

DOCUMENT PUBLIC

*Étude des nappes aquifères au voisinage du Doubs
navigable et de ses dérivations entre la limite est
du département du Doubs
et la confluence avec la Saône
Phase 1*

Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 2002-EAU-302

juin 2002
BRGM/RP-51463-FR

DOCUMENT PUBLIC

*Étude des nappes aquifères au voisinage du Doubs
navigable et de ses dérivations entre la limite est
du département du Doubs
et la confluence avec la Saône
Phase 1*

Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 2002-EAU-302

S. Schomburgk, D. Jauffret, T. Pointet
avec la collaboration de
A. Longet et N. Ruppert

juin 2002
BRGM/RP-51463-FR



Mots-clés : Hydrogéologie, Alluvion, Karst, Canal Freycinet, Doubs, Nappes, Connexion hydraulique, Vulnérabilité, AEP, Piézométrie, Gravier, Jurassique, Calcaire.

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

Schomburgk S., Jauffret D., Pointet T. avec la collaboration de Longet A. et Ruppert N. (2002) – Étude des nappes aquifères au voisinage du Doubs navigable et de ses dérivations entre la limite est du département du Doubs et la confluence avec la Saône. BRGM/RP-51463-FR, 74 p., 19 fig., 11 tabl., 30 pl., 3 ann. (pl. et ann. sur CD-Rom).

© BRGM, 2002, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Dans la perspective d'une **réhabilitation** de la liaison fluviale navigable à petit gabarit reliant le Rhône au Rhin par la vallée du Doubs, le BRGM a été chargé par « Voies Navigables de France » (VNF) de produire une étude hydrogéologique des systèmes en liaison hydraulique, ou susceptibles d'être en liaison hydraulique, avec les voies d'eau de surface que sont la rivière et le canal, du Rhin jusqu'à l'aboutissement à la Saône, (Saône non comprise).

Les travaux comprendront dans une première phase :

- la connaissance de la ressource : nappes alluviales et nappes sous-jacentes,
- la reconnaissance des captages, droits d'eau et droits d'usage,
- l'étude des interférences nappes-canal.

Cette étude fait référence à la notion de **nappes d'accompagnement**, qui s'applique explicitement à ce type de milieux, et qui aborde les inter-influences au plan du régime hydraulique et de la qualité des eaux. Les nappes dites d'accompagnement n'ont pas une définition générique absolue et leur délimitation, liée à la présence et à la densité d'ouvrages d'exploitation, comporte une part de subjectivité. Pour cette raison, l'étude a été étendue, au-delà des nappes d'accompagnement, aux **formations aquifères sous-jacentes**, selon une bande de 10 kilomètres de large située de part et d'autre des voies navigables concernées (5 km en rive droite et 5 km en rive gauche). Les nappes sous-jacentes, de milieux calcaires, sont parfois très productives et se drainent gravitairement vers les nappes alluviales dont elles constituent l'«amont hydraulique». On peut donc dire que :

- le Doubs constitue, dans tout le domaine d'étude, le drain majeur des aquifères environnants, qui sont en quasi-totalité de nature carbonatée et souvent karstiques ;
- ces aquifères alimentent le Doubs tout au long de son cours, soit directement, soit par le relais des nappes alluviales.

Localement, la **différence de potentiel hydraulique** « surface / souterrain », et par voie de conséquence le sens des échanges éventuels, peut s'inverser. C'est le cas de certaines zones de captage dont l'exploitation abaisse le niveau de la nappe. Temporairement aussi, la différence de potentiel hydraulique peut s'inverser. C'est le cas des périodes de crues au cours desquelles le niveau du Doubs est momentanément plus élevé que celui des nappes. L'effet moteur des échanges éventuels est lié aux charges hydrauliques respectives, et l'étude en fait une interprétation fine.

Indépendamment de l'effet moteur, la réalité de ces **échanges** et leur importance est contrôlée par la perméabilité des matériaux qui tapissent le fond et les berges des voies d'eau. Par nature, le canal a été réalisé en tirant avantage de formations alluvionnaires quasi-imperméables et cette imperméabilité naturelle a probablement été renforcée

techniquement afin de réduire au minimum les pertes du canal. Cet état de fait prévaut encore actuellement et l'on observe une quasi étanchéité du canal malgré une position en élévation par rapport au niveau de la plaine alluviale (le canal est le plus souvent en remblai, remblai d'autant plus élevé que l'on se déplace vers la partie aval des biefs).

Les **données** nécessaires ont été recueillies auprès des différents services publics régionaux ou départementaux (DIREN, DDASS, DDAF, VNF, CNR, BRGM).

La présentation des données sous format MAPINFO permettra leur consultation, leur conservation ainsi que des actualisations. Le format permet entre autres options, une visualisation sous la forme de cartes adaptées.

Sommaire

1. Introduction	11
1.1. Contexte et objectifs	11
1.2. Méthodologie et moyens	11
1.3. Localisation du secteur étudié	13
2. Géologie et morphologie	15
2.1. Morphologie régionale	15
2.2. Géologie.....	16
2.2.1. Lithostratigraphie	16
2.3. Tectonique	21
3. Hydrogéologie et connexion hydraulique	23
3.1. Hydrogéologie régionale	23
3.2. Unités d'échanges nappe - cours d'eau - canal.....	26
3.2.1. Méthode de découpage par secteur.....	26
3.2.2. Description géologique et caractérisation hydraulique	26
3.2.3. Dispositifs de suivi des nappes.....	47
3.2.4. Piézométrie et interprétation.....	48
3.3. Synthèse des inter-relations	54
3.3.1. Niveaux du Doubs mesurés par des échelles.....	54
3.3.2. Modes d'échanges naturels.....	55
3.3.3. Modes d'échanges liés à la voie navigable.....	57
4. Vulnérabilité des captages	59
4.1. Fonctionnement et types d'aménagement sur la voie navigable.....	59

4.2. Captages vulnérables	59
5. Inventaire des captages et usages	63
5.1. Origine des données utilisées	63
5.2. Inventaire des captages	63
5.2.1. Captages AEP	63
5.2.2. Captages industriels et agricoles exploités	64
5.3. Hydrochimie des captages AEP	64
5.4. Eau du Doubs, hydrochimie	66
5.5. Dossiers bibliographiques.....	68
6. Conclusion	69
7. Bibliographie.....	71

Liste des figures

Fig. 1 - Localisation de la zone d'étude	14
Fig. 2 - Topographique de la zone d'étude sous forme de bloc-diagramme.....	15
Fig. 3 - Série lithostratigraphique du Trias et du Jurassique dans la région bizontine du Jura.....	17
Fig. 4 - Schéma géologique du secteur de Montbéliard	20
Fig. 5 - Fonctionnement hydrogéologique type de la vallée du Doubs au droit de la zone d'étude. Relations hydrodynamiques entre la rivière, la nappe alluviale et la nappe du versant (ici nappes karstiques).	24
Fig. 6 - Légende du schéma de la géologie en profil transversal	28
Fig. 7 - Profil 1. Schéma de la géologie en profil transversal.....	29
Fig. 8 - Profil 3. Schéma de la géologie en profil transversal.....	33
Fig. 9 - Profil 6. Schéma de la géologie en profil transversal.....	36
Fig. 10 - Profil 8. Schéma de la géologie en profil transversal.....	39

Fig. 11 - Profil 9. Schéma de la géologie en profil transversal.....	40
Fig. 12 - Profil 10. Schéma de la géologie en profil transversal.....	41
Fig. 13 - Profil 12. Schéma de la géologie en profil transversal.....	44
Fig. 14 - Fonctionnement de l'écoulement en hautes et basses eaux.....	46
Fig. 15 - Carte des piézomètres démontrant une répartition des points hétérogène.	49
Fig. 16a - Carte piézométrique (parties NE et SW) par rapport à la topographie.....	51
Fig. 16b - Carte piézométrique (parties NE et SW) en période de crue (lignes bleues) et en période de basses eaux (lignes rouges).....	55
Fig. 16c - Carte piézométrique (segment SW) en période de crue (lignes bleues) et en période de basses eaux (lignes rouges).....	56
Fig. 17 - Chroniques du niveau du Doubs.....	54
Fig. 18 - Schéma du profil en long de la voie navigable (le Doubs lui-même et le canal), les cotes des crues et le niveau piézométrique en période de crue et d'étiage.	56
Fig. 19 - Épaisseur de la couche imperméable (argiles, marnes ou limons).	60

Liste des tableaux

Tabl. 1 - Caractéristiques géologiques et morphologiques des tronçons de la zone d'étude.	27
Tabl. 2 - Liste des captages (AEPs, eaux pour l'industrie, eaux pour l'agriculture).	31
Tabl. 3 - Liste des captages (AEPs, eaux pour l'industrie, eaux pour l'agriculture).	38
Tabl. 4 - Liste des captages (AEPs, eaux pour l'industrie, eaux pour l'agriculture).	43
Tabl. 5 - Nombre de points de mesures par tronçon.	48
Tabl. 6 - Vulnérabilité des captages.....	61
Tabl. 7 - Eau du Doubs, valeurs statistiques du pH.	66
Tabl. 8 - Eau du Doubs, valeurs statistiques de la conductivité.....	67
Tabl. 9 - Eau du Doubs, valeurs statistiques de l'oxygène dissous.....	67
Tabl. 10 - Eau du Doubs, valeurs statistiques des micropolluants minéraux.....	67
Tabl. 11 - Eau du Doubs, valeurs statistiques des hydrocarbures et autres organiques...	68

Liste des annexes

(CD-Rom)

- Ann. 1 - Caractéristiques des captages (AEP, industrie, agriculture) : tableaux, graphiques et cartes.
- Ann. 2 - Caractéristiques des piézomètres : tableaux, graphiques et cartes.
- Ann. 3 - Tous les points figurent dans différentes couches sous MAPINFO avec les tableaux correspondant : CD-Rom.

Liste des planches

(CD-Rom)

- Pl. 1 - Cartes des piézomètres, tronçon 1
- Pl. 2 - Cartes des piézomètres, tronçon 2
- Pl. 3 - Cartes des piézomètres, tronçon 3
- Pl. 4 - Cartes des piézomètres, tronçon 4
- Pl. 5 - Cartes des piézomètres, tronçon 5
- Pl. 6 - Cartes des piézomètres, tronçon 6
- Pl. 7 - Cartes des piézomètres, tronçon 7
- Pl. 8 - Cartes des piézomètres, tronçon 8
- Pl. 9 - Cartes des piézomètres, tronçon 9
- Pl. 10 - Cartes des piézomètres, tronçon 10
- Pl. 11 - Cartes des piézomètres, tronçon 11
- Pl. 12 - Cartes des piézomètres, tronçon 12
- Pl. 13 - Cartes des piézomètres, tronçon 13
- Pl. 14 - Carte des piézomètres de la zone d'étude, en fonction de leur profondeur
- Pl. 15 - Carte de situation des captages exploités
- Pl. 16 - Carte des puits d'exploitation par tronçon (tronçon 1)
- Pl. 17 - Carte des puits d'exploitation par tronçon (tronçon 2)
- Pl. 18 - Carte des puits d'exploitation par tronçon (tronçon 3)
- Pl. 19 - Carte des puits d'exploitation par tronçon (tronçon 4)
- Pl. 20 - Carte des puits d'exploitation par tronçon (tronçon 5)
- Pl. 21 - Carte des puits d'exploitation par tronçon (tronçon 6)
- Pl. 22 - Carte des puits d'exploitation par tronçon (tronçon 7)

- Pl. 23 - Carte des puits d'exploitation par tronçon (tronçon 8)
- Pl. 24 - Carte des puits d'exploitation par tronçon (tronçon 9)
- Pl. 25 - Carte des puits d'exploitation par tronçon (tronçon 10)
- Pl. 26 - Carte des puits d'exploitation par tronçon (tronçon 11)
- Pl. 27 - Carte des puits d'exploitation par tronçon (tronçon 12)
- Pl. 28 - Carte des puits d'exploitation par tronçon (tronçon 13)
- Pl. 29 - Carte de situation des sources et des inondations (1983)
- Pl. 30 - Carte de situation de l'inondation centennale et des digues existantes

1. Introduction

1.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Une étude hydraulique et hydrogéologique le long du Doubs et du canal Freycinet fut réalisée, dans le cadre du projet de liaison à grand gabarit Rhin-Rhône en région de la Franche-Comté.

L'abandon du projet de liaison à grand gabarit rend nécessaire la réhabilitation de l'ancien dispositif à petit gabarit qui comprend des tronçons en voies d'eau naturelles (le Doubs) et des tronçons en canaux. Avant d'engager un processus de réhabilitation et de maintenance, une étude hydraulique et hydrogéologique est nécessaire pour connaître la direction et le sens des échanges d'eau entre les voies d'eau de surface et les nappes.

L'étude examinera tour à tour les connexions hydrauliques et les différentiels de charge hydraulique susceptibles de dynamiser les échanges, en tous points et en toutes circonstances, entre le canal ou le Doubs navigable et les nappes accompagnatrices, puis les connexions de ces dernières avec les nappes karstiques des calcaires sous-jacents.

1.2. MÉTHODOLOGIE ET MOYENS

L'étude s'appuie principalement sur les données disponibles relatives aux niveaux des eaux superficielles et des eaux souterraines et sur l'inventaire des zones d'exploitation, recueillis auprès de différents organismes publics régionaux ou départementaux, à savoir :

- Voies Navigables de France (VNF) et études de la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) pour les données relatives niveaux, niveaux des écluses et niveaux de crues ;
- Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) – Service Eau Orléans et du Service géologique régional de Bourgogne pour les cartes, les études régionales, les coupes de terrain, les caractéristiques du sous sol et les données relatives aux piezomètres et aux captages ;
- Direction Régionale de l'Environnement (DIREN) pour la cartographie des zones inondables ;
- Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse (RMC) pour les données relatives aux périmètres de protection des captages et aux prélèvements en nappes ;
- Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS) (départements du Doubs et du Jura) pour les données relatives aux caractéristiques chimiques des eaux ;
- Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF) (départements du Doubs et du Jura) les périmètres de protection et les données d'exploitation des captages ;
- La banque HYDRO pour la connaissance descriptive des voies d'eau de surface.

L'étude des interférences nappes-canal a été précédée par une acquisition étendue des données relatives aux nappes provenant des sources d'informations suivantes :

- étude de la géologie régionale, des études existantes, des sources existantes, des systèmes de nappes alluviales et nappes sous-jacentes (BRGM, CNR, VNF, ANTEA...);
- acquisition des cartes de Voies Navigables de France comme les plans des biefs avec des différents niveaux (VNF);
- reconnaissance des captages dans la vallée du Doubs et le long du canal Freycinet avec des analyses physico-chimiques (DDASS, DDAF);
- inventaire des données piézométriques existantes dans la banque de données piézométriques (BRGM);
- banque hydrologique pour les niveaux et volumes du Doubs (MATE, Direction de l'Eau);
- cartes des zones d'inondations pendant les différentes crues (DIREN).

L'inventaire et la synthèse de données de captages et des données piézométriques ont été accompagnées d'une phase très importante de rassemblement, dépouillement et analyse des données.

La zone d'étude a été découpée en treize tronçons, formant des unités hydrogéologiques se rapportant à des nappes karstiques séparées les unes des autres. Sur un plan général de MAPINFO, sont présentés pour chacun de ces tronçons :

- les communes voisines, les villes, les cours d'eau, et la topographie;
- les données piézométriques et hydrauliques;
- les captages (exploitations de l'eau potable, eau pour l'industrie et l'agriculture);
- les sources sur les versants;
- les zones inondables.

Les données correspondantes, les caractéristiques spécifiques et l'hydrochimie se trouvent sur des tableaux et en graphiques sous forme de fichiers informatiques de MAPINFO (.tab) ou/et en format de Excel (.xls).

L'ensemble des données a été superposé sur ces cartes selon ces treize tronçons. Des cartes complémentaires fournissent :

- l'ensemble des rivières et la topographie qui influencent fortement le niveau dans les nappes de calcaire;
- les isopièzes dans la période de la crue de 1983 et les contours pendant une des périodes de niveau bas (été 1983) (les isopièzes ont été reconstituées dans les zones mal renseignées par interpolation en prenant en compte l'inverse de la distance aux points connus élevé au carré).

Afin d'obtenir les différents niveaux des eaux superficielles et des eaux souterraines, nous avons tracé les profils suivants :

- des coupes transversales géologiques dans les zones caractéristiques des différents tronçons ; on obtient ainsi un aperçu de la structure, des différentes nappes et des niveaux topographiques liées au niveau des eaux souterraines ;
- la piézométrie autour des échelles du Doubs, ainsi le niveau du Doubs peut être visualisé en relation avec des eaux souterraines ;
- un profil longitudinal avec l'ensemble des niveaux suivants :
 - . la voie d'eau, avec la succession des tronçons du canal et du Doubs navigable,
 - . les échelles en période normale et en période des crues de 1983 et 1990,
 - . les niveaux hauts de la nappe représentés par la crue de mai 1983,
 - . et une période de basses eaux de la nappe (août 1983).

Cet ensemble de données permet la compréhension du comportement hydraulique de ces différentes unités, notamment l'inversion du sens des relations nappe/voie navigable entre l'amont et l'aval de chaque bief.

1.3. LOCALISATION DU SECTEUR ÉTUDIÉ

La zone d'étude s'étale dans la région de la Franche-Comté, tout le long de la vallée du Doubs, entre Dole et Montbéliard et le long du canal Freycinet sur une largeur de 10 km. Cette zone inclut d'une part la vallée dans laquelle le canal ou le Doubs coulent en milieu alluvionnaire et d'autre part les versants voisins et les plateaux formés de calcaire.

Le Doubs navigable ou non navigable s'étend sur une longueur de 170 km. Le canal Freycinet double le Doubs sur les parties non navigables. Le canal continue à l'est sur 10 km et longe ici la rivière Allan jusqu'à la limite nord-est du département du Doubs. À l'ouest, la liaison du canal Freycinet atteint la Saône en traversant Symphorien-sur-Saône (département Côte-d'Or), la longueur du canal atteint ainsi 102 km.

La figure 1 montre les rivières (bleu clair), le Doubs navigable (bleu marine), le canal (rouge), les sources (points bleus), les écluses (ancres noires) et la position des profils transversaux (traits rouges).

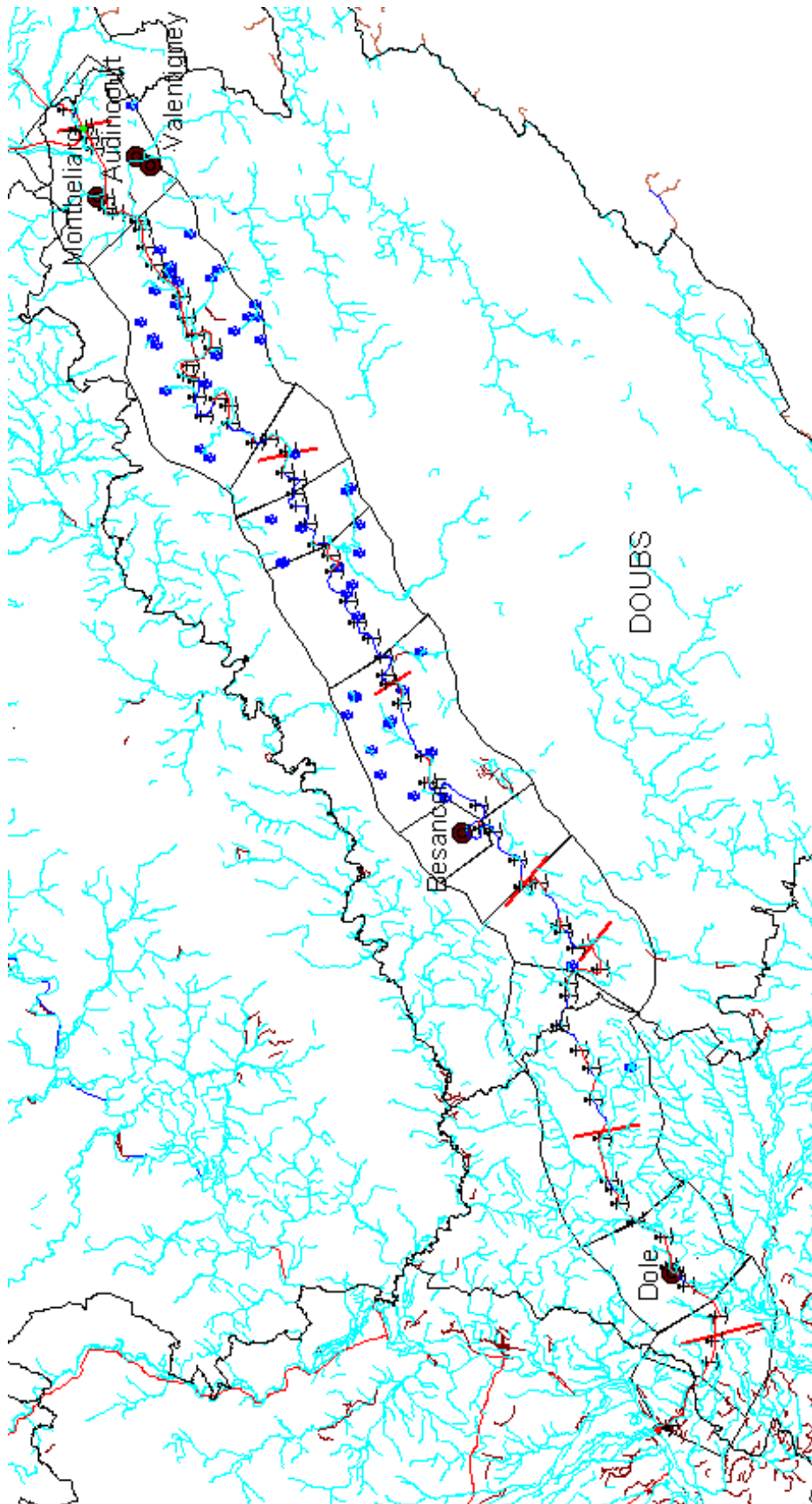


Fig. 1 - Localisation de la zone d'étude.

Rivières (bleu clair) ; Doubs navigable (bleu marine) ; le canal (rouge) ; les sources (points bleus) ; les écluses (ancres noires) ; la position des profils transversaux (traits rouges).

2. Géologie et morphologie

2.1. MORPHOLOGIE RÉGIONALE

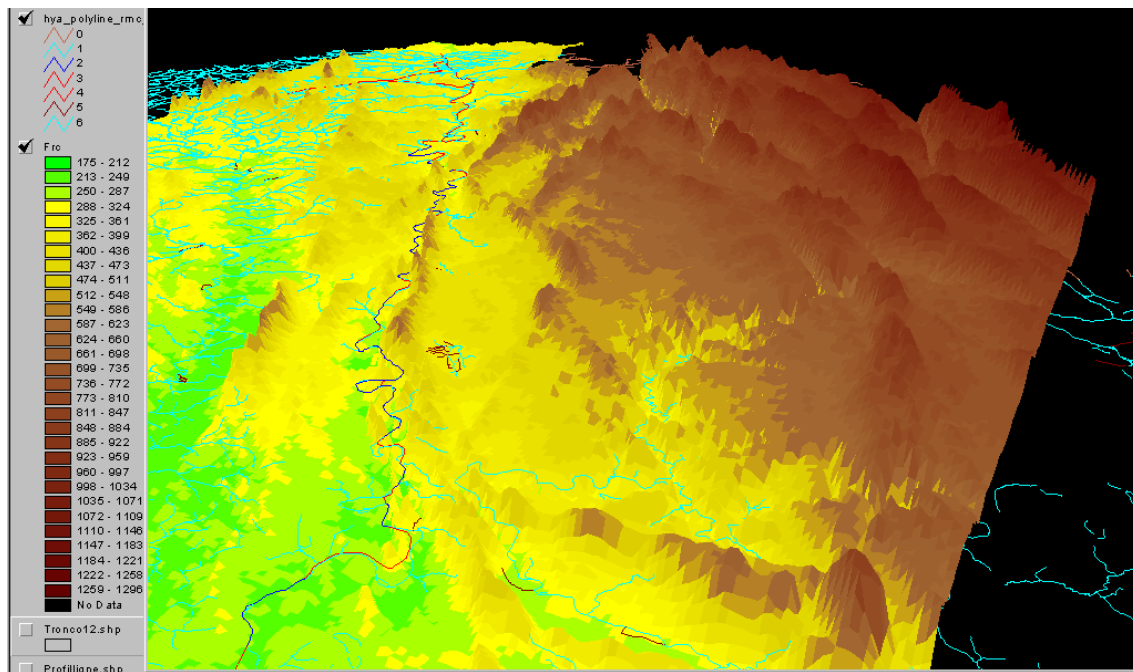


Fig. 2 - Topographique de la zone d'étude sous forme de bloc-diagramme.

Cette vue centrée sur la bordure nord du Jura, en regardant vers le nord-est, montre la vallée du Doubs (1/3 gauche de l'image) et les interfluvies en rive droite et en rive gauche qui s'inscrivent dans les premiers reliefs jurassiens.

D'un point de vue géologique et morphologique, on distingue cinq grands ensembles de l'amont vers l'aval :

- d'Allenjoie à Montbéliard (vallée de l'Allan) : la vallée (de l'Allan) encaissée dans les formations tertiaires. Dans ces formations tendres, la vallée est peu encaissée et la plaine alluviale large de près de 1,5 km ;
- de Montbéliard à Clerval (vallée de l'Allan de Montbéliard au confluent, puis vallée du Doubs du confluent à Clerval), la vallée du Doubs s'inscrit dans les formations du Jurassique supérieur. Elle est bordée par des reliefs assez mous, tout au moins par rapport à l'ensemble suivant. La largeur de la plaine alluviale est comprise entre moins de 500 m à près de 1 km ;
- de Clerval à Routelle : la vallée du Doubs est étroite et bordée de reliefs vigoureux constitués essentiellement de Jurassique moyen ; la structure est complexe, plissée et faillée avec de nombreux anticlinaux à pendages parfois proches de la verticale ; ces structures ont une orientation voisine de celle du cours de Doubs, c'est-à-dire

ENE/WSW ; les formations du Jurassique supérieur apparaissent sur certains tronçons, notamment aux abords de Besançon ; localement, les argiles du Lias peuvent former des seuils en travers de la vallée ; compte tenu de la vigueur des reliefs, la plaine alluviale est toujours étroite, rarement plus de 500 m, et disparaît même parfois ;

- de Routelle à Choisey : la vallée du Doubs est de nouveau peu encaissée ; la plaine alluviale atteint une largeur de 1 à 1,5 km et repose toujours sur les formations jurassiques (moyen et supérieur) ; ces dernières n'affleurent que sur les versants de la vallée et sont, sur les plateaux, recouvertes de formations plio-quadernaires ;
- de Choisey à Saint-Symphorien-sur-Saône : la zone d'étude ne suit plus le Doubs mais le canal ; ce trajet correspond à un ancien cours du Doubs, court-circuitant le confluent actuel Saône-Doubs ; cette zone repose sur les formations du fossé de Bresse du Quaternaire.

Sur la zone d'étude, le Doubs ne reçoit aucun affluent important en dehors, tout à fait à l'amont, de l'Allan grossi de la Bourbeuse. L'Allan apporte au Doubs des eaux issues des formations tertiaires du Sundgau et cristallines du versant sud des Vosges par son affluent la Bourbeuse. En dehors de l'Allan et jusqu'à Routelle, le Doubs ne reçoit que de petits affluents issus des formations jurassiques. À l'aval de Routelle, les affluents du Doubs, toujours peu importants, apportent, en rive droite, des eaux issues, outre des formations jurassiques, des formations triasiques et cristallines du horst de la Serre et, en rive gauche, des eaux issues des formations plio-quadernaires (forêt de Chaux).

2.2. GÉOLOGIE

2.2.1. Lithostratigraphie

Dans le domaine de l'étude, la série stratigraphique recoupée par la vallée du Doubs s'étend du Lias supérieur (Toarcien-Aalénien) au Kimméridgien. Très localement, apparaissent de petites fenêtres de Trias. Les extrémités du domaine (à l'est de Montbéliard et à l'ouest de Choisey) sont occupées, quant à elles, par des formations tertiaires ou quadernaires.

La série lithostratigraphique va être décrite de bas en haut (fig. 3).

Trias

Les faciès du Trias sont de type germanique :

- Trias inférieur détritique (Bundsandstein) plus ou moins complet mais qui n'affleure nulle part dans le domaine de l'étude ;
- Trias moyen (Muschelkalk) essentiellement carbonaté (grès coquilliers, dolomies, calcaires) qui n'affleure non plus nulle part dans le domaine de l'étude ;
- Trias supérieur (Keuper) comportant des argiles à gypse ainsi que du sel, des bancs de dolomie et les marnes irisées supérieures ; son épaisseur est évaluée à 50 ou 60 m ;
- Rhétien comportant des argilites noires à passées gréseuses dont la puissance peut atteindre 20 à 25 m.

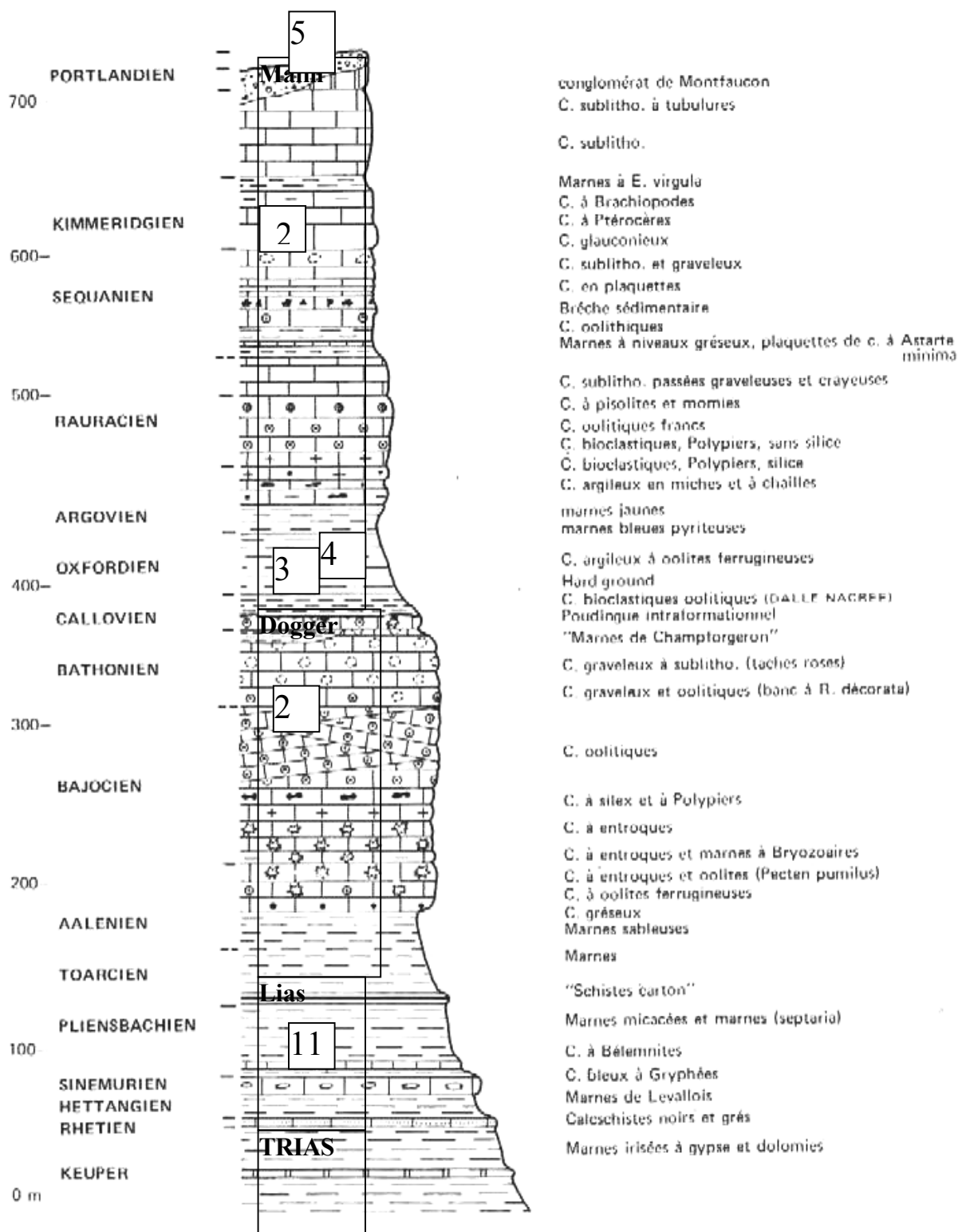


Fig. 3 - Série lithostratigraphique du Trias et du Jurassique dans la région bizontrine du Jura.

[1] : Lias, marnes ; [2] : calcaires ; [3] : Oxfordien, marnes ; [4] Oxfordien supérieur, calcaires ; [5] : Tertiaire et Quaternaire (alluvions). Les indices numériques entre crochets correspondent aux principales entités hydrogéologiques citées dans le texte et renvoient aux alinéas dans lesquels ces entités sont discutées.

Jurassique inférieur ou Lias [1]

Il est essentiellement marneux.

- Hettangien et Sinémurien formés de calcaires noirs, quelques fois ferrugineux à la base et caractérisés par l'abondance des Gryphées ; ces deux niveaux ont une puissance cumulée de 10 à 15 m ;
- Lotharingien comportant des marnes (15 à 20 m de puissance), puis un banc de calcaire à Gryphées (5 à 10 m de puissance) ;
- Carixien et Domérien composés d'une série marneuse de 30 à 50 m de puissance surmontée de marno-calcaires sur 10 à 15 m de puissance ;
- enfin le Toarcien essentiellement argileux (de bas en haut, schistes cartons, marnes puis marnes micacées) dont la puissance atteint 100 m environ.

Jurassique moyen ou Dogger [2]

C'est à partir de la base du Jurassique moyen que la série devient essentiellement calcaire.

- Aalénien-Bajocien, composé de différents faciès calcaires (calcaires ferrugineux à la base, calcaire à entroques, calcaire à polypiers, calcaires oolithiques au sommet) ; la puissance de cet ensemble atteint 120 m environ ;
- Bathonien-Callovien, composé également de différents faciès calcaires mais assez souvent oolithiques et, au milieu de la série, de faciès « Comblanchien » (calcaire lithographique) ; au sommet, les faciès deviennent marneux ; la puissance de cette série atteint une centaine de mètres.

Jurassique supérieur ou Malm [2] [3] [4]

Tout en restant majoritairement calcaire, cet ensemble contient des niveaux marneux importants.

- Oxfordien inférieur à moyen, composé de marnes bleues dont la puissance va de 15 m à l'ouest à 45 m à l'est [3] ;
- Oxfordien moyen (faciès « Argovien », puis « Rauracien »), constitué de faciès variés mais souvent marneux (marnes, calcaires hydrauliques, calcaires oolithiques) ; la puissance totale peut dépasser 100 m ;
- Oxfordien supérieur (ensemble dit de faciès « Séquanien » et parfois rattaché au Kimméridgien), presque entièrement calcaire [4] à l'ouest du domaine (Dole), devenant plus marneux vers Besançon (marnes à Astartes à la base et calcaire de Besançon au sommet) ; la puissance de l'Oxfordien supérieur est comprise entre 50 et 100 m ;
- Kimméridgien inférieur (prolongement du faciès « Séquanien »), essentiellement calcaire, d'une puissance pouvant dépasser 50 m [2] ;
- Kimméridgien supérieur, constitué de marno-calcaires (calcaires et marnes à *Exogyra virgula*) dont la puissance atteint 30 m ;

- Portlandien, constitué de calcaires massifs ; ces calcaires affleurent très peu dans le domaine de l'étude et leur puissance totale n'est donc pas connue, probablement près de 50 m.

Formations postérieures au Jurassique supérieur [2] (Tertiaire et Quaternaire [5])

À la fin du Crétacé, l'ensemble de la région a connu une phase d'émersion et de mouvements tectoniques qui ont entraîné une érosion importante des formations antérieures, notamment du Crétacé. Des formations postérieures au Jurassique supérieur ne s'observent qu'aux extrémités ouest et est du domaine :

- à l'ouest de Routelle, des formations plio-quaternaires reposent directement sur le Jurassique supérieur qui s'ennoie rapidement sous le fossé de Bresse ; ces formations plio-quaternaires sont constituées, d'est en ouest, par les cailloutis de la forêt de Chauv (de Routelle à Dole en rive gauche du Doubs) -cailloutis siliceux à matrice argilo-sableuse en surface, plus variés en profondeur avec des galets calcaires-, puis, à l'ouest de Choisey, par le complexe des marnes de Bresse, ensemble de niveaux d'argiles pures ou plus ou moins sableuses et de marnes ou de sables fins argileux ;
- à l'est de Montbéliard (fig. 4), une faille fait disparaître les formations jurassiques qui sont recouvertes de formations éocènes (argiles à granules ferrugineux) et oligocènes (marnes jaunes à brunes avec quelques niveaux de conglomérats à éléments calcaires).

Alluvions [5]

Les alluvions récentes du Doubs se surimposent aux différents niveaux de la série lithostratigraphique décrite ci-dessus. Elles occupent la plaine inondable dont la largeur dépend de la nature -de la dureté notamment- des formations sous-jacentes (de moins de 500 m, au point même de disparaître localement à 1,5 km). L'épaisseur de ces alluvions est de 3 à 5 m, mais peut atteindre en certains endroits 10 m. Elles sont sablo-graveleuses, mais plus grossières à la base qu'au sommet, sont intercalées et peuvent être recouvertes de limons d'inondation peu perméables. Signalons qu'entre le confluent de l'Allan à l'amont et Routelle à l'aval existent quelques seuils rocheux dans le lit du Doubs au droit desquels les alluvions sont absentes (Dampierre-sur-le-Doubs, Colombier-Fontaine...). Les alluvions récentes du Doubs sont à éléments calcaires dominants.

À l'aval de Choisey, le Doubs débouche dans la plaine de Bresse et la plaine alluviale devient beaucoup plus large (plusieurs kilomètres). Les alluvions graveleuses, d'une épaisseur proche de 10 m, y sont recouvertes de limons argileux de plusieurs mètres d'épaisseur.

Enfin, on note entre Montbéliard et Dole, plusieurs placages d'alluvions anciennes à des altitudes de 20 à 50 m au-dessus du lit du cours d'eau. Ces alluvions anciennes sont altérées (matrice souvent argileuse) et de nature essentiellement siliceuse (ancien cours du Doubs grossit de l'Aar descendant des Alpes).

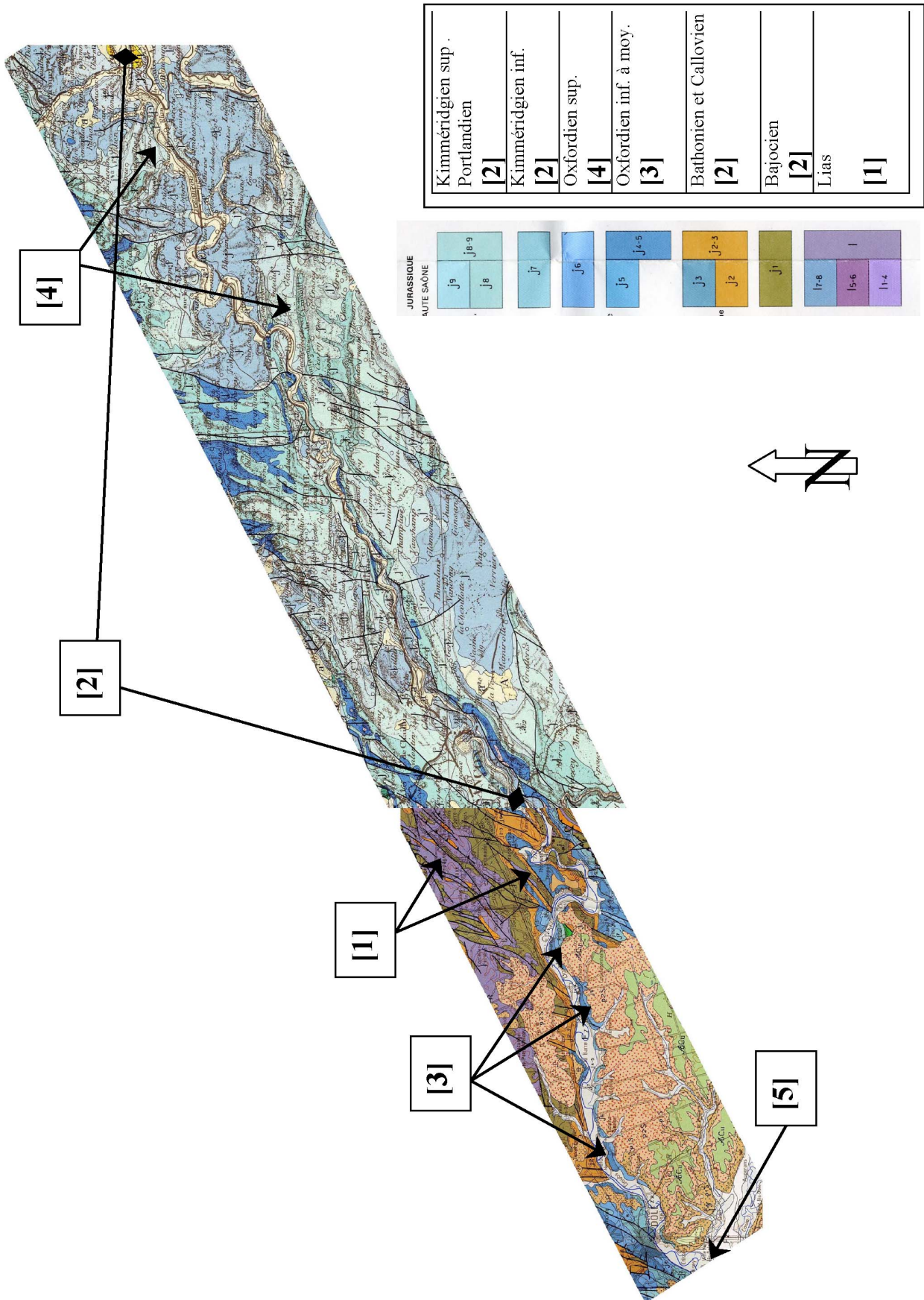


Fig. 4 - Schéma géologique du secteur de Montbéliard. (extrait de la carte géologique de la France à 1/250 000 et 1/320 000 de Dijon, n° 19).

2.3. TECTONIQUE

Les plissements jurassiens ont produit l'essentiel des reliefs rencontrés. On distingue plusieurs secteurs à caractéristiques différentes. D'est en ouest, c'est-à-dire de l'amont vers l'aval, on peut définir, d'un point de vue structurale et tectonique, cinq zones :

- **à l'est de Montbéliard** : les formations, tertiaires, sont horizontales ou peu inclinées et discordantes sur les formations jurassiques sous-jacentes. C'est le remplissage du golfe de Montbéliard, extrémité sud-ouest du fossé d'Alsace ;
- **de Montbéliard à la cluse de Clerval** : le Doubs coule dans l'axe d'une large gouttière synclinale d'axe grossièrement est-ouest, la plupart du temps au niveau des calcaires de l'Oxfordien supérieur-Kimméridgien inférieur. Ceux-ci forment de part et d'autre de la vallée, mais surtout au sud (rive gauche), des surfaces structurales assez étendue. À environ 10 km au sud du Doubs, cette structure vient buter contre l'anticlinal très redressé de la montagne du Lomont, d'orientation est-ouest. Vers le nord (rive droite), le flanc nord de cette gouttière synclinale se prolonge en une série monoclinale (de pendage sud) faisant apparaître toutes les formations sous-jacentes jusqu'au Keuper, à 10 km au nord du cours du Doubs. Cette structure est, en outre découpée de failles nord-sud à valeur de décrochements, au point que localement -Dampierre-sur-le-Doubs, Colombier-Fontaine- les calcaires bajociens apparaissent au fond de la vallée ;
- **de la cluse de Clerval à Routelle** : la structure, sur ce tronçon, devient particulièrement complexe. Globalement, on a la superposition de structures plissées, redressées, faillées, voire chevauchantes, d'orientation EW à ENE/WSW avec des structures de failles décrochantes d'orientation NS à NNE/SSW. Il s'agit de l'anticlinal du Lomont relayé par le faisceau bisontin, l'orientation passant progressivement d'est/ouest au nord à nord-est/sud-ouest à l'aval de Besançon. Le cours du Doubs suit rigoureusement l'axe du faisceau bisontin où affleure surtout le Jurassique moyen calcaire. Au cœur des anticlinaux apparaît le Lias argileux en plusieurs points de la vallée (notamment, de l'amont vers l'aval, Clerval, Hyèvre, Laissey, Aveney, Osselle). Par ailleurs, au cœur des synclinaux apparaissent les formations du Jurassique supérieur, notamment aux abords de Besançon. Au delà de la vallée, au nord comme au sud, on retrouve des structures plus simples :
 - . au sud, de 1 à 5 km de la vallée, des zones tabulaires de Jurassique supérieur (localement de Jurassique moyen) en plateaux de 400 à 450 m d'altitude qui viennent buter -tectoniquement, par un fort redressement des couches, voire un déversement, morphologiquement, par des dépressions fermées à rôle hydrogéologique important (voir plus loin)- contre le faisceau bisontin dont les crêtes atteignent 500 à 550 m d'altitude ; cette zone tabulaire est limitée, au sud, par le faisceau de Mamirole (structure anticlinale légèrement chevauchante) et appartient à l'unité dénommée plateau d'Ornans,
 - . au nord, à environ 1 km au-delà de la vallée, la structure se modifie tout en restant relativement complexe ; globalement, les niveaux forment une série monoclinale à pendage sud faisant donc apparaître, vers le nord, des niveaux de plus en plus anciens jusqu'au Lias ; au-delà vers le nord, cette structure chevauche les formations crétacées de la vallée de l'Oignon ; cette structure est découpée, d'une part par des

failles NNE/SSW et, d'autre part, par d'autres faisceaux plissés faisant localement apparaître le Trias supérieur ; cette zone appartient à l'unité jurassienne dénommée avant-mont ;

- **de Routelle à Choisey** : la structure du faisceau bisontin et des avants-monts se poursuit, mais est en grande partie recouverte de formations plio-quaternaires (sables et cailloutis), recouvrement partiel en rive droite, recouvrement presque total en rive gauche (forêt de Chaux). Au sud-ouest de Choisey, les formations jurassiques disparaissent par ennoisement sous les formations tertiaires et plio-quaternaires de remplissage du fossé de Bresse.

3. Hydrogéologie et connexion hydraulique

3.1. HYDROGÉOLOGIE RÉGIONALE

Dans toute la partie nord du massif jurassien, le substratum des aquifères karstiques des calcaires jurassiques est constitué par le niveau des argiles du Lias.

Sur toute la zone de l'étude (de Montbéliard à Dole), la rivière Doubs constitue le drain majeur des aquifères présents de part et d'autre de la vallée. Il constitue ainsi le niveau de base de ces aquifères, notamment des aquifères karstiques.

Ce mode de fonctionnement est différent de la situation très particulière qui règne sur le Haut-Doubs, aux abords et à l'amont de Pontarlier. Dans ce secteur, le Doubs, installé sur un substratum de calcaires karstifiés, en position topographiquement élevée par rapport aux vallées environnantes (notamment la vallée de la Loue) perd son eau au profit de ces vallées (pertes du Doubs à Pontarlier et réapparition aux sources de la Loue, 300 m plus bas).

Les limites d'extension de sa zone d'appel vis-à-vis des aquifères sont conditionnées :

- d'une part, par la présence, au nord et au sud, d'autres cours d'eau également drains majeurs : au nord l'Ognon, au sud la Loue ;
- et d'autre part, par des données structurales, notamment la remontée des argiles du Lias.

Dans le détail, les éléments structuraux de la géologie sont les suivants :

a) Au nord de la vallée du Doubs, la limite des aquifères drainés par le Doubs est déterminée par les affleurements des argiles du Lias [1], à environ 5 à 7 km au nord de la vallée ; au delà de cette distance, les eaux s'écoulent vers l'Ognon (fig. 5).

b) Au sud, on doit distinguer deux secteurs :

- **de Montbéliard à Besançon**, compte tenu des surface presque exclusivement occupées par les formations calcaires [2], les limites sont plus difficiles à évaluer ; elles peuvent être tracées approximativement à l'aide des résultats fournis par les nombreuses expériences de traçage réalisée sur des karsts (« Inventaire des circulations souterraines reconnues par traçage en Franche-Comté, 1987 ») ; il apparaît alors que le Doubs draine les aquifères, vers le Sud, jusqu'à 10 à 15 km (le faisceau de Mamirolle avec sa remontée de Lias [1], constitue une limite partielle) ; au-delà, les eaux du karst s'écoulent vers la Loue ;
- **de Besançon à Routelle**, le premier anticlinal du faisceau de Besançon, prolongé au sud-ouest par les structures du faisceau de Quingey, fait remonter le Lias [1] à parfois plus de 400 m d'altitude, ce qui constitue un barrage aux écoulements souterrains vers le Doubs ; c'est la Loue qui draine les aquifères karstiques ; le Doubs ne draine pas ces aquifères au delà de 2 km de sa rive gauche et même parfois moins.

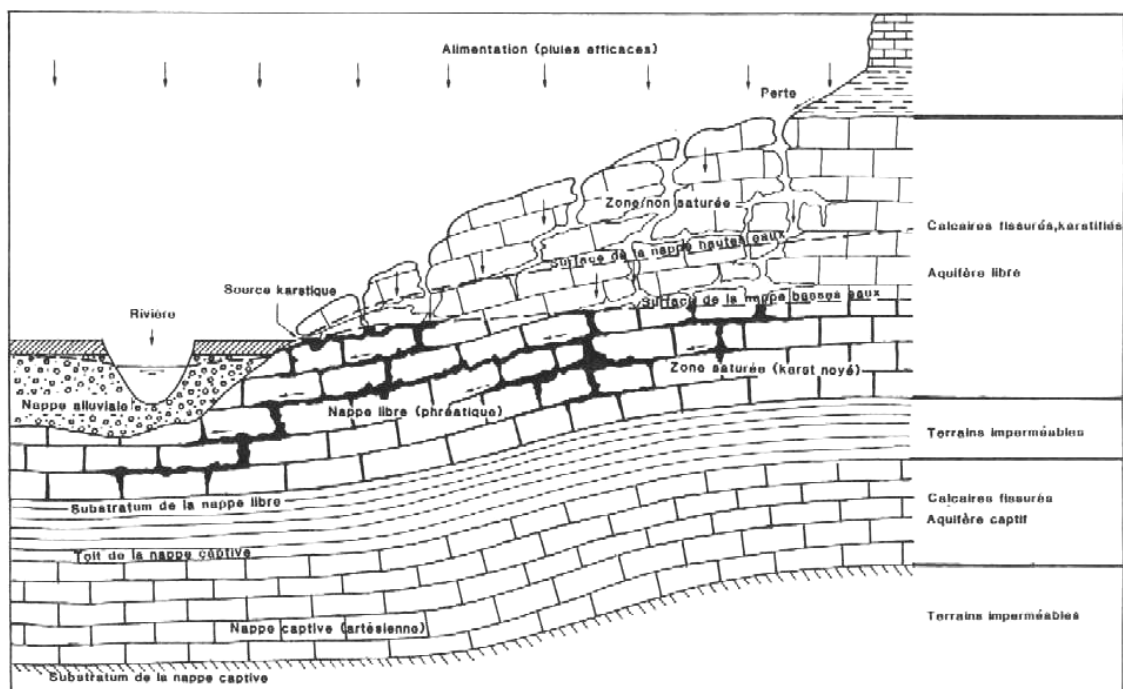


Fig. 5 - Fonctionnement hydrogéologique type de la vallée du Doubs au droit de la zone d'étude. Relations hydrodynamiques entre la rivière, la nappe alluviale et la nappe du versant (ici nappes karstiques).

Extrait du rapport BRGM Franche-Comté R 35673 FRC 4S 92. On observe la position haute du toit de la nappe située dans le versant calcaire, qui contribue à alimenter constamment par sous-écoulement la nappe alluviale. In fine, l'une et l'autre ont pour exutoire la rivière.

À l'aval de Routelle, compte tenu des surfaces majoritairement occupées par des formations tertiaires à porosité d'interstices et niveaux argileux, la zone d'appel des eaux souterraines du Doubs peut être assimilée à son bassin de surface.

c) Au sein de la masse calcaire (Jurassique moyen et supérieur [2]), les quelques niveaux marneux existants peuvent déterminer des aquifères karstiques relativement indépendants. À vrai dire, le seul niveau marneux susceptible d'isoler deux karts est le niveau marneux de l'Oxfordien inférieur (faciès argovien) [3], l'aquifère karstique supérieur étant celui des formations de l'Oxfordien supérieur et du Kimméridgien, l'aquifère karstique inférieur étant celui des formations du Dogger.

L'aquifère des calcaires de l'Oxfordien supérieur [4] n'est réellement important qu'en deux zones :

- d'une part **entre Montbéliard et Clerval**, la vallée s'inscrivant dans les formations du Jurassique supérieur, c'est cet aquifère qui affleure et est drainé par le cours d'eau ;
- d'autre part, au sud de la vallée à **l'aval de Clerval** où les zones tabulaires, notamment l'unité du plateau d'Ornans, occupent des surfaces importantes ; cet aquifère y donne naissance à plusieurs sources, en particulier les sources de l'Audeux à Eysson, les sources de Champlive, de Bouclans, d'Osse, de Nancray ; par ailleurs, là où les marnes

affleurent sur des surfaces non négligeables, des cuvettes marécageuses se forment, notamment en bordure sud du faisceau bisontin avec les dépressions de Champlive, Nancray et Saône ; ces zones marécageuses se vident par déversement dans des pertes au contact des affleurements des calcaires du Jurassiques moyen et ressortent dans la vallée du Doubs pour les dépressions de Champlive et de Nancray, dans la vallée de la Loue pour la dépression de Saône (en hautes eaux cependant, les pertes des marais de Saône peuvent ressortir dans la vallée du Doubs à la source d'Arcier).

En rive droite du Doubs à l'aval de Clerval, l'aquifère karstique du Jurassique supérieur, compte tenu de la structure, n'existe que localement ; il ne forme une zone d'émergence notable qu'à Novillars-Amagney.

d) Les exutoires de ces aquifères karstiques dans la vallée du Doubs se situent :

- soit dans la vallée même, au pied des versants, à la faveur de l'affleurement de niveaux peu perméables (Lias ou Oxfordien inférieur) remontés par la tectonique (failles ou plis) du faisceau bisontin ;
- soit au fond des rares vallées affluentes qui descendent vers le Doubs, notamment la vallée du Cusancin et la basse vallée de l'Audeux, du fait de l'affleurement, dans ces deux vallées, du substratum argileux du Lias ;
- soit, probablement aussi par des venues d'eau diffuses à travers les alluvions du Doubs puis directement dans son lit.

Ces différents exutoires sont souvent les aboutissements des traçages karstiques réalisés par des injections à des distances de la vallée pouvant atteindre jusqu'à 5 à 7 km.

e) À l'ouest de Choisey, la zone d'étude, qui correspond à un ancien cours du Doubs, ne repose plus sur les calcaires jurassiques mais sur **un vaste système alluvial** [5] correspondant aux dernières phases de comblement du fossé de Bresse. On distingue de haut en bas :

- les alluvions anciennes déposées par cet ancien cours du Doubs ; ces alluvions sont également grossières mais recouvertes de plusieurs mètres d'argiles ou de limons ;
- la formation de Saint-Côme constituée d'abord de 10 à 15 m d'argile, puis de 5 à 8 m de graviers grossiers contenant une nappe captive.

La nappe des alluvions récentes du Doubs, de Montbéliard à Choisey, se surimpose à ces aquifères karstiques. Compte tenu du matériau assez grossier, ses caractéristiques hydrodynamiques sont bonnes ; par ailleurs sa perméabilité d'interstices assure une relative filtration de l'eau qui y circule.

Cette nappe des alluvions reçoit son alimentation :

- des précipitations sur les alluvions elles-mêmes ; cette alimentation est peu abondante compte tenu du peu d'extension des alluvions ;

- des aquifères karstiques drainés par le Doubs dont certains exutoires, comme évoqué ci-dessus, doivent se déverser dans les alluvions ;
- en périodes de crues seulement, du Doubs lui-même qui peut avoir un niveau plus élevé que le niveau piézométrique de cette nappe.

3.2. UNITÉS D'ÉCHANGES NAPPE - COURS D'EAU - CANAL

3.2.1. Méthode de découpage par secteur

Afin de mettre en place une méthodologie de travail, la zone d'étude a été découpée en plusieurs tronçons. Ils respectent les découpages géologiques et morphologiques correspondant chacun à des entités hydrogéologiques qui séparent hydrauliquement les nappes de calcaire karstiques.

Les formations qui séparent ces nappes sont des couches de marnes et argiles du Lias (L7-8, [1]), qui apparaissent dans les cœurs des synclinaux érodés ainsi que les couches marneuses et schisteuses du Lias (L5, [1]), la formation des marnes bleues de l'Oxfordien et de l'Argovien (J4-5, [3]), ou bien la formation des argiles et marno-calcaires de l'Oxfordien (J4, [3]). Ainsi, nous obtenons 13 zones ou systèmes de nappes de karsts séparés l'un de l'autre.

Le tableau 1 ci-après donne les éléments synthétiques des secteurs classés de l'amont vers l'aval.

3.2.2. Description géologique et caractérisation hydraulique

Sept profils géologiques transversales ont été dessinés dans les zones caractéristiques des différents tronçons. On obtient ainsi un aperçu de la structure des différentes nappes et des niveaux topographiques liées au niveau des eaux souterraines. Les flèches représentent les échanges existants entre le karst et les alluvions. La figure 1 donne la position des profils (traits rouges) d'amont en aval. Ils sont regroupés sur les figures 7 à 13 avec la légende (fig. 6).

Cette section donne la description géologique et hydrogéologique de chaque secteur. En fin de description, on indique le volume total des prélèvements d'eau, tous usages confondus (AEP, agricole, industriel) par secteurs. Le total des prélèvements a été calculé sur l'ensemble des points (forage, puits ou prise en eau de surface) situés à moins de 1 km de la voie navigable, car ces points sont susceptibles d'être sous influence des cours d'eau. La liste de ces points de prélèvements figure dans les tableaux 2 à 4 (la liste complète des points à moins de 5 km se trouve dans l'annexe 1).

Type de Morph./Géol	Début - Fin Villes	Début - Fin P.K. [km]	Biefs inclus	Alluvions quaternaire	Recouvrement	Substratum	Nappe	Limite géologique en aval
"golfé" tert. de Mombélard, vallées de la Bourbeuse et de l'Allan	Mézire (Les Forges) Voujeaucourt	160-176	8 - 17	sablo-grav. fréquemment argileux 2 à 5 m	limono-argileux 1-3,5 m	Jur. sup. marno-calcaire	localement en charge	début des structures complexes avec failles
large synclinale, flancs formaent vastes plateaux	Voujeaucourt - Clerval	126 - 160	17- 32	grossières 1 - 3 m, très variables	sablo-limoneux, 0,30 - 3 m, très variables	Jur. sup. calc. ou marno-calc., seuils à Voujeaucourt, Dampierre, Colombier-Fontaine, interval. : marnes de Oxfordien	bon drainage	centre d'une synclinale E-W avec, dans le cœur, 17-8 (marnes et schistes), qui coupe la vallée avec couches vers 180° (S)
faiseau bisontin, plissée, vallée très étroite	Clerval - Routelle x5	66 - 126	33bis -					
Méandr./axe coupée	Clerval - Hyèvre-Paroisse	117 - 126	33bis- 36					L.5 (marnes et schistes) coupent la vallée NE vers SW avec couches vers 160° (SE)
Méandr./axe coupée	Hyèvre-Paroisse - Baume-les-Dames	110.5 - 117	37-39					centre d'une synclinale E-W avec, dans le cœur, L5 (marnes et schistes) qui coupe vallée E vers W
Méandr./axe coupée	Baume-les-Dames - Laissay	97 - 110.5	40-43					centre d'une synclinale E-W avec, dans le cœur, 17-8 (marnes et schistes), qui coupe vallée avec couches vers 180° (S)
Méandr./axe coupée	Laissey - BesançonE	74.5 - 97	45 - 46bis	sables grav. < 5 m, très variables	sablo-limoneux, 0,5 - 3,5 m, très variables	Trias sup. - Jur. sup., calcaires et séries marnées, formation change fréquemment	transition avec le substratum, drainage assez bien	centre d'une synclinale E-W avec, dans le cœur, 17-8 (marnes et schistes), qui coupe vallée avec couches vers 180° (S)
Méandr./axe coupée	BesançonE-BesW	73 - 74.5	46bis - 49					Doubs coupe axe Sud du synclinale ENE-WSW avec J4/J5 (marnes)
Méandr./axe coupée	BesW - Avenay	66-73	49 - 54bis					centre d'une synclinale E-W avec, dans le cœur, 17-8 (marnes et schistes), qui coupe vallée avec couches vers 0° (N)
Méandr./axe coupée	Avenay-Arenthon	51.3 - 66	54/55 - 57					centre d'une synclinale E-W, coupé vers le nord par une faille avec, dans le cœur, I4 (argiles et marno-calcaires), qui coupe vallée avec couches vers 0° (N)
plaine alluviale- form. L4	Arenthon - Rochefort	25 - 51.3	58b - 65bis	grossières, 7 - 10 m	limono-sableux, 0,5 - 3,5 m	Jur. moy. - Jur. sup., au sud sous argiles plioquaternaire	transition avec substratum, drainage assez facileent	Couche de J4-5a (marnes bleues) avec faible inclinaison vers le SW (200°), ils sont coupées par Doubs (E de la Synclinale)
plaine alluviale	Rochefort - Choisey	14 - 25	65 - 68	grossières, 7 - 10 m	limono-sableux, 0,5 - 3,5 m	Jur. sup., calcaire	transition avec substratum, drainage assez facilement	couches J7b (marnes et calcaires oolithiques) inclinées faiblement vers S et coupé par canal, qui quitte la vallée du Doubs
anc. plaine alluviale	Choisey - Abergement	7 - 14	69 - 72	p.s.: dépôts fins, argilo-limoneux, 3-6 m p.i.: sables, graviers, argileux, 3-8 m		Jur. sup. sous all. anc., à W sur form. St. Cosme		début des argiles de Bresse
faiblement vallonnée	Abergement - Laperrière s. S.	0 - 7	72 - 75	dépôts fluvio-lacustres, sables fins et siltis vers argiles, ~10 m		argiles de Bresse sous form. de St. Cosme	nappe encastré dans marnes de Bresse ds alluvions rec. et anc. Et la base de form. Saint-Cosme	début de la vallée de la Saône

Tabl. 1 - Caractéristiques géologiques et morphologiques des tronçons de la zone d'étude.

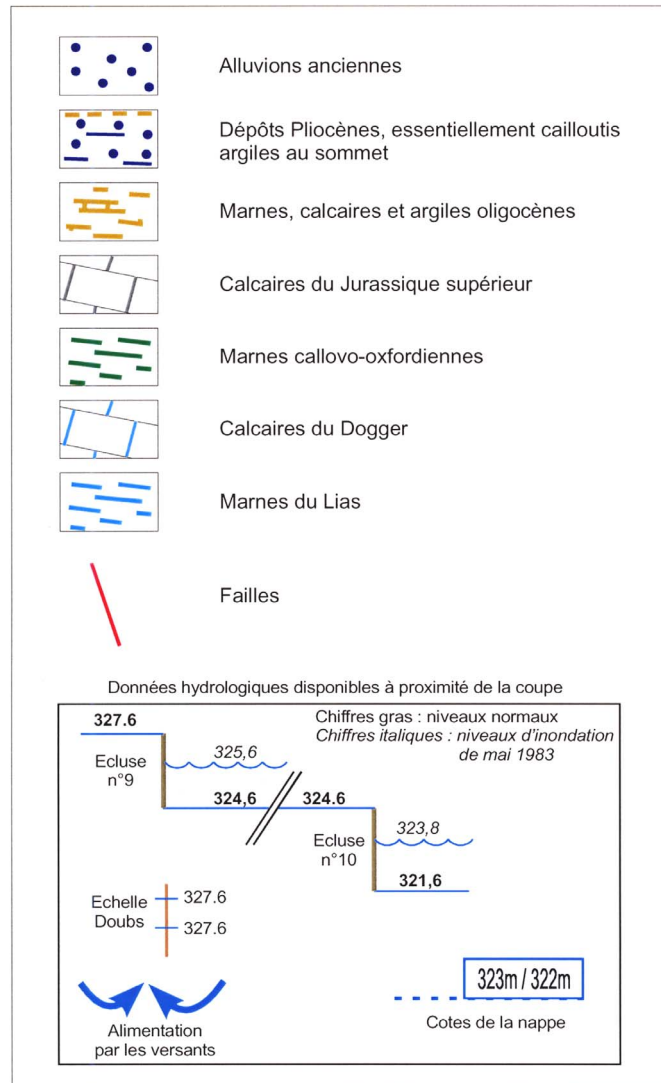


Fig. 6 - Légende du schéma de la géologie en profil transversal.

Les prélèvements totaux par secteur sont donnés en milliers de m³ par an (valeurs de l'année 2000), mais aussi en l/s afin de pouvoir les comparer aux débits du Doubs. En anticipant sur les descriptions qui suivent, on peut signaler dès maintenant que ces valeurs de prélèvement sont peu importantes vis à vis des débits du Doubs lui-même, le total prélevé entre Sochaux à l'amont et Choisey à l'aval s'élève à 878 l/s. À titre indicatif, en étiage sévère (valeurs des 2 ou 3 débits moyens journaliers les plus faibles de l'année 1978), le débit du Doubs est de l'ordre de :

- à Rochefort-sur-Nenon (quelques km à l'amont de Choisey), 15 m³/s ;
- et à Voujeaucourt (secteur 2), 7 m³/s (les prélèvements à l'amont de Voujeaucourt ne sont que de l'ordre de 300 l/s).

Cette comparaison est purement indicative car les prélèvements, surtout ceux pour AEP, qui représentent ici les 3/4 du total, sont rejetés dans le milieu dans une proportion de 90 %, les points de rejet étant, dans le cas présent aussi dans la vallée du Doubs, simplement à des distances de l'ordre de un à quelques km tout au plus des points de prélèvement.

On doit en conclure que sous l'angle de la quantité, l'effet des prélèvements est globalement faible sur le milieu.

Ceci cependant ne préjuge pas d'effets éventuellement importants localement, ainsi, le captage de la source de Vaire-Arcier pour l'AEP de la ville de Besançon provoque forcément une baisse de débit significative sur le ruisseau qui sort de cette source. Ce type de problème est traité par la législation sur l'eau qui régleme les prélèvements (déclaration, autorisation) afin d'éviter les effets sur le milieu de chaque prélèvement.

Secteur 1 : Méziré (les Forges)/Voujeaucourt (fig. 7)

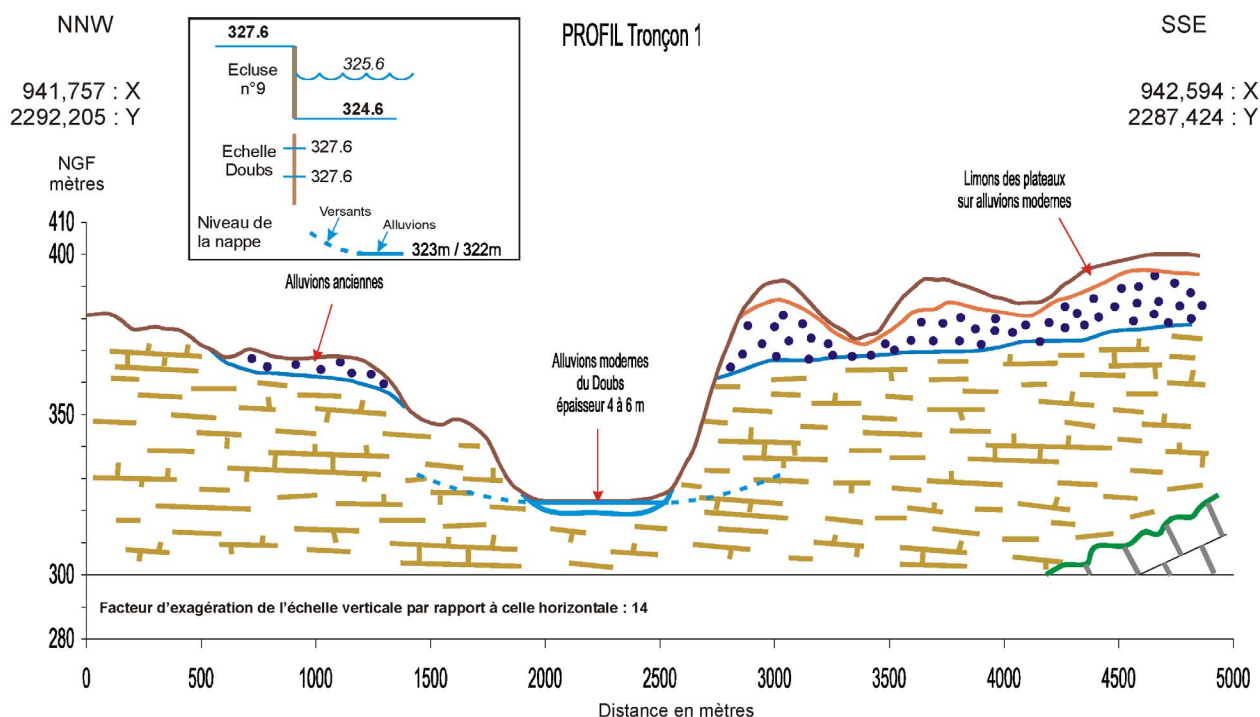


Fig. 7 - Profil 1. Schéma de la géologie en profil transversal.

Ce secteur débute à l'entrée du canal du Rhône au Rhin dans le département du Doubs. À l'aval, il s'achève au confluent de l'Allan et du Doubs, c'est-à-dire quelques centaines de mètres à l'aval de l'écluse 17. Dans ce secteur, le canal emprunte la vallée de l'Allan.

À l'amont, c'est-à-dire à l'est de Montbéliard, les alluvions de l'Allan reposent sur des formations tertiaires appartenant à la zone dite du « golfe de Montbéliard », terminaison

ouest du fossé d'Alsace. Ces formations, d'âge oligocène, sont très hétérogènes avec de nombreux changements de faciès, les formations rencontrées étant des marnes, des conglomérats, des calcaires lacustres ou encore des grès. Elles constituent aussi les versants de la vallée. La largeur de la plaine alluviale de l'Allan peut atteindre 1 500 m. Les alluvions ont une épaisseur comprise, en général, entre 3 et 6 m, mais des surépaisseurs, jusqu'à 10 m, existent localement.

À l'aval de Montbéliard, c'est-à-dire à l'ouest, les formations tertiaires disparaissent et le substratum des alluvions, de même que les versants de la vallée, sont occupés par les formations de l'Oxfordien supérieur et du Kimméridgien où les niveaux marneux sont relativement fréquents. La plaine alluviale n'atteint pas 1 km de large. Les alluvions ont une épaisseur comprise entre 3 et 4 m.

Tout au long de ce secteur 1, les alluvions sont sablo-graveleuses mais avec une forte composante argileuse.

La nappe contenue dans les alluvions est peu profonde et localement captive sous les limons argileux de recouvrement dont l'épaisseur peut varier de 1 à 3,50 m. Son niveau piézométrique est subaffleurant en hautes eaux. Le battement de la nappe est de l'ordre de 2 m en amont de Montbéliard, de l'ordre de 3 m à l'aval.

Sur ce secteur, le total des prélèvements d'eau recensés s'élève à 8 134 milliers de m³ (année 2000), soit 260 l/s. Il s'agit de 2 prises d'eau dans l'Allan pour usage industriel par les usines Peugeot, à Etupes et à Montbéliard (tabl. 2).

Secteur 2 : Voujeaucourt/Clerval

Ce secteur débute à l'écluse 17 et se termine à Clerval, au pont de la route nationale 73, 700 m environ à l'aval de l'écluse 32. La fin de ce secteur correspond à une remontée des argiles du Lias (cœur de l'anticlinal de Clerval) qui affleurent au fond de la vallée.

Tout le long de ce tronçon, le Doubs coule sur les formations de l'Oxfordien supérieur-Kimméridgien inférieur formant une large cuvette synclinale dont les flancs forment de vastes plateaux faiblement inclinés vers la vallée du cours d'eau qui suit l'axe de cette cuvette. Cette structure, en outre, est compartimentée par des failles de direction approximativement nord/sud. L'une de ces failles ramène à l'affleurement dans la vallée même, les calcaires du Dogger entre Dampierre-sur-le-Doubs et Colombier-Fontaine.

Du fait de l'importance des niveaux marneux dans la série oxfordienne, de nombreuses émergences, issues des calcaires oxfordiens ou des calcaires du Dogger lorsque ceux-ci sont remontés par faille, apparaissent dans ce secteur à quelques km de la vallée plutôt qu'au fond de celle-ci, en rive droite comme en rive gauche. Ces émergences donnent naissance à de petits cours d'eau affluents du Doubs. On peut citer entre autres :

- en rive droite : la fontaine de Lougres à Lougres, les sources du lavoir et des Prélots à Etrappe, la source de l'Abbaye des Trois Rois à Etrappe, la source de Mancenans, la source de Gourdeval à Soye ;

Secteur d'appartenance	Distance voie navigable (en m)	INDICE BRGM	volume prélevé en 2000 (milliers de m ³)	NATURE (ils sont tous exploités)	COMMUNE	Utilisation	DPT	PROPRIETAIRE	EXPLOITANT
1	76		550,7	PRISE-EAU	MONTBELIARD	EAU-INDUSTRIELLE	25	PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA	PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA
1	43		7583,2	PRISE-EAU	ETUPES	EAU-INDUSTRIELLE	25	PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA	PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA
2	190	04741X0035		PUITS	MANCENANS	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
2	286	04742X0041	30,1	PUITS	APPENANS	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
2	130	04742X0042	245,5	PUITS	ISLE-SUR-LE-DOUBS(L')	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
2	100	04742X0044	25,4	PUITS	MEDIERE	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
2	260	04742X0073	10,1	PUITS	PRETIERE(LA)	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
2	181	04742X0077	74,4	PUITS	SAINT-MAURICE-COLOMBIER	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
2	591	04743X0015	44,5	SOURCE	COLOMBIER-FONTAINE	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
2	1280	04743X0017	48,7	SOURCE	ETOUVANS	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
2	762	04743X0025	77,3	SOURCE	COLOMBIER-FONTAINE	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
2	97	04743X0094	8,3	PUITS	BAVANS	AEP.	25	COMMUNE DE LOUGRES	COMMUNE DE LOUGRES
2	810	04746X0014	25,6	SOURCE	BLUSSANS	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
2	30		139,8	PRISE-EAU	L'ISLE-SUR-LE-DOUBS	EAU-INDUSTRIELLE	25	GFD	GFD
2	2		100	PRISE-EAU	L'ISLE-SUR-LE-DOUBS	EAU-INDUSTRIELLE	25	GFD	GFD
2	5	0		PRISE-EAU	COLOMBIER-FONTAINE	EAU-INDUSTRIELLE	25	SMC	SMC
2	39		13,4	PUITS	COLOMBIER-FONTAINE	EAU-INDUSTRIELLE	25	SMC	SMC
2	270		4,5	FORAGE	DAMPIERRE-SUR-LE-DOUBS	EAU-AGRICOLE	25	GOLF DE PRUNEVELLE	GOLF DE PRUNEVELLE
3	86	04738X0017	273,70	PUITS	BRANNE	AEP.	25	COMMUNE	SYND. DE CLERVAL
3	165	04738X0047	273,70	PUITS	BRANNE	AEP.	25	SYNDICAT DES EAUX DE CLERVAL	SEREM
3	130	04738X0048	273,70	PUITS	BRANNE	AEP.	25	SYNDICAT DES EAUX DE CLERVAL	SEREM
3	500	04745X0072		SOURCE	ROCHE-LES-CLERVAL	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
4	65	04737X0019	290,1	PUITS	BAUME-LES-DAMES	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
4	129	04737X0053	290,1	PUITS	BAUME-LES-DAMES	AEP.	25	COMMUNE	CGE
4	550	04738X0049		SOURCE	HYEVRE-PAROISSE	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
5	140	05032X0013	53,7	PUITS	LAISSY	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
5	200	05032X0017	16,5	SOURCE	OUGNEY-DOUVOT	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
5	10	05032X0018	16,5	PUITS	OUGNEY-DOUVOT	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
5	250	05033X0025		SOURCE	ESNANS	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
5	30	05033X0026		SOURCE	ESNANS	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
5	50	05033X0027	368,8	PUITS	FOURBANNE	AEP.	25	SYNDICAT DES EAUX DE SAINT-HILAIRE	SAUR

Tabl. 2 - Liste des captages (AEPs, eaux pour l'industrie, eaux pour l'agriculture).

- en rive gauche : la source de Rorbe à Etouvans, les sources de Villars-sous-Écot et de Sourans donnant naissance au Bié, la source de Blussans.

Quelques sources issues des calcaires apparaissent cependant dans la vallée en pied de versants, ainsi entre autres :

- en rive droite : sources du Lavoir, de Bousots, de la fontaine des Poux à Médière, source de Vesselotte à Clerval qui sort à la faveur de la remontée (cœur d'anticlinal) des argiles du Lias qui marque l'extrémité avale du secteur 2 ;
- en rive gauche : source de Monnot à Voujeaucourt, source de la Vierge à Colombier-Fontaine, sources de Magny et de Moulinot à l'Isle-sur-le-Doubs, sources d'Alhombre et de Rang à Rang.

Par ailleurs, la rivière décrit de larges méandres qui l'amènent à couler au pied des versants, tour à tour en rive droite puis en rive gauche. Il en résulte que la plaine alluviale, dont la largeur varie de quelques centaines de mètres à 1 km, se développe, soit en rive gauche, soit en rive droite. L'épaisseur des alluvions grossières est comprise entre 1 et 3 m et peut parfois atteindre 5 m. La couverture de ces alluvions est limono-sableuse ou limono-argileuse, mais est d'une épaisseur très variable, localement jusqu'à 2 à 3 m mais parfois absente.

Localement, les alluvions sont absentes et le substratum rocheux affleure directement dans le lit du cours d'eau, c'est le cas à Dampierre-sur-le-Doubs et à Colombier-Fontaine (calcaires du Dogger).

Sur ce secteur, le total des prélèvements d'eau recensés s'élève à 848 milliers de m³ (année 2000), soit 27 l/s, répartis en 16 points de prélèvements. Il s'agit de prélèvements pour AEP pour près de 70 % du volume total, les 30 % restant étant des prélèvements d'eau pour usage industriel avec, notamment, les prises d'eau dans le Doubs à l'Isle-sur-le-Doubs (240 milliers de m³ pour l'année 2000) (tabl. 2).

Secteur 3 : Clerval/Hyèvres-Paroisse (fig. 8)

Ce secteur débute au pont de la route nationale 73 et se termine à l'écluse 36. L'extrémité avale de ce secteur est marquée par la remontée, au fond de la vallée, des argiles du Lias au cœur d'un des anticlinaux du faisceau bisontin.

Tout au long de tronçon, la vallée est encaissée dans les calcaires du Dogger (Jurassique moyen). Du fait de l'absence de niveaux marneux dans cette série, la vallée est étroite et ses versants raides. Corrélativement, la plaine alluviale n'a jamais un grand développement. Sa largeur atteint au maximum 500 m à Branne mais, partout ailleurs, ne dépasse pas 200 m, disparaissant même parfois. L'épaisseur des alluvions sablo-graveleuses est faible, 1 à 3 m, parfois 4 m. Leur couverture est constituée de sables fins, parfois mêlés à des éboulis calcaires, et son épaisseur varie de 1 à 4 m.

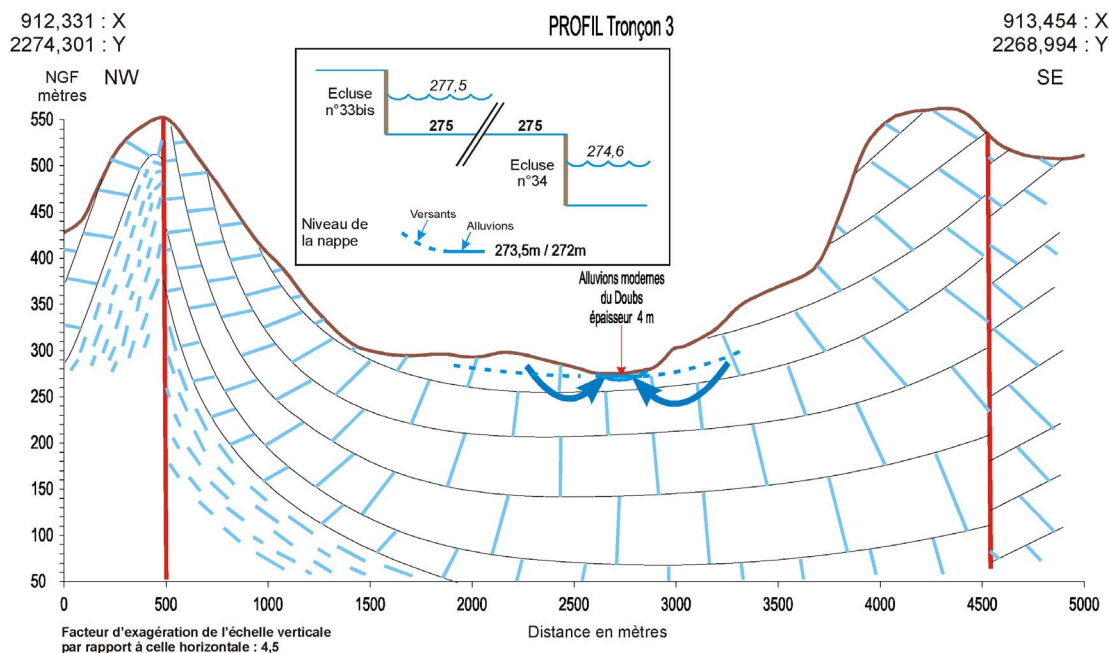


Fig. 8 - Profil 3. Schéma de la géologie en profil transversal.

Le niveau piézométrique de la nappe des alluvions est très peu profond à subaffleurant en hautes eaux (0,50 m sous la surface du sol). En basses eaux, sa profondeur est assez variable suivant les endroits, 1,50 m à 4 m.

Le volume total des prélèvements d'eau recensés sur ce secteur s'élève à 820 milliers de m³ (année 2000) soit 26 l/s, répartis en 4 points de prélèvements. Ces 4 points sont des captages d'AEP (tabl. 2).

Secteur 4 : Hyèvres-Paroisse/Baume-les-Dames

Ce secteur débute à l'écluse 36 et prend fin 200 m à l'aval de l'écluse 39, dite de Lonot, sur la commune de Baume-les-Dames, sensiblement au confluent du Cousancin (rive gauche). Cette extrémité correspond, comme pour le secteur précédent, à une zone d'affleurement du substratum argileux liasique au fond de la vallée du Doubs. Cet affleurement du Lias représente le cœur d'un anticlinal pincé et complexe d'orientation ENE/WSW.

Ce tronçon possède les mêmes caractéristiques que le précédent, à savoir :

- vallée encaissée dans les calcaires du Dogger et donc étroite avec des versants raides ;
- plaine alluviale peu développée (largeur comprise, le plus souvent, entre 100 et 250 m) et localement inexistante ;
- alluvions grossières peu épaisses (1 à 4 m) ;

- couverture fine des alluvions d'épaisseur comprise entre 1 à 4 m ;
- niveau piézométrique de la nappe des alluvions subaffleurant en hautes eaux et profond de 1,50 à 4 m en basses eaux.

Plusieurs sources karstiques émergent en rive droite de la vallée, plus ou moins haut sur les versants :

- la source du Moulin Chavanne à Hyèvres-Paroisse ;
- la source de Fontaine Aigle à Baume-les-Dames ;
- la source de Lonot, commune de Baume-les-Dames, en bordure même du Doubs.

Sur ce secteur, le volume total des prélèvements d'eau recensés atteint 380 milliers de m³ (année 2000) soit 12 l/s, répartis en 3 captages, tous 3 pour AEP, notamment les captages de Baumes-les-Dames (tabl. 2).

Secteur 5 : Baume-les-Dames/Laissey

Ce secteur débute 200 m à l'aval de l'écluse 39 dite de Lonot (commune de Baume-les-Dames). La remontée du Lias qui marque le début de ce tronçon correspond au cœur d'un anticlinal pincé et complexe d'orientation ENE/WSW que l'on peut suivre, dans ce tronçon 5, tout le long de la vallée du Doubs (mais, le plus souvent, légèrement décalé en rive gauche), le cours du Doubs ayant une orientation identique à l'anticlinal, mais le recoupant plusieurs fois du fait de ses méandres. De ce fait, les formations affleurant au fond de la vallée et constituant donc le substratum des alluvions, sont très variées, mais appartiennent toujours à la partie inférieure de la série :

- argile du Lias en plusieurs bandes recoupant la vallée ;
- argile à gypse du Keuper en rive droite à la Grange Villotey ;
- calcaires du Bajocien sur la plus grande partie du parcours.

Ce secteur est limité, à l'aval, par un dernier affleurement des argiles du Lias à l'entrée amont de Laissey, à l'écluse 44.

Dans ce secteur, le Doubs reçoit le seul affluent notable à sa traversée de la zone d'étude, le Cusancin qui se jette dans le Doubs en rive gauche à l'entrée amont du secteur. Cet affluent possède un écoulement permanent du fait de l'affleurement des argiles du Lias mentionné ci-dessus à l'entrée amont du secteur. En outre, dans la vallée du Cusancin, la tectonique ramène à l'affleurement les argiles du Lias en plusieurs points si bien qu'y apparaissent plusieurs émergences du karst des calcaires du Dogger (sources de Cusance, source Thaverotte à Guillon-les-Bains, sources de Pont-les-Moulins, etc.).

Dans la vallée même du Doubs, les remontées du Lias argileux déterminent aussi plusieurs émergences du karst bajocien. C'est le cas :

- notamment en rive droite avec la source et le ruisseau de Fourbanne (le Lias affleure en face, en rive gauche) et la source de la Dame à Ougney-Douvot (le Lias et le Trias affleurent en face en rive gauche) ;

- et en rive gauche avec la source de la Grange-Villotey et la source de la Chevanne à Champlive à la sortie aval du secteur n° 5.

Dans tout ce secteur n° 5, la vallée est étroite du fait des affleurements essentiellement calcaires (Bajocien). Les versants sont raides et la plaine alluviale peu développée, rarement plus de 300 m de largeur, sauf à Baume-les-Dames, en rive droite, où une ancienne boucle du Doubs est déblayée dans les marnes de l'Oxfordien inférieur, déterminant une petite plaine de plus d'un km² de surface.

Dans la vallée elle-même, l'épaisseur totale des alluvions est en générale comprise entre 3 et 5 m. Des sur-épaisseurs jusqu'à 8 à 9 m existent cependant. Ces alluvions sont dans l'ensemble assez grossières, sablo-graveleuses, mais des passages moins grossiers, à dominance sableuse peuvent apparaître latéralement ou par niveau sur une même verticale. Ces alluvions sont recouvertes assez souvent, mais pas partout, par des dépôts fins sablo-limoneux à limono-argileux sur 1,00 à 3,50 m d'épaisseur.

Le niveau de la nappe des alluvions, aux piézomètres, montre, le plus souvent, un battement de 2 à 3 m entre les plus hautes eaux et les plus basses eaux. Les valeurs les plus fortes, 4 à 6 m s'observent aux piézomètres les plus proches de versants ; en effet, en ces points, les pics de hautes eaux correspondent aux apports des versants en périodes de pluies alors qu'en périodes de basses eaux, les niveaux s'ajustent au niveau du cours d'eau. La nappe peut être libre ou captive, suivant le lieu ou suivant la saison.

Sur ce secteur 5, le total des prélèvements d'eau recensés atteint 455 milliers de m³ (année 2000), soit 14 l/s, répartis en 6 points de prélèvements, tous les 6 captages d'AEP (tabl. 2).

Secteur 6 : Laissey/Besançon-amont (fig. 9)

Ce secteur débute à l'écluse 44 et prend fin à l'entrée amont de Besançon à la porte de garde 50bis (porte qui marque le début de la dérivation en souterrain qui coupe la boucle de Besançon).

Tout au long de ce tronçon, la vallée du Doubs continue à suivre l'axe des structures du faisceau bisontin (anticlinaux et synclinaux complexes). Les formations entaillées par la vallée passent progressivement :

- des calcaires du Dogger à l'amont (jusqu'à Deluz) ; la vallée y est étroite et encaissée et la plaine alluviale peu développée -sa largeur est comprise entre 150 et 250 m et elle peut être localement absente- ;
- aux calcaires à niveaux marneux de l'Oxfordien au centre (de Deluz à Chalezeule) ; la plaine alluviale s'élargie, sa largeur passant de 300 m à l'amont à 1 500 m à l'aval où se développe une vaste plaine d'alluvions limitée par Chalezeule, Thise, Roche et Chalèze et d'une surface proche de 4 km² ;

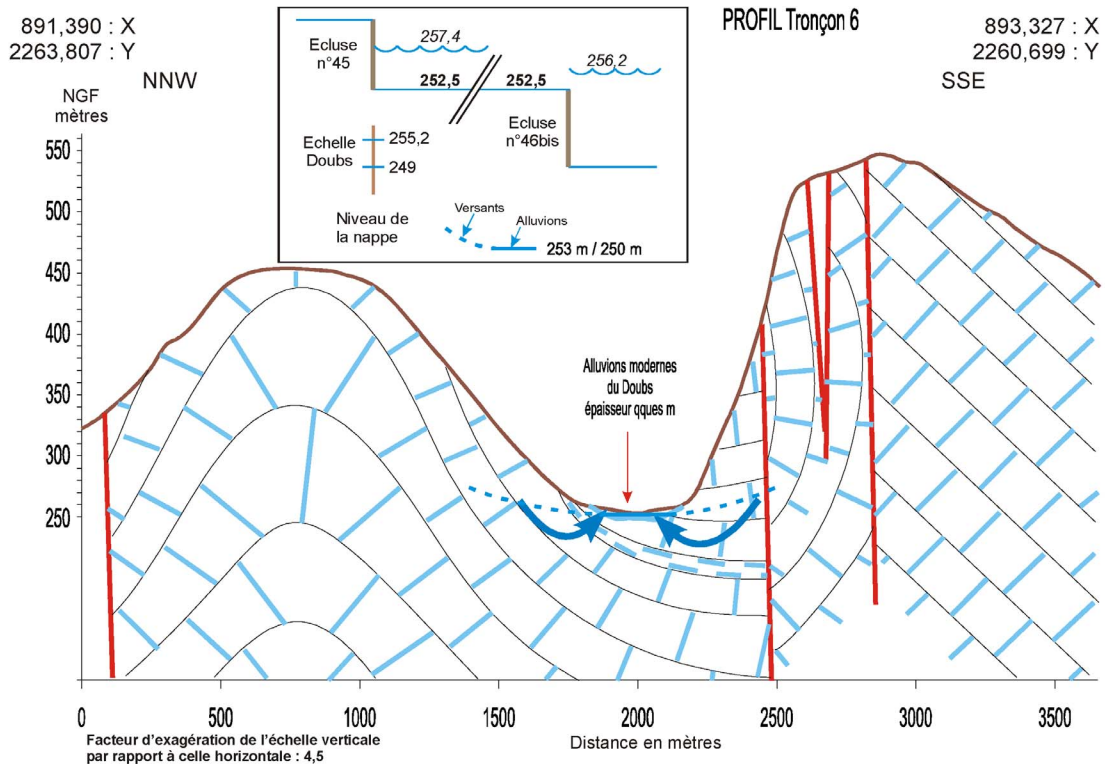


Fig. 9 - Profil 6. Schéma de la géologie en profil transversal.

- puis enfin aux calcaires massifs du Kimméridgien-Portlandien ; la vallée y redevient étroite et à versants raides ; la plaine alluviale a de nouveau un faible développement, sa largeur étant comprise entre 200 et 250 m.

Plusieurs émergences issues des formations calcaires sortent dans la vallée :

- en rive droite, source de la Bignon à Thise qui se localise dans la plaine alluviale ;
- en rive gauche, source Chaney et source Corcelle à Vaire-le-Grand, source d'Arcier et source Bergeret à Vaire-Arcier, toutes sources qui se localisent sur le versant à quelques dizaines de mètres au-dessus de la plaine alluviale.

L'épaisseur des alluvions graveleuses est irrégulière. C'est dans la plaine de Thise-Chalèze qu'elle est la plus importante où elle atteint 6 à 7 m. Les limons argileux de couverture peuvent atteindre 3 m d'épaisseur. La nappe des alluvions est subaffleurante en hautes eaux. En basses eaux, son niveau piézométrique peut descendre à 2,5 - 3,90 m sous la surface.

Le volume total des prélèvements d'eau recensés sur ce secteur atteint 8 569 milliers de m³ (année 2000), soit 272 l/s, répartis en 19 points de prélèvement. 90 % de ce volume

(15 captages) est consacré à l'AEP, les 10 % restant (4 captages) à des usages industriels. L'essentiel des prélèvements pour AEP sur ce secteur est destiné à alimenter la ville de Besançon, notamment par les captages implantés dans la plaine alluviale à Thise et par la source captée d'Arcier à Vaire-Arcier (tabl. 3).

Secteur 7 : Boucle de Besançon

Ce secteur débute à la porte de garde 50bis et prend fin à l'écluse 51, c'est-à-dire là où la dérivation souterraine de Besançon rejoint le cours du Doubs. Ce secteur correspond donc à la boucle de Besançon, partie du cours du Doubs qui traverse la ville de Besançon.

La dérivation souterraine, qui coupe la racine de la boucle, est taillée dans les calcaires du Dogger de la Citadelle formant une voûte anticlinale. Au droit de l'entrée et de la sortie de cette dérivation, la vallée, qui entaille ces calcaires, est étroite et montre une plaine alluviale insignifiante (150 m de large).

La boucle elle-même enserre, en rive gauche, une plaine alluviale, d'environ 1 km² de surface, sur laquelle est établi le centre-ville de Besançon. En rive droite, par contre, la plaine alluviale est insignifiante, le cours du Doubs étant établi en pied de versant.

En rive droite, dans la ville même de Besançon, jaillit la source karstique de la Mouillère. Cette source, qui reçoit son alimentation de la forêt de Chailluz, a un débit important en hautes eaux mais insignifiant en étiage.

Aucun prélèvement d'eau n'est recensé dans ce secteur.

Secteur 8 : Besançon-aval/Avenay (fig. 10)

Ce secteur débute à l'écluse 51 et prend fin à l'écluse de garde 54bis à Avenay. 500 m à l'amont de cette écluse, le Doubs recoupe le cœur d'un anticlinal constitué d'argile du Lias. À cet endroit, ce sont donc ces formations qui constituent le substratum de la vallée.

Tout au long de ce secteur, la vallée suit l'axe des structures du faisceau bisontin. Les formations y ont des pendages très redressés qui peuvent s'approcher de la verticale. En rive droite affleurent essentiellement les calcaires du Dogger et en rive gauche les calcaires de l'Oxfordien supérieur et du Kimméridgien, c'est-à-dire que l'axe même de la vallée correspond très vraisemblablement à une zone tectoniquement complexe, de type chevauchement ou bordure étirée d'anticlinal.

Secteur d'appartenance	Distance voie navigable (en m)	INDICE BRGM	volume prélevé en 2000 (milliers de m ³)	NATURE (ils sont tous exploités)	COMMUNE	Utilisation	DPT	PROPRIETAIRE	EXPLOITANT
6	1640	05024X0050	294,165	FORAGE	THISE	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE BESANCON
6	1830	05024X0053	1201,6	FORAGE	BESANCON	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE (BESANCON)
6	830	05024X0054	294,165	FORAGE	THISE	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE (BESANCON)
6	660	05024X0055	294,165	FORAGE	THISE	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE (BESANCON)
6	680	05024X0056	294,165	FORAGE	THISE	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE (BESANCON)
6	120	05024X0058	51	PUITS	CHALEZE	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
6	850	05024X0059	0,1	SOURCE	CHALEZEULE	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
6	1670	05024X0084	14,3	SOURCE	THISE	AEP.	25	COMMUNE	S.I. ROCHE-LEZ-BEAUPRE
6	130	05031X0037	637	FORAGE	NOVILLARS	AEP.	25	COMMUNE	S.I. ROCHE-LEZ-BEAUPRE
6	20	05031X0040	21,1	PUITS	DELUZ	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
6	70	05031X0041	48,4	PUITS	VAIRE-ARCIER	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
6	470	05031X0054	4 518,3	SOURCE	VAIRE-ARCIER	AEP.	25	COMMUNE	VILLE DE BESANCON
6	140	05031X0058	52	SOURCE	DELUZ	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
6	740	05031X0060		FORAGE	VAIRE-LE-PETIT	AEP.	25	SYND-AEP DE LA HAUTE LOIRE -25 MAMIROLLE	SYND-AEP DE LA HAUTE LOIRE -25 MAMIROLLE
6	130	05031X0062	2,2	PUITS	VAIRE-ARCIER	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
6	220		640,9	PUITS	NOVILLARS	EAU-INDUSTRIEL	25	OTOR VELIN	OTOR VELIN
6	90		11,3	PUITS	LAISEY	EAU-INDUSTRIEL	25	BOST GARNACHE INDUSTRIES	BOST GARNACHE INDUSTRIES
6	80		115,7	PRISE-EAU	LAISEY	EAU-INDUSTRIEL	25	BOST GARNACHE INDUSTRIES	BOST GARNACHE INDUSTRIES
6	550		78,8	PUITS	ROCHE-LEZ-BEAUPRE	EAU-INDUSTRIEL	25	ALCOOL PETROLE CHIMIE APC	ALCOOL PETROLE CHIMIE APC
8	110		0	PUITS	BESANCON	EAU-INDUSTRIEL	25	ALTEC S.A.	ALTEC S.A.
9	700	05026X0027	30	SOURCE	OSSELLE	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
9	140	05026X0050	223,3	PUITS	MONTFERRAND-LE-CHATEAU	AEP.	25	COMMUNE	S.I. GRANDFONTAINE
9	110	05026X0056	190	PUITS	THORAISE	AEP.	25	THORAISE	THORAISE
9	240	05026X0064	49,6	PUITS	TORPES	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
9	100	05026X0068	223,3	PUITS	MONTFERRAND-LE-CHATEAU	AEP.	25	SYNDICAT DES EAUX DE GRANDFONTAINE	SAUR
9	200	05292X0014	130,7	PUITS	ABBANS-DESSOUS	AEP.	25	ABBANS-DESSOUS	S.I. BYANS-SUR-LE-DOUBS
9	300		43,2	PRISE-EAU	OSSELLE	EAU-INDUSTRIEL	25	GRANULATS DU DOUBS	GRANULATS DU DOUBS
9	130		752,7	PUITS	BOUSSIERE	EAU-INDUSTRIEL	25	PAPETERIE ZUBER RIEDER	PAPETERIE ZUBER RIEDER

Tabl. 3 - Liste des captages (AEPs, eaux pour l'industrie, eaux pour l'agriculture).

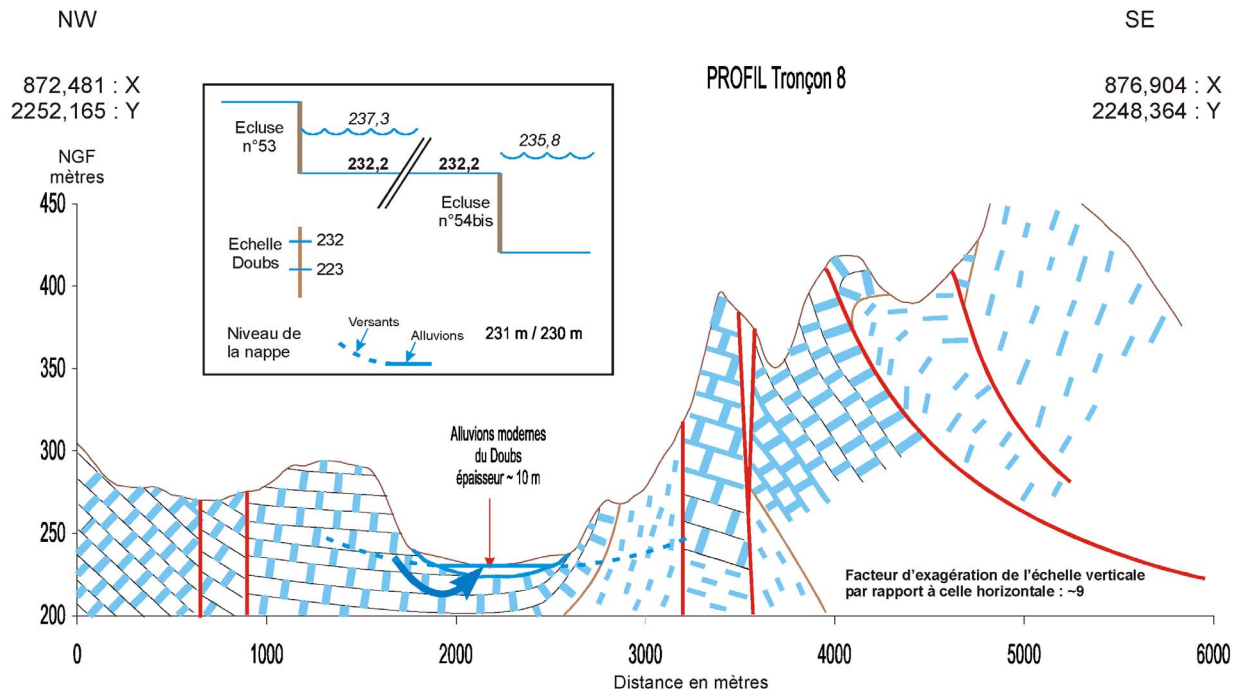


Fig. 10 - Profil 8. Schéma de la géologie en profil transversal.

Il n'y a pas de grosses émergences karstiques dans ce secteur.

La plaine alluviale est modérément développée. Sa largeur est comprise entre 200 et 700 m. Les alluvions grossières ont une épaisseur comprise entre 1 et 6 m. Leur couverture de limons plus ou moins argileux possède une épaisseur de 1 à 3 m. La nappe contenue dans les alluvions grossières est libre en basses eaux, avec des niveaux piézométriques compris entre 3 et 4 m sous la surface, mais souvent captive en hautes eaux où ses niveaux piézométriques sont proches de la surface.

Sur ce secteur, un seul prélèvement d'eau est recensé. Il s'agit d'un captage d'eau à usage industriel par puits sur la commune de Besançon. Ce captage n'a pas fonctionné en 2000 (prélèvement nul) (tabl. 3).

Secteur 9 : Avenay/Osselle (Moulin d'Arenthon) (fig. 11)

Ce secteur débute à l'écluse de garde 54bis et se termine au Moulin d'Arenthon (commune d'Osselle), à mi-chemin de l'écluse 57 d'Osselle et de l'écluse 58bis de Routelle. Cette terminaison aval correspond à l'affleurement, au fond de la vallée, des argiles du Lias (cœur d'un anticlinal du faisceau bisontin recoupé par la vallée).

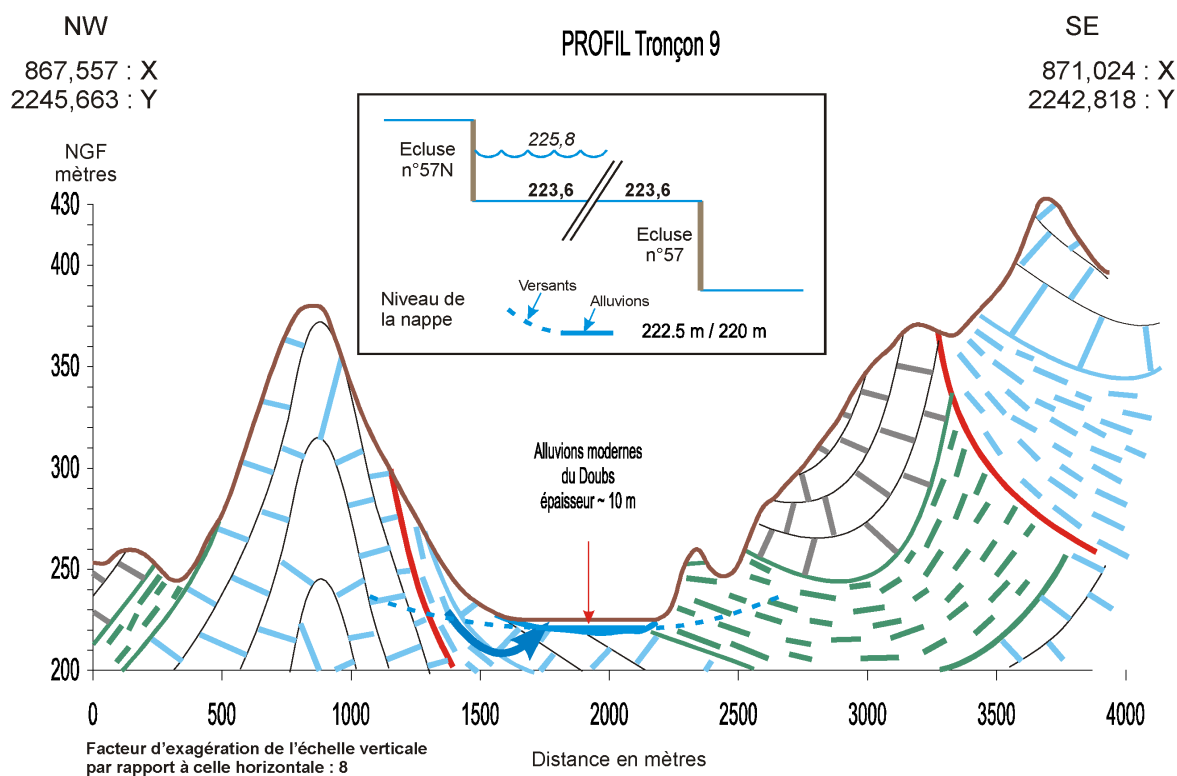


Fig. 11 - Profil 9. Schéma de la géologie en profil transversal.

Comme pour le secteur précédent, la vallée possède la même direction que l'axe des structures du faisceau bisontin. Cependant, la vallée est constamment sur les calcaires du Dogger et même, localement (Rancenay, Montferrand-le-Chateau), sur les argiles du Lias, sauf en trois zones où des méandres de la rivière se développent sur les formations marneuses de l'Oxfordien inférieur :

- boucle d'Aveney ;
- boucle de Thoraise ;
- boucle d'Osselle.

Plusieurs émergences karstiques apparaissent dans la vallée ou à faible distance :

- en rive droite :
 - . résurgence d'Avanne et source du lavoir à Avanne-Aveney,
 - . résurgence de Grandfontaine à Grandfontaine,
 - . source du moulin du Mont à Montferrand-le-Château ;
- et en rive gauche :
 - . source de la Froidière à Roset-Fluans.

Sauf dans les trois boucles mentionnées ci-dessus, les alluvions présentent les mêmes caractéristiques que dans le secteur précédent, largeur de la plaine alluviale, nature et épaisseur des alluvions et de leur couverture. Il en est de même pour la nappe qu'elles contiennent, profondeur de la piézométrie et battement entre hautes et basses eaux. Dans les trois boucles, par contre, la plaine alluviale prend une extension notable, 1,5 à 2 km²

pour les boucles d'Aveney et de Thoraise, plus de 4 km² pour la boucle d'Osselle. Les alluvions grossières peuvent y atteindre 7 m d'épaisseur.

Sur ce secteur, le volume total des prélèvements d'eau recensés atteint 1 643 milliers de m³ (année 2000), soit 52 l/s, répartis en 8 points de prélèvements, dont une seule prise d'eau en rivière. La moitié du volume prélevé a pour usage l'AEP, l'autre moitié l'industrie (tabl. 3).

Secteur 10 : Osselle (Moulin d'Arenthon)/Rochefort-sur-Nenon (fig. 12)

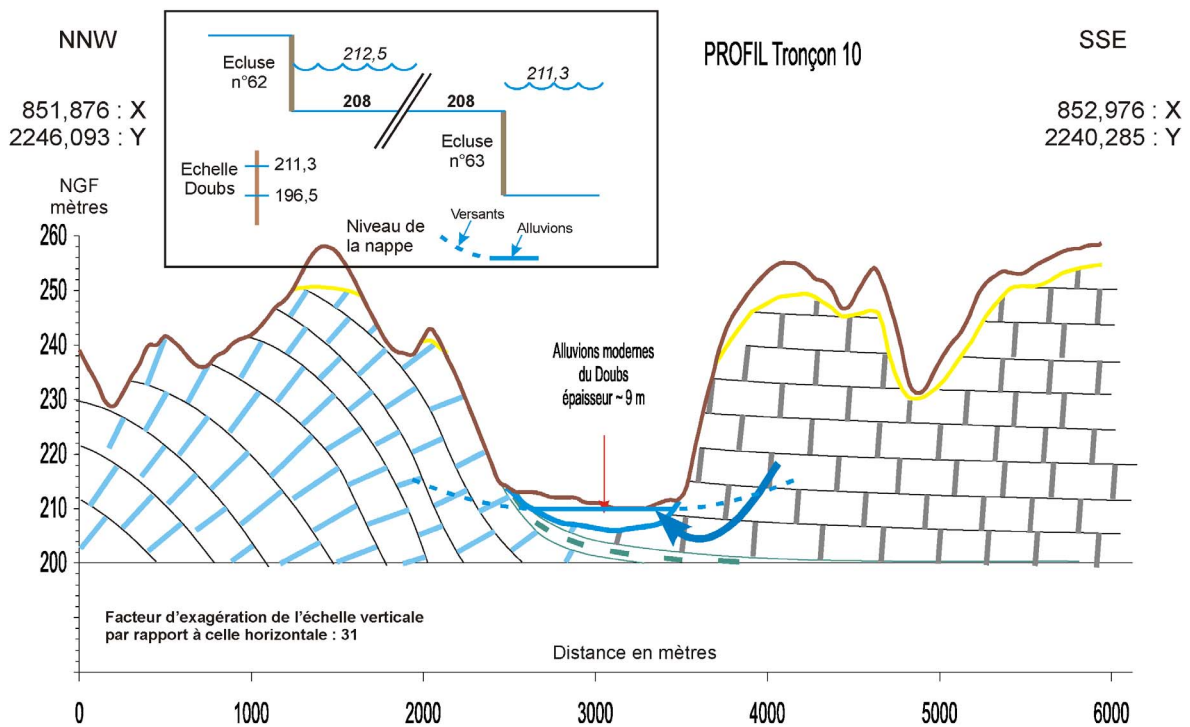


Fig. 12 - Profil 10. Schéma de la géologie en profil transversal.

Ce secteur débute au droit du moulin d'Arenthon, sur la commune d'Osselle (à mi-chemin des écluses 57 et 58bis), et prend fin à Rochefort-sur-Nenon, à l'écluse de garde 65bis où le Doubs passe au pied d'une barre de calcaire callovien.

Dans ce secteur, la vallée du Doubs se développe sur la zone tectonique dite des « Avants-Monts », zone de calcaires jurassiques faillée mais non plissée qui s'ennoie doucement sous les formations tertiaires et quaternaires par un plongement de 10 à 15° vers le sud-ouest.

Tout le long de ce secteur, la vallée est peu encaissée, 40 à 50 m seulement par rapport aux plateaux, en rive droite comme en rive gauche. Elle est large de 1,5 à 2 km et occupée par les alluvions récentes sur toute cette largeur. Le Doubs, avant sa canalisation pour la navigation, divaguait sur toute la largeur de cette plaine alluviale. Les formations jurassiques (Jurassique moyen et supérieur) qui constituent le

substratum des alluvions, affleurent sur les flancs de la vallée. Compte tenu du plongement des structures vers le sud-ouest :

- en rive droite (rive nord), sur les plateaux, le Jurassique affleure largement, tout en étant recouvert, sur des surfaces non négligeables, par des formations résiduelles de type argiles à silex et à chailles ;
- en rive gauche (rive sud), le Jurassique n'affleure que sur les versants de la vallée ; au delà, sur les plateaux, il disparaît totalement sous la formation plio-quaternaire des cailloutis de la forêt de Chaux.

Au droit de Ranchot, la nappe alluviale, du fait de la traversée d'une barre de calcaire bajocien, n'a qu'une largeur de 250 m. C'est la seule étroiture de la vallée sur le secteur n° 2.

Les alluvions ont une épaisseur nettement plus importante que dans les secteurs situés à l'amont. Leur épaisseur atteint fréquemment 7 à 10 m avec quelques valeurs dépassant 11 m. Ces alluvions sont sablo-graveleuses, la moitié inférieure étant, en générale plus grossière (galets et graviers) que la moitié supérieure (sables et graviers, quelques fois argileux). Ces alluvions sont recouvertes de formations sablo-limoneuses, peu argileuses le plus souvent, sur 0,5 à 3,50 m d'épaisseur.

Cette plaine alluviale, du fait de sa grande largeur et de l'épaisseur importante des alluvions, contient une nappe d'intérêt régional.

Le niveau piézométrique de cette nappe, en hautes eaux, est souvent à moins de 1 m de profondeur et peut être même subaffleurant. Le battement de la nappe est de 1,5 à 2 m dans les zones déprimées (zones marécageuses) et de 4,2 à 5,2 m pour les quelques piézomètres implantés en bordure de la plaine alluviales (en pied de coteaux). La nappe est le plus souvent captive sous les sables limoneux de couverture, mais parfois libre en basses eaux.

Le volume total des prélèvements d'eau recensés sur ce secteur s'élève à 2 930 milliers de m³ (année 2000), soit 93 l/s, répartis en 14 points de prélèvements (10 captages d'AEP représentant 85 % du volume prélevé et 4 captages agricoles représentant les 15 % restants) (tabl. 4).

Secteur 11 : Rochefort-sur-Nenon/Choisey

Ce secteur commence à l'écluse de garde 65bis à Rochefort-sur-Nenon et se termine à l'écluse 69, dite de Bon Repos (pont de la route nationale 73), sur la commune de Choisey, où le canal quitte la vallée actuelle du Doubs pour se diriger vers la Saône au nord-ouest.

Les caractéristiques de ce secteur sont semblables à celles du secteur précédent. Les plateaux et le versant rive droite sont constitués de calcaires jurassiques supérieurs des Avants-Monts alors qu'en rive gauche, du fait du plongement des structures vers le sud-ouest, n'affleurent que les formations du Quaternaire ancien de la forêt de Chaux (cailloutis), sauf localement en pied de versant, notamment au droit de Dole où les calcaires du Kimméridgien déterminent un seuil en affleurant sur les deux versants.

Secteur d'appartenance	Distance voie navigable (en m)	INDICE BRGM	volume prélevé en 2000 (milliers de m ³)	NATURE (ils sont tous exploités)	COMMUNE	Utilisation	DPT	PROPRIETAIRE	EXPLOITANT
10	300	05025X0111	962	PUITS	SAINT-VIT	AEP.	25	SYNDICAT DES EAUX DU VAL DE L'OGNON	SYNDICAT DES EAUX DU VAL DE L'OGNON
10	500	05025X0113	962	PUITS	SAINT-VIT	AEP.	25	SYNDICAT DES EAUX DU VAL DE L'OGNON	SYNDICAT DES EAUX DU VAL DE L'OGNON
10	200	05026X0063	83,1	PUITS	ROSET-FLIANS	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
10	100	05026X0080	34,2	PUITS	ROUTELLE	AEP.	25	COMMUNE	COMMUNE
10	60	05283X0077	254,65	PUITS	LAVANS-LES-DOLE	AEP.	39	SYNDICAT-AEP (SYNDICAT DES EAUX DU MOULIN ROUGE)	
10	170	05283X0112	254,65	PUITS	LAVANS-LES-DOLE	AEP.	39	SYNDICAT AEP DU MOULIN ROUGE	
10	60	05284X0013	32,9	PUITS	RANS	AEP.	39	COMMUNE	
10	100	05284X0018		PUITS	BARRE (LA)	AEP.	39	COMMUNE	
10	100	05291X0030	237,9	PUITS	DAMPIERRE	AEP.	39	SYNDICAT DES EAUX DE DAMPIERRE	
10	200	05291X0031	80,3	PUITS	SALANS	AEP.	39	COMMUNE	
10	300	05282X0160	21,9	PUITS	ROCHEFORT-SUR-NENON	EAU-AGRICOLE	39	OUDET MICHEL	OUDET MICHEL
10	1200	05282X0161	20,1	PUITS	ORCHAMPS	EAU-AGRICOLE	39	MR GUELDRY GERARD	MR GUELDRY GERARD
10	570		6,2	PRISE-EAU	LAVANGEOT	EAU-AGRICOLE	39	GAEC THUREL	GAEC THUREL
10	570		0	PUITS	LAVANGEOT	EAU-AGRICOLE	39	GAEC THUREL	GAEC THUREL
11	160	05281X0158	374,6	PUITS	DOLE	AEP.	39	COMMUNE DE DOLE	
11	370	05282X0097	477,58	PUITS	DOLE	AEP.	39	VILLE DE DOLE	VILLE DE DOLE
11	220	05282X0160	477,58	PUITS	DOLE	AEP.	39	VILLE DE DOLE	VILLE DE DOLE
11	360	05282X0161	477,58	PUITS	DOLE	AEP.	39	VILLE DE DOLE	VILLE DE DOLE
11	290	05282X0162	477,58	PUITS	DOLE	AEP.	39	VILLE DE DOLE	VILLE DE DOLE
11	270	05282X0163	477,58	PUITS	DOLE	AEP.	39	VILLE DE DOLE	VILLE DE DOLE
11	150	05282X0164	161,46	CHAMP-CAPTAGE	BREVANS	AEP.	39	SYNDICAT INTERCOMMUNAL DES EAUX DU RECEPAGE	
11	150	05282X0165	161,46	CHAMP-CAPTAGE	BREVANS	AEP.	39	SYNDICAT INTERCOMMUNAL DES EAUX DU RECEPAGE	
11	150	05282X0166	161,46	CHAMP-CAPTAGE	BREVANS	AEP.	39	SYNDICAT INTERCOMMUNAL DES EAUX DU RECEPAGE	
11	130	05285X0217	306	SONDAGE	DOLE	AEP	39	ETAT	SOGEDO
11	650		306	PUITS	DOLE	EAU-INDUSTRIELLE	39	CENTRE HOSPITALIER SPECIALISE	CENTRE HOSPITALIER SPECIALISE
12	200	05285X0108	67,52	PUITS	TAVAUX	EAU-INDUSTRIELLE, AEP.	39	CHIMIE - SOLVAY	
12	200	05285X0344	67,52	PUITS	TAVAUX	AEP.	39	CHIMIE (SOLVAY)	
12	100		5,4	PUITS	ABERGEMENT-LA-RONCE	EAU-INDUSTRIELLE	39	S.A. MONNOYEUR	S.A. MONNOYEUR
12	20		52129,5	PRISE-EAU	ABERGEMENT-LA-RONCE	EAU-INDUSTRIELLE	39	SOLVAY ELECTROLYSE FRANCE	SOLVAY ELECTROLYSE FRANCE
12	400		26383,8	PUITS	ABERGEMENT-LA-RONCE	EAU-INDUSTRIELLE	39	SOLVAY ELECTROLYSE FRANCE	SOLVAY ELECTROLYSE FRANCE
12	700		0	PRISE-EAU	DAMPARIS	EAU-AGRICOLE	39	MR MENETRIER MICHEL	MR MENETRIER MICHEL
12	700		15,6	PUITS	DAMPARIS	EAU-AGRICOLE	39	MR MENETRIER MICHEL	MR MENETRIER MICHEL
12	5		1,2	PRISE-EAU	CHOISEY	EAU-AGRICOLE	39	GAEC METRAILLE	GAEC METRAILLE
12	5		2,2	PRISE-EAU	CHOISEY	EAU-AGRICOLE	39	METRAILLE CLAUDE	METRAILLE CLAUDE
12	5		10,8	PUITS	CHOISEY	EAU-AGRICOLE	39	GAEC METRAILLE	GAEC METRAILLE
13	4000	05274X0059	67,52	PUITS	SAINT-SEINE-EN-BACHE	AEP.	21	SI LAPERRIERE SUR SAONE	SIDEI
13	4000			PUITS	LOSNE	EAU-AGRICOLE	21		

Tabl. 4 - Liste des captages (AEPs, eaux pour l'industrie, eaux pour l'agriculture).

La plaine alluviale a la même extension que dans le secteur précédent. Sa largeur est de 1,5 km, sauf au droit de Dole où le seuil précédemment évoqué entraîne un rétrécissement, la largeur passant alors à 500 m. L'épaisseur des alluvions grossières est assez irrégulière, quelques mètres seulement au seuil de Dole, mais 10 m au centre de la vallée ou dans certains chenaux de surcreusement. La couverture de limons argileux a une épaisseur de 1 à 3 m.

La nappe des alluvions se comporte différemment suivant que l'on est à l'amont ou à l'aval de Dole :

- à l'amont, elle est plus ou moins captive et subaffleurante en hautes eaux et, en basses eaux, libre avec un niveau piézométrique qui peut descendre à 2,50 m sous la surface ;
- à l'aval du seuil, son niveau piézométrique s'approfondit progressivement vers l'aval et, en conséquence, elle y est rarement captive.

Le volume total des prélèvements d'eau recensés sur ce secteur s'élève à 3 859 milliers de m³ (année 2000), soit 122 l/s, répartis en 11 points de prélèvements, dont 10 captages d'AEP représentant près de 90 % du total prélevé et un captage industriel. Parmi les captages d'AEP, se trouvent les captages de la ville de Dole (tabl. 4).

Secteur 12 (Choisey/Abergement-la-Ronce) et secteur 13 (Abergement-la-Ronce/Laperrière-sur-Saône) (fig. 13)

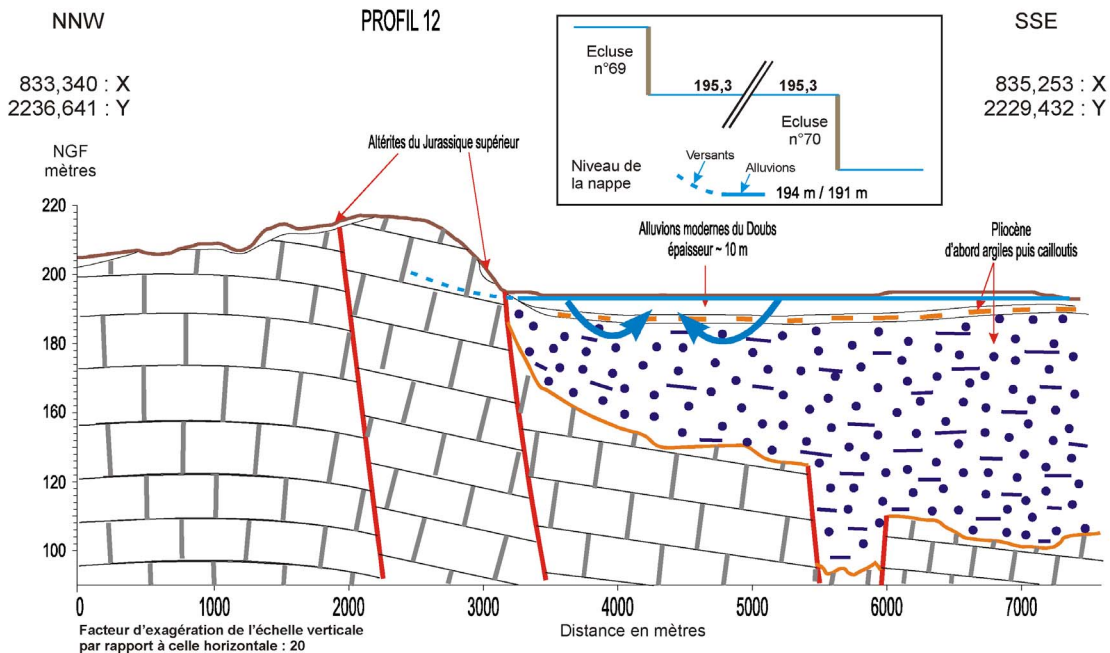


Fig. 13 - Profil 12. Schéma de la géologie en profil transversal.

Le secteur 12 débute à l'écluse 69, dite de Bon Repos (commune de Choisey) et se termine à l'écluse 72 à Abergement-la-Ronce. Le secteur 13 prend la suite à cette dernière écluse et s'achève à l'écluse 75, sur la commune de Saint-Symphorien-sur-Saône, qui fait communiquer le canal avec la Saône navigable.

Tout au long de ces deux secteurs, le canal ne suit plus la vallée actuelle du Doubs, mais un ancien cours de celui-ci, orienté du sud-est au nord-ouest, de Champdivers à Saint-Jean-de-Losne. Le Doubs y a érodé la partie supérieure, argileuse de la formation de Saint-Côme et déposé des alluvions grossières sur 2 à 4 m d'épaisseur. Celles-ci reposent sur la formation inférieure de Saint-Côme constituée de graviers et galets peu différents des alluvions déposées par cet ancien cours du Doubs. Les formations de couverture sont des limons fins argilo-marneux dont l'épaisseur est en général voisine de 3 m. Les épaisseurs des formations rencontrées, de haut en bas, depuis la surface, sont donc les suivantes :

- limons argilo-marneux : environ 3 m ;
- graviers et galets plus ou moins argileux : environ 6 à 10 m.

Le substratum est constitué, de Choisey jusqu'au site des usines Solvay, par les calcaires du Jurassique supérieur qui affleure en bordure nord de cette ancienne vallée, à 100 ou 200 m seulement du tracé du canal. Au-delà du site des usines Solvay vers l'ouest, le substratum est constitué par les marnes de Bresse et le bord nord de l'ancienne vallée est constitué par les argiles de la formation supérieure de Saint-Côme.

Les formations de galets et graviers contiennent une nappe dont la piézométrie est bien connue (rap. BRGM 69 SGL 55 JAL). Elle s'écoule vers l'ouest en direction de la Saône. La surface piézométrique passe :

- en hautes eaux (janvier 1967), de 193 m NGF au début du secteur 12 (écluse 69) à 188 m NGF à l'écluse 72 et 180 m NGF environ à l'entrée dans le val de Saône à Laperrière-sur-Saône où elle se raccorde au niveau de la Saône ;
- en basses eaux (octobre 1966), de 192 m NGF au début du secteur 12 (écluse 69) à 187 m NGF à l'écluse 72 et 179 m NGF environ à l'entrée dans le val de Saône à Laperrière-sur-Saône où elle se raccorde au niveau de la Saône (cote normale de maintien du plan d'eau de la Saône navigable : 178,75 m NGF).

La nappe est captive sous les limons superficiels.

Tout au long de ces deux secteurs, le niveau du canal est plus haut que la surface piézométrique de la nappe, même lorsque celle-ci est en hautes eaux. Seul le début (côté amont) du bief 71-72 se distingue, le niveau du canal y étant pratiquement le même que le niveau piézométrique de la nappe (plan d'eau du canal, dans ce bief, maintenu à 189,92 m NGF).

Sur le secteur 12, le volume total prélevé par les captages recensés atteint 78 685 milliers de m³ (année 2000), soit 2 500 l/s, répartis en 10 points de prélèvement : 1 captage d'AEP, 1 captage mixte (AEP et industrie), 3 captages industriels et 5 captages agricoles. Le volume prélevé, très important, est dû à 2 des captages de

l'usine Solvay qui prélèvent à eux seuls 78 513 milliers de m³ (l'un par puits, l'autre par prise en rivière).

Sur le secteur 13, il n'y a pas de prélèvements suffisamment proches du canal pour être pris en considération dans ce travail. Les deux captages les plus proches sont le captage d'AEP de Saint-Seine-en-Bâche et un captage agricole sur la commune de Losne, tous deux à 4 000 m du canal (tabl. 4).

Brève description du fonctionnement d'écoulement du système plateau-vallée (fig. 14)

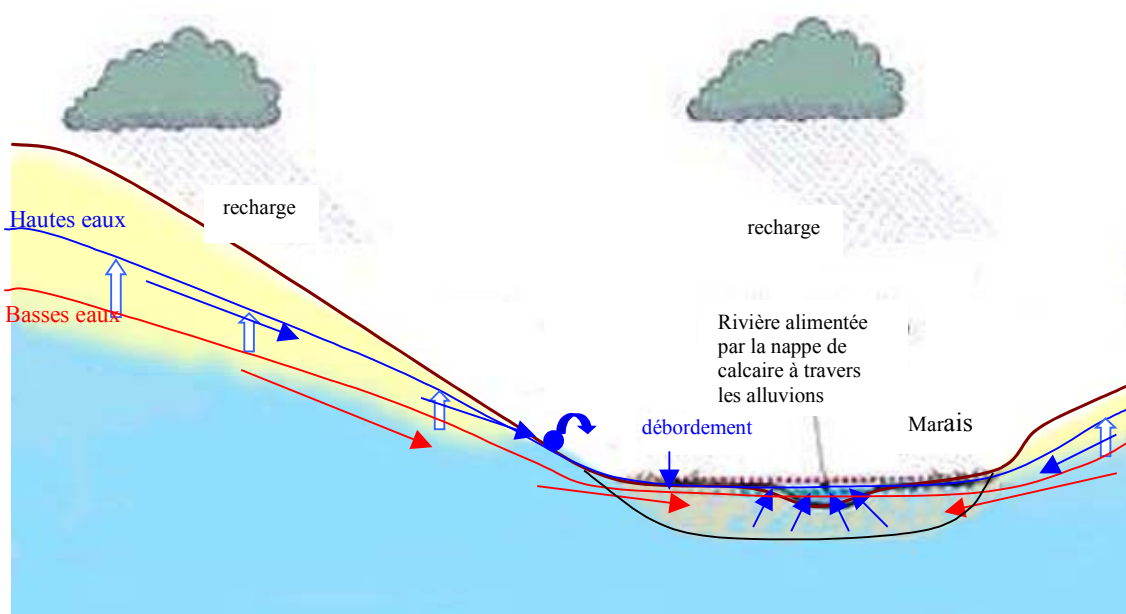


Fig. 14 - Fonctionnement de l'écoulement en hautes et basses eaux.

Sur l'ensemble de la zone d'étude, on constate que se généralise le système d'écoulement « plateau - vallée » que l'on peut caractériser de la façon suivante :

- l'eau des précipitations - la recharge - s'infiltre sur les plateaux de calcaires et s'écoule principalement par les fractures des niveaux calcaires en direction des vallées (écoulement immédiat). Indépendamment des fractures, la matrice de la roche comporte une porosité qui lui permet de stocker l'eau et conduit à un « effet retard » ou écoulement différé de l'eau des nappes ;
- dans la vallée, l'eau souterraine donne lieu à des sources lorsqu'elle rencontre un substratum imperméable ou alimente directement le cours d'eau à travers les alluvions ;
- les alluvions sont en général en contact direct avec les calcaires sous-jacents, ce qui permet un échange de la nappe des calcaires vers la nappe alluviale ;
- cette nappe calcaire contribue à tout moment au débit du Doubs ;

- les périodes de hautes eaux et de basses eaux coïncident en général sur les plateaux et dans la vallée.

Selon les saisons, l'importance de l'alimentation de la nappe alluviale varie :

En cas de basses eaux :

- l'eau souterraine des plateaux exerce une charge vers la vallée. Elle alimente au travers des alluvions la nappe alluviale avec une composante horizontale importante ;
- la nappe alluviale est drainée vers le Doubs ;
- des sources permanentes ont un faible débit.

En cas de hautes eaux :

- le niveau des eaux souterraines sur les plateaux est plus élevé, le gradient augmente et le débit vers la vallée est plus important ;
- la nappe alluviale est plus haute et déborde localement ;
- des sources permanentes ont un débit élevé et de nouvelles sources peuvent apparaître au bord des vallées ;
- l'alimentation directe vers la nappe alluviale augmente et crée une composante verticale importante d'échange entre la nappe des calcaires et la nappe alluviale sus-jacente.

3.2.3. Dispositifs de suivi des nappes

La banque de données du BRGM rassemble une grande partie des piézomètres existants avec les informations des points de mesure et les résultats des relevés piézométriques.

Dans la zone d'étude, plus de 700 piézomètres sont recensés dans la banque de données du BRGM dont 554 représentent des stations piézométriques qui ont été suivies pendant 5 à 10 années consécutives (1975-1984) avec une fréquence de 2 relevés mensuels. De nombreux piézomètres ont cessé de fonctionner au cours des années qui ont suivi leur installation entre 1975 et 1980. Un constat de la CNR en 1992 a démontré que seulement 35 % des piézomètres ont été ou étaient encore accessibles et fonctionnels.

Quelques mesures entre octobre 1995 et avril 1996 s'ajoutent aux précédentes. Les données de la banque permettent un affichage des points en fonction des différents critères tel que la profondeur, la lithologie ou la nature des points. Les points de mesure sont en général entièrement installés dans les alluvions, dans des cas plus rares, ils atteignent la nappe des calcaires sous-jacents ou sont installés directement sur le versant dans la nappe karstique.

La période inclut l'inondation de 1983 et permet une interprétation dans une période de crue ainsi qu'une période d'étiage.

3.2.4. Piézométrie et interprétation

Les plans d'implantation des piézomètres pour toute la zone d'étude montrent une répartition des points de mesures très hétérogène (fig. 15, voir aussi pl. 14).

La plupart des piézomètres sont implantés dans les alluvions et atteignent exceptionnellement les calcaires jurassiques (indiqués par des points bleus). Leur profondeur atteignent dans 71 cas 0-4 m, dans 247 cas 4-10 m, dans 111 cas 10-15 m et en 65 cas plus que 15 m. 467 piézomètres n'ont pas l'indication de profondeur. Le tableau 5 représente une vue d'ensemble des points de mesures existantes dans la banque de données du BRGM pour chaque tronçon.

Les groupes de chronologies piézométriques correspondants aux cartes des localisations tronçon par tronçon sont présentées dans l'annexe 2.

Secteur	Nombre de stations piézométriques	Puits	Échelles
Tronçon 1	17	0	0
Tronçon 2	123	10	5
Tronçon 3	7	0	0
Tronçon 4	24	1	0
Tronçon 5	48	1	2
Tronçon 6	28	0	2
Tronçon 7	1	0	0
Tronçon 8	3	15	1
Tronçon 9	24	25	2
Tronçon 10	91	21	3
Tronçon 11	63	4	0
Tronçon 12	149	35	1
Tronçon 13	68	14	0
Total	646	126	16

Tabl. 5 - Nombre de points de mesures par tronçon.

Chroniques piézométriques

Les mesures réalisées pendant la période de 1975 à 1984 permettent d'observer les niveaux extrêmes. Durant cette période, le plus haut niveau de la nappe a été atteint pendant la crue de mai 1983. Les graphes piézométriques des les 554 stations démontrent un battement (tableaux et graphiques, ann. 2) de :

- dans 37 cas : 0-3 m,
 - dans 155 cas : 3-5 m,
 - dans 192 cas : 5-7 m,
 - et dans 171 cas : plus de 7 m.
- avec une moyenne maximale de 6,5 m.**

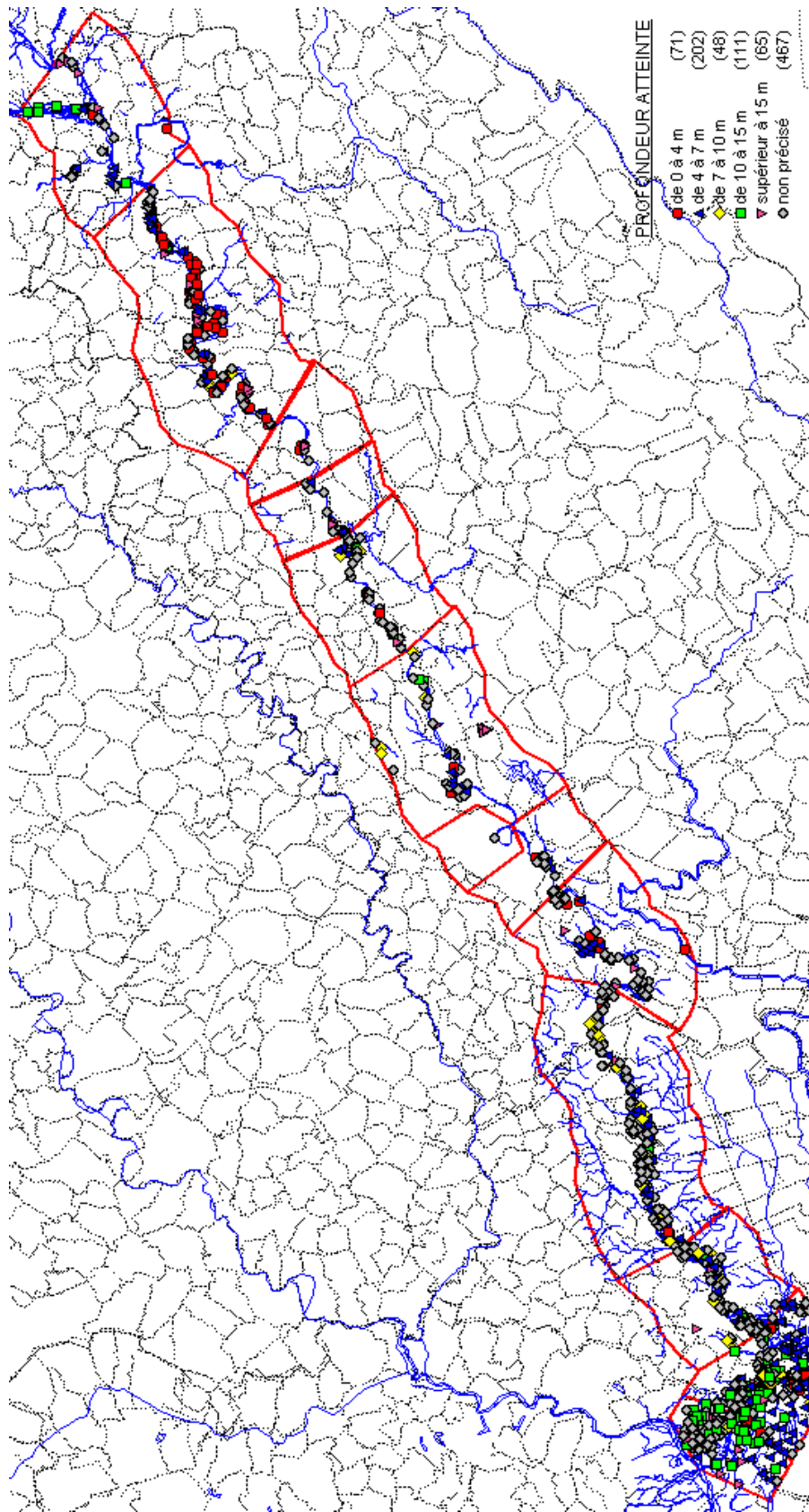


Fig. 15 - Carte des piézomètres démontrant une répartition des points hétérogène.

Le plus grand nombre des piézomètres est installé dans les alluvions à profondeur faible jusqu'à 7 m.

L'évolution de la piézométrie nous informe sur les points suivants :

- l'évolution des niveaux piézométriques est directement liée aux variations des précipitations (voir aussi rapport de Javey, 1992) ;
- le battement saisonnier est fonction de l'alimentation par les versants, des apports de l'amont et des infiltrations ;
- les périodes d'étiage apparaissent de juin à septembre, les hautes eaux sont moins régulières et forment des pics de courtes périodes et témoigne d'une forte réactivité de la nappe alluviale ;
- des points à battements faible ne sont pas liées directement avec la nappe alluviale ;
- les niveaux les plus importants sont enregistrés en printemps 1983 ;
- quelques piézomètres n'atteignent vraisemblablement pas la nappe principale et ne montrent pas de battement important. On pense qu'ils correspondent à une ou des nappes perchées.

Cartes piézométriques (fig. 16)

À partir des emplacements et des mesures, nous avons choisi de présenter deux cartes piézométriques :

- valeurs en période de crue de mai 1983,
- valeurs en période d'étiage en août 1983.

Les isopièzes ont pu être calculés grâce à la méthode de l'inverse de distance au carré. La méthode prend en compte, en fonction de la distance, la totalité de mesures dans un rayon de 5 km. Le niveau a été calculé à partir d'une moyenne de mesures mensuelles correspondantes. Ceci permet, malgré des informations très inégalement réparties et certaines mesures difficilement explicables, de tracer une carte des isopièzes tout le long de la vallée.

Les cartes mettent en évidence les points suivants :

- le niveau suit en général la topographie ;
- les courbes présentent une concavité vers l'aval indiquent une alimentation du cours d'eau par la nappe et vice-versa ;
- la zone tabulaire au sud-ouest est constituée d'un système complexe multicouches avec plusieurs nappes, ceci se traduit par des isopièzes irrégulières et doit être pris en compte avec précaution ;
- le gradient est très faible dans les extrémités de la zone d'étude par rapport au reste de la zone, où la voie d'eau suit la vallée du Doubs.

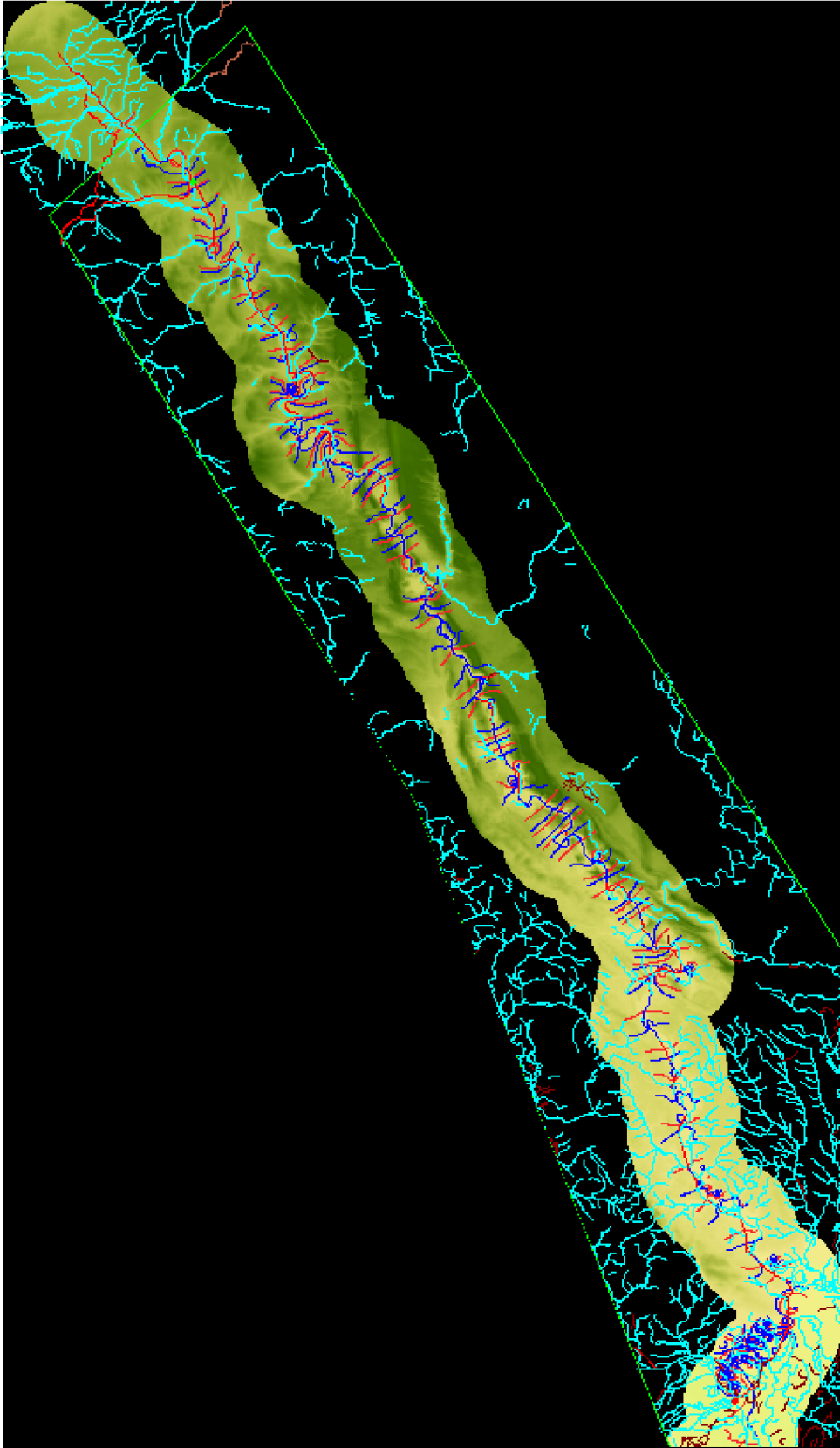


Fig. 16a - Carte piézométrique (parties NE et SW) par rapport à la topographie.

La piézométrie suit le gradient de la topographie : le gradient est très faible dans les extrémités de la zone d'étude. Dans les zones d'élargissement de la vallée avec des méandres, la piézométrie perd de la pente par rapport aux zones de vallée étroite (i.e. Besançon).

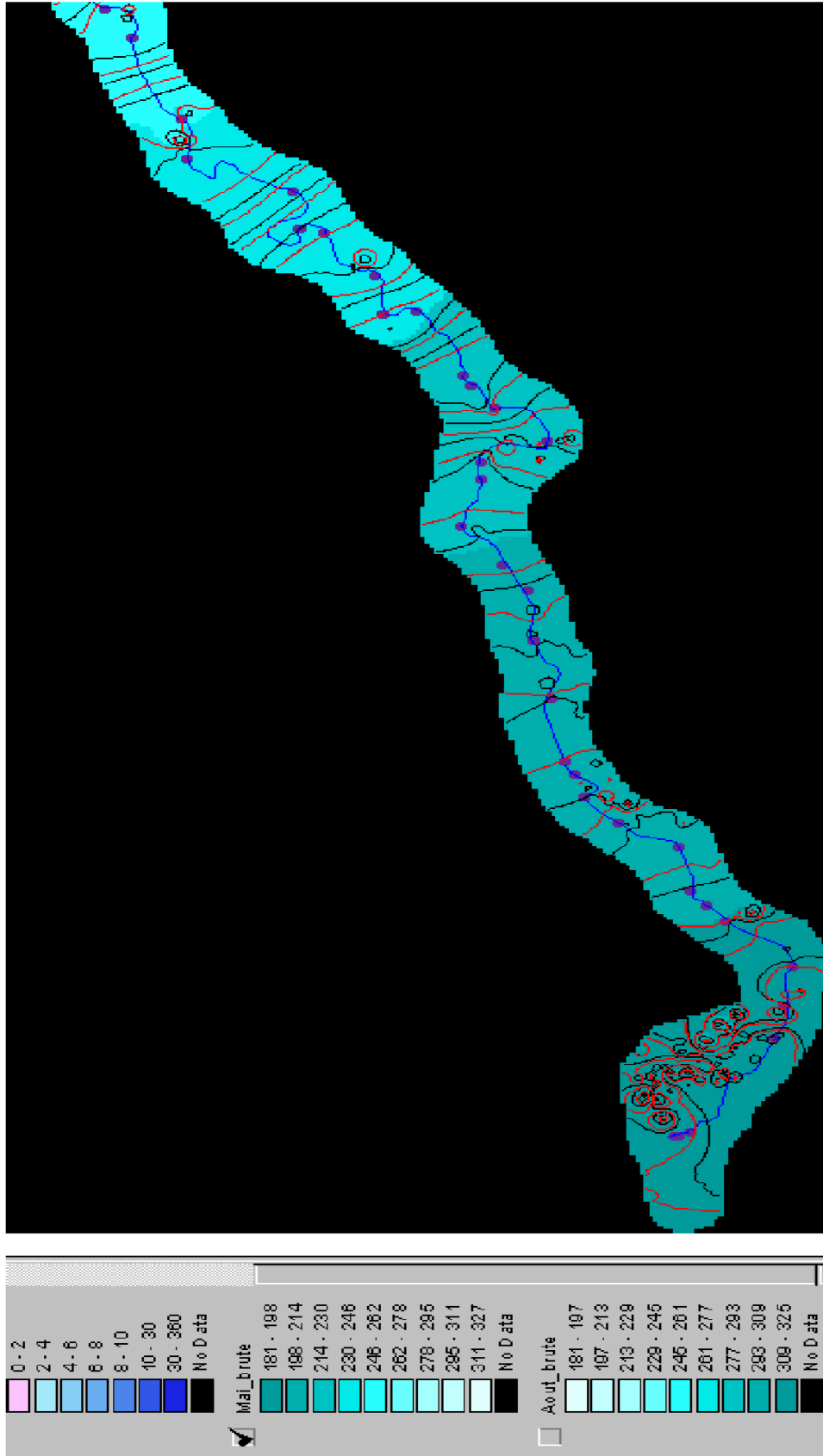


Fig. 16b - Carte piézométrique (parties NE et SW) en période de crue (lignes bleues) et en période de basses eaux (lignes rouges).

La concavité des courbes est orientée de la même manière en période de basses et hautes eaux .

Les courbes présentent une concavité vers l'aval indiquant une alimentation du cours d'eau par la nappe et vice-versa

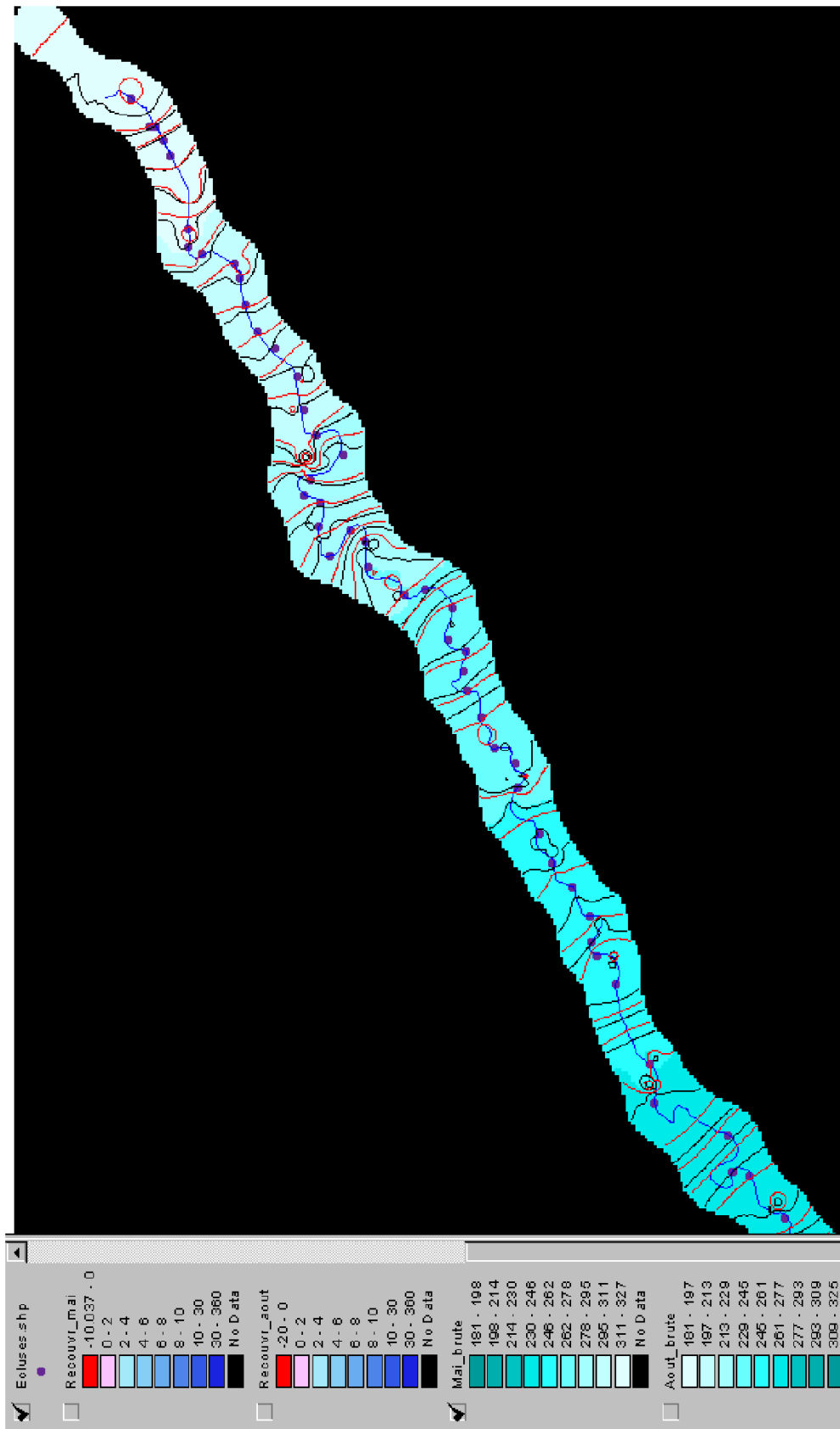


Fig. 16c - Carte piézométrique (segment SW) en période de crue (lignes bleues) et en période de basses eaux (lignes rouges).

Les quelques mesures faites durant les années 1995 et 1996 sont trop peu nombreuses pour fournir davantage d'informations et ne permettent donc pas d'interprétation supplémentaire ; elles montrent cependant qu'aucune évolution significative des niveaux n'est à signaler.

3.3. SYNTHÈSE DES INTER-RELATIONS

3.3.1. Niveaux du Doubs mesurés par des échelles

Seize échelles de mesures des hauteurs d'eau sur le Doubs ont été inventoriées dans la banque de données du sous-sol du BRGM, six correspondent à des relevés postérieurs à 1976, les autres à des relevés compris entre 1981 et 1984. Les mesures ont été suspendues après cette date.

Les échelles se situent entre Montbéliard et Dole et reflètent la morphologie de la zone d'étude (fig. 17). Le niveau minimum en aval du Montbéliard est de 293 m et en aval de Dole à 185 m. Le changement des niveaux est de 1,4 et 10 m et dépend de la largeur de la vallée et du volume d'eau en provenance de l'amont. Deux mesures ont été mesurées à plus de 10 m, ce sont des points douteux. L'amplitude est amortie en fonction de la géométrie de la vallée et du contact avec la nappe accompagnatrice.

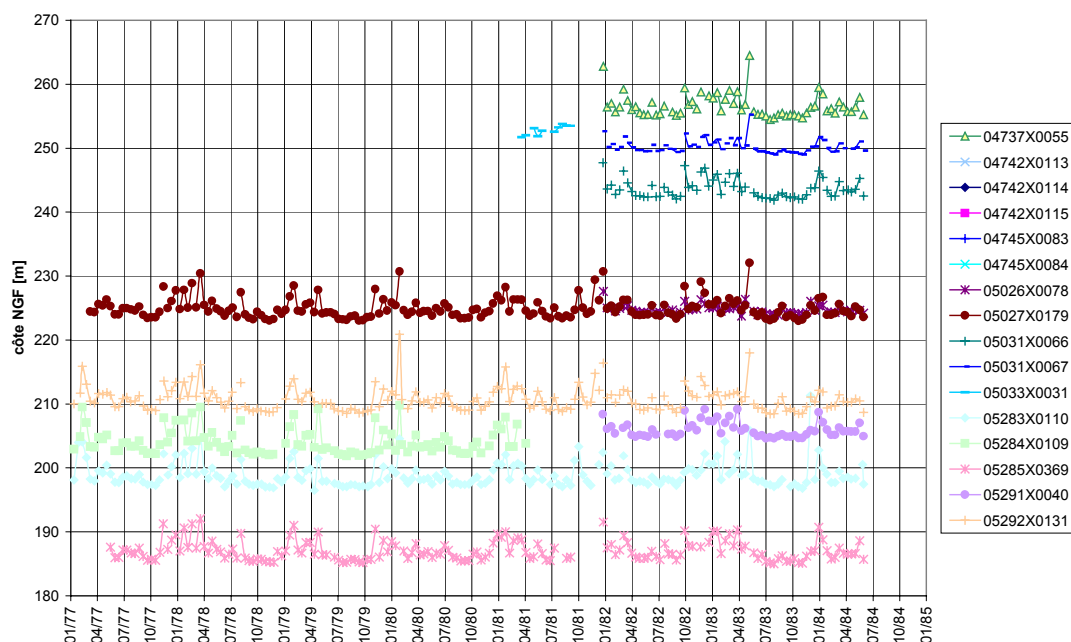


Fig. 17 - Chroniques du niveau du Doubs.

- Le changement des niveaux est de 1,4 et 10 m (en fonction de : la largeur de la vallée et du volume d'eau en provenance de l'amont).
- Niveaux maxima : en général dans le 1^{er} trimestre de l'année.
- Les années 1980, 1982 et 1983 sont plus élevées que les autres années.
- Toute variation du plan d'eau est accompagnée d'une variation synchrone du niveau de la nappe (voir ann. 2).

Les niveaux maxima sont en général atteints dans le premier trimestre de l'année. Les années 1980, 1982 et 1983 sont dans quelques zones marquées par des niveaux plus élevés que les autres années. Pour la période mesurée, les niveaux et débits maxima ont été observés en mai 1983.

Les différentes mesures de niveaux et de débit montrent que la crue de février 1990 a été du même ordre de grandeur que celle de mai 1983. La crue de janvier 1910 reste la plus importante parmi celles qui ont été observées et mesurées. Cependant, il n'existait pas, à l'époque, de réseaux de mesures piézométriques pour comparer les niveaux et faire un bilan de la connexion hydraulique.

Des mesures supplémentaires des niveaux maxima pendant les crues telles que celles de 1983 ou 1990 ont été obtenues à partir du document « canal du Rhône au Rhin, profil en long, Pont et Chaussées, Service de navigation » communiqué par VNF/Besançon. Ces données (profil en long de la voie navigable, cotes des crues de mai 1983 et de février 1990) ainsi que les niveaux piézométriques au droit de la voie navigable ont été reportées sur le même graphique (fig. 18). Ces figures permettent de constater la position de la nappe par rapport à la voie navigable tout au long de celle-ci.

3.3.2. Modes d'échanges naturels

La nappe est, dans la plus grande partie de la zone d'étude, en relation hydrodynamique étroite avec le cours d'eau qu'elle accompagne, toute variation du plan d'eau se répercute directement et rapidement sur le niveau de la nappe (voir la piézométrie en comparaison avec les échelles, tableaux et graphiques, ann. 2).

L'ampleur des échanges nappe-rivière est directement liée au degré de colmatage des berges.

Dans toute la zone d'étude, les niveaux piézométriques des nappes de versant sont plus élevés que ceux de la nappe des alluvions, en conséquence, les apports au système nappe alluviale-Doubs en provenance des nappes de versant sont assurés en cas de connexion hydraulique, contrairement à ce qu'on observe dans la haute vallée du Doubs (chap. 3.1.).

C'est le plan d'eau du Doubs qui constitue le niveau de base de l'hydrosystème aquifères karstiques des versants/aquifères des alluvions/Doubs.

En cas de crue, la rivière alimente la nappe et les répercussions peuvent se transmettre par les nappes alluviales jusqu'aux nappes de versants jurassiques et faire baisser l'apport d'eau par ceux-ci ; mais, en général, les crues de la nappe alluviale coïncident avec les crues des aquifères des versants.

Dans les périodes d'étiage, l'alimentation continue en provenance des nappes de versants (directement ou par des sources) et la nappe alluviale.

Profil en long des biefs dans la zone d'étude

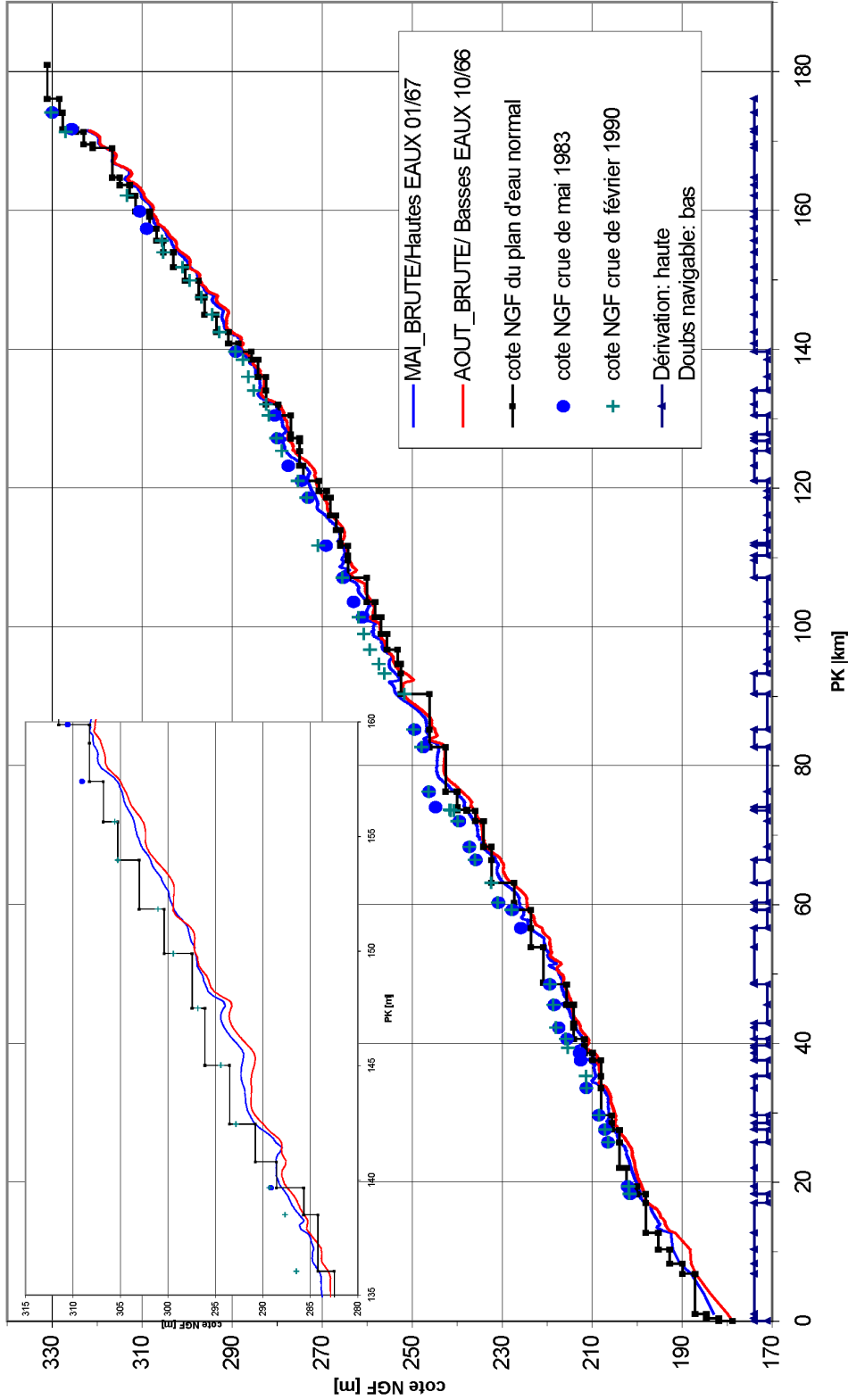


Fig. 18 - Schéma du profil en long de la voie navigable (le Doubs lui-même et le canal), les cotes des crues et le niveau piézométrique en période de crue et d'étiage.

- en tronçon Doubs navigable : le niveau de la voie navigable est plus haut que le niveau de la nappe directement amont des barrages, en aval écoulement, à travers les berges, de la nappe vers le Doubs
- en tronçons en dérivation : le niveau de la voie navigable est plus haut que le niveau de la nappe sur toute la longueur, particulièrement directement amont des barrages
- le niveau des hautes eaux dépassent une partie des barrages et inondent la vallée

La nappe s'écoule avec une composante transversale dont le gradient est lié à la largeur de la vallée, aux apports des versants et au niveau du plan d'eau, ainsi qu'à une composante longitudinale suivant la pente générale de la vallée.

3.3.3. Modes d'échanges liés à la voie navigable

Il faut distinguer, sur la voie navigable :

- les tronçons sur le Doubs lui-même ;
- des tronçons sur canal artificiel dénommés dérivation.

La voie navigable est constituée d'une succession de biefs horizontaux où le niveau de l'eau est maintenu à une cote NGF constante (hors grandes crues où la navigation est interrompue du fait de la submersion par le Doubs des écluses) et fixée par l'administration pour le bon déroulement de la navigation. Chaque bief est séparé du suivant par une écluse, ou une écluse doublée d'un barrage lorsque la voie navigable est le Doubs lui-même. On a ainsi une disposition en « marches d'escalier ».

Parallèlement, les plans d'eau naturels présents dans la vallée, nappe aquifère des alluvions et cours d'eau, ici le Doubs, dans ses tronçons non navigués, présentent une pente continue (et non pas en « marches d'escalier ») ; pour ce qui est du Doubs non navigué cependant, des barrages sur son cours forment des « marches d'escalier » atténuées.

Il en résulte que l'on a forcément des tronçons où la voie navigable présente des niveaux plus élevés que les plans d'eau naturels. D'une manière générale :

- en tronçon Doubs navigable :
 - . le niveau de la voie navigable est plus haut que le niveau de la nappe dans les parties aval des biefs (c'est-à-dire en tête amont des barrages) -écoulement, à travers les berges, du Doubs vers la nappe-,
 - . il est peu différent du niveau de la nappe dans les parties amonts des biefs (c'est-à-dire côté pied de barrage) -écoulement, à travers les berges, de la nappe vers le Doubs, suivant le mode d'échange naturel ;
- en tronçons en dérivation :
 - . le niveau de la voie navigable est plus haut que le niveau de la nappe sur toute la longueur de la dérivation, mais plus particulièrement dans les parties aval des biefs où le canal est en remblai,
 - . en conséquence, le mode d'échange, potentiel du moins, est toujours du canal vers la nappe, mais suivant des débits qui pourront être très différents suivant que le fond du canal entame ou non la couverture de limons argileux qui recouvre l'aquifère des alluvions grossières ; ces échanges sont cependant faibles du fait aussi de la nature des matériaux constitutifs des dérivations et de la présence systématique de contre-fossés en pied de remblai du canal qui recueillent les eaux d'infiltration de ces remblais (courrier du service de la navigation Rhône-Saône en date du 18 février 2002).

Ce schéma correspond aux périodes hors crue, c'est-à-dire le cas général.

En cas de crues d'orages, le niveau du Doubs est plus haut que celui de la nappe et en général plus haut aussi que les niveaux normaux des dérivations -échange partout dans le sens du Doubs vers la nappe-.

4. Vulnérabilité des captages

Compte tenu des échanges définis ci-dessus, la vulnérabilité des captages dépendra :

- de leur distance à la voie navigable ;
- de la nature du bief passant à proximité (bief en dérivation ou bief en Doubs navigable) ;
- du débit du captage ; en effet, plus le débit pompé est fort, plus le cône d'appel est étendu et plus les vitesses de circulation vers le captage sont importantes et donc, plus les échanges de la voie navigable vers le captage sont intenses.

Enfin, la vulnérabilité des captages pourra dépendre aussi du type d'aménagement réalisé sur la voie navigable, comme précisé ci-dessous.

4.1. FONCTIONNEMENT ET TYPES D'AMÉNAGEMENT SUR LA VOIE NAVIGABLE

Fonctionnement

La vulnérabilité des captages par cargaison ou carburant ou par la fluctuation des niveaux du canal dépendra de leur position et leur distance par rapport à la direction d'écoulement du tronçon, et l'échange de la voie navigable vers la nappe. Cependant, compte tenu des cônes d'appel des captages par puits, on considérera que le risque existe, plus ou moins marqué, tout le long de la voie navigable, Doubs comme dérivations.

Les échanges du canal vers la nappe sont peu importants ; compte tenu de la nature des remplissages de la plaine limono-argileuse, peu perméable. La ligne d'eau du canal étant la plupart du temps plus haute que la nappe, toute baisse de ce niveau – à elle seule – n'aura comme effet que de réduire le différentiel de charge hydraulique et de réduire le risque d'échange du canal vers la nappe.

Sur le Doubs navigable, après dragage, les échanges entre nappe et cours d'eau, quel que soit leur sens, seront plus importants ;

4.2. CAPTAGES VULNÉRABLES

Les captages sont pratiquement tous situés dans la vallée du Doubs et le long du canal Freycinet, pour la plupart au voisinage direct de la voie d'eau (moins d'un kilomètre). Tous ces captages captent la nappe des alluvions du Doubs, d'où la notion de nappe d'accompagnement, sauf 4 d'entre eux qui captent l'aquifère profond des calcaires jurassiques sous les alluvions (voir les remarques ci-dessous).

Ils peuvent être sensibles à la qualité des eaux du Doubs, en proportion inverse du taux de colmatage des berges et du fond du lit mineur. À défaut de données sur ce taux de colmatage, ou plus explicitement sur le degré de perméabilité ou d'imperméabilité des berges et du fond, des mesures locales au droit des captages qui dépriment fortement la nappe, pratiquées au cours de l'exploitation, respectant le protocole normal de pompages d'essai, devraient permettre d'estimer ce colmatage.

L'aquifère alluvial comporte généralement dans la partie supérieure une couche peu perméable de limons, relayée par des niveaux discontinus de marnes ou argiles qui varie en épaisseur comme présenté sur la carte figure 19. Ces niveaux semi-perméables sont inter-stratifiés avec des alluvions perméables, ce qui confère une continuité hydraulique en grand à la nappe alluviale.

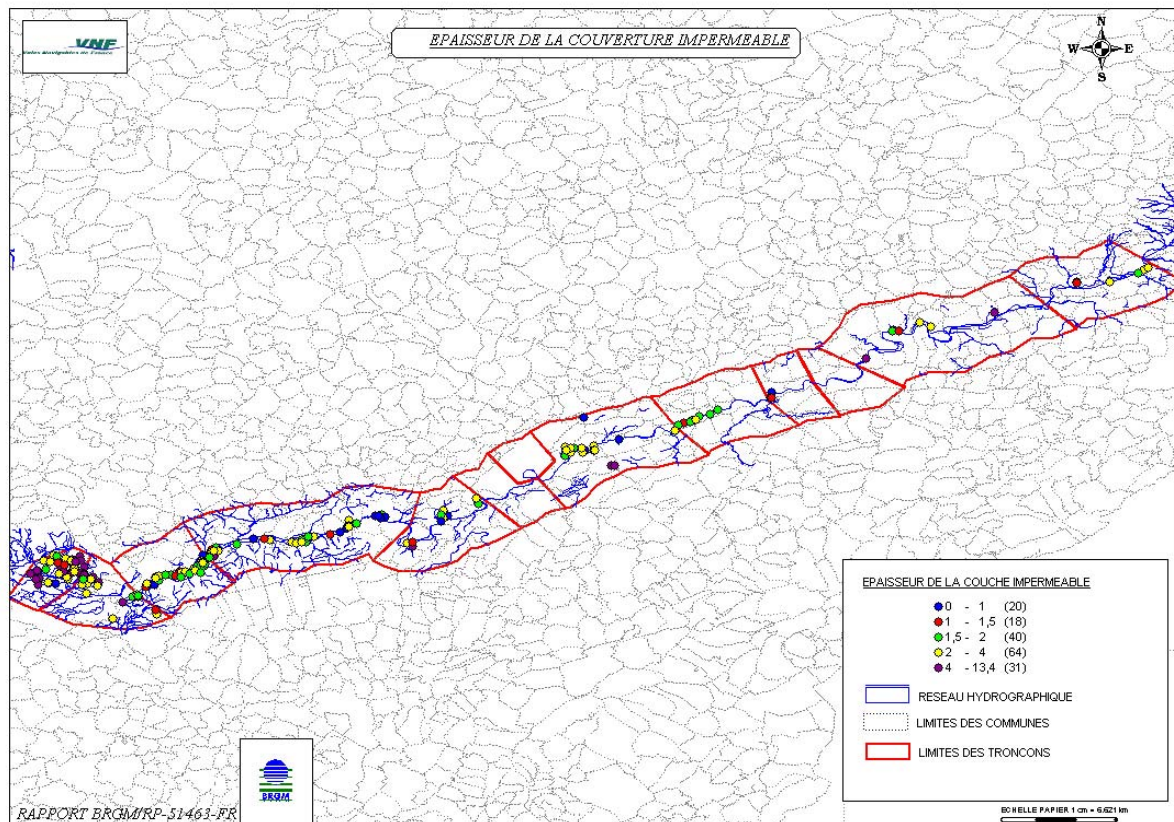


Fig. 19 - Épaisseur de la couche imperméable (argiles, marnes ou limons).

Compte tenu des commentaires donnés dans les sections qui précèdent, le tableau 6 donne, pour chaque captage, outre les renseignements signalétiques, la distance au plan d'eau le plus proche (en m) et la nature de ce plan d'eau (Doubs non navigable, Doubs navigable, dérivation). Il classe aussi les captages en 3 classes de vulnérabilité (forte, moyenne, faible).

Nappes aquifères de la vallée du Doubs. Interférences avec le canal du Rhône au Rhin

Secteur d'appartenance	Distance au plan d'eau le plus proche (en m)	Nature (D : dérivation ; doN : Doubs navigable ; doNN : Doubs non navigable)	Vulnérabilité (F : forte ; M : moyenne ; f : faible)	INDICE_BRGM	VOLUME PRÉLEVÉ EN 2000 (milliers de m ³)	NATURE (ils sont tous exploités)	COMMUNE	LIEU_DIT	Utilisation
1	0	D	F		550,7	PRISE-EAU	MONTBELIARD		EAU-INDUSTRIELLE
1	0	D	F		7583,2	PRISE-EAU	ETUPES		EAU-INDUSTRIELLE
2	190	doN	M	04741X0035		PUITS	MANCENANS	LES GRIGNOLES	AEP.
2	286	doN	M	04742X0041	30,1	PUITS	APPENANS	LA NOUAIE NOM DU CAPTAGE PUIITS SUR LA NOUAIE	AEP.
2	130	doNN	f	04742X0042	245,5	PUITS	ISLE-SUR-LE-DOUBS(L')	STATION DE POMPAGE PUIITS N°1 (ANCIEN)	AEP.
2	100	doNN	M	04742X0044	25,4	PUITS	MEDIERE	NOM DU CAPTAGE PUIITS DE MEDIERE	AEP.
2	260	doNN	f	04742X0073	10,1	PUITS	PRETIERE(LA)	CHAMPS DE LATEY ANCIEN PUIITS	AEP.
2	181	D	M	04742X0077	74,4	PUITS	SAINT-AURICE-COLOMBIER	PUIITS DE SAINT MAURICE	AEP.
2	97	doNN	M	04743X0094	8,3	PUITS	BAVANS	PUIITS DE LA CITE BEAUSOLEIL	AEP.
2	0	doNN	F		139,8	PRISE-EAU	L'ISLE-SUR-LE-DOUBS		EAU-INDUSTRIELLE
2	0	D	F		100	PRISE-EAU	L'ISLE-SUR-LE-DOUBS		EAU-INDUSTRIELLE
2	0	D	F		0	PRISE-EAU	COLOMBIER-FONTAINE		EAU-INDUSTRIELLE
2	39	D	F		13,4	PUITS	COLOMBIER-FONTAINE		EAU-INDUSTRIELLE
2	270	D	f		4,5	FORAGE	DAMPIERRE-SUR-LE-DOUBS		EAU-AGRICOLE
3	86	D	F	04738X0017	273,70	PUITS	BRANNE	CHAMPS D' AVENNEY.NOM DU CAPTAGE POUMEROTS ANCIEN N°1	AEP.
3	165	D	F	04738X0047	273,70	PUITS	BRANNE	PUIITS POUMEROTS NOUVEAU F1	AEP.
3	130	D	M	04738X0048	273,70	PUITS	BRANNE	LE CLOS.NOM DU CAPTAGE FORAGE PROFOND F2	AEP.
4	65	doN	M	04737X0019	290,1	PUITS	BAUME-LES-DAMES	BUEN NOM DU CAPTAGE PUIITS AMONT	AEP.
4	129	doN	M	04737X0053	290,1	PUITS	BAUME-LES-DAMES	BUEN NOM DU CAPTAGE PUIITS AVAL	AEP.
5	140	doN	F	05032X0013	53,7	PUITS	LAISSÉY	NOM DU CAPTAGE PUIITS N°1 (AMONT)	AEP.
5	10	doN	F	05032X0018	16,5	PUITS	OUGNEY-DOUVOT	PUIITS D' OUGNEY	AEP.
5	50	doN	F	05033X0027	368,8	PUITS	FOURBANNE	PUIITS DE FOURBANNE.LE CUL DU BIEF ET PRE DE LA	AEP.
6	830	doN	M	05024X0054	294,165	FORAGE	THISE	CHAMP D' AVIATION THISE 2 (TH3)	AEP.
6	660	doN	M	05024X0055	294,165	FORAGE	THISE	CHAMP D' AVIATION THISE 1(TH4)	AEP.
6	680	doN	M	05024X0056	294,165	FORAGE	THISE	CHAMP D'AVIATION THISE 3 (TH6)	AEP.
6	120	doNN	F	05024X0058	51	PUITS	CHALEZE	AUX PRELOTS CAPTAGE COMMUNAL	AEP.
6	130	doN	F	05031X0037	637	FORAGE	NOVILLARS	DE NOVILLARDS	AEP.
6	20	doN, D	F	05031X0040	21,1	PUITS	DELUZ	SOUS LE BREUIL	AEP.
6	70	doN	F	05031X0041	48,4	PUITS	VAIRE-ARCIER	SOUS BARREAUX PUIITS VAIRE-LE-GRAND	AEP.
6	740	doN	f	05031X0060		FORAGE	VAIRE-LE-PETIT	MONTOILLOTTE	AEP.
6	130	doN	F	05031X0062	2,2	PUITS	VAIRE-ARCIER	PUIITS D'ARCIER FIN DE SOU	AEP.
6	220	doN	M		640,9	PUITS	NOVILLARS		EAU-INDUSTRIELLE
6	90	doN	F		11,3	PUITS	LAISSÉY		EAU-INDUSTRIELLE
6	0	doN	F		115,7	PRISE-EAU	LAISSÉY		EAU-INDUSTRIELLE
8	110	doN	F		0	PUITS	BESANCON		EAU-INDUSTRIELLE
9	140	doNN	M	05026X0050	223,3	PUITS	MONTFERRAND-LE-CHATEAU	PUIITS DE LA FIN BASSE	AEP.
9	110	D	F	05026X0056	190	PUITS	THORAISE	SOUS LES VIGNES PUIITS DE THORAISE	AEP.
9	240	DN	M	05026X0064	49,6	PUITS	TORPES	AU CREUX	AEP.
9	100	doNN	F	05026X0068	223,3	PUITS	MONTFERRAND-LE-CHATEAU	LE PUIITS DU MONT	AEP.
9	200	doNN	M	05292X0014	130,7	PUITS	ABBANS-DESSOUS	LES GRAVIERS.PUIITS D'ABBANS-DESSOUS	AEP.
9	300	D	M		43,2	PRISE-EAU	OSSELLE		EAU-INDUSTRIELLE
9	130	doN	F		752,7	PUITS	BOUSSIERE		EAU-INDUSTRIELLE
10	300	doN	f	05025X0111	962	PUITS	SAINT-VIT	LES CHAMPS ROUSSOTS PUIITS N1	AEP.
10	500	doN	f	05025X0113	962	PUITS	SAINT-VIT	AU FOSSARD PUIITS N3	AEP.
10	200	doNN	M	05026X0063	83,1	PUITS	ROSET-FLUANS	FLUANS PUIITS P1	AEP.
10	100	D	M	05026X0080	34,2	PUITS	ROUTELE	DERRIERE CHEZ BAILLY PUIITS COMMUNAL	AEP.
10	60	D	F	05283X0077	254,65	PUITS	LAVANS-LES-DOLE	LE MOULIN ROUGE 2	AEP.
10	170	D	M	05283X0112	254,65	PUITS	LAVANS-LES-DOLE	LE MOULIN ROUGE 1	AEP.
10	100	doN	F	05284X0018		PUITS	BARRE(LA)	LA BARRE	AEP.
10	100	D	F	05291X0030	237,9	PUITS	DAMPIERRE	DAMPIERRE	AEP.
10	200	doNN	M	05291X0031	80,3	PUITS	SALANS	FRAISANS	AEP.
10	300	D	f		21,9	PUITS	ROCHFERT-SUR-NENON		EAU-AGRICOLE
11	160	D	F	05281X0158	374,6	PUITS	DOLE	SAINT YLIE	AEP.
11	370	doNN, D	F	05282X0097	477,58	PUITS	DOLE	PRES D'ASSAUT (NOM DU CAPTAGE PUIITS DU PASQUIER 1)	AEP.
11	220	doNN, D	F	05282X0160	477,58	PUITS	DOLE	LE PASQUIER N° 2	AEP.
11	360	doNN, D	F	05282X0161	477,58	PUITS	DOLE	LE PASQUIER N° 3	AEP.
11	290	doNN, D	F	05282X0162	477,58	PUITS	DOLE	LE PASQUIER N° 4	AEP.
11	270	doNN, D	F	05282X0163	477,58	PUITS	DOLE	LE PASQUIER N° 5	AEP.
11	150	doNN	F	05282X0164	161,46	CHAMP-CAPTAGE	BREVANS	CHAMP CAPTAGE SUD	AEP.
11	150	doNN	F	05282X0165	161,46	CHAMP-CAPTAGE	BREVANS	PUIITS CENTRE	AEP.
11	150	doNN	F	05282X0166	161,46	CHAMP-CAPTAGE	BREVANS	PUIITS NORD	AEP.
11	130	D	F	05285X0217	306	SONDAGE	DOLE	CENTRE HOSPITALIER SPECIALISE DE St-YLIE (HOPITAL PSYCHIATRIQUE)	AEP
12	200	D	M	05285X0108	67,52	PUITS	TAVAU	N° 15	EAU-INDUSTRIELLE, AEP
12	200	D	M	05285X0344	67,52	PUITS	TAVAU	N° 14	AEP.
12	100	D	M		5,4	PUITS	ABERGEMENT-LA-RONCE		EAU-INDUSTRIELLE
12	0	D	F		52129,5	PRISE-EAU	ABERGEMENT-LA-RONCE		EAU-INDUSTRIELLE
12	400	D	M		26383,8	PUITS	ABERGEMENT-LA-RONCE		EAU-INDUSTRIELLE
12	700	D	f		0	PRISE-EAU	DAMPARIS		EAU-AGRICOLE
12	700	D	f		15,6	PUITS	DAMPARIS		EAU-AGRICOLE
12	0	D	F		1,2	PRISE-EAU	CHOISEY		EAU-AGRICOLE
12	0	D	F		2,2	PRISE-EAU	CHOISEY		EAU-AGRICOLE
12	5	D	F		10,8	PUITS	CHOISEY		EAU-AGRICOLE

Tabl. 6 - Vulnérabilité des captages.

Remarques complémentaires sur les principaux captages vulnérables

On donne ci-dessous quelques remarques sur certains des captages du tableau 6, remarques classées de l'amont vers l'aval.

Puits de la Prétière (474 2X 0073) :

T moyenne = 7.10^{-3} m²/s,

S = 0,15,

vitesse découlement : 12,6 m/j,

rayon d'action moyen du puits au bout de 39 h de pompage, 80 m.

Forage de Novillars (503 1X 0037) :

Il débite 100 m³/h et capte les calcaires du Dogger captifs sous 43 m de calcaires argileux et 49 m de marnes de l'Oxfordien ; ce captage n'est donc, en principe, pas vulnérable sous réserve que son équipement soit étanche à la traversée des alluvions.

Forages de Thise (502 4X 0055, 0055 et 0056) :

3 forages (profondeur : 100, 114 et 129 m) qui captent l'aquifère des calcaires du Dogger profond et qui alimentent Besançon ; du fait de la tectonique complexe sous les alluvions, on ne peut pas dire si l'aquifère des calcaires du Dogger capté ici est, ou n'est pas, en liaison hydraulique avec l'aquifère des alluvions du Doubs.

Captages communaux de Thoraise et de Boussière (502 6X 0056 pour le premier) :

Ils sont à 25 m l'un de l'autre ; en exploitation normale, ils débitent 11 et 24 m³/h et, dans ces conditions, le cône d'appel a 40 m de rayon et la vitesse de transfert est de 11 m/j.

Champ captant de Saint-Vit (502 5X 0111 et 0113) :

Il alimente le syndicat des eaux du val de l'Ognon ; ce champ captant est important et la zone de ressource aquifères des alluvions du Doubs possède des caractéristiques remarquables :

T = $1,8.10^{-1}$ m²/s,

S = 0,11,

vitesse d'écoulement dans la nappe : 10 m/j ;

cette zone aquifère est l'une des plus importantes du département du Doubs.

Puits de Brevans (champ captant : 528 2X 0164, 0165 et 0166) :

3 puits débitent chacun 100 m³/h avec un rabattement maximal de 0,30 m ; 1 700 m³/j sont prélevés et alimentent 19 communes de la région de Dole.

Puits du Pasquiers à Dole (champ captant : 528 2X 0097, 0160, 0161, 0162 et 0163) :

Ils alimentent la ville de Dole ; 5 puits produisent 7 400 m³/j avec un rabattement maximal de 1 à 1,40 m au droit des puits et 0,2 à 0,4 m en bordure du Doubs ; les paramètres hydrauliques montrent que leur alimentation provient du Doubs pour 60 à 75 %. L'eau du Doubs alimente la ville de Dole.

5. Inventaire des captages et usages

Dans le cadre de l'étude, il s'est avéré nécessaire de procéder à un inventaire détaillé de tous les captages d'alimentation en eau potable.

Les captages recensés sont tous implantés dans la vallée du Doubs, la plupart sont situés dans le département du Doubs (74 captages), les autres dans les départements du Jura (21 captages) et de la Côte d'Or (1 captage).

5.1. ORIGINE DES DONNÉES UTILISÉES

L'inventaire et la synthèse des données de captages et des données piézométriques ont été accompagnés d'une phase très importante de rassemblement, dépouillement et analyse des données. Ces données sont présentées (ann. 1) sous forme de tableaux, graphes et cartes MAPINFO.

Les données collectées proviennent de sources différentes :

- base de données SISE-EAUX (origine DDASS) ;
- base de données DDAF ;
- banque de données du sous-sol BRGM ;
- agence de l'Eau RMC.

5.2. INVENTAIRE DES CAPTAGES

5.2.1. Captages AEP

Les données concernant les captages proviennent de la banque de données BRGM et de la base de données DDAF.

La description de l'état initial des captages exploités est synthétisée en annexe 1 :

- tableau 1 : localisation des captages d'AEP (fichier aep_localisation_exp_tronçon.xls) ;
- tableau 2 : descriptif des captages d'AEP (fichier aep_descriptif_exp_tronçon.xls).

Les tableaux regroupent les informations suivantes :

- nom (indice BRGM) ;
- localisation (commune) ;
- fonction (nature, utilisation) ;
- exploitants et propriétaires ;
- volumes prélevés annuels ;
- lithologie et stratigraphie.

5.2.2. Captages industriels et agricoles exploités

Concernant ce type de captage, les données collectées proviennent de l'agence de l'Eau RMC ; nous n'avons pas d'informations supplémentaires sur ces captages du fait qu'ils n'ont pas fait l'objet d'une déclaration au titre du code minier (article 131 du code minier).

La description de l'état initial des captages exploités est synthétisée en annexe 1 :

- tableau 3 : captages agricoles (fichier agricoles_exp_tronçon.xls) ;
- tableau 4 : captages industriels (fichier industriels_exp_tronçon.xls).

Les tableaux regroupent les informations suivantes :

- localisation ;
- fonction (nature, utilisation) ;
- exploitants et propriétaires ;
- volume prélevé dans l'année 2000.

5.3. HYDROCHIMIE DES CAPTAGES AEP

Les paramètres physico-chimiques indiqués dans le rapport proviennent des analyses fournies par les DDASS (du Doubs, de la Côte d'Or et du Jura) pour les captages concernés. Ils figurent dans l'annexe 1 : Analyses qualitatives.

La DDASS du Doubs précise dans sa lettre (voir ann. 1 : correspondance) qu'une partie des analyses hydrochimiques a été réalisée en aval de la station de traitement (dans le réseau de distribution), et que les données de qualité des eaux brutes à la sortie des captages ne sont pas disponibles partout.

On peut considérer que tout le long de la vallée du Doubs, la qualité est influencée par un faciès « franc-comtois » et que les roches-magasins sont essentiellement calcaires. La composition chimique des eaux, globalement homogène dans les puits en nappes alluviales, correspond à un faciès bicarbonaté calcique. Les principaux composants physico-chimiques sont :

- pH

- . Jura : pH 7,2 – 7,5, caractérisant des eaux légèrement alcalines,
- . Doubs : pH 6,8 – 8,3, variable mais pH le plus souvent alcalin,
- . Côte d'Or : pas de donnée.

Les valeurs moyennes pour une zone calcaire sont de pH 7,3, avec des maxima qui se situent à environ pH 8. La valeur de 8,3 est donc plutôt forte.

- Conductivité

- . Jura : 498- 601 $\mu\text{S}/\text{cm}$,
- . Doubs : 345 - 876 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C ou 430 – 462 $\mu\text{S}/\text{cm}$,
- . Côte d'Or : 751 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (un captage),

Ces valeurs sont typiques d'un aquifère à minéralisation moyenne.

- Dureté totale

- . Jura : 20 – 34 °F,
- . Doubs : 20 – 34 °F,
- . Côte d'Or : pas de donnée.

Ces valeurs caractérisent des eaux assez dures, caractéristiques de zones calcaires.

- Fer total

- . Jura : max. 170 µg/l, en général < 50 µg/l,
- . Doubs : max. 950 µg/l, en général 60 – 300 µg/l,
- . Côte d'Or : 400 – 2 500 µg/l (captage 05274x0059 à 2 500 µg/l),

La limite de potabilité pour le fer étant de 200 µg/l. Les eaux ayant généralement un pH alcalin, la teneur en fer relativement élevée (plusieurs mesures dépassent la limite) indique probablement l'influence d'activités anthropiques, soit par l'industrie ou l'utilisation de conduites métalliques.

Très localement, ces valeurs élevées peuvent être naturelles et liées à la présence de couches d'argiles du sol qui rendent le milieu réducteur.

- Manganèse total

- . Jura : < 30 µg/l,
- . Doubs : 0 – 261 µg/l, très variable,
- . Côte d'Or : pas de donnée,

La limite pour l'eau potable est de 50 µg/l. Les valeurs élevées s'expliquent de la même façon que le fer.

- Nitrate

- . Jura : 0-35 mg/l,
- . Doubs : 0 – 34,2 mg/l,
- . Côte d'Or : 2 – 3 mg/l (un captage),

La limite de potabilité pour les nitrates est fixée à 50 mg/l, mais on considère que des teneurs > 10 mg/l indiquent une influence anthropique. Il existe donc dans les départements Jura et Doubs des pollutions azotes.

- Nitrites

- . Jura : pas de donnée,
- . Doubs : 0 – 0,04 mg/l,
- . Côte d'Or : 0,02 ou < 0,02 mg/l (dénitrification).

- Oxydabilité

- . Jura : 0 – 1 mg/l O₂,
- . Doubs : 0 – 5 mg/l O₂,
- . Côte d'Or : pas de donnée.

Les valeurs supérieures à 1 mg/l indiquent une activité de la matière organique relativement importante pour les eaux souterraines.

- Métaux lourds et hydrocarbures :

Les mesures fournies par la DASS du Doubs (tabl. 18 et 19, ann. 1) présentent seulement une partie des piézomètres existants dans la zone d'étude et ne sont pas représentatifs. On peut tout de même constater la présence locale :

- . de *métaux lourds* : du chrome total jusqu'à 8,15 µg/l dans une captage, du mercure jusqu'à 0,5 µg/l dans trois captages, du nickel de 14 µg/l dans une captage, du plomb de 5 à 30 µg/l, (présent dans la majorité des captages fournis),
- . des *hydrocarbures totaux* jusqu'à 197 µg/l,
- . des *hydrocarbures polycycliques aromatiques* de 0,01 et 0,05 µg/l par composé chimique.

Le captage 05274x0059 à Sainte-Seine-Bache, dans les alluvions de la Saône, présente une forte turbidité et de fortes teneurs en Mg et Fer. La présence de nitrites et de peu de nitrates témoigne probablement une dénitrification.

Il existe peu de données en fer et en manganèse sur les captages dans le département du Doubs, mais ces mesures présentent des valeurs de 50 à 400 µg/l. Néanmoins, l'ensemble de captages présentent, au vue des teneurs en nitrate plutôt un caractère oxydant.

Il faut tenir compte du fait que les analyses disponibles concernent des captages contrôlés par les DDASS, et dont les eaux sont potables. Mais lorsque les teneurs en certains éléments dépassent les valeurs admissibles pour une eau potable, le captage n'est plus exploité et les analyses ne sont plus effectuées : il est donc difficile d'évaluer la qualité des eaux d'un aquifère à l'aide des analyses effectuées par les DDASS.

5.4. EAU DU DOUBS, HYDROCHIMIE

Les données des 7 stations implantées sur le Doubs sont fournies par l'agence de l'Eau RMC (selon les données disponibles) :

- **pH** : ces valeurs indiquent des eaux légèrement à fortement alcalines (tabl. 7) :

	Maximum	Minimum	Moyenne	Médiane	Écart type
Feschés	8,2	7,6	7,88	7,8	0,2
Clerval	9	7,8	8,30	8,3	0,34
Choisey	8,3	7,9	8,2	8,3	0,17
Vaire-Arcier	9	7,4	8,16	8,1	0,27
Baume-les-Dames	9,1	7,5	8,12	8,1	0,30
Orchamps	9	7,6	8,11	8	0,28
Avanne-Aveney	9	7,1	8,04	8	0,29

Tabl. 7 - Eau du Doubs, valeurs statistiques du pH.

- **Conductivité** ($\mu\text{S/cm}$) : ces valeurs sont typiques d'un aquifère à minéralisation moyenne (tabl. 8) :

	Maximum	Minimum	Moyenne	Médiane	Écart type
Feschés	361	295	326,8	323	28,3
Clerval	399	265	329	32	38
Choisey	403	307	362,6	377	37,3
Vaire-Arcier	528	230	342	330	47,6
Baume-les-Dames	360	240	307	310	22,7
Orchamps	412	242	316	315	26,8
Avanne-Aveney	558	250	357	350	47,7

Tabl. 8 - Eau du Doubs, valeurs statistiques de la conductivité.

- **Oxygène dissous** (mg/l) : ces valeurs moyennes sont typiques pour l'eau de surface. Les valeurs minimaux sont trop faibles pour un cours d'eau, la mesure a probablement été effectuée dans l'eau stagnante (tabl. 9) :

	Maximum	Minimum	Moyenne	Médiane	Écart type
Feschés	11,8	8,5	9,76	9,00	1,54
Clerval	14	7,9	10,53	10,40	1,42
Choisey	10,5	8,2	8,96	8,50	0,99
Vaire-Arcier	16	6	10,98	11,00	1,65
Baume-les-Dames	13,2	8	11,18	11,00	1,15
Orchamps	14,5	5,6	10,49	10,45	1,61
Avanne-Aveney	14,8	4,5	10,12	10,00	1,75

Tabl. 9 - Eau du Doubs, valeurs statistiques de l'oxygène dissous.

- **Micropolluants minéraux** (mg/kg bryophytes) : ces valeurs relèvent l'existence des métaux lourds dans la rivière (tabl. 10) :

	Paramètres	Unités	Support	Maximum	Minimum	Moyenne	Médiane	Écart type
Vaire-Arcier	Arsenic	mg/kg	bryophytes	3,8	0,7	1,51	1	1,05
Vaire-Arcier	Cadmium	mg/kg	bryophytes	0,5	0,2	0,32	0,3	0,09
Vaire-Arcier	Chrome	mg/kg	bryophytes	16	1	6,52	6	4,32
Vaire-Arcier	Cuivre	mg/kg	bryophytes	48	13	21,18	18	10,08
Vaire-Arcier	Mercure	mg/kg	bryophytes	0,55	0,02	0,10	0,04	0,15
Vaire-Arcier	Nickel	mg/kg	bryophytes	54	6,1	18,55	15	13,42
Vaire-Arcier	Plomb	mg/kg	bryophytes	12	4,7	6,71	6	2,29
Vaire-Arcier	Zinc	mg/kg	bryophytes	221	65	111,18	100	46,91
Avanne-Aveney	Arsenic	mg/kg	bryophytes	2,7	0,3	1,27	1,1	0,79
Avanne-Aveney	Cadmium	mg/kg	bryophytes	0,6	0,07	0,23	0,2	0,14
Avanne-Aveney	Chrome	mg/kg	bryophytes	15	0,8	6,88	6	3,95
Avanne-Aveney	Cuivre	mg/kg	bryophytes	45	9,2	21,71	19	9,45
Avanne-Aveney	Mercure	mg/kg	bryophytes	0,42	0,03	0,13	0,08	0,13
Avanne-Aveney	Nickel	mg/kg	bryophytes	28	3,4	13,80	13	6,26
Avanne-Aveney	Plomb	mg/kg	bryophytes	38	1,3	10,82	8	9,04
Avanne-Aveney	Zinc	mg/kg	bryophytes	169	27	98,62	99	40,80

Tabl. 10 - Eau du Doubs, valeurs statistiques des micropolluants minéraux.

- **Hydrocarbure et autres organiques** ($\mu\text{g/l}$) : aucune mesure a été observée au dessus de la limite de détection (tabl. 11) :

Paramètres	Benzène	Dichloréthane-1,2	Chloroforme	Trichloréthane-1,1,1
Support	eau	eau	eau	eau
13/09/95	< 1	< 20	< 1	< 0,5
15/11/95	< 1	< 20	< 1	< 0,5
14/02/96	< 1	< 20	< 1	< 0,5
17/04/96	< 1	< 20	< 1	< 0,5

Tabl. 11 - Eau du Doubs, valeurs statistiques des hydrocarbures et autres organiques.

5.5. DOSSIERS BIBLIOGRAPHIQUES

Chaque captage comprend une fiche signalétique répertoriée dans un dossier séparé et identifiée par son indice BRGM, et son code DDASS. Cette présentation des dossiers sur papier doit donner des informations complémentaires en cas d'étude à plus petite échelle. Ces dossiers sont livrés comme bibliographie supplémentaire et ne figurent pas dans le rapport.

Chaque dossier comprend ainsi une fiche signalétique et peut posséder les documents suivants :

- localisation du champ captant ;
- coupe géologique ;
- coupe technique ;
- débits ;
- périmètres de protection ;
- coupe eau (dénomination de l'aquifère et niveau d'eau) ;
- autres documents.

6. Conclusion

Sur l'ensemble du domaine d'étude, le Doubs constitue le drain majeur de tous les aquifères environnants, qui sont en quasi-totalité de nature karstique. Ces grands aquifères alimentent le Doubs, soit directement, soit par le relais des nappes alluviales (nappes dites « d'accompagnement »).

Ce mode de fonctionnement est différent de la situation très particulière qui règne sur le Haut-Doubs. Dans ce secteur, le Doubs, perd son eau au profit des vallées environnantes.

L'analyse des données piézométriques et hydrauliques permet d'analyser les influences hydrauliques mutuelles entre les voies d'eau, canal ou Doubs navigable, et les nappes d'accompagnement, puis entre ces dernières et les nappes karstiques des calcaires sous-jacents.

Dans le domaine d'étude, le niveau du Doubs se situe :

- en période normale, à un niveau plus bas que celui de la nappe des alluvions. La rivière draine continuellement la nappe alluviale ;
- en période de crue, localement, à un niveau plus élevé. Durant ces périodes, des échanges locaux peuvent s'opérer -là où le colmatage des berges n'est pas total- du Doubs vers la nappe alluviale. Ils sont de courte durée car la nappe alluviale perd provisoirement son exutoire alors qu'elle est toujours alimentée par les versants qui contiennent des nappes puissantes et en position supérieure. Or, la nappe alluviale a une capacité d'absorption faible qui se mesure par l'épaisseur non saturée encore disponible, et par la porosité libre du terrain non saturé qui se situe entre le sol et la cote initiale du toit de la nappe. Une fois cette capacité d'amortissement consommée, les échanges pratiquement s'annulent, avant de s'inverser au moment de la décrue du cours d'eau, qui précède celle de la nappe.

Concernant la voie d'eau navigable :

- lorsque celle-ci est en dérivation (canal), elle est le plus souvent édifiée en remblai sur la plaine alluviale. Le niveau du canal est plus haut que celui de la nappe et *a fortiori* que celui du Doubs. Cette situation est accentuée dans la partie aval des biefs canalisés. Les potentiels hydrauliques sont en faveur d'un échange du canal vers la nappe mais rien n'indique que ces échanges puissent avoir lieu dans la mesure où l'ouvrage est naturellement et artificiellement étanché. En outre, aucune perte notable n'y est signalée. Si de tels échanges ont lieu, ils sont très vraisemblablement peu significatifs ;
- lorsque la voie navigable est le Doubs lui-même, son cours est entrecoupé de barrages. Le niveau du plan d'eau est alors plus haut que celui de la nappe en amont immédiat des barrages. Il est plus bas en aval des barrages, ce qui est en fait la disposition naturelle. En conséquence, le Doubs peut avoir des échanges alternatifs avec la nappe alluviale, proportionnellement à la perméabilité des sédiments de fond pour les

échanges rivière → nappe. La somme algébrique de ces échanges reste dans le sens nappe → rivière, toujours en raison de la présence des nappes de versants qui alimentent la nappe alluviale.

Aménagements possibles et interventions sur les parties canalisée :

- un dragage du canal respectant le tirant d'eau originel (2,20 m) ne devrait pas -sauf incident technique- entamer le niveau imperméable de fond. Les échanges ne devraient pas en être modifiés. Un incident de type sur-dragage pourrait par contre avoir des conséquences sensibles mais uniquement locales ;
- les vidanges -même partielles- du canal, réduiront ou inverseront le différentiel de charge hydraulique et, consécutivement pourront être en faveur d'écoulement localisés canal → nappe.

Captages :

Les captages sont pratiquement tous situés dans le vallée du Doubs et le long du canal Freycinet, pour la plupart au voisinage direct de la voie d'eau (moins d'un kilomètre). Ils peuvent être sensibles à la qualité des eaux du Doubs, en proportion inverse du taux de colmatage des berges et du fond du lit mineur. A défaut de données sur ce taux de colmatage, ou plus explicitement sur le degré de perméabilité ou d'imperméabilité des berges et du fond, des mesures locales au droit des captages qui dépriment fortement la nappe, pratiquées au cours de l'exploitation, respectant le protocole normal de pompages d'essai, devraient permettre d'estimer ce colmatage.

Etat physico-chimique de référence des eaux :

Les analyses physico-chimiques de plus de 50 captages AEP en nappe, ainsi que des eaux du Doubs (7 stations), constituent une base d'information assez dense pour fournir un état à ce jour (état de référence) des milieux naturels et une estimation de la variabilité saisonnière de cet état. Des concentrations anormales en éléments tels que le fer, le manganèse, des hydrocarbures, et plus rarement de mercure, de plomb, de nickel et de cadmium ont déjà été observées dans certaines nappes. Il faut garder à l'esprit que les données qualitatives sont fournies par le contrôle réglementaire réalisé par les DDASS sur les captages AEP exploités. Elles peuvent ne pas rendre compte objectivement de l'état des nappes dans leur totalité, car en cas de pollution d'un captage, les mesures cessent par fermeture et remplacement de ce captage. Un suivi qualitatif de certaines nappes sera profitable en dehors des zones de captage, afin d'avoir une vision objective de l'état de la ressource et sur les tendances évolutives de la qualité des eaux.

7. Bibliographie

- (1983) - Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution de la région de Franche-Comté 1/250 000 - Cartes (3x) - Perméabilités, exploitabilité, points d'exploitation pour l'alimentation en eau potable, écoulement souterraine (avec vitesses), carte de sources de pollution potentielle.
- (1983) - Carte de la qualité des eaux souterraines brutes en Franche-Comté 1/250 000 - Carte avec notice explicative 83 SGN 439 FRC - Pollutions bactériologiques, turbidité, perméabilité, Cl, nitrate, toxiques, fer, agressivité ...
- Cartes géologiques de la France à 1/50 000 : Gy (472), Baume-les-Dames (473), Montbéliard (474), Vercel (503), Delle (475), Besançon (502), Dole (528) - Cartes géologiques, géologie régionale, série lithostratigraphique.
- (1966) - Atlas des eaux souterraines de la France. Livre. Cartes, coupes et descriptions des nappes (simplifié).
- (1969) - Piézométrie de la nappe alluviale de la Saône de Saint-Jean de Losne à Chalon et de la nappe Saône-Doubs. Rapport 69 SGL 109 JAL - seulement Saône.
- (1968) - Connaissance de l'hydrogéologie de la plaine Saône-Doubs – Géologie - Rapport 68 SGL 120 JAL - de Dôle en aval, coupes géologiques, différents alluvions.
- (1982) - Réseau piézométrique régional de Franche-Comté - Rapport 82 SGN 1041 FRC - piézomètre de référence, systèmes aquifères.
- (1977) - Étude par modèle mathématique de la nappe alluviale du Doubs, du confluent de la Loue à Neublans - Rapport 77 SGN 091 FRC - Calcul de perméabilité, substratum, influence exploitation et rivière.
- (28/05/91) - Banque de données « Qualité des eaux souterraines » - Rapport 32518 et 89 SGN 729 FRC - Description de la banque de données.
- (1990) - Connaissance hydrogéologique de la plaine alluviale du Doubs en Franche-Comté. Rapport R31756 FRC 4S 90 - Tableaux de données géologiques et hydrogéologiques + cartes.
- (1968) - Climatologie, hydrologie et déficit d'écoulement rapportés aux unités géologiques. Rapport 68 SGL 162 JAL - Carte du vallée du Doubs, unités hydrologiques, débits.

- (1964) - Étude hydrogéologique de la plaine du Doubs aux environs de Tavaux (Jura). Rapport DSGR.64.B1 527 528 H - Profil et piézométrie du canal à l'ouest entre Saône et Doubs.
- (1967) - Connaissance de l'hydrogéologie de la plaine Saône-Doubs - Cartes Piézométriques. Rapport DSGR 67 A 38 - Cartes piézométriques et description des nappes à l'ouest entre Saône et Doubs.
- (1969) - Connaissance de l'hydrogéologie de la plaine Saône-Doubs – Hydrogéologie - Rapport 69 SGL 55 JAL - Cartes piézométriques et description des nappes à l'ouest entre Saône et Doubs.
- (1971) - Connaissance de l'Hydrogéologie de la plaine Saône-Doubs - Hydrochimie et Pollutions - Rapport 69 SGL 55 JAL - Vitesse de propagations, pollutions, chimie.
- (1979) - Les eaux souterraines de la plaine Saône-Doubs (gisement, hydrodynamique, hydrochimie, pollution, gestion et sauvegarde) - Document du BRGM n° 9 - Piézométrie, paramètres hydrodynamiques, hydrochimie, modélisation.
- (1992) - Liaison navigable Rhin-Rhône, études hydrogéologiques, rapport de synthèse. rapport R 35673 FRC 4S 92 - Géologie, hydrogéologie, piézométrie, inventaire de captages, impact du grand canal.
- (1990) - Connaissance hydrogéologique de la plaine alluviale de Doubs en Franche-Comté, tableaux des données géologiques et hydrogéologiques des ouvrages souterrains - Rapport R 31756 FRC 4S 90 - Inventaires d'ouvrages souterrains et caractéristiques techniques, géologiques et hydrogéologiques.
- Canal du Rhône au Rhin, profil en long. Document des Ponts et Chaussées, service de navigation Rhône-Saône, VNF - Cotes NGF des biefs de la voie navigable de la Saône à Allenjoie avec pK des écluses et des barrages et cotes NGF du max. des principales crues à chaque écluse.
- (1975) - Guides géologiques régionaux : Jura. Éditions Masson - Géologie régionale, série lithostratigraphique, curiosités géologiques.
- (1987) - Inventaire des circulations souterraines reconnues par traçage en Franche-Comté - Annales scientifiques de l'université de Besançon, géologie, mémoire n° 2 - Inventaire et localisation précise de toutes les expériences de traçage réalisées en Franche-Comté.
- (1996) - Liaison fluviale Saône-Rhin, étude d'impact hydrogéologique. Rapport ANTEA A 06062 - Impact du canal à grand gabarit sur les eaux souterraines, coupes géologiques, chroniques de niveaux piézométriques, cartes piézométriques.

Zones humides

CEMAGREF (1996/1998) - Amélioration du modèle sur les biefs du Doubs et de l'Allan.

AERU - Suivi de l'évolution de la zone humide de Brognard, créée en bordure de l'Allan.

AERU (1994) - Mesures d'accompagnement pour la mise à sec du canal déclassé du Rhône au Rhin.

BRGM

SERVICE EAU

Unité Applications et développements méthodologiques

3, avenue Claude Guillemin – 45060 ORLÉANS Cedex 2 – Tél. 33 (0)2 38 64 34 34