

TROISIÈME PARTIE  
LES EAUX DE LA RÉGION DU LOCLE  
PAR ANDRÉ BURGER

CHAPITRE 6  
LE RÉSERVOIR AQUIFÈRE DE L'ÆNINGIEN :  
OASIS DU LOCLE

*L'image d'une vallée opulente et richement arrosée qui s'est imposée aux premiers colons arrivant au Locle, au XIII<sup>e</sup> siècle, tient à la richesse en eau des terrains æningiens qui occupent tout le centre de la cuvette. Ces terrains, plissés en auge en même temps que les calcaires jurassiques dans lesquels ils reposent, sont composés de craies lacustres formant une succession de couches d'au moins 200 m d'épaisseur. De la craie consolidée en calcaires tendres – la Pierre morte – regroupés en trois séries principales de couches, alterne avec des séquences de craie souples et pulvérulentes.*

*Au sein de l'Æningien, l'eau peut s'emmagasiner et circuler lentement, grâce à l'existence d'une abondante porosité d'interstices. En outre, dans les calcaires consolidés, une importante fissuration ainsi que des petits chenaux créés par la dissolution, favorisent les écoulements rapides. De véritables canaux naturels longitudinaux, c'est-à-dire parallèles aux couches (et à la vallée), s'y développent, recueillant l'eau qui exsude lentement des pores interstitiels, comme le feraient des drains.*

*Dans les combes qui, à l'exception de celle des Calame, sont plus ou moins transversales à la vallée principale, presque toute la série des couches æningiennes est entaillée par l'érosion. Les séquences de Pierre morte résistantes se signalent par des escarpements caractéristiques, au pied desquels se déchargent les circulations filoniennes, sous la forme de sources de petite et moyenne importances. C'est ainsi que jaillissent des dizaines et des dizaines de sources au fond de chacune des combes.*

*Les masses de terrain æningien glissées le long du versant méridional de la vallée s'avèrent être très aquifères. Il y a probablement une relation entre leur richesse en eau et les mouvements qui les ont affectées. La dislocation y a favorisé un fort développement des voies d'écoulement souterraines. Des sources importantes existent le long de leurs parties frontales: ainsi, l'ancienne source «Pierrehumbert» à la base du glissement du Verger et certains bugnons au front du glissement de la Côte des*

*Envers. C'est d'ailleurs dans la base de ce dernier qu'a été creusée, en 1899, la première galerie de captage qui alimentait, dans ses débuts, la distribution d'eau urbaine.*

*Au milieu de la vallée, entre le bas des Calame et le bas de la Combe Girard, les sédiments fluviolacustres récents forment une chape très peu perméable sur le substrat œningien, en place ou glissé. Au-dessous de cette couverture, l'eau œningienne se trouve en charge, en condition artésienne. En maints endroits, surtout au voisinage des glissements, elle alimentait jadis des remontées filoniennes qui venaient s'épancher à la surface sous la forme de petits étangs, des « rondes » ou « bugnons », d'où partait un ruisseau. Avant l'urbanisation, une série de bugnons particulièrement frappante ourlait la périphérie des glissements des Envers, de La Jaluse et des Rondes (!).*

*Les eaux de l'œningien ont des caractéristiques bien affirmées. Sauf exceptions, les sources présentent des débits bien soutenus durant les périodes sans pluie, mieux soutenus en tous cas que celui des grandes sources karstiques telles que La Noiraigue ou L'Areuse. Leur minéralisation carbonatée – leur dureté – est moyenne à élevée. Originellement, leur qualité répondait aux exigences d'une bonne potabilité. Malheureusement, elle commence à se ressentir des méfaits de l'urbanisation et de l'agriculture, sans gravité toutefois.*

*La grande majorité des sources est captée pour les besoins de la distribution publique. Le captage collectif de certains sites sourciers a été effectué au moyen de galeries drainantes, sous-jacentes au fond de combes, notamment à la Combe des Enfers et à la Combe Girard. Au fil des années, le réservoir œningien profond a été mis à contribution au moyen de puits dont certains très productifs, au centre-ville, aux Jeanneret et surtout aux Rondes. Ce dernier constitue l'une des ressources maîtresses de l'approvisionnement du réseau de distribution.*

\* \* \*

Les premiers colonisateurs s'arrêtèrent dans l'oasis du Locle comme en une terre singulièrement hospitalière, au sein d'un Haut-Jura à la réputation hostile. Ils y découvrirent des replats étendus et fertiles (cf. Les Replattes), protégés par une ceinture de joux boisées, et bien exposés, au midi d'un val largement ouvert, que parcourait paresseusement un ruz abondant et poissonneux. Ils défrichèrent des combes où jaillissent de nombreuses sources et fontaines artésiennes qui se prêtèrent aux activités pastorales, en les dispensant totalement du souci de l'eau. Des ruisseaux stimulèrent les esprits ingénieux séduits par quelque industrie artisanale. Ainsi se sont établis d'abord des hameaux, puis un village avec

ses « environniers » et maintenant une ville, dont l'eau – l'eau de l'Œningien – est restée l'une des constantes du développement.

Aujourd'hui, les sources s'écoulent dans le secret des canalisations innombrables qui composent les captages et le réseau de distribution d'eau potable de la ville. Les Bieds, ou du moins ce qu'il en reste, ont été canalisés là où ils entraient en conflit avec la colonisation. De l'oasis d'autrefois, il ne subsiste plus que les prairies verdoyantes des replats méridionaux (photo B, p. 8 a), ainsi que quelques tronçons de bieds assagis.

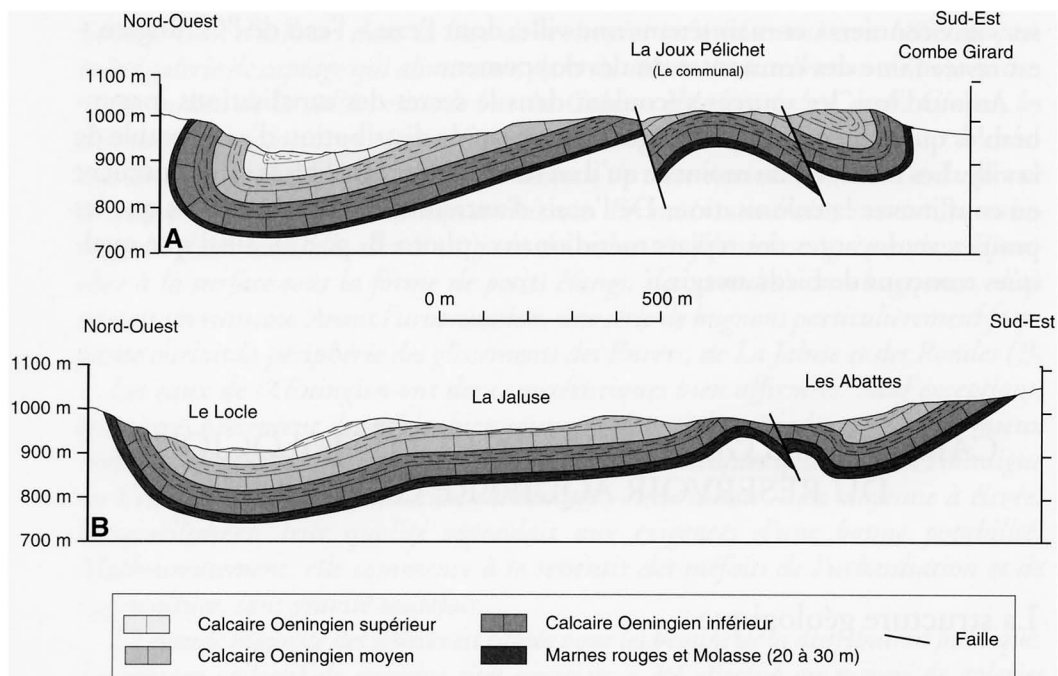
## CARACTÈRES GÉOLOGIQUES ET LITHOLOGIQUES DU RÉSERVOIR AQUIFÈRE ŒNINGIEN

### La structure géologique

L'Œningien qui forme le noyau du synclinal, sur toute sa longueur du Locle à La Chaux-de-Fonds, a été plissé en même temps que les formations jurassiques et crétacées qui l'enveloppent (fig. 6.1, p. 126). A sa base, il est tapissé par les couches qui marquent le début de la reprise sédimentaire tertiaire, à savoir les grès et marnes molassiques puis les Marnes rouges totalisant une trentaine de mètres d'épaisseur.

Entre Le Crêt-du-Loche et La Chaux-de-Fonds, l'Œningien constitue un noyau uniforme, profond d'une septantaine de mètres et affleurant sur une largeur moyenne de 400 m. Dès Le Crêt-du-Loche vers l'ouest, le gisement s'élargit jusqu'à atteindre une extension de 2 km aux environs de La Jaluse et une profondeur de 150 m. La base s'en trouve donc approximativement à la cote de 770 m, soit 20 m au-dessus du niveau du Lac des Brenets. A partir du Voisinage, il se relève et se termine, en se subdivisant le long d'une faille locale, dans la région du Saignolat.

Toutes ces valeurs sont extraites des coupes interprétatives de J. Favre, présentées à la figure 3.1 (p. 68 a). De récentes études sismiques les remettent en question. En effet, à La Chaux-de-Fonds, la base des couches tertiaires se trouverait en réalité entre 750-800 m et non aux 940 m qui ressortent de l'interprétation de J. Favre.



**Fig. 6.1** Coupes approximatives du synclinal œningien au Locle (Mornod, 1962). La position des séries de calcaires aquifères est schématisée; dans la région des Abattes, les calcaires inférieurs remonteraient jusqu'à la surface de même qu'à La Joux Pélichet.

Sous l'effet de la compression qui fut à l'origine du plissement, les couches œningiennes ont été redressées et même renversées le long des deux bordures du synclinal (fig. ci-dessus). Simultanément, leur continuité sédimentaire fut désorganisée par de nombreuses rides, failles, écailles et déformations subtransversales, auxquelles sont venus s'ajouter les glissements récents. En particulier, dans la zone centrale du synclinal, un repli anticlinal court et bien affirmé apparaît entre les parties centrales de la Combe Girard et de la combe de La Grecque qui a pour conséquence de rapprocher de la surface les niveaux profonds de la série. Un autre repli anticlinal très faillé, insoupçonné en surface, a été découvert par la galerie de captage de La Maladière (Kübler, 1962a), près du bord septentrional de la vallée. Il lève le voile sur la forte tectonisation qui affecte l'ensemble du synclinal et qui s'oppose à une schématisation simplifiée du régime d'écoulement des eaux souterraines.

Il y a de bonnes raisons d'inférer aussi l'existence de zones fortement fracturées subtransversales, affectant non seulement l'œningien mais aussi les calcaires jurassiques encaissants. L'étude des sources nous mettra sur leurs traces.

## La lithologie : propriétés pétrophysiques, porosité et perméabilité

Dans une vision hydrologique, l'œningien peut se résumer en une alternance de couches de craies lacustres plus ou moins argileuses qui sont soit pulvérulentes, semi-meubles, soit indurées en bancs de calcaires résistants mais fragiles : la Pierre morte. Dans l'épaisseur de la série connue, qui est d'environ 200 m (fig. 6.2, p. 128), ces calcaires forment trois séquences principales dont les puissances sont, d'après Mornod (1962) :

	Epaisseurs	
	En mètres	En % de l'épaisseur totale de l'œningien
Calcaires supérieurs	24	env. 12 %
Calcaires moyens	29	env. 15 %
Calcaires inférieurs	31	env. 16 %
Soit, au total	84	env. 43 %

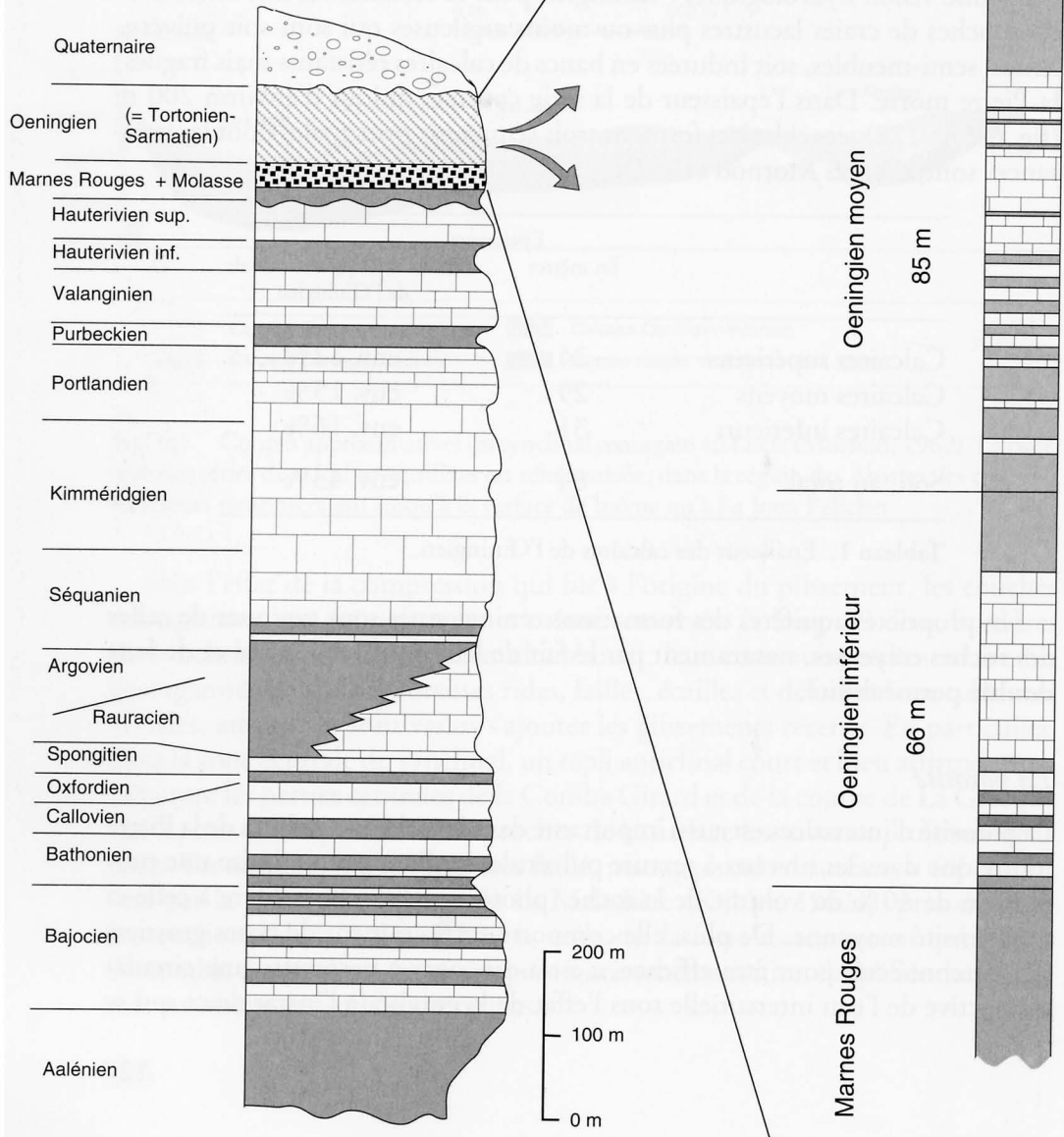
Tableau 1. Epaisseur des calcaires de l'œningien.

Les propriétés aquifères des formations œningiennes sont typiques de celles des roches crayeuses, notamment par le fait de leur **double porosité et de leur double perméabilité**.

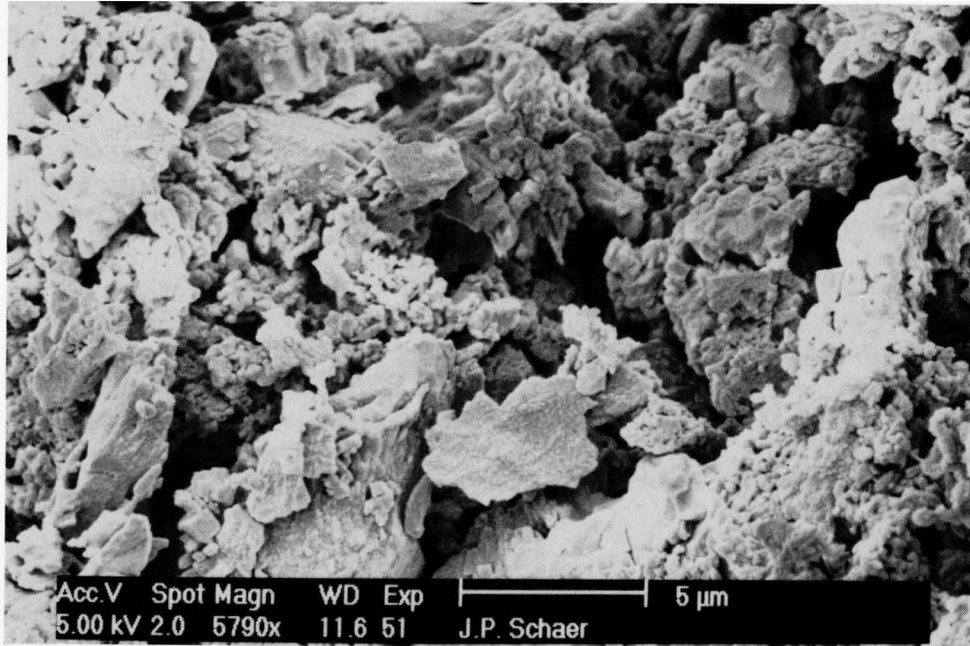
### *La porosité*

La **porosité d'interstices** est aussi importante dans les calcaires indurés de la Pierre morte que dans les niveaux à texture pulvérulente. Pouvant atteindre une proportion de 40 % du volume de la roche (photo p. 129), elle confère à celle-ci une densité moyenne. De plus, elle comporte suffisamment de pores grossiers et interconnectés pour être **efficace**, c'est-à-dire apte à permettre une circulation active de l'eau interstitielle sous l'effet de la gravité (à l'instar de ce qui se

**Fig. 6.2** Coupes lithologiques simplifiées des roches constitutives de la région du Loche. La colonne de **droite** représente une coupe synthétique de l'Oeningien (d'après Kübler, 1962a et Mornod, 1962). La colonne de **gauche** (simplifiée par rapport à celle de la figure 2.2, p. 29), souligne les alternances de calcaires et de marnes qui conditionnent la circulation des eaux souterraines dans le Jurassique (d'après Meia dans Gigon, 1976).



passer dans les sables et les graviers). Dans les pores fins et très fins, au contraire, l'eau est immobilisée par des forces de rétention, notamment par la capillarité. Il n'existe pas de données précises sur la proportion des pores efficaces au sein du milieu œningien : une moyenne de l'ordre de grandeur de 3 à 5 % du volume de la roche paraît raisonnable.



Microphotographie d'un fragment de Pierre morte montrant la texture microcristalline des particules de calcaire et la haute densité des pores ; l'échelle représente 0,005 mm (photo A. Diehl).

La fracturation généralisée engendre dans les niveaux calcaires une **porosité de fissures** ouverte, laquelle est, comme dans les milieux crayeux classiques, élevée et **efficace** jusque vers 30 à 40 m sous la surface du sol (Mornod, 1962). Elle décroît ensuite sensiblement avec la profondeur sans que, toutefois, les fentes d'écoulement gravitaire disparaissent totalement.

Les fissures à circulation active témoignent d'une tendance à l'élargissement par dissolution, soit d'une **endokarstification** modérée, au sujet de laquelle il existe peu de données précises. A titre d'exemple, Kübler (1962a) mentionne que

de petits chenaux karstiques à effet drainant livrent de modestes débits dans la galerie de captage de La Maladière, forée à partir d'un puits, à 22 m de profondeur. Par opposition, des écoulements fissuraux de l'ordre de 100 l/s s'observent dans les calcaires inférieurs, lors des crues (cf. p. 141). Rochedieu (1898) enfin, rapporte qu'au cours du creusement de la galerie sise à la base de la Côte des Envers dans «le calcaire d'eau douce en bancs compacts,... de fortes fissures verticales, renfermant çà et là des excavations naturelles de grosses dimensions ont été recoupées». Comme cette galerie traverse probablement un versant affaissé, elle illustre l'importance de la dissolution («les excavations de grosses dimensions») qui affecte le milieu des masses glissées, et particulièrement les grandes fractures verticales recueillant les eaux d'infiltration et d'exsudation.

Ainsi, l'œningien en place ou désorganisé par les glissements illustre remarquablement le phénomène de la **double porosité** – d'interstices et de fissures karstifiées – qui fait de lui un milieu aquifère particulièrement propice, en termes de ressources en eau souterraine.

Les marnes et surtout les calcaires jurassiques (qui feront l'objet du chapitre suivant) présentent également une double porosité d'interstices et de fissures. Mais, contrairement à ceux des formations œningiennes, les pores interstitiels, parfois nombreux, y sont de dimensions microscopiques, ne se prêtant absolument pas à l'écoulement gravitaire de l'eau. La circulation n'a donc lieu que dans les fissures ouvertes et dans les chenaux karstiques.

### *La perméabilité*

La double porosité efficace qui caractérise parfaitement le milieu œningien a pour corollaire l'existence d'une **perméabilité** omniprésente. Elle est **moyenne** là où des pores grossiers sont nombreux et bien interconnectés entre eux, et **élevée** dans les calcaires fissurés et karstifiés, jusque vers 30 à 40 m de profondeur. Au-delà, elle diminue progressivement. Elle se réduit et devient **faible** au sein des niveaux pulvérulents à porosité interstitielle fine, lorsque la composante argileuse dépasse 20 % ou lorsque la texture rocheuse est sensible au compactage en profondeur. Enfin, la fissuration qui n'épargne pas les couches tendres reste, dans celles-ci, du fait de leur déformabilité, hydrauliquement fermée à l'égard du déplacement gravitaire de l'eau.

Les notions de perméabilités élevées ou faibles correspondent à un très large spectre de valeurs qui s'expriment sous la forme de coefficients numériques. Les vitesses de circulation souterraine de l'eau leur sont proportionnelles et varient donc considérablement, dans un rapport de 1 à 10000, voire plus.

Les perméabilités élevées, celles de fissures et de chenaux karstiques, sont limitées aux calcaires indurés. Ces calcaires exercent, par conséquent, un contrôle déterminant sur la circulation de l'eau au sein du complexe lithologique œningien et, de leur localisation, dépend celle des manifestations hydrogéologiques essentielles de l'aquifère.

La complexité inhérente à la tectonisation et aux glissements est telle qu'il est bien souvent difficile de positionner sûrement, stratigraphiquement ou structurellement parlant, une séquence calcaire affleurante ou rencontrée dans un ouvrage souterrain. La situation des bandes de calcaire à la surface des replats couverts de moraine et densément colonisés par la végétation n'est, le plus souvent, pas repérable non plus, sauf dans le cas où des dolines signalent leur proximité. Un cas exemplaire en est fourni par la région du Crêt-du-Loche, encore qu'il soit malaisé d'assigner à l'une des trois séries calcaires les alignements longitudinaux de petites dolines qui s'y succèdent.

Les calcaires les mieux identifiables sont ceux de la série inférieure reconnaissables, dans les combes, à leur proximité de la roche crétacée encaissante, ainsi qu'aux débits élevés qui peuvent s'en échapper. Leur composition minéralogique les distingue également. Il est vraisemblable aussi que les calcaires inférieurs puissent avoir été ramenés au voisinage de la surface par des replis (fig. 6.1, p. 126).

## Les limites de l'aquifère du Loche

Hydrauliquement parlant, l'œningien est isolé de son entourage géologique par les Marnes rouges et la Molasse qui, avec leurs 30 m d'épaisseur, forment une enveloppe imperméable à la base et sur les bords du synclinal. Les déformations tectoniques intrasynclinales doivent y avoir causé des ruptures de continuité, mais, conjointement avec la perméabilité fortement décroissante vers la profondeur de l'œningien lui-même, l'étanchéité vis-à-vis des horizons aquifères jurassiques sous-jacents peut être considérée comme assurée.

Une ligne de partage des écoulements souterrains, respectivement vers l'ouest et vers l'est, a été localisée par des essais de coloration dans la région des Eplatures. Elle forme la limite hydraulique orientale de l'**aquifère du Loche** (annexe 1). Ainsi délimité, il possède une aire alimentaire de 8,9 km<sup>2</sup>; un calcul sommaire, basé sur les coupes interprétatives de J. Favre, porte (sous toutes réserves) à quelque 750 millions de mètres cubes le volume total du gisement aquifère.

Au fond de la vallée, depuis la région des Calame jusqu'à celle du Temple, l'Éningien est recouvert par les sédiments morainiques et fluviaux qui tapissent, à la fois, la roche en place de l'auge d'érosion glaciaire et le front des bourrelets de glissements. Ces sédiments constituent un toit faiblement perméable sous lequel l'aquifère se trouve en situation d'artésianisme.

## VUE D'ENSEMBLE DE LA CIRCULATION SOUTERRAINE DE L'EAU

Les mouvements de l'eau à l'intérieur de l'aquifère (fig. 6.3, p. 135)

Depuis la surface alimentaire chiffrée ci-dessus à 8,9 km<sup>2</sup>, jusqu'aux décharges sourcières, la circulation souterraine est étroitement dépendante de la répartition de la perméabilité, elle-même subordonnée à l'arrangement géométrique des couches de l'Éningien. L'eau s'infiltre verticalement d'abord, dans la zone de roche dite **non saturée**, jusqu'au moment où elle atteint la surface piézométrique matérialisant la limite supérieure de la **zone saturée**, dont la profondeur est éminemment variable. Au sein de la zone saturée – constituant la **nappe souterraine** – l'écoulement devient pluridirectionnel et subhorizontal.

### *La circulation en zone saturée*

Dans les craies pulvérulentes, les porosités efficaces et les perméabilités interstitielles déterminent des vitesses de circulation généralement faibles, de quelques centimètres à quelques mètres par jour et variables, suivant les conditions hydrauliques, déterminées elles-mêmes par le régime pluvial et nival. Il en va tout autrement dans les craies indurées de la Pierre morte, où la fissuration ouverte et l'endokarstification développent des perméabilités élevées, livrant passage à des écoulements rapides qui peuvent dépasser 500 m par jour (tableau 2, p. 137).

Les trois séquences principales de Pierre morte calcaire et karstifiée, identifiées au tableau 1 (p. 127) se trouvent insérées entre des couches à perméabilité interstitielle. Elles constituent, au sein du milieu aquifère, des bandes longitudinales parallèles au synclinal, isolées les unes des autres, redressées le long des

bords du pli et plus ou moins inclinées, voire couchées, en son centre. Elles jouent le rôle de **drains** opérant le transit rapide de l'eau que leur fournit la lente exsudation émanant de la porosité interstitielle (fig. 6.3, p. 135). Ce mécanisme est particulièrement bien caractérisé dans les premières dizaines de mètres de profondeur des couches calcaires redressées affleurant dans les combes, à la base desquelles émergent les sources.

Il n'y a, semble-t-il, que très peu d'échanges transversaux rapides entre les trois bandes majeures de calcaire. Chacune d'elles possède son régime d'écoulement indépendant. On ne saurait cependant exclure toute interconnexion à l'échelon local. En outre, cette règle souffre de nombreuses exceptions bien observables dans les masses désorganisées par les glissements.

Cette esquisse du fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère repose sur diverses observations faites à l'occasion de travaux de terrassement ainsi que sur les résultats d'essais de coloration effectués de 1988 à 1991 pour l'étude des zones de protection des sources du Locle.

A La Chaux-de-Fonds, on se souvient des pompages exécutés dans les excavations profondes effectuées pour la fondation des deux immeubles N<sup>os</sup> 16 et 19, à la rue Léopold-Robert. Ils avaient totalement asséché la source de La Ronde, distante de 400 à 600 m.

### *La surface de la nappe souterraine*

La surface piézométrique qui sépare la zone saturée de la zone non saturée présente un relief et une variabilité complexes. Au cours des périodes de recharge de la nappe aquifère par l'eau météorique, elle s'élève d'autant plus que la porosité efficace, c'est-à-dire le volume des vides susceptibles d'emmagasiner de l'eau gravitaire, est plus petite. Durant les périodes non influencées par l'alimentation, elle se déprime en direction de chacune des très nombreuses sources qui s'étagent entre 916 m au niveau de la plaine du Col des Roches et 1000 m à La Claire. Les fluctuations des niveaux sont relativement rapides dans les bandes de calcaires perméables et plus lentes dans leurs interstrates à seule porosité d'interstices où elles évoluent avec retard. La profondeur moyenne de la zone saturée, au centre des replats qui séparent les combes, peut être évaluée à une dizaine de mètres.

Une bonne indication de la position du niveau de la nappe est donnée par les galeries de captage supérieures de la Combe Robert qui se développent entre 10 et 30 m sous la surface du plateau des Cernayes. Alimentées en permanence, elles attestent que la surface

piézométrique leur est constamment sus-jacente, c'est-à-dire qu'elle se maintient relativement proche de la surface du plateau.

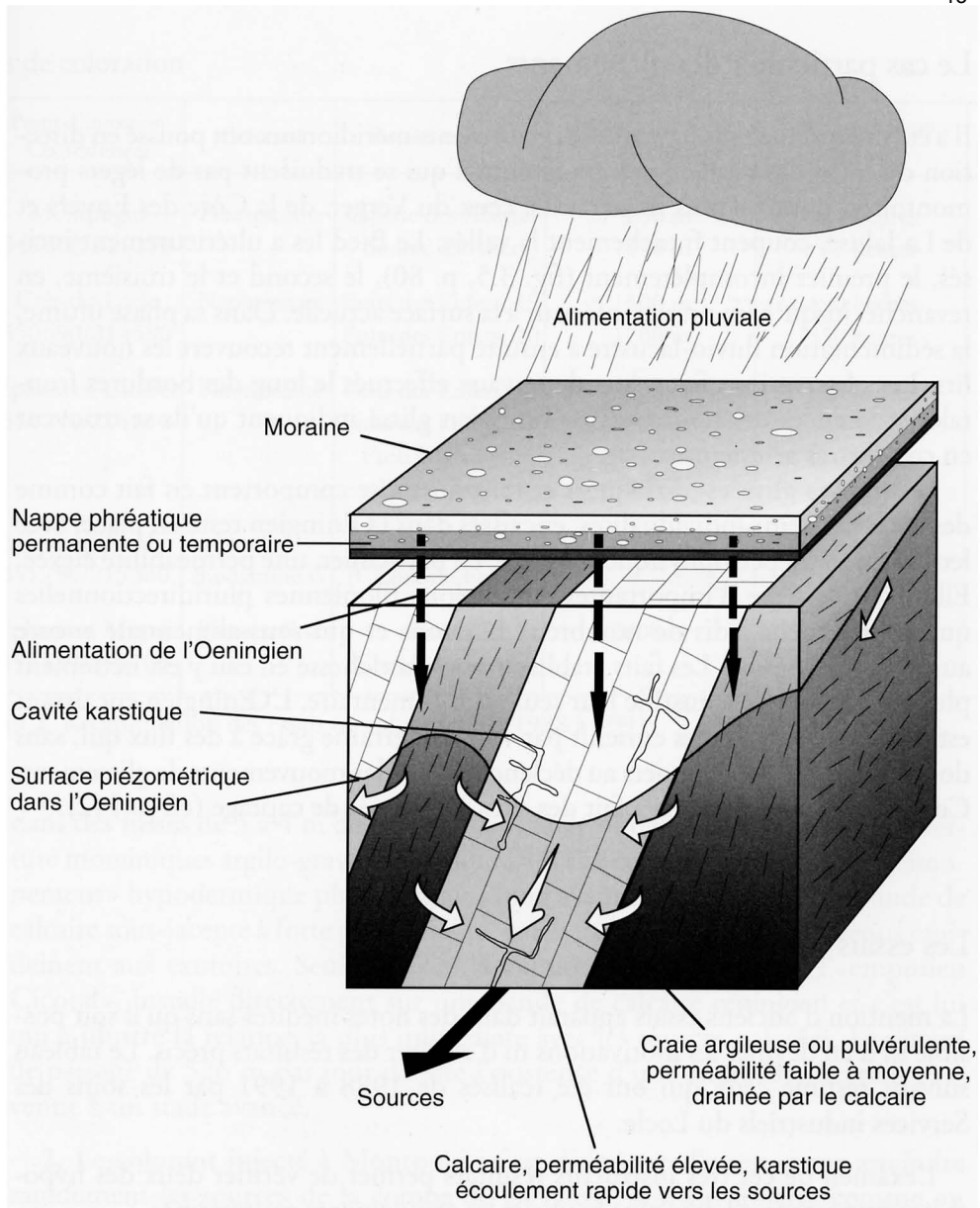
Des 750 millions de mètres cubes qui forment le contenu œningien du bassin du Locle, on peut estimer grossièrement que le 80 %, en tous cas, se trouve en zone saturée. En évaluant, par défaut, la porosité efficace moyenne à 3 %, le calcul confère un volume d'environ 22 millions de mètres cubes à la réserve d'eau libre du réservoir souterrain.

## L'artésianisme

Au-dessous des sédiments faiblement perméables qui combrent l'auge glaciaire de la plaine du Col, les couches œningiennes sont fracturées par des replis et des failles auxquels s'ajoutent les dislocations affectant les bourrelets de glissement. Dans les lames et écailles de calcaires perméables, l'eau se trouve être sous pression, mise en charge par les flux des versants. Elle exerce une pression ascendante, artésienne. Là où la couverture limoneuse est peu épaisse, en particulier le long des bords de la plaine, ainsi qu'à la périphérie des bourrelets, des remontées d'eau filoniennes s'épanchent à la surface de la plaine. A l'état naturel, elles formaient de petits étangs sourciers appelés « bugnons » ou « rondes ». La figure 6.5 (p. 144) en explicite le mécanisme. Ceux-ci ont disparu aujourd'hui, dérivés dans des captages ou des drainages. En périodes très humides seulement, des surges temporaires, parfois à fort débit, apparaissent encore ici et là, comme par exemple auprès des puits de La Maladière ou des Rondes.

Les séries des calcaires moyens et surtout inférieurs, si tant est qu'elles sont en place à l'intérieur du synclinal, sont probablement peu aquifères, du fait de leur profondeur supérieure à 80-120 m. Elles peuvent être le siège de circulations filoniennes à faible densité, mais il serait totalement hasardeux de chercher à les exploiter par des forages.

Le phénomène d'artésianisme a une conséquence plus générale que la seule émission de remontées filoniennes. L'eau en charge diffuse spatialement à travers la couverture limoneuse faiblement perméable et vient nourrir, de bas en haut, la nappe phréatique de la plaine. La surface piézométrique de celle-ci l'atteste par sa position élevée, proche de la surface du sol et par sa déformabilité sous l'effet des pompes qui s'opèrent dans l'œningien sous-jacent. Des données précises sur la charge artésienne et ses variations dans le temps et dans l'espace sont commentées au chapitre précédent (fig. 5.2, p. 120).



**Fig. 6.3** Représentation schématique des écoulements souterrains dans l'Oeningien: en conditions hydrologiques normales, les chenaux endokarstiques du calcaire drainent l'eau interstitielle des séries crayeuses argileuses et pulvérulentes, moins perméables que le calcaire, et nourrissent les sources.

## Le cas particulier des glissements

Il a été mentionné plus haut que les glissements méridionaux ont poussé en direction du nord des renflements transversaux qui se traduisent par de légers promontoires, dont les plus importants, ceux du Verger, de la Côte des Envers et de La Jaluse, coupent franchement la vallée. Le Bied les a ultérieurement incisés, le premier incomplètement (fig. 3.5, p. 80), le second et le troisième, en revanche, jusqu' à un niveau inférieur à la surface actuelle. Dans sa phase ultime, la sédimentation fluvio-lacustre a ensuite partiellement recouvert les nouveaux lits. Les observations faites lors de travaux effectués le long des bordures frontales et latérales des bourrelets d'Éningien glissé indiquent qu'ils se trouvent en conditions artésiennes.

Les **masses glissées**, disloquées et foisonnées, se comportent en fait comme des aquifères semi-individualisés, encaissés dans l'Éningien resté en place, avec leurs propriétés pétrophysiques propres, en particulier, une perméabilité élevée. Elles sont le siège d'importantes circulations filoniennes pluridirectionnelles qui nourrissaient jadis de nombreux bugnons et qui sous-alimentent encore aujourd'hui Le Bied. Les faits établissent que la richesse en eau y est nettement plus grande que ne le justifie leur seule aire alimentaire. L'Éningien encaissant est lui aussi émissif et les enrichit par voie souterraine grâce à des flux qui, sans doute, n'ont pas été étrangers au déclenchement des mouvements de glissement. Cette abondance d'eau en a fait des sites privilégiés de captage (cf. p. 142).

## Les essais de coloration

La mention d'anciens essais apparaît dans des notes inédites sans qu'il soit possible ni d'en deviner les motivations ni d'en tirer des résultats précis. Le tableau suivant résume ceux qui ont été réalisés de 1988 à 1991 par les soins des Services industriels du Locle.

L'examen de ces très instructifs résultats permet de vérifier deux des hypothèses importantes faites plus haut sur les écoulements souterrains :

1. Des vitesses de transfert souterrain des traceurs très variables, comprises entre 73 et 526 m par jour. L'explication d'une telle variabilité est à rechercher dans le mécanisme de l'infiltration des colorants. En effet, ceux-ci ont été déversés

## Essais de coloration

	Point d'injection Coordonnées	Colorant	Sources colorées	Distance parcourue à vol d'oiseau	Temps de parcours (pointe)	Vitesse journalière
1.	Montpugin 548600/211250	Fluorescéine	Galerie des Abattes Source Zürcher	750 m 1150 m	77 heures 77 heures	230 m 350 m
2.	Crêt-du-Loche 550690/214580	Naphtionate	Puits des Enfers, 19 Puits des Enfers, 20	1500 m 1700 m	490 heures 550 heures	73 m 74 m
3.	Eplatures, Cicorel 551240/214850	Fluorescéine	Puits des Enfers, 19 Puits des Enfers, 20 Puits Maladière Puits Verger	2100 m 2300 m 3200 m 3500 m	127 heures 173 heures 146 heures 513 heures	397 m 319 m 526 m 164 m
4.	Eplatures, Jumbo 551750/215360	Sulfo- rhodamine G	Ronde (Chaux-de-Fonds)	3100 m	228 heures	326 m
5.	Eplatures, Migrol 552180/215700	Fluorescéine	Ronde (Chaux-de-Fonds)	2600 m	228 heures	273 m

Tableau 2 Récapitulation des essais de coloration de 1988 à 1991.

dans des fosses de 3 à 4 m de profondeur, excavées dans des terrains de couverture morainiques argilo-graveleux. Il aura fallu aux colorants un temps de « tâtonnement » hypodermique plus ou moins long avant de rencontrer une bande de calcaire sous-jacente à forte perméabilité, par laquelle ils sont alors parvenus rapidement aux exutoires. Seul l'essai n° 3 a utilisé une perte active, l'« emposieu Cicorel », installé directement sur une bande de calcaire œningien et c'est lui qui a illustré la relation la plus immédiate avec les sources colorées. La vitesse de passage de 526 m par jour dénote l'existence d'une endokarstification parvenue à un stade avancé.

2. Le colorant injecté à Montpugin s'est dirigé vers l'ouest, pour atteindre rapidement les sources de la combe de La Jaluse. Il n'a réapparu, comme on aurait pu s'y attendre, ni dans la Combe Girard, ni dans les circulations du glissement des Envers, en particulier au puits des Envers. Ce dernier trait illustre bien l'absence d'un écoulement souterrain transversal à travers la succession des couches en place.

## L'ALIMENTATION DE L'AQUIFÈRE

L'eau météorique – pluie, fonte de neige – pénètre dans l'aquifère par toute l'aire d'affleurement des formations œningiennes, en traversant d'abord une couche de terrains meubles superficiels. Ce sont soit des placages morainiques d'épaisseur variable, mais ne dépassant probablement guère 10 m, soit simplement de la roche en place, ameublie sur quelques mètres par l'altération superficielle (Nydegger, 1990). La perméabilité de ces couvertures meubles est généralement assez élevée pour absorber les flux d'eau météorique les plus intenses.

Aux endroits où l'eau ne percole pas directement dans l'œningien sous-jacent – sur les aires morainiques principalement – elle s'accumule en gisements hypodermiques temporaires, parfois même durables, qui étalent dans le temps le régime d'alimentation de l'aquifère (fig. 6.3, p. 135). Un exemple de rétention hypodermique permanente est fourni par les terrains marécageux du bois de La Joux Pélichet (pt 548 170/211 590).

## LES DÉCHARGES DE L'AQUIFÈRE

### Les sources des combes

Les séries de calcaires aquifères, redressées au bord du synclinal et plus ou moins couchées à l'intérieur du pli, sont recoupées par les combes latérales, dans lesquelles elles déchargent leurs eaux sous la forme de nombreuses sources de petite et moyenne importances. Plusieurs documents précisent leur nombre, leur position et leurs caractéristiques, notamment le Casier sanitaire des eaux, au Laboratoire cantonal, de nombreux plans de détail aux Services industriels, ainsi que les études générales de Rochedieu (1898) et de Mornod (1962).

Les sources jaillissent le plus fréquemment dans les pentes inférieures des versants. Elles émergent, soit à travers un placage d'éboulis, soit des modestes couches d'alluvions ou simplement d'altération qui revêtent par places le fond des combes. Dans ce second cas, l'exutoire normal peut être déplacé en aval des calcaires émissifs. De ce fait, la position des sources n'est pas toujours immédiatement explicite au pied des deux versants et leur attribution à une série calcaire déterminée, pas toujours évidente.

## Hydrogéologie et éléments de genèse des combes : exemple de la Combe Robert

Il y a de fortes raisons de penser que plusieurs des combes de l'Éningien se sont installées dans des zones de fractures subtransversales, d'extension régionale et débordant sur les calcaires jurassiques encaissants.

C'est en tous cas l'explication que nous entrevoyons à l'alignement sud-nord de l'ensemble: section supérieure de la Combe Robert – Combe du Pied du Crêt et Combe Bichon. (Le tronçon inférieur de la Combe Robert a été dévié de cet alignement par un glissement tardif de son versant oriental.)

Parmi les actions érosives de l'eau et de la glace, dont la synergie a conduit à la mise en place de la Combe Robert, laquelle en fut l'amorce? La direction méridienne de la zone fracturée, découlant d'un effort compressif, incite à penser que des écoulements transversaux dans les niveaux souples qui séparent les séries successives de calcaire aquifère, n'ont guère eu la possibilité de se créer. Bien plutôt, l'eau de chaque série de calcaire affleurante a émergé en sources alignées le long de la zone fracturée, dans un paysage au relief plus atténué que celui d'aujourd'hui. L'individualisation de la combe fut et reste l'œuvre de l'érosion régressive liée au phénomène sourcier. L'érosion glaciaire et fluvio-glaciaire, dont témoigne aussi le modelé juvénile de la Combe Bichon, a renforcé momentanément le dynamisme du processus.

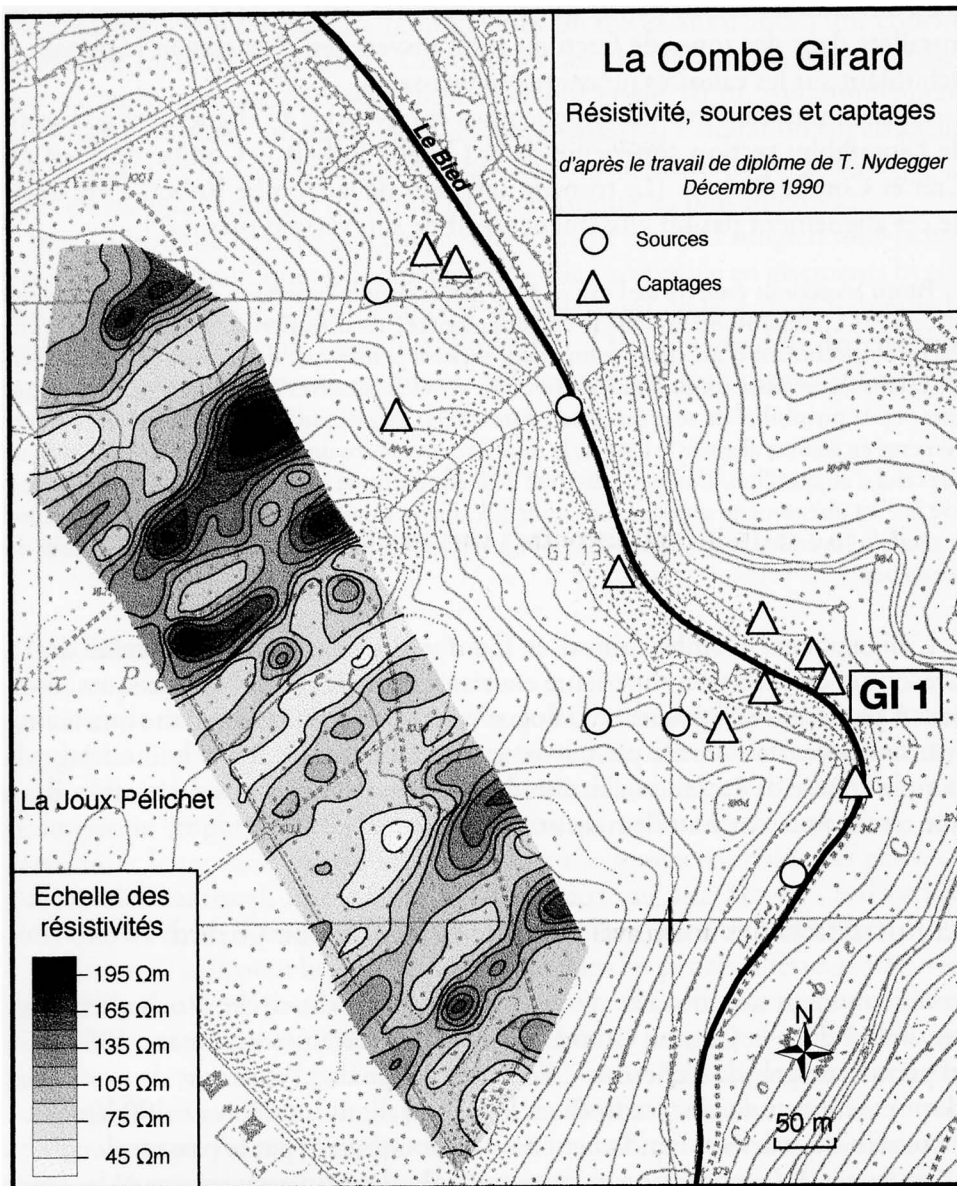
L'alignement: Combe Girard et Combe du Stand ainsi que celui de La Grecque et de sa section supérieure encaissée dans les calcaires jurassiques, donnent à penser qu'un processus analogue y fut à l'œuvre, réserve faite que le rapport des potentiels érosifs peut avoir été différent. Ainsi, dans le modelage de l'ample combe de La Jaluse, l'action des glaciers et les glissements consécutifs à leur retrait jouèrent un rôle majeur.

## La formation des sources: exemple de la Combe Girard

Antérieurement aux travaux de captage du début du siècle, Rochedieu avait dénombré dans la Combe Girard seize sources pérennes «donnant 208 l/min en période de grande sécheresse». En outre, il signalait l'existence de nombreux filons émergeant dans le lit du Bied, lequel totalisait un débit de 400 l/min.

Au sein des calcaires rapidement érodés, notamment par le passage des glaces würmiennes, la karstification, relativement plus lente, n'a pas encore eu le temps

d'organiser la circulation filonienne au profit d'un exutoire unique. Le nombre élevé des sources, leur débit faible à modéré, leurs altitudes diverses et même leur chimisme, illustrent ce défaut d'unification.



La Combe Girard a été étudiée à cet égard par Nydegger (1990). S'appuyant sur une prospection géophysique effectuée le long du bord oriental du plateau de La Joux Pélichet, il a pu repérer, sous la couverture meuble, la position de plusieurs bandes de calcaire longitudinales, sans toutefois réussir à déterminer leur position stratigraphique. Dans le flanc gauche de la combe, ces bandes, qui s'infléchissent vers le sud, correspondent à des épaulements (fig. ci-contre). Les évasements élargissant symétriquement les versants soulignent, par conséquent, les passées d'Éningien plus tendre.

A la base du versant gauche étudié par Nydegger, sourdent actuellement une dizaine de sources captées et non captées qui se regroupent en deux endroits coïncidant effectivement avec deux saillies attribuables aux calcaires. Les sources du groupe amont apparaissent au pied de l'éperon qui souligne le coude à angle droit que fait Le Bied au point où il quitte le Valanginien. Cet éperon est constitué par de la Pierre morte très cassante appartenant avec certitude à la séquence inférieure. Des mêmes calcaires émergent, sur la rive droite, aussi des sources dont trois sont captées.

Au moment de la grande crue causée par la fonte de la neige, le 26 janvier 1995, un débit nettement supérieur à 100 l/s jaillissait autour du captage N° GI,1 en rive droite (fig. ci-contre). Un débit de cette importance dénote un potentiel de transfert exceptionnel dans de l'Éningien réputé modérément karstifié. On pourrait raisonnablement invoquer une sous-alimentation causée par une forte montée d'eau souterraine dans le calcaire valanginien adjacent. Or, la minéralisation de cette eau s'est montrée élevée, plus proche de celle des émissions de l'Éningien que de celle, plus faible, qu'on peut attendre du milieu calcaire crétacé.

Au vu de la coupe géologique A de la figure 6.1 (p. 126), il n'est pas exclu que les mêmes calcaires inférieurs produisent également des sources dans la section médiane de la combe.

Les filons d'eau émergeant dans Le Bied, mentionnés par Rochedieu, s'observent encore toujours en aval du coude de la gorge, sur une distance d'environ

- ◁ **Fig. 6.4** Prospection géophysique le long du bord ouest de la Combe Girard. Les zones à résistivité électrique élevée (supérieure à 120 ohm.m) coïncident probablement avec les affleurements de calcaires sous-jacents à la couverture morainique; ceux-ci forment des éperons dans le versant de la combe, au pied desquels se regroupent les sources (d'après Nydegger, 1990).

300 m, lorsque le lit est à sec en amont. Ils appartiennent à de faibles sous-écoulements dans le revêtement alluvial, qui affleurent de place en place et qui sont alimentés par l'eau hypodermique de la base des versants.

Une part importante de l'eau captée à l'issue de la Combe Girard provient d'un puits et de galeries de captage attenantes, drainant la base glissée du versant gauche.

Les résultats obtenus par Nydegger, établissant objectivement un lien direct entre les sources et la position des séries de calcaire recoupées, ainsi que l'existence d'exutoires déplacés dans le fond alluvial de la gorge, peuvent être appliqués, pour l'essentiel, au cas des autres combes. Seule diffère la proportion des uns et des autres exutoires. Ainsi, l'importante source captée par une courte galerie dans le versant gauche de la combe des Abattes pourrait être imputée à une remontée tectonique des calcaires inférieurs (fig. 6.1, B, p. 126). Dans le tronçon supérieur du ravin juvénile de La Grecque, escarpé et encaissé, les petites et moyennes sorties d'eau de versants sont la règle. A l'aval, par contre, la section s'élargit et possède un revêtement épais d'alluvions dans lequel sont disséminés des niveaux de gravier argileux, revêtement qui recueille, hypodermiquement surtout, les flux des versants, au profit d'émergences déplacées. Plusieurs de ces dernières se manifestent par de forts écoulements superficiels lors des périodes pluvieuses, ou sont saisies par des drainages à débit permanent raccordés au Grand Bied.

Le flanc nord de la vallée, occupé par le placage de l'Éningien redressé et renversé de la bordure synclinale, est peu propice à l'apparition de sources. Rochedieu (1898) en signale tout de même quelques-unes qui se situaient au Pied du Crêt, aux Reçues, à Bellevue et à la Croix des Côtes. Vraisemblablement, l'essentiel de l'eau d'infiltration descend verticalement dans les séries calcaires, pour aller alimenter l'artésianisme infra-alluvial.

### Les sources associées aux glissements: l'exemple des glissements des Envers et de La Jaluse

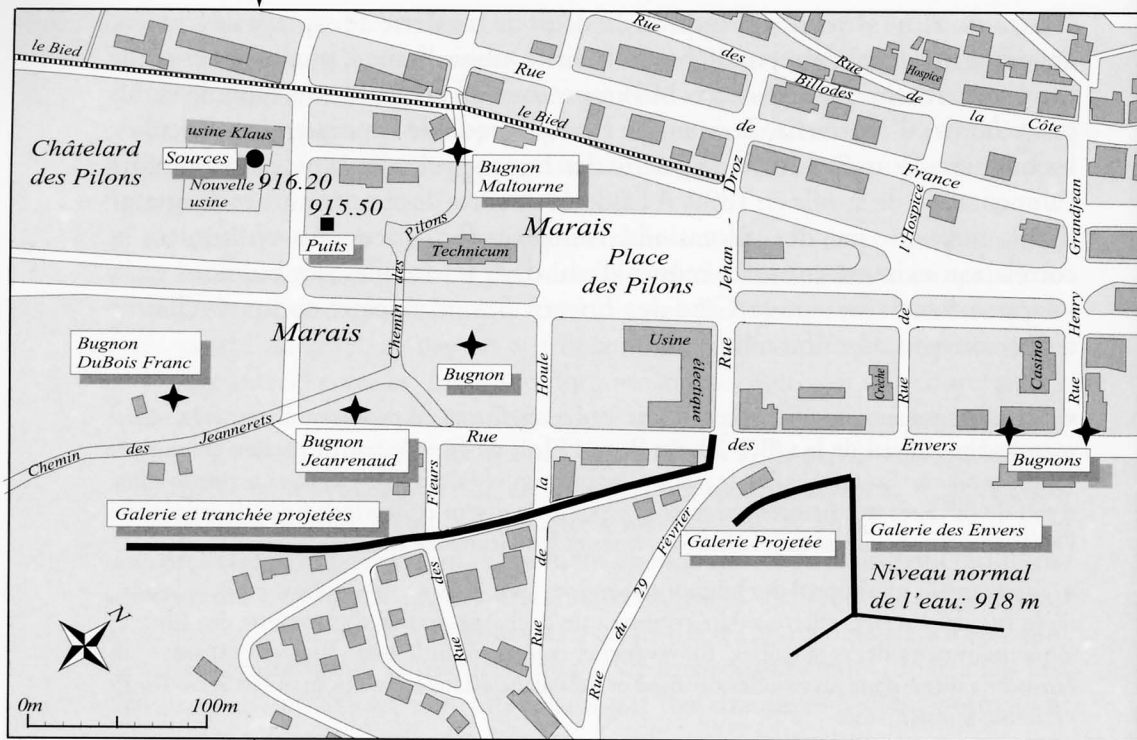
En 1906, le géologue Schardt fut consulté sur les conséquences hydrologiques de l'approfondissement du lit du Bied dans la région des Pylons, ainsi que d'une profonde excavation pour la nouvelle usine Klaus. En effet, au fond et sur les côtés du nouveau lit, des émissions d'eau souterraine volumineuses se firent jour, de même qu'un pompage d'épuisement dut être installé sur le chantier de l'usine.

Il en résulta une sérieuse diminution du débit de la galerie de captage des Envers de même que le tarissement du bugnon dit « Dubois Franc », proche du chemin des Jeanneret. La figure 6.5 (p. 144) reproduit un fragment du croquis établi par Schardt ; il représente la situation hydrologique de l'époque, en particulier les bugnons alors émissifs et la galerie des Envers, premier captage établi pour l'alimentation de la ville en 1899. À l'aide de mesures de température et de niveau d'eau, ainsi que par des colorations, l'auteur a facilement mis en lumière la corrélation existant entre les venues d'eau dans les fouilles, les bugnons et la « nappe souterraine » de la Côte des Envers. Ses principaux constats relèvent d'une conceptualisation moderne.

- la colline qui, en avant du cimetière des Jeanneret, forme un promontoire émergeant du remplissage alluvial de la vallée (photo B, p. 112a), est formée par du terrain cœningien, « soit des marnes, soit des bancs de pierre ». Le bugnon « Maltournée » représente une montée d'eau de calcaires très fissurés à travers une petite épaisseur d'alluvions fines. Il exemplifie l'artésianisme régnant sous les alluvions fines et le mécanisme d'autres bugnons.
- l'alignement méridional des bugnons « Sandoz », des « Bains » et « Dubois Franc », le long de la rue des Envers, est considéré comme une décharge directe de la nappe des Envers, alimentant par ailleurs la galerie. En revanche, comme pour le bugnon « Maltournée », les émissions d'eau dans les fouilles du Bied et de l'usine Klaus sont des manifestations d'un véritable artésianisme.
- les indications de niveaux notées sur le plan fournissent l'explication des perturbations apparues. Dans la galerie, le plan d'eau est normalement à 918 m (selon l'ancienne triangulation qui était de 3,26 m inférieure aux cotes actuelles) ; les arrivées d'eau de la fouille de l'usine jaillissent à 916,2 m et celles du nouveau Bied, à 914,5-914,7 m. L'abaissement du niveau de décharge consécutif aux travaux, de 2 à 3 m, a saigné la nappe souterraine et entraîné un rabattement qui s'est propagé transversalement jusqu'aux bugnons et à la galerie de captage. La relation transversale directe, au sein de l'œningien, n'est imaginable que grâce à la dislocation causée par les glissements.

Schardt émet de sérieuses réserves quant à la possibilité de corriger les dérèglements issus de l'approfondissement du Bied, au moyen de mesures techniques. Il envisage un autre remède qui consisterait à créer une nouvelle prise d'eau souterraine au-dessous de la galerie des Envers, en exécutant des tranchées et galeries dont le radier se situerait au niveau du Bied corrigé, voire au-dessous. L'une d'entre elles, esquissée sur la figure 6.5, couperait transversalement la combe des Abattes. Cette proposition, dont la pertinence reste pleinement actuelle, n'a pas été suivie d'effet.

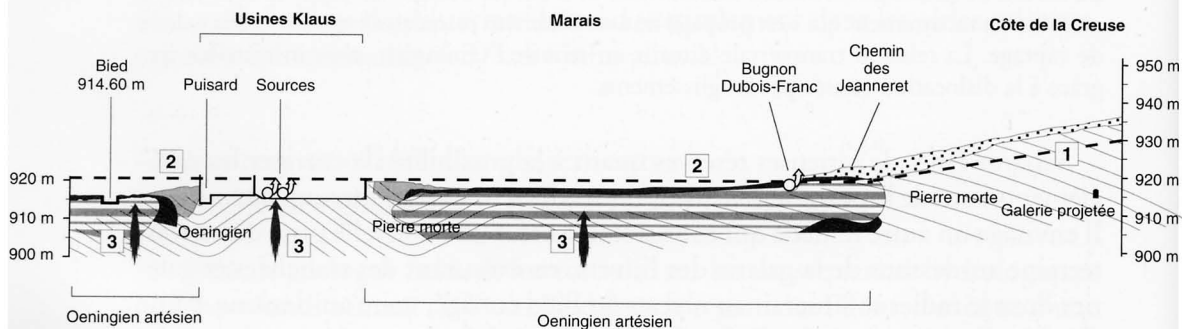
Coupe A-B



Nord-Ouest

Coupe A-B

Sud-Est



Légende

- |  |          |  |  |                            |
|--|----------|--|--|----------------------------|
|  | <b>1</b> | Surface piézométrique dans l'Oeningien                 |  | Source artésienne (bugnon) |
|  | <b>2</b> | Ligne de charge de l'artésianisme à 921 m (anc. 918 m) |  |                            |
|  | <b>3</b> | Poussée ascensionnelle de l'eau artésienne             |  |                            |
|  |          |  |  |                            |

0 m 50 m

Les divers terrassements effectués à l'époque ont donné l'occasion à l'auteur d'esquisser deux coupes géologiques du fond de la vallée, dont l'une est reproduite à la figure ci-contre. Les replis de Pierre morte observés entre le bord du Marais et Le Bied pourraient (?) avoir été engendrés par la compression frontale et le soulèvement consécutifs au glissement de La Jaluse. Nous avons complété la coupe par une ligne symbolisant le niveau piézométrique dans l'œningien du versant sud ainsi que par la ligne de charge correspondante de l'artésianisme au fond de la vallée.

## LE RÉGIME DES SOURCES

### Les débits

On aura recours ici encore à l'étude de Rochedieu qui, à la fin du siècle passé, a dressé l'état hydrologique pour ainsi dire naturel qui régnait avant que le village ne se dote d'une infrastructure citadine. Dans la perspective de l'établissement d'un réseau de distribution d'eau potable, il a soigneusement inventorié les débits et qualité des ruisseaux, sources et fontaines du territoire loclois. Au Col des Roches, Le Bied, totalisant l'ensemble des émissions naturelles de l'œningien, est descendu respectivement à 5000 et 2700 l/min au cours des années très sèches de 1884 et 1893, alors qu'en année normale, il se maintenait aux environs de 6000 l/min. Depuis cette époque de régime naturel, toutes les sources, hormis quelques minimes filets, ont été captées et des puits exploitent en plusieurs endroits le réservoir œningien au-dessous du niveau de la plaine.

Actuellement, comme il n'y a pas de surexploitation du réservoir souterrain, les mesures périodiques faites par les Services industriels confirment globalement les observations de Rochedieu.

- ◁ **Fig. 6.5** Reconstitution du croquis de Schardt (1906) illustrant la situation des travaux d'approfondissement du Bied et de la fondation de l'usine Klaus ainsi que la situation hydrogéologique au pied de la Côte des Envers. Schardt a pu, en outre, esquisser une coupe géologique de la base de l'œningien glissé et suggérer le mécanisme de l'artésianisme et des bugnons.

Captage et groupes de captages	Débit (l/min)		T (° C)	K <sub>20</sub> (μ S)
	Min.	Max.		
Combe des Enfers – pisciculture	50	300	6,9	548
Combe des Enfers – puits + galeries	380	3900	7,1	565
Combe Robert – puits + galeries	150	840	7,7	566
Verger – puits	50	400	8,2	650
Maladière – puits + galeries	400	3000	7,8	591
Combe Girard – sources	220	?	} 7,5	} 548
Combe Girard – puits + galeries	150	?		
Temple – puits	310	630	9,8	650
Envers – puits	580	?	9,3	607
Jeanneret – puits	110	470	8,3	534
Abattes – source	30	300	7,7	607
Usine Rolex – puits	240	?	9,6	555
Route de France – puits	110	470	9,5	581
Grecque – sources	110	1600	7,0	565
Molière – puits (Bronдон)	130	535	7,7	525
Rondes – puits	250	1050	8,0	614

**Tableau 3** Liste des principaux captages et groupes de captages; débits extrêmes moyens; caractéristiques thermiques (T) et chimiques (K<sub>20</sub> = conductibilité électrique de l'eau à 20° C). Source: Services industriels du Locle.

Du tableau ci-dessus ressortent les éléments suivants:

- le débit minimum moyen sur lequel le réseau de distribution peut compter est de 3300 l/min, soit 4700 m<sup>3</sup> par jour ou encore 55 l/s, à savoir, l'équivalent du débit subsistant dans Le Bied d'aujourd'hui, en cas de sécheresse prolongée. Les maxima du tableau sont des valeurs indicatives, non testées d'ailleurs dans plusieurs puits, et qui ne tiennent pas compte des ruissellements temporaires débordant certains captages en périodes pluvieuses;
- la variabilité des débits entre basses et hautes eaux apparaît être relativement petite lorsqu'on la compare à celle des grandes émergences karstiques, celle de la source de L'Areuse, par exemple, dont les extrêmes sont 0,27 et 51 m<sup>3</sup> par seconde, soit dans le rapport de 1 à 190. Le groupe le plus variable au Locle, celui des sources de La Grecque, fait état d'un rapport de 1 à 15 seulement. (En réalité, ce rapport serait plus élevé s'il prenait en compte les maxima instantanés généralement non saisis par les jaugeages.)

## La température et le chimisme de l'eau

Ces deux paramètres sont des signaux qui marquent l'eau, globalisant les influences diverses qu'elle subit durant sa traversée du milieu aquifère.

### *La température*

Dans un aquifère jurassien de faible à moyenne profondeur tel que celui de l'Éningien, les écarts saisonniers de la température de l'eau d'infiltration (pluies tièdes de l'été et fonte de la neige) sont fortement amortis. La **variabilité** thermique des sources dépasse rarement 1 à 2 degrés, le maximum se présentant normalement en septembre-octobre et le minimum en mars-avril; ce dernier dénote l'influence de l'onde froide due à la fusion de la neige. Les mesures des 13 octobre 1986 et 3 mars 1987 données au tableau ci-dessous sont, à cet égard, représentatives des extrêmes saisonniers (Burger, 1988).

	Pisciculture			Combe Girard			Abattes			Puits des Rondes		
	13.10.86	3.3.87	$\bar{m}$	13.10.86	3.3.87	$\bar{m}$	13.10.86	3.3.87	$\bar{m}$	13.10.86	3.3.87	$\bar{m}$
Température (°C)	7,4	5,5	6,9	7,6	5,8	7,5	7,6	7,2	7,7	7,5	7,3	8,0
Conductibilité électrique ( $\mu$ S)	575	471	548	540	463	548	621	579	607	663	627	614
Sulfates (mg SO <sub>4</sub> /l)	2,7	2,6	2,8	4,7	5,4	5,1	5,6	2,5	5,0	6,6	6,4	6,6
Chlorures (mg CL/l)	1,6	1,0	1,5	2,1	2,5	2,4	2,2	3,3	2,9	3,6	3,6	3,6
Nitrates (mg NO <sub>3</sub> /l)	2,6	1,8	2,5	5,1	4,7	5,5	6,8	6,5	7,0	2,2	5,0	3,8
Sodium (mg Na/l)	1,3	2,4	1,6	1,4	2,9	1,9	1,8	3,6	2,4	3,6	4,0	3,4
Potassium (mg K/l)	0,5	0,9	0,64	1,5	<0,5	1,0	1,6	2,6	2,0	2,2	<0,5	1,5
Oxygène dissous (mg/l)	10,2	7,9	9,4	10,0	8,3	9,6	8,7	6,8	7,8	5,3	4,9	5,1
Escherichia Coli (/cm <sup>3</sup> )	2	0	1	1	89	31	1	17	8	0	25	8

**Tableau 4** Température, minéralisation et contenu bactérien de quatre points d'eau. Les mesures des 13.10.86 et 3.3.87 se rapportent respectivement à une forte sécheresse automnale et à une fonte de neige. Les moyennes,  $\bar{m}$ , calculées à partir de trois mesures seulement, sont indicatives. (Source: Services industriels du Locle.)

L'influence du milieu souterrain se traduit, en outre, par des différences notables dans la **température moyenne** pluriannuelle des sources. Suivant l'exposition et le degré de boisement des aires alimentaires, ainsi que la profondeur des cheminements souterrains, la température moyenne s'écarte positive-

ment ou négativement d'une valeur de référence qui correspond à la température de l'air, à l'altitude de l'émergence des sources. Dans le Jura neuchâtelois, les sources sont dites **homothermes** lorsque leur moyenne est comprise entre  $-1$  et  $+1,5^\circ$  de part et d'autre de la valeur normale.

Au Locle, à 920 m, la température moyenne de l'air des quarante-cinq dernières années s'élève à  $6,6^\circ\text{C}$ , valeur proche de la moyenne suisse à cette altitude. La totalité des sources possède une température supérieure, tout en restant dans la fourchette de l'homothermie, soit entre  $5,6$  et  $8,1^\circ\text{C}$ . En revanche, plusieurs puits sont nettement hyperthermes (tableau 3, p. 146) : les groupes Temple ( $9,8^\circ\text{C}$ ) – Envers ( $9,3^\circ\text{C}$ ), d'une part, et Rolex ( $9,6^\circ\text{C}$ ) – Rue de France ( $9,5^\circ\text{C}$ ), d'autre part. Nous hésitons à rattacher ce phénomène au réchauffement du terrain aquifère par l'urbanisation. Il paraît plus logique de l'associer à une remontée rapide, sous l'effet des pompages, d'eau soumise au flux géothermique dans la profondeur du synclinal.

### *Le chimisme*

La minéralisation des eaux de l'Éningien est du type bicarbonaté-calcaïque, dominée à plus de 90 % par le bicarbonate de chaux. À défaut de données numériques homogènes sur la minéralisation totale, il est possible d'approcher celle-ci par la conductibilité électrique de l'eau, une mesure aisée et précise, faite systématiquement.

Une bonne corrélation existe entre la conductibilité et le bicarbonate de chaux dominant (exprimé en milligrammes par litre de carbonate). Le facteur de conversion est 0,73.

Les données de conductibilité du tableau 3 peuvent être transformées en valeurs approchées de carbonate dissous, soit de calcaire, aux dépens de l'Éningien, ainsi que de dureté :

	Mg/l de carbonate dissous	Dureté en ° français
Maximum moyen (puits du Temple)	470	47
Minimum moyen (puits de La Molière)	380	38
Moyenne de l'ensemble des sources	420	42
Moyenne de la source de L'Areuse	210	21

Outre le fait qu'elles résultent d'un calcul corrélatore, ces valeurs sont approximatives car elles ne tiennent pas compte des débits au moment des mesures et, de ce fait, ne peuvent servir à exprimer correctement le volume de carbonate exporté durant un laps de temps donné, par exemple durant une année. En ordre de grandeur cependant, il apparaît que l'Éningien cède, par unité de temps, deux fois plus de carbonate que les calcaires jurassiques illustrés par la source de L'Areuse. La raison majeure en est que, par leur texture, l'Éningien et sa couverture quaternaire conservent une humidité élevée stimulant l'activité biologique des sols et, par conséquent, la production de gaz carbonique agressif, lequel accroît, à son tour, la dissolution.

Parmi les eaux les plus minéralisées apparaissent celles des puits exploitant la profondeur du synclinal et marquées par une hyperthermie: puits du Temple, des Envers et des Rondes. Par contre, les deux puits hyperthermes Rolex et Route de France font état d'une minéralisation moyenne.

En plus du bicarbonate de chaux qui représente le composant **majeur** de la minéralisation, l'eau contient de nombreux autres éléments **mineurs** dont la concentration est de l'ordre de quelques milligrammes par litre. Ceux-ci ont une double origine: d'une part, la pollution anthropogène qui, dans la région du Locle, est pour ainsi dire ubiquiste et, d'autre part, le milieu rocheux lui-même qui n'est pas du carbonate chimiquement pur.

Parmi les éléments découlant de la pollution, les plus répandus sont les chlorures, les nitrates, le sodium et le potassium. Les ordres de grandeurs présentés au tableau 4 (p. 147) peuvent être qualifiés de faibles à modérés, témoignant d'une contamination diffuse. Un seul exemple de pollution élevée et directe par les égouts est celui du puits du Temple, où des pointes de 14 mg/l de nitrates, 67 mg/l de chlorures, 25 mg/l de sodium et 16 mg/l de potassium ont été observées.

Pour ce qui concerne les éléments mineurs issus du milieu rocheux, plusieurs cas de figure sont d'un intérêt particulier:

La source de la pisciculture de la Combe des Envers, dont l'aire alimentaire se situe entre Le Crêt-du-Locle et Les Eplatures, s'illustre par des teneurs très faibles en éléments mineurs (y compris en sulfates, voir ci-dessous) qui sont à considérer comme normales, propres au milieu naturel non influencé par l'homme (tableau 4). A ce titre, cette source peut représenter un faciès-type de l'eau de l'Éningien.

Le spectre des composants mineurs de la roche elle-même s'étend largement au-delà des quatre éléments considérés plus haut (Kübler, 1962b). Nydegger (1990) a cherché à savoir si, par le biais de ces composants, une relation entre

le chimisme des sources et des niveaux particuliers de l'aquifère peut être établie. Un élément approprié sous ce rapport, le magnésium, apparaît être un bon marqueur minéralogique, par exemple de l'œningien inférieur.

Un élément digne d'attention encore est l'anion sulfate. Hormis les 26 mg/l consécutifs à la pollution du puits du Temple, il apparaît avec une certaine constance dans les sources et dans les puits, en toutes situations, ce qui appuie l'hypothèse d'une origine naturelle. Et, pour clore le chapitre, une dernière particularité: selon le Laboratoire cantonal, les eaux de l'œningien sont les seules du canton à contenir en traces, du fluor.

## LES CAPTAGES

### Les sources des combes

La centaine de fontaines recensées par Rochedieu, à la fin du siècle passé, atteste une utilisation intensive des sources. Le captage comprenait un ou plusieurs drains parfois profonds, une chambre d'eau destinée à la sédimentation du limon et un tuyau d'écoulement libre vers un bassin de bois ou de pierre. Des simples abreuvoirs aux fontaines monumentales, nombreux sont encore aujourd'hui ces témoins du prix et de l'honneur que l'on attachait à l'eau précieuse.

Au cours des années qui suivirent la création du réseau de distribution d'eau centralisé, alimenté d'abord par la seule galerie des Envers, presque toutes les sources des combes furent successivement captées ou recaptées, par des ouvrages qui témoignent d'un grand souci de sécurité et de pérennité et dont la plupart sont encore en service aujourd'hui.

A partir de l'émergence naturelle, une tranchée est poussée dans le versant jusqu'à la rencontre du calcaire aquifère. Pour assurer la saisie de l'eau dans la roche saine, un tronçon de galerie prolonge parfois la tranchée. Une canalisation amène l'eau à une chambre de décantation, de jaugeage et parfois de partage, construite en maçonnerie et fermée par une porte métallique. En périodes de crues, des émissions d'eau temporaires peuvent se produire au-dessus ou aux alentours de l'ouvrage.

## Les sources « déplacées »

Les terrains d'altération ou d'alluvions qui occupent, sur quelques mètres d'épaisseur, le fond des combes recueillent et écoulent souterrainement les émissions d'eau occultes des versants et de la roche encaissante. Quelques captages les interceptent, notamment à la Combe Robert et à la Combe Girard.

Le puits N° 21, situé dans la section médiane de la Combe Robert, en fournit un bon exemple. Profond de 7 m, il constitue le réceptacle de plusieurs systèmes de drainage. Le plus élevé d'entre eux, à 2 m de profondeur, ne coule que temporairement. Seuls les drains inférieurs, vers 4 m, ainsi que le fond du puits, fournissent un débit continu de 20 à 40 l/min à l'étiage. Très exposée aux infiltrations des terres agricoles, l'eau en est de mauvaise qualité. Un même système de drainage, installé près du Bied de la Combe Girard, fournit un débit relativement élevé dans les puits de captage N°s 32 à 34.

L'Eningien alimente aussi des sous-écoulements intramorainiques et intra-alluviaux, probablement abondants mais exposés à la pollution agricole, dans les tronçons inférieurs des combes de La Grecque et des Calame. Ils sont captés par des drainages et amenés au Bied.

## Les puits

Au fur et à mesure de l'extension de la ville, l'apport des sources dut être complété par le recours à des puits (tableau 3, p. 146). Ils ont été implantés sur le site, soit d'anciens bugnons, soit d'émissions artésiennes rencontrées lors de travaux de terrassement effectués dans les années septante. Leur profondeur n'excède qu'exceptionnellement 30 m.

Un exemple bien représentatif de ces puits est celui des Rondes. Il fut creusé à la main, en 1953-1954, sur l'emplacement d'un bugnon qui sourdait avec un débit d'une cinquantaine de l/min, à la périphérie d'un bourrelet de glissement. Jusque vers 30 m, il a traversé une série de calcaires (attribués à la série inférieure, soulevée en cet endroit) qui présentaient des fissures ouvertes dont deux, sub-verticales, livraient un débit important et croissant avec la profondeur. Entre 30 et 53 m, profondeur maximum du creusage, le gain de débit fut très faible. A l'usage, cet ouvrage se révèle être l'un des plus productifs. Son rayon d'action étendu (cf. p. 120) fait supposer qu'il exploite une portion importante de l'aquifère artésien.

Un puits digne d'intérêt aussi est celui dit de la Route de France. Selon Mornod (1957), il tire son eau d'une succession de dépôts «limoneux, graveleux, caillouteux et argilo-sableux» perforée jusque vers 15 m de profondeur et reposant sur de l'œningien calcaire. Cette série de matériaux clastiques se situe au pied de la grande niche d'érosion (fluvio-glaciaire?) des Malespieres.

## Les galeries de captage

L'incitation à creuser des galeries de captage relève de deux hypothèses directrices que l'expérience a diversement vérifiées:

1. pousser les galeries transversalement aux couches, pour recouper le plus possible de filons aquifères;
2. accroître et régulariser le débit des sources, en pénétrant profondément dans leur réservoir nourricier et en suivant le filon aquifère le long d'une même couche productive.

### *Les galeries transversales*

L'ancêtre des galeries est celle des Envers. Commencée en 1899, elle avait pour objectif d'exploiter, à quelques mètres au-dessous du niveau de la vallée, l'important réservoir supputé exister dans la Côte des Envers, lequel était soupçonné d'alimenter les bugnons proches (fig. 6.5, p. 144). Longue initialement d'environ 90 m, elle fut prolongée ultérieurement par deux tronçons longitudinaux et obliques. Son débit élevé confirma les hypothèses 1 et 2 ci-dessus. Dès 1969, elle fut asséchée par la mise en œuvre du puits voisin des Envers, profond de 32 m.

Une autre image de galerie transversale est fournie par celle de La Maladière. Son but était de drainer, à 30 m de profondeur, toute la série œningienne intensément plissée et fracturée (Kubler, 1962a) mais non glissée (?), du flanc nord du synclinal. Poussée jusqu'aux Marnes rouges, sur 225 m de longueur, elle n'a recoupé, à cette profondeur critique de productivité, que de petites veines d'eau totalisant 350 l/min. Son rendement, qui peut être considéré comme une valeur standard en une telle situation, est donc de 1,6 l/min par mètre de longueur.

C'est une performance du même ordre de grandeur qu'a réalisée une autre galerie forcée depuis le versant oriental de la Combe Robert, entre 10 et 30 m



La fontaine monumentale de la place du Marché érigée en 1837 par les soins d'une société privée. Elle fut alimentée, à l'origine, par les sources de La Grecque (Musée d'histoire du Locle).

de profondeur, sous le plateau des Cernayes. L'une de ses branches est perpendiculaire aux couches sur 80 m de longueur, tandis que l'autre, de 65 m, leur est parallèle.

D'autres galeries à orientation transversale prépondérante existent, notamment au fond de la Combe des Enfers et à l'issue de la Combe Girard, prospectant chacune les deux versants.

### *Les galeries longitudinales*

Elles s'inspirent de l'hypothèse N° 2 énoncée ci-dessus. Plusieurs d'entre elles sont parties d'une source jugée importante, dont elles peuvent effectivement avoir accru et régularisé le débit d'étiage, mais le plus souvent dans une proportion modeste. La galerie des Abattes (40 m) ainsi que les captages N°s 34 et 37 de la Combe Girard en représentent des exemples. A La Maladière, l'ancienne « source Pierrehumbert », évacuant des écoulements de la base du bourrelet de glissement du Verger, a été captée par une galerie d'une soixantaine de mètres dont le résultat pourrait bien avoir été d'accroître la variabilité du débit et de la qualité de l'eau.

De courts tronçons longitudinaux ont été lancés également depuis les galeries transversales, comme ultimes tentatives d'en améliorer les productions. Leurs résultats semblent avoir été le plus souvent décevants.