

## **TracES/View - Traçage des Eaux Souterraines : Application SIG en milieu karstique jurassien (Suisse)**

Mahmoud Bouzelboudjen<sup>1</sup>, Pascal Ornstein<sup>2</sup>, Francesco Kimmeier<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centre d'Hydrogéologie, Université de Neuchâtel, 11 rue Emile-Argand, 2007 Neuchâtel (Suisse),

<sup>2</sup> Centre de Recherche sur l'Environnement Alpin, 45 rue de l'Industrie, 1951 Sion (Suisse)

### **ABSTRACT**

The use of artificial tracers is a specially well-established method to investigate karstic aquifers. In this case, tracing (artificial and biological tracers) enables to delimit watercatchment boundaries, to identify relation between a sinkhole and an outlet, to assess diffluent phenomena, transit time, etc. More recently tracer methods have been used in pollution transport studies. Tracer studies being time-consuming and expensive, an application (TracES/View) combining ArcInfo and ArcView Geographical Information Systems (GIS), both coupled with MSAccess database has been developed to provide an efficient way to plan the implementation and the planning of new tracer tests. An ArcView application developed with Avenue object-oriented scripting language allows GIS non-specialists to easily access data from tracer tests database in an interactive and intuitive way. Used in conjunction with other thematic maps (hydraulic conductivity, landuse, groundwater resources, and so on), it can provide a powerful decision-support tool for groundwater resources management.

**Key words :** karstic hydrogeology, tracing, hydrogeology mapping, spatial database, GIS

### **RÉSUMÉ**

L'usage de traceurs artificiels est une méthode spécialement bien établie pour étudier les aquifères karstiques. Dans ce contexte, les traçages (avec des traceurs artificiels et biologiques) permettent de déterminer les limites des bassins versants, d'identifier la relation entre une perte et une résurgence, d'évaluer les phénomènes de diffluence, de déterminer le temps de transit, etc. Plus récemment les méthodes de traçage sont utilisées dans les études quantitatives de transport de polluant. Les essais de traçage prenant du temps et étant coûteux, une application (TracES/View) combinant les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) ArcInfo et ArcView, les deux couplés avec une base de données MS Access a été développée afin de planifier de façon efficace la réalisation de nouveaux essais de traçage. Une application utilisant ArcView, développée avec le langage de programmation orienté-objets Avenue permet à des non-spécialistes en SIG d'accéder facilement aux éléments de la base de données des essais de traçage d'une manière graphique intuitive et interactive

à l'écran. Utilisée conjointement avec d'autres cartes thématiques (la topographie, les surfaces structurales des formations géologiques, la délimitation des aquifères, les perméabilités, l'utilisation du sol, etc.), elle peut fournir un outil puissant d'aide à la décision pour la gestion des ressources en eaux souterraines.

**Mots-clefs :** hydrogéologie karstique, traçage, cartographie hydrogéologique, base de données spatiales, SIG

## 1. INTRODUCTION

La réalisation finale des cartes hydrogéologiques classiques passe inévitablement par un travail manuel minutieux et laborieux. Les cartes préparées sont ensuite confiées à un cartographe spécialisé. Lorsque l'hydrogéologue a terminé sa carte, il s'écoule un certain temps pour que celle-ci soit dessinée, imprimée et éditée [Pasquier, Bouzelboudjen, Zwahlen 1999]. Il est clair que durant ce temps la demande des utilisateurs a évolué. Cette méthode ne permet pas une réactualisation aisée de l'information, et suite à une quelconque modification la carte doit être en grande partie redessinée.

Certains hydrogéologues utilisent en partie l'informatique pour stocker les données (inventaire de sources, etc.) et numérisent certaines informations nécessaires pour résoudre leurs problèmes (cartes en isovaleurs, extension de l'aquifère, simulation des écoulements souterrains), [Bouzelboudjen, 1993]. Cette démarche demande un effort considérable dans la «structuration» des données de base. Cependant, elle trouve ses limites quand des modifications surgissent, et dans la plupart des cas seule la personne initiale au projet (si elle se rappelle les programmes utilisés et des étapes de l'étude) peut intervenir [Bouzelboudjen, Király & al., 1997]. Dans la plupart des cas, il faut tout recommencer.

Nous montrons à travers l'application TracES/View d'une part l'intégration de données des essais de TRAçages des Eaux Souterraines sous ORacle (TRESOR) et/ou sous ACcess (TRESAC) au sein de la Base de Données HYDROGEologiques spatiales numériques du canton de NEuchâtel (BD HYDROGENE) et d'autre part une approche permettant la sélection, l'interrogation interactive, le traitement des résultats de ces traçages ainsi que leurs représentation graphiques. Ce travail montre l'apport des bases de données spatiales numériques et des systèmes d'information géographique dans l'élaboration des cartes hydrogéologiques basées sur la détermination des systèmes d'écoulement souterrain [Bouzelboudjen, 1993, Bouzelboudjen & Kimmeier, 1998].

TracES/View peut servir de base aux études sur la gestion et la protection des ressources en eau souterraine du Canton de Neuchâtel et peut être appliquée à d'autres cantons ou régions.

## 2. MODÈLE DE SAISIE DES DONNÉES DES ESSAIS DE TRAÇAGE

Une première réflexion a été engagée en 1990 par le Centre d'hydrogéologie de l'université de Neuchâtel (CHYN) dans le cadre d'un travail de diplôme postgrade [Brasey, 1990]. La méthodologie retenue pour l'acquisition et la saisie des données relatives aux essais de traçage du canton de Neuchâtel s'est largement appuyé sur les

travaux réalisés en Franche-Comté par l'université de Besançon [Chauve & al., 1987]. La première étape de cette réflexion a consisté à définir un modèle de saisie des données des essais de traçage permettant de documenter chaque essai de traçage de manière la plus complète possible.

## 2.1 Bases de données des essais de traçage du canton de Neuchâtel : TRESOR (Traçages des Eaux Souterraines sous ORacle) et sous ACcess (TRESAC)

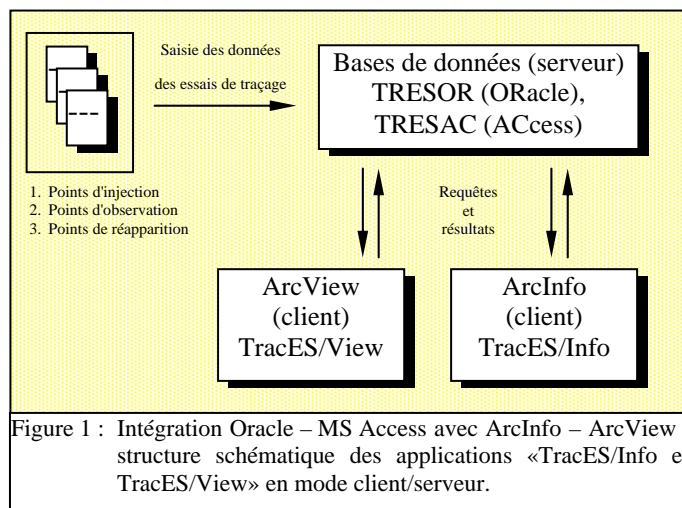
L'inventaire entrepris par J. Brasey en 1990 a été complété jusqu'en 1994, portant le nombre des essais actuellement répertoriés à un peu plus de 200 [Aeschlimann-Adatte, 1994]. Celui-ci englobe les essais de traçage réalisés dans le canton de Neuchâtel ainsi qu'une trentaine d'essais réalisés dans les cantons périphériques de Berne, Vaud et du Jura. En 1994, le CHYN a initié le projet de créer une base de données informatisée pour l'archivage des essais de traçage réalisés dans le canton de Neuchâtel. Ce projet avait notamment pour but de migrer l'inventaire existant sous FileMaker Pro 2.0 [Claris, 1992] vers un véritable système de gestion de bases de données relationnelles sous ORACLE [Tollo, Bouzelboudjen, Ornstein, 1995] afin de garantir une plus grande ouverture et une meilleure intégrité des données. En 1996, la même base de données a été implémentée aussi sous Access (TRESAC), [Bouzelboudjen & al., 1997].

## 2.2 Intégration base de données TRESOR et système d'information géographique ArcInfo

Les données des essais de traçages correspondent à des objets géoréférencés : points d'injection, d'observation et de réapparition. L'utilisation d'un SIG est tout à fait adaptée pour le traitement de ces informations notamment pour leurs représentations, leurs interrogations et leurs analyses.

Dans cette optique, un premier essai a conduit à la réalisation sous ArcInfo de l'application (TracES/Info) sur la région du Val-de-Ruz (TracES/Info VdR), [Bouzelboudjen & al., 1993], puis de la carte des essais de traçage du canton de Neuchâtel (TracES/Info Ne, Annexe 3), [Bouzelboudjen & Ornstein, 1995]. Ces deux projets combinent ArcInfo et la base de données traçage sous ORacle (TRESOR), [Bouzelboudjen, Burri, Ornstein, 1996].

## 3. APPLICATION «TRACES/VIEW»



L'application TracES/Info décrite précédemment a été transposée sous MS Access et ArcView (TracES/View). Cette dernière a pour but de fournir un moyen d'accès convivial et interactif aux informations de la base de données «Essais de traçage» sans connaissances préalables d'Access et/ou d'ArcView (par exemple la possibilité d'ac-

céder aux données directement à partir d'une représentation cartographique à l'écran (Fig. 3) L'application est bâtie sur le mode client/serveur (Fig. 1).

Le lien ArcView - Access est réalisé via une liaison de type SQLconnect [ESRI, 1996]. Cette liaison permet d'accéder aux informations de la base de données TRESAC (serveur) directement à partir d'ArcView (client) par l'intermédiaire de requêtes SQL (Standard Query Language). ArcView ne stocke pas automatiquement le résultat des requêtes mais simplement leurs définitions. Ces requêtes sont exécutées à chaque ouverture de l'application. Cette solution offre l'avantage de créer des tables dynamiques qui reflètent automatiquement les mises à jour apportées à la base de données (ajout, suppression, modification de données).

La Fig. 2 illustre la requête : «*Sélection des essais de traçage réalisés dans le canton de Neuchâtel*» et l'Annexe 1 montre la cartographie des résultats de la requête : «*Sélection des essais de traçage réalisés dans le canton de Neuchâtel dont la*

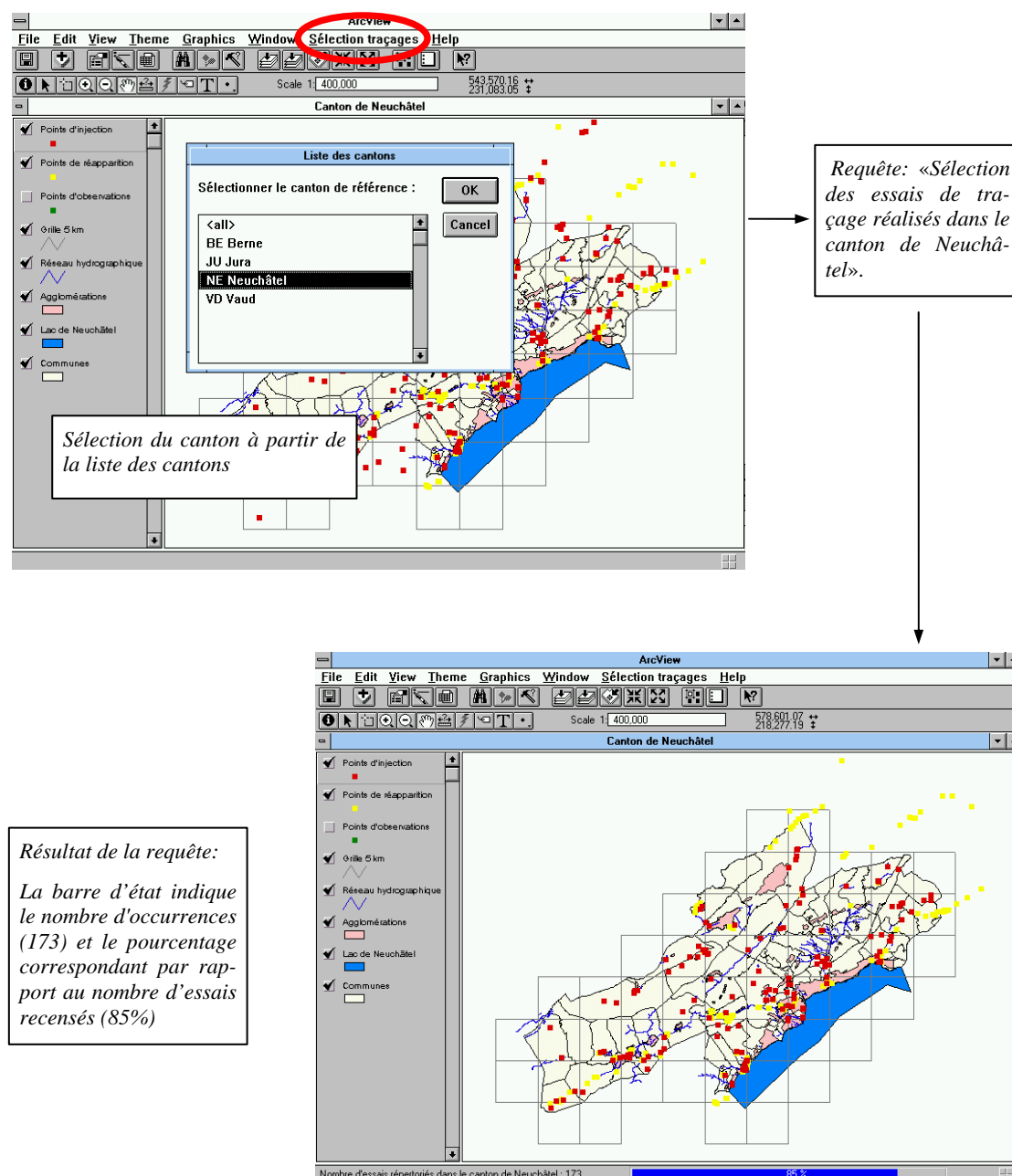


Figure 2 : Sélection des essais de traçage réalisés dans le Canton de Neuchâtel.

longueur est supérieure ou égale à 4 km». De la même manière, une requête peut être effectuée en utilisant la liste des communes ou la liste des traceurs à travers le menu «Sélection traçages».

Une fois la liaison SQLconnect établie, la «redirection» du lien sur le serveur Access pourra être effectuée sans qu'il soit nécessaire de redéfinir les requêtes SQL servant à la création des tables ArcView. L'application est organisée sous la forme d'un projet. D'un point de vue logique, un projet est défini comme un ensemble de documents (vues, tables, graphiques, cartes, scripts) liés dynamiquement les uns aux autres. La notion de lien dynamique implique que toute manipulation de l'information effectuée à l'intérieur d'un document (modification, suppression, ajout, sélection, zoom, etc.) est automatiquement répercutée par tous les documents qui lui sont liés. Physiquement, chaque projet est stocké sous la forme d'un fichier unique, éditable (format ASCII). Celui-ci contient la définition et les propriétés des différents documents constitutifs (vues, tables, graphiques, cartes, scripts) ainsi que les références aux informations spatiales, graphiques (images) et tabulaires (liaison SQLconnect et requêtes SQL) utilisées. Le projet permet également de mémoriser l'état de l'application d'une session à l'autre.

Les thèmes liés aux tables «Points d'injection», «Points de réapparition» et «Points d'observation» de la base de données «Essais de traçage» ont été élaborés directement sous ArcView à partir des informations géographiques X, Y. Ces thèmes particuliers sont référencés dans ArcView en tant que «Event Themes» et les tables correspondantes comme «Event Tables». Ces tables peuvent être interrogées dynamiquement en sélectionnant graphiquement un objet sur la carte affichée à l'écran (Fig. 3).

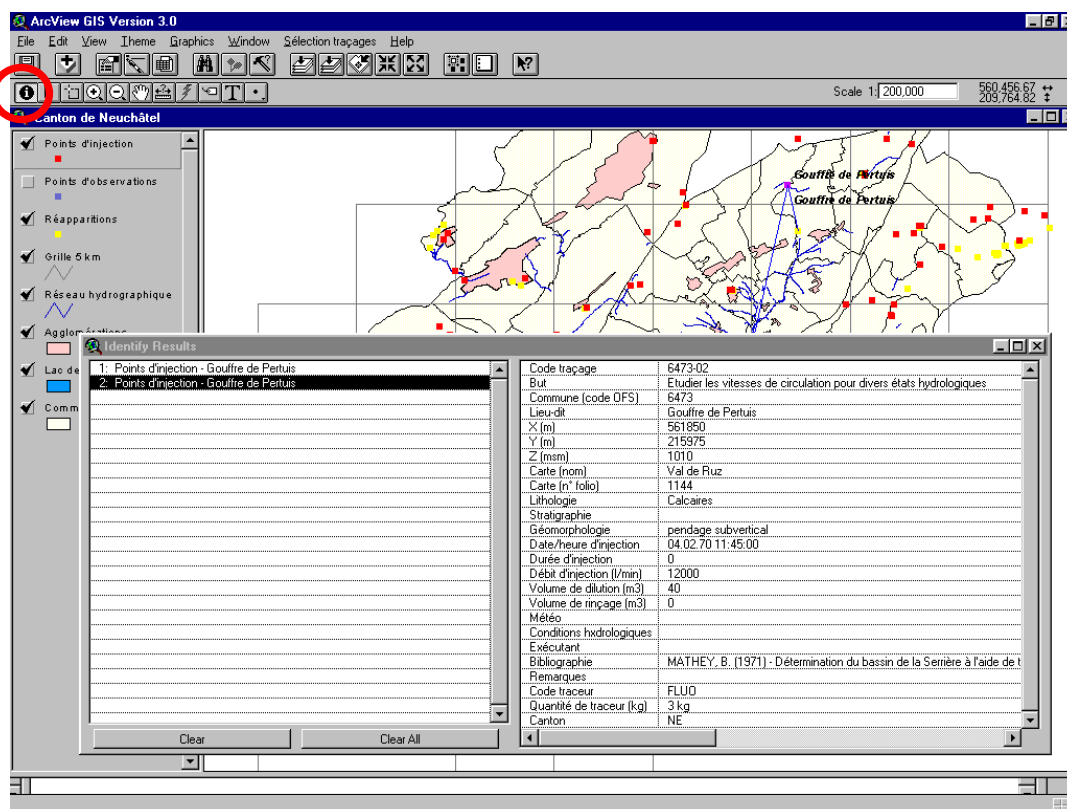


Figure 3 : Interrogation interactive de la table Points d'injection au Gouffre de Pertuis

Les tables sont créées par interrogation de la base de données «TRESAC» au travers de différentes requêtes SQL. L'accès aux données est réalisé via une connexion SQL (SQLConnect) préalablement définie au niveau du gestionnaire ODBC (Open DataBase Connexion) sous Windows. Le nom de la connexion et les requêtes SQL sont stockées dans le projet et exécutées à chaque nouvelle ouverture de l'application. Ce faisant, les modifications apportées à la base de données entre deux sessions (par exemple ajout de nouveaux essais de traçages) sont automatiquement prises en compte au niveau des tables «Points d'injection», «Points d'observation» et «Points de réapparition» ainsi que des thèmes auxquels elles sont liées.

Les résultats des différentes requêtes dont l'utilisateur a besoin peuvent être superposés au MNT (Modèle Numérique de Terrain) ou à la combinaison du MNT et de la lithologie du canton de Neuchâtel (Annexes 2 et 3). Les informations de base relatives à la lithologie et aux points d'eau sont tirées de la carte hydrogéologique numérique du canton de Neuchâtel au 1 : 50'000 (HYDROGENE) basées sur les travaux de Kiraly [1973]. Le traitement de celle-ci s'est déroulée en trois phases consécutives [Bouzelboudjen, 1994] :

1. Reprise manuelle des contours lithologiques et des points d'eau sur calques.
2. Numérisation des contours lithologiques par scanner A0. Numérisation des points d'eau, gouffres, grottes avec la table à digitaliser A0.
3. Traitement final sous ArcInfo (vectorisation, base de données avec topologie et cartes dérivées).

La partie programmation de l'application TracES/View a été réalisée avec Avenue, le langage de programmation orienté-objets associé à ArcView. Le code est organisé sous forme de modules ou scripts. Un script est défini comme le constituant d'un projet qui contient le code Avenue. Cette application est avant tout un outil interactif de consultation de la base de données des essais de traçage du canton de Neuchâtel. Outre les fonctionnalités qui ont été spécifiquement développées, l'utilisateur peut disposer tout à fait normalement des fonctions propres à ArcView, notamment des fonctions d'interrogation, de recherche et d'analyse spatiale.

La consultation peut s'effectuer selon deux modes interactifs complémentaires : «Carte active» (Fig. 4) et menu personnalisé (Fig. 2). Dans les deux cas, l'accès à l'information s'effectue à partir du point d'injection.

Outre le travail de consultation de la base de données Traçages et de liaison avec le SIG, des analyses statistiques peuvent être réalisées sur la totalité des données ou sur le résultat d'une requête spatiale. La figure 5a illustre un exemple décrivant les statistiques sur les traceurs utilisés ainsi que la variabilité de la longueur des traçages réussis et des temps de parcours pour le canton de Neuchâtel (Annexe 3). D'autres statistiques peuvent être calculées comme la quantité d'un traceur spécifique utilisé ou le nombre de traçages réussis effectués par chaque exécutant.

L'application TraceES/View comme décrit précédemment est facilement exportable vers d'autres cantons. L'Annexe 4 montre la carte numérique des circulations souterraines en milieu karstique reconnues par essais de traçages en Ajoie (canton du Jura), Bouzelboudjen, Kimmeier et Grétilat [1999]. La Fig. 5b donne quelques statistiques sur ces essais de traçages en Ajoie.

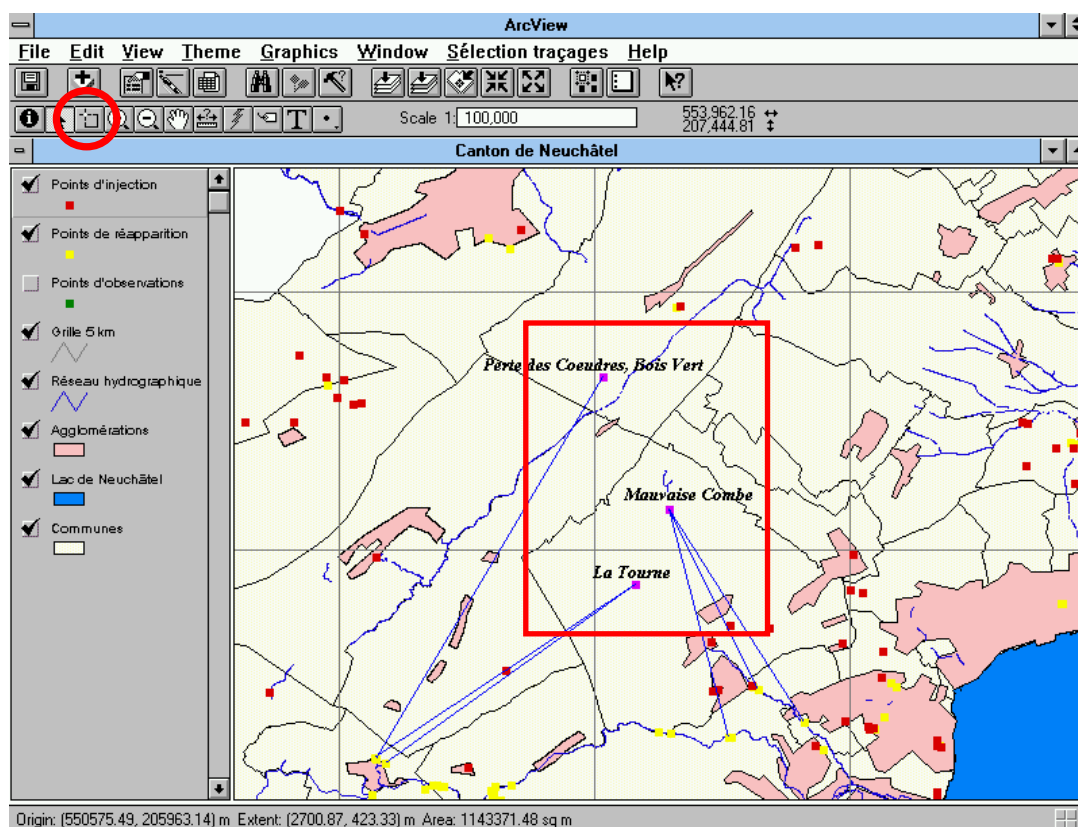


Figure 4 : Consultation en mode «Carte active» :

- 1.- Requête spatiale effectuée à l'aide de l'outil de sélection (cercle rouge) sur une zone contenant des points d'injection (rectangle rouge)
- 2.- Résultats avec (a) sélection des points d'injection liés à des traçages positifs et (b) sélection automatique des points de réapparition liés à des traçages positifs et (c) matérialisation sous forme de ligne des connexions entre les points d'injection et de réapparition).

#### 4. CONCLUSIONS

Les essais de traçage prenant du temps et étant coûteux, l'application TracES/View combinant le Système d'Information Géographique (SIG) ArcView couplé avec la base de données Access permet la consultation, l'analyse et l'optimisation de la planification de nouveaux essais de traçage. Cette application offre à des non-spécialistes en SIG d'accéder facilement aux éléments de la base de données des essais de traçage d'une manière graphique intuitive et interactive à l'écran. Utilisée conjointement avec d'autres cartes thématiques numériques (topographie, surfaces structurales des formations géologiques, extension des aquifères, perméabilités, utilisation du sol, etc.), elle peut fournir un outil puissant d'aide à la décision pour la gestion et la protection des ressources en eau souterraines. L'étape suivante est de mettre l'application TracES/View appliquée aux cantons de Neuchâtel et du Jura à disposition des utilisateurs à travers Internet en utilisant ArcIMS (Arc Internet Map Server).

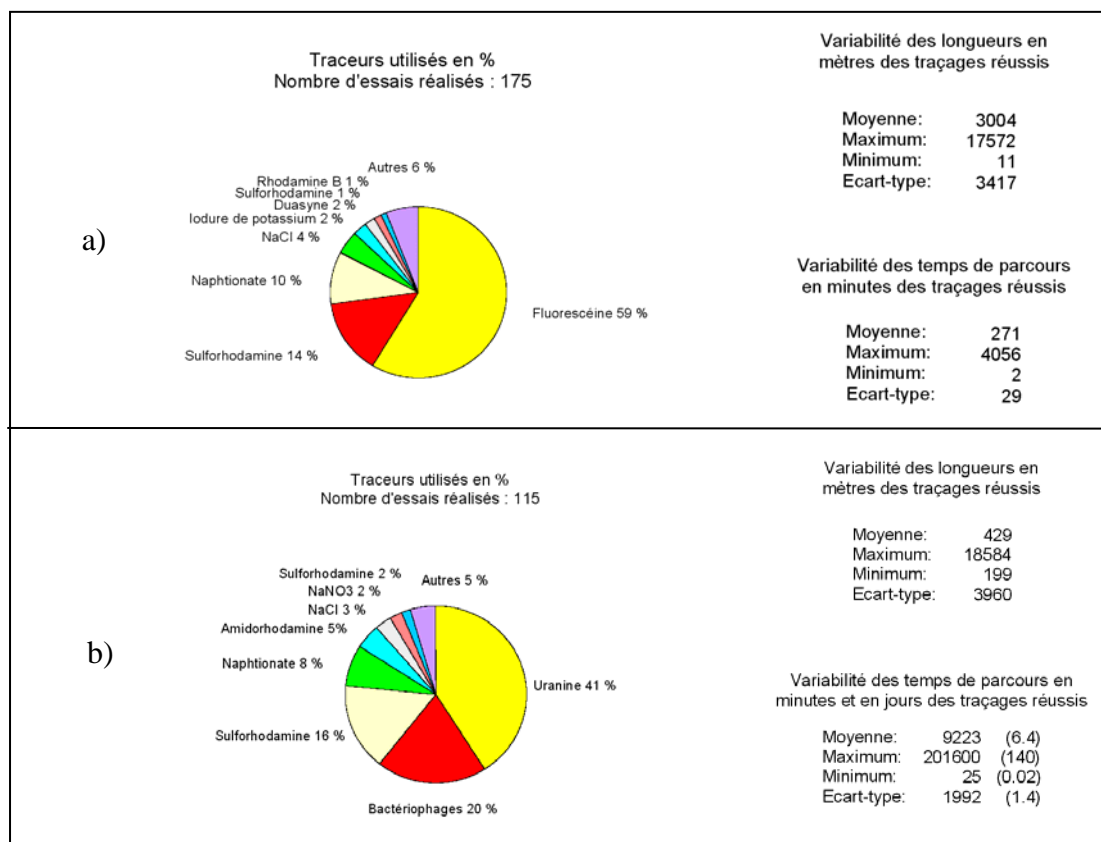


Figure 5 : Sélection des essais de traçage réalisés dans le Canton de Neuchâtel (a) et en Ajoie (b)

## 5. RÉFÉRENCES

- Aeschlimann-Adatte N., 1994. *Actualisation de l'inventaire des essais de traçage du canton de Neuchâtel pour la période 1990-1993*. 1 dossier + 3 cartes. CHYN, inédit.
- Bouzelboudjen M., 1993. *Cartographie hydrogéologique et systèmes d'écoulement souterrain*. 15 p., 21 fig., 3 tab., 2 ann, 2 photos. Centre d'Hydrogéologie et Service Hydrologique et Géologique National (SHGN), Berne, inédit.
- Bouzelboudjen M., Burri F., Gonthier Y., 1993. *Nature et ressources : Val-de-Ruz, application sous ARC/INFO – ORACLE*. 7 p., 21 fig. CHYN, CAL, CSCF, groupe SIGNE, Neuchâtel, inédit.
- Bouzelboudjen M., 1994. *Nature lithologique des terrains et des manifestations hydrogéologiques de surface. Extrait de la carte hydrogéologique numérique SIG du canton de Neuchâtel 1 : 50'000*. Application SIG sous ArcInfo, Centre d'Hydrogéologie, Groupe SIGNE Université Neuchâtel, octobre 1994, inédit.
- Bouzelboudjen M., Ornstein P., 1995. *Carte numérique des circulations souterraines en milieu karstique reconnues par essais de traçages dans le canton de Neuchâtel*. Application sous ArcInfo-Oracle. Centre d'Hydrogéologie, Groupe SIGNE

- Université Neuchâtel, novembre 1995. Rencontre SIGNE et Services Cantonaux, CSCF, Musée d'Histoire Naturelle Neuchâtel, inédit.
- Bouzelboudjen M., Burri F., Ornstein P., 1996. *Groundwater circulations recognized by tracing in state of Neuchatel (Switzerland): Tracing database design elaborated within ArcInfo-Oracle and ArcView*. 5 p., 7 fig. Sixteenth Annual ESRI User Conference. Palm-Springs, California, USA, May 20-24, 1996.
- Bouzelboudjen M., Burri F., Ornstein P., 1997. *Traçages des Eaux Souterraines : application interactive sous Oracle-Access-ArcView (TracES/View) et Base de Données spatiales HYDROGÉologiques numériques du canton de NEuchâtel sous Oracle-ArcInfo-ArcView (BD HYDROGENE)*. 46 p., 23 fig., 3 tab., 2 ann. Centre d'Hydrogéologie, Université de Neuchâtel, inédit.
- Bouzelboudjen M., Király L., Kimmeier F., Zwahlen F. 1997. *Représentation schématique des écoulements souterrains en Suisse. Profils hydrogéologiques issus de modèles mathématiques 3-D à éléments finis*. Planche 8.3 de l'Atlas Hydrologique de la Suisse. Institut de Géographie de l'Université de Berne, Office Fédéral de la Topographie et service Hydrologique et Géologique National, Berne, Suisse.
- Bouzelboudjen M., Kimmeier F., 1998. *GIS Vector And Raster Database, Advanced Geostatistics And 3D Groundwater Flow Modelling In Strongly Heterogeneous Geologic Media : An Integrated Approach*. In : The Eighteenth Annual ESRI User Conference, San Diego, California (USA), 5 p., 18 fig.
- Bouzelboudjen M., Kimmeier F., Grétilat P.-A., 1999. *Carte numérique des circulations souterraines en milieu karstique reconnue par essais de traçages en Ajoie (canton du Jura)*. Centre d'Hydrogéologie, Université de Neuchâtel, inédit.
- Brasey J., 1990. *Synthèse et inventaire des essais de traçage dans le canton de Neuchâtel*. Diplôme de 3<sup>ème</sup> cycle, Centre d'hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel, 2 tomes, 1 carte h.t., inédit.
- Brasey J., Aeschlimann-Adatte N., Tollo D., Paratte F., 1995. *Actualisation de l'inventaire des essais de traçage du canton de Neuchâtel (inventaire arrêté en septembre 1993 + 2 cartes 1 : 50'000)*. CHYN, inédit.
- Chauve P., Dubreucq F., Frachon J.-C., Gauthier A., Mettetal J.-P., Peguenet J., 1987. *Inventaire des circulations souterraines reconnues par traçages en Franche-Comté*. Ann. Scient. Univ. Besançon, Géologie, Mémoire n° 2.
- ESRI, 1996. *ArcView GIS - version 3.0. The Geographical Information System for Everyone*. Environmental Systems Research Institute, CA, USA.
- ESRI, 1995. *Understanding GIS - The ARC/INFO Method. Version 7 for Unix and OpenVMS*. Environmental Systems Research Institute, CA, USA.
- CLARIS, 1992. *FileMaker Pro User's Guide*. Claris Corporation, Santa Clara, CA, USA.
- Kiraly L., 1973. *Notice explicative de la carte hydrogéologique du canton de Neuchâtel*. 16 p., 6 fig., 1 tab., 1 carte. Supp. Bull. Soc. Neuchâteloise des Sciences naturelles, tome 96.

ORACLE, 1994. *Oracle version 7. User's Guide & Reference*. Oracle Corporation, Redwood City, CA, USA.

Pasquier F., Bouzelboudjen M., Zwahlen F. 1999. *Carte hydrogéologique de la Suisse 1 : 100'000. Feuille 6 Sarine*. Commission Géotechnique Suisse, Zürich, ETHZ et notice explicative 137 p.

Tollo D., Bouzelboudjen M., Ornstein P., 1995. *Constitution d'une banque de données des essais de TRAçage des Eaux Souterraines (TRESOR) du canton de Neuchâtel sous ORacle*. Centre d'Hydrogéologie, Institut de Géologie de l'Université de Neuchâtel, Rapport Interne, inédit.

## **6. REMERCIEMENTS**

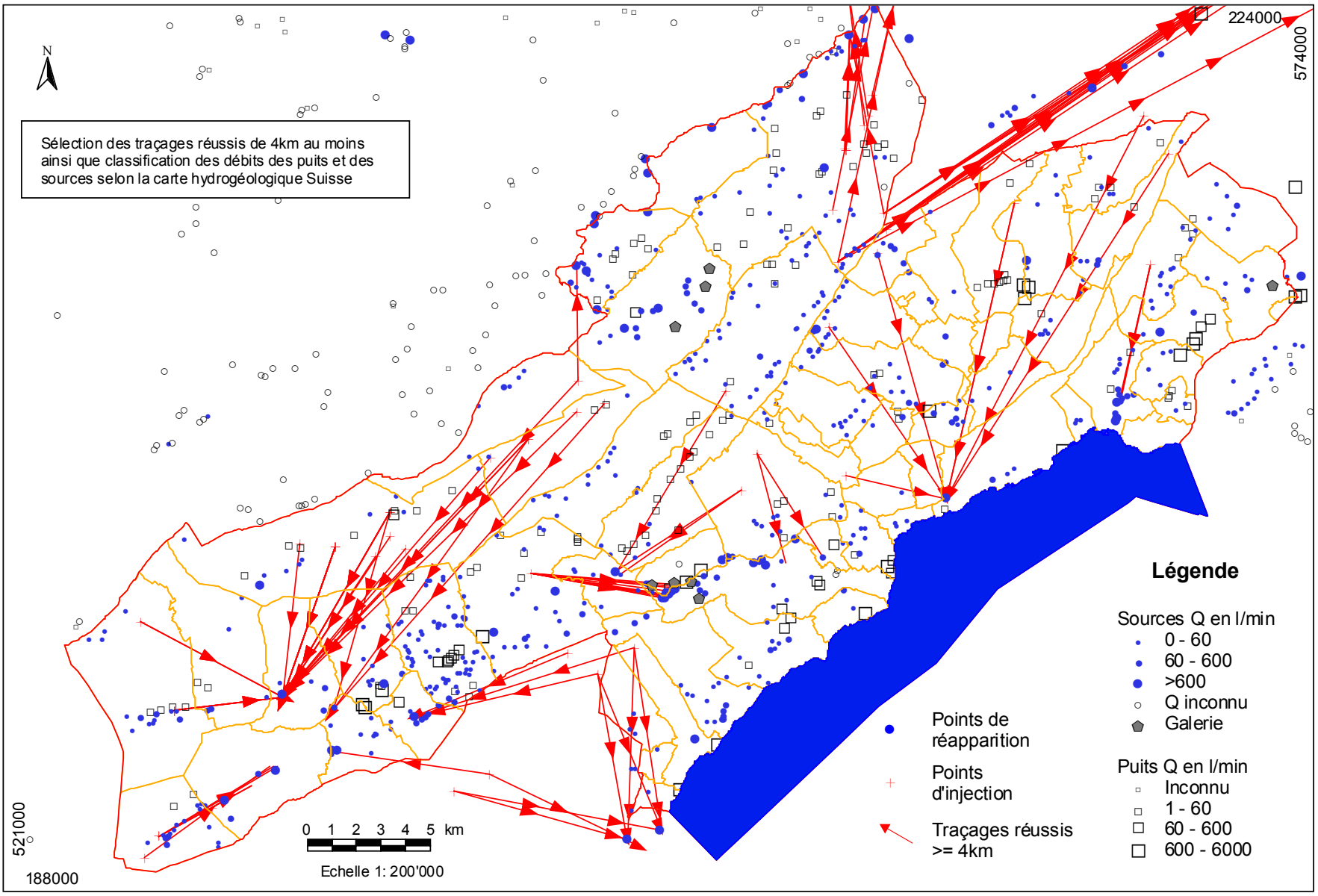
Nous remercions le Service Informatique et Télématique de l'Université de Neuchâtel qui a mis à la disposition du groupe SIG de l'Université de Neuchâtel (SIGNE) depuis 1992 l'infrastructure et les moyens techniques qui ont permis la réalisation de ce travail. Nos remerciements vont plus particulièrement à MM. F. Burri, Dr Y. Gonseth, J.P. Maradan, R. Choffat, Dr R. Corfu. Nos remerciements vont également au Dr A. Mokeddem directeur du SITEL qui met à notre disposition le serveur SIGNE permettant l'ouverture de l'application et des données vers Intranet et Internet à travers ArcIMS d'ESRI.

---

Les Annexes 1 à 4 à l'échelle 1 : 50'000 pour le canton de Neuchâtel et 1 : 25'000 pour l'Ajoie (canton du Jura) ont été exposées lors du colloque à Besançon. Les posters au format postscript sont à disposition auprès du premier auteur.

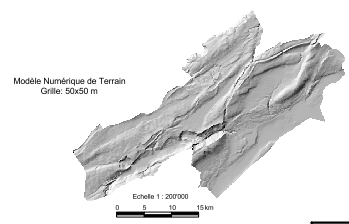
Annexe 1 : Cartographie des résultats des requêtes spatiales et alphanumériques de la base de données numériques HYDROGENE (canton de Neuchâtel, Suisse).

Tiré de Bouzelboudjen et al., 1993, 1995, 1996, 1997, Brasey, 1990 et Király 1973



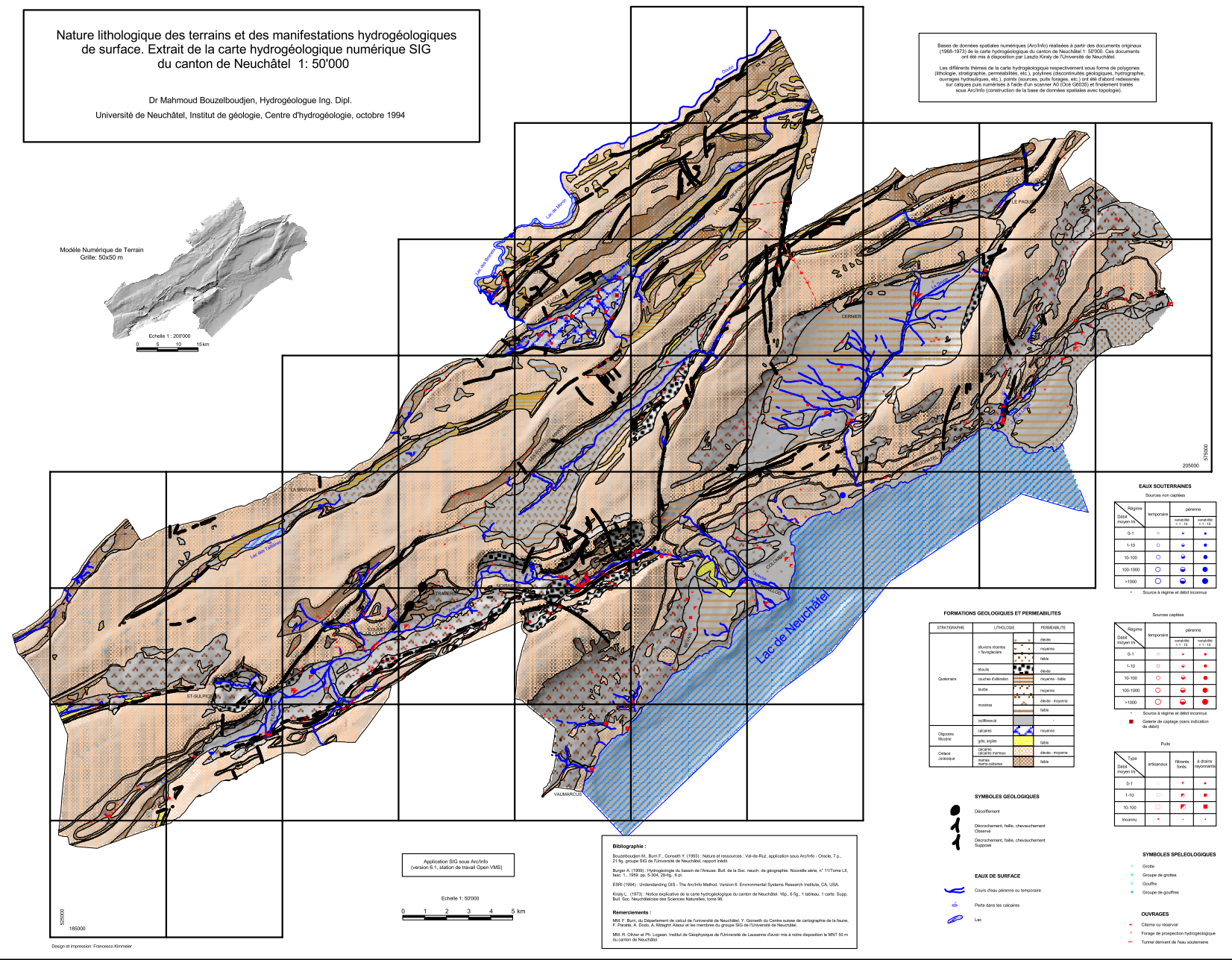
Nature lithologique des terrains et des manifestations hydrogéologiques de surface. Extrait de la carte hydrogéologique numérique SIG du canton de Neuchâtel 1: 50'000

Dr Mahmoud Bouzelboudjen, Hydrogéologue Ing. Dipl.  
Université de Neuchâtel, Institut de géologie, Centre d'hydrogéologie, octobre 1994



Bases de données spatiales numériques (ArcInfo) réalisées à partir des documents originaux (1968-1973) de la carte hydrogéologique du canton de Neuchâtel 1:50'000. Ces documents ont été mis à disposition par Lucien Héry de l'Université de Neuchâtel.

Les différents thèmes de la carte hydrogéologique respectivement sous forme de polygones (lithologie, stratigraphie, perméabilités, etc.), de points (sources, manifestations hydrogéologiques, ouvrages hydrauliques, etc.), de traits (cours d'eau, zones sèches, etc.) ont été échantillonnés sur un quadrillage spatial numérique à l'aide d'un système Arc/Info GIS/2000 et rassemblés dans une ArcInfo (construction de la base de données spatiales avec topology).



**Eaux Souterraines**  
Sources non captives

Profondeur (m)	Densité	
	temporaine	permanente
0-1	○	●
1-10	○	●
10-100	○	●
100-1000	○	●
>1000	○	●

○ Source à régime et débit incertain  
● Source à régime et débit incertain

Sources captives

Profondeur (m)	Densité	
	temporaine	permanente
0-1	○	●
1-10	○	●
10-100	○	●
100-1000	○	●
>1000	○	●

○ Source à régime et débit incertain  
● Source à régime et débit incertain

Puits

Type	Densité	
	artésien	à drains
0-1	○	●
1-10	○	●
10-100	○	●
incertain	○	●

**Formations Géologiques et Perméabilités**

Stratigraphie	Lithologie	Perméabilité
Quaternaire	alluvions modernes / récentes	alluv. / sables
	glacis / tourbes / colluvions	glacis / tourbes / sables
Craie	calcaire / marne / argile	calcaire / marne / argile
	argile / marne / calcaire	argile / marne / calcaire
	argile / marne / calcaire	argile / marne / calcaire
Opilite / Moolite	calcaire / argile	calcaire / argile
	calcaire / argile	calcaire / argile
Calcaire / marne / argile	calcaire / marne / argile	calcaire / marne / argile
	calcaire / marne / argile	calcaire / marne / argile

**Symboles Géologiques**

- Décollement
- Décollement, faille, chevauchement
- Décollement, faille, chevauchement
- Décollement, faille, chevauchement
- Séquence

**Eaux de Surface**

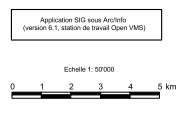
- Cours d'eau pérenne ou temporaire
- Perte dans les calcaires
- Lac

**Symboles Spéléologiques**

- Grotte
- Grotte de grottes
- Grotte
- Grotte de grottes

**Ouvrages**

- Ouvrage ou barrage
- Façade de protection hydrogéologique
- Tunnel de dérivation de l'eau souterraine



**Bibliographie :**

Bouzelboudjen M., Burt F., Cornett V. (1994). Nature et ressources : Val-de-Ruz, application sous ArcInfo - Ornicol, 7 p., 21 fig. groupe SIG de l'université de Neuchâtel, report final.

Burger A. (1991). Hydrogéologie au bassin de l'Aarès. Bull. de la Soc. suisse de géographie. Nouvelle série, n° 117 Tome LII, fasc. 1, 1991, pp. 25-34, 25 fig., 2 p.

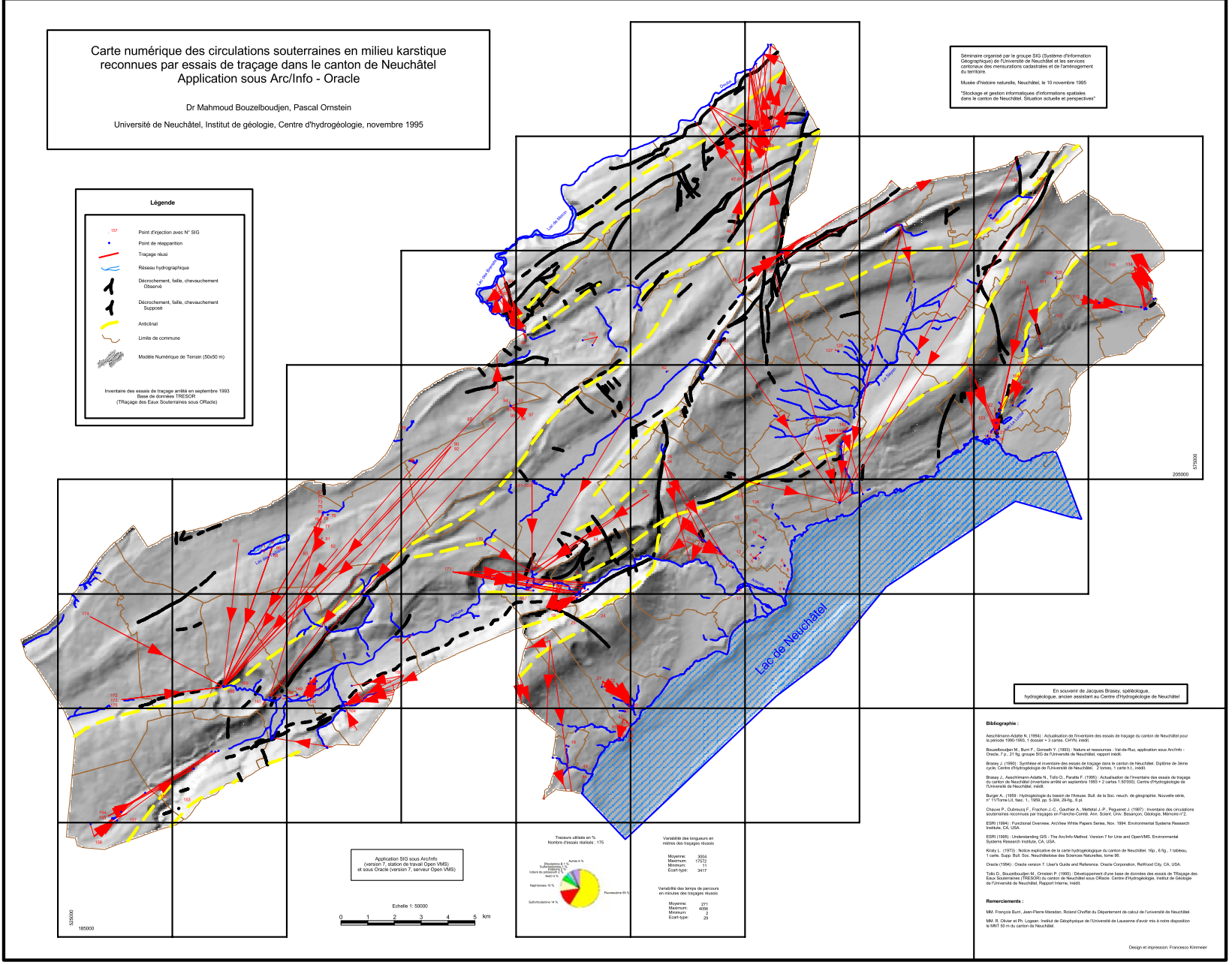
ESRI (1994). Understanding GIS - The ArcInfo Method, Version 6. Environmental Systems Research Institute, CA, USA.

Kiss L. (1973). Notice explicative de la carte hydrogéologique du canton de Neuchâtel. N° 6 fig. 1 tableau, 1 carte, 1 supp. Bull. Soc. Neuchâteloise des Sciences Naturelles, tome 69.

**Remerciements :**

M. F. Burt, du Département de cadastre de l'université de Neuchâtel, Y. Cornett du Centre suisse de cartographie de la Suisse, P. Fritsch, A. Sisti, X. Mignot, J. Bata et les membres du groupe SIG de l'université de Neuchâtel.

M. F. Burt, et Ph. Logez, Institut de Géologie de l'université de Lausanne d'ont m'a si noble disposition le MNT 50 m du canton de Neuchâtel.



Annexe 4 : Carte numérique des circulations souterraines en milieu karstique reconnue par essais de tracages en Ajoie (canton du Jura), Centre d'Hydrogéologie, Université de Neuchâtel, [Bouzelboujden, Kimmmer & Grétilat, 1999]

