

Zeitschrift: Les intérêts de nos régions : bulletin de l'Association pour la défense des intérêts jurassiens

Herausgeber: Association pour la défense des intérêts jurassiens

Band: 58 [i.e. 59-61] (1988-1990)

Heft: 4: Les ressources en eau du Jura : que se passe-t-il en amont de notre robinet?

Artikel: Colorations des eaux souterraines de Haute-Ajoie

Autor: Gretillat, P.-A. / Schindler, B. / Schütz, F.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-824333>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Colorations des eaux souterraines de Haute-Ajoie

Par P.-A. GRETILLAT, du Centre d'hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel, B. SCHINDLER et F. SCHÜTZ, du bureau d'études géologiques Schindler, à Delémont, et A. LIÈVRE, de l'OEPN, à Saint-Ursanne

*Il n'y avait rocher qui ne me fut ouvert,
Ni antre qui ne fut à mon oeil découvert,
Ni source que des mains boivant je n'épuisasse.*

Ronsart

Le multitraçage (colorations multiples) du 2 mai 1988, réalisé en trois endroits de Haute-Ajoie, a constitué une opération d'envergure régionale. Pour la réaliser, deux partenaires ont uni leurs moyens, soit :

- le Centre d'hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel (CHYN), mandaté par l'Office des eaux et de la protection de la nature à St-Ursanne (OEPN), pour mener une vaste étude visant à une meilleure compréhension des écoulements dans les systèmes souterrains ;

- le bureau de recherches géologiques B. Schindler, occupé depuis plusieurs années par le programme d'assainissement des terrains d'exercices de la Place d'armes de Bure, dont l'affectation particulière a conduit également à la nécessité d'une meilleure connaissance des relations entre le haut plateau de Bure et les sources avoisinantes, tant en France qu'en Suisse. Les deux actions ont été à la fois convergentes et complémentaires. De cette collaboration fructueuse sont issus des résultats qui donnent une image nouvelle des paysages souterrains régionaux, particulièrement dans le secteur de Damvant, Fahy et Grandfontaine.

Un aperçu historique

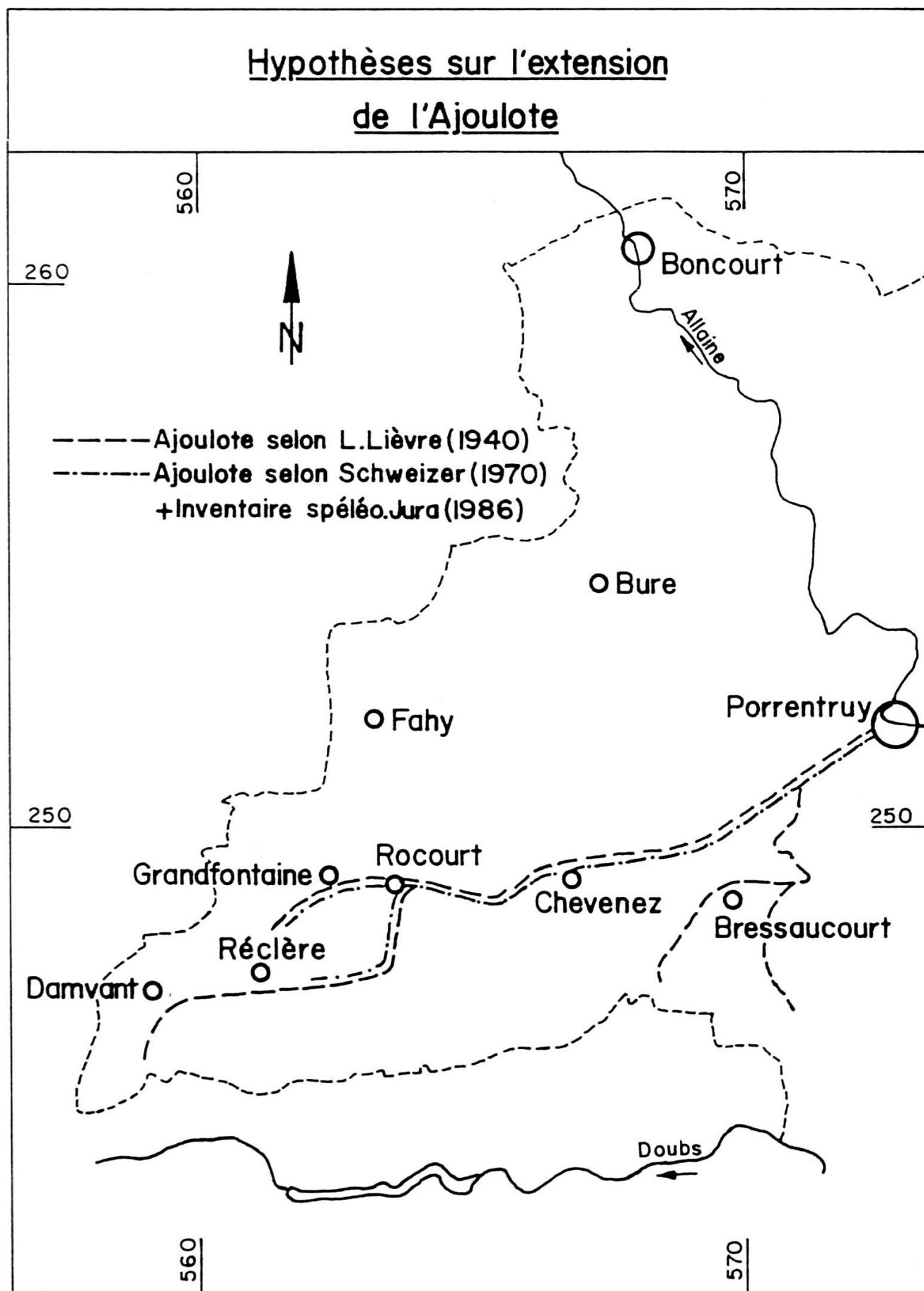
Dès le XVIII^e siècle, les savants comme les habitants de la région se sont vivement intéressés à comprendre le cas du Creuge-

nat, important trou émissif, et à découvrir l'origine de ses eaux. Actuellement encore, dans l'esprit des gens, il ne fait aucun doute que la rivière souterraine draine les eaux de toute la Haute Ajoie, de Damvant à Porrentruy, en y incluant Grandfontaine. Toutes les études publiées à ce jour en font d'ailleurs état.

Certes, l'existence de cette rivière souterraine, dont une partie a été explorée par les spéléologues, est reconnue. Pour ce qui touche au reste du tracé, nul ne le connaît. De plus, s'agit-il vers l'amont d'une rivière souterraine ou plus vraisemblablement d'un réseau de conduits et de fissures impropres à l'exploration par l'homme ? Bien qu'aucune réponse n'ait été apportée à ce jour, les anciens et même plus près de nous, Schweizer, ont émis leur hypothèse quant à ce tracé (fig. 1). Cette pratique est dangereuse... car l'hypothèse unique se transforme rapidement en vérité.

Ceci dit, l'existence d'une relation souterraine entre le Creugenat et la source de la Beuchire à Porrentruy a été mise en évidence en 1934 déjà. Suite à des pompes dans le Creugenat, la Beuchire ainsi que la source voisine de la Chaumont furent mises presque à sec. En juillet 1936, suite à un orage localisé sur Bressaucourt, de l'eau trouble fut observée à la Beuchire, alors même que le Creugenat demeura limpide. Ce fut un premier élé-

Figure 1.



ment qui permet de penser que la région de Bressaucourt constituait une branche indépendante de l'Ajoulotte.

C'est ainsi que les naturalistes de l'époque collectèrent des informations qui les conduisirent petit à petit à connaître cette région. Même si toutes les hypothèses n'ont pas été vérifiées, leurs travaux nous sont d'une grande utilité aujourd'hui. Si nous pouvons établir un début de synthèse, c'est grâce à ces nombreuses recherches isolées qui, chacune à leur manière, ont rempli le catalogue de nos connaissances.

Les géologues qui travaillent ici depuis longtemps disposent, lentement mais sûrement, d'éléments leur permettant d'avoir une vue d'ensemble utile à la bonne gestion des eaux de toute une région. Et notre monde moderne nous démontre, notamment par les pollutions qu'il engendre, le bien-fondé de ces travaux.

En résumé, l'aventure hydrogéologique peut se subdiviser en quatre périodes importantes :

A) **La période des pionniers** : elle débute grâce à la curiosité et à la sagacité de spéléologues éclairés et de naturalistes humanistes ; c'est l'époque des travaux isolés, elle se poursuivra jusque dans les années soixante.

B) **La période du premier travail de base** : dans toute l'Ajoie elle est marquée de l'empreinte de H.-U. Schweizer dont la thèse sur l'hydrologie de l'Ajoie, publiée en 1970, demeure une référence.

C) **La mise en vigueur de la loi fédérale de 1971 sur la protection des eaux** : il existe dès lors une base légale qui permet de s'occuper d'une manière scientifique, donc rigoureuse et rationnelle, de la gestion de nos ressources en eau. Ainsi, toutes les expériences hydrogéologiques nécessaires à la mise sous protection des sources et des captages ont fourni de précieuses données utiles également pour régler l'important problème du rejet, dans

les emposieux*, des eaux usées épurées ou non. Loin de disparaître, ces eaux réapparaissent dans des résurgences* comme en témoignent les nombreux essais de traçage menés pendant cette période par le professeur A. Burger, ainsi que par le bureau Schindler. Les efforts consentis sont aussi à la mesure de la pression toujours plus forte des activités humaines sur l'environnement, eaux souterraines comprises.

D) Actuellement, nous vivons ce que nous pouvons appeler **le modernisme hydrogéologique**. Les premières synthèses régionales importantes peuvent être faites, par exemple en ce qui concerne l'Ajoulotte et ses relations aux bassins voisins. Le multitraçage du 2 mai 1988 s'inscrit logiquement dans ce courant qui tient compte des notions actuelles en matière d'écoulements souterrains.

Les cadres de l'étude

La région étudiée est délimitée grosso modo par un triangle dont les sommets sont Porrentruy, Delle et Damvant et dont les côtés sont : à l'est, la vallée de la Basse-Allaine, au sud, la vallée sèche de l'Ajoulotte, et, à l'ouest, le plateau de Fahy et le Val St-Dizier (cf. fig. 3, p. 19).

Du point de vue géologique

La Haute-Ajoie appartient au Jura tabulaire, terme dérivé du latin tabula, qui signifie table. Il doit son nom au fait que les calcaires et les marnes le constituant sont arrangés en couches, ou strates, presque horizontales. Seuls quelques plissements peu marqués apparaissent localement : citons les anticlinaux* du Perchet, au nord de Réclère, et du Banné, entre Bressaucourt, Fontenais et Porrentruy. Cette structure en forme de plateau s'oppose à celle qui, au sud, caractérise le Jura plissé. Celui-ci est constitué des grandes chaînes jurassiennes bien connues dont la plus septentrionale, celle du Lomont – Mont-Terri, d'orientation est-ouest, sépare la

vallée de l'Ajoulot de celle du Doubs (cf. fig. 10, p. 31, zone de partage des eaux). Les calcaires intensément karstifiés (voir la définition de ce terme ci-dessous) qui constituent les terrains de la Haute-Ajoie sont tous d'âge Jurassique supérieur* (Malm). Ils sont intercalés avec des niveaux marneux de faible épaisseur. L'ensemble est parcouru de nombreuses failles de direction nord-sud; ce sont des cassures qui recoupent les couches géologiques et les séparent en blocs de dimensions hecto à kilométriques. Leur rôle conditionne dans une mesure non négligeable les circulations d'eau souterraines.

Du point de vue hydrogéologique

L'hydrogéologie est la science des eaux souterraines, laquelle se propose d'acquies des connaissances sur les dites eaux en vue de leur prospection, de leur exploitation et donc de leur protection. Ce qu'on nomme hydrologie désigne la science qui se préoccupe des eaux de surface uniquement.

Un essai de traçage est un moyen pratique, souvent utilisé, pour mieux connaître l'hydraulique souterraine ou, en d'autres termes, ce qui est mû par l'eau, ce qui est relatif au mouvement de l'eau à l'intérieur de massifs rocheux, ici le karst de la Haute-Ajoie.

Qu'est-ce que le karst ?

Dans une approche géomorphologique*, le karst est une région constituée par des roches carbonatées (les calcaires par exemple) compactes et solubles, dans lesquelles apparaissent des formes superficielles caractéristiques: dolines*, empousieux*, ouvalas*. Ces formes représentent des points d'infiltration préférentiels de l'eau (alimentation du karst) auxquels il faut adjoindre les fissures de toutes natures apparaissant en surface, et connectées avec les réseaux souterrains.

Un volume défini de roches calcaires perméables* et karstifiées qui est le siège d'un flux d'eau souterrain s'appelle un

aquifère* karstique. L'eau qu'il contient peut circuler, plus ou moins rapidement, dans des chenaux et conduits de dimensions relativement grandes voire des cavités (exemples: la rivière souterraine de l'Ajoulot, les grottes de Milandre), ainsi que, bien entendu, dans des fissures. Dans les régions karstiques, on observe une prépondérance de l'écoulement souterrain par rapport à l'écoulement total, ce qui signifie qu'une forte proportion des précipitations s'infiltrer au détriment du ruissellement superficiel.

Donc, un **aquifère***, terme important qui reviendra souvent au cours de cette présentation, est un massif de roches perméables* comportant, vers le bas, une zone saturée ou noyée. C'est l'ensemble du milieu rocheux et de l'eau qu'il contient. Cette eau est ce qu'on appelle la nappe souterraine. Le massif de roches situé au-dessus de la surface de la nappe constitue la zone non saturée ou dénoyée. Le niveau de la nappe fluctue en fonction des précipitations qui percolent à travers la zone du karst dénoyé. La figure 2 (p. 18) illustre schématiquement cette notion.

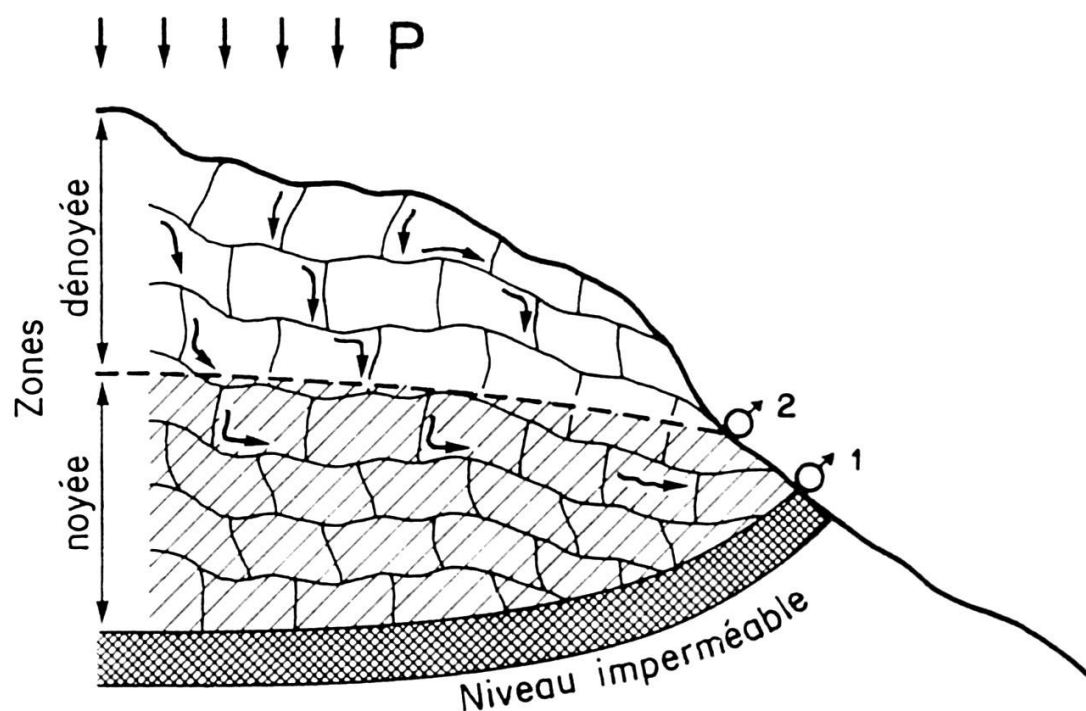
Prenons pour exemple le plateau de Bure qui présente un cas typique de morphologie karstique. Sommairement, il se scinde en deux régions bien visibles sur le terrain: – la région ouest, comprise entre Fahy et Bure, faite de micro-bassins fermés et de pertes diverses: l'évacuation des eaux est uniquement karstique;

– la région nord-est et est, qui se poursuit jusqu'à l'Allaine, est caractérisée par un réseau karstique avec de nombreuses sources captées ou non et, superposé au premier, par un réseau hydrographique*, essentiellement temporaire, mais très actif et dévastateur en période de crue.

Revenons à l'ensemble de la Haute-Ajoie. Schématiquement, les aquifères karstiques sont développés dans la série du Malm*, qui surmonte les marnes oxfordiennes*. On admet que ces dernières constituent le niveau imperméable* régio-

Figure 2.

ZONES NOYEE ET DENOYEE DANS UN AQUIFERE KARSTIQUE



Légende :

↓ ↓ P : Précipitations

↪ ↪ : Schéma de l'écoulement à travers le massif

 : Calcaires karstifiés

 : Limite entre la zone noyée et la zone dénoyée.
En traitillé, surface fluctuante de la nappe souterraine.

♂1 : Exutoire ou source

♂2 : Exutoire temporaire : source qui ne fonctionne qu'en période de hautes eaux, ici lorsqu'elle est atteinte par la zone noyée.

Bons hôtels et restaurants jurassiens

Vous pouvez vous adresser en toute confiance aux établissements
ci-dessous et les recommander à vos amis

MOUTIER

HÔTEL-RESTAURANT DES GORGES

PIZZERIA « LA ROMAGNOLA »

Cuisine à toute heure

Spécialités italiennes

Fam. Montanari

032 93 16 69

BONCOURT



HÔTEL DE LA LOCOMOTIVE

vous propose pour vos réunions,
banquets, mariage ou simplement
entre amis des salles accueillantes
et sympathiques

Famille

Gatherat

066 75 56 63

Fermé le mercredi

TAVANNES

HÔTEL DE LA GARE

Hôtel réputé de vieille date pour sa cuisine
soignée et ses vins de choix – Petites salles
pour sociétés – Parc pour voitures privé –
Chambres avec WC, douche et TV

Fam. A. Wolf-
Béguelin

066 91 23 14

DELÉMONT

HÔTEL VICTORIA

Restaurant de spécialités

Famille

Roger Kueny

066 22 17 57

MOUTIER

HÔTEL SUISSE

Accueillant

Grandes salles

Chambres tout confort

Famille

C. Brioschi-Bassi

032 93 10 37

LA SEMEUSE

LE CAFÉ QUE L'ON SAVOURE...



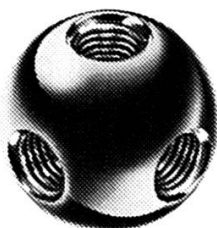


**Pour votre succès
en affaires:
la banque d'affaires.**

**BANQUE CANTONALE
DU JURA** 

GARANTIE DE L'ETAT

USM HALLER



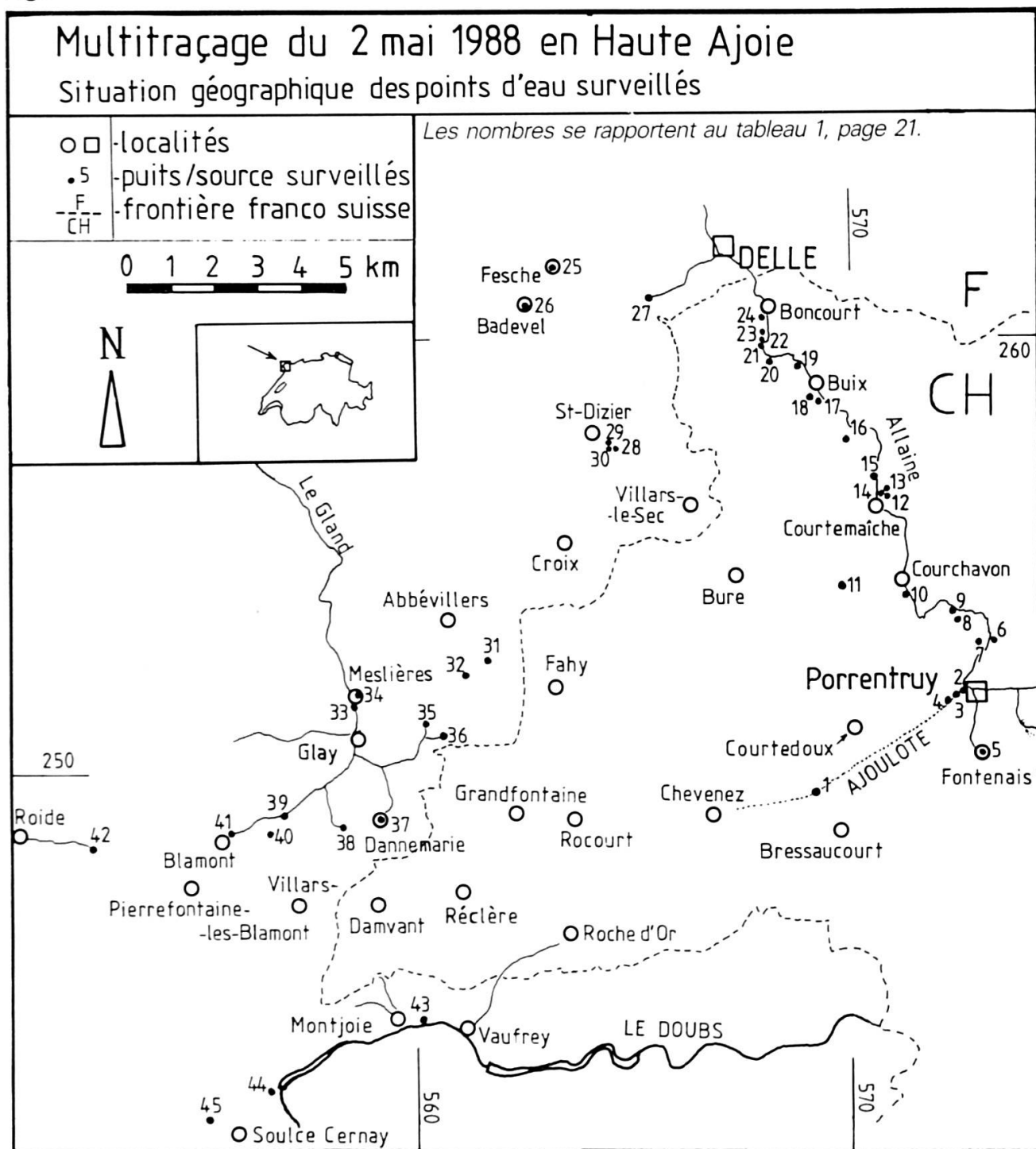
Boule originale USM HALLER, échelle 1:1

Voici l'étonnante boule USM: elle relie les tubes chromés qui supportent les éléments de couleur; ensemble, ils forment une partie des meubles qui s'intègrent eux-mêmes à merveille pour constituer les aménagements les plus divers: cabinets médicaux, bureaux d'architecture, secrétariat et direction de banques et d'entreprises diverses, meubles d'exposition pour les magasins ou pour votre appartement, ou...

Hadorn Intérieur, Rue de l'Hôtel de Ville, 2740 Moutier, Tél. 032 93 43 31/2

HADORN
BUREAU

Figure 3.



nal, sans exclure toutefois des communications par des failles avec les aquifères sous-jacents (calcaires du jurassique* moyen).

Dans les aquifères du Malm, les principaux collecteurs sont :

– la Milandraine dans la région Bure-Boncourt (exutoire* principal : le Saivu) ;

– l'Ajoulotte, à l'ouest de Porrentruy (exutoire* principal : la Beuchire) ;

A ces deux rivières souterraines vient s'ajouter le seul cours d'eau superficiel pérenne*, l'Allaine, qui traverse l'Ajoie du sud au nord et constitue le niveau de base d'une partie des eaux souterraines régionales.

En Franche-Comté, la rivière du Gland joue également le rôle de niveau de base régional. Elle s'écoule vers le nord, parallèlement à l'Allaine, en direction de Montbéliard. Les principales sources karstiques qui l'alimentent sont la Creuse et la Doue.

Qu'est-ce qu'un essai de traçage ?

La technique du traçage artificiel est couramment employée en hydrogéologie karstique. Il s'agit d'injecter un traceur chimique ou biologique en un point choisi d'une région et de surveiller pendant une période donnée sa réapparition dans les sources avoisinantes. Les objectifs d'un traçage sont d'ordre divers :

- a) la reconnaissance du bassin hydrogéologique d'une ou de plusieurs sources. Par exemple, lors de notre essai du 2 mai 1988, un traceur injecté dans la région de Fahy est ressorti à la source de la Beuchire quinze jours plus tard. Cela nous mène directement à connaître :
- b) la vitesse et les conditions de circulation des eaux souterraines et ;
- c) l'impact de toute forme d'activité humaine sur la qualité des eaux souterraines d'une région et conséquemment des sources et des cours d'eau auxquels elles donnent naissance.

Nos expériences ont contribué prioritairement à remplir le troisième objectif. Une fois le colorant injecté, toutes les sources, cours d'eau ou puits où il est susceptible d'apparaître font l'objet d'une longue surveillance. Chaque jour, des échantillons d'eau y sont prélevés puis conduits au laboratoire du Centre d'hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel où ils sont analysés à l'aide d'un appareil très sensible : le spectrofluorimètre*. Certains points d'eau, parce qu'ils sont d'un accès difficile ou parce que la réapparition du colorant y est moins probable, sont équipés de fluorocapteurs. Il s'agit de sachets contenant du charbon actif, substance capable de piéger

le colorant fluorescent. Ils sont prélevés en moyenne tous les cinq jours.

Un essai de traçage est strictement réglementé et seules des instances dûment agréées sont habilitées à le réaliser. Les essais sont répertoriés dans le fichier central du Service hydrologique et géologique national à Berne. Cette centralisation permet de s'assurer qu'aucun autre essai n'est en cours dans la même région au même moment.

Le multitraçage du 2 mai 1988

Plus d'une cinquantaine d'essais de traçage ont été recensés depuis une trentaine d'années en Ajoie et en France voisine (vallée du Gland et région de St-Dizier). La figure 9 (p. 30) schématise les relations souterraines démontrées par cette méthode.

La démarche méthodologique

Conformément aux objectifs fixés, les trois points d'injection se situèrent au nord de Fahy (près de la frontière), à Grandfontaine et Damvant. Restait à définir les traceurs fluorescents les plus efficaces dans le domaine karstique. Notre choix s'est porté sur la fluorescéine (variété uranine), la sulforhodamine G et le naphthionate qui sont des substances d'usage courant inoffensives pour l'environnement lors d'essais normalisés. Elles circulent très bien dans les karsts à chenaux et présentent un bon taux de restitution (peu de pertes de colorant en cours de cheminement souterrain).

L'utilisation de traceurs peut être compromise dans des aquifères où l'intervention humaine est trop dense. Il en résulte des pollutions, soit par résidus de traceurs piégés lors d'essais antérieurs, soit par des produits chimiques ou des matières organiques. Une reconnaissance des points d'eau à surveiller est donc nécessaire avant de pratiquer l'essai. Dans notre cas, les tournées d'échantillonnage préli-

Tableau 1. Liste des points de surveillance (selon fig. 3, p. 19)

N°	LIEU	ALT (m)	A	B	C
PORRENTUUY					
1	Creugenat	451	P	F-N-S	
2	Beuchire	424	P+C	F-N-S	
3	Chaumont	423	P	F-N-S	
4	Masset	422	P	F-N-S	
5	Bacavoine	450	P	S	
6	Betteraz	418	P+C	F-N-S	
7	Parietti	420	C	F-N-S	
8	Pont d'Able sud	412	P+C	F-N-S	*
9	Pont d'Able centre	412	C	F-N-S	*
COURCHAVON					
10	Source Domont	400	C	F	
11	Ecole Mormont	533	P	F	
COURTEMAICHE					
12	Puits SEHA n°2	397	C	F-N	*
13	Puits SEHA n°1	397	C	F-N	*
14	Puits communal	397	C	F-N	*
15	La Fontaine	395	P+C	F-N	
16	La Favergeatte	400	P	F	
BUIX					
17	Puits communal	383	C	F	*
18	Les Côtai	400	P	F	*
19	La Marmitaine	380	C	F	*
BONCOURT					
20	La Bâme	375	P	F	
21	Le Saivu	373	P	F-N-S	
22	Puits Lômennes n°2	370	C	F	*
23	Puits Lômennes n°1	370	C	F	*
24	La Font	370	C	F	
FRANCE					
25	Mazarin Fesche	355	C	F-N	
26	Usine Badevel	360	P	F-N-S	
27	Trou de la Doux Delle	389	C	F-N-S	
28	Captage Val St-Dizier	460	C	F-N-S	*
29	Source Val St-Dizier	465	P	F-N-S	
30	Lavoir Val St-Dizier	465	P	F-N-S	
31	Ruisseau Abbéwillers	515	C	F	
32	Puits Abbéwillers	475	C	F-N-S	*
33	Mérat Meslières	391	P	N-S	
34	Pierre Meslières	420	P	N-S	
35	Ruisseau Glay	430	P+C	F-N	
36	La Doue Glay	440	P+C	F-N-S	
37	Fontaine Dannemarie	469	P	N-S	
38	Rosière Dannemarie	460	P	N-S	
39	La Laronesse Blamont	430	P+C	N-S	
40	Fontaine Ronde Blamont	445	C	N-S	
41	La Creuse Blamont	480	C	N-S	
42	La Roide Pont-de-Roide	400	C	N-S	
43	Ronde Fontaine Montjoie	400	C	S	
44	Source Barrage Montjoie	535	C	S	
45	Château de la Roche	505	C	S	

A -Type de prélèvement: P -échantillons d'eau

C -charbons actifs

B -Type d'analyse: F -fluorescéine

N -naphtionate

S -sulforhodamine G

C -Type d'eau:

* -eau captée

minaires nous ont conduits à une mise en œuvre sans restriction.

La situation des points d'injection laissait ouverte la possibilité de réapparition des traceurs à l'intérieur d'un grand périmètre.

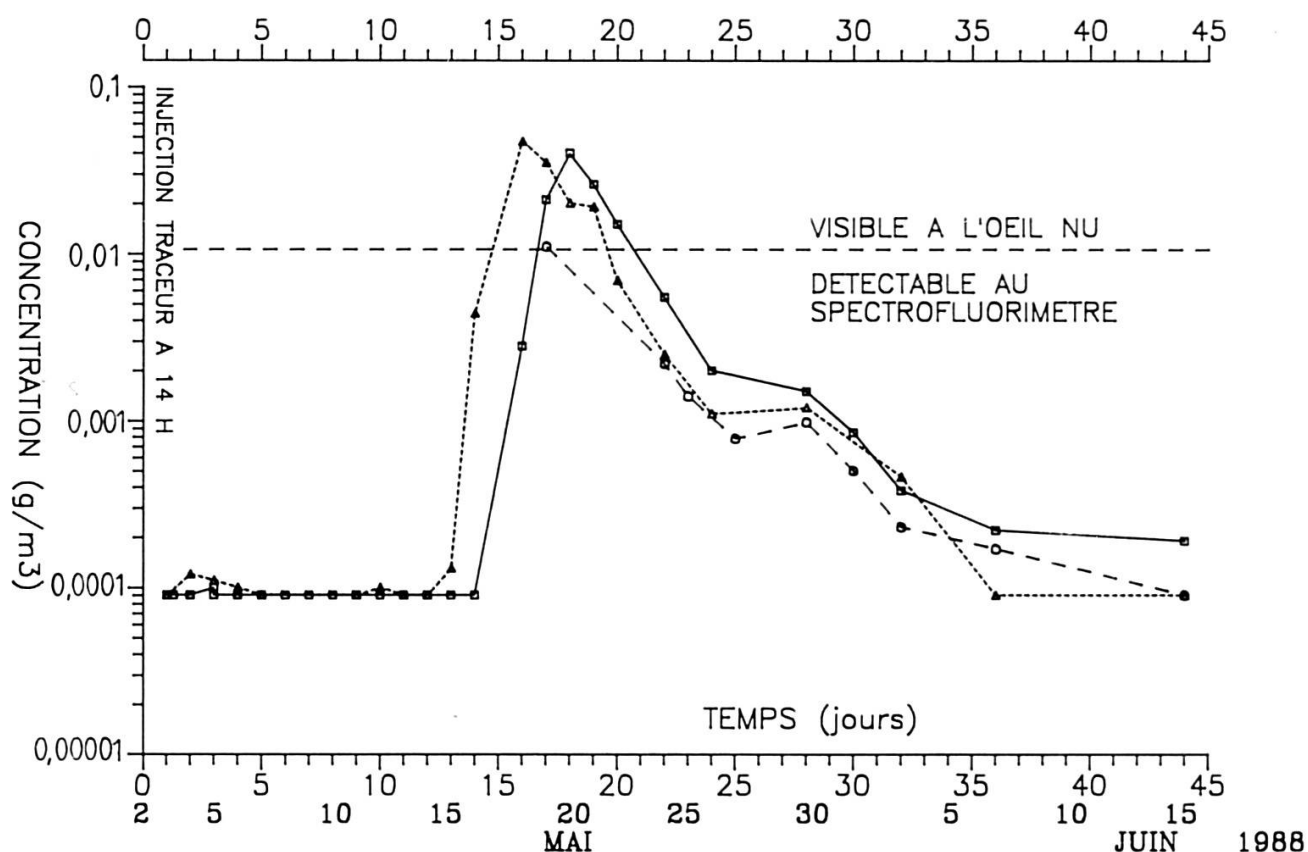
Il en résulte que le nombre de points d'eau à surveiller s'est élevé à 45 (sources, puits, cours d'eau). On consultera le tableau 1 et la figure 3 pour ce qui concerne respectivement le mode de surveillance et la situation géographique.

L'essai de Fahy

Cinq kilos d'uranine suivis d'environ 20 m³ d'eau de rinçage ont été injectés dans un petit emposieux situé dans une zone où l'on en dénombre plus d'une dizaine d'un diamètre de quelques mètres à une quinzaine de mètres et d'une profondeur de 2 à 5 m. Situés au nord-est de Fahy, non loin de la frontière française, ils sont tous plus ou moins alignés selon des directions identiques à celles des grandes failles qui

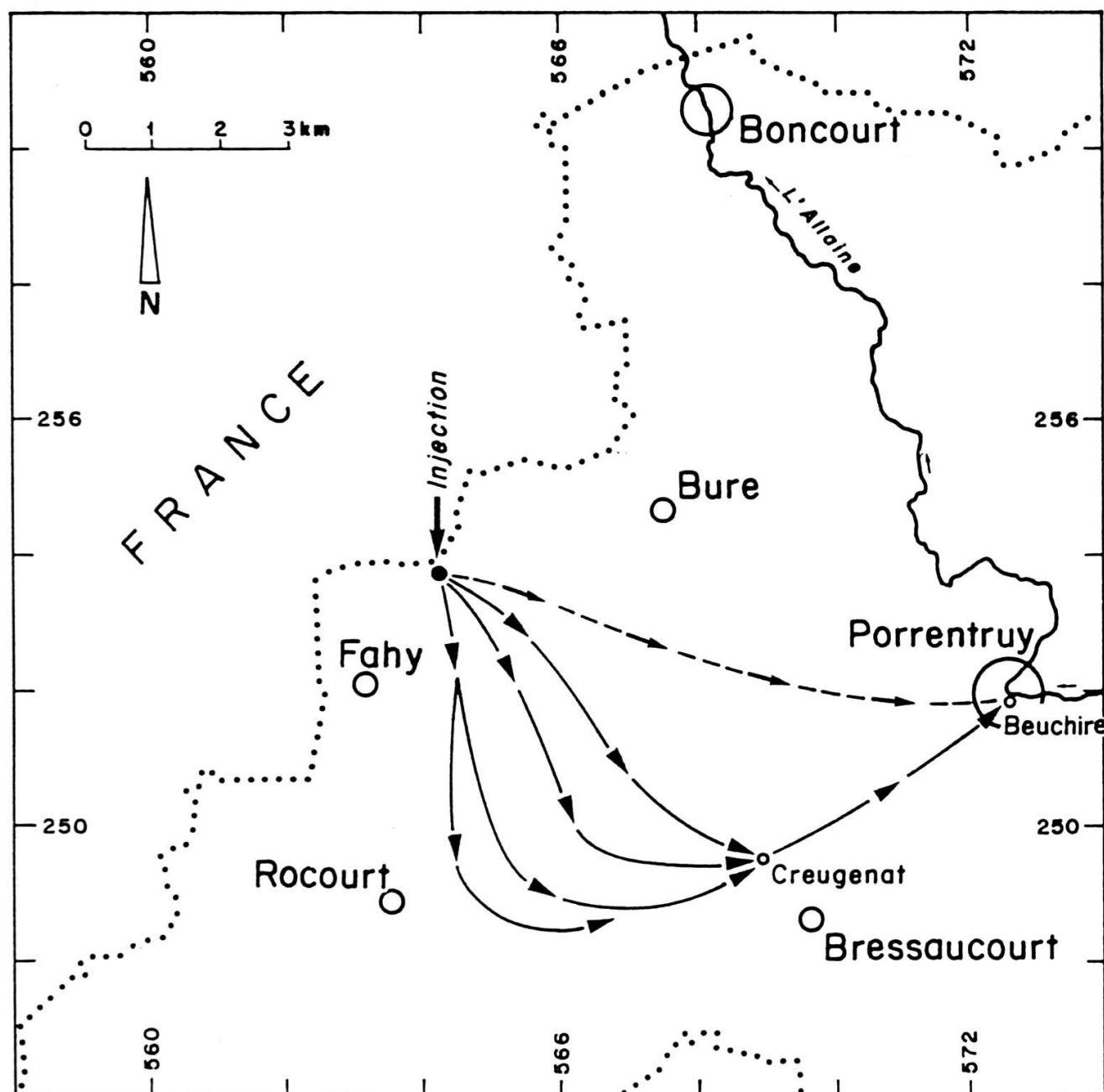
Figure 4. Essai de Fahy du 2 mai 1988
Courbes de restitution de fluorescéine

△ Le Creugenat
□ La Beuchère
○ La Chaumont



Chaque point de ces trois graphiques correspond à une analyse journalière de trois échantillons d'eau en vue de rechercher la fluorescéine. On obtient alors le taux de concentration du colorant dans chaque échantillon : l'unité choisie est le gramme de fluorescéine par mètre cube ou mille litres d'eau (g/m³). On observe que, jusqu'au 15 mai, les taux obtenus sont de l'ordre de un dixmillième de g/m³. Cela correspond à la fluorescence naturelle que l'on rencontre dans ces eaux et qui masque la fluorescéine injectée artificiellement. Puis les courbes montent brusquement : c'est l'arrivée du colorant, déterminé ici sans équivoque, dont la concentration va atteindre un maximum (pointes des courbes) avant de diminuer progressivement jusqu'au début du mois de juin. Le traitillé horizontal dessiné à la hauteur du taux de concentration de 0.01 (ou un centième de g/m³) représente une limite de visibilité : au-dessus de cette droite, le colorant est visible à l'oeil nu dans la source ; au-dessous, le spectrofluorimètre* du laboratoire seul peut le détecter.

Figure 5. Essai de traçage du 2 mai 1988



Hypothèses sur les trajets réels
possibles de fluorescéine entre
le point d'injection et les exutoires
du Creugenat et de la Beuchire

► — ► cheminements souterrains probables

→ - - - → cheminements souterrains très peu probables

Tableau 2. Multitraçage Haute-Ajoie
Injection des traceurs

LIEU	COORDONNEES	ALT	TRACEUR	Date/heure
nord de Fahy	564.800/253.775	580	Fluorescéine 5 kg	2.5.1988 14 h
Grandfontaine	562.425/249.030	525	Naphtionate 25 kg	2.5.1988 15 h
Damvant	559.550/247.015	595	Sulforhodamine G extra 5 Kg	2.5.1988 16 h

Tableau 3. Résultats de l'essai de Fahy
Réapparition de fluorescéine

LIEU	N°	TRAJET (m)	DATE	VITESSE (m/h)		TEMPS passage	PENTE moyenne
				max	modale		
Creugenat	1	6400	16.5 8h	19.2	16.8	22 jours	2.0 ‰
Beuchire	2	10700	18.5 12h	28.4	25.1	20 jours	1.5 ‰
Chaumont	3	10600	idem Beuchire				

compartimentent toute la région du nord au sud jusqu'à la latitude de Damvant.

Le colorant est réapparu pour la première fois, 14 jours après l'injection, au Creugenat (N° 1). Deux jours plus tard, le traceur était détecté aux sources de la Beuchire et de la Chaumont (N°s 2 et 3), à Porrentruy. Chaque échantillon prélevé dans les trois sources suscitées a fait l'objet d'une analyse en vue de mesurer le taux de concentration de fluorescéine. On construit ensuite les courbes de restitution du traceur rapportées sur la figure 4 (p. 22).

On remarque que les deux courbes obtenues au Creugenat et à la Beuchire ont pratiquement la même allure, celle de la Beuchire étant décalée de deux jours par rapport à celle du Creugenat. Le colorant a donc mis deux jours pour parcourir la distance Creugenat-Porrentruy. La source de la Chaumont qui, pour des raisons techniques ne fut surveillée quotidienne-

ment qu'à partir du 19 mai, présente également une courbe descendante quasi-parallèle aux deux autres.

Ces résultats nous permettent de faire les remarques suivantes :

- les sources de la Beuchire et de la Chaumont sont deux exutoires * du même bassin : l'Ajoulotte ;

- nous pouvons admettre que la fluorescéine ou, pour le moins, une grande partie de celle-ci passe d'abord par le Creugenat avant de ressortir à Porrentruy ; on peut donc proposer, comme illustration schématique du trajet souterrain, le parcours à vol d'oiseau Fahy-Creugenat-Beuchire (cf. fig. 5, p. 23).

Dans la foulée de ce schéma, on peut être tenté d'émettre des hypothèses sur les cheminements réels possibles du colorant. Il est bien clair qu'un essai de traçage ne donne aucune information à ce sujet. Ainsi, à part l'exploration spéléologique qui

permet de reconnaître des fragments de passages souterrains, il ne nous reste que le domaine (oh! combien dangereux) de l'hypothèse.

Dans le karst, l'interprétation fondée sur des suppositions ou des comparaisons débouche la plupart du temps sur des théories erronées dont le moindre défaut n'est pas leur persistance. Citons par exemple l'hypothèse simpliste par laquelle on décalque la morphologie de surface sur ce que l'on pense être le tracé souterrain.

En Ajoie, cela consiste à imaginer des rivières souterraines parallèles aux vallées sèches. Si ce cas n'est pas à exclure, de nombreux essais de traçages, dont le nôtre, nous ont définitivement convaincus de ne manipuler l'interprétation des phénomènes souterrains qu'avec la plus grande prudence. Dand cette optique, la figure 5 présente un faisceau d'hypothèses qui traduisent approximativement les cheminements possibles qu'a pu emprunter le colorant.

Comment calculer la vitesse?

La vitesse est le quotient d'une longueur par un temps. L'unité choisie ici est le mètre par heure (m/h). C'est une vitesse de déplacement ou de transport d'eau souterraine; elle correspond à la distance à vol d'oiseau (donc schématique et rectiligne) divisée par le temps écoulé entre l'injection et la toute première réapparition du colorant. Le trajet souterrain réel des particules d'eau étant en fait plus long, la vitesse réelle est en conséquence plus élevée. Le tableau 3 contient deux vitesses: l'une calculée pour le trajet Fahy-Creugenat, l'autre pour le trajet Fahy-Beuchire. On voit que cette dernière est plus élevée, ce qui laisse entendre qu'entre le Creugenat et Porrentruy, l'eau circule plus vite qu'en amont. Il y a donc une accélération des circulations souterraines dans ce secteur où l'eau doit se déplacer dans des chenaux karstiques.

L'essai de Grandfontaine

Les 25 kg de naphthionate ont été dissous dans le bassin de la fontaine au bas du village. Cette solution, d'un volume de 3 m³, s'est ensuite mélangée aux eaux usées de Grandfontaine qui disparaissent dans une doline* située en aval. Il est à noter qu'en condition de crue (ce qui n'était pas le cas le jour de l'injection), cette perte ne parvient plus à absorber la totalité des eaux, si bien qu'une partie s'écoule superficiellement en direction de Rocourt.

Moins de 10 jours après l'injection, le colorant a été décelé à la source de la Doue, en France. Cette résurgence* karstique est l'une des plus importantes de la région avec un débit moyen évalué à 10 mètres cube par minute, soit un débit comparable à ceux des sources de la Beuchire ou du Betteraz à Porrentruy. Jusqu'ici, on pouvait supposer que le sous-sol de Grandfontaine appartenait entièrement à l'Ajoulot. **Cette expérience a démontré de manière spectaculaire que les circulations souterraines ne sont pas le reflet de ce qui se passe en surface, particulièrement en région karstique.**

L'essai de Damvant

Les 5 kg de sulforhodamine G dilués dans 100 l d'eau ont été déversés dans une fracture ouverte sise à l'est du village. A cet endroit s'écoulent également les eaux usées de Damvant, qui ont ainsi fait office d'eau de rinçage pour le colorant.

Dans ce cas également, on pouvait s'attendre à ce que le colorant, pour le moins, chemine vers l'ouest en direction de la région de Blamont (N^{os} 39, 40, 41). *Les numéros se rapportent à la fig. 3, p. 19.* Contre toute attente, on l'a décelé au sud, à la source de Ronde Fontaine (N^o 43) à Montjoie (France) dans la vallée du Doubs. Ainsi le traceur a-t-il traversé de part en part la Chaîne du Lomont. Aucun prélèvement d'eau n'ayant été prévu en cet endroit, seuls les fluocapteurs ont piégé la

Tableau 4. Résultats de l'essai de Grandfontaine
Réapparition du naphthionate

LIEU	N°	TRAJET (m)	DATE	VITESSE (m/h)		TEMPS passage	PENTE moyenne
				max	modale		
La Doue	36	2650	12.5 8h	11.7	10.6	20 jours	3.3 ‰

sulforhodamine G entre le 18 mai et le 6 juin, avec une concentration maximale autour du 20-21 mai, soit environ 18 jours après l'injection.

Les explications quant au tracé qu'a pu suivre le colorant relèvent du strict domaine des hypothèses. Il n'est pas exclu que le faisceau de failles situé à la hauteur de Réclère ait joué le rôle de drain en direction du Doubs. Ainsi, depuis le point d'injection, le traceur, aurait cheminé d'abord vers l'est, avant de virer vers le sud en empruntant ces failles qui recoupent plus ou moins perpendiculairement les structures géologiques.

Quelle est l'influence des précipitations ?

Les résultats d'un essai de traçage sont très différents selon qu'ils sont mis en œuvre en période de basses ou de hautes eaux. Lors de nos essais, jusqu'à la réapparition des colorants, les conditions hydrologiques furent celles de l'étiage*. Les vitesses calculées, de l'ordre de 10-20 m/h, sont faibles pour le karst. En conditions de crues, les vitesses de déplacement peuvent dépasser 100 voire 200 m/h. Certains essais ont même transité à plus de 500 m/h. Dans une région donnée où d'autres essais ont déjà eu lieu, on effectue dans la mesure du possible les nouvelles expériences dans les mêmes conditions afin que les résultats des uns et des autres soient comparables.

De fortes pluies peuvent survenir en cours d'essai, voire à la fin de la période de surveillance normale. Dans ce cas, des quantités de colorant circulant très lente-

ment ou piégé dans le karst, sont remises en circulation et réapparaissent tardivement. On voit donc que la durée de l'expérience doit être adaptable aux conditions météorologiques.

En Ajoie, les valeurs de précipitations journalières sont mesurées à deux stations: celles de Fahy et de Mormont. Toutes les données de l'ensemble des stations suisses sont répertoriées dans les annuaires pluviométriques édités tous les trimestres par l'Institut suisse de météorologie (ISM) à Zurich.

Lors de nos essais, les précipitations n'ont pas eu d'influences importantes sur les résultats obtenus, raison pour laquelle elles ne font pas l'objet de graphiques.

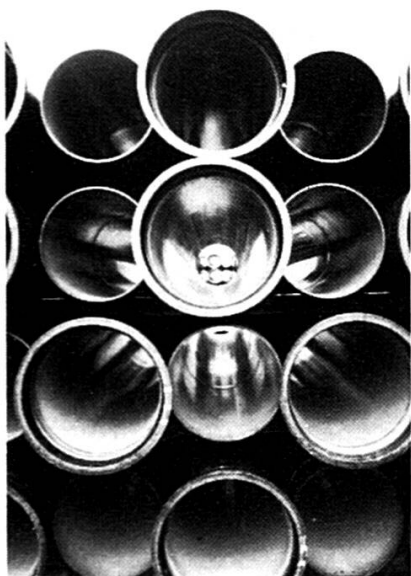
Interprétation globale des résultats

Le lecteur se reportera à la figure 10 pour prendre connaissance de nos nouvelles propositions de délimitation des bassins versants constitutifs de la région étudiée. Le document présente une interprétation qui se fonde à la fois sur les informations collectées au cours des essais antérieurs, scrupuleusement compilés sur la figure 9, ainsi que sur nos trois essais. Mais avant de commenter notre point de vue, nous nous sommes proposés d'approcher la notion de « zone de partage des eaux » notion qui, en quelque sorte, charpente notre interprétation.

Essai de définition : la notion de bassin versant

Un bassin versant est une région drainée par une rivière et ses affluents. Elle repré-

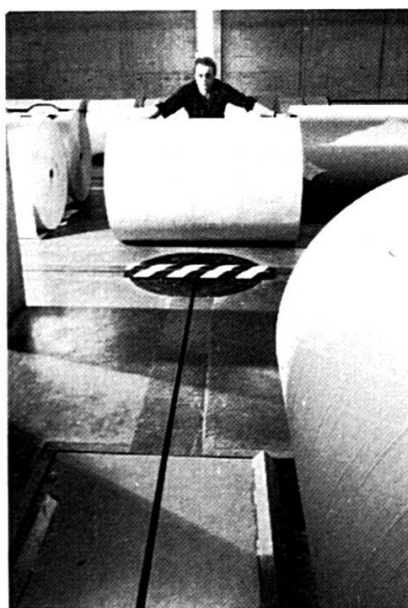
Von Roll dans le Jura



Tuyaux



Fonte



Manutention

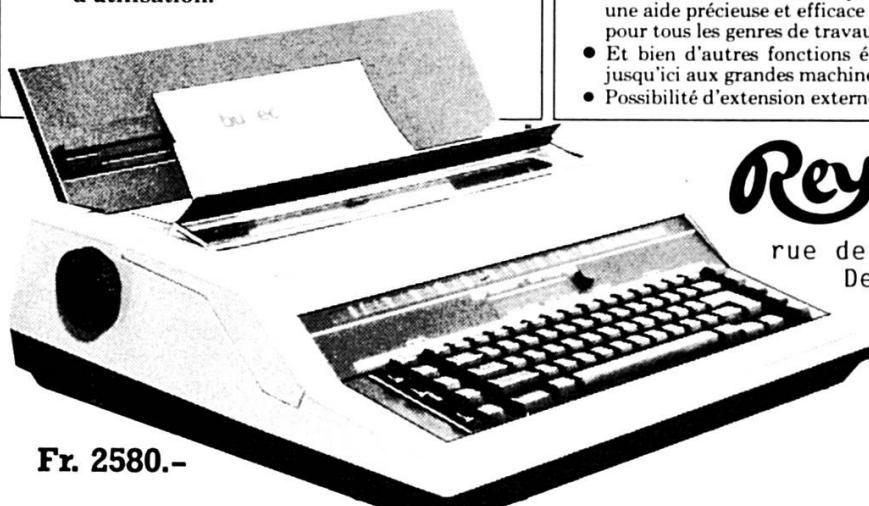
Von Roll SA
Département tuyaux
2763 Choindéz

Von Roll SA
Département machines et manutention
et département produits en fonte
2800 Delémont



**Enfin, le traitement de texte
à la portée de chacun !**

**La nouvelle BUTEC 200, une machine
à écrire étonnante par son prix,
sa capacité de mémoire et sa simplicité
d'utilisation.**



Fr. 2580.-

**NOUVEAU:
BUTEC 200 avec affichage et mémoire**

Ce modèle de classe supérieure offre entre autres:

- Annotations françaises
- Emploi très simple malgré ses performances extraordinaires
- Pour la première fois dans cette catégorie de machines, **le dialogue au display en langue française!**
- En exclusivité: tabulateur programmable, une aide précieuse et efficace pour tous les genres de travaux
- Et bien d'autres fonctions électroniques réservées jusqu'ici aux grandes machines de bureau
- Possibilité d'extension externe de la mémoire

Reymond

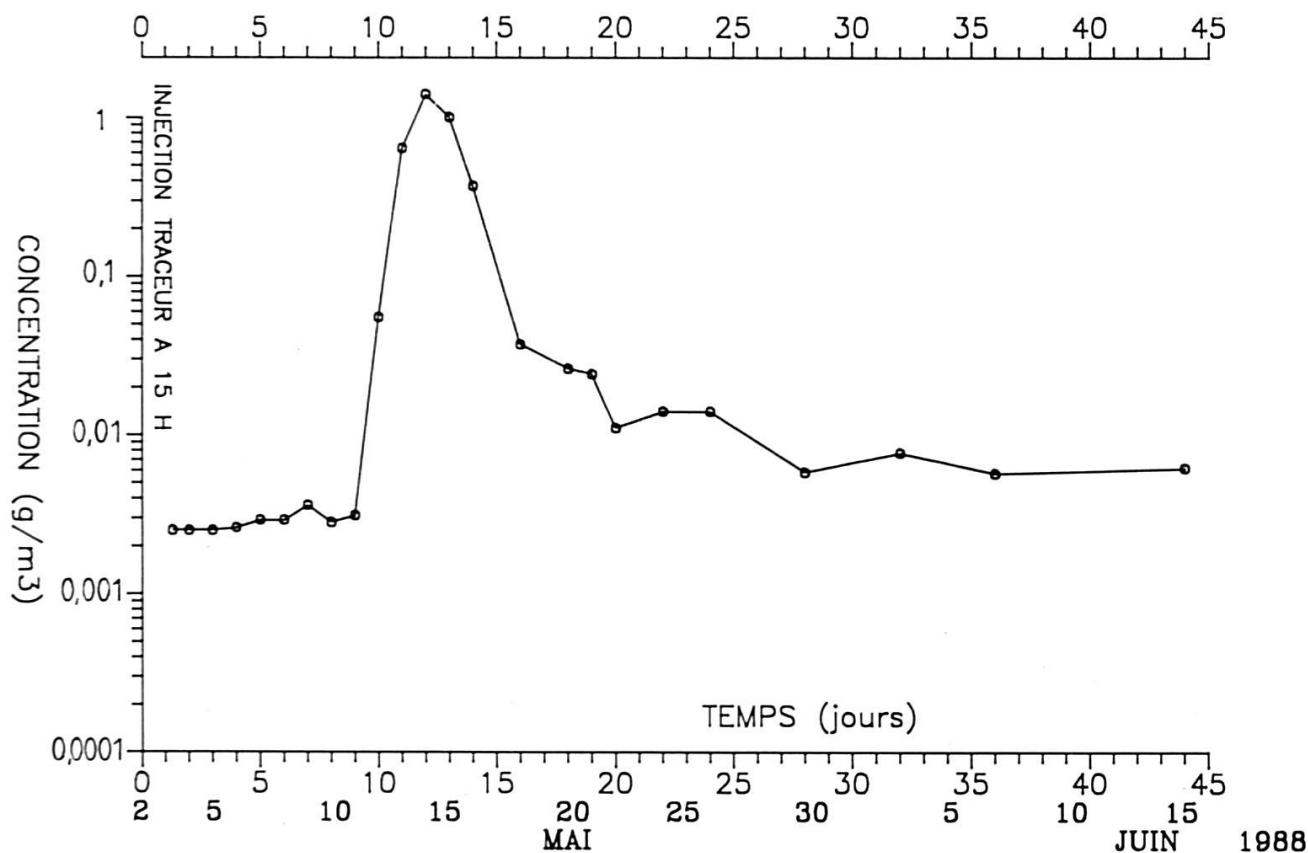
rue des Moulins 9
Delémont



PIGNONS ET ROUES D'HORLOGERIE ET D'APPAREILLAGE
DÉCOLLETAGE ET REPRISE EN TOUS GENRES
GALVANOPLASTIE - DÉROUILLAGE

HELIOS A. CHARPILLOZ S.A.
CH-2735 BEVILARD

Figure 6. Essai de Grandfontaine du 2 mai 1988
Courbe de restitution de naphtionate : source de la Doue



Le colorant a été injecté le 2 mai à 15 h (jour 0). Il a été décelé à la Doue à partir du dixième jour (12 mai) et a atteint une concentration maximale de un gramme par mètre cube le douzième jour (14 mai). Par la suite, le naphtionate a vu sa concentration diminuer progressivement jusqu'à sa limite de détection.

sente une surface alimentée par les précipitations. Chaque bassin versant est séparé de ceux qui l'entourent par une **ligne de partage des eaux**. Cette limite suit les lignes de crêtes bordant le bassin : il s'agit-là du **bassin versant topographique**.

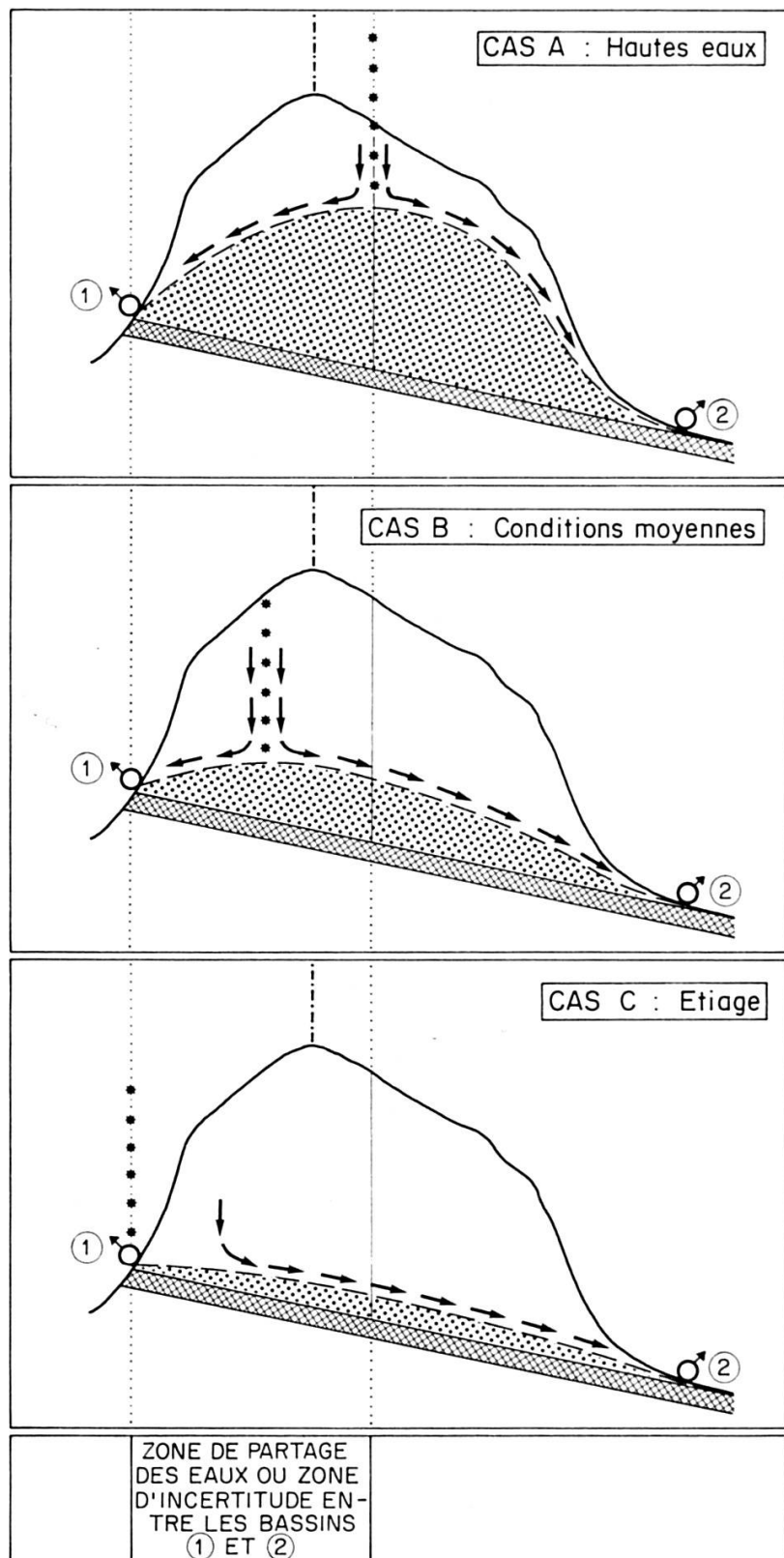
Le bassin versant pour les eaux souterraines est parfois différent du bassin versant topographique, particulièrement en paysage karstique, tel qu'il se présente en Haute-Ajoie. Il est alors indispensable de connaître au mieux le **bassin versant hydrogéologique** qui, seul, donne une image réelle des surfaces drainées vers tel ou tel exutoire*. De plus, si la limite topographique est fixe, la limite souterraine entre les systèmes d'écoulement

peut être variable en fonction des conditions hydrologiques. La figure 7 illustre un cas théorique de mobilité de limite souterraine entre deux bassins en fonction des quantités d'eau de pluie infiltrées. Entre autres choses, cela signifie qu'un colorant injecté dans le voisinage de cette limite variable peut ressortir dans l'un ou l'autre bassin versant qu'elle sépare, selon que les eaux sont basses (étiage*) ou hautes (crues).

La détermination exacte d'un bassin versant hydrogéologique se heurte à une autre difficulté : le phénomène de **difffluence** souvent observé dans les calcaires karstifiés. Par exemple, un ancien essai de traçage réalisé au Maira est

Figure 7. Variation de la limite entre deux bassins en fonction des conditions hydrogéologiques

SCHEMA THEORIQUE



Cette figure illustre trois états hydrogéologiques dans un massif karstique présenté en coupe verticale.

Cas A : La limite est déplacée vers la source 2 : les eaux de pluie qui ruissellent à gauche de la ligne de crête peuvent également, une fois infiltrées, s'écouler vers la droite ou la source 2. Les deux sources sont alimentées.

Cas B : La limite est déplacée vers la source 1 : les eaux de pluie qui ruissellent à gauche de la ligne de crête peuvent également, une fois infiltrées, s'écouler vers la droite ou la source 2. Les deux sources sont alimentées.

Cas C : La limite est à l'aplomb de la source 1. Toutes les eaux qui s'infiltrent sur le massif s'écoulent vers la source 2. La source 1 est momentanément tarie.

L'espace dans lequel se déplace la limite constitue la zone de partage des eaux. Sur la carte de la figure 10, elle est représentée par une surface hachurée.

ressorti à la fois à la source du Saivu (exutoire* principal de la Milandrine) et de la Font à Boncourt. La figure 8 illustre schématiquement ce cas.

Ces différents exemples nous enseignent que, généralement, des limites précises entre des bassins hydrogéologiques ne peuvent pas être tracées en domaine karstique. En conséquence, nous avons choisi de séparer les différents bassins versants constitutifs de la Haute-Ajoie par une surface appelée **zone de partage des eaux (ZPE)**; elle peut contenir :

a) une partie de bassin résultant de la mise en commun de deux ou plusieurs bassins comme l'illustre la figure 8. Dans ce cas, cette zone résulte d'un phénomène naturel irréductible.

b) une limite fixe (p.ex. une faille jouant le rôle de barrage, une couche géologique imperméable*) entre deux ou plusieurs bassins, dont la position n'est pas encore connue avec précision. Dans ce cas, seuls des essais de traçage répétés peuvent l'approcher petit à petit. Dans ce cas il s'agit d'une zone d'incertitude de nos connaissances, réductible avec le développement de celles-ci.

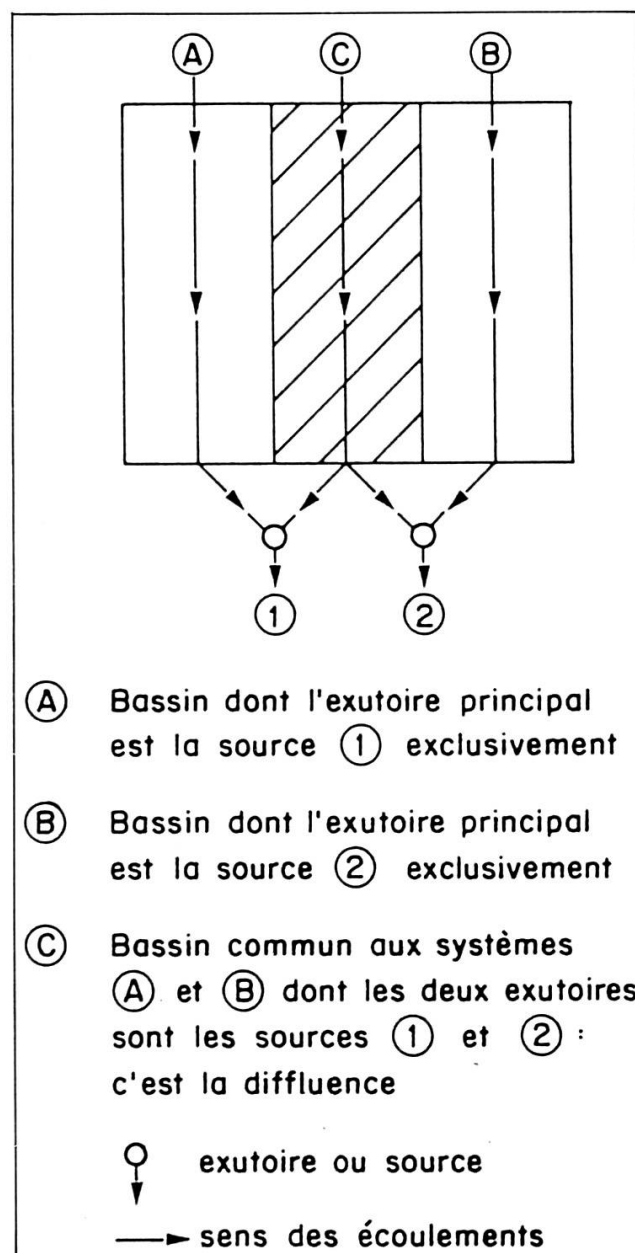
Lorsque l'on dessine un plan tel que la figure 10, on ne peut pas séparer ces deux éléments.

Notre proposition de zone de partage des eaux (figure 10) faite à la lumière des résultats du multitraçage du 2.5.1988 est donc un **instantané**. Elle est la photographie obtenue à la suite d'expériences réalisées dans des conditions données. Elle représente un état d'une situation évolutive; elle est ainsi logiquement soumise à des modifications au fur et à mesure que s'étoffe le catalogue de nos connaissances.

Propositions de zones de partage des eaux (ZPE)

Le multitraçage du 2 mai 1988 revêt une importance particulière pour la région en ce sens :

Figure 8. Illustration schématique du phénomène de difffluence en paysage karstique

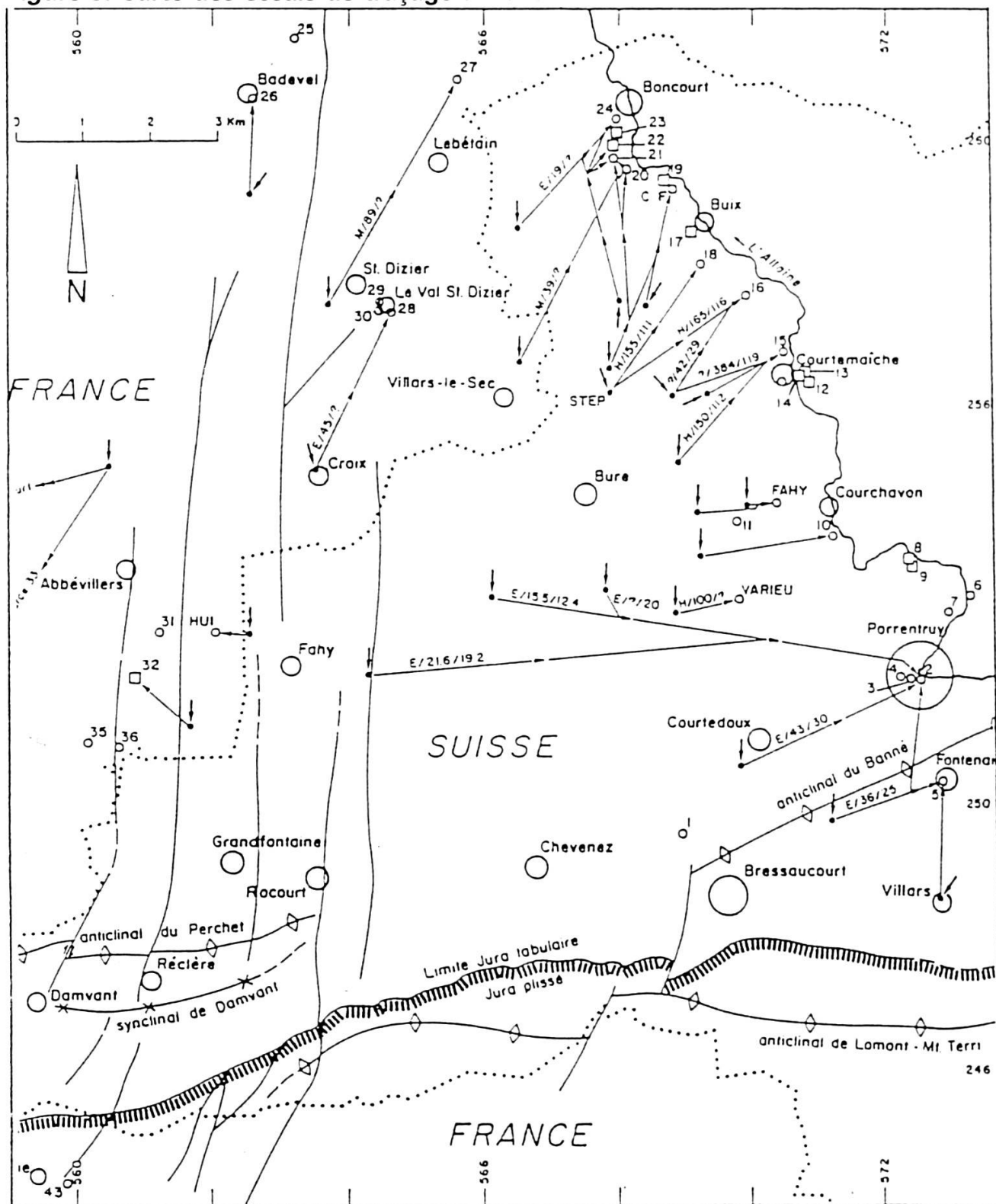


a) qu'il a fourni des connaissances nouvelles sur les circulations d'eau souterraines dans la partie occidentale du bassin de l'Ajoulote ;

b) qu'il a constitué le lien entre les travaux passés et la synthèse régionale que nous présentons sur la figure 10.

L'essai au nord de Fahy a révélé la relation souterraine entre le secteur proche de la frontière française et la source de la Beuchire. Dès lors, le bassin de l'Ajoulote a

Figure 9. Carte des essais de traçage antérieurs

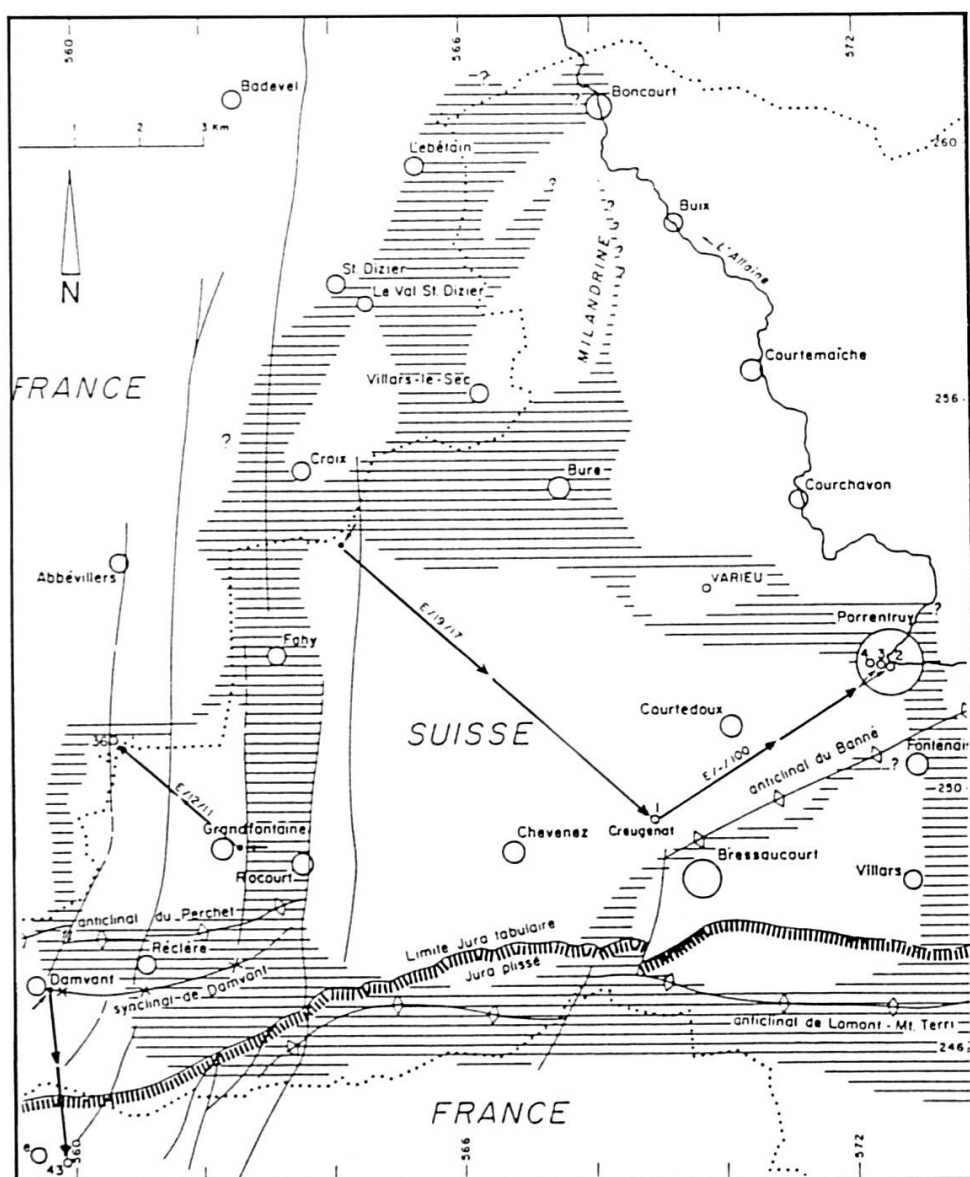


Essais de traçage

- ↓ point d'injection
 — direction schématique et rectiligne du cheminement souterrain du traceur
 — réapparition hors carte
 — conditions hydrogéologiques
 — vitesse maximale [m/h]
 — vitesse modale [m/h]

E = étiage H = hautes eaux M = conditions moyennes

**Figure 10. Multitracage du 2 mai 1988 en Haute-Ajoie
Proposition de zones de partage des eaux**



Géologie

- anticlinal
- synclinal
- faille visible et/ou supposée
- chevauchement Jura plissé - Jura tabulaire

Hydrogéologie

- 18 source } numérotés
- 9 puits } (voir tableau 2)
- zone de partage des eaux

Les surfaces hachurées horizontalement représentent les zones d'incertitude qui subsistent entre les différents bassins hydrogéologiques de la Haute-Ajoie : ce sont les zones de partage des eaux que seuls de futurs essais de coloration pourront petit à petit résorber. Pour ce qui est des parties de bassins où s'observe la diffuence, les limites entre deux bassins souterrains ne seront **jamais** des lignes précises de séparation. Il en va de même pour les limites variables entre des bassins en fonction de la hauteur des eaux souterraines (voir figure 7). Quant aux surfaces blanches, elles représentent les bassins hydrogéologiques connus à ce jour, sous réserve de modifications ultérieures en fonction de l'évolution de nos connaissances.

subi un petit ajustement par rapport à sa dimension évaluée suite aux essais de 1983 réalisés à l'est de la localité (voir figure 9 essais de traçages antérieurs). La surveillance continue du Creugenat a apporté une nouvelle preuve de sa relation avec la Beuchire.

Les essais de Grandfontaine et de Damvant ont rassemblé les éléments propres à donner une image complètement différente de la partie supérieure de l'Ajoulotte. Jusqu'ici, on ignorait que les eaux de Grandfontaine contribuent à alimenter la rivière française du Gland.

L'essai de Grandfontaine est tout particulièrement spectaculaire car il est un exemple concret de dysharmonie flagrante entre le bassin topographique et le bassin hydrogéologique, entre la surface et le monde souterrain. De plus, il nous conduit à dresser une ZPE plus précise qu'auparavant entre les bassins de l'Ajoulotte et de la Doue. Le lecteur remarquera que nous avons choisi de faire passer cette zone de partage entre les deux grandes failles de Grandfontaine et Rocourt. Cela reste une hypothèse vraisemblable à nos yeux, que seules de futures données pourront confirmer, modifier ou infirmer.

Pour ce qui touche aux autres bassins, à savoir ceux de Croix – Val St-Dizier, de la Milandrine et de la Basse-Allaine, ils n'ont fait l'objet que de réglages de détail.

Le choix de délimiter les différents bassins hydrogéologiques par le moyen de surfaces illustre l'importance des secteurs souterrains qui dérobent encore à nos connaissances leurs contours réels. **Paradoxalement, ce multitraçage a contribué à augmenter les surfaces d'incertitudes. Les essais de Fahy, Damvant et Grandfontaine posent en fait plus de questions qu'ils n'en résolvent.**

Il n'est pas naturellement possible, dans le cadre du Bulletin de l'ADIJ de mentionner tous les raisonnements et déductions qui nous ont amenés à proposer cette synthèse régionale. Cependant, tout lecteur

intéressé par le détail de nos propositions peut se procurer le bulletin N° 8 du Centre d'hydrogéologie de Neuchâtel. Destinée à un public scientifique, cette publication annuelle contient les informations susceptibles de toucher toute personne qui voudrait approfondir le sujet.

Portée pratique des résultats

La mise en évidence de l'écoulement des eaux usées du village de Grandfontaine vers la résurgence de la Doue est importante ; en effet les autorités françaises ont décidé d'entreprendre une étude multidisciplinaire visant au réaménagement de la rivière du Gland, aussi bien en ce qui concerne sa morphologie que sa qualité bactériologique et biologique. Les eaux de la Doue constituant l'un des apports principaux du Gland, l'amélioration de leur qualité chimique est l'une des clés du succès de cette entreprise.

Il est maintenant démontré que les eaux usées de Damvant contaminent une source, non utilisée comme eau de boisson, mais située sur territoire français. En conséquence, il conviendra, dans ce cas également de prendre les mesures adéquates.

La résurgence de la Beuchire, dont les eaux charrient de grandes quantités d'argiles et de limons lors de chaque épisode pluvieux important, voit son aire alimentaire se préciser vers le nord de Fahy en direction de Croix. On peut donc raisonnablement avancer que l'érosion intensive des sols de la place d'armes de Bure due au fort ruissellement concentré vers des points d'infiltrations (dolines*) préférentiels, constitue une des causes majeures de la forte turbidité* observée de manière endémique à la Beuchire. Les travaux d'assainissement actuellement en cours sur la place d'armes traduisent les gros efforts consentis pour contrer cette évolution.

Le but général des études entreprises est atteint : les pouvoirs publics ont en main

les informations nécessaires à une prise de décision touchant aux priorités en matière d'épuration des eaux et à la mise au point d'un concept d'utilisation des eaux souterraines.

Conclusions

Le multitraçage du 2 mai 1988 réalisé à Fahy, Grandfontaine et Damvant a constitué une étape importante vers une meilleure connaissance des écoulements souterrains de Haute-Ajoie.

Dans le domaine de l'expérience scientifique, il a mis en lumière des relations souterraines jusqu'ici inconnues. Les nouvelles interprétations qui en découlent sont fondées sur une vision moderne de l'hydrogéologie. Il en résulte une image des écoulements souterrains différente de celles auxquelles on nous avait habitué en Haute-Ajoie. Elle est aussi plus correcte même si, paradoxalement, elle contribue à agrandir, pour l'instant, le domaine qui échappe à nos connaissances.

La portée pratique de ce multitraçage, ainsi que de tous les essais antérieurs, est essentielle. Ils débouchent sur une synthèse régionale importante dont on tiendra compte en fonction des problèmes suivants :

– La société sollicite de plus en plus les eaux souterraines. Dans ce sens, l'expérience scientifique apporte les éléments nécessaires à l'évaluation des conséquences de ces sollicitations sur la santé des eaux.

– La connaissance des relations souterraines entre des pertes naturelles et des sources doit faciliter une prise de conscience de la population et de ses élus. La pratique qui consiste à rejeter les eaux usées directement dans les ruisseaux souterrains conduit inmanquablement à la contamination des sources, donc d'un bien nécessaire à l'homme.

La Haute-Ajoie est un exemple et un cas d'école. La prise de conscience des problèmes liés aux eaux a déjà conduit à des réalisations concrètes. C'est un premier pas vers une gestion cohérente des eaux de cette région. A court terme, de nouveaux essais de traçages viendront compléter ceux de Damvant et Grandfontaine. Dans ce cadre, les investigations tendront à déterminer notamment tous les exutoires* pollués par des rejets d'eaux usées, tant en Suisse que chez nos voisins français.

P.-A. G., B. S., F. S., A. L.

Association pour la défense des intérêts jurassiens

Co-présidents :

Jean-Baptiste Beuret, Delémont

Philippe Eichenberg, Moutier

Secrétaire général

et rédacteur responsable :

Pierre-Alain Gentil, Delémont

Administration de l'ADIJ et rédaction des «intérêts de nos régions»

Rue du Château 2, case postale 344, 2740 Moutier 1, ☎ 032 93 41 51, c. c. p. 25-2086-1

Glossaire

AQUIFERE : Massif de roches perméables * et l'eau qu'il contient.

ANTICLINAL : Dans le Jura, généralement plissement en forme de bosse d'une alternance de calcaires et de marnes.

COMBE : Petite vallée jurassienne.

DOLINE : Forme élémentaire de dépression karstique fermée, circulaire ou elliptique. Constitue souvent une perte naturelle pour les eaux de ruissellement.

EMPOSIEUX : Synonyme local d'une doline *.

ETIAGE : Période de l'année pendant laquelle les débits des sources et cours d'eau sont les plus faibles. Utilisé abusivement, mais répandu, pour toutes périodes de basses eaux.

EXUTOIRE : Toute issue par laquelle l'eau sort, ou peut sortir, d'un aquifère *.

GEOMORPHOLOGIE : Science des formes et de l'évolution du relief terrestre.

IMPERMEABLE : Qualifie un niveau théoriquement impénétrable et non traversable par un fluide (eau) dans les conditions naturelles des aquifères. Les marnes oxfordiennes constituent le niveau imperméable régional de l'Ajoie.

JURASSIQUE : Période de l'ère secondaire; les roches qui la constituent, ici les calcaires et les marnes, ont un âge compris entre 140 et 200 millions d'années. Le Jurassique est subdivisé en trois parties, du plus récent au plus ancien : Jurassique supérieur (Malm), moyen et inférieur.

KARST, KARSTIQUE : Cf. explication détaillée en page 17.

MALM : Voir Jurassique

MARNES OXFORDIENNES : Marnes localisées à la base du Malm *.

NAPPE ALLUVIALE : Eau contenue dans les vides (interstices) se trouvant entre des éléments (graviers, sables...) déposés par un cours d'eau.

OUVALAS : Dépression karstique formée par la jonction de plusieurs dolines (diamètre hecto à kilométrique) où toutes les eaux de ruissellement s'infiltrant (exemple : sur le plateau de Bure).

PERENNE : Durable. Qualifie un cours d'eau ou une source qui ne tarit jamais.

PERMEABLE : Qui peut être pénétré et traversé par un fluide, en particulier par de l'eau.

RESEAU HYDROGRAPHIQUE : Ensemble des cours d'eau superficiels.

RESURGENCE : Type de source karstique alimentée au moins en partie par la perte de cours d'eau superficiels.

SPECTROFLUORIMETRE : Appareil mesurant la concentration de colorants fluorescents dans un échantillon d'eau (exemples : fluorescéine, sulforhodamine, naphthionate...)

Bibliographie

GIGON, R. & WENGER, R. (1986) : Inventaire spéléologique de la Suisse. Tome II : Canton du Jura. Porrentruy

LIEVRE, L. (1940) : Le karst jurassien (épuisé)

SCHWEIZER, H.U. (1970) : Beiträge zur Hydrologie der Ajoie (Berner Jura). Beit z. Geol. Schweiz Nr. 17.