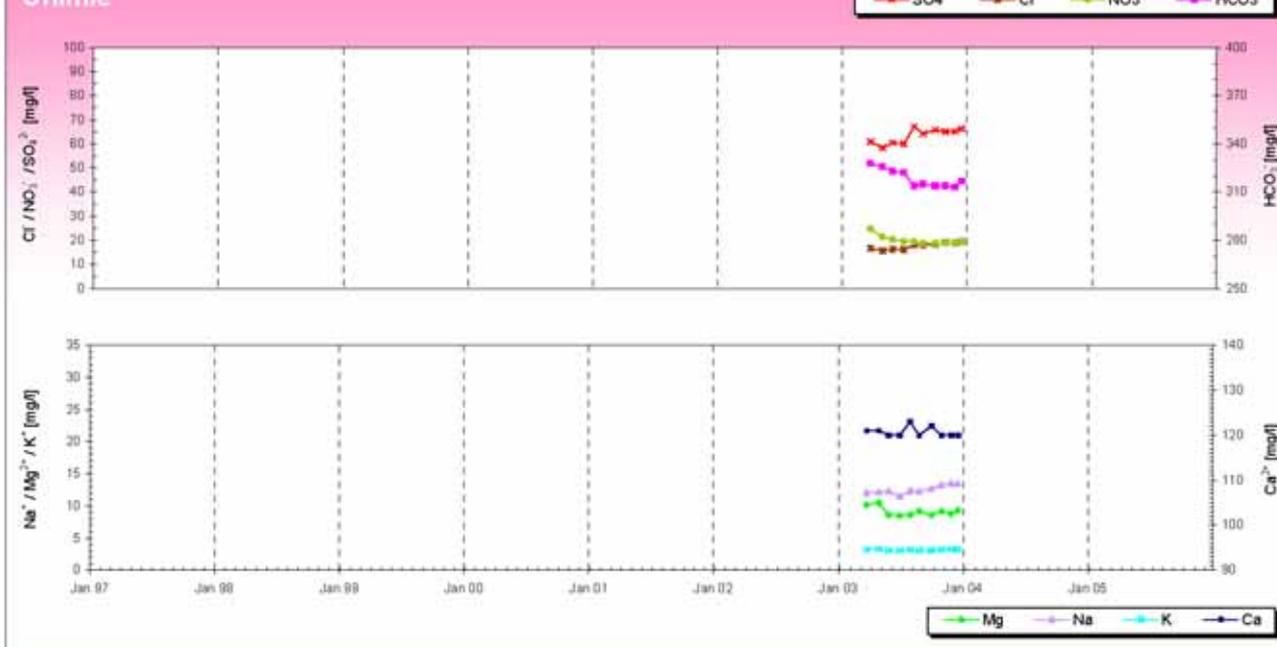
Région géographique

Jura

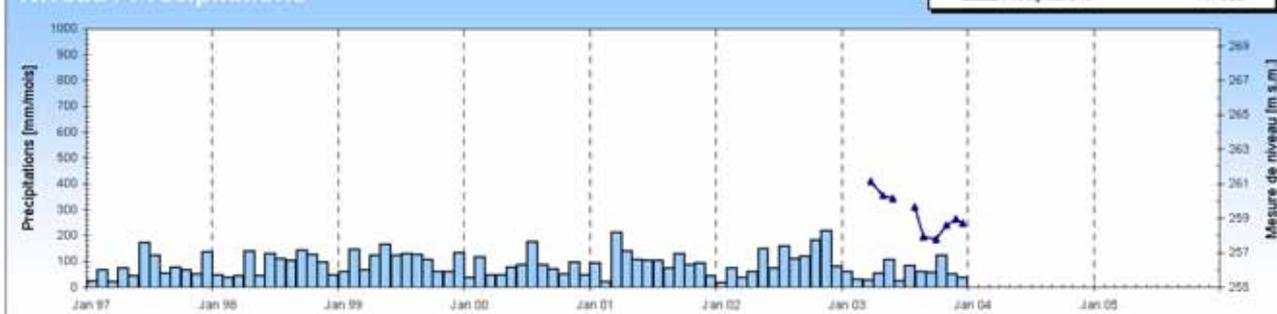
Mesures de terrain



Chimie



Niveau / Précipitations



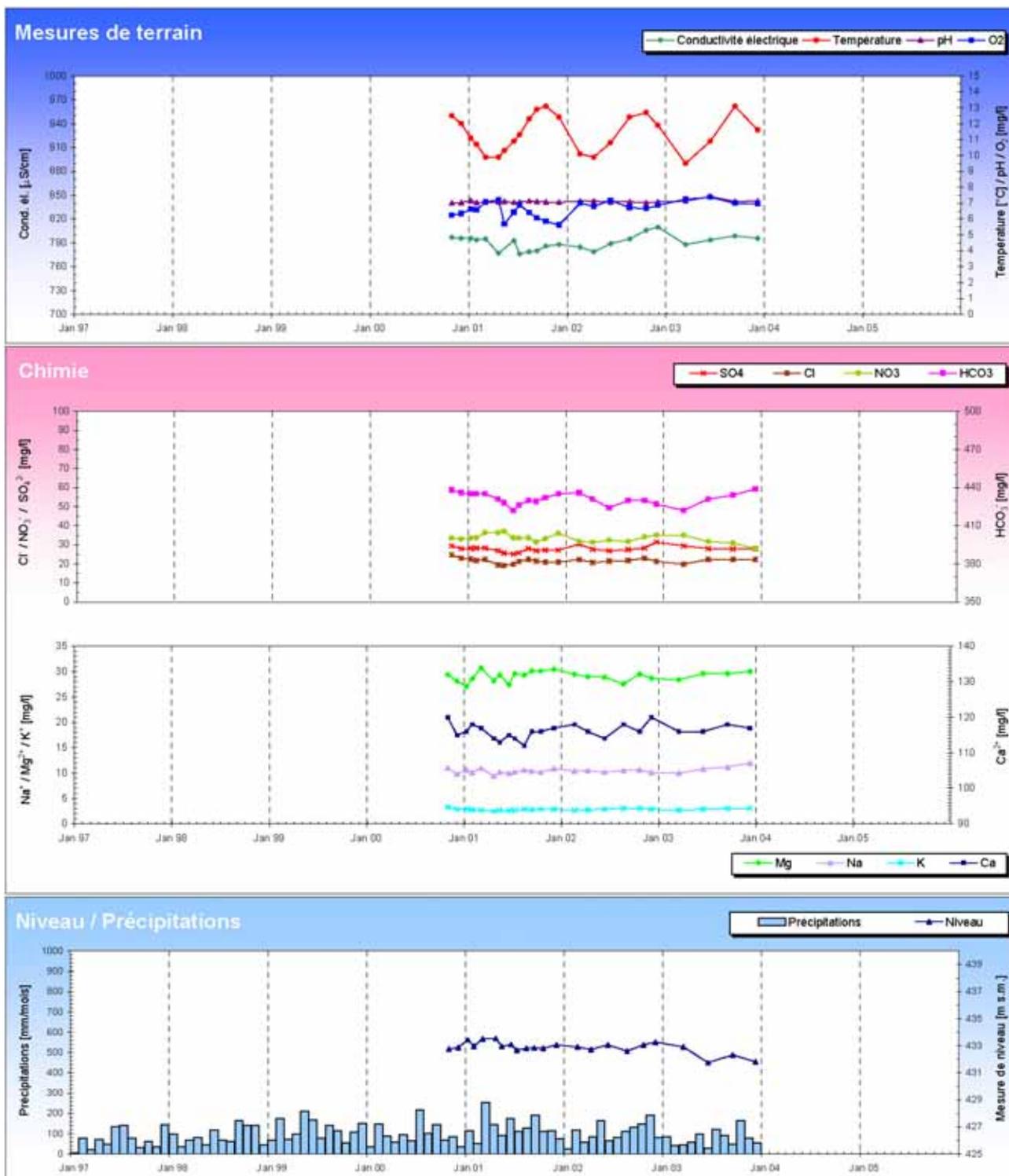
	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations	
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]	
maximum	691	12.5	7.3	72.3	7.5	123.0	10.5	13.6	3.3	67.3	24.7	19.4	328.0	261.1	219.0
moyenne	683	12.5	7.2	70.2	7.2	120.7	9.2	12.6	3.2	63.4	20.1	17.7	318.6	259.3	89.5
minimum	673	12.4	7.1	67.3	7.0	120.0	8.5	11.5	3.1	58.4	18.7	15.7	313.0	257.8	20.0

NTG 41

NAQUA_{TREND}

Type de station Puits
Géologie Graviers de fonds de vallées (GV)
Principale utilisation du sol Zone urbanisée et voies de communication (ZUC)
Région géographique Plateau et régions limitrophes

Altitude 435.70 m s.m.
Utilisation Utilisé



	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations
	[µS/cm]	[°C]		[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]
maximum	810	13.1	7.4	70.6	7.4	120.0	30.7	12.0	3.3	31.4	37.1	24.7	433.5	254.0
moyenne	791	11.4	7.1	63.9	6.6	116.2	29.1	10.5	2.9	27.8	33.3	21.6	432.9	98.5
minimum	776	9.5	7.0	55.7	5.6	112.0	27.1	9.4	2.5	25.2	28.0	19.1	431.8	6.0

NTG 42

NAQUA_{TREND}

Type de station

Puits

Altitude

591.74 m s.m.

Géologie

Graviers de fonds de vallées (GV)

Utilisation

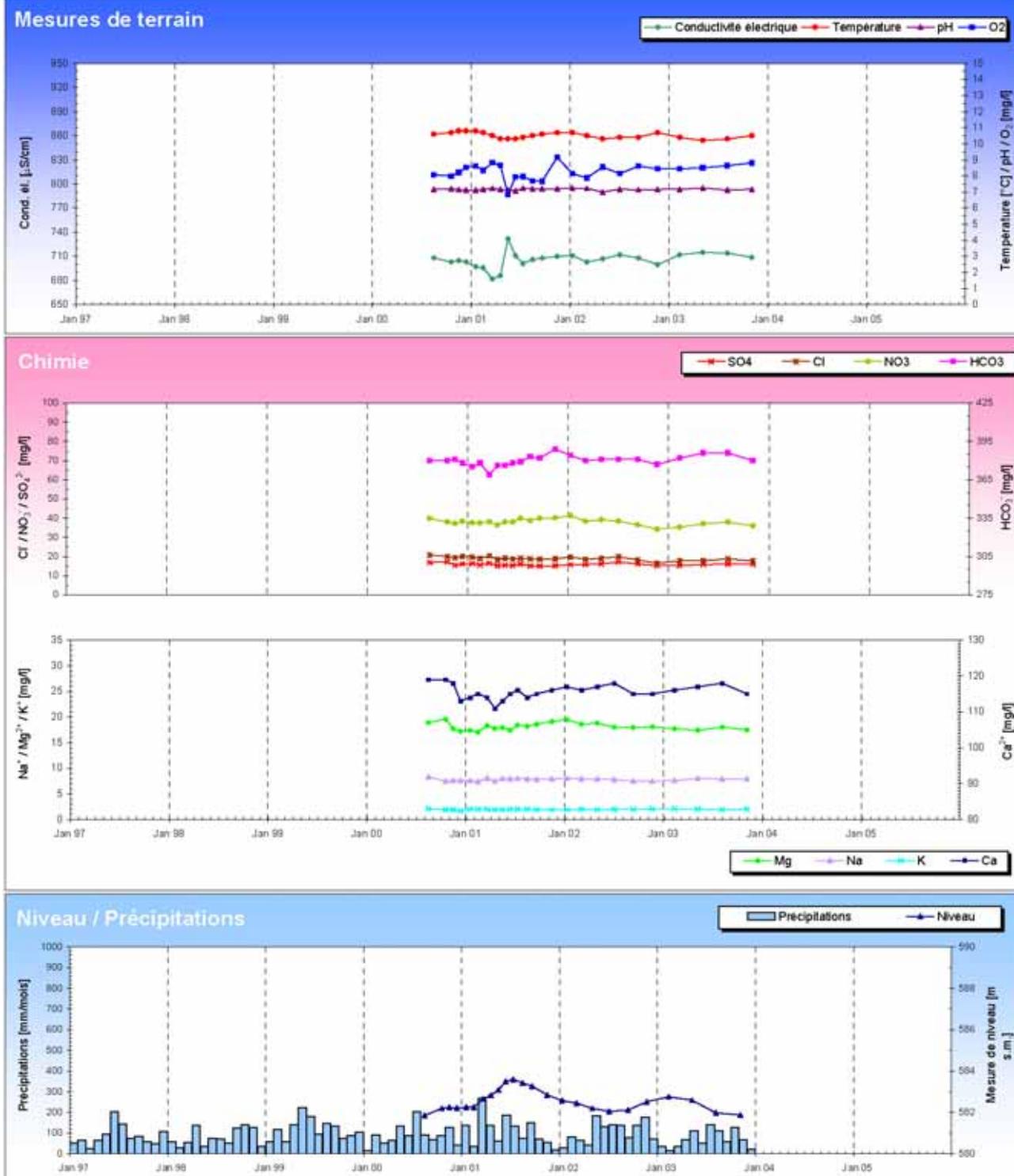
Utilisé

Principale utilisation du sol

Grandes cultures (GdC)

Région géographique

Plateau et régions limitrophes



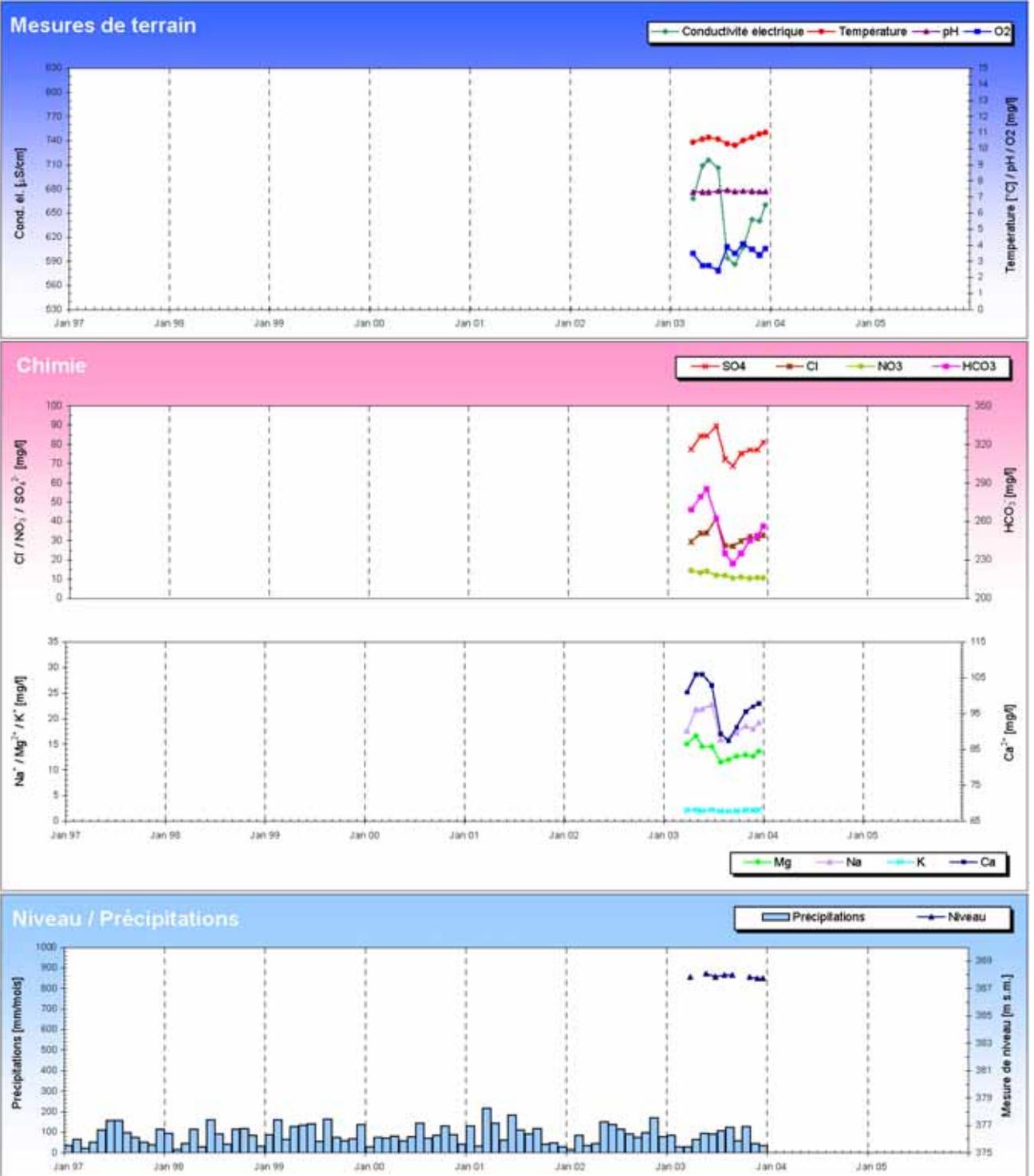
	Cond.él.	T	pH	O ₂		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations
	[$\mu\text{S/cm}$]	[$^{\circ}\text{C}$]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]
maximum	732	10.8	7.3	88.6	9.2	119.0	19.6	8.3	2.1	17.2	41.4	20.8	389.0	583.6	269.0
moyenne	706	10.5	7.2	80.4	8.3	115.7	18.1	7.8	2.0	15.9	38.0	19.0	380.1	582.6	93.8
minimum	682	10.2	7.0	74.2	6.9	111.0	17.1	7.4	1.7	15.0	34.3	16.6	369.0	581.8	16.0

NTG 43

NAQUA_{TREND}

Type de station Puits
Géologie Graviers de fonds de vallées (GV)
Principale utilisation du sol Grandes cultures (GdC)
Région géographique Alpes

Altitude 390 m s.m.
Utilisation Utilisé



	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]
maximum	716	11.0	7.4	38.4	4.1	106.0	16.7	22.8	2.2	89.5	14.4	41.6	285.0	216.0
moyenne	653	10.6	7.3	32.2	3.4	97.5	13.6	18.9	2.1	78.7	11.8	31.9	254.2	87.1
minimum	586	10.2	7.3	22.7	2.4	87.5	11.5	15.9	1.9	68.7	10.3	27.1	227.0	14.0

NTG 44

NAQUA_{TREND}

Type de station

Puits

Altitude

478.90 m s.m.

Géologie

Graviers de fonds de vallées (GV)

Utilisation

Utilisé

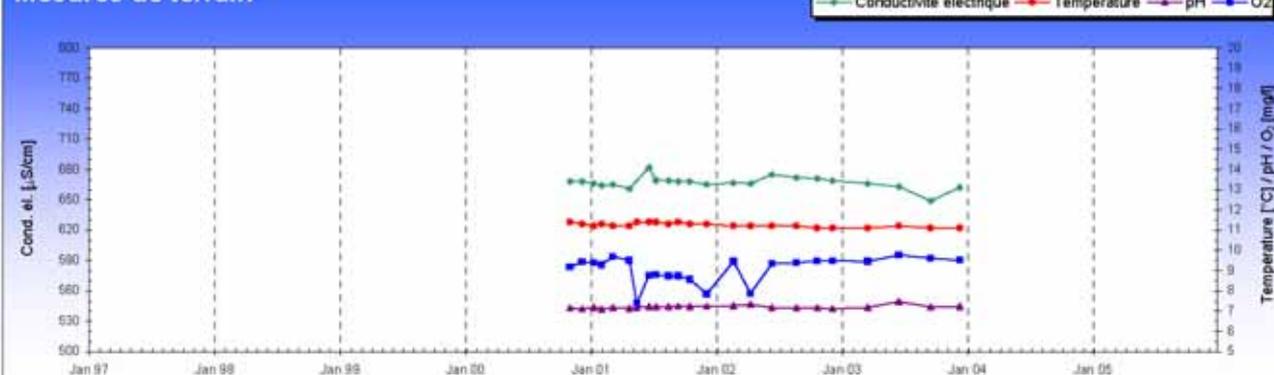
Principale utilisation du sol

Grandes cultures (GdC)

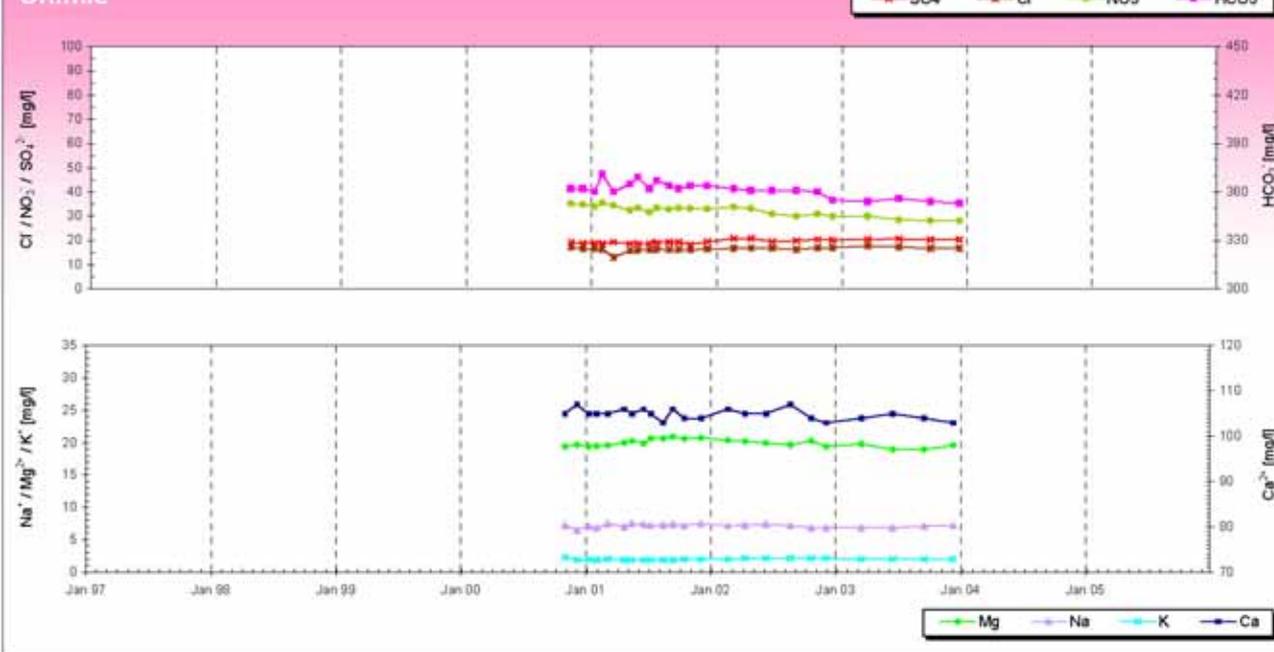
Région géographique

Plateau et régions limitrophes

Mesures de terrain



Chimie



Niveau / Précipitations



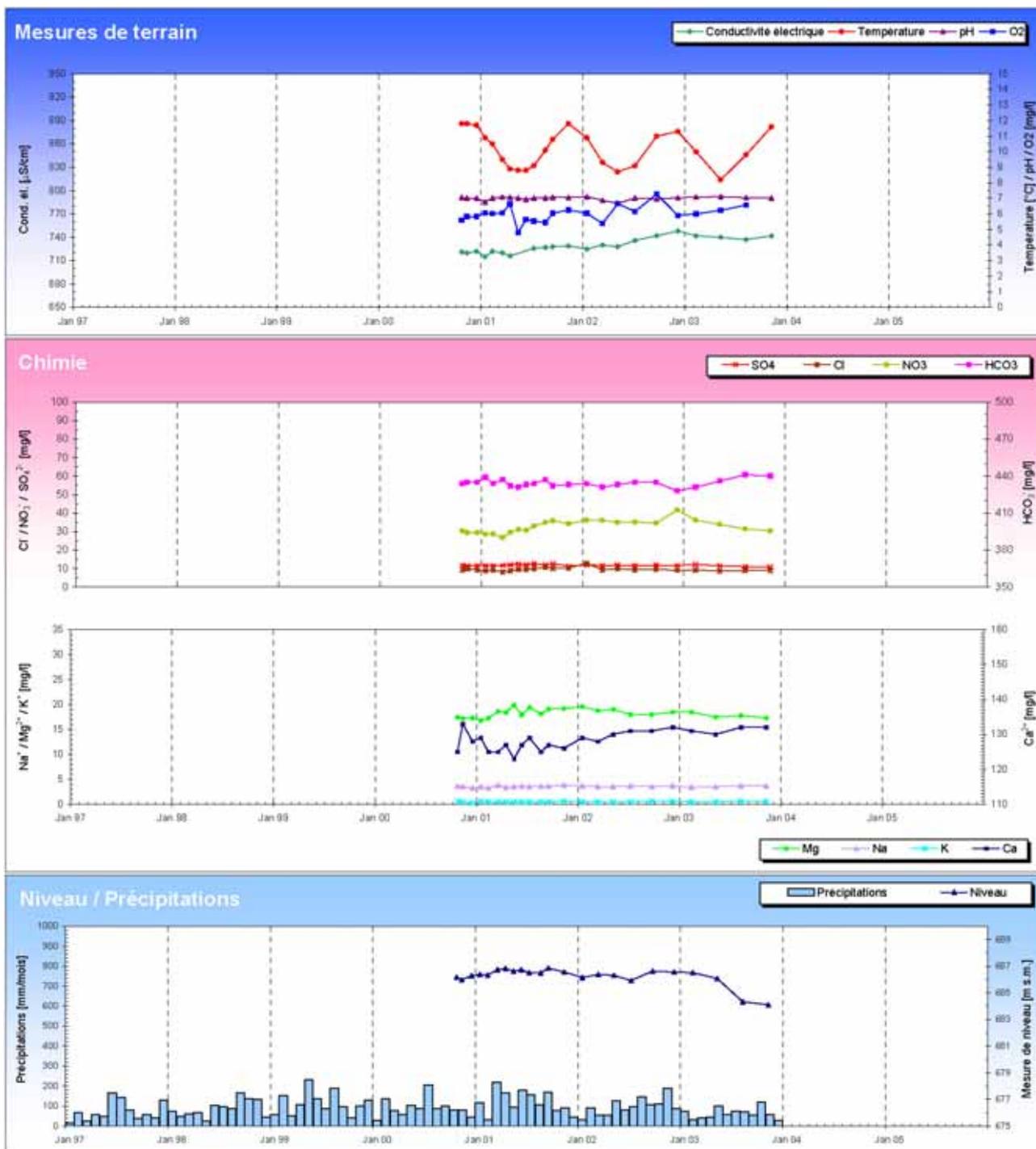
	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]
maximum	682	11.4	7.5	94.6	9.8	107.0	20.9	7.5	20.9	35.4	17.8	371.0	476.5	324.0
moyenne	667	11.2	7.2	87.4	9.1	104.9	20.0	7.2	19.6	32.2	16.5	361.3	475.7	109.2
minimum	649	11.1	7.1	77.7	7.4	103.0	19.0	6.5	18.2	28.1	13.1	353.0	474.4	8.0

NTG 45

NAQUA_{TREND}

Type de station Puits
Géologie Graviers hors fonds de vallées (GT)
Principale utilisation du sol Autres surfaces agricoles permanentes (AS)
Région géographique Plateau et régions limitrophes

Altitude 686.7 m s.m.
Utilisation Utilisé

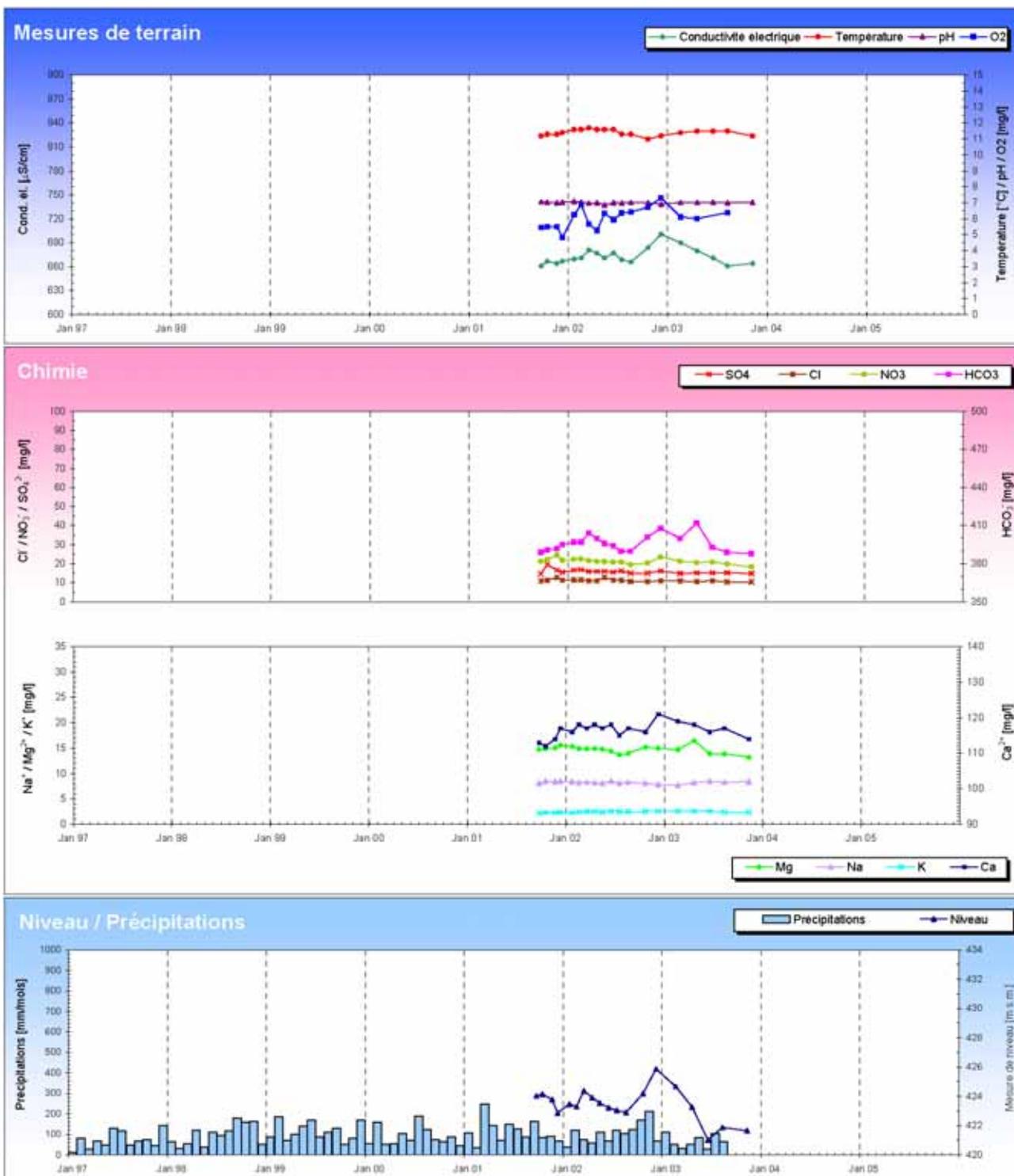


	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations	
	[μ S/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]	
maximum	748	11.8	7.1	63.6	6.7	133.0	19.9	3.8	0.6	12.6	41.7	12.8	441.0	686.9	231.0
moyenne	729	10.2	7.0	55.3	6.0	128.5	18.2	3.6	0.5	11.8	32.7	9.5	434.3	686.2	92.7
minimum	715	8.2	6.7	50.1	4.8	123.0	16.8	3.2	0.2	10.8	26.7	8.2	428.0	684.1	14.0

NTG 46

NAQUA_{TREND}

Type de station	Puits	Altitude	435.05 m s.m.
Géologie	Graviers de fonds de vallées (GV)	Utilisation	Utilisé
Principale utilisation du sol	Grandes cultures (GdC)		
Région géographique	Plateau et régions limitrophes		



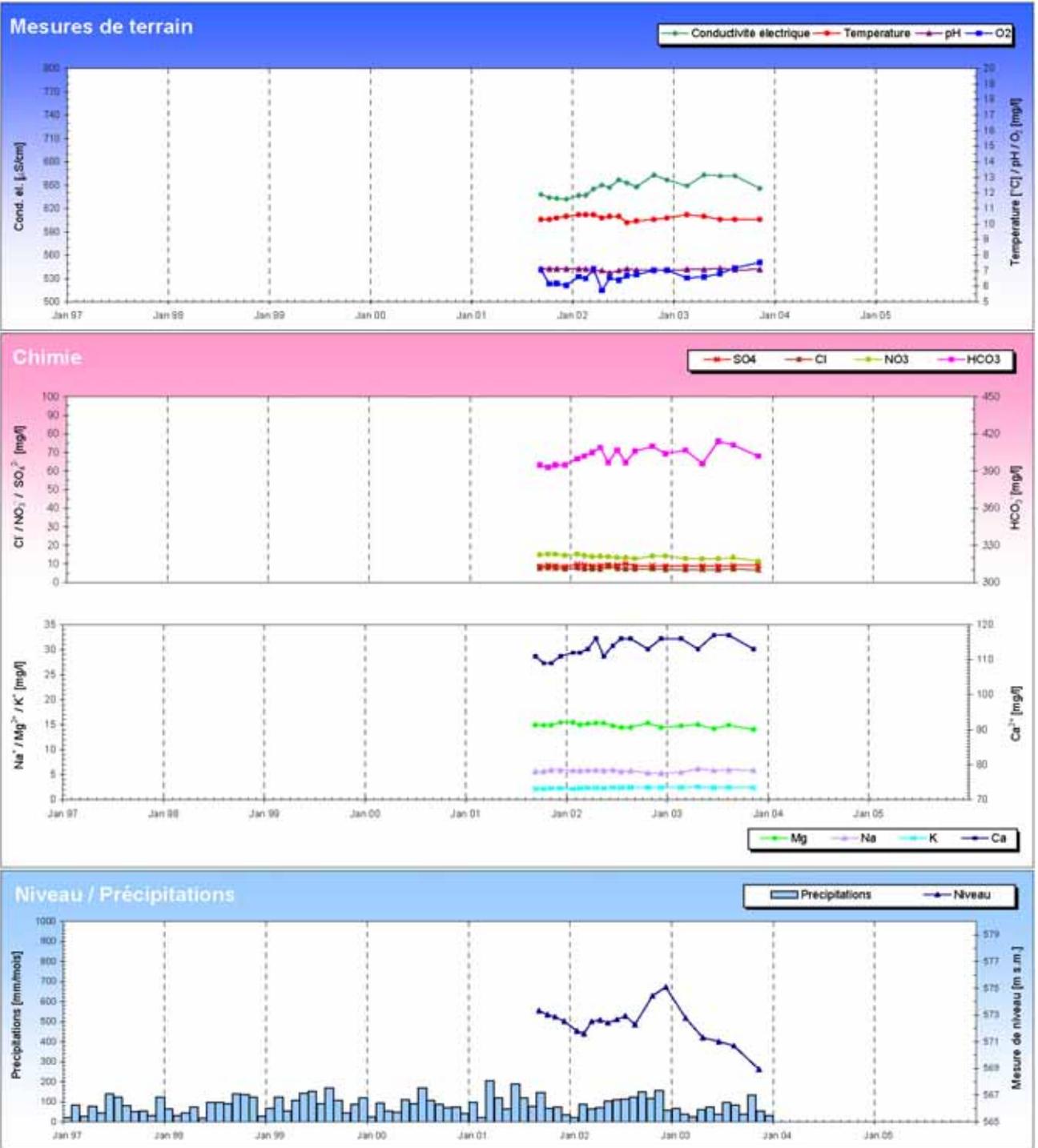
	Cond.él.	T	pH	O ₂		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]
maximum	701	11.7	7.1	70.5	7.3	121.0	16.5	8.5	2.6	19.5	24.6	12.8	412.0	425.9	249.0
moyenne	673	11.4	7.0	58.1	6.1	116.5	14.7	8.2	2.5	15.9	21.3	11.2	396.1	423.4	96.1
minimum	661	11.0	6.9	46.2	4.8	112.0	13.2	7.7	2.2	14.7	18.4	10.5	388.0	421.0	13.0

NTG 48

NAQUA_{TREND}

Type de station Puits
Géologie Graviers de fonds de vallées (GV)
Principale utilisation du sol Autres surfaces agricoles permanentes (AS)
Région géographique Plateau et régions limitrophes

Altitude 584 m s.m.
Utilisation Utilisé



	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations	
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]	
maximum	663	10.6	7.2	72.2	7.5	117.0	15.5	6.2	2.6	10.2	15.4	8.5	414.0	575.1	206.0
moyenne	648	10.4	7.1	64.1	6.7	113.4	14.9	5.8	2.4	9.1	13.8	7.3	402.4	572.4	85.7
minimum	632	10.1	6.9	56.1	5.7	109.0	14.1	5.3	2.2	8.6	11.5	6.7	393.0	568.9	18.0

NTG 51

NAQUA_{TREND}

Type de station

Puits

Altitude

436.50 m s.m.

Géologie

Graviers de fonds de vallées (GV)

Utilisation

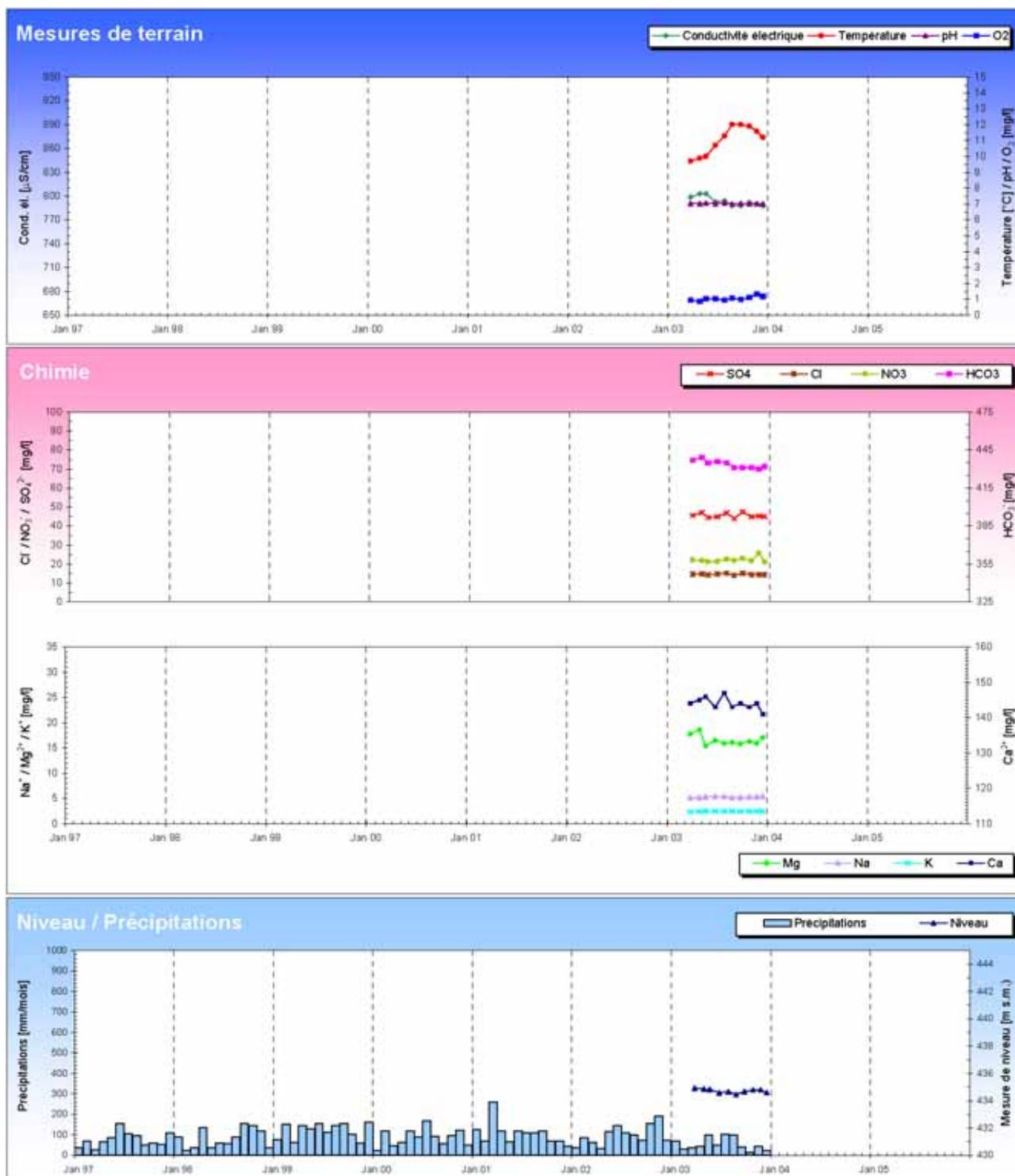
Utilisé

Principale utilisation du sol

Grandes cultures (GdC)

Région géographique

Plateau et régions limitrophes



	Cond.él.	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Niveau	Précipitations
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m s.m.]	[mm/mois]
maximum	803	12.0	7.1	12.9	147.0	18.6	5.4	2.5	47.5	25.8	15.2	439.0	434.9	261.0
moyenne	794	11.0	7.0	9.9	144.0	16.5	5.3	2.5	45.6	22.3	14.6	433.7	434.7	89.9
minimum	788	9.7	7.0	7.5	141.0	15.4	5.1	2.3	44.0	21.1	14.1	430.0	434.5	13.0

A3 Limites utilisées pour l'évaluation de la qualité des eaux souterraines

Paramètre	OEaux		Instructions pratiques		OSEC		
	Exigence chiffrée	Unité	Valeur indicative	Unité	Valeur de tolérance	Valeur limite	Unité
Indicateurs physiques							
Turbidité	-		1	FTU	1	-	FTU
Composants principaux et secondaires							
Calcium	-		40 ¹⁾	mg/l	-	-	
Magnésium	-		10 ¹⁾	mg/l	-	-	
Sulfate	40 ¹⁾	mg/l	40 ¹⁾	mg/l	-	-	
Silice (dioxyde de silicium)	-		10 ¹⁾	mg/l	-	-	
Baryum	-		0.5 ¹⁾	mg/l	-	-	
Sodium	-		25 ¹⁾	mg/l	-	-	
Potassium	-		5 ¹⁾	mg/l	-	-	
Chlorures	40 ¹⁾	mg/l	40 ¹⁾	mg/l	-	-	
Fluorures	-		0.5 ¹⁾	mg/l	1.5	-	mg/kg
Bromures	-		0.05 ¹⁾	mg/l	-	-	
Nitrates	25	mg/l	25	mg/l	40	-	mg/kg
Ammonium (conditions oxydantes)	0.1	mg/l	0.1	mg/l	0.1	-	mg/kg
Ammonium (conditions anoxiques)	0.5	mg/l	0.5	mg/l	0.5	-	mg/kg
Nitrites	-		0.05 ¹⁾	mg/l	0.1	-	mg/kg
Phosphates	-		0.05 ¹⁾	mg/l	1	-	mg/kg
Cyanures	-		0.025	mg/l	-	-	
Saturation en oxygène	-		20 ²⁾	%	-	-	
Carbone organique dissous (COD)	2	mg/l	2	mg/l	-	-	
Éléments traces							
Bore	-		0.05 ¹⁾	mg/l	-	-	
Zinc dissous	-		5	µg/l	5	-	mg/kg
Cuivre dissous	-		2	µg/l	1.5	-	mg/kg
Nickel dissous	-		5	µg/l	-	-	
Plomb dissous	-		1	µg/l	-	0.01 ³⁾	mg/kg
Cadmium dissous	-		0.05	µg/l	-	0.005	mg/kg
Mercure dissous	-		0.01	µg/l	-	0.001	mg/kg
Arsenic	-		5	µg/l	-	0.05	mg/kg
Sélénium	-		5	µg/l	-	0.01	mg/kg
Chrome	-		2	µg/l	-	0.02 ⁴⁾	mg/kg
Composés organiques et synthétiques							
EDTA et complexants à structures analogues ⁵⁾			5	µg/l	0.005	0.2	mg/kg
NTA	-		3	µg/l	0.003	0.2	mg/kg
Pesticides – pour chaque substance	0.1	µg/l	0.1	µg/l	0.0001	-	mg/kg
Pesticides – Somme	-		0.5	µg/l	0.0005	-	mg/kg
Méthyl-tert-butyl-éther (MTBE)	-		2	µg/l	-	-	
Hydrocarbures aliphatiques ⁵⁾	1	µg/l	1	µg/l	-	-	
Hydrocarbures solubles dans l'eau					0.001	-	mg/kg
Hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM) ⁵⁾	1	µg/l	1	µg/l			
Benzène					0.001	-	mg/kg
Hydrocarbures halogénés volatils (HHV) ⁵⁾	1	µg/l	1	µg/l	0.02 / 0.008 ⁶⁾	-	mg/kg
Bromodichlorométhane					-	0.015	mg/kg
Dibromochlorométhane					-	0.1	mg/kg
Dichloréthane, 1,2-					-	0.003	mg/kg
Dichloréthane, 1,1-					-	0.03	mg/kg
Dichloréthane, 1,2-					-	0.05	mg/kg
Dichlorométhane					-	0.02	mg/kg
Tétrachloréthane					-	0.04	mg/kg
Tétrachlorométhane (tétrachlorure de carbone)					-	0.002	mg/kg
Tribromométhane					-	0.1	mg/kg
Trichloréthane, 1,1,1-					-	2	mg/kg
Trichloréthane					-	0.07	mg/kg
Trichlorométhane (chloroforme)					-	0.04	mg/kg

Paramètre	OEaux		Instructions pratiques		OSEC		
	Exigence chiffrée	Unité	Valeur indicative	Unité	Valeur de tolérance	Valeur limite	Unité
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ⁵⁾	0.1	µg/l	0.1	µg/l	0.0002	-	mg/kg
Hydrocarbures peu solubles dans l'eau					0.02	-	mg/kg
Composés halogénés adsorbables (AOX) ⁷⁾	10	µg/l	10	µg/l			

OEaux = Ordonnance sur la protection des eaux,

Instructions pratiques = Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines,

OSEC = Ordonnance sur les substances étrangères et les composants dans les denrées alimentaires

¹⁾ Seulement en cas de déviation par rapport à l'état naturel

²⁾ Valeur minimale!

³⁾ Au robinet de distribution, après 5 min.

⁴⁾ Chrome VI

⁵⁾ Pour chaque substance

⁶⁾ Eau chlorée / provenant d'une contamination de l'environnement

⁷⁾ Exprimés en [µg Cl/l]