

**S.I.A.E.P. DU HAUT-LIVRADOIS - Commune de Novacelles**  
**DOSSIER 1 : DECLARATION D'UTILITE PUBLIQUE : SOUS-DOSSIER B**  
**IV- Etudes des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, de la vulnérabilité de**  
**la ressource et des mesures de protection à mettre en place**

**SOMMAIRE**

<b>1- GEOLOGIE.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Contexte géologique général.....</b>	<b>3</b>
1.1.1. Généralités.....	3
1.1.2. Géologie au niveau du forage.....	4
<b>1.2. Etude par photographie aérienne .....</b>	<b>5</b>
<b>2- HYDROGEOLOGIE.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. Principe de fonctionnement de l'hydrogéologie des formations granitiques.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2. Condition hydrogéologique du forage .....</b>	<b>9</b>
2.2.1. Condition hydrogéologique d'implantation .....	9
2.2.2. Résultats hydrogéologique du forage de reconnaissance.....	10
2.2.3. Résultats de pompages d'essai .....	10
<b>3- VULNERABILITE .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1. Critères généraux de vulnérabilité .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2. La vulnérabilité des formations géologiques .....</b>	<b>16</b>
<b>3.3. La vulnérabilité de l'équipement .....</b>	<b>17</b>
<b>4- MESURES DE PROTECTION.....</b>	<b>18</b>
<b>4.1. Travaux sur le forage de Novacelles .....</b>	<b>18</b>
<b>4.2. Les mesures des périmètres de protection .....</b>	<b>18</b>
4.2.1. Le périmètre de protection immédiate.....	18
4.2.2. Le périmètre de protection rapprochée.....	19

**S.I.A.E.P. DU HAUT-LIVRADOIS - Commune de Novacelles**  
**DOSSIER 1 : DECLARATION D'UTILITE PUBLIQUE : SOUS-DOSSIER B**  
**IV- Etudes des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, de la vulnérabilité de la ressource et des mesures de protection à mettre en place**

## 1- GEOLOGIE

Les données sont extraites de la notice de la carte géologique de la France, feuille d'ARLANC n° 743.

### 1.1. Contexte géologique général

#### 1.1.1. Généralités

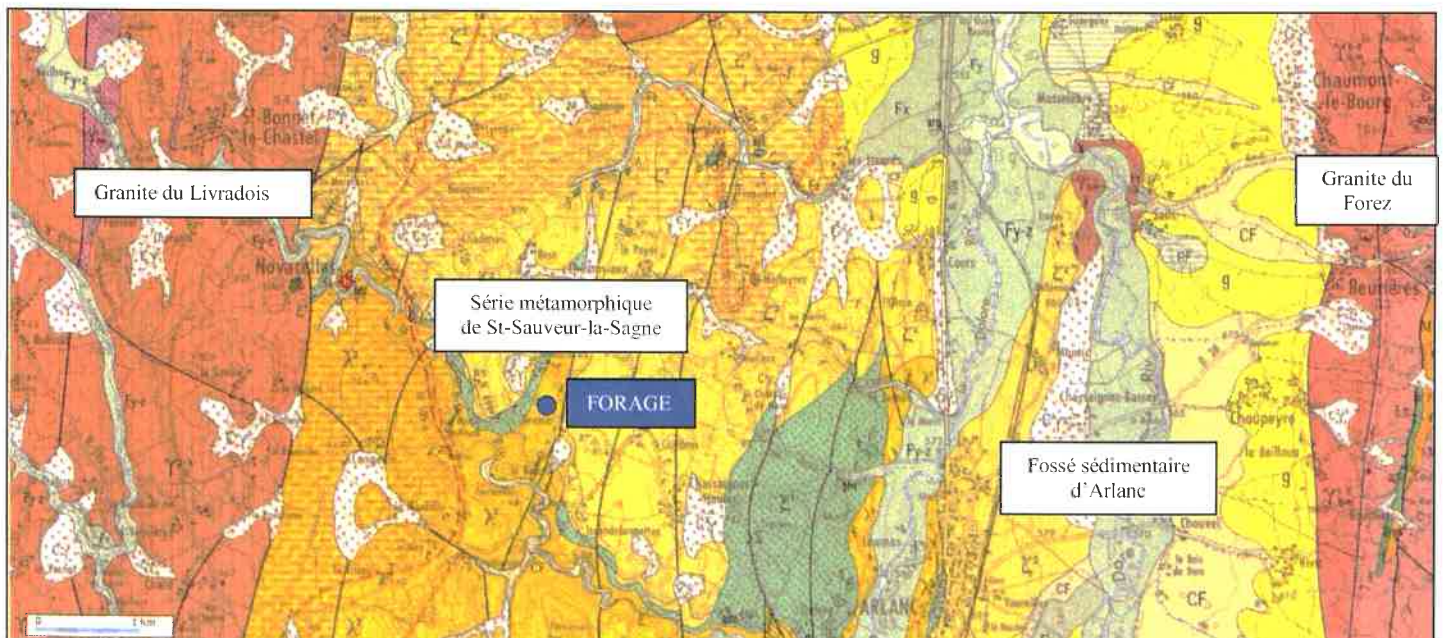
La commune de Novacelles est située sur le versant Est du bassin d'effondrement de la Dore, qui est encadré par le granite intrusif du Livradois à l'Ouest et le granite folié du Forez de St-Just Medeyrolles à l'Est.

L'effondrement du bassin sédimentaire s'est fait progressivement, par gradins successifs délimités par des failles.

Novacelles se trouve sur la série supérieure métamorphique de Saint-Sauveur-la-Sagne, où des leptynites sont encadrées de gneiss à l'Ouest et de micaschistes à l'Est.

Ces unités géologiques se développent en bandes de direction Nord-Sud, parallèles au bassin sédimentaire de la Dore.

La fracturation principale du fossé sédimentaire de la Dore est de direction Nord-Sud à NNE-SSW. Des directions secondaires de direction NW-SE sont également perceptibles.



*Carte extrait du site internet [www.geoportail.fr](http://www.geoportail.fr)*

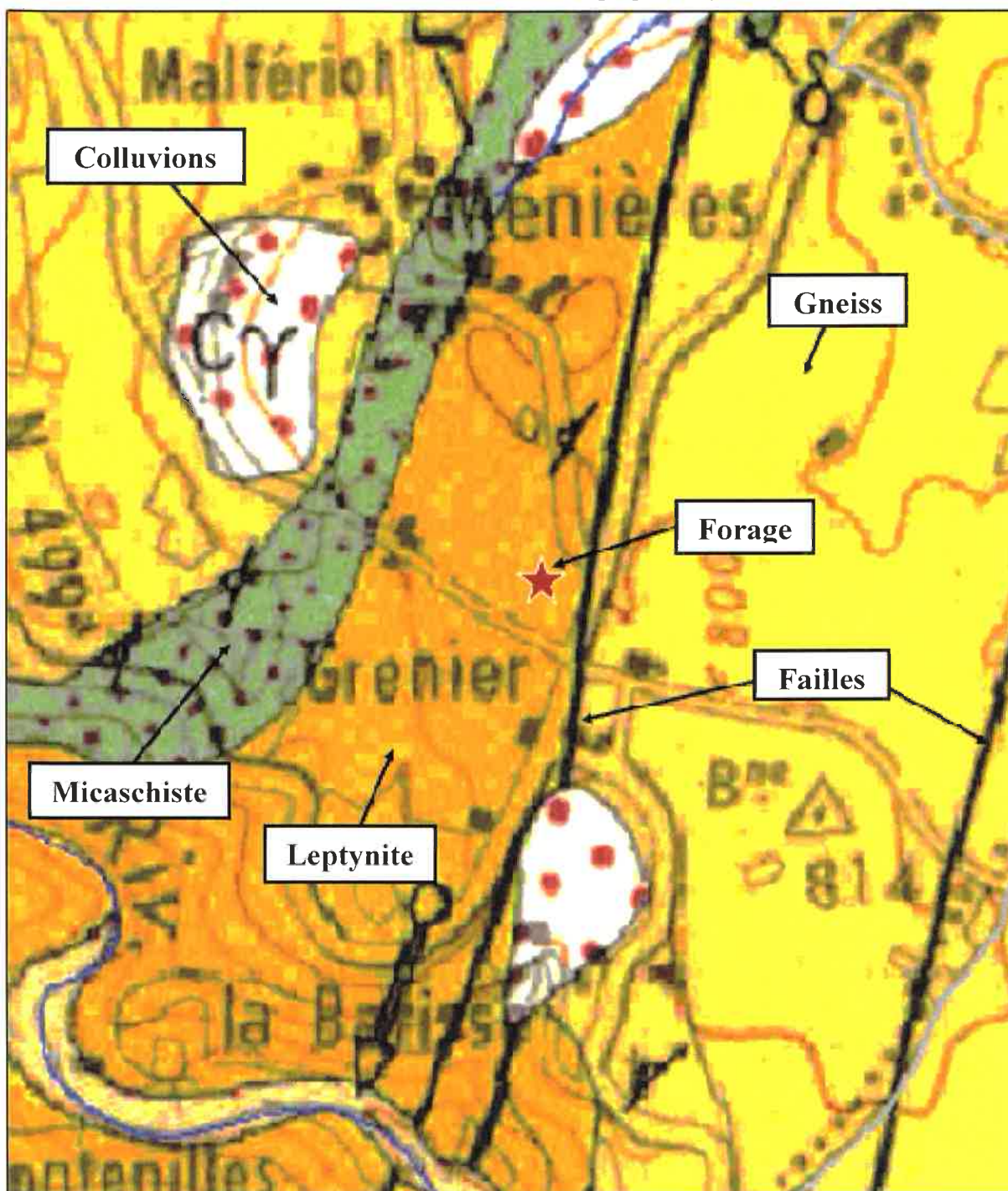
**S.I.A.E.P. DU HAUT-LIVRADOIS - Commune de Novacelles**  
**DOSSIER 1 : DECLARATION D'UTILITE PUBLIQUE : SOUS-DOSSIER B**  
**IV- Etudes des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, de la vulnérabilité de**  
**la ressource et des mesures de protection à mettre en place**

1.1.2. Géologie au niveau du forage

Selon la carte géologique, l'emplacement du forage se trouve au niveau des formations de leptynites en contact par faille à l'Est avec des gneiss et en contact direct à l'Ouest avec un lambeau de micaschistes.

La carte géologique mentionne une faille d'orientation NNE-SSW parallèle au fossé sédimentaire de la Dore.

*Carte extrait du site internet [www.geoportail.fr](http://www.geoportail.fr)*



**S.I.A.E.P. DU HAUT-LIVRADOIS - Commune de Novacelles**  
**DOSSIER 1 : DECLARATION D'UTILITE PUBLIQUE : SOUS-DOSSIER B**  
**IV- Etudes des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, de la vulnérabilité de  
la ressource et des mesures de protection à mettre en place**

**1.2. Etude par photographie aérienne**

Le choix s'est porté sur cette direction de faille car elle correspondant à un système de faille en extension ou ouverte ayant provoqué le bassin d'effondrement de la Dore et devait donc ainsi servir d'axe de drainage des eaux souterraines.

L'implantation du site de forage a été réalisée à la suite d'une étude par photographie aérienne destinée à repérer les linéaments susceptibles d'indiquer une faille.

Plusieurs sites avaient été proposés au maître d'ouvrage qui a choisi le site de Ménières sur la commune de Novacelles et le site du Mas Roussel sur la commune de Saint-Alyre d'Arlanc.

Puis nous avons réalisé une reconnaissance par géophysique en soutraint une société spécialisée : CEBTP SOLEN GINGER qui a utilisé la technique des panneaux électriques.

**S.I.A.E.P. DU HAUT-LIVRADOIS - Commune de Novacelles**  
**DOSSIER 1 : DECLARATION D'UTILITE PUBLIQUE : SOUS-DOSSIER B**  
**IV- Etudes des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, de la vulnérabilité de**  
**la ressource et des mesures de protection à mettre en place**

## **2- HYDROGEOLOGIE**

### **2.1. Principe de fonctionnement de l'hydrogéologie des formations granitiques**

L'alimentation en eau potable de l'habitat des régions de socle se fait à partir de nombreux captages de sources d'arènes d'origine superficielle, au faible débit unitaire, qui pose, de ce fait, tant des problèmes de quantité que de qualité.

Une partie de l'eau de pluie s'infiltré dans la zone d'altération superficielle (arène, socle détritique) et s'écoule sur le socle sain et apparaît à la faveur d'une rupture de pente lorsque ces formations sont saturées.

Une partie de cette nappe d'arène s'infiltré plus profondément par l'intermédiaire de diaclases, des fissures ou fractures du socle, alimentant une réserve profonde dont les débits sont plus importants.

Le comportement hydrogéologique est le même quelque soit la nature de la roche (micaschiste, gneiss ou granite).

La piézométrie de la nappe est dépendante de la topographie, l'écoulement des eaux souterraines se faisant de la crête topographique vers l'axe du vallon drainant.

Les bassins versants d'alimentation de ces systèmes sont très localisés et limités généralement au bassin versant topographique dont les superficies varient entre 1 et 10 ha.

Lorsque le débit mesuré dépasse largement le débit théorique calculé avec une approche hydroclimatique ou avec les données hydrologiques du secteur, le bassin versant d'alimentation est supérieur au bassin versant topographique et l'aire d'alimentation est élargie par le drainage d'une faille.

Les vitesses de circulation des eaux souterraines sont variables, lentes dans la zone superficielle arénisée et plus rapide dans les fissures du socle.

La source apparaît à l'intersection entre le point topographique le plus bas et la fracture drainante.

Ces deux systèmes aquifères, superficiels et profonds, se rejoignent dans les points bas topographiques où les eaux émergent sous forme de sources alimentant le réseau hydrographique.

Le débit d'étiage des cours d'eau ainsi constitué par ces sources correspond à la vidange des réservoirs superficiels et profonds.

**S.I.A.E.P. DU HAUT-LIVRADOIS - Commune de Novacelles**  
**DOSSIER 1 : DECLARATION D'UTILITE PUBLIQUE : SOUS-DOSSIER B**  
**IV- Etudes des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, de la vulnérabilité de la ressource et des mesures de protection à mettre en place**

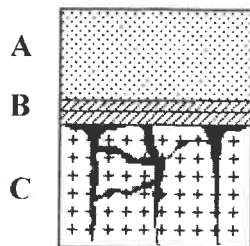
→ *Le système bicouche de l'aquifère*

C'est le système hydraulique classiquement admis pour expliquer le fonctionnement de cet aquifère de socle ancien.

En milieu cristallin (socle), les fonctions capacitives et conductrices coexistent au sein de chaque niveau aquifère, le milieu altéré étant essentiellement capacitif et le socle au sens strict étant à tendance conductrice marquée.

L'aquifère de socle est donc constitué d'un recouvrement semi-perméable (réservoir d'altérites), surtout capacitif et alimenté par la surface (A), surmontant un aquifère de fissures ou de failles (socle), captif, drainant la couverture, à fonction essentiellement conductrice (C).

Le système aquifère en milieu cristallin présente donc la structure d'un **aquifère bicouche** ou tricouche selon le développement de la zone intermédiaire (B) de socle fissurée.



**Modèle d'un système aquifère en zone de socle**

Source : *La Gestion Active des Aquifères*, Michel DETAY.

Légende :

- A. Altérations, milieu capacitif – réservoir d'altérites
- B. Zone fissurée, milieu conducteur – aquifère de fissure
- C. Milieu fracturé, conducteur – aquifère de fissure

Le faciès d'altération du granite a donc été étudié plus précisément dans le cadre d'une approche des potentialités des aquifères de socle pour l'alimentation en eau potable (cartographie), appliquée au granite de la Margeride (Lozère) (source : revue *Géologues* n° 130/131 – Décembre 2001).

En effet, seule la frange superficielle (100 premiers mètres environ), altérée, des roches de socle dispose de propriétés hydrogéologiques significatives.

Trois horizons fondamentaux sont distingués (de bas en haut) :

→ *Le substratum rocheux sain*

Il ne présente des perméabilités élevées que très localement, au droit des fractures d'origine tectonique, qui peuvent contribuer pour plusieurs m<sup>3</sup>/h (jusqu'à 10 ou 20 m<sup>3</sup>/h dans certains cas) au débit instantané des forages.

Les fractures forment des drains ou conduits préférentiels, vecteurs d'eau.

En revanche le substratum n'offre qu'une très faible capacité de stockage d'eau souterraine (porosité efficace 1%).

**S.I.A.E.P. DU HAUT-LIVRADOIS - Commune de Novacelles**  
**DOSSIER 1 : DECLARATION D'UTILITE PUBLIQUE : SOUS-DOSSIER B**  
**IV- Etudes des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, de la vulnérabilité de**  
**la ressource et des mesures de protection à mettre en place**

**→ La zone « fissurée altérée »**

Son épaisseur peut atteindre plusieurs dizaines de mètres.

Elle est caractérisée par la présence systématique de fissures (subhorizontales dans les granites) dont la densité décroît avec la profondeur.

Cette fissuration résulte des contraintes engendrées par le gonflement des minéraux au cours de l'altération, en particulier de la biotite.

L'horizon fissuré altéré présente une transmissivité suffisante pour permettre une productivité des forages pouvant atteindre quelques m<sup>3</sup>/h (de 3 à 7 m<sup>3</sup>/h).

Les forages étudiés sont le plus souvent caractérisés par 2 ou 3 venues d'eau par puits, sur une profondeur de 80 à 100 m de roche fissurée.

La porosité efficace de cet horizon intermédiaire est estimée voisine de 1 %.

La perméabilité de fissures est fonction du degré d'altération et de remplissage entre les blocs.

Le degré de colmatage par l'argile est également un facteur important dans la circulation de l'eau. Il dépend de la nature et de l'altération du granite.

**→ Les altérites ou arènes**

Elles représentent les formations d'altération meubles du substratum rocheux.

Elles recouvrent le substratum fissuré altéré sur une épaisseur variable, de 0 à plusieurs dizaines de mètres. Dans le secteur considéré du Livradois, cette épaisseur est comprise entre 2 et 5 m.

Du fait de leur composition argilo-sableuse, elles représentent une relativement faible perméabilité (perméabilité d'interstices, de 10<sup>-5</sup> à 10<sup>-7</sup> m/s), mais des capacités significatives de rétention d'eau (porosité efficace comprise entre 2-3 % et plus de 15 %).

Ce compartiment assure, lorsqu'il est saturé, une fonction capacitive de stockage des eaux souterraines.

Au sommet des versants, l'épaisseur de la formation altérée est généralement faible avec de nombreux blocs qui apparaissent souvent à l'affleurement.

La nature de l'arène dépend de la nature du substratum, c'est-à-dire ici du granite, et de sa position topographique.

Ces deux éléments vont régir son argilosité donc sa perméabilité et sa vulnérabilité. La porosité moyenne des arènes est de 5 à 10 %.

**S.I.A.E.P. DU HAUT-LIVRADOIS - Commune de Novacelles**  
**DOSSIER 1 : DECLARATION D'UTILITE PUBLIQUE : SOUS-DOSSIER B**  
**IV- Etudes des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, de la vulnérabilité de**  
**la ressource et des mesures de protection à mettre en place**

En base de bassin versant ou dans l'axe des talwegs, l'épaisseur des arènes est plus importante, atteignant 3 à 5 m avec accumulation des colluvions.

Les arènes sont directement alimentées par les précipitations, ce qui implique leur vulnérabilité. Leur alimentation peut être aussi liée à la présence d'une faille dans le bassin versant, qui jouera un rôle drainant ou d'alimentation.

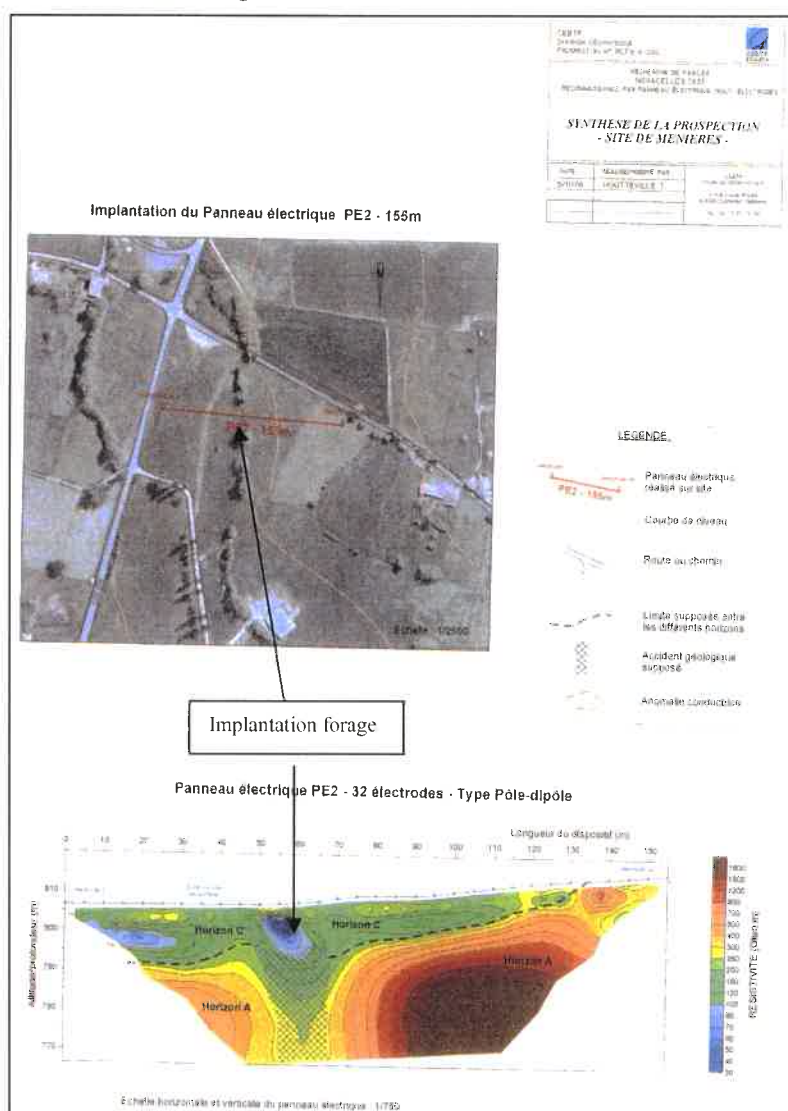
Cet aquifère superficiel se caractérise par une variabilité des débits plus importantes que les sources d'origine profonde (le rapport entre le débit max. et le débit min. varie entre 3 et 5) alors que ce rapport est inférieur à 2 pour les sources d'origine fissurale profonde.

## 2.2. Condition hydrogéologique du forage

### 2.2.1. Condition hydrogéologique d'implantation

Le forage a été implanté à la suite des résultats d'une prospection géophysique par panneaux électriques faisant suite à une étude préalable par photographie aérienne.

Les résultats sont illustrés sur la figure suivante :





**S.I.A.E.P. DU HAUT-LIVRADOIS - Commune de Novacelles**  
**DOSSIER 1 : DECLARATION D'UTILITE PUBLIQUE : SOUS-DOSSIER B**  
**IV- Etudes des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, de la vulnérabilité de**  
**la ressource et des mesures de protection à mettre en place**

2.2.2. Résultats hydrogéologique du forage de reconnaissance

Le forage a bien recoupé les zones d'anomalies géophysiques.

En effet des zones faillées aquifères dans des leptynites ont été recoupées de 46 à 80 m de profondeur avec des débits instantanés de 5 m<sup>3</sup>/h de 48 à 51 m, de 5m<sup>3</sup>/h de 56 à 61 m, de 5m<sup>3</sup>/h de 64 à 69 m et de 8m<sup>3</sup>/h de 75 à 80 m.

Le niveau statique se trouve à une profondeur de 8 m/sol

2.2.3. Résultats de pompages d'essai

a) Résultats de l'essai de puits

Sur le forage F3, l'essai de puits s'est déroulé le 19 juin 2007.

Nous avons effectué 4 paliers de débit : à 7,7 m<sup>3</sup>/h, 13,7 m<sup>3</sup>/h, 22,55 m<sup>3</sup>/h et enfin à 30 m<sup>3</sup>/h.

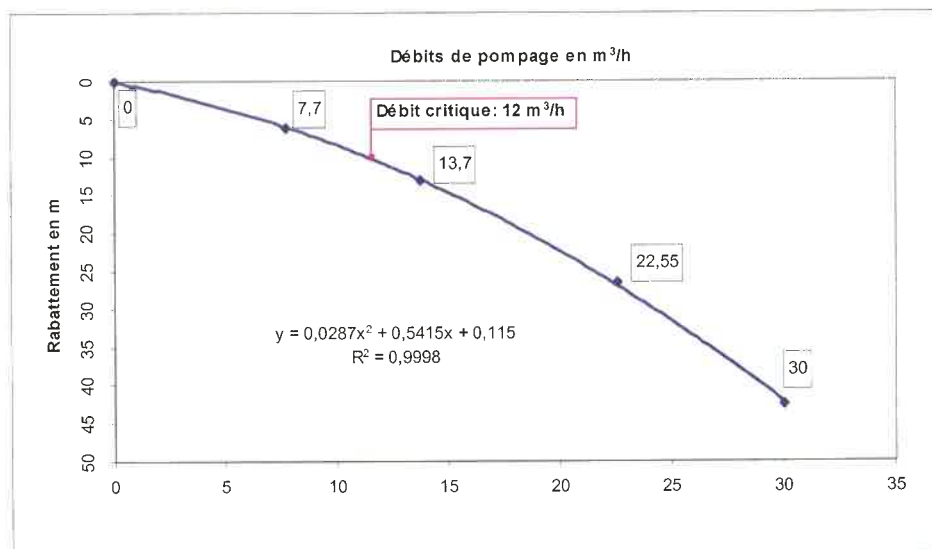
→ *Courbe débit/rabattements. Débit critique*

Résultats des 4 paliers effectués

	Débit en m <sup>3</sup> /h (Q)	Rabatement final en m (s)	s/Q en m/m <sup>3</sup> /h	Q/s en m <sup>3</sup> /h/m
<b>Palier 0</b>	0	0		
<b>palier 1</b>	7,7	6,15	0,799	1,25
<b>Palier 2</b>	13,7	13,08	0,955	1,05
<b>Palier 3</b>	22,55	26,53	1,176	0,85
<b>Palier 4</b>	30	42,35	1,412	0,71

La courbe caractéristique  $s = f(Q)$  obtenue à partir de l'essai de puits (pompage par paliers de débit), sur le forage de Novacelles, est la suivante :

Courbe débit/rabatement : détermination du débit critique

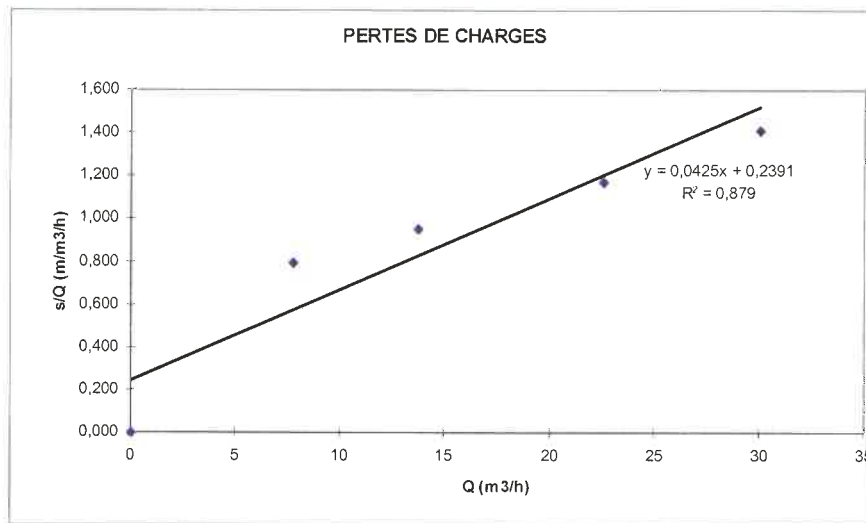


**S.I.A.E.P. DU HAUT-LIVRADOIS - Commune de Novacelles**  
**DOSSIER 1 : DECLARATION D'UTILITE PUBLIQUE : SOUS-DOSSIER B**  
**IV- Etudes des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, de la vulnérabilité de la ressource et des mesures de protection à mettre en place**

L'observation de la courbe ne montre pas une cassure de la courbe nette indiquant l'apparition de perte de charge quadratique. Nous pouvons distinguer un léger point d'inflexion vers 12m<sup>3</sup>/h, qui représente le débit critique ou débit maximum d'exploitation.

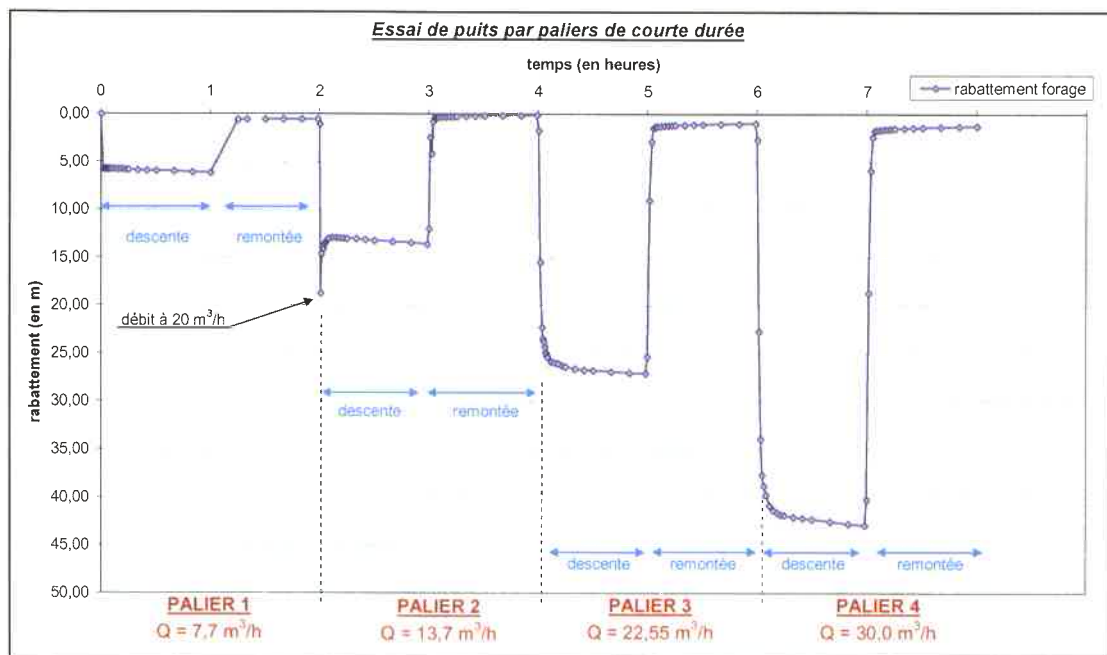
→ *Pertes de charge*

La droite débits/rabattements spécifiques, obtenue à partir des mesures effectuées pendant les différents pompages est la suivante:



Ici, **B = 0,2391** et **C = 0,0425**

Pour un débit de pompage de 12 m<sup>3</sup>/h, les pertes de charges linéaires sont donc évaluées à  $0,2391 \cdot 12 = 2,87$ , soit 2,87 m de hauteur d'eau ; et les pertes de charges quadratiques s'élèvent à  $0,0425 \cdot 12^2 = 6,12$ , soit 6,12 m de hauteur d'eau.



**S.I.A.E.P. DU HAUT-LIVRADOIS - Commune de Novacelles**  
**DOSSIER 1 : DECLARATION D'UTILITE PUBLIQUE : SOUS-DOSSIER B**  
**IV- Etudes des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, de la vulnérabilité de**  
**la ressource et des mesures de protection à mettre en place**

b) Résultats de l'essai de nappe

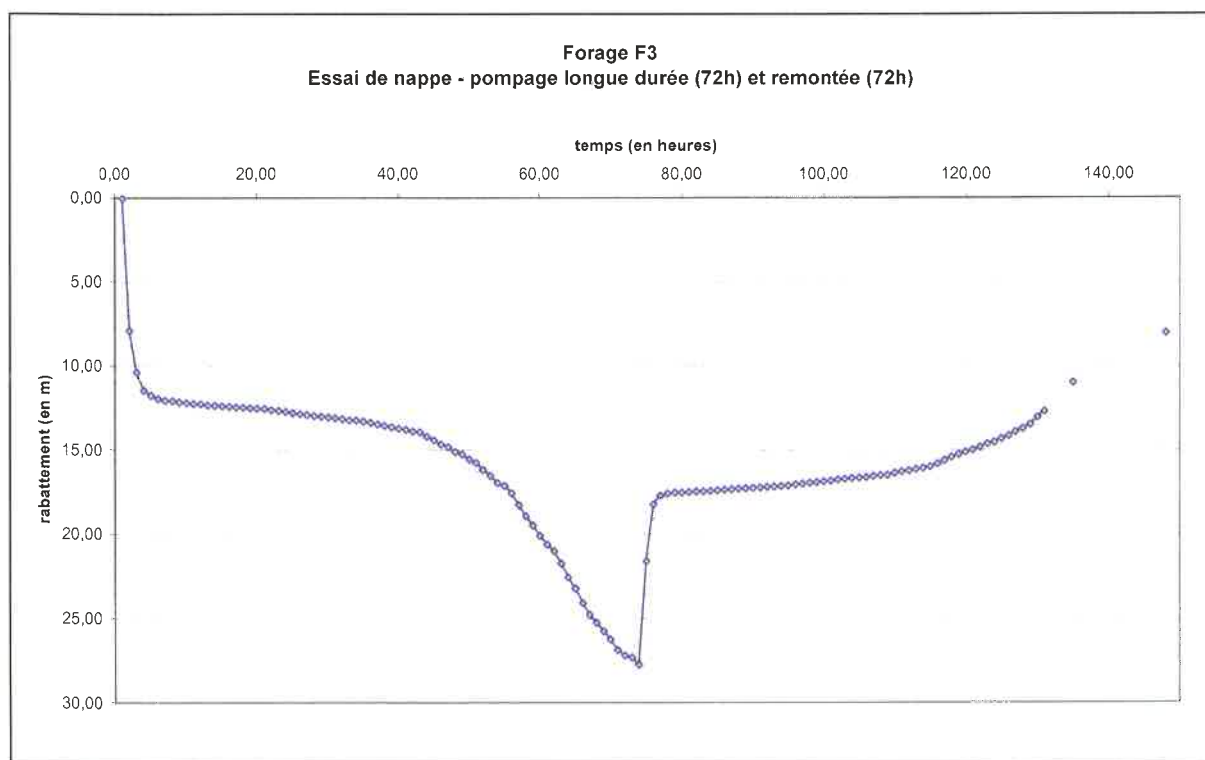
→ *Déroulement du pompage d'essai*

Le pompage de longue durée a été réalisé sur 72 h du 20 juin à 8h00 au 23 juin 2007 à 8h00. L'essai s'est déroulé à un débit constant de 14.6 m<sup>3</sup>/h.

La remontée a été observée sur 72 h également du 23 juin à 8h00 au 24 juin à 8h00.

Le niveau statique en début de pompage était de 9,40 m/sol pour le forage.

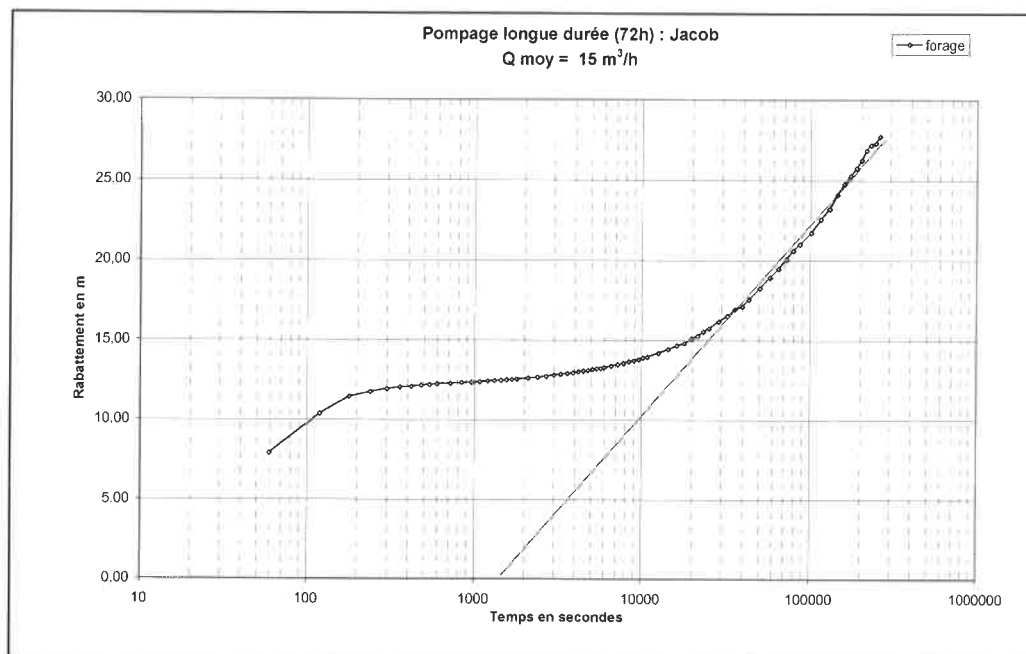
En fin de pompage, au bout de 72 h le niveau piézométrique était à 37,11 m/sol pour le forage. Le rabattement maximal au bout des 72 h de pompage a donc été de 27,71 m/sol.



**S.I.A.E.P. DU HAUT-LIVRADOIS - Commune de Novacelles**  
**DOSSIER 1 : DECLARATION D'UTILITE PUBLIQUE : SOUS-DOSSIER B**  
**IV- Etudes des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, de la vulnérabilité de la ressource et des mesures de protection à mettre en place**

➔ *Calcul des paramètres hydrodynamiques*

➤ *Méthode d'interprétation de Jacob*



**Forage F3- Méthode d'interprétation simplifiée de Jacob**

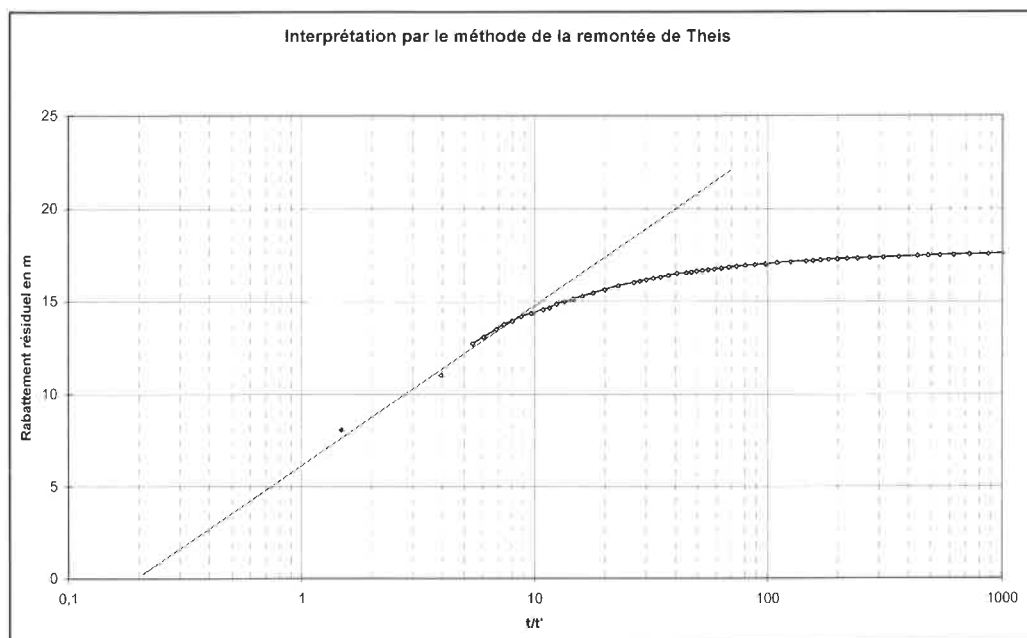
Pour appliquer la méthode de Jacob sur l'observation des rabattements dans le forage même, l'hypothèse d'un piézomètre confondu avec le forage doit être émise (c'est-à-dire une distance forage-piézomètre égale au rayon du forage, soit 12,5 cm). En conséquence, l'emmagasinement S ne peut pas être calculé dans ce cas, puisqu'il dépend directement de cette distance, et que les conditions d'application exigent un piézomètre distinct à l'ouvrage de pompage.

$\Delta s =$	<b>12,5</b>	<b>m</b>
$T =$	<b>6,10E-05</b>	<b>m<sup>2</sup>/s</b>

**S.I.A.E.P. DU HAUT-LIVRADOIS - Commune de Novacelles**  
**DOSSIER 1 : DECLARATION D'UTILITE PUBLIQUE : SOUS-DOSSIER B**  
**IV- Etudes des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, de la vulnérabilité de**  
**la ressource et des mesures de protection à mettre en place**

➤ *Méthode d'interprétation de la remontée de Theis*

On trace la droite s'accordant le mieux possible aux points correspondants aux temps les plus grands, donc aux rapports  $t/t'$  les plus petits.



➤ *Méthode d'interprétation de la remontée*

L'accroissement des rabattements par module logarithmique ( $\Delta s_r$ ) permet d'évaluer la transmissivité T :

$\Delta s_r =$	<b>8</b>	<b>m</b>
<b>T =</b>	<b>9,53E-05</b>	<b>m<sup>2</sup>/s</b>

➤ *Synthèse des résultats*

Méthode d'interprétation	Transmissivité T (m <sup>2</sup> /s)
<b>Jacob</b>	<b>6,10.10<sup>-5</sup></b>
<b>Remontée de Theis</b>	<b>9,53.10<sup>-5</sup></b>

La méthode de Jacob appliquée sur le forage même est peu appropriée.

L'emmagasinement S n'a pas pu être calculé. En effet, pour obtenir cette valeur un piézomètre proche du forage aurait été nécessaire pour effectuer les calculs. En effet, le calcul de l'emmagasinement S d'après Jacob est directement fonction de la distance r entre le forage et le puits d'observation.

**S.I.A.E.P. DU HAUT-LIVRADOIS - Commune de Novacelles**  
**DOSSIER 1 : DECLARATION D'UTILITE PUBLIQUE : SOUS-DOSSIER B**  
**IV- Etudes des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, de la vulnérabilité de la ressource et des mesures de protection à mettre en place**

c) Recommandations pour le débit d'exploitation

Le bilan en période de consommation de pointe étant déficitaire de 271 m<sup>3</sup>/j, le débit maximum d'exploitation sera de **12 m<sup>3</sup>/h pendant 20h pendant une durée de 2 mois**, soit un débit total d'exploitation de **17 568 m<sup>3</sup>/an**.

La pompe d'un diamètre de 6'' sera installée à 70 m.

Si le Syndicat souhaite augmenter le temps de pompage, il faudra procéder à des pompages complémentaires pour s'assurer de la réalimentation des forages par les microfissures à perméabilité très faible.

La durée de ce pompage de garantie de la ressource devra être égale au  $\frac{3}{4}$  du temps de pompage sollicité.

Le débit sera adapté afin que le rabattement dans l'ouvrage soit compatible avec l'équipement du forage et le système d'exhaure.

**S.I.A.E.P. DU HAUT-LIVRADOIS - Commune de Novacelles**  
**DOSSIER 1 : DECLARATION D'UTILITE PUBLIQUE : SOUS-DOSSIER B**  
**IV- Etudes des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, de la vulnérabilité de**  
**la ressource et des mesures de protection à mettre en place**

### **3- VULNERABILITE**

#### **3.1. Critères généraux de vulnérabilité**

Les demandes d'autorisation d'utilisation d'eau prélevée dans le milieu naturel doivent comporter un dossier technique complet sur la ressource dont :

« La vulnérabilité de la nappe, et notamment l'aptitude des formations superficielles à retenir ou à arrêter les matières polluantes ».

Cette vulnérabilité est intrinsèque aux formations géologiques et à leurs caractéristiques concernant leur perméabilité.

La vulnérabilité est fonction de la nature du recouvrement (épaisseur, perméabilité, extension) et du mode de captage lorsque l'on considère son aspect qualitatif.

En effet, il faut estimer avec précision le degré de vulnérabilité afin de pouvoir ensuite en déduire si l'origine d'une pollution est due à l'occupation du sol ou au mode de captage

Le mode de captage est fondamental pour évaluer la vulnérabilité de l'aquifère captée.

La vulnérabilité des forages est aussi fonction de l'équipement et des conditions de sa mise en place.

#### **3.2. La vulnérabilité des formations géologiques**

La coupe du forage indique 3 types de roches avec des caractéristiques spécifiques :

- ➔ De 0 à 11 m, nous avons recoupé une arène argileuse marron que l'on considère comme présentant de faible perméabilité
- ➔ De 11 à 46 m, nous avons des leptynites très légèrement altéré présentant des perméabilités très faibles
- ➔ De 46 à 80 m, nous avons des leptynites fracturées en plusieurs endroits présentant des perméabilités de fissures discontinues entre des niveaux sains imperméables.

La première venue d'eau a été recoupée vers les 46 m et le niveau statique est à 8 m de profondeur.

Nous sommes en présence d'artésianisme et de nappe captive qui indique que l'aquifère fissural est protégé des éventuelles pollutions d'origine superficielle.

En conclusion nous estimons que l'aquifère présente une vulnérabilité quasiment nulle.

**S.I.A.E.P. DU HAUT-LIVRADOIS - Commune de Novacelles**  
**DOSSIER 1 : DECLARATION D'UTILITE PUBLIQUE : SOUS-DOSSIER B**  
**IV- Etudes des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, de la vulnérabilité de**  
**la ressource et des mesures de protection à mettre en place**

**3.3. La vulnérabilité de l'équipement**

Dans l'équipement du forage une phase importante est la cimentation entre le sol ou la roche et le tubage.

Cette cimentation est destinée à protéger l'aquifère des infiltrations superficielles pouvant polluer l'eau.

Nous avons donc préconisé de cimenter toute la partie d'arène sur 11 m.

Un bouchon d'étanchéité a été déposé entre le massif de gravier et la cimentation entre 11 et 12 m.

En conclusion, l'équipement du forage assure une vulnérabilité nulle de l'ouvrage.