

Chapitre 7

Conceptualisation du système

Ce chapitre expose la conception du système physique qui a servi à la construction du modèle.

Le substratum : l'aquiclude de la Craie profonde

Le système hydrogéologique à considérer repose sur la Craie du bassin de Paris, qui a une extension géographique très supérieure à celle du Projet Bassée. La perméabilité de la Craie compacte, que l'on trouve à partir de 100 m de profondeur environ, est extrêmement faible. Le tableau 7.1 (Mégny, 1976) donne les propriétés d'échantillons de craie prélevés dans le forage de la Grande Paroisse, près de Montereau. Entre 90 et 550 m de profondeur, les conductivités hydrauliques décroissent de 10^{-8} m s^{-1} à moins de 10^{-10} m s^{-1} .

TAB. 7.1: Propriétés de la craie profonde dans le forage de la Grande Paroisse

Profondeur (m)	Niveau	Porosité				p (bars)	K (m s^{-1})
		Macro (%)	Micro (%)	n (%)	ϕ (μm)		
9.5	Campanien sup.	0.30	38.8	39.1	0.94		
49.15		1.50	34.4	35.9	0.92		
90		0.50	39.1	39.6	0.79	20	1×10^{-8}
121		0.80	37.8	38.6	0.86		
157.5	Campanien inf.	0.70	38.6	39.3	1.05		
190	Santonien	0.50	39.4	39.9	1.08		
232.1	Coniacien	0.90	36.1	37.0	1.05	20	8.5×10^{-9}
251.85		0.90	37.6	38.5	1.94		
290.6		0.90	21.0	22.0	0.45		
330.7		1.20	35.8	37.0	1.16		
364.85	Turonien sup.	0.70	22.1	22.8	0.58		
390		0.90	21.0	29.8	1.08	70	0.84×10^{-9}
						100	0.88×10^{-9}
						120	0.90×10^{-9}
430.3	Turonien moyen	0.50	30.2	30.7	0.55		
465.3	Turonien inf.	0.60	18.0	18.6	0.41		
503.1	Cénomaniens	0.90	17.2	18.1	0.28		
541.45		0.70	15.7	16.4	0.05	150	$< 10^{-10}$

La craie compacte isole donc le système aquifère de la Bassée des aquifères plus profonds (nappe de l'Albien, du Néocomien, etc). Cet isolement est d'autant plus efficace qu'il dépend du carré de

l'épaisseur, qui est considérable : environ 500 m.

Il ne semble pas exister de faille susceptible de mettre en communication les aquifères profonds avec la nappe phréatique de la Bassée. Même si une telle communication existait, il est très peu probable qu'elle puisse avoir une influence sensible sur le fonctionnement du système de *surstockage*.

L'aquifère de la Craie inférieure

Dans le bassin de Paris–Londres, la partie supérieure de la Craie est le siège d'un aquifère majeur, dont les ressources en eau sont largement exploitées. On a une assez bonne connaissance générale du fonctionnement de ce système aquifère. La perméabilité de la Craie décroît rapidement, et irrégulièrement, depuis la surface vers la profondeur. La partie superficielle de la Craie, ayant été soumise à l'action du gel pendant les cycles glaciaires du Quaternaire, puis à une altération météorique, est un milieu poreux plus ou moins fissuré, découpé en blocs par un réseau de fractures. La porosité primaire de la craie correspond aux interstices microscopiques entre les prismes, plaquettes et granules de calcite dont elle est composée. L'emmagasinement de l'eau se fait principalement dans la porosité matricielle. L'écoulement s'effectue principalement dans les fractures. La densité de fracturation diminue avec la profondeur. En général, elle devient négligeable à quelques dizaines de mètres de profondeur. Il est cependant arrivé que des forages recoupent des fissures isolées, plus ou moins productrices d'eau.

L'aquifère de la Craie dans la zone d'étude est connu grâce à une « carte de la surface piézométrique régionale de l'aquifère de la Craie »^{1 2}. Elle montre que la plaine alluviale de la Bassée collecte des écoulements souterrains dont le siège est l'aquifère de la Craie. Les modalités de ce drainage ne sont cependant pas connues en détails ; elles doivent actuellement être un peu différentes de ce qu'elles étaient en 1966.

Les Alluvions anciennes de la Bassée reçoivent donc une alimentation ascendante depuis la Craie sur laquelle elles reposent.

Nous appelons « Craie inférieure » cette partie aquifère de la Craie dans la zone d'étude. Nous supposons que les modalités de son fonctionnement hydrogéologique sont comparables à celles de l'aquifère de la Craie dans le bassin de Paris–Londres. Nous n'en connaissons que les grandes lignes.

L'aquitard de la Craie supérieure

Dans la Bassée, tous les sondages qui ont traversé les Alluvions anciennes et pénétré un tant soit peu dans la Craie ont trouvé une Craie désagrégée, de consistance pâteuse. L'altération dont témoigne ce faciès s'explique par l'action du froid, pendant les périodes glaciaires, sur une roche connue pour être particulièrement gélive. L'éventualité d'une altération *antérieure* au dépôt des Alluvions anciennes ne doit pas nécessairement être comprise comme une explication alternative. L'annexe H présente une discussion des faciès de la Craie immédiatement sous les Alluvions anciennes de la Bassée.

Nous appelons « Craie supérieure » cet horizon superficiel de Craie désagrégée. Les quelques mesures de perméabilité de ce niveau ont donné des valeurs faibles, comparables à celles de la perméabilité matricielle de la Craie. Dans le modèle, les caractéristiques de perméabilité de la Craie supérieure sont celles d'un aquitard ; cependant l'existence de flux horizontaux reste possible.

¹Panetier J.-M. (1966). Carte de la surface piézométrique de la nappe de la Craie dans le Sénonais et le Gâtinais. BRGM DS 66 A 113 [EMF 425(124)].

²BRGM (1967). Possibilités aquifères des alluvions du Val-de-Seine entre Nogent-sur-Seine et Montereau. Planche 4-I-1 : PIÉZOMÉTRIE RÉGIONALE.

L'aquifère des Alluvions anciennes

Les cartes de la surface de contact entre la Craie et les Alluvions anciennes^{3 4} montrent que les Alluvions de la Bassée remplissent une large dépression « en auge » du toit de la Craie. Ceci indique que le dépôt des Alluvions anciennes a été précédé par l'érosion, pendant la dernière déglaciation, d'un substratum de craie peu ou pas altérée, mécaniquement consistante.

Les Alluvions anciennes sont constituées de graviers et de sables. Elles forment une couche continue, d'épaisseur variable, comprise entre 5 et 10 m. Ces Alluvions perméables sont à la fois le siège d'un aquifère et une réserve importante de granulats. L'exploitation des granulats de la Bassée, depuis une quarantaine d'années, est à l'origine des nombreux lacs de gravière qui sont devenus une des caractéristiques principales du paysage de la Bassée aval. De par leur perméabilité élevée, les Alluvions anciennes propageront les débits de fuite des casiers dans le système aquifère. Dans le modèle, les Alluvions anciennes sont considérées comme un aquifère.

Les interfaces

Le système hydrogéologique de la Bassée comporte des horizons peu épais qui, bien que n'étant pas des unités hydrogéologiques, peuvent avoir une influence importante sur les débits de fuite des casiers. Ces horizons sont les Alluvions modernes et les interfaces eau de surface-aquifère. Ils ne sont représentés dans le modèle que par certaines de leurs propriétés physiques : la perméabilité et l'épaisseur.

Les Alluvions modernes

Les Alluvions modernes sont hétérogènes dans leur composition, discontinues dans l'espace et peu épaisses : de 0 m à 2 m environ. En surface, on trouve généralement une couche de terre végétale, puis des mélanges de limon, de sable et d'argile. La perméabilité verticale des Alluvions modernes à proximité des digues de ceinture des casiers devrait avoir une influence importante sur les débits de fuite et sur les débits exfiltrés.

Les surfaces de contact lac de gravière-Alluvions anciennes.

Ces interfaces ont une superficie considérable dans la Bassée. Leur perméabilité maximum est celle des Alluvions anciennes. Comme l'a montré O. Schanen (1998) (voir annexe G), les réaménagements de gravière qui consistent à modeler un talus en pente douce, en utilisant les Alluvions modernes de la découverte, induisent un colmatage considérable de ces interfaces. Il est probable que l'injection d'eau de Seine dans les casiers induirait une nouvelle forme de colmatage, physique ou biogéochimique.

Les surfaces de contact rivière-Alluvions anciennes

Le canal à grand gabarit. Ce canal entaille les Alluvions anciennes, jusqu'à une profondeur proche de l'épaisseur totale. Il est peu probable que l'interface canal-Alluvions soit colmaté.

Les anciens méandres de la Seine naturelle. Ces vestiges du lit mineur de la Seine naturelle ne sont plus fonctionnels. On peut supposer qu'ils n'entaillent que partiellement les Alluvions anciennes et qu'ils sont en voie de colmatage, puisqu'ils piègent des sédiments transportés par le canal en période de crue.

³Mégny C. (1976). Hydrogéologie du centre du bassin de Paris. Contribution à l'étude de quelques aquifères principaux. Mémoire du BRGM, no. 98. Figure 2.13 : Carte du substratum crayeux de la plaine alluviale.

⁴BRGM (1967). Possibilités aquifères des alluvions du Val-de-Seine entre Nogent-sur-Seine et Montereau. Planche 3-V-2 : SUBSTRATUM DES ALLUVIONS (Toit de la Craie).

L'Auxence et la Voulzie. Ces rivières semblent n'entailler que superficiellement les Alluvions anciennes. L'écoulement continu de l'eau et l'effet nettoyant de crues doit empêcher un colmatage important.

Schéma conceptuel

Le schéma de la figure 7.1 résume notre conception, en l'état actuel des informations hydrogéologiques disponibles, de la distribution verticale de la conductivité hydraulique dans la zone du Projet Bassée.

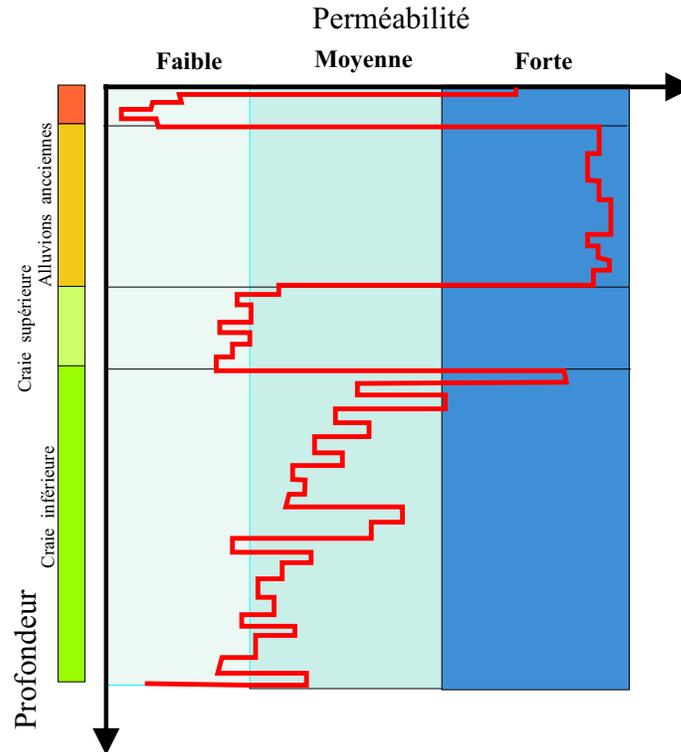


FIG. 7.1: Schéma conceptuel de la distribution verticale de la conductivité hydraulique dans la Bassée aval. Le système est constitué de trois unités hydrogéologiques superposées : les Alluvions anciennes, la Craie supérieure et la Craie inférieure. À l'intérieur de chacune de ces unités, la conductivité hydraulique varie horizontalement et verticalement.

Le tableau 7.2 résume le schéma conceptuel du système aquifère de la Bassée et de ses environs immédiats.

TAB. 7.2: Conceptualisation du système aquifère de la Bassée.

Versant sud	Bassée	Versant nord	Plateau d'Ile-de France
Limons	Alluvions modernes Alluvions anciennes	Limons	SÉRIE TERTIAIRE
Craie inférieure	<i>Craie supérieure</i> Craie inférieure	Craie inférieure	CRAIE ALTÉRÉE
CRAIE COMPACTE	CRAIE COMPACTE	CRAIE COMPACTE	SOUS COUVERTURE CRAIE COMPACTE

Les aquifères sont les **Alluvions anciennes** et la **Craie inférieure**. La *Craie supérieure* est un aquitard. La SÉRIE TERTIAIRE du plateau d’Île-de-France, la CRAIE ALTÉRÉE SOUS COUVERTURE du plateau d’Île-de-France et la CRAIE COMPACTE sont exclues du modèle en raison soit de leur *quasi* imperméabilité, soit de leur éloignement de la zone du Projet Bassée, soit des deux. Les limons des versants sud et nord et les Alluvions modernes de la Bassée sont des interfaces qui peuvent avoir un rôle non négligeable dans le fonctionnement du système.

Relations eaux de surface–eaux souterraines

Le contexte hydrologique de la Bassée aval est spécial, du fait de la présence de plus d’une centaine de *lacs de gravière*. Ces lacs résultent de l’exploitation minière des granulats. Lorsqu’une exploitation a atteint les limites de sa concession, elle laisse en place une excavation remplie d’eau, en équilibre dynamique avec l’aquifère des Alluvions et avec celui de la Craie. L’extraction des Alluvions et les réaménagements modifient constamment la configuration des lacs de gravière. Cette évolution du paysage a des conséquences importantes et irréversibles sur les écoulements souterrains.

La figure 7.2 montre quelques stades de l’évolution de la place de l’eau libre (cours d’eau principaux, lacs de gravière, canaux, ...) dans la Basée aval, entre Montereau (en haut de la figure) et Bray-sur-Seine (en bas).

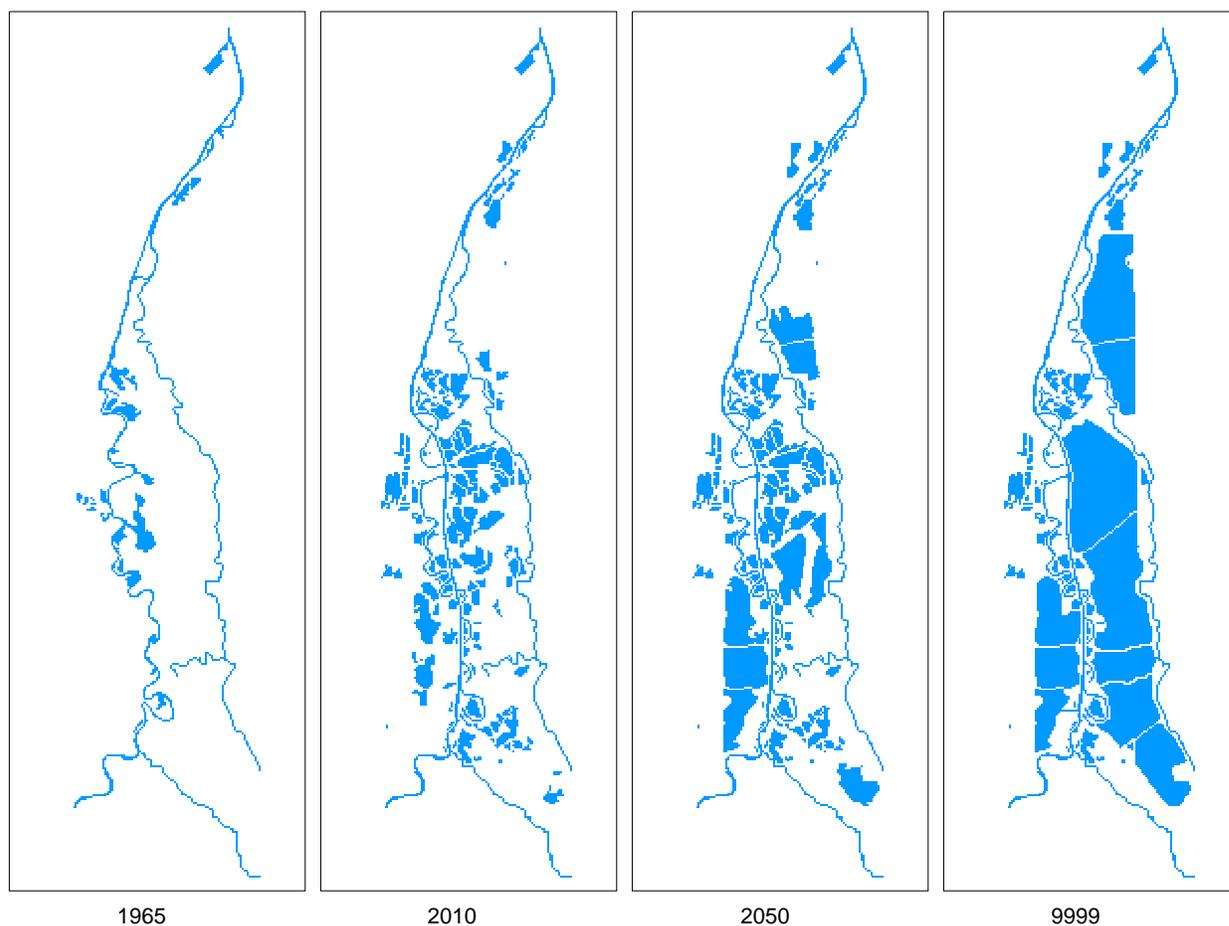


FIG. 7.2: Évolution de la place de l’eau libre (cours d’eau, lacs de gravière, canaux) dans la zone du Projet Bassée.

Il existe aussi un réseau de noues et de fossés, plus ou moins fonctionnels, qui ne fonctionnent pas en permanence. Des lacs de gravière, des noues et des fossés se trouveraient à l'intérieur des casiers.

La Seine, l'Auxence et la Voulzie sont, avec l'atmosphère (évapo-transpiration) et les forages productifs, les exutoires des écoulements souterrains.

Le Projet Bassée dans le contexte hydrogéologique local

La figure 7.3 schématise les relations géométriques entre les différentes formations géologiques de la zone du Projet Bassée, la Craie profonde, compacte, étant considérée comme le substratum du système (non représenté sur la figure).

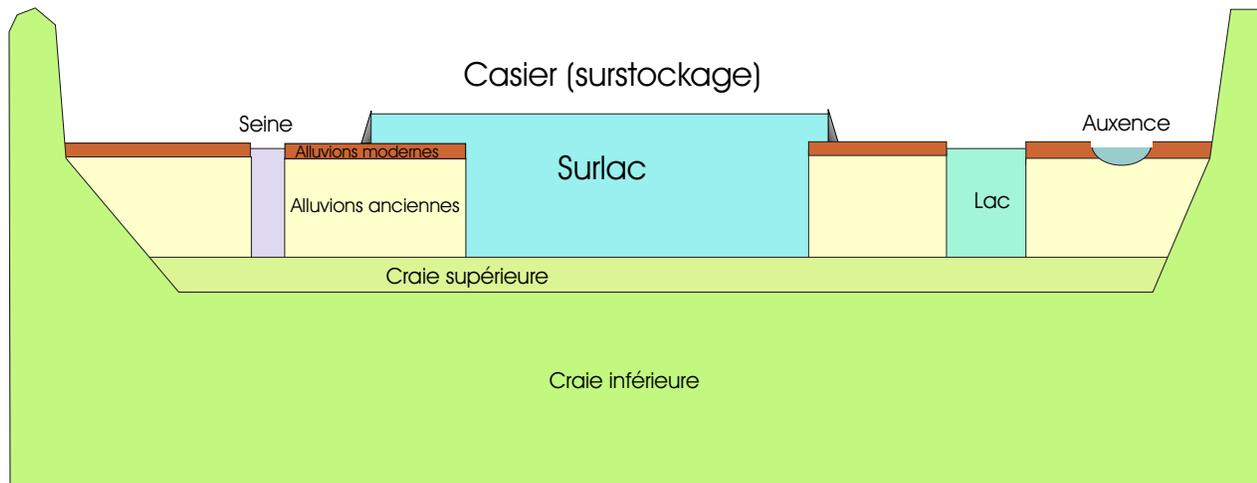


FIG. 7.3: Coupe verticale montrant les relations géométriques entre un casier et les différentes composantes du système aquifère. La structure du modèle hydrogéologique est une transcription directe de cette conceptualisation. Pour avoir une image « réaliste », il faudrait étirer plusieurs milliers de fois la figure dans le sens de la largeur.

Lorsqu'une crue simultanée de la Seine et de l'Yonne viendrait à se produire, et lorsque le débit de la Seine à Bray-sur-Seine approcherait de son maximum, le pompage d'eau dans la Seine débuterait, avec un débit d'environ $200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. L'eau pompée dans la Seine serait injectée dans les différents casiers où elle devrait rester jusqu'à ce que la pointe de crue de l'Yonne soit parvenue à l'aval de Montereau.

La figure 7.4 schématise les flux d'eau échangés entre un *surlac* et le système aquifère.

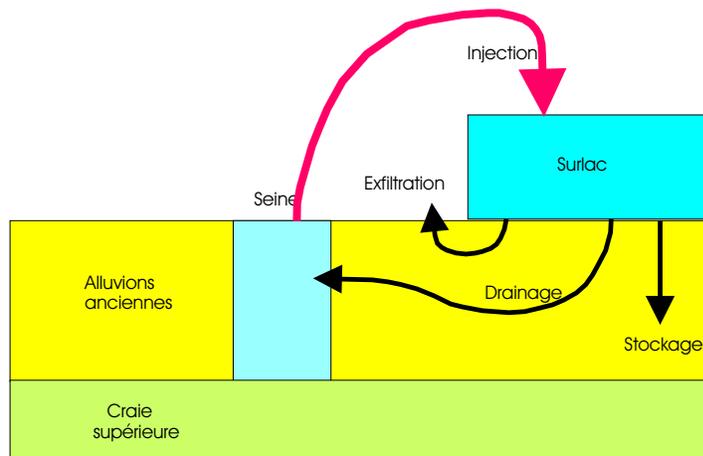


FIG. 7.4: Schéma des flux d'eau échangés entre un *surlac* et le système aquifère.

Les fuites des *surlacs* ont deux causes :

- la perméabilité des Alluvions, modernes et anciennes ;
- la *surcharge* hydraulique de l'eau des casiers par rapport à l'eau du système aquifère sous-jacent.

Rappelons que les fuites « géotechniques » qui pourraient se produire à travers les digues de ceinture des casiers ne sont pas estimées par le modèle hydrogéologique, qui les suppose nulles. Les fuites « hydrogéologiques » peuvent se produire de trois manières différentes :

- par un écoulement vertical, traversant la couche des Alluvions modernes ;
- par un écoulement horizontal, traversant les interfaces Alluvions anciennes–lac de gravière situé à l'intérieur des casiers ;
- par un écoulement vertical, traversant les interfaces lac de gravière–Craie supérieure.

Ces *entrées*, dans le système aquifère, d'eau initialement stockée dans les casiers sont compensées par trois *sorties* :

- une variation du volume d'eau emmagasiné dans le système aquifère ;
- des sorties d'eau souterraine dans un des cours d'eau hydrauliquement connecté à l'aquifère, ou dans un lac de gravière ;
- des *exfiltrations*, c'est-à-dire des résurgences diffuses d'eau souterraine ascendante à travers les Alluvions modernes, à la périphérie externe des digues de ceinture des casiers.

Les débits exfiltrés peuvent être facilement récupérés par un drain.

Les contraintes géotechniques imposent, dans certains secteurs, la mise en place d'écrans verticaux, imperméables, entre la surface du sol et le toit de la Craie. Les secteurs concernés sont ceux où le terrain d'assise d'une digue, entre un lac de gravière et la Seine, est particulièrement étroit. La mise en place d'écrans imperméables ne peut qu'avoir une influence sur les débits de fuite et sur les écoulements souterrains naturels.

Impacts hydrogéologiques du *surstockage* d'eau dans les casiers

Les *surcharges* hydrauliques générées par le remplissage des casiers se propageront dans le système aquifère, vers l'extérieur des casiers. Cette propagation est un processus diffusif dont les effets dépendront de la distance aux digues de ceinture et du temps. La vidange des casiers provoquera l'effet inverse de celui du remplissage. Les *surcharges* hydrauliques générées par le remplissage seront toujours maximum à l'aplomb du centre géométrique des casiers. Les surfaces affectées seront proportionnelles au temps ; les distances proportionnelles à la racine carrée du temps.

Il y a donc un risque potentiel de remontée du niveau de la nappe phréatique à l'aplomb des villages et des habitations situés en bordure de la plaine alluviale. La figure 7.5 illustre la nature de ce risque potentiel d'« inondation de caves ».

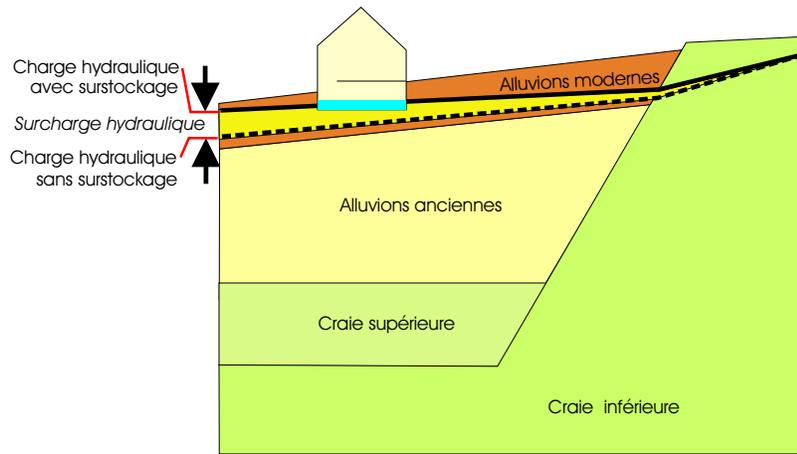


FIG. 7.5: Illustration du risque d’inondation de cave, dû à la propagation d’une *surcharge* hydraulique dans l’aquifère, depuis les casiers.

Un risque d’inondation de caves existe déjà du seul fait que le niveau de la nappe phréatique est influencé par les précipitations. Les *surcharges* hydrauliques dues au *surstockage* d’eau dans les casiers s’ajouteront aux niveaux naturels. Elles pourront aggraver le risque, mais ne seront pas la seule cause du risque.

Des moyens simples peuvent empêcher la propagation des *surcharges* hydrauliques au delà d’une « ligne rouge » positionnée entre les casiers et les habitations sensibles. Des drains entaillant l’aquifère des Alluvions anciennes devraient permettre cela. Des drains naturels existent déjà ; ce sont la Seine, l’Auxence et la Voulzie. Leur configuration actuelle n’assurerait cependant pas une protection à *toutes* les zones habitées sensibles. Il faudra donc créer des drains artificiels le long de certains tronçons de digues de ceinture des casiers.

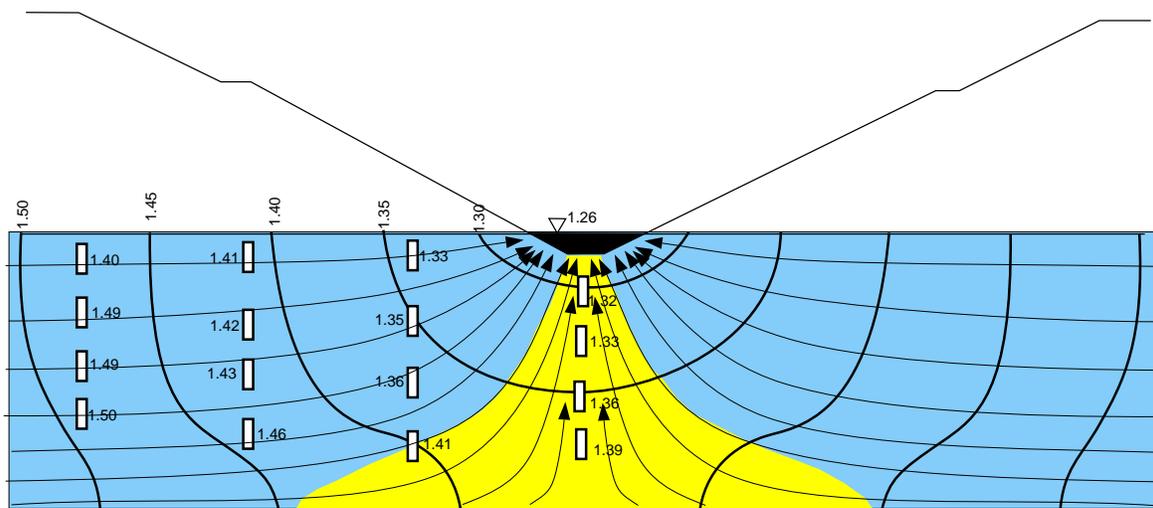


FIG. 7.6: Réseau d’écoulement à proximité d’un canal de drainage (Pennink, 1905).

La figure 7.6 montre les lignes de courant d’un écoulement souterrain qui a été observé au voisinage d’un canal artificiel de drainage. Ce canal n’entaillait que superficiellement l’aquifère, épais de plusieurs mètres. Le fond du canal est à plus de 7 mètres au-dessus du *substratum*. *Toutes* les lignes de courant convergent vers le canal. La totalité de l’écoulement souterrain est donc drainée par

celui-ci. Il existe, sous le canal, une surface de courant verticale, qui n'est traversée par aucun débit. Si un tel drain était construit à l'extérieur des casiers, il empêcherait complètement la propagation latérale des *sur*-charges hydrauliques. Ces drains seraient, en fait, la « ligne rouge ». Ils contribueraient aussi à réduire le risque naturel d'inondation de caves. Pour que le système de protection fonctionne efficacement, il faudrait que les niveaux d'eau dans l'Auxence et la Voulzie soient maîtrisés en période de fonctionnement des casiers.

Les risques d'inondation de caves résultant des fluctuations naturelles du niveau de la nappe phréatique peuvent aussi être combattus en rabattant le niveau de la nappe par des pompages locaux. La figure 7.7 illustre l'effet de pompages dans un groupe de forages sur le niveau de la nappe phréatique. Ce procédé est pratiqué en génie civil pour assécher des fouilles. L'exploitation des granulats de la Bassée s'est aussi faite, pendant un certain temps, par ce procédé.

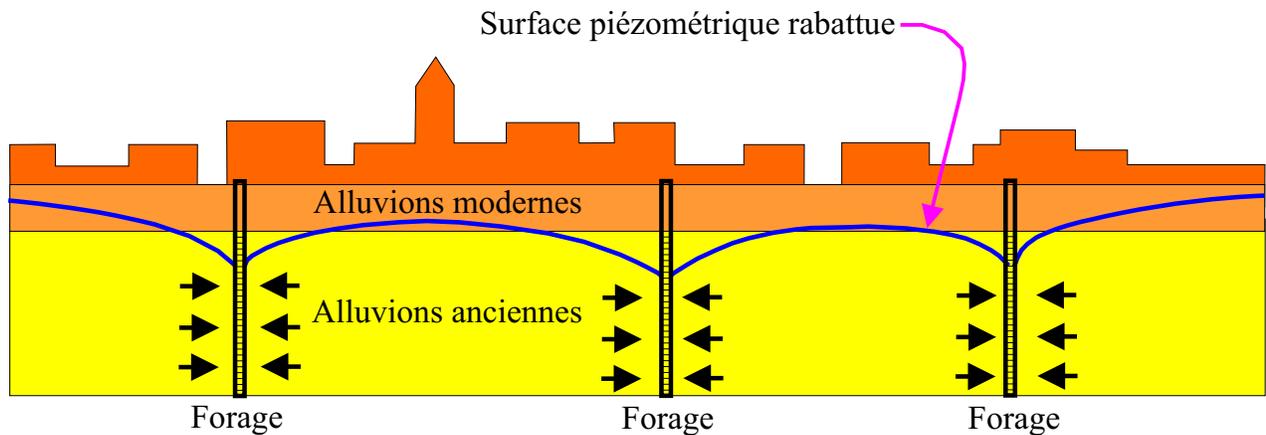


FIG. 7.7: Principe des pompages de rabattement de la nappe phréatique.