

HYDROGEOLOGIE

GETTVERT Florian, LAFOUGE Marie

SOMMAIRE

Exercice 1 : Réalisation d'une carte piézométrique	<i>p.1</i>
Exercice 2 : Modélisation sous Wxmaxima	<i>p.6</i>
Exercice 2 : Etude hydrogéologique d'un cas d'étude	<i>p.9</i>

EXERCICE 1 :

Réalisation d'une carte piézométrique

Il s'agit de réaliser une carte piézométrique du territoire d'étude (*Fig. 1*) afin d'apprécier la piézométrie de la nappe et d'évaluer l'impact de l'implantation d'un supermarché avec un parking souterrain sur la nappe.

Ainsi, plusieurs forages ont été faits, répartis irrégulièrement sur la zone d'étude (de nombreux piézomètres au sud de la zone).

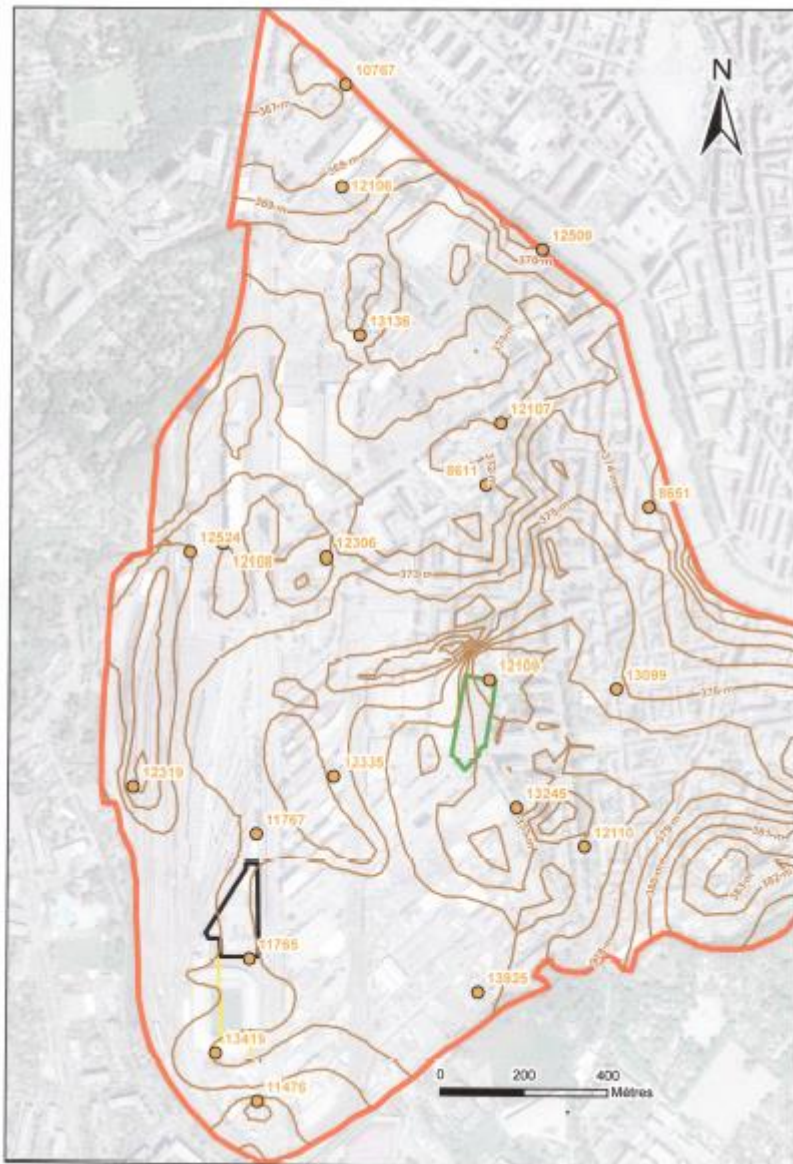


Fig.1 : Carte de la zone d'étude

A l'issue de ces campagnes de mesures, une carte piézométrique (*Fig.2* et *Fig.3*) et une interprétation de cette dernière ont été réalisés.

Pour rappel, le suivi du niveau de la nappe souterraine s'effectue au moyen de piézomètres : ce sont des points d'accès à la nappe (puits, forages) dans lesquels on mesure le niveau de l'eau. Le niveau est mesuré soit manuellement lors de tournées, au moyen d'une sonde que l'on descend dans l'ouvrage, soit en continu grâce à une centrale électronique d'acquisition de données.

L'ensemble des niveaux mesurés en différents points permet alors de déterminer la surface piézométrique ou toit de la nappe (*Fig.2*).

Analyse de la Figure 2 (page 3) :

La circulation d'eau dans la nappe se fait dans le sens des niveaux piézométriques décroissants, c'est à dire perpendiculairement aux courbes isopièzes. Dans notre cas, l'écoulement se fait du sud vers le nord.

Systèmes d'écoulement identifiés :

A : la nappe alimente la rivière

B : la rivière alimente la nappe

C : le système d'injection avec des lignes de courant typiques d'un puit de réinjection (ajout d'un flux)

D : axe de drainage (peut-être dû aux formations géologiques présentes avec des matériaux moins drainants ou à une « cuvette » au niveau du sous-sol)

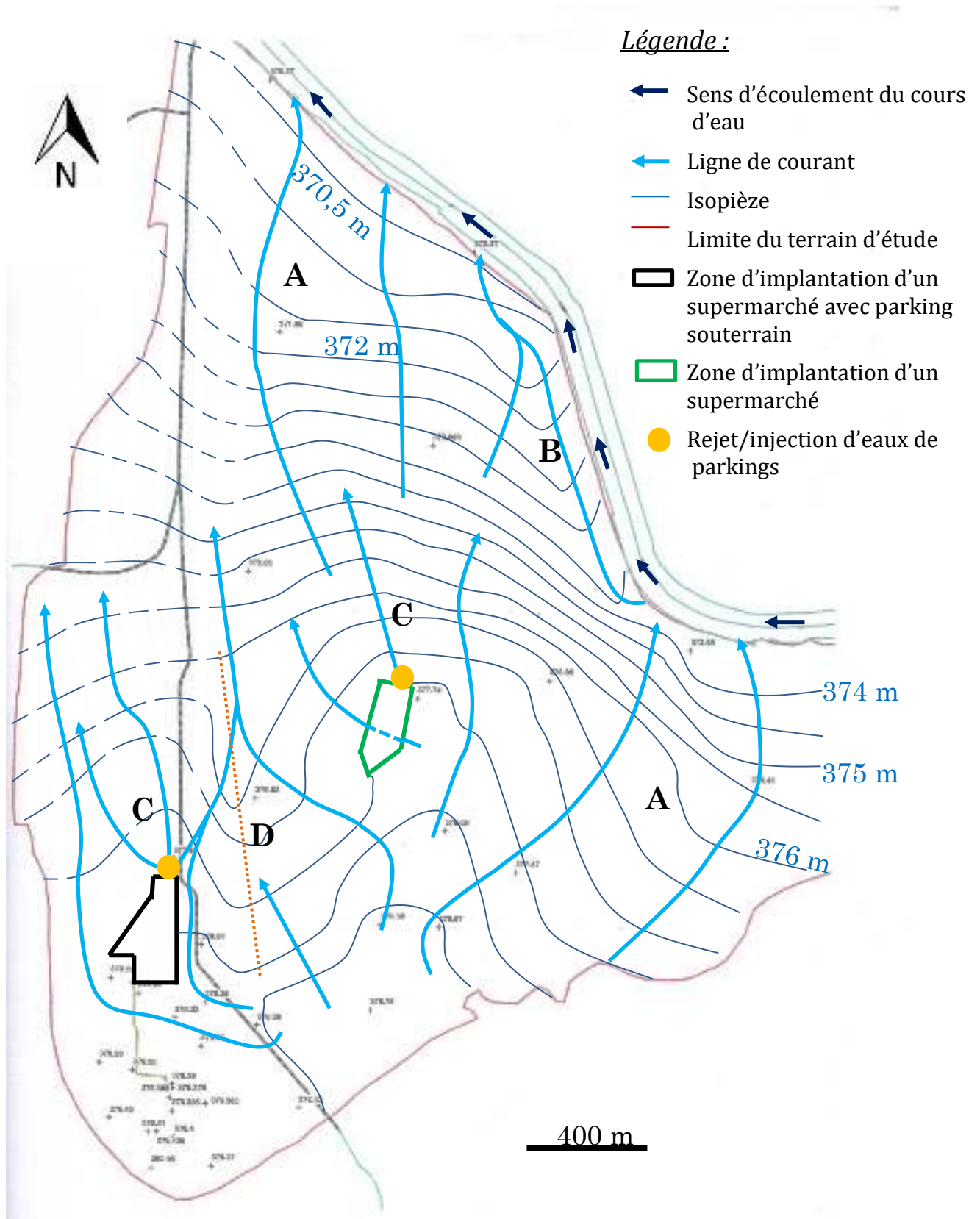


Fig.2 : Carte piézométrique de la zone d'étude

La zone sud a fait l'objet d'un zoom pour mieux identifier les systèmes d'écoulement présents (Fig.3).

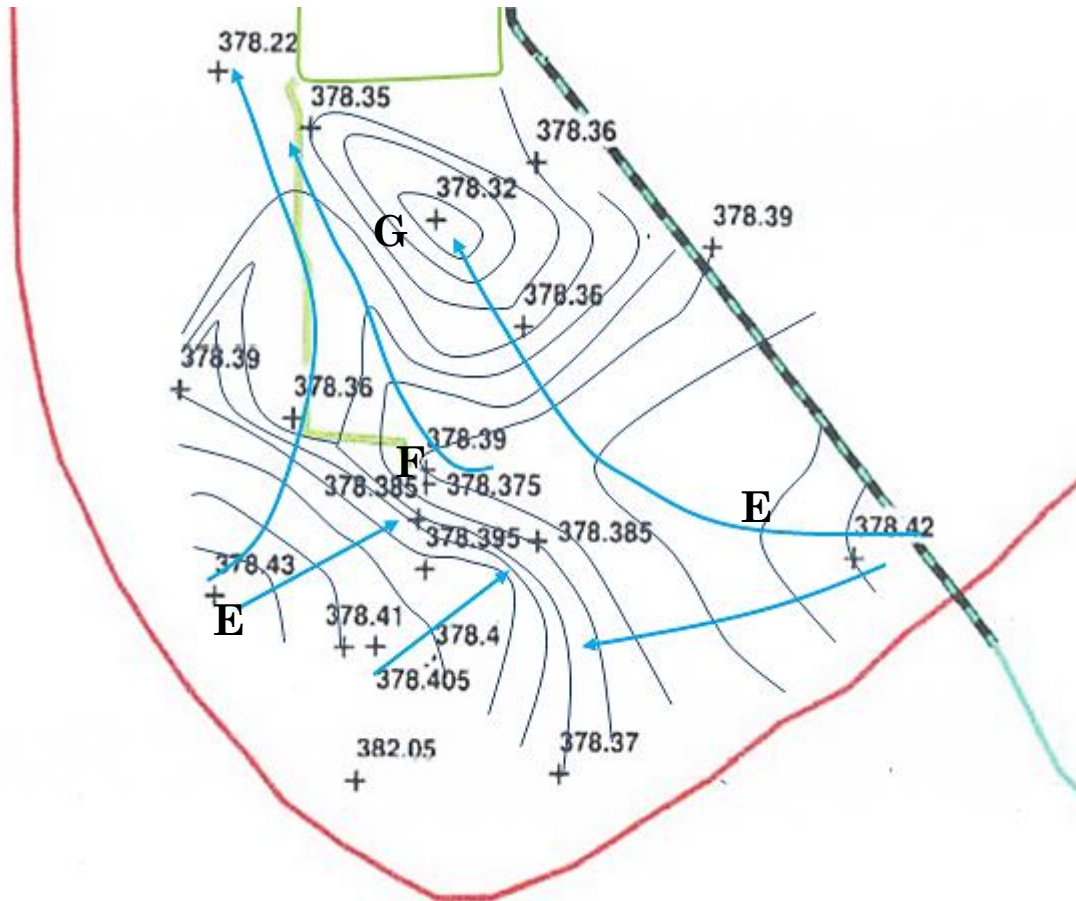


Fig.3 : Carte piézométrique de la partie Sud

Analyse de la Figure 3 :

Les systèmes d'écoulement identifiés sont les suivants :

E : la nappe est alimentée par des apports externes à la zone d'étude

F : axe de drainage (peut-être dû aux formations géologiques présentes avec des matériaux moins drainants ou à une « cuvette » au niveau du sous-sol ou à un captage dans cette zone)

G : lignes isopièzes types du pompage d'une nappe (ou alors dû à une « cuvette »)

On souhaite maintenant connaître le gradient hydraulique moyen de la nappe déduit par la formule suivante :

$$i = \frac{\Delta H}{L} = \frac{376,5 - 371}{1067} = 0,00515 \text{ m/m}$$

Le gradient hydraulique i est donc de **5,15 m/km**.

EXERCICE 2 :

Modélisation sur Wxmaxima

On souhaite modéliser la zone de capture d'un pompage. Le pompage génère un rabattement de la nappe (*Fig.1*). Une dépression se forme, c'est le cône de rabattement.

Il s'agit de mesurer à débit constant les dimensions de ce cône à un instant donné. Les deux données géométriques du cône, à un instant t , sont :

- le rabattement, noté s : abaissement du niveau piézométrique dans le puits de pompage ou dans un piézomètre ;
- le rayon d'influence, noté R : distance de l'axe du puits à laquelle le rabattement est nul.

À débit constant, les trois facteurs des dimensions du cône de dépression sont :

- les paramètres hydrodynamiques (transmissivité et coefficient d'emmagasinement) ;
- le temps de pompage ;
- le régime d'écoulement (permanent ou transitoire).

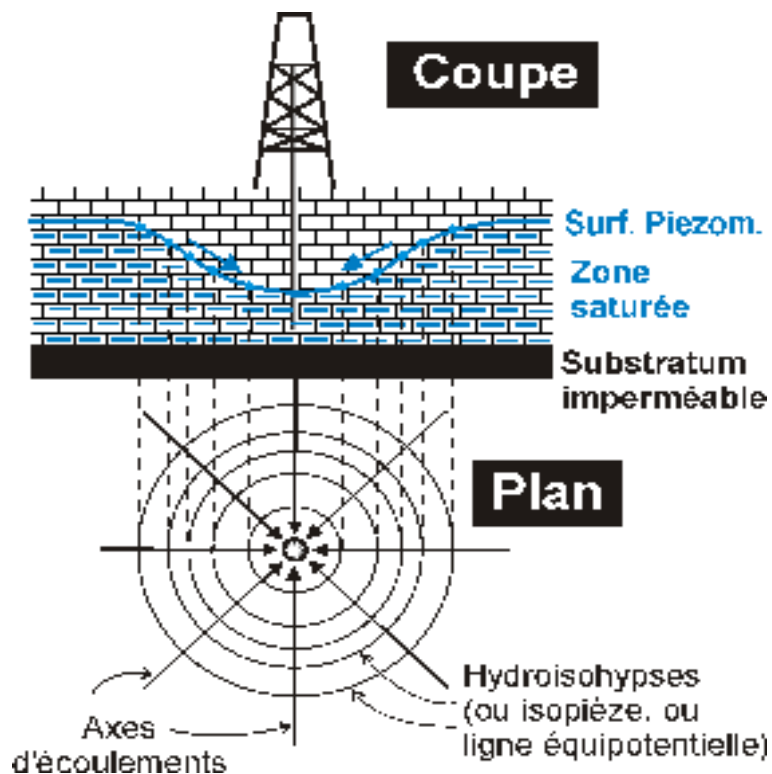


Fig.1 : Effet d'un pompage

Voici le script (avec le logiciel WXMaxima) permettant de connaître le rabattement r tout en connaissant les différents paramètres que sont la perméabilité, l'épaisseur de l'aquifère, la distance à l'ouvrage, le temps de pompage, le coefficient d'emmagasinement et le débit de pompage :

```
(*i17) kill(all)$
K:1.0e-3$ print("perméabilité : ",K,"m/s")$
H:10.0$ print("épaisseur de l'aquifère : ",H,"m")$
T:K*H$
r:0.2$ print("distance à l'ouvrage : ",r,"m")$
t:10*86400.0*7$ print("temps de pompage : ",t/3600,"heures")$
S:0.05$ print("coefficient d'emmagasinement : ",S)$
Q:50.0/3600.0$ print("débit de pompage : ",Q*3600,"m3/h")$
u:(r^2*S)/(4*T*t)$
delta:(Q/(4*3.1415927*T))*(-expintegral_ei(-u))$
print("rabattement : ",delta,"m")$

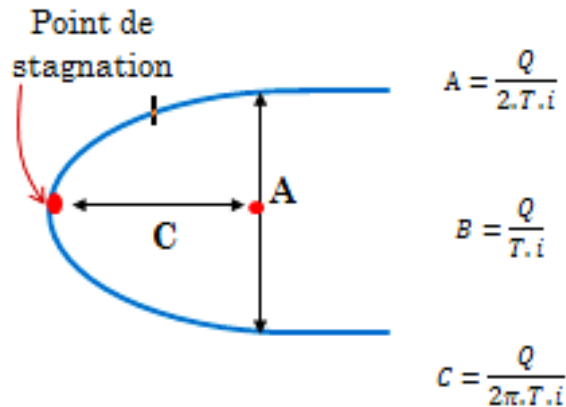
perméabilité : 0.001m/s
épaisseur de l'aquifère : 10.0m
distance à l'ouvrage : 0.2m
temps de pompage : 1680.0heures
coefficient d'emmagasinement : 0.05
débit de pompage : 50.0m3/h
rabattement : 1.993167405220100m
```

Avec les valeurs prises initialement dans le script, on obtient un **rabattement r** égale à **1,99m**.

On cherche maintenant à modéliser graphiquement la zone de capture du pompage. Pour cela, on utilise l'expression d'approximation suivante en introduisant les valeurs de débit Q , le gradient i , l'épaisseur de l'aquifère e , la transmissivité et la perméabilité :

$$x = \frac{y}{\tan\left\{\left[1 - \left(\frac{2eu}{Q}\right) \cdot y\right] \cdot \pi\right\}}$$

avec $u = K \cdot i$ selon la loi de Darcy



Script Wxmaxima :

```
kill(all)$
Q:100/89400$ print("débit : ",Q,"m3/s")
i:0.5/172$ print("gradient hydraulique : ",i)
e:3.40$ print("épaisseur de l'aquifère : ",e,"m")
K:5.0e-4$ print("perméabilité : ",K,"m/s")
T:K*e$ print("transmissivité : ",T, "m²/s")
u:K*i$ print("loi de Darcy: u=",u)
B:Q/(T*i)$ print("zone d'appel à l'infini : ",B,"m")
A:Q/(2*T*i)$ print("zone d'appel au droit de l'ouvrage : ",A,"m")
C:Q/(2*3.1415927*T*i)$ print("point de stagnation : ",C,"m")

facmul:0.85$
debut:-facmul*B/2$
fin:-debut$

capture(qq):=qq/tan((1-2*e*u*qq/Q)*3.1415927)$
wxplot2d(capture,[qq,debut,fin],
          [xlabel,"m"]
          [ylabel,"m"]
          [gnuplot_preamble,"set grid;set size ratio 1;set
key outside top rmargin;set title 'zone de capture'"])$
```

EXERCICE 3 :

Etude hydrogéologique d'un cas d'étude

Le Contournement Ferroviaire de l'Agglomération Lyonnaise (CFAL) traverse deux zones de captage d'alimentation en eau potable (AEP) : les captages de Chânes à Béligneux et celui des Fromentaux à Chazey-sur-Ain.

Le puits de captage des Fromentaux à Chazey-sur-Ain est celui que nous allons développer (Fig.1). Ce puits est situé en rive gauche de l'Ain et exploite les alluvions sur une épaisseur de 6m. 208 000 m³ d'eau y sont prélevés chaque année. Ce captage s'effectue dans la nappe alluviale de la plaine de l'Ain qui présente une ressource stratégique d'importance régionale.

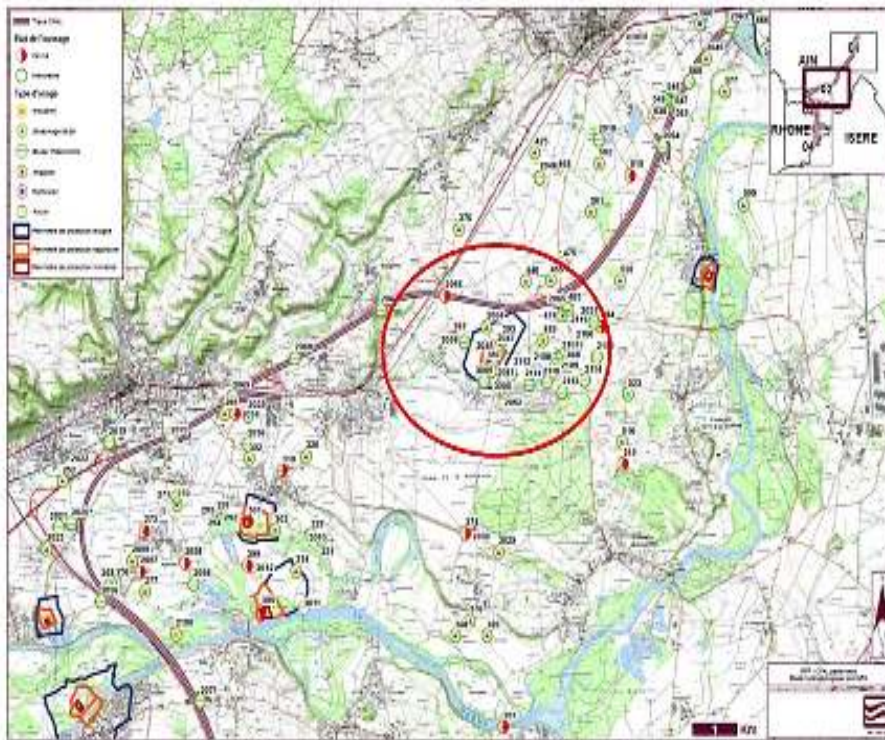


Fig.1 : Localisation de la zone de captage Les Fromentaux à Chazey-sur-Ain

Quelles protections, depuis la conception du projet CFAL, ont été prises pour protéger la zone de captage des Fromentaux ?

Dans un premier temps, la description hydrogéologique de la zone de captage Les Fromentaux sera expliquée puis, dans un second temps, seront mentionnées les différentes pressions sur la nappe. Dans un dernier temps, nous étudierons l'impact du projet CFAL sur la nappe d'eau et les réponses apportées pour sa protection.

I. Description de la masse d'eau souterraine

1. Description du sous-sol

Le captage des Fromentaux à Chazey-sur-Ain prélève les eaux des alluvions de la plaine de l'Ain pour l'AEP. Cette plaine forme un triangle qui s'étend de Neuville-sur-Ain au nord jusqu'à la confluence de l'Ain et du Rhône au sud. Elle est limitée à l'ouest et au nord-ouest par le plateau de la Dombes et à l'est par les monts du Jura.

L'aquifère est constitué des dépôts alluvionnaires quaternaires d'origine fluvio-glaciaire du Würm (sable, graviers et gros galets) borné à l'ouest par des formations morainiques (*Fig. 2*). Le substratum de ces dépôts quaternaires est constitué par des dépôts tertiaires argilo-sableux du Pliocène ou du Miocène.

Sa structure en multicouches présente une alternance de niveaux très et moins perméables, avec une épaisseur moyenne de 20 mètres dans la zone de Chazey-sur-Ain.

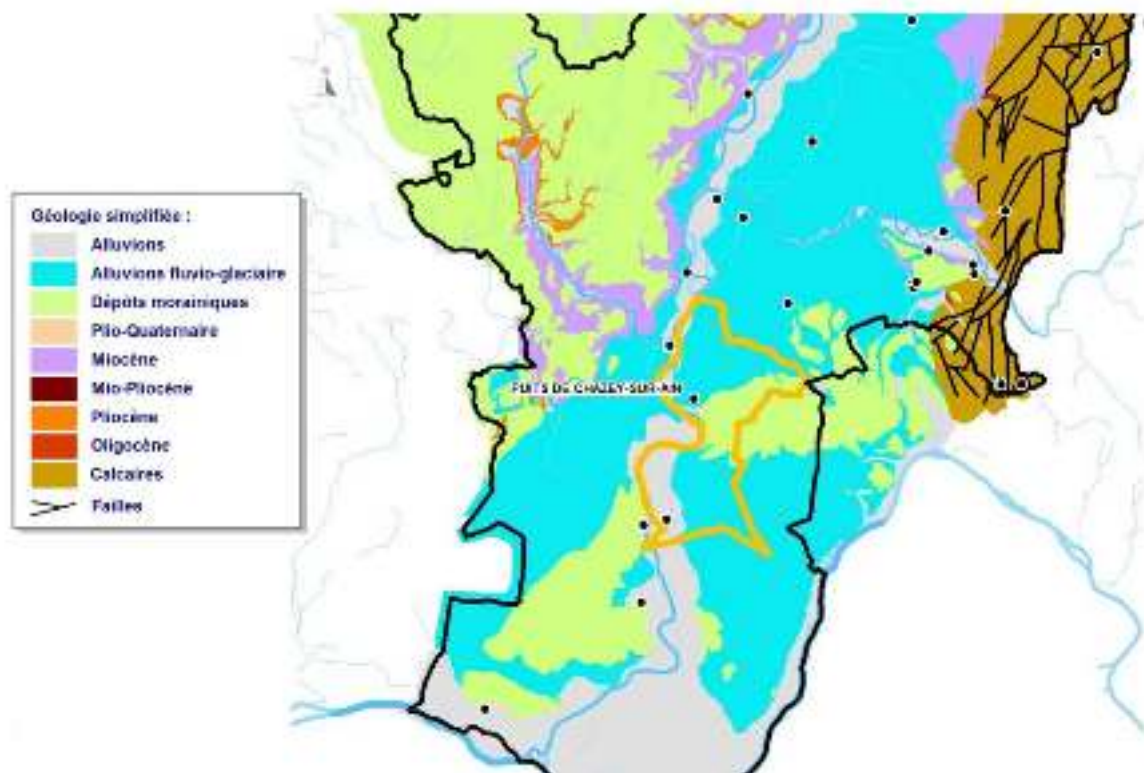


Fig.2 : Carte géologique aux alentours du puits de Chazey-sur-Ain

2. Modalités des recharges naturelles de la nappe

L'aquifère de la plaine de l'Ain est un aquifère alluvial libre dont les apports à la nappe sont les suivants :

- la pluie efficace de 350 à 550 mm/an sur la superficie de la plaine de l'Ain, soit un apport de 17,3 m³/s au sous-système Plaine de l'Ain amont (dont fait partie la commune de Chazey-sur-Ain) ;
- le drainage par l'Ain de 28,3 m³/s ;
- les apports depuis les versants de la Dombes, des Monts du Jura et des collines de Chazey-sur-Ain de 0,13 m³/s ;
- et les apports souterrains aux limites latérales qui représentent 17,3 m³/s.

Les exutoires de cette nappe sont l'Ain au nord et le Rhône pour les parties sud-est et sud-ouest.

Cette nappe s'écoule du nord vers le sud (drainage de la nappe par l'Ain) avec des alimentations des versants à l'est et à l'ouest (Fig. 3). Son gradient hydraulique est d'environ 0,2% avec une amplitude piézométrique comprise entre 0,5 et 2 mètres pour une profondeur d'en moyenne 20 mètres.

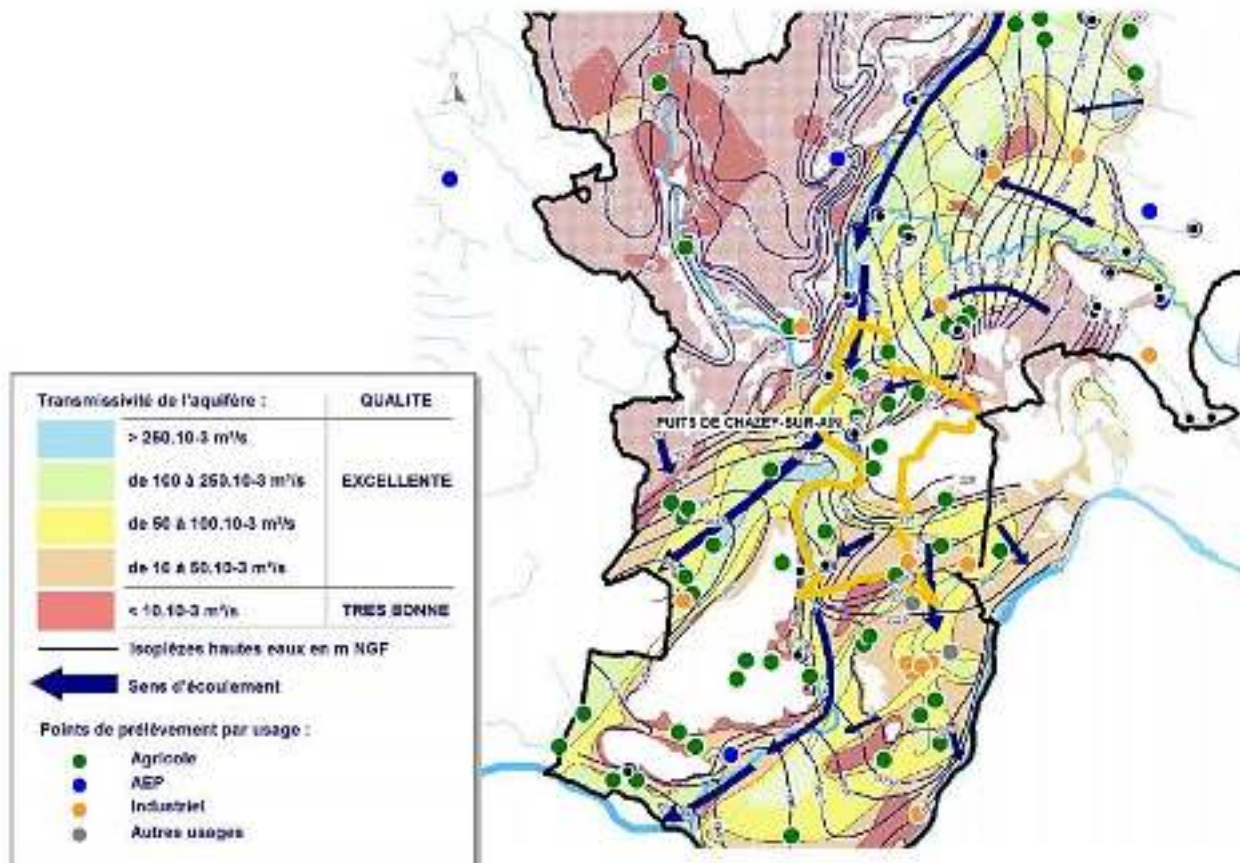


Fig.3 : Carte piézométrique et points de prélèvement

Si l'on s'intéresse aux paramètres hydrodynamiques de la nappe et aux vitesses de propagation des polluants au sein de la nappe, on obtient les résultats suivants :

Perméabilité : 10^{-2} à 10^{-5} m/s
Transmissivité : 100 à $250 \cdot 10^{-3}$ m²/s
Porosité : environ 10 %
Vitesse d'écoulement : 20 à 3 000 m/an (donc vitesse de propagation des polluants solubles ayant des caractéristiques physico-chimiques similaires à l'eau)

3. Connections avec les cours d'eau et les zones humides

L'Ain est le cours d'eau qui draine la nappe alluviale passant au niveau de la zone de captage des Fromentaux de Chazey-sur-Ain. Ce drainage a notamment lieu au niveau de la boucle de Chazey-sur-Ain. La qualité de l'Ain est estimée de bonne qualité. Néanmoins « aucun plan d'eau d'envergure n'est à signaler ».

Au regard de l'AEP, les potentialités sont ponctuellement bonnes dans le triangle Pérouges-Meximieux-Charnoz (*Fig.4*).

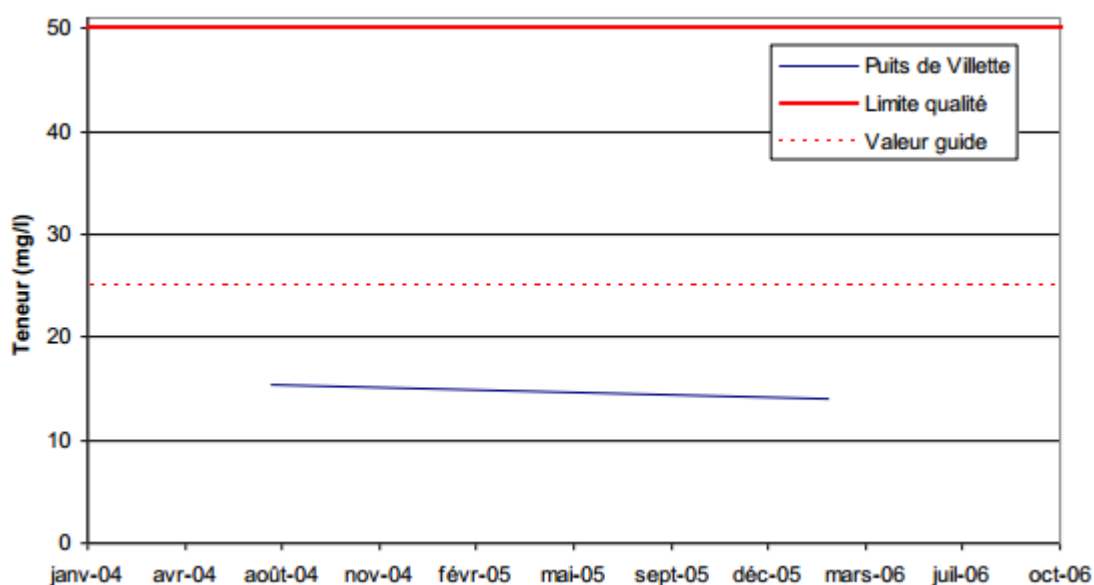


Fig.4 : Evolution des teneurs en nitrates au puits de Vilette à Chazey-sur-Ain

La teneur en nitrates au niveau du puits de Vilette oscille autour de 15 mg/L. Ceci traduit une faible influence anthropique. Aucune trace de pesticides ou d'autres substances n'a été trouvée lors des analyses de 2004 et 2006.

II. Pressions sur la nappe alluviale

1. Occupation agricole des sols et élevage

La plus grande partie de la plaine de l'Ain est destinée aux cultures céréalières (blé, orge, maïs, colza, luzerne). Le maïs est la principale céréale cultivée. Sa culture est grande consommatrice d'eau et d'intrants (pesticides et engrais) : l'impact en termes de qualité et de quantité sur la masse d'eau est variable mais localement important.

Les cultures céréalières exercent une forte pression polluante sur la nappe, avec des teneurs en nitrates et pesticides dépassant parfois les normes. Le secteur compris entre le Rhône et l'Ain, à l'aval de Chazey-sur-Ain est le plus exposé avec des teneurs en nitrates de 25 à 100 mg/L. L'ensemble de la zone est d'ailleurs classé en zone vulnérable avec mise en place du Code de bonnes pratiques agricoles et de programmes d'action (*arrêté préfectoral du 7 mai 1997*).

Quelques actions locales ont alors été engagées dans la plaine :

- mise en place de mesures agro-environnementales pour les captages AEP d'Ambronay, de Balan et de Bèlignieux ;
- un plan d'actions phytosanitaires (à Toison).

L'espace naturel (bois et broussailles) est encore bien représenté sur les alluvions récentes de l'Ain.

L'élevage est peu représenté et de type extensif.

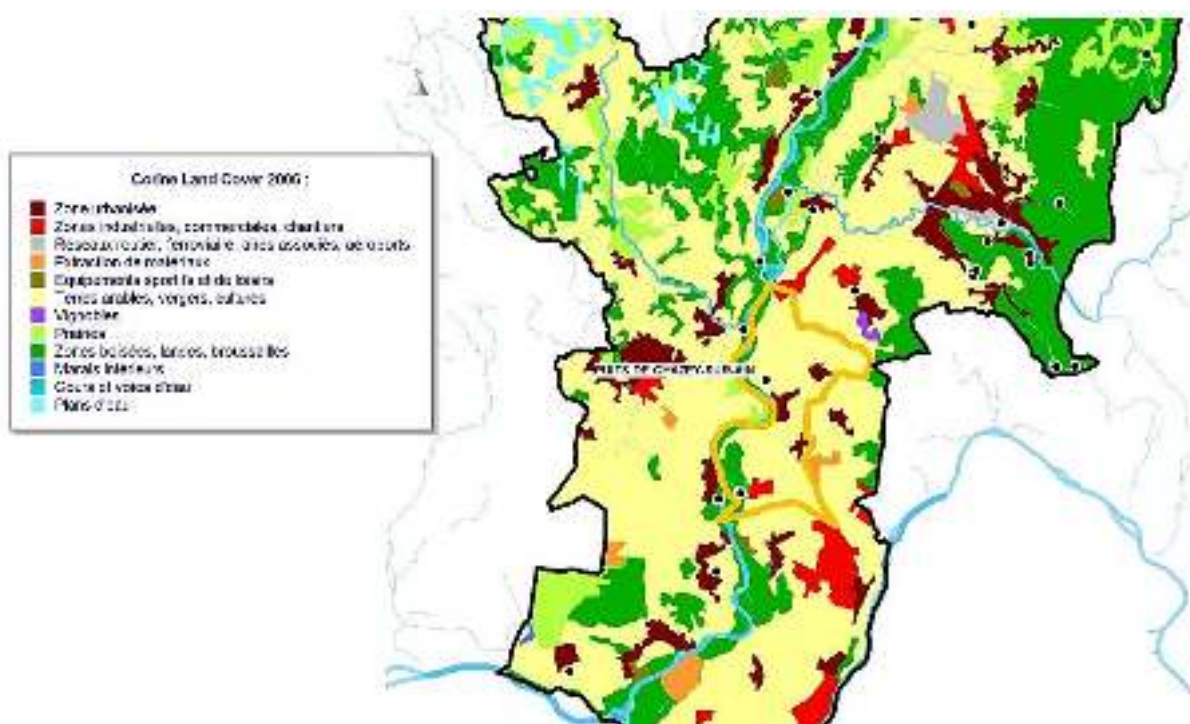


Fig.5 : Carte d'occupation des sols

2. Pollutions ponctuelles avérées et autres pollutions significatives.

On ne note actuellement pas de pollution de l'eau d'origine industrielle mais des sites et sols potentiellement pollués sont localisés à proximité du captage des Fromentaux. Effectivement, la présence d'une décharge (encombrants, déblais et déchets verts) représente potentiellement un risque pour les eaux souterraines (Fig.6).

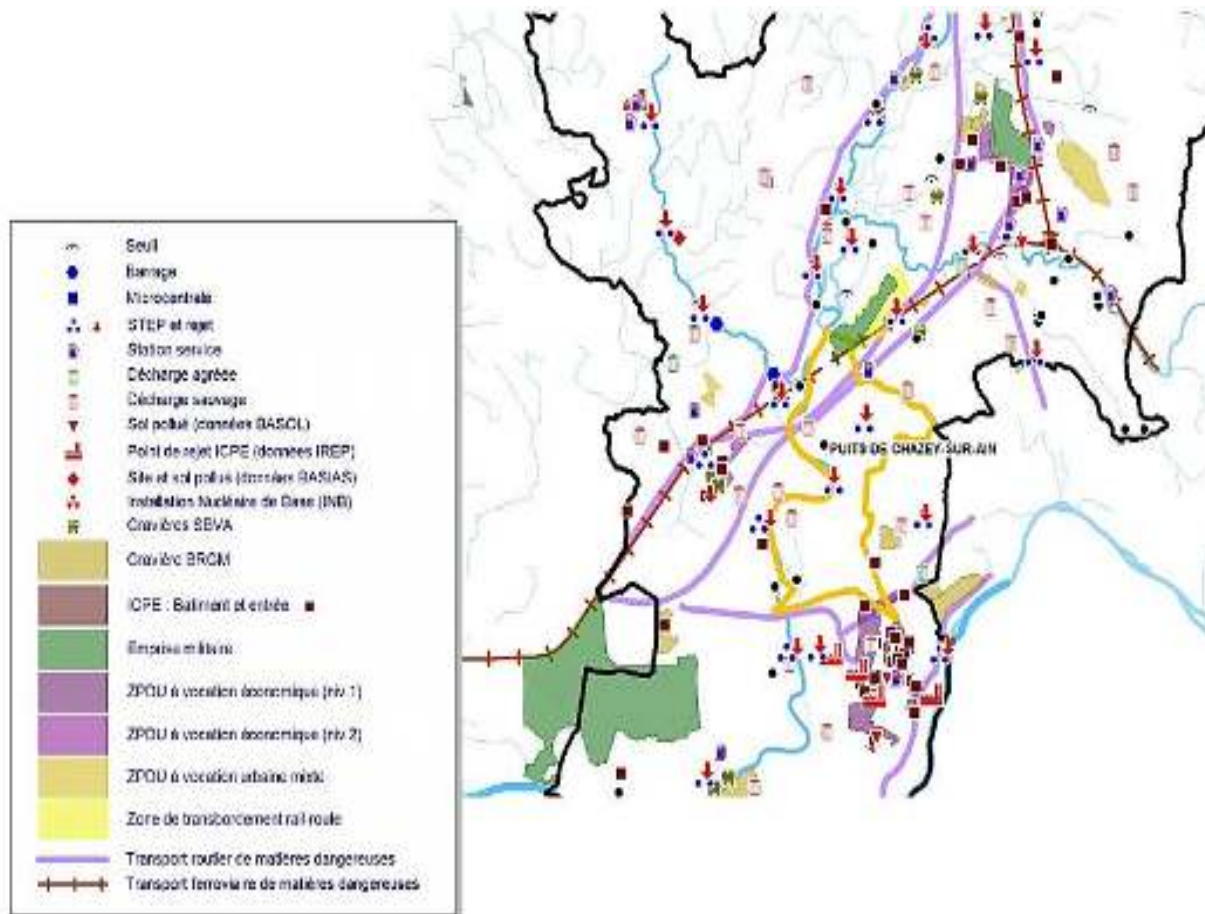


Fig.6 : Carte répertoriant les risques sur le territoire

Actuellement, les risques pour le puits des Fromentaux à Chazey-sur-Ain est de deux types : les risques « linéaires » et les risques « ponctuels ».

Les risques linéaires sont les suivants :

- la départementale D40 à proximité immédiate du puits ;
- la nationale N84 passant à moins de 800m ;
- l'autoroute A42-E611 à moins de 900m ;
- la présence à environ 800m au nord du puits d'un passage souterrain de transport de matières dangereuses (Ethylène Est) dit **TMD**.

La N84 et l'A42 supportent toutes les deux des transports de matières dangereuses.

Les risques ponctuels sont les suivants :

- la présence d'une décharge sauvage à environ 750 m au nord-ouest du puits ;
- la présence sur la commune d'une station d'épuration et de son rejet au nord-ouest du captage ;
- une zone de transbordement rail-route en limite nord de la commune.

3. Usages des eaux captées

Les prélèvements au niveau de la station de pompage de Chazey-sur-Ain se font aussi bien pour l'AEP que pour l'irrigation principalement (Fig.7). Chaque année, environ 208 800 m³ sont captés pour les différents usages précédents.



Fig.7 : Répartition de l'eau prélevée en fonction des secteurs

Cette nappe d'eau est surveillée d'une part pour sa variation de quantité d'eau (au niveau du forage de Meximieux) et d'autre part pour la qualité phytosanitaire de ses eaux (au niveau des puits de Luizard à Chazey-sur-Ain).

De plus, le recouvrement de l'aquifère sur une épaisseur de trois mètres par des terres argileuses puis des terres graveleuses et enfin des argiles constitue une protection passive de la nappe.

La vulnérabilité de la station peut alors être évaluée comme ceci :

- Vulnérabilité qualitative :
 - la vulnérabilité du captage, en termes de pollutions chroniques, est liée à l'activité agricole : le champ captant est entouré de cultures.
 - pollution accidentelle : le risque majeur est la présence de la D40 à proximité immédiate du puits dans le périmètre de protection rapproché, la présence de l'A42 et de la N84 en limite du périmètre éloigné et sur lesquelles circulent des TMD et la présence souterrain du TMD
- Vulnérabilité quantitative estimée faible

III. Impacts du projet CFAL et réponses apportées

Le puits Les Fromentaux est situé à moins de 600m du projet CFAL. La commune se voit alors concernée par le projet du CFAL (Fig.8).

1. Impacts du projet CFAL

Les effets d'une infrastructure ferroviaire sur les eaux souterrains peuvent être de deux ordres : les impacts quantitatifs (effets sur les écoulements souterrains) et les impacts qualitatifs (effets sur la qualité des eaux). L'analyse des impacts, directs et indirects, sur la ressource en eau est un enjeu majeur du fait notamment de la proximité du puits de captage assurant l'AEP de Chazey-sur-Ain. On doit alors étudier la vulnérabilité de la ressource. En effet, en fonction du type d'interface entre le projet ferroviaire avec la nappe, cette influence peut varier les niveaux d'eau dans l'aquifère.

Les risques majeurs pour le captage sont en outre la pollution des eaux de plate-forme et le risque d'accident (avec notamment le déversement de matières dangereuses).

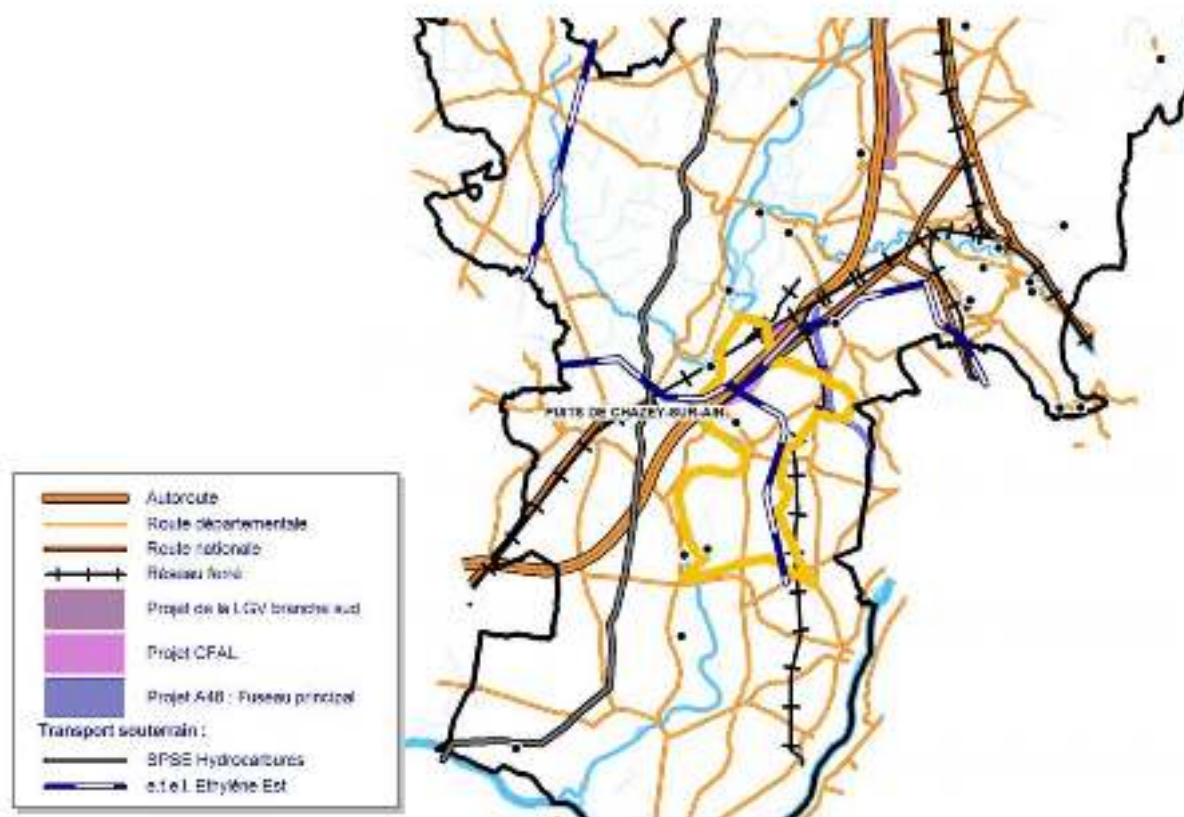


Fig.8 : Le projet CFAL au niveau du territoire étudié

2. Mesures réductrices et compensatrices

Tout d'abord, dans les périmètres de protection des captages AEP, l'utilisation d'herbicides sera interdite. L'imperméabilisation de la plate-forme ferroviaire mise en place pour la protection de la ressource en eau limitera naturellement la colonisation de la voie et des pistes par la végétation.

Cette imperméabilisation de la plate-forme associée à la mise en place de bassin de rétention aux abords des captages AEP permettra une meilleure sécurité et prévention des risques d'accident (*Fig.9*).



Fig.9 : Coupe schématique du principe d'assainissement en zone sensible forte

Ainsi, les mesures préventives prises par rapport au risque de pollution accidentelles au niveau du captage AEP de Chazey-sur-Ain prévoient l'imperméabilisation de la plate-forme, un réseau de fossés étanches collectant les eaux, un bassin de confinement dimensionné de manière à pouvoir contenir le volume de deux wagons, un bassin d'écrêtement avant rejet et le rejet des eaux collectées dans le milieu naturel par le biais du réseau hydraulique ou par infiltration.

De plus, un suivi qualitatif des aquifères sera mis en place, au droit de la zone de captage, lors de la phase d'exploitation. Le maître d'ouvrage étudiera la faisabilité de solutions alternatives au désherbage chimique, en particulier dans les zones sensibles.

Des mesures concernant la gestion de crise ont été également établies par la mise en place d'un Plan de Secours : arrêt des forages situé à proximité de l'accident, enlèvement immédiat des terres souillées, mise en place de barrières

hydrauliques, dépollution des eaux de ruissellement, filtrage avant rejet au milieu naturel, ...

Des études hydrogéologiques sont actuellement en cours afin d'établir le Dossier Loi sur l'Eau : inventaire de l'ensemble des points d'eau, une identification du fonctionnement hydrogéologique au niveau des captages, une étude des aquifères, un relevé de l'état initial (qualité des eaux et impacts du projet sur la qualité de l'eau, étude sur les flux de pollution).

Conclusion :

La commune de Chazey-sur-Ain est uniquement alimentée par le puits de Chazey. D'après les données fournies par le SOGEDO (Société de Gérance de Distributions d'Eau), l'eau pompée est globalement bonne sans problématique vis-à-vis des nitrates ni des pesticides (*Fig.10*). Au niveau de la vulnérabilité, l'environnement est globalement défavorable avec la présence d'une grande zone agricole, de routes départementales, nationales et autoroutières relativement proches et pouvant supporter des TMD mais aussi avec la présence d'un réseau souterrain de TMD. De plus, le projet CFAL entre dans le périmètre de protection éloigné.

La commune ne disposant pas de ressource en cas de problème accidentel, des actions pourraient être engagées dans le sens d'une diversification notamment par une recherche en eau dans la zone stratégique de Chazey-sur-Ain.

Fig.10 : Qualité des eaux de la station de pompage Les Fromentaux, Chazey-sur-Ain

MISE EN ŒUVRE

CAPTAGE	Aspect qualité des 10 dernières années				Aspect SENSIBILITE	Aspect QUANTITE
	Moyenne nitrates (mg/l)	Evolution nitrates	Quantification pesticides	Problèmes d'origines anthropiques		
Puits de Chazey-Sur-Ain	14,04	→	Absence	Pas de données	CFAL + cultures	

LEGENDE DE LA MISE EN ŒUVRE

	Qualité des 10 dernières années				Sensibilité	Quantité
	Moyenne Nitrates	Evolution Nitrates	Quantification Pesticides	Autres problèmes		
Excellent	0-10 mg/l	Diminution	Absence	Absence		> ou = besoins 2025
Bon	10 à 20 mg/l			Traces ou pas de données	Faible	> besoins actuels mais < besoins 2025
Moyen	20 -30 mg/l	Stabilisation	Ponctuelle	Traitement	Moyenne	
Médiocre	30-50 mg/l					< ou = besoins actuels
Mauvais	>50 mg/l	Augmentation	Régulière	> limites	Forte	

RESULTATS

CAPTAGE	Qualité	Sensibilité	Quantité
Puits de Chazey-Sur-Ain			

LEGENDE DES RESULTATS

Bon	
Moyen	
Mauvais	

SOURCES

- Fiche de caractérisation de la masse d'eau souterraine n°6339 : Alluvions plaine de l'Ain
- SAGE de la Basse Vallée de l'Ain
- Contournement Ferroviaire de l'Agglomération Lyonnaise (<http://www.rff-cfal.info>) et le dossier « Analyse des impacts du projet sur l'environnement et présentation des mesures proposées »
- Commission locale de l'eau- Basse Vallée de l'Ain (étude de juin 2011 faite par l'Agence de l'Eau RMC et par le Syndicat Basse Vallée de l'Ain)