

LE DEVELOPPEMENT DU KARST DANS LA CRAIE DE NORMANDIE ET SES CONSEQUENCES SUR LA PROTECTION DES EAUX SOUTERRAINES (NORMANDIE, FRANCE)

par

Joël RODET ¹

(5 figures)

RESUME. - Le rôle du karst dans l'aquifère crayeux est un apport récent à l'hydrogéologie karstique, en France. La structure de l'aquifère est mixte : la nappe assure la quantité alors que le karst détermine la qualité des ressources. L'ensemble de la Normandie crayeuse ayant été soumise à l'influence littorale durant le Quaternaire, le paléokarst sert de marqueur des principales phases, aux incidences majeures sur le drainage. Les études actuelles s'orientent vers une cartographie typologique qui devrait permettre de dégager une politique de protection des bassins d'alimentation.

Mots-clefs : craie, nappe, karst, Normandie, étagement, diffluence, typologie, protection.

ABSTRACT. - Karst development in the chalk of Normandy (France) and consequences on underground water protection.

The karst influence in chalky underground waters is a recent contribution to the karstic hydrogeology, in France. The underground water structure is mixed : the watersheet ensures the volume while karst gives resources quality. The whole chalky part of Normandy being under the coastal influence during Quaternary, the paleokarst is the witness of main phases, with bigger consequences on water-draining. Present studies have incidences on typological mapping which could introduce a protection policy to water-supply areas.

Key-words : chalk, watersheet, karst, Normandy, karstic bases, delta pattern, typology, protection.

La karstification des craies est une notion moderne, point de rencontre de deux écoles longtemps opposées : les tenants de l'écoulement par porosité (Gründ) et les tenants du drainage canalisé (Martel, 1921). Aujourd'hui, les études qui illustrent cette convergence se multiplient dans l'ensemble du Bassin de Paris, et plus particulièrement en Normandie, où leur initiative est souvent due à la réunion d'une équipe universitaire pluridisciplinaire, couvrant des domaines très variés (Calba *et al.*, 1979).

Après avoir défini la structure de l'aquifère crayeux, nous aborderons sa dynamique fortement influencée par les héritages quaternaires, qui permet de dégager des types hydrologiques, auxquels une politique de protection doit être adaptée.

I. - QUALITE ET HETEROGENEITE DE L'AQUIFERE CRAYEUX

Les qualités de l'aquifère crayeux sont définies par la porosité de l'encaissant, la présence d'une nappe parcourue par des drainages variés.

I.1. - LA CRAIE, ROCHE POREUSE

La craie, roche poreuse carbonatée, contient une nappe plus ou moins bien développée, qui assure l'essentiel des ressources en eau. La porosité totale de la craie est, en moyenne, de 30 % (Castany, 1967). Elle engendre un emmagasinage d'eau, la nappe de la craie, dont une faible fraction est mobilisable. Dans le Bassin de la Rançon (Seine Maritime), Calba (1980) démontre que sur les 18 mètres de hauteur de nappe de porosité, seule une fraction de 0,30 mètre est occupée par l'eau libre, les 17,7 mètres restant étant de l'eau de rétention. Cette porosité efficace est donc faible et correspond sensiblement à la valeur moyenne des coefficients d'emmagasinage établis à partir des pompages d'essai, - 1 à 10 % en vallée - 0,1 % sous les plateaux (Roux, 1978b).

¹ Commission Scientifique de la Fédération Française de Spéléologie, 14, rue de Lausanne, 76000 Rouen, France. Laboratoire de Géographie Physique, L.A. 141 du C.N.R.S., 191, rue Saint-Jacques, 75005 Paris, France.

1.2. - LA NAPPE

Le développement d'une nappe, engendrée par la porosité de la craie, a pour conséquence essentielle, une tendance très prononcée à la stabilité, tant dynamique que géochimique, des eaux. Le bassin de la Rançon, qui servira souvent de référence, nous fournit des indications précieuses : les mois les plus pluvieux sont novembre et décembre, alors que juin, avec juillet et août, est le plus sec. Le minimum estival de précipitations ne se ressent aux émergences qu'à la fin de l'automne (novembre-décembre), lors des maximums pluvieux. Ceci explique pourquoi la célèbre sécheresse de 1976 n'a pas eu de conséquences dramatiques puisque le minimum des réserves n'a pas correspondu au minimum des précipitations. La sécheresse ne s'est faite ressentir aux captages qu'en novembre-décembre, période moins consommatrice d'eau et plus humide en surface.

En fait, le mécanisme des transferts et des transits de l'eau dans l'aquifère crayeux est extrêmement complexe.

1.3. - LES DRAINAGES

L'étude du régime des sources fait apparaître une dualité : les hautes eaux interviennent 5 à 7 mois après la période la plus pluvieuse, tandis qu'on enregistre (aux émergences karstiques) une réponse aux fortes précipitations quelques heures à quelques dizaines d'heures après. Dans ces derniers cas, les traçages permettent de distinguer le transfert, qui apparaît rapidement après les précipitations, du transit de l'eau contenant le traceur, qui réurgit avec un retard variable selon les systèmes.

A la Rançon, le transfert de pression se manifeste 15 à 20 heures après les précipitations, tandis que le temps des transits rapides varie de 30 à 40 heures (pour les traçages chimiques) à la centaine d'heures (pour les traçages bactériens). Les dilutions sont importantes, mais les pourcentages de restitution indiquent que les eaux déversées dans les bétouilles étudiées parviennent dans leur grande majorité aux sources. Cela démontre clairement que la nappe assure l'essentiel des ressources en eau. Ce constat confirme les observations des spéléologues : les conduits explorés n'ont jamais offert de mise en charge subite, comme dans les karsts classiques, mais de longues périodes d'ennuiement, en phase avec les remontées du niveau piézométrique.

Calba (*op. cit.*, p. 183) note : " le faible volume écoulé à partir des circulations karstiques, par rapport au volume total en mouvement dans l'aquifère, en un point donné, rend illusoire la détection de ces circulations à partir des paramètres classiques de la chimie (ions majeurs, isotopes stables de l'eau et tritium), sauf dans des circonstances exceptionnellement favorables. Avec la turbidité, seuls les germes témoins de contaminations fécales et les traceurs chimiques peuvent mettre en évidence les circulations karstiques, du fait

qu'ils restent détectables pour des dilutions importantes (seuils de détermination très faibles par rapport aux quantités introduites naturellement ou artificiellement) et qu'ils sont absents dans les eaux de la "nappe" circulant lentement (pour les germes à cause de leur temps de survie qui est court pour les traceurs en raison même de leur choix). "

L'aquifère crayeux présente une grande stabilité chimique sous l'influence de l'écoulement lent de la nappe, tandis que le karst véhicule les flux polluants, responsables notamment de l'instabilité biologique des eaux de la craie.

II. - DYNAMIQUE ET HERITAGE QUATERNAIRE DE L'AQUIFERE CRAYEUX

La Normandie se développe essentiellement sur des plateaux de très basse altitude, inférieure à 200 mètres. Les vallées les entaillent très profondément. Ainsi la Seine, vallée majeure qui organise le drainage régional, n'est qu'à onze mètres d'altitude lorsqu'elle pénètre en Normandie, à Vernon. Dans Paris, elle est à moins de 27 mètres. Les transgressions quaternaires ont donc très largement pénétré les massifs crayeux normands, les incluant dans une vaste zone littorale pléistocène.

II.1. - LA KARSTIFICATION ACTUELLE

Le karst se comporte en marqueur des principales phases stables des variations fluvio-eustatiques et offre donc aujourd'hui une certaine variété (Rodet, 1975). La première observation qui puisse être faite est l'existence d'un karst holocène, impénétrable et sous pression, constitué essentiellement de fissures légèrement ouvertes (Rodet, 1978). Il assure le drainage actuel de nombreux captages et est régulièrement recoupé par les forages (Roux, 1978a).

Nous ne reviendrons pas sur les conditions de mise en place du karst dans la craie, qui ont fait l'objet de recherches antérieures (Rodet, 1981).

II.2. - LE PALEOKARST, MARQUEUR QUATERNAIRE

Parfois, le drainage est en liaison directe avec le karst ancien, d'âge pléistocène, peut-être même pour certains conduits, tertiaire. C'est celui-ci qui est pénétrable, et donc étudié par les spéléologues.

La variété des conduits explorés illustre cette notion de karst-marqueur des variations climatiques du Pléistocène normand : ce karst ancien, pénétrable, peut être (Rodet, 1975) :

- recoupé par la topographie, sur le littoral par recul du front de falaises (Rodet, 1983), ou dans le Val de Seine (Rodet, 1978), largement comblé par des remplissages hétérogènes, probablement allochtones. Certains sont près du niveau actuel de la Seine moderne (Grotte de Barre-Y-Va; Saint Arnoult, Seine

Maritime), d'autres, au contraire, sont suspendus à plusieurs dizaines de mètres au-dessus du talweg, isolés dans des pitons résiduels (Rodet, à paraître).

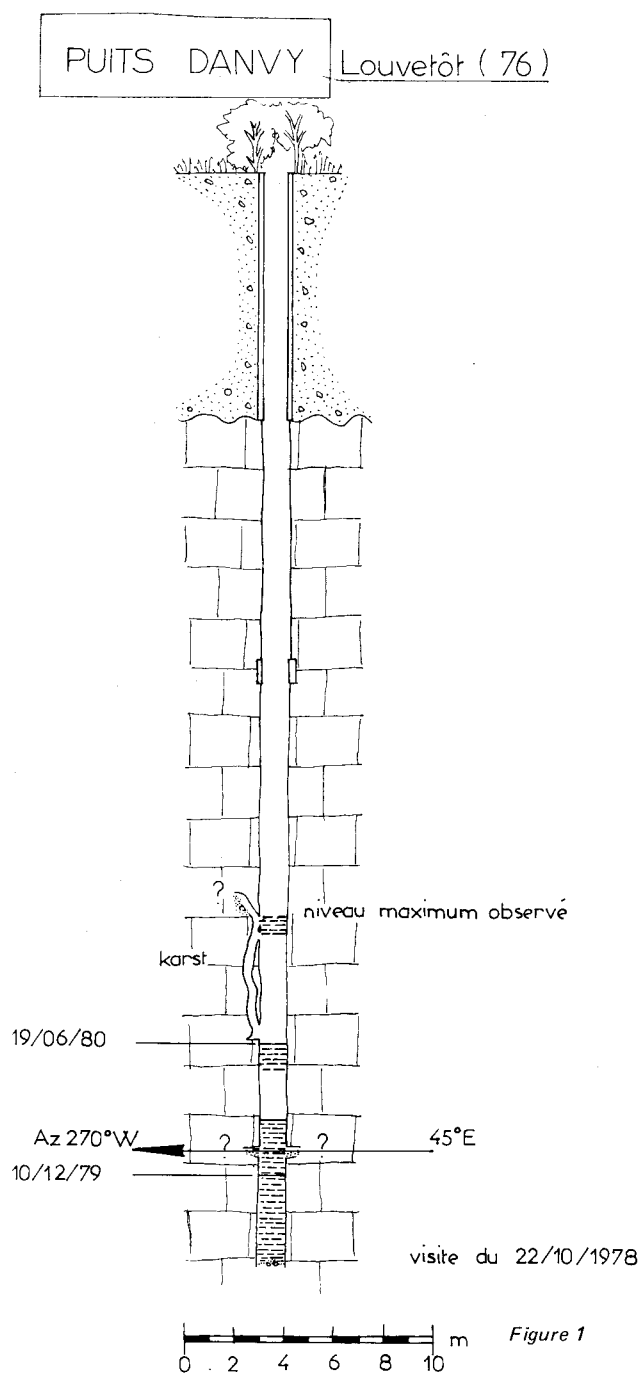
- souvent encombré de remplissages importants (près de 20 mètres dans le porche Est de la Grotte de Diep-pedale; Canteleu, Seine Maritime), qui peuvent combler entièrement les conduits.
- généralement non fonctionnel et perché (Grotte R. Fortin, à Moulineaux, Seine Maritime).
- toujours surdimensionné par rapport aux maigres écoulements qui peuvent le parcourir (Rivière souterraine des Robots-Rivière souterraine du Pylône, à Caumont, Eure).
- parfois semi-fonctionnel, servant de drain de débordement lors des remontées du toit de la nappe (Grotte des Taupes à Villequier, Seine Maritime, Réseau du Puits Danvy à Louvetôt, Seine Maritime).
- ennoyé à nouveau par la transgression flandrienne, il offre alors de grands conduits, de plus d'un mètre de diamètre (Réseau du Bois de la Vierge, à Yport, Seine Maritime), parfois anastomosés, et alimentés, pour partie, par les drains holocènes sous pression (branche noyée de la Rivière des Robots, à Caumont (Rodet, 1982b). Leurs émergences s'ouvrent sous le niveau des basses mers, ou présentent une réadaptation par vauclosianisme. Les circulations restent lentes, sauf lors des dépressions engendrées par la descente de la marée, après l'effet de tampon de la marée montante (Rodet, 1983).

II.3. - LES INCIDENCES SUR LE DRAINAGE

Cette variété de paléodraines laisse prévoir les influences et les désordres que le karst peut engendrer dans le drainage des eaux de l'aquifère.

La première influence est l'**étagement** des drains dont le fonctionnement temporaire est lié directement aux fluctuations du toit de la nappe. Ainsi une liaison rapide pourra s'établir lors de hautes eaux, avec les risques de pollution induits, qu'une expérience de traçage tentée à l'étiage ne saurait démontrer. D'où la nécessité de réaliser les mêmes expériences dans des conditions hydro-climatiques différentes. Nos visites du Puits Danvy illustrent parfaitement notre propos (Rodet, 1980).

La seconde influence majeure est la diffuence et le deltaïsme des émergences. Les variations pléistocènes du niveau de base ont engendré un déplacement du point d'émergence des drainages majeurs, tant en plan qu'en altitude. L'illustration la plus parfaite est présentée par le système du Cap Fagnet, à Fécamp, Seine Maritime (Rodet, 1983, p. 25), que l'explorateur met en évidence en parcourant les différents étagements et les diffuences reliés par des drains pentus ou des carrefours de galeries. Il semble bien que ce soit aussi le cas du grand système de Caumont (Rodet, 1981, 1982b) qui offre plus de 6 kilomètres de conduits explorés sur une dénivellation



totale proche des 50 mètres (+ 40, - 10), dont une partie est noyée (- 10 m.).

Ces conditions paléohydrologiques expliquent que certains systèmes offrent des zones d'émergences actives très complexes. Ainsi les traçages effectués depuis les bêtaires (pertes) des amonts de la vallée principale de la Rançon n'ont touché que les émergences de la rive gauche de la Rançon et les sources de la Fontenelle, tandis que ceux réalisés depuis la vallée affluente du Noir Trou-Roche Sèche ont relié toutes les émergences, tant rive droite que rive gauche, de la Rançon, mais pas celles de la Fontenelle (Rodet, 1980, 1982c; Calba, *op. cit.*).

Les influences quaternaires sur le karst permettent donc que :

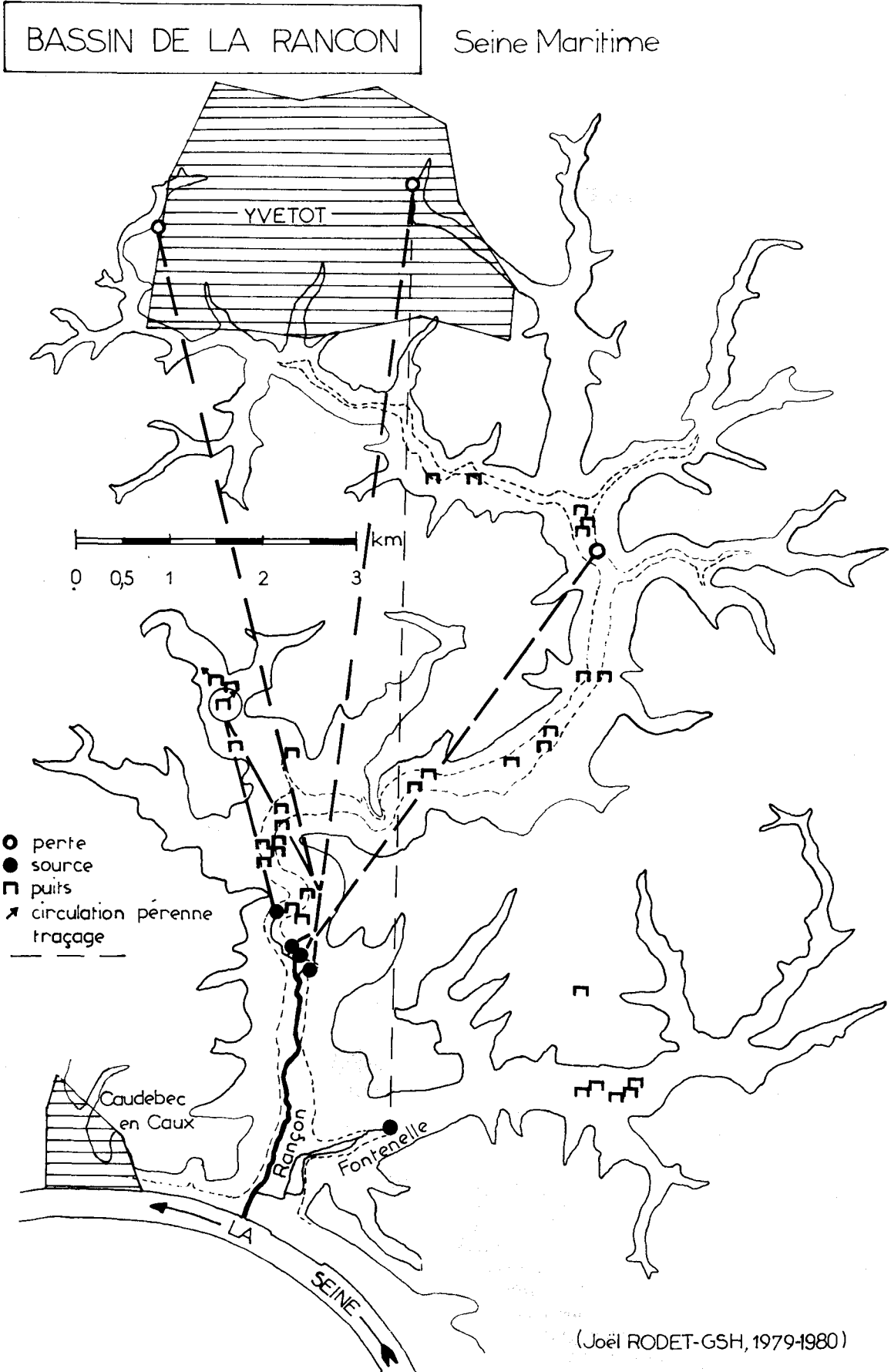


Figure 2

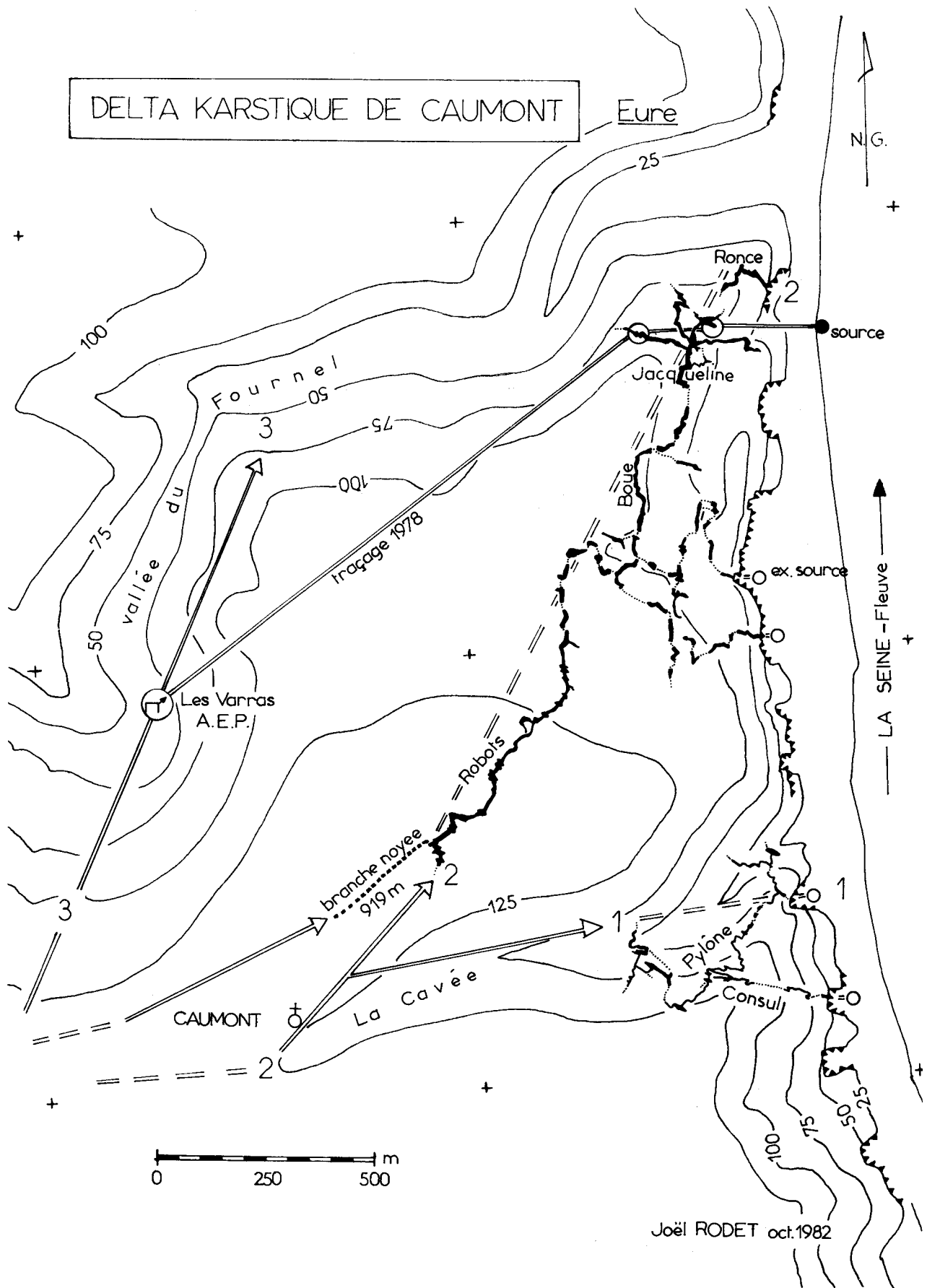


Figure 3

- plusieurs alimentations joignent la même émergence.
- une seule alimentation diffuse vers plusieurs émergences, parfois dans des vallées voisines (Rançon et Fontenelle).

III. - VARIÉTÉ HYDROLOGIQUE DES BASSINS ET POLITIQUE DE PROTECTION

L'hétérogénéité de l'aquifère crayeux, complexé par les héritages quaternaires, engendre une grande diversité des bassins karstiques qu'on peut regrouper et classer selon une typologie encore sommaire, qui sera affinée au fur et à mesure des études.

III.1. - VERS UNE TYPOLOGIE DES BASSINS DE LA CRAIE

En 1981 (Rodet, *op. cit.*, p. 284-335), nous avons proposé une première classification liant la morphologie à la structure :

Région à structure subhorizontale

- zone à vallées peu incisées; zone à grands vides.

Région de cuesta

- zone du revers; zone du talus.

Région de Causses crayeux

En 1982 (Rodet, inédit), nous affinons cette typologie en introduisant dans chaque catégorie, les données suivantes :

- **morphologie du bassin** : prédominance d'une vallée, d'un plateau; sans prédominance.
- **influence de la tectonique** : présence ou non d'une faille majeure.
- **drainage superficiel** : existence ou non de cours d'eau, temporaire ou pérenne.

D'autres critères pourront être retenus si leur influence est mise en valeur dans les nouvelles études.

Pour illustration, voici quelques définitions actuelles de bassins karstiques appartenant tous aux régions à structure subhorizontale.

Bassin d'Étretat (Pays de Caux, Seine Maritime) :

Zone à grands vides à prédominance d'une vallée non drainée, sans faille majeure, capture karstique de l'amont du bassin d'alimentation au profit du bassin voisin d'Yport (donc un bassin hydrogéologique plus petit que le bassin superficiel).

Bassin d'Yport (Pays de Caux, Seine Maritime) :

Zone à grands vides sans prédominance : vallées et plateaux, sans drainage, sans faille majeure, capture karstique de l'amont du bassin d'Étretat (donc bassin karstique plus important que le bassin superficiel).

Bassin de Villequier (Pays de Caux, Seine Maritime) :

Zone à grands vides à prédominance de plateau drainé, faille majeure (pertes au contact), percée hydrogéologique (amont superficiel, aval karstique).

Bassin du Commerce (Pays de Caux, Seine Maritime) :

Zone à grands vides, à prédominance d'une vallée drainée, faille majeure (pertes au contact), percée hydrogéologique (superposition imparfaite des bassins superficiel et karstique).

Bassin du Fournel (Roumois, Eure/Seine Maritime) :

Zone à grands vides, à prédominance d'une vallée non drainée, sans faille majeure, drainage karstique deltaïque de Caumont (fuites : influences du bassin voisin, la vallée de la Seine).

Bassin du Sec Iton (Pays d'Ouche/Eure) :

Zone à vallée faiblement incisée à prédominance d'une vallée drainée, néotectonique active (bombement), percée hydrogéologique (superposition imparfaite des bassins superficiel et karstique).

Ce travail, en cours, doit déboucher sur une cartographie typologique des bassins de craie, fixant les critères du drainage et la vulnérabilité cas par cas, à finalité d'application en matière de protection.

III.2. - POUR UNE POLITIQUE DE PROTECTION DES RESSOURCES EN EAU

Cette cartographie associée aux études d'impact en matière d'occupation des sols, de vulnérabilité (pollution réelle ou potentielle) et de population raccordée, permettrait de :

- proposer une nouvelle politique des "périmètres immédiats" appliquée aux principaux points de perte ou de rejets, à fin de protection des captages.
- dégager la notion de "réserve naturelle" en matière de foncier sur les bassins les plus importants socio-économiquement, entrant à égalité, dans la concurrence des sols, avec les nécessités de l'urbanisation, de l'industrialisation ou du développement agricole. Sur le Bassin de Paris, où cette concurrence est chaque jour plus âpre, les besoins en eau potable rendent cette politique inéluctable.

Voici un siècle, les grandes villes se dotaient d'un réseau d'alimentation en eau potable. Le développement industriel et urbain rendait rapidement inutilisable les cours d'eau et la concurrence entre industriels et services des eaux donna lieu à des débats passionnés, chacun voulant récupérer les eaux de qualité dès leur émergence.

La mauvaise qualité, les besoins sans cesse accrus, repoussent les captages loin des lieux de distribution. La Ville de Rouen va chercher son eau à 20 kilomètres, la Ville du Havre à presque 40 kilomètres et Paris à plus

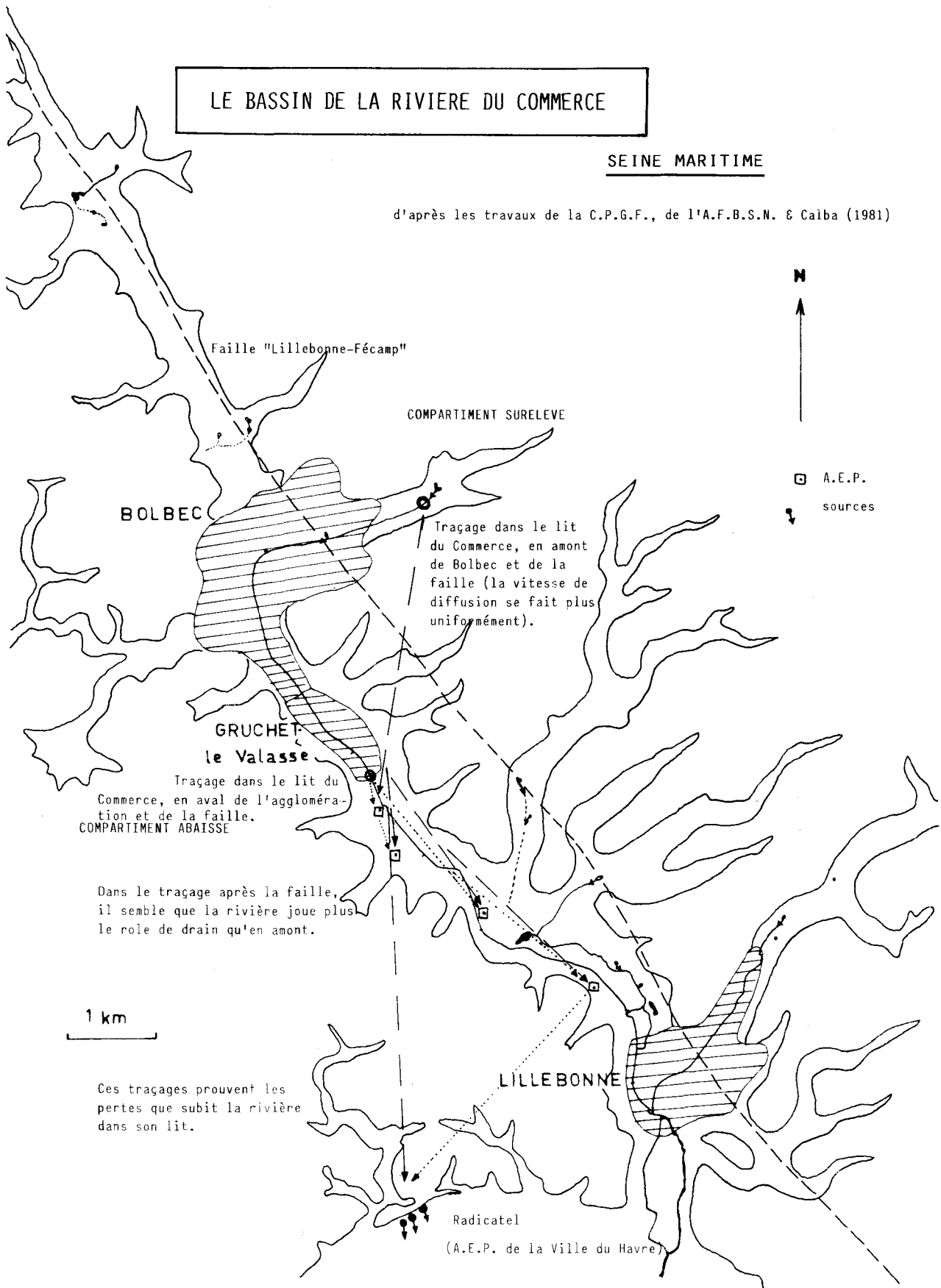


Figure 4

LA PERCEE HYDROGEOLOGIQUE DE VILLEQUIER

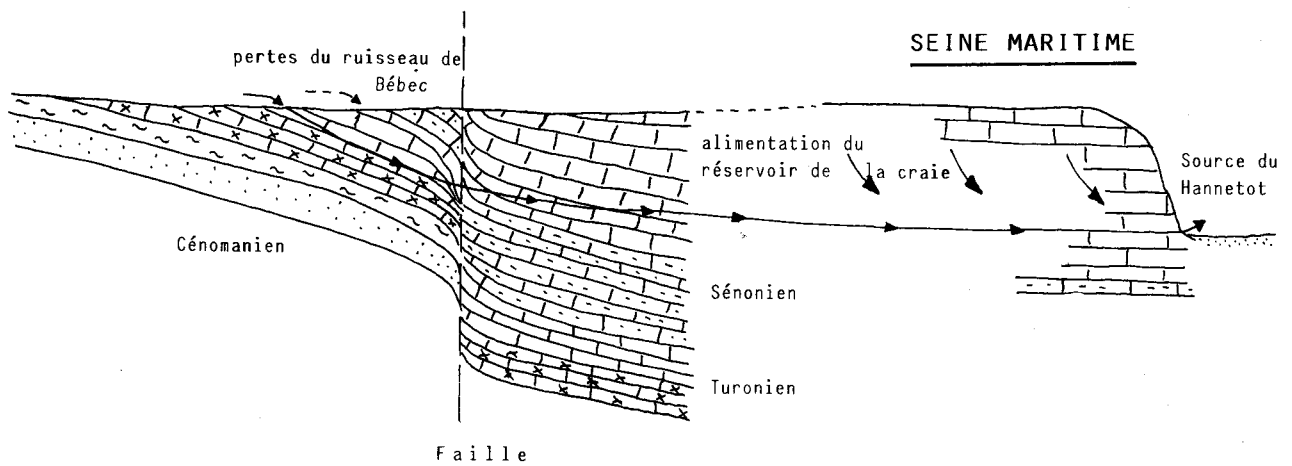


Figure 5

L'accident de Triquerville détermine une zone de pertes à proximité de la faille, dans laquelle le petit ruisseau de Bébéc est absorbé. Il est restitué 29 heures plus tard à la Source du Hannebot, captée pour l'alimentation en eau potable du Syndicat de Norville-Petiville-Saint Maurice d'Etelan (A.E.P.).

Les eaux karstiques perdues à Bébéc ne représentent qu'une très faible part des eaux exsurgées au Hannebot. Cependant, elles déterminent leur qualité par les polluants qu'elles peuvent introduire dans le réservoir crayeux.

Comme pour le site voisin de la Vallée du Commerce, cet exemple montre l'importance du rôle de la tectonique dans la mise en place de formes karstiques d'introduction.

(d'après les travaux de Lepiller et G.S.M.J.C.H., inédit).

de 100 kilomètres (sources de l'Avre à Verneuil, Eure et bassin à la Vanne à Sens, Yonne).

Malgré les problèmes nombreux et coûteux liés à la longueur des canalisations, la situation pourrait être considérée comme satisfaisante. Cependant aujourd'hui le modernisme s'étend au domaine agricole, en particulier sur les terres riches du Bassin de Paris. Les nouveaux modes agricoles qui bouleversent les terres et leurs qualités, ont une forte répercussion sur la qualité des eaux souterraines (par exemple : turbidité par enlèvement des terres, fortes teneurs en nitrates en raison de la déforestation et de l'usage excédentaire des engrais azotés, etc. . .). Bientôt le problème se posera : ou réserver des bassins très productifs (donc karstiques) ou traiter à grands frais les eaux destinées à l'alimentation humaine. Déjà des villes, comme Paris, optent partiellement pour ces solutions en réservant des terres en Pays d'Othe (Aube/Yonne), et en traitant les eaux "douteuses" de la Seine, en amont de l'agglomération bien sûr.

Au début du siècle, les accidents sanitaires dus à l'eau d'alimentation étaient nombreux. Malgré les progrès réalisés dans la surveillance et le traitement des eaux de distribution, des accidents sanitaires récents, touchant de grands groupes de population (Région de Mantes en 1981, Ville du Havre en 1982, . . .), prouvent que les ressources de la craie sont très fragiles, surtout dans des régions très urbanisées comme la Haute Normandie.

BIBLIOGRAPHIE

- CALBA, F., 1980. Hydrogéologie du karst crayeux du Pays de Caux (France). Etude de deux bassins. Thèse 3e cycle, Lab. d'hydrogéol., Univ. de Paris VI "Pierre et Marie Curie", 1980.
- CALBA, F., CHARRIERE, G., CONRAD, G., LEFEBVRE, D. & RODET, J., 1979. Relations entre le développement du karst de la craie, la dynamique et la qualité des eaux souterraines du Pays de Caux. Bull. Soc. Géol. Normandie & Amis Museum Havre, LXVI (4), 1979, 4e trim. : 45-68.
- CASTANY, G., 1967. Traite pratique des eaux souterraines. Dunod, Paris, 661 p.
- CONRAD, G., 1978. Le développement du karst de la craie en Normandie et ses conséquences sur la circulation et la qualité des eaux souterraines. "Le Karst, son originalité physique, son importance économique", Coll. de l'Ass. Géol. du Sud-Ouest, 17-18 oct. 1978, Tarbes.
- MARTEL, E.-A., 1921. Nouveau traité des eaux souterraines : les eaux souterraines de la craie. Chap. 10 et 11 : 334-373, Doin, Paris.
- RODET, J., 1975. Le karst de la craie en Haute Normandie. Mém. de maîtrise, Institut de Géogr. de Rouen, Univ. de Haute Normandie, oct. 1975, 216 p. in Spéléo-Drack, 12, 1978, Le Havre, 166 p.
- RODET, J., 1978. Caractéristiques du karst crayeux en Haute Normandie. Coll. région. "Hydrogéologie de la craie du Bassin de Paris", Rouen, 25-26 mai 1978, Documents B.R.G'M. n° 1 : 512-522.

- RODET, J., 1980. Etude du karst du Bassin de la Rançon (Pays de Caux, Seine Maritime). D.E.S.S. "Pollutions & Nuisances", Lab. de Géol., Inst. Scient. de Haute Normandie, Univ., Rouen, 1980, 123 p.
- RODET, J., 1981. Contribution à l'étude du karst de la craie : l'exemple normand et quelques comparaisons. Thèse 3e cycle, Inst. Géogr., Univ. de Paris I "Panthéon-Sorbonne", 1981, 427 p.
- RODET, J., 1982a. Diversités des bassins karstiques crayeux en Normandie. VIIIe Cong. Rég. Spél. Normandie, Montivilliers, 3-4 avril 1982, inédit.
- RODET, J., 1982b. Exploration de la zone noyée du karst de Caumont (Eure). Coll. "Plongées souterraines & Sciences spéléologiques", Tonnerre, 30-31 oct. 1982, Mém. du S.C. Paris, 10, 1983 : 73-78.
- RODET, J., 1982c. Le Bassin de la Rançon, un exemple d'application à la recherche hydrogéologique en aquifère poreux karstique (Pays de Caux, Seine Maritime). Coll. de Tonnerre, 30-31 oct. 1982, Mém. du S.C. Paris, 10, 1983 : 172-181.
- RODET, J., 1983. Karst et littoral du Bec de Caux (Seine Maritime, Normandie, France). Karstologia, 2, 1983, Paris : 23-32.
- ROUX, J.-C., 1978a. Les écoulements de type karstique dans la craie de Normandie. Coll. rég. "Hydrogéologie de la craie du Bassin de Paris", Rouen, 25-26 mai 1978, Mém. B.R.G.M., 1 : 531-553.
- ROUX, J.-C., 1978b. Réservoir & Ressources, rapport général. Coll. rég. de Rouen, mai 1978, Mém. B.R.G.M., Orléans, 3 : 11-40.