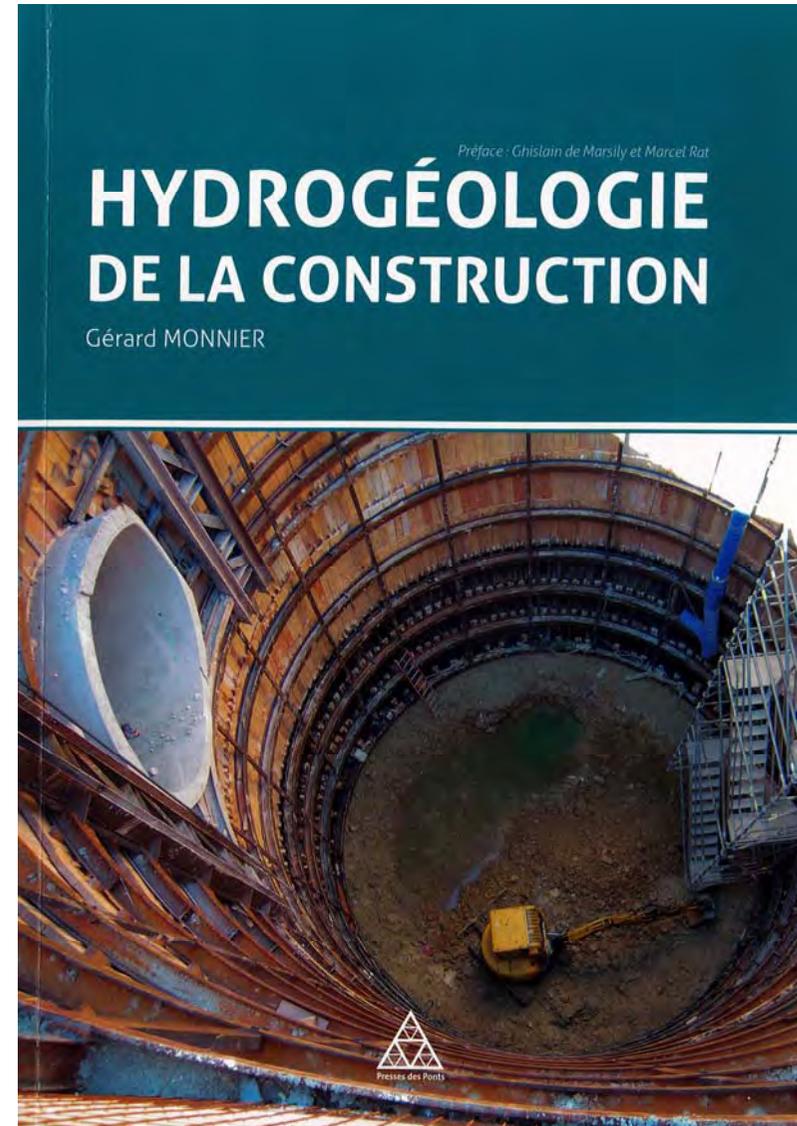


**COMITE FRANCAIS D'HYDROGEOLOGIE**

**G. MONNIER**

**HYDROGEOLOGIE DE LA  
CONSTRUCTION**

**WEBINAIRE DU 2 FEVRIER 2021 A 21H00**



# Chapitre 1

## Les aquifères

### 1.2. Aquicludes et couches semi-perméables

Un aquiclude est un « corps (couche, massif) de roches saturées très faiblement conducteur d'eau souterraines, dans lequel le captage de quantités d'eau appréciables n'est pas possible dans des conditions économiques acceptables, et à travers lequel aucun flux de drainance significatif ne peut passer. » (G. Castany, J. Margat, 1977). Un aquiclude, qui est ce que l'on appelle communément une couche « imperméable », se distingue d'une couche dite semi-perméable dans laquelle une drainance mesurable peut s'établir (voir page 86).

#### 1.2.1. Aquicludes

##### Les argiles et les matériaux avec une composante argileuse prédominante

La conjonction de l'infiltration d'eau de pluie et de l'existence de matériaux fins de type argile conduit fréquemment à l'occurrence d'une nappe. On notera que même très peu épaisse, de l'ordre du décimètre, voire moins, une couche d'argile, ou de nature argileuse, suffit pour conduire à la création d'une nappe et l'existence de sources à flanc ou en pied de coteau, quelque fois même presque au sommet. Nous donnons ci-après quelques exemples de matériaux rocheux, ou plutôt en l'occurrence de roches argileuses, qui peuvent jouer le rôle d'aquiclude.



Photographie 27 :  
Argile de Chanville, de couleur rouge, avec bancs gypseux, de couleur blanche (Exploitation salifère NOVACARB de Laneuveville-devant-Nancy – 54- France)  
(Photographie G. Monnier)



Photographie 28 :  
Shale avec fines strates de calcaire et de grès (Formation de la Lotbinière (Ordovicien) – Chute de Montmorency, Québec)  
(Photographie G. Monnier)

# Chapitre 2

## Concepts et paramètres de base

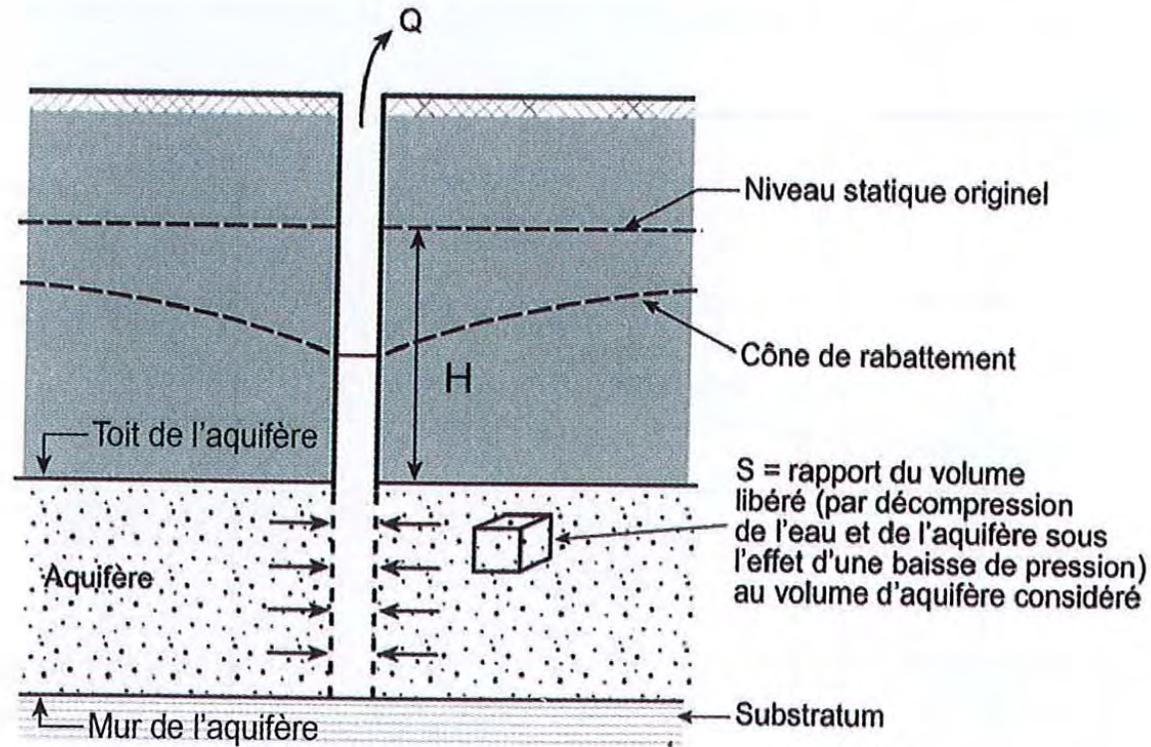
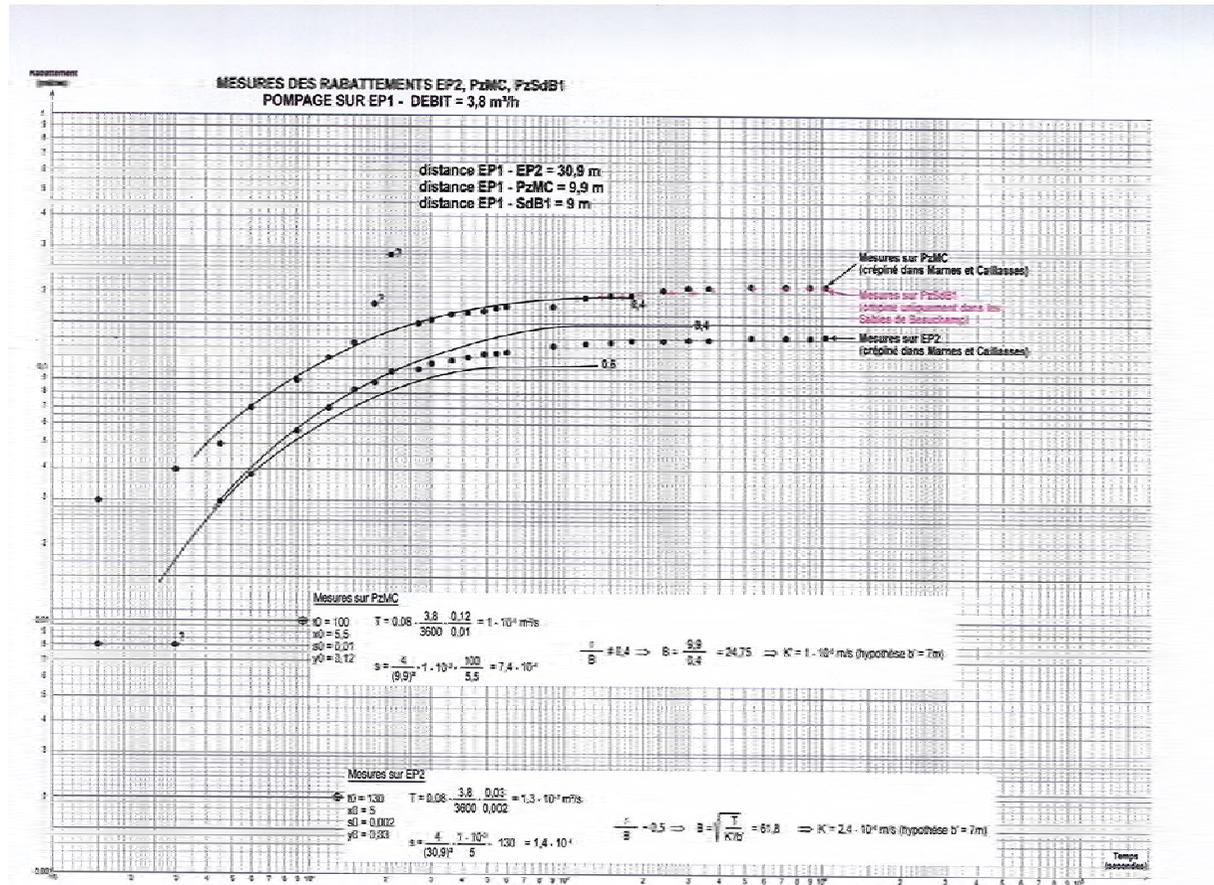


Figure 9 : Nappe captive ( $S$  : coefficient d'emmagasinement)



# Chapitre 3

## Outils théoriques



# Chapitre 3

## Outils théoriques

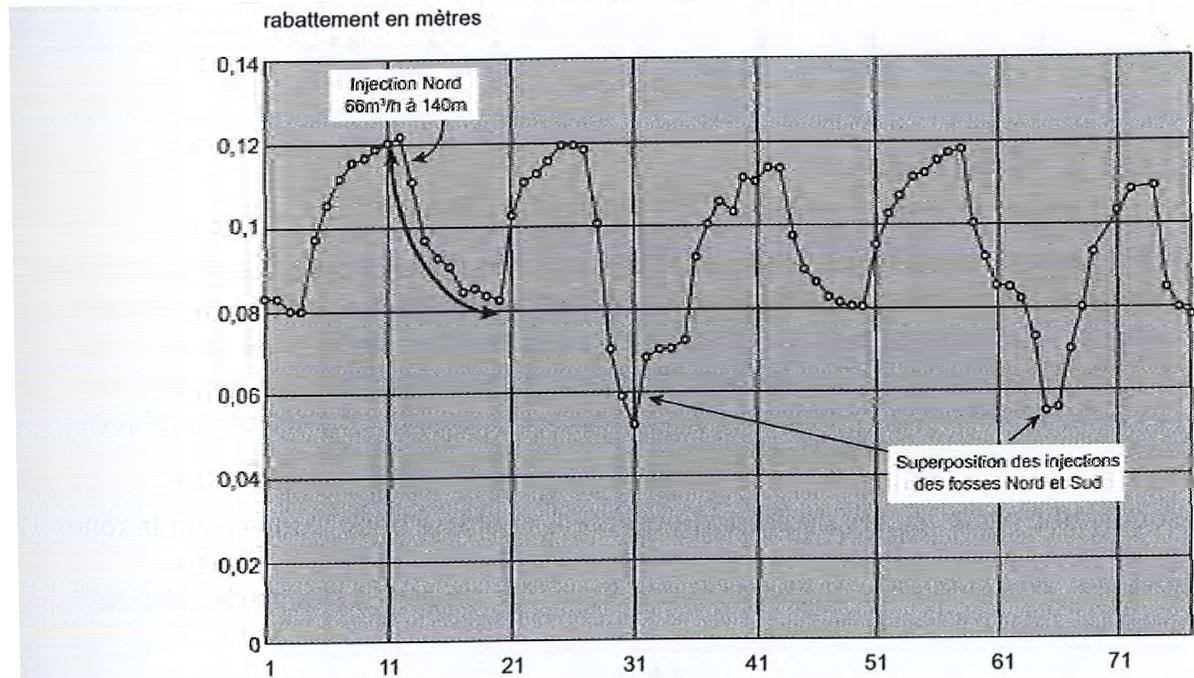


Figure 77 : Battements mesurés sur un piézomètre captant la nappe de la craie (profondeur du piézomètre : 20 mètres) à Issy-les-Moulineaux (entre 5 h 14 et 6 h 30 après le début d'un pompage dans un puits proche du piézomètre).

# Chapitre 4

## Forages, puits et piézomètres



Photographie 34 :  
Méthode Odex dans alluvions  
du Rhône à Lavours (Ain - France) -  
éjection d'eau de nappe  
et de cuttings par l'air comprimé  
(Photographie G. Monnier)

# Chapitre 4

## Forages, puits et piézomètres

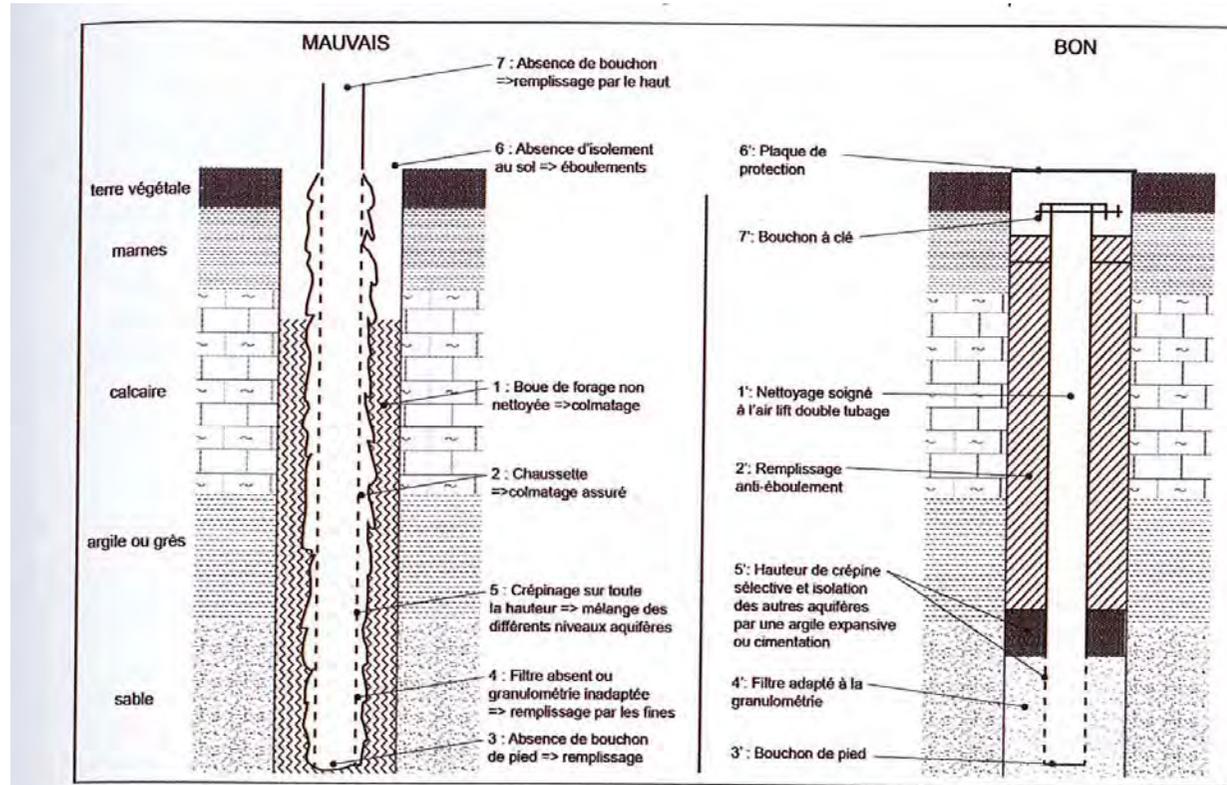


Figure 88 : Défauts les plus courants et règles de bonne réalisation d'un piézomètre (L. Bourguet, BURGEAP)

# Chapitre 5

## Essais et mesures sur site

### 5.2. Diagraphies micromoulinet

Un micromoulinet est constitué par une petite hélice protégée par une cage, que l'on introduit dans un forage dans lequel on a créé un écoulement d'eau, ascendant ou descendant, par pompage ou injection. Cet outil permet alors d'obtenir une diagraphie des vitesses sur la hauteur du forage en eau : au niveau des couches peu productives, la vitesse de rotation de la turbine ne varie pas ou varie peu ; au niveau de couches productives, une variation de la vitesse est constatée.



Photographie 42 :  
Turbine du micromoulinet  
(de marque SEBA) protégée  
par sa cage

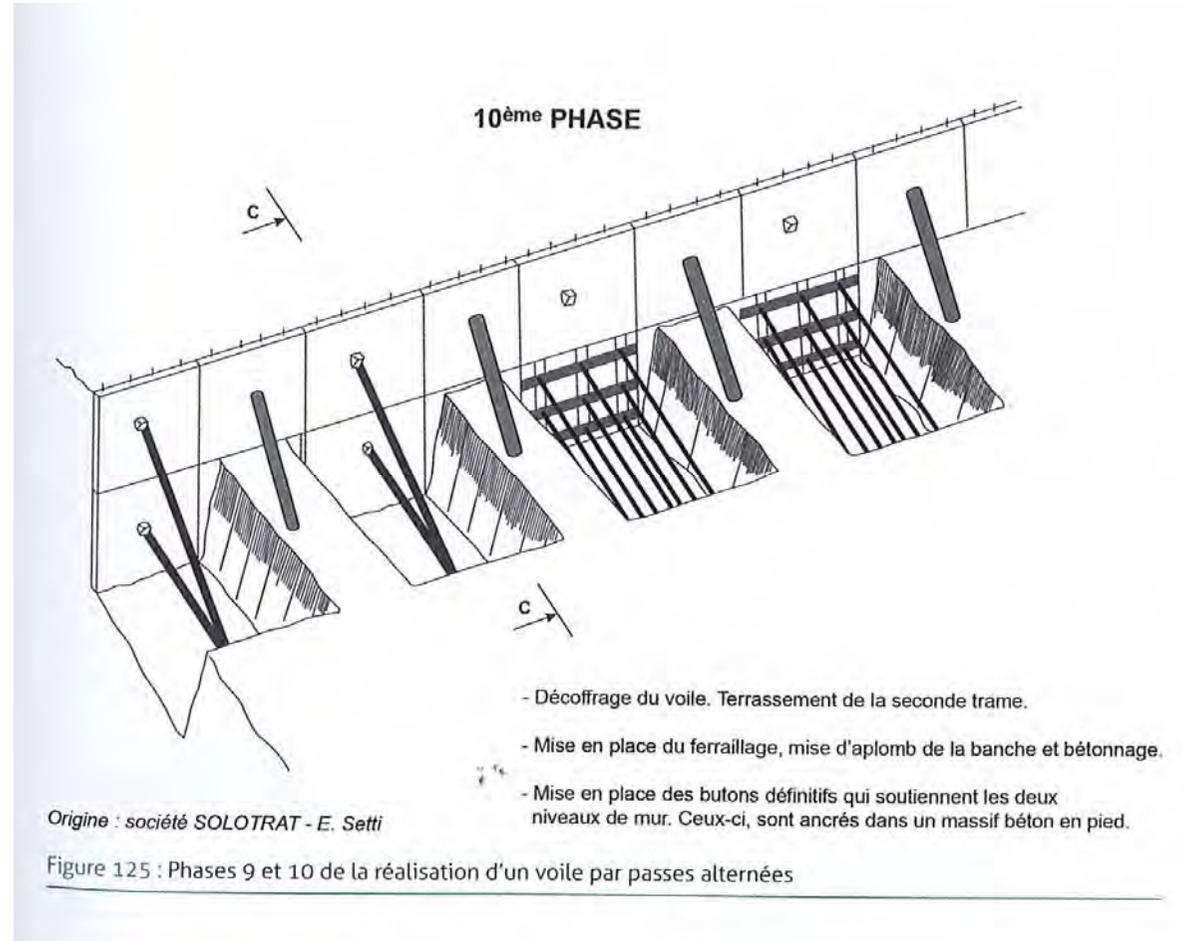


Photographie 43 :  
Installation avant essai d'un  
micromoulinet de forage SEBA  
(avec mesures faites en statique ;  
le cylindre métallique est la pompe  
qui sera descendue dans le forage  
après le micromoulinet)

Dans le domaine de la construction, les diagraphies au micromoulinet sont souvent réalisées afin d'identifier, dans une succession de strates de perméabilités variées, les strates peu à très peu perméables et leur épaisseur. En effet, la localisation de ces couches s'avère souvent particulièrement profitable lorsque l'on cherche, par exemple, à définir une profondeur d'ancrage d'un rideau de palplanches pour minimiser un débit résiduel de fouille, ou à définir une profondeur optimisée d'un puits de pompage ultérieur, en gros diamètre, et ainsi limiter les coûts afférents.

# Chapitre 6

## Méthodes de construction en sous-sol



# Chapitre 6

## Méthodes de construction en sous-sol

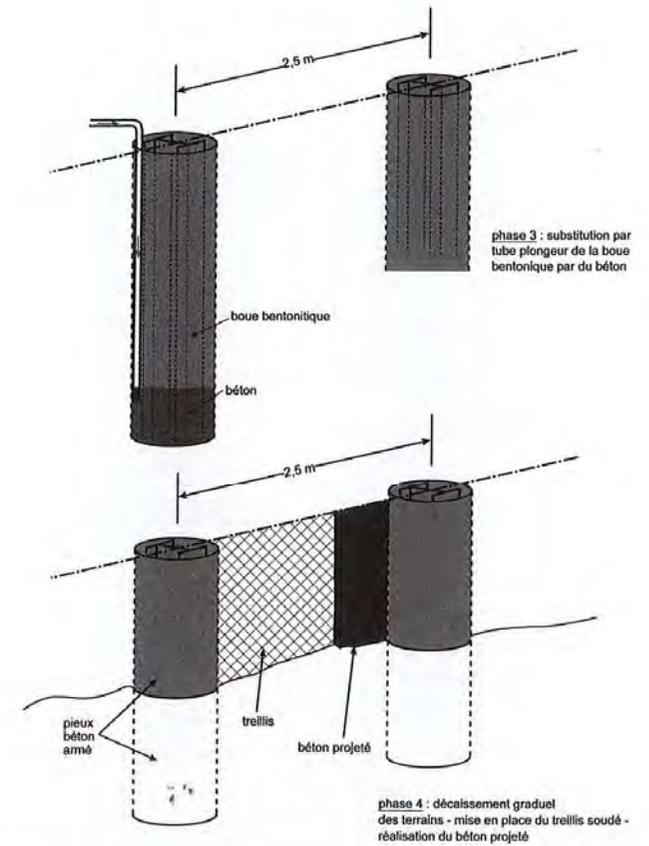


Figure 132 : Étapes de réalisation d'une berlinoise

# Chapitre 6

## Méthodes de construction en sous-sol



Photographie 57 :  
Benne preneuse (en sortie  
d'excavation de barrette –  
entreprise : SEFI INTRAFOR –  
Levallois Perret – France)  
(Photographie G. Monnier)



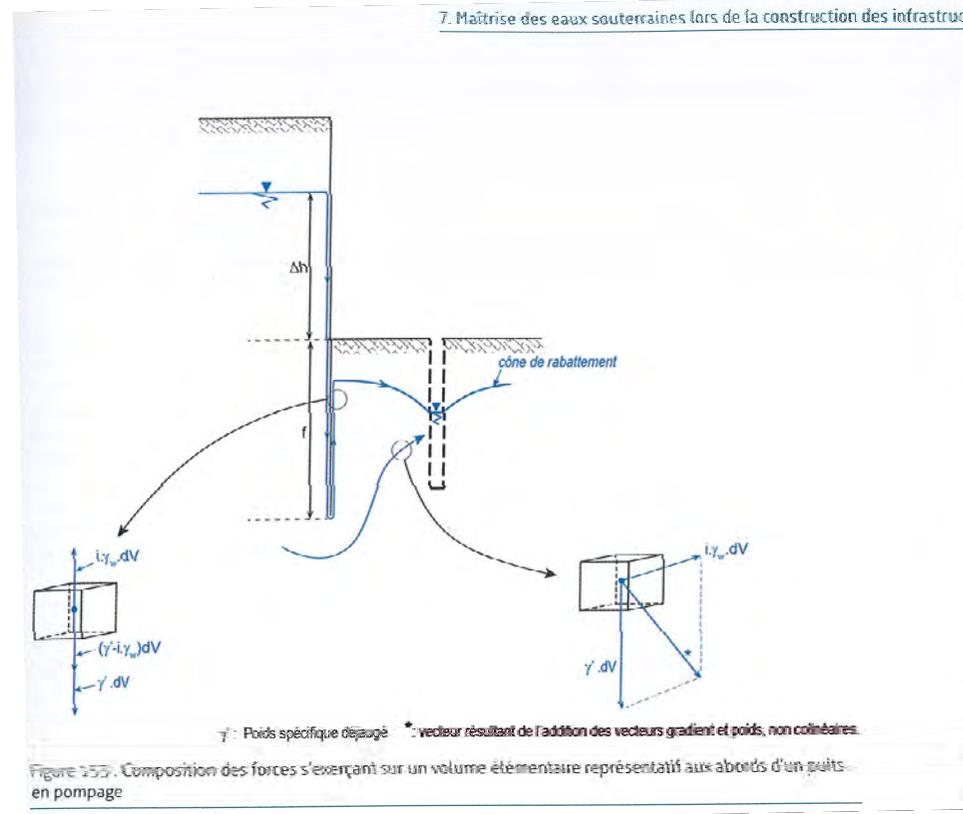
Photographie 58 :  
Vue de la lame d'étanchéité  
du joint water stop  
(Photographie G. Monnier)



Photographie 59 :  
Vue de la lame d'étanchéité  
du joint water stop  
(Photographie G. Monnier)

# Chapitre 7

## Maîtrise des eaux souterraines lors de la construction des infrastructures



# Chapitre 7

## Maîtrise des eaux souterraines lors de la construction des infrastructures



Photographie 64 : Rabattement de nappe par un rideau de pointes filtrantes



Photographie 65 : Parc souterrain Brotteaux à Lyon (69 – France) : dispositif de rabattement de nappe comportant plusieurs puits de petit diamètre avec crépine en PVC ou à fil enroulé captant la molasse (sable fin à moyen, plus ou moins consolidé) (photographie G. Monnier)



Photographie 66 : Deux puits (non recépés) de rabattement de nappe aux alluvions, visibles en fond de fouille (chantier du parking souterrain Brotteaux à Lyon (69) – photographie G. Monnier)

# Chapitre 8

## Maîtrise des eaux souterraines en phase d'exploitation de l'infrastructure

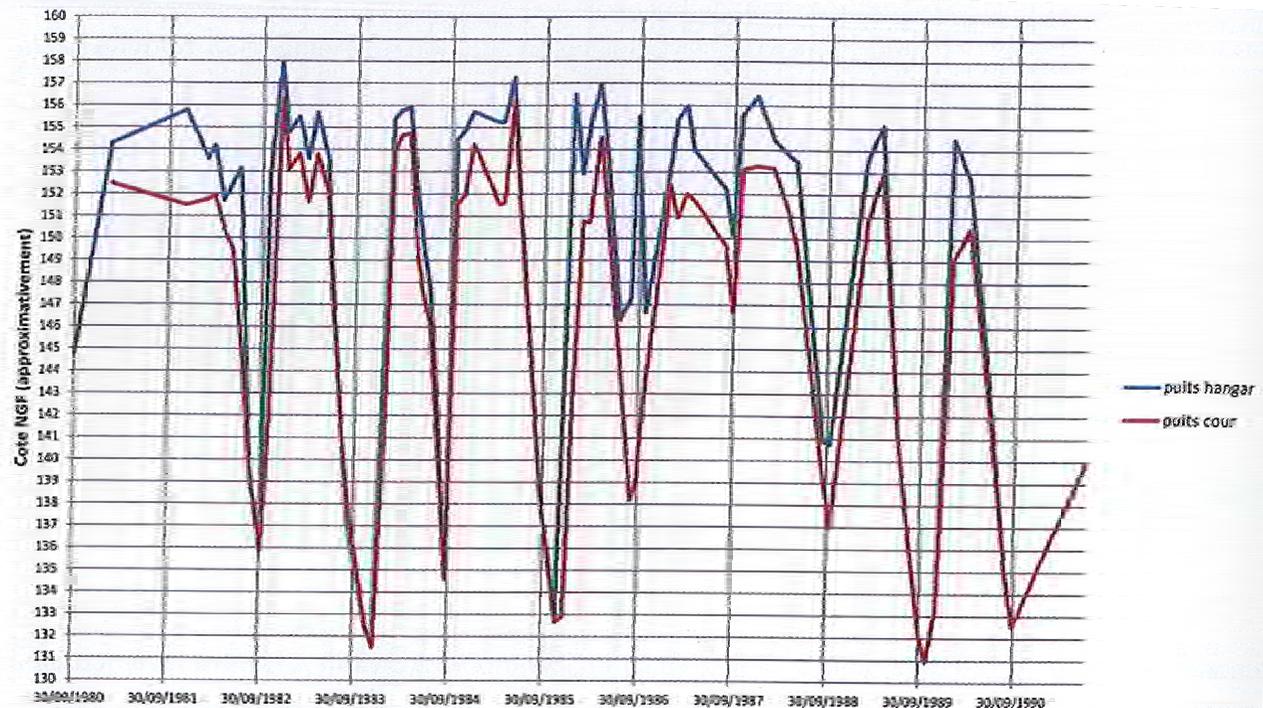
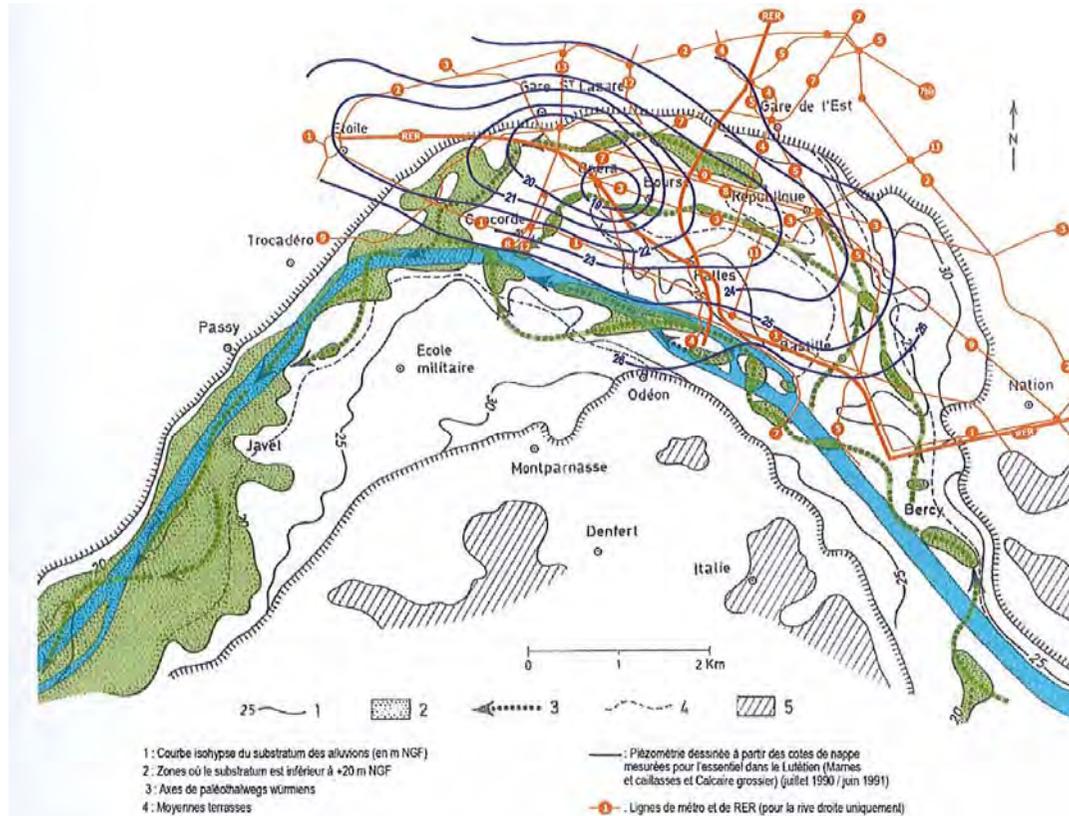


Figure 187 : Battements de la nappe de la craie dans les deux puits (« hangar » et « cour ») de la ferme de la Folie Godot à Allibaudières (10), entre 1980 et 1990

# Chapitre 8

## Maîtrise des eaux souterraines en phase d'exploitation de l'infrastructure



# Chapitre 8

## Maîtrise des eaux souterraines en phase d'exploitation de l'infrastructure

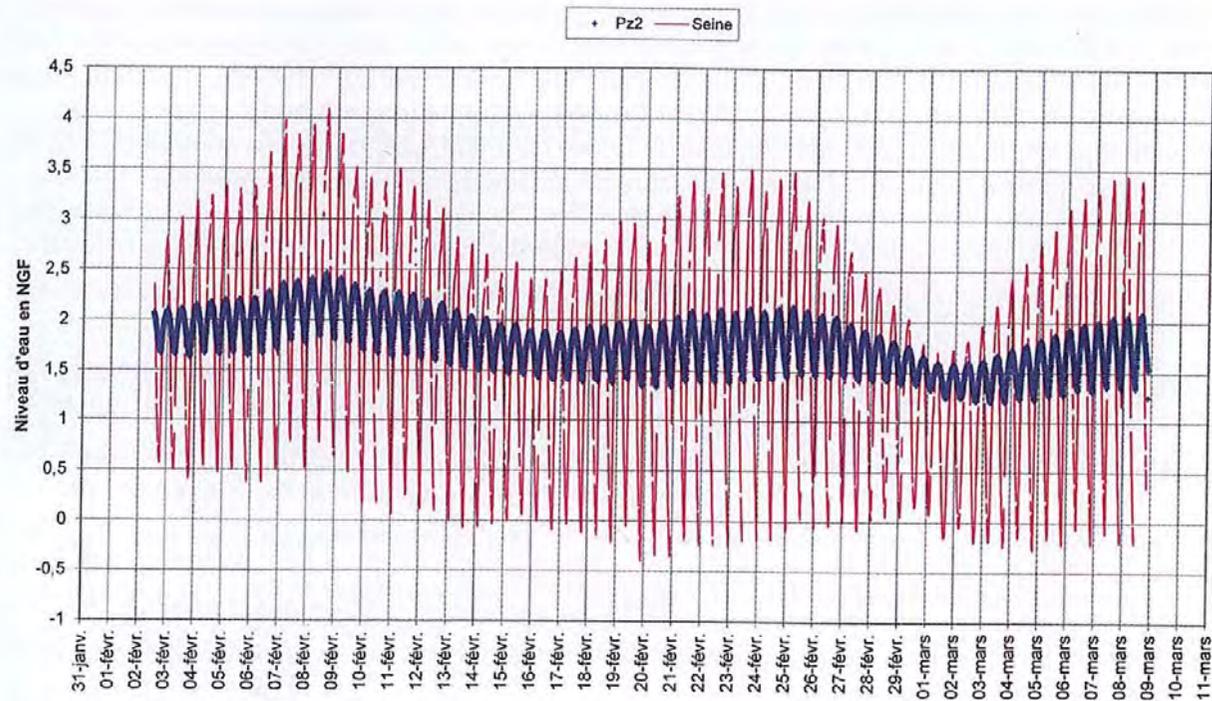


Figure 199 : Enregistrement d'ondes de crue alluviales à Mesnil-sous-Jumièges (76 - France - L. Pyot)

# Chapitre 8

## Maîtrise des eaux souterraines en phase d'exploitation de l'infrastructure



Photographie 78 :  
Dépôt d'hydroxydes ferriques  
dans le lit du ruisseau d'évacuation,  
en aval de la source émergeant  
d'un massif de phtanite (commune  
de Riaillé - Loire-Atlantique -  
France)  
(Photographie G. Monnier)

L'oxydation du fer ( $Fe^{2+} \Rightarrow Fe^{3+}$ ) puis sa précipitation ( $Fe^{3+} \Rightarrow Fe(OH)_3$ ) après son contact avec l'atmosphère sont des phénomènes très rapides. Dans un certain nombre de cas, les bactéries ont une action catalytique sur cette réaction (P. Mouchet, 1989). C'est d'ailleurs vraisemblablement le cas dans l'exemple précédent si l'on suit cet auteur qui mentionne un pH minimum de 7,2 pour qu'une oxydation uniquement physico-chimique puisse se produire correctement.

Ceci amène à un moyen simple de déferrisation, comme en témoigne la photographie suivante d'un aérateur d'eau de forage (proche de Tozeur en Tunisie).



Photographie 79 :  
Aérateur d'eau de forage (proche  
Tozeur, Tunisie)

# Chapitre 8

## Maîtrise des eaux souterraines en phase d'exploitation de l'infrastructure

### 8.6. Reprise de radiers fuyards

#### 8.6.1. En préambule, un exemple célèbre : le « lac » de l'Opéra Garnier à Paris

La construction de l'Opéra Garnier à Paris s'est déroulée sur quinze années, de 1861 à 1875. En 1881, dans un ouvrage intitulé « Le nouvel opéra de Paris », l'architecte Charles Garnier décrit les travaux de fondations qui furent réalisés. Ces travaux, mais également les vicissitudes rencontrées, sont restitués ci-après.

Comme le montre l'écorché suivant (exposé au musée d'Orsay à Paris ; photographie 80), il existe cinq niveaux de sous-sols à l'aplomb de la scène (de couleur rouge bordeaux sur la maquette). Le niveau - 5, par rapport à la scène, correspond au niveau - 2 par rapport à la rue. Un sixième sous-sol a également été réalisé, dans la continuité verticale des précédents, à l'aplomb de la scène également, sur une surface de 2 500 m<sup>2</sup>. Ce sous-sol apparaît de couleur grisée sur la maquette. Il est régulièrement interrompu par des « piles intérieures de support », selon l'expression de l'architecte Garnier. Le sommet de ce sixième sous-sol, qui prendra ultérieurement pour nom « la cuve », se trouve à la cote 28,73 NVP<sup>114</sup>, la rue étant à la cote 33,7 NVP environ.



Photographie 80 :  
Maquette de l'Opéra Garnier en  
exposition au musée d'Orsay  
(Photographie D. Bonneau – Opéra  
Garnier)

# Chapitre 8

## Maîtrise des eaux souterraines en phase d'exploitation de l'infrastructure



Photographie 83 :  
Pieu en bois de 1,8 m de long et de section 0,24 × 0,24 m, extrait en 2006 lors de la construction d'un puits d'accès de tunnelier (quai de Seine en face du Palais de Tokyo, Paris) ; tête du pieu à 4,5 m de profondeur par rapport au quai, maillage des pieux : environ 2 m par 2 m  
(Photographie G. Monnier)

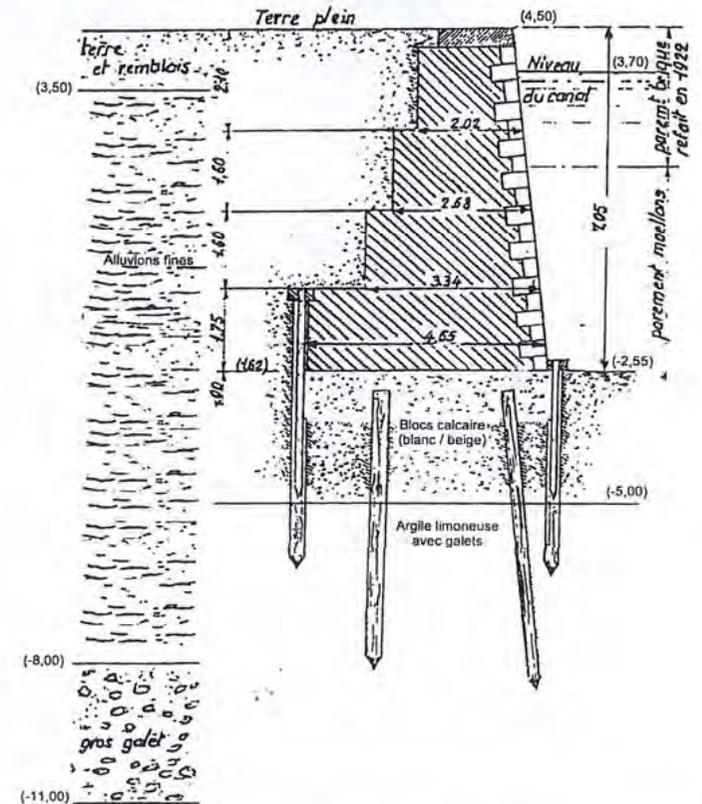
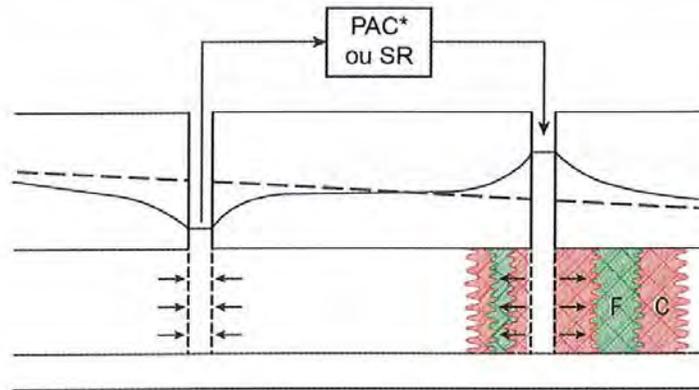


Figure 221 : Coupe schématique du mur de quai de Normandie à Caen (14 ; origine du document inconnue)

# Chapitre 9

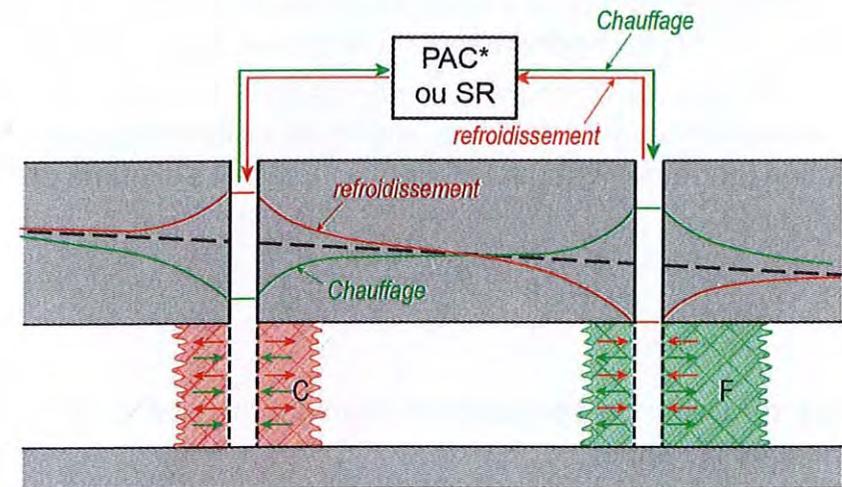
## Exploitation thermique du milieu souterrain



\* PAC : pompe à chaleur ou système frigorifique

C : eau rejetée chaude ( $T > T_0$ )

F : eau rejetée froide ( $T < T_0$ )



(en supposant un gradient de nappe faible)

# Chapitre 9

## Exploitation thermique du milieu souterrain

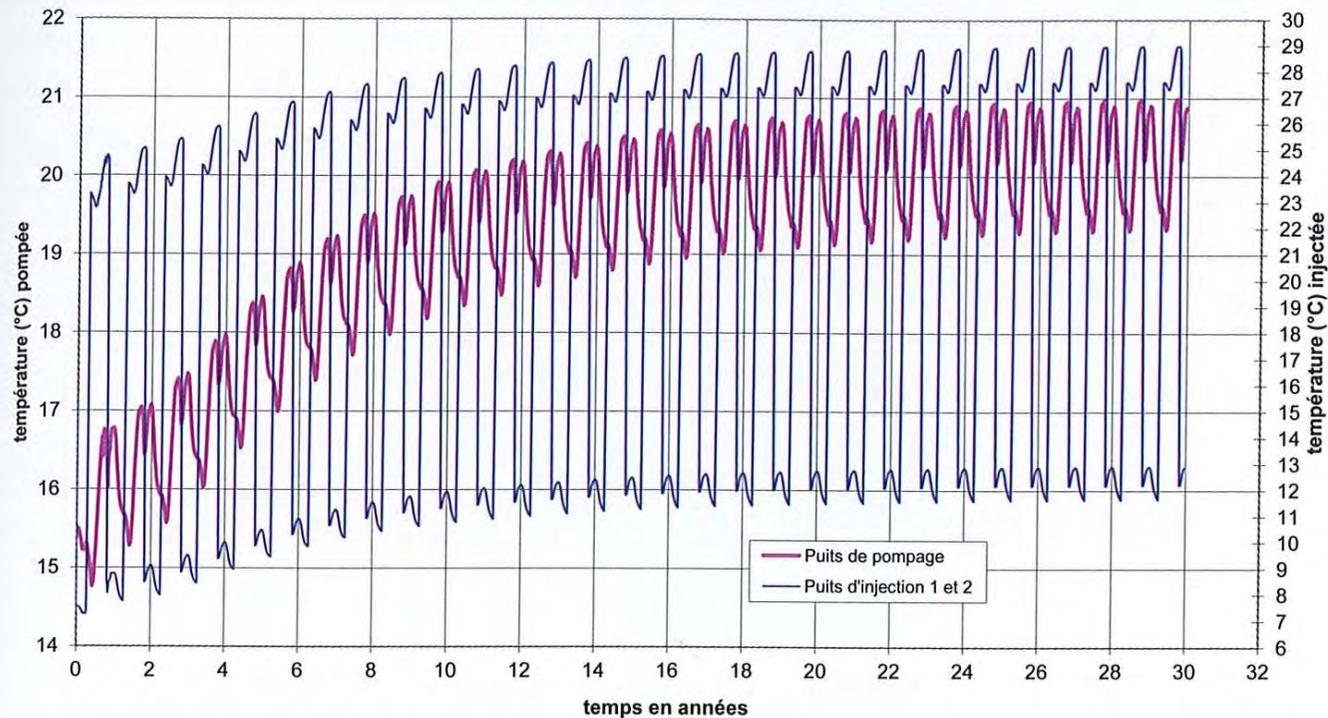


Figure 244 : Évolution de la température dans le puits de pompage et les deux puits d'injection pour un projet de tour à la Défense – Paris (L. Pyot, BURGEAP)

# Chapitre 9

## Exploitation thermique du milieu souterrain

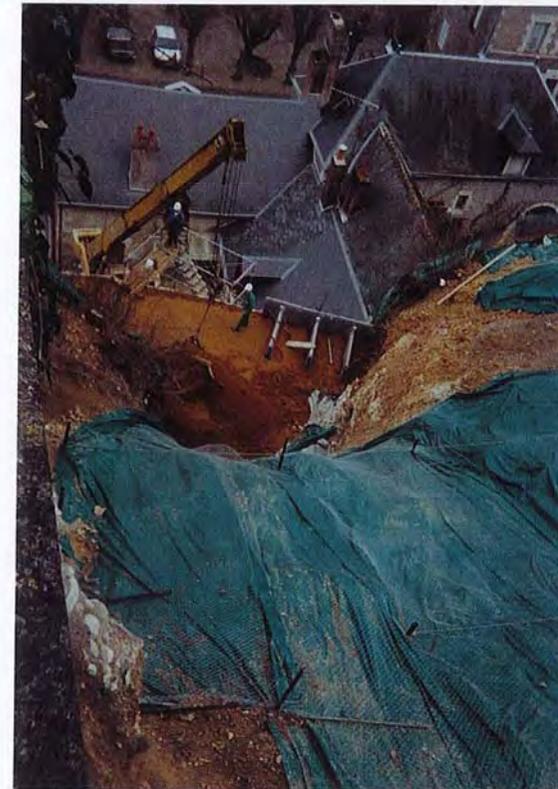
grès	-	-	2,50 – 1,00 1,54 – 2,67	H. Schoeller – 1949
grès	-	-	mini : 1,3 ; maxi : 5,1 ; val. typique : 2,3	D. Pahud, 2002
grès	-	-	2,3 – 6,5	Chiasson <i>et al.</i> 2000
grès rouge sec	0,41	-	-	H. Schoeller – 1949
grès rouge humide	-	2,50	-	H. Schoeller – 1949
grès (molasse)	1,8 à 3,5	2,3 à 4,0	-	SIA D025 et D0137
grès molassique	-	-	1,25 – 3,34	H. Schoeller – 1949
grès (carbonifères)	-	-	2,5 à 3,2	S. P. Clark, Jr. 1966 (in JP Sauty, 1981)
quartzite	-	-	6,03	Joussec J. et Conkic M. 1971
quartzite	-	-	5,4	S. P. Clark, Jr. 1966 (in JP Sauty, 1981)
quartzite	-	-	2,93 à 7,94	C. H. Armstead, 1973
quartzite	-	-	mini : 3,6 ; maxi : 6,6 ; val. typique : 6	D. Pahud, 2002
quartzite (Calvados – France)	4,41 à 4,64 (à 20 °C)	-	-	A. Missenard 1965
métaquartzite	-	-	Env. 5,8	D. Pahud, 2002
calcaire	-	-	1,5 – 3,3	Chiasson <i>et al.</i> (2000)
calcaire	-	-	2,09 à 3,34	De Marsily – 1981
calcaire	-	-	1,69 à 2,67 (valeur moyenne = 2,21 ; 11 échantillons ; T d'essai = 50 °C)  2,79 (valeur moyenne ; T d'essai = 25 °C)	O. Kappelmeyer et R. Haenel – 1974
calcaire compact	-	-	2,33 à 3,5 (valeur moyenne = 2,82 ; 6 échantillons ; T d'essai = 50 °C)	O. Kappelmeyer et R. Haenel – 1974
calcaire	-	-	2,1 à 2,9	S. P. Clark, Jr. 1966 (in JP Sauty, 1981)
calcaire	-	-	1,67 à 2,93	C. H. Armstead, 1973
calcaire	2,8 à 3,3	2,8 à 3,3	-	SIA D025 et D0137 <sup>171</sup>
calcaire	-	-	2 valeurs : 2,01 et 2,17	H. Schoeller – 1949
calcaire	-	-	mini : 2,5 ; maxi : 4,0 ; val. typique : 2,8	D. Pahud, 2002
calcaire coquillier	-	-	3,32 – 2,62	H. Schoeller – 1949
calcaire karstique	-	-	2,5 – 4,3	Chiasson <i>et al.</i> 2000
marbre	-	-	0,5 – 2,2	H. Schoeller – 1949

# Chapitre 10

## L'eau et les risques du milieu souterrain



Photographie 91 :  
Glissement des argiles résiduelles  
sur craie (Coniacien à Campanien  
supérieur) – château de Chaumont-  
sur-Loire (41)  
(photographie G. Monnier)



Photographie 92 :  
Glissement des argiles résiduelles  
sur craie – château de Chaumont-  
sur-Loire (41) – Mise en œuvre  
d'un mur de soutènement drainé  
(photographie G. Monnier)

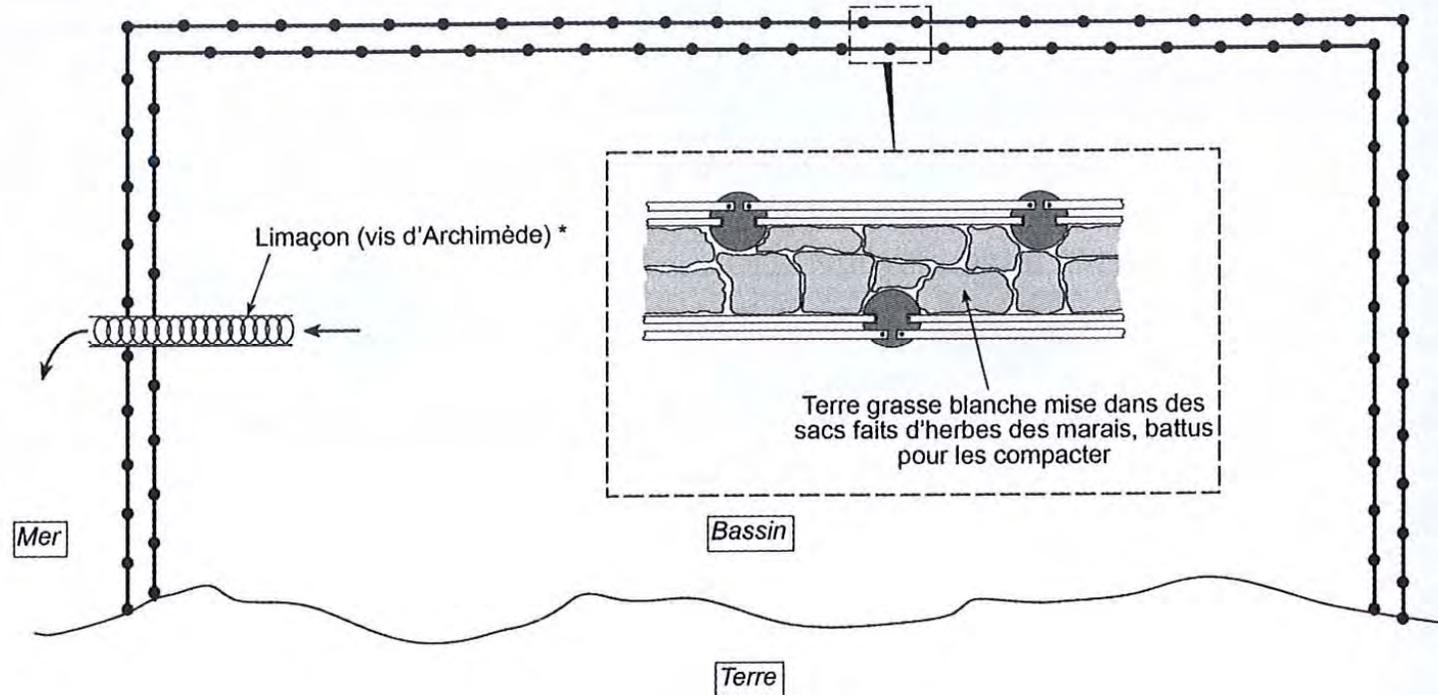
# Chapitre 10

## L'eau et les risques du milieu souterrain



Photographie 100 :  
Fouille inondée  
(Photographie G. Monnier)

# Éléments d'histoire de l'hydrogéologie



# Eléments d'histoire de l'hydrogéologie

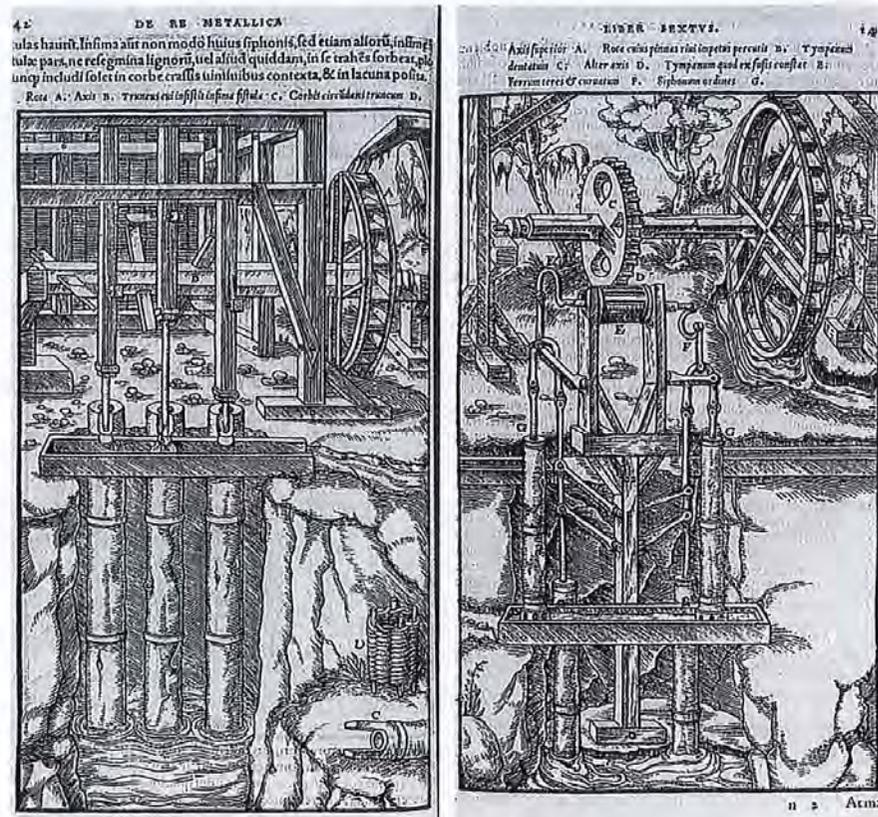


Figure 291 : Exhaure de mines (Agricola – De Re Metallica – Gallica (BNF))

MERCI DE VOTRE ATTENTION