Water for the Future: Hydrology in Perspective (Proceedings of the Rome Symposium, April 1987). IAHS Publ. no. 164, 1987.

13 JUIN 1994
O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire
N° : 39676
Cote : B

Rappel de l'historique du concept du cycle de l'eau dans la culture occidentale. Son enseignement en France, hier et aujourd'hui

YANN L'HOTE
Laboratoire d'Hydrologie, Institut Français de Recherche Scientifique Pour le Développement en Coopération (ORSTOM), Miniparc Bât.2, Rue de la Croix Verte, 34100 Montpellier, France

RESUME Dans cet article, notre intention est double, quoique les deux parties correspondantes ne puissent pas être de dimensions égales dans leurs développements. Tout d'abord nous rappelons, le plus succinctement possible, les courants de pensée, les références essentielles et les observations qui ont permis de préciser la représentation que nous avons adoptée actuellement du cycle de l'eau. Dans un deuxième volet (nécessairement plus court), nous décrivons, en prenant l'exemple du système éducatif francais élémentaire (6 à 11 ans) et du second degré (11 à 18 ans), ce qui nous paraît un investissement pour l'avenir, à savoir: l'enseignement à tous les individus de l'existence d'un cycle de l'eau, de sa fragilité et du rôle d'acteur que chacun joue dans celui-ci.

On the development of the hydrological cycle in the western world. How it is taught in France, yesterday and today

ABSTRACT This paper is in two parts. First, there is a brief overview of the shaping of concepts, the principal quotations, the observations and measures which have led to our present concept of the hydrological cycle. In the second part, the system of teaching hydrology in French schools is outlined. In what may be deemed as a profitable investment, the existence and the fragility of the hydrological cycle as well as the responsibility of everyone are taught in elementary (7 to 11) and secondary schools (11 to 18 years).

HISTORIQUE DU CONCEPT DU CYCLE DE L'EAU

Sans aucune prétention exhaustive, mais plutôt avec un souci de sélection sévère, nous avons rassemblé ici un certain nombre de textes souvent déjà publiés*, relatifs au concept même du cycle de l'eau et de ses éléments, en excluant tout ce qui est

**Cf en particulier les rapports publiés à l'occasion de la Célébration du Tricentenaire de l'Hydrologie Scientifique, Paris, 9-12 septembre 1974. Recueils cités en bibliographie: UNESCO/WMO/IAHS et UNESCO (4 volumes).*

81227

techniques annexes, en particulier d'hydraulique, bien décrites par ailleurs (Bonnin, 1984).

L'Ancien Testament

Deux passages de l'Ancien Testament sont souvent cités comme se rapportant aux composantes atmosphériques et superficielles du cycle de l'eau:

(a) *Amos* V.8 (vers 800 av.J.C.): "Cherchez Le ... Il appelle les eaux de la mer, et les répand sur la surface de la terre. L'Eternel est son nom".

(b) *Ecclesiaste* I-7: "Toutes les rivières vont à la mer, cependant la mer n'est pas remplie; elles continuent à aller vers le lieu d'où elles viennent".

Ce dernier thème de "l'antique difficulté" (Brutsaert, 1982) d'admettre que les océans ne s'élèvent pas d'avantage malgré l'apport incessant des fleuves sera abondamment repris et discuté au cours des siècles par de nombreux auteurs parmi lesquels: Aristote (384-322 av.J.C.), Lucrèce (99-55 av.J.C.), Saint Basile (330-379 ap.J.C.), le commentateur de la Bible Abraham Ibn Ezza (1085-1164) et plus près de nous le Père J.Francois, professeur de Descartes, dans *La Science des Eaux*, ... (1653).

L'Antiquité grecque

Entre les 7ème et 1er siècles avant J.C., *la littérature grecque* relative aux composantes du cycle de l'eau est particulièrement dense: l'étude assez exhaustive de D.Tonini (UNESCO, 1974a) ne cite pas moins d'une trentaine d'auteurs, parmi lesquels des philosophes naturalistes, des poètes, des physiciens, des géographes etc. Au cours de ces siècles la composante atmosphérique du cycle (évaporation, formation des nuages et des pluies) a finalement été interprétée dans des termes actuellement acceptés. En ce qui concerne la phase souterraine, les premiers auteurs considéraient que l'eau des mers remontait à l'intérieur des cavités de la terre pour se condenser et former les sources. Cette interprétation sera souvent acceptée pendant plusieurs siècles, même après Aristote (384-322 av.J.C.) qui décrivit correctement les origines des débits des rivières et des eaux souterraines, quoique, faute de mesure, ce dernier estima impensable de généraliser ce cycle à l'ensemble des eaux du globe. On retiendra les deux citations suivantes:

(a) De Xenophanes (570-470 av.J.C.), disciple de l'école des naturalistes Ioniens (7è-5è siècle av.J.C.) et après Thalès, Anaximande et Anaximènes de Milet:

"L'humidité de la mer s'élève (... sous l'action de la chaleur du soleil ...), sa composante non salée devenant légère est séparée et devient brouillard, elle forme les nuages, donnant à leur tour des gouttes de pluie par condensation, et elle libère sa vapeur aux vents" (d'après Tonini, 1974).

(b) Aristote (384-322 av.J.C.) écrit dans ses *Météorologiques*

"... Dans cette théorie, l'eau, élevée par le soleil, et retombée en pluie, s'amasse sous la terre, d'où elle s'écoule comme d'un grand réservoir, qui est, soit unique pour toutes les rivières, soit particulier à chacune d'elles. Aucune eau ne s'engendre

techniques annexes, en particulier d'hydraulique, bien développées ailleurs (Bonnin, 1984).

L'Ancien Testament

Deux passages de l'Ancien Testament sont souvent cités comme se rapportant aux composantes atmosphériques et superficielles du cycle de l'eau:

(a) *Amos* V.8 (vers 800 av.J.C.): "Cherchez Le ... Il appelle les eaux de la mer, et les répand sur la surface de la terre. L'Eternel est son nom".

(b) *Ecclesiaste* I-7: "Toutes les rivières vont à la mer, cependant la mer n'est pas remplie; elles continuent à aller vers le lieu d'où elles viennent".

Ce dernier thème de "l'antique difficulté" (Brutsaert, 1982) d'admettre que les océans ne s'élèvent pas d'avantage malgré l'apport incessant des fleuves sera abondamment repris et discuté au cours des siècles par de nombreux auteurs parmi lesquels: Aristote (384-322 av.J.C.), Lucrèce (99-55 av.J.C.), Saint Basile (330-379 ap.J.C.), le commentateur de la Bible Abraham Ibn Ezra (1085-1164) et plus près de nous le Père J.Francois, professeur de Descartes, dans *La Science des Eaux*, ... (1653).

L'Antiquité grecque

Entre les 7ème et 1er siècles avant J.C., *la littérature grecque* relative aux composantes du cycle de l'eau est particulièrement dense: l'étude assez exhaustive de D.Tonini (UNESCO, 1974a) ne cite pas moins d'une trentaine d'auteurs, parmi lesquels des philosophes naturalistes, des poètes, des physiciens, des géographes etc. Au cours de ces siècles la composante atmosphérique du cycle (évaporation, formation des nuages et des pluies) a finalement été interprétée dans des termes actuellement acceptés. En ce qui concerne la phase souterraine, les premiers auteurs considéraient que l'eau des mers remontait à l'intérieur des cavités de la terre pour se condenser et former les sources. Cette interprétation sera souvent acceptée pendant plusieurs siècles, même après Aristote (384-322 av.J.C.) qui décrivit correctement les origines des débits des rivières et des eaux souterraines, quoique, faute de mesure, ce dernier estima impensable de généraliser ce cycle à l'ensemble des eaux du globe. On retiendra les deux citations suivantes:

(a) De Xenophanes (570-470 av.J.C.), disciple de l'école des naturalistes Ioniens (7è-5è siècle av.J.C.) et après Thalès, Anaximande et Anaximènes de Milet:

> "L'humidité de la mer s'élève (... sous l'action de la chaleur du soleil ...), sa composante non salée devenant légère est séparée et devient brouillard, elle forme les nuages, donnant à leur tour des gouttes de pluie par condensation, et elle libère sa vapeur aux vents" (d'après Tonini, 1974).

(b) Aristote (384-322 av.J.C.) écrit dans ses *Météorologiques*

> "... Dans cette théorie, l'eau, élevée par le soleil, et retombée en pluie, s'amasse sous la terre, d'où elle s'écoule comme d'un grand réservoir, qui est, soit unique pour toutes les rivières, soit particulier à chacune d'elles. Aucune eau ne s'engendre:

c'est l'eau qui, rassemblée dans des réceptacles de ce genre forme le grand débit des rivières ... Mais si quelqu'un, se représentant par les yeux de l'esprit, une sorte de réservoir pour l'eau qui tombe continuellement chaque jour, voulait en connaître la quantité, il est clair qu'un réceptacle capable de contenir la totalité de l'eau reçue dans le cours de l'année surpasserait en grandeur la masse de la Terre ou, tout au moins, ne lui serait guère inférieure" (d'après Tixeront, 1973).

Le concept grec du cycle de l'eau est fortement marqué par les caractéristiques hydrologiques de la Grèce et des îles voisines: prédominance des apports des nappes souterraines avec phénomènes karstiques fréquents. Les apports des eaux superficielles ne se manifestant que par des crues violentes et courtes; leur utilisation est rendue difficile.

Les Romains

Les Romains sont parfois considérés seulement comme des continuateurs de la tradition scientifique grecque, cependant avec un esprit plus pragmatique ils nous ont laissé des textes souvent plus compréhensibles aujourd'hui que ceux des auteurs grecs, par exemple:

(a) Lucrèce (95-55 av.J.C.) dans *De Rerum Natura*, donne une description complète du cycle de l'eau comprenant évaporation, formation des nuages et de la pluie ainsi que l'infiltration, par laquelle l'eau est rassemblée près des hautes vallées des rivières d'ou elle nourrit les flots coulant à travers la terre (d'après Tonini, UNESCO, 1974a).

(b) Vitruve (?-14 ap.J.C.), dans le livre 8 de son *Traité d'Architecture*, dont on n'a retrouvé que le texte et non les illustrations, écrit après des rappels des pensées de Thalès de Milet, Anaxagore et Pythagore:

"Nous voyons en effet les eaux de pluies s'amasser dans les creux qui sont sur le haut des montagnes, où les arbres qui y croissent en grand nombre y conservent la neige pendant fort longtemps, et, lorsqu'elle vient à fondre peu à peu, elle s'écoule insensiblement par les veines de la terre; c'est cette eau qui, parvenue au pied des montagnes, y produit des sources" (Dalmas, 1979), cf. Fig.1.

L'époque chrétienne et médiévale

Parmi les "*Pères de l'Eglise*", Saint Basile (330-379 ap.J.C.) cite les philosophes grecs antiques (Hérodote, Platon, Aristote et Théophraste) et reconnaît d'abord au soleil l'entière paternité de l'évaporation, traduite par l'analogie de la bouilloire, citée dans son *Hexameron*.

A juste titre on présente souvent le Moyen Age comme une période de pause dans la lente avancée des sciences physiques. Mais, alors que le divin serait considéré pendant plus de mille ans comme l'ultime principe de tout, le concept fondamental de l'esprit novateur scientifique allait survivre aussi. Ainsi l'oeuvre de Saint Isidore (560-636) est directement inspirée des pères de l'Eglise, mais aussi des philosophes grecs les plus célèbres, dont

FIG.1 La recherche de l'eau:

"Il faut, un peu avant le lever du soleil, se coucher sur le ventre, ... et, si l'on voit en quelque endroit une vapeur humide s'élever en ondoyant, il faudra fouiller, car on ne remarque jamais ces indices dans les lieux qui sont sans eaux".

VITRUVE, livre huitième, chapitre 1

il disposait certainement de copies. Ses connaissances sur l'évaporation sont très proches de celles de Lucrèce et supérieures à celles des anciens grecs (dans Pouyaud, 1985, d'après Brutsaert, 1982).

Une mention particulière doit être faite des auteurs arabes (en particulier durant la dynastie des Abbassides à partir du 8è siècle) qui ont assuré la survivance de la philosophie hellénique, grâce à leurs traductions des oeuvres grecques (Tonini dans UNESCO, 1974a).

La Renaissance (15 et 16è siècles) et le 17è siècle

En suivant Chow (1964), on peut dire qu'à la Renaissance correspond pour la science de l'eau, une *période d'observation*. A côté de Léonard de Vinci (1452-1519), on doit citer Bernard Palissy (1510-1590) qui fonda sa pensée sur l'observation et la pratique. Dans son *Discours admirable de la nature des eaux et des fontaines, tant naturelles qu'artificielles* (1580), l'exposé est présenté sous la forme d'un dialogue entre "théorique" et "pratique", tout à l'avantage de cette dernière. Il montre que les sources et les rivières ont comme origine commune la pluie et non, comme les anciennes théories le maintenaient, la mer ou l'air condensé à l'intérieur des cavités de la terre. Cette opinion recevra l'adhésion de la plupart des naturalistes du 17è siècle (Tixeront, 1973; Tonini dans UNESCO, 1974a).

Au 17ème siècle, *période de mesure*, trois auteurs méritent d'être cités:

(a) Perrault dans *De l'Origine des Fontaines* (1674) quantifie les éléments du bilan d'un bassin de l'ordre de 100 km² du cours supérieur de la Seine; compte tenu des particularités géographiques,

il découvre et décrit le cheminement de l'eau ou de l'humidité dans le sol par écoulement latéral, et réfute à tort l'opinion du Père François (1665) impliquant une percolation verticale jusqu'à la nappe. On sait aujourd'hui que ces deux cheminements sont réels et peuvent coexister.

(b) Dans le *Traité du Mouvement des Eaux et des Fluides par Feu Mariotte* (1686), on trouve un bilan du bassin de la Seine à Paris (environ 44 300 km^2), avec en particulier un véritable calcul de débit comprenant les mesures de la section et de la vitesse. L'auteur réfute les objections que fait Perrault à François, sans contester ses observations:

> "On objecte encore (dit Mariotte) que les pluies d'été, quoique très grandes, n'entrent dans la terre que d'environ un demi pied, ce qu'on peut remarquer dans les jardins et les terres labourées; je demeure d'accord de l'expérience, mais je soutiens que dans les terres non cultivées et dans les bois, il y a plusieurs petits canaux qui sont fort près de la surface et dans lesquels l'eau de pluie entre et que ces canaux sont continués jusqu'à une grande profondeur" (d'après Tixeront, 1973).

(c) Edmond Halley fut le premier expérimentateur à proposer une mesure d'évaporation en 1687 devant la Royal Society de Londres, puis il utilisa ses résultats pour calculer l'évaporation de la Méditerranée, qu'il compara à une estimation de l'apport des fleuves.

De 1700 à nos jours

Après Chow (1964), nous ne pouvons que résumer les points essentiels selon les dénominations qu'il fournit aux différentes périodes:

Au 18ème siècle, une *période d'expérimentation*, principalement en hydraulique avec le piézomètre de Bernouilli, le tube de Pitot, le moulinet de Woltman, la Formule de Chézy. A noter aussi un livre sur les rivières et les torrents de Frisi et l'extension des études de Mariotte sur l'infiltration par Le Metherie.

Le 19ème siècle, dénommé *période de modernisation*, a vu éclore de très nombreuses contributions dans le domaine des eaux souterraines principalement. A citer l'équation d'écoulement capillaire d'Hagen-Poiseuille (1839-1840), la loi de Darcy (1856) et la formule de Dupuit-Thiem (1863-1906).

En ce qui concerne l'évaporation, J.Dalton reconnaît en 1802 la relation entre l'évaporation, la pression de vapeur d'eau, et la vitesse du vent, et il énonce sa célèbre formulation.

Dans le domaine des eaux de surface, de nombreux repères ou échelles limnimétriques avaient été installés depuis plusieurs décennies par des Services d'Etat, mais ce n'est que vers 1870 que commencent les premières mesures systématiques de débit avec rattachements aux cotes des échelles.

De 1900 à nos jours, Chow reconnaît une *période d'empirisme* (1900-1930) caractérisée par une profusion de mesures, puis une *période de rationalisation* (1930-1950) pendant laquelle les hydrologues tentent des analyses rationnelles, parmi lesquels Sherman et son hydrogramme unitaire (1932), Horton et sa théorie de l'infiltration, et Gumbel qui propose en 1941 d'appliquer une distribution des valeurs extrêmes aux données hydrologiques.

La période de théorisation (1950 ... aujourd'hui) est marquée,

grâce aux possibilités croissantes des ordinateurs, par de multiples tentatives de modélisations stochastiques ou déterministes. On note aussi des analyses à différentes échelles de temps ou d'espace, avec en particulier le problème du transfert d'échelle des résultats d'expérimentations (simulateurs de pluie, bassins représentatifs ...).

Ce concept du cycle de l'eau ne doit pas être connu uniquement des spécialistes, il doit être dans le futur familier à tous, comme nous l'exposons ci-apres; à titre d'exemple nous présentons ce qui est fait dans l'enseignement en France.

ENSEIGNEMENT DU CYCLE DE L'EAU EN FRANCE

Dans un Etat, quel que soit son niveau de développement, la prise de conscience par chaque individu de l'existence, de la fragilité du cycle de l'eau sous son double aspect: quantités disponibles et qualité de l'eau et du rôle d'acteur que joue chacun dans ce cycle est, à notre avis, un investissement culturel important. En France, il y a seulement 30 ans, la connaissance globale du cycle de l'eau n'était enseignée qu'aux seuls futurs spécialistes au cours de leurs études supérieures. Comme dans beaucoup d'autres Etats développés, sous la pression des besoins industriels et domestiques croissants, les responsables techniques et politiques francais ont pris de nombreuses dispositions d'ordre législatif en particulier, depuis les dernières années de la décennie 1950.

Au niveau de l'enseignement supérieur, l'hydrologie, l'hydrogéologie et les disciplines voisines ont alors acquis le droit à des enseignements propres dans toutes les universités et écoles formant des chercheurs et ingénieurs dans le domaine de l'aménagement.

Ce qui nous paraît le plus intéressant cependant, c'est l'introduction très récente, dès les premiers niveaux du cursus scolaire, d'une série de cours traitant de tout ou partie des éléments du cycle de l'eau. Ces cours, dispensés dans les classes du niveau élémentaire (7 à 11 ans) et pendant le second degré (11 à 18 ans), le sont par des enseignants de formations différentes: instituteurs polyvalents, professeurs de sciences naturelles, de géographie. Les programmes officiels étant souvent très laconiques, nous avons préféré consulter plusieurs manuels des classes correspondantes pour en extraire un ouvrage exemple, dont nous analysons le contenu ci-dessous.

Cours Elémentaires première et deuxième années (8 à 10 ans)

Pour ces deux années, l'approche des problèmes liés à l'eau est faite dans le cadre des cours de sciences et technologie et de géographie, mais c'est principalement en géographie qu'on aborde les phases du cycle de l'eau. Parmi les manuels consultés, j'ai retenu celui de Gilbert *et al.* (1985) dont voici l'analyse succincte: sur 25 leçons de deux pages chacune, on note les cinq titres suivantes:

grâce aux possibilités croissantes des ordinateurs, par de multiples tentatives de modélisations stochastiques ou déterministes. On note aussi des analyses à différentes échelles de temps ou d'espace, avec en particulier le problème du transfert d'échelle des résultats d'expérimentations (simulateurs de pluie, bassins représentatifs ...).

Ce concept du cycle de l'eau ne doit pas être connu uniquement des spécialistes, il doit être dans le futur familier à tous, comme nous l'exposons ci-apres; à titre d'exemple nous présentons ce qui est fait dans l'enseignement en France.

ENSEIGNEMENT DU CYCLE DE L'EAU EN FRANCE

Dans un Etat, quel que soit son niveau de développement, la prise de conscience par chaque individu de l'existence, de la fragilité du cycle de l'eau sous son double aspect: quantités disponibles et qualité de l'eau et du rôle d'acteur que joue chacun dans ce cycle est, à notre avis, un investissement culturel important. En France, il y a seulement 30 ans, la connaissance globale du cycle de l'eau n'était enseignée qu'aux seuls futurs spécialistes au cours de leurs études supérieures. Comme dans beaucoup d'autres Etats développés, sous la pression des besoins industriels et domestiques croissants, les responsables techniques et politiques francais ont pris de nombreuses dispositions d'ordre législatif en particulier, depuis les dernières années de la décennie 1950.

Au niveau de l'enseignement supérieur, l'hydrologie, l'hydrogéologie et les disciplines voisines ont alors acquis le droit à des enseignements propres dans toutes les universités et écoles formant des chercheurs et ingénieurs dans le domaine de l'aménagement.

Ce qui nous paraît le plus intéressant cependant, c'est l'introduction très récente, dès les premiers niveaux du cursus scolaire, d'une série de cours traitant de tout ou partie des éléments du cycle de l'eau. Ces cours, dispensés dans les classes du niveau élémentaire (7 à 11 ans) et pendant le second degré (11 à 18 ans), le sont par des enseignants de formations différentes: instituteurs polyvalents, professeurs de sciences naturelles, de géographie. Les programmes officiels étant souvent très laconiques, nous avons préféré consulter plusieurs manuels des classes correspondantes pour en extraire un ouvrage exemple, dont nous analysons le contenu ci-dessous.

Cours Elémentaires première et deuxième années (8 à 10 ans)

Pour ces deux années, l'approche des problèmes liés à l'eau est faite dans le cadre des cours de sciences et technologie et de géographie, mais c'est principalement en géographie qu'on aborde les phases du cycle de l'eau. Parmi les manuels consultés, j'ai retenu celui de Gilbert *et al.* (1985) dont voici l'analyse succincte: sur 25 leçons de deux pages chacune, on note les cinq titres suivantes:

(a) *Le temps qu'il fait. Les caprices du temps*, avec des notions de météorologie: observation du temps, nombre de jours de précipitations, dureé d'ensoleillement, bulletins de presse écrite et de télévision.

(b) *L'eau est indispensable à la vie. On ne peut se passer d'eau*, où sont comparés deux paysages de Normandie et du Niger, avec les conséquences sur la vie des hommes. Il est présenté un schéma très complet du cycle de l'eau et proposé une réflexion sur son économie et son gaspillage.

(c) *Le soleil source de vie, notre étoile*; où il est rappelé que le soleil est le moteur du grand cycle de l'eau, en fournissant l'énergie nécessaire à l'évaporation au-dessus des lacs, des mers et des océans.

(d) *Un héritage à protéger: rivière, canaux et lacs*; la reconquête de l'eau; là où le poisson meurt, l'homme est menacé.

(e) *Le Mont Saint Michel restera-t-il une île*?

Cours moyen (10-11 ans)

Là aussi, entre les sciences et technologie et la géographie, c'est au professeur de cette deuxième discipline que revient le complément d'éveil des élèves. Mon intérêt s'est porté sur le tout récent livre de Mme Gralhon (1985); sur 70 thèmes de lecture et de réflexion, on note les quatre suivants:

(a) *Les climats dans le monde*, où sont analysés les influences de la latitude, l'altitude, la proximité de la mer. La pluie est présentée comme un des éléments importants du climat. Un schéma complet du cycle de l'eau est fourni.

(b) *L'eau source de vie*: les ressources vitales procurées par les eaux souterraines et surtout les fleuves sont abordées: ravitaillement en eau potable, industries, voies de communication, irrigation, possibilités en énergie, qualité esthétique.

(c) *L'hydrographie de la France*, après des définitions (amont, aval, affluent etc.), les quatre grands fleuves français sont décrits.

(d) *Le climat de ta région*, où il est principalement proposé d'effectuer soi-même des observations météorologiques: précipitation, température, vent, état du ciel.

Classe de 4ème (13-14 ans)

Au cours de cette année (encore obligatoire) du collège, le professeur de sciences naturelles consacre théoriquement un tiers de son temps à la biologie et le reste à la géologie. En ce qui concerne l'eau, le programme est particulièrement laconique puisqu'on y trouve seulement le titre:"gestion des nappes phréatiques" (supplément au Bulletin Officiel de l'Education Nationale n°4 du 12 décembre 1985).

J'ai été très décu par la consultation de six manuels de cette classe, datant tous il est vrai de 1979, sauf un, corrigé en 1983. Sur cent pages, en moyenne, consacrées à la géologie, on ne découvre que de deux à quatre pages analysables comme suit pour l'ensemble des six ouvrages:

(a) la description de nappes alluviales fluviales et profondes,

parfois d'un système karstique;

(b) une seule fois la nécessité d'une surveillance des nappes en quantité et qualité;

(c) une seule fois un retour sur le cycle de l'eau.

Classe de seconde (15 à 16 ans)

Sur cinq livres consultés de géographie, j'ai séléctionné celui intitulé: *Milieux et Sociétés* écrit sous la direction de Knafou *et al.* (1984). Parmi 36 leçons dont 14 se rapportent à ce qu'il est convenu d'appeler géographie physique, on relève trois leçons directement en relation avec le cycle de l'eau:

Le soleil, l'eau, l'atmosphère, avec les rubriques suivantes:

(a) le soleil source d'énergie, avec un bilan thermique de la terre;

(b) le cycle de l'eau, avec un schéma des différentes phases du cycle, explications de l'advection, des courants de convection, des pluies frontales et des pluies orographiques;

(c) les pressions et les vents, avec un schéma de la circulation atmosphérique dans la zone intertropicale;

(d) un dossier sur la lecture des cartes climatologiques.

L'éventail des climats, où l'on traite en particulier:

(a) de la répartition des températures et des précipitations, avec des cartes mondiales moyennes et saisonnières;

(b) des grands types de climats dans le monde;

(c) d'un dossier sur les climats du passé (recul des glaciers, variation du niveau marin).

Les eaux marines et continentales, avec les thèmes suivants:

(a) les eaux marines avec schéma des courants, le rôle du rayonnement solaire;

(b) les eaux lacustres: origine (glaciaire, volcanique, ruissellement) et régime des eaux des lacs (variation par évaporation, pertes etc.);

(c) les eaux courantes; notion de bassin versant. Les grands facteurs qui déterminent le régime des cours d'eau: pluviométrie, rétention nivale et glaciaire, rétention plus ou moins longue dans le sol, évaporation. Variations sainsonnières "normales", crues et étiages selon les types de climats;

(d) un dossier thématique sur les eaux souterraines (phréatiques ou karstiques) et sur la géothermie;

(e) un dossier sur l'homme et les milieux marins.

Classe de première scientifique (16-17 ans)

Les élèves sont déjà orientés vers les sciences. Ici les instructions ministérielles concernant les sciences naturelles sont suffisamment détaillées pour être reproduites in extenso; on notera que seules les eaux souterraines sont traitées, les eaux de surface ayant été étudiées auparavant. Cependant une courte partie de l'enseignement pourrait peut être leur être consacrée ne serait-ce que pour mieux mettre en évidence les aspects statistiques qui peuvent mieux être assimilés à ce stade de l'enseignement:

"Les eaux courantes étant exclues, on s'intéressera uniquement à

parfois d'un système karstique;

(b) une seule fois la nécessité d'une surveillance des nappes en quantité et qualité;

(c) une seule fois un retour sur le cycle de l'eau.

Classe de seconde (15 à 16 ans)

Sur cinq livres consultés de géographie, j'ai séléctionné celui intitulé: *Milieux et Sociétés* écrit sous la direction de Knafou *et al.* (1984). Parmi 36 leçons dont 14 se rapportent à ce qu'il est convenu d'appeler géographie physique, on relève trois leçons directement en relation avec le cycle de l'eau:

Le soleil, l'eau, l'atmosphère, avec les rubriques suivantes:

(a) le soleil source d'énergie, avec un bilan thermique de la terre;

(b) le cycle de l'eau, avec un schéma des différentes phases du cycle, explications de l'advection, des courants de convection, des pluies frontales et des pluies orographiques;

(c) les pressions et les vents, avec un schéma de la circulation atmosphérique dans la zone intertropicale;

(d) un dossier sur la lecture des cartes climatologiques.

L'éventail des climats, où l'on traite en particulier:

(a) de la répartition des températures et des précipitations, avec des cartes mondiales moyennes et saisonnières;

(b) des grands types de climats dans le monde;

(c) d'un dossier sur les climats du passé (recul des glaciers, variation du niveau marin).

Les eaux marines et continentales, avec les thèmes suivants:

(a) les eaux marines avec schéma des courants, le rôle du rayonnement solaire;

(b) les eaux lacustres: origine (glaciaire, volcanique, ruissellement) et régime des eaux des lacs (variation par évaporation, pertes etc.);

(c) les eaux courantes; notion de bassin versant. Les grands facteurs qui déterminent le régime des cours d'eau: pluviométrie, rétention nivale et glaciaire, rétention plus ou moins longue dans le sol, évaporation. Variations sainsonnières "normales", crues et étiages selon les types de climats;

(d) un dossier thématique sur les eaux souterraines (phréatiques ou karstiques) et sur la géothermie;

(e) un dossier sur l'homme et les milieux marins.

Classe de première scientifique (16-17 ans)

Les élèves sont déjà orientés vers les sciences. Ici les instructions ministérielles concernant les sciences naturelles sont suffisamment détaillées pour être reproduites in extenso, on notera que seules les eaux souterraines sont traitées, les eaux de surface ayant été étudiées auparavant. Cependant une courte partie de l'enseignement pourrait peut être leur être consacrée ne serait-ce que pour mieux mettre en évidence les aspects statistiques qui peuvent mieux être assimilés à ce stade de l'enseignement:

"Les eaux courantes étant exclues, on s'intéressera uniquement à

l'eau mise en réserve temporairement ou définitivement dans les structures géologiques. On distinguera donc nappes fossiles et nappes renouvelées en liaison avec les conditions de circulation souterraine, les caractères de la roche, les dimensions des structures géologiques et les capacités d'alimentation. L'existence d'une limite supérieure aux réserves et la nécessité d'une gestion de l'exploitation, dont les techniques ne seront pas approfondies, seront soulignées. Les exemples choisis seront aussi régionaux que possible" (arrêté du 9 mars 1982)".

REFERENCES

Bonnin, J. (1984) *L'Eau dans l'Antiquité, l'Hydraulique avant notre ère*. Eyrolles, Paris.

Brutsaert, W. (1982) *Evaporation into the Atmosphere*. D.Reidel, London.

Chow, V.T. (1964) *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill, New York.

Dalmas, A. (1979) *VITRUVE*. Les dix livres d'architecture. Traduction de Claude Perrault, 1673, revue et corrigée sur les textes latins par André Dalmas. Balland, Paris.

Gilbert, Y., Kerveadou, M. & Devran, M. (1985) *Pour Connaître la France, Histoire et Géographie, Cours Elémentaire*. Hachette, Paris.

Gralhon, R. (1985) *Géographie, Cours Moyen*. Edition de l'Ecole.

Knafou, R. *et al.* (1984) *Géographie, Milieux et Sociétés, classe de seconde*. Belin, Paris.

Perrault, P (1674) *De l'Origine des Fontaines*. Pierre le Petit, Paris. 2eme Edition 1678.

Pouyaud, B. (1985) Contribution à l'évaluation de l'évaporation de nappes d'eau libre en climat tropical sec. ORSTOM, Paris.

Tixeront, J. (1973) Sur un ancien texte hydrologique attribué à Démocrite. Dans Livre jubilaire, Marcel Solignac, *Ann. des Mines et de la Géologie de Tunisie*. Tunis.

UNESCO (1974a) Contributions to the development of the concept of the hydrological cycle. *SC.74/CONF.804/COL.1. Paris*. Textes de V.T.Chow, J.C.I.Dooge, M.Eckoldt, G.P.Kalinin, R.L.Nace D.Tonini.

UNESCO (1974b) Historical development of hydrological activities in the world. *SC.74/CONF.804/COL.2. Paris*. Textes traitant de l'Australie, Finlande, Ghana, Hongrie, Israël, Malaisie, Norvège, Tanzanie, Turquie, USSR.

UNESCO-WMO-IAHS (1974) *Three centuries of Scientific Hydrology (1674-1974). Key papers*. Textes de A.Caesperlain, S.Dumitrescu, K.K.Framji, M.A.Kohler, R.Nace, J.Nemec, J.C.Rodda, A.A.Sokolov, J.Tixeront, A.Volker.

UNESCO (1975) *Tercentenary of Scientific Hydrology*. Proceedings of the joint Unesco/WMO/IAHS celebration. Paris, 9-12 September 1974. *SC.74/CONF.804/COL.3. Paris*.

TRANSPARENTS ET DIAPOSITIVES

OVERHEAD TRANSPARENCIES AND SLIDES

1 3 JUIN 1994

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire
N° : 39676 (annexe)
Cote : B

LESSONS FROM **THE PAST**	PROSPECTS FOR **THE FUTURE**
The shaping of the hydrological cycle concept in western knowledge.	Hydrology related lessons, in the French teaching system (7 to 18 year old people). Popularization.

BIBLE

L'ECCLESIASTE - prologue - 7 (975 B.C.)

"Tous les torrents vont à la mer, et la mer n'est pas pleine. Au lieu où les torrents vont, là, ils retournent pour aller" (A. Chouraqui - L'Univers de la Bible - Edition Lydis, 1985)

"All streams run into the sea, yet the sea never overflows ; back to the place from which the streams ran they return to run again" (Oxford Study Edition, 1976).

ancienne difficulté (ancient difficulty)

ARISTOTLE (384-322 B.C.)

puis (then) LUCRETIUS (99-55 B.C.)

St BASILEIOS (330-379 A.C.)

St AMBROSIUS (333-397 A.C.)

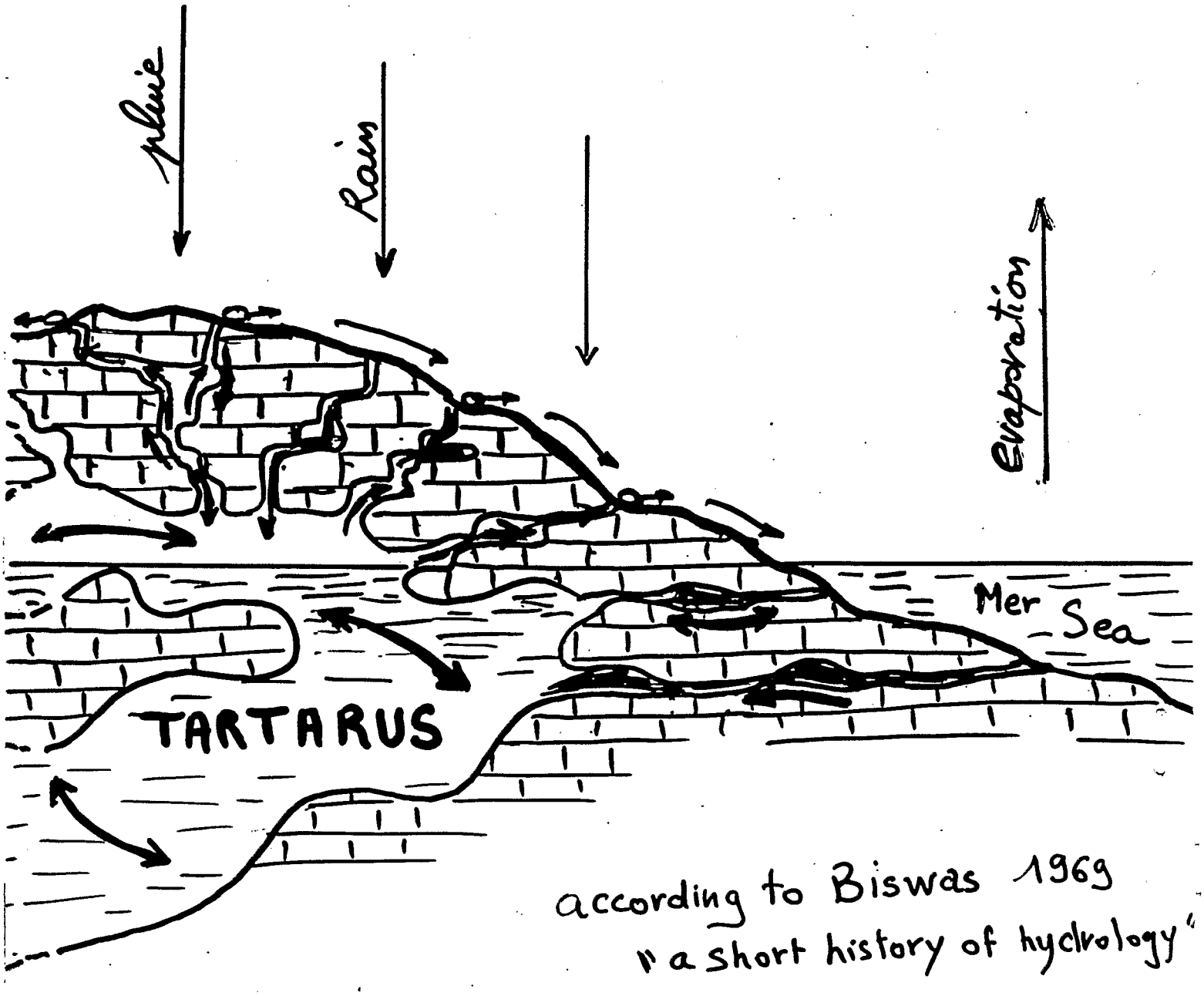
ABRAHAM IBN EZZA (1085-1164 A.C.)

Le Père J. FRANCOIS (1653, La science des eaux..)

PLATO (428-348 B.C.)

2 concepts

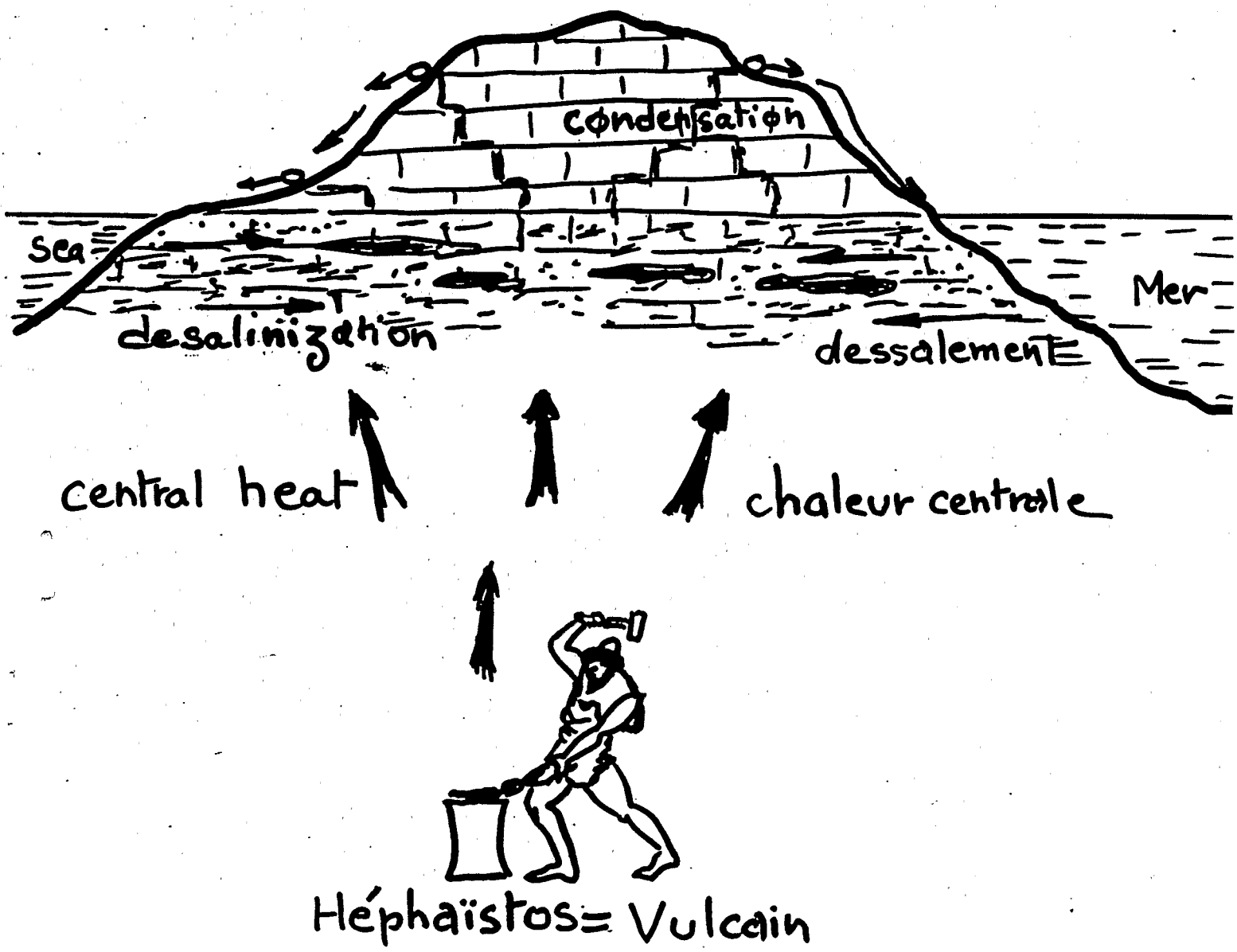
in Dialogues



according to Biswas 1969
"a short history of hydrology"

ARISTOTLE (384-322 B.C)

in *Météorologica*



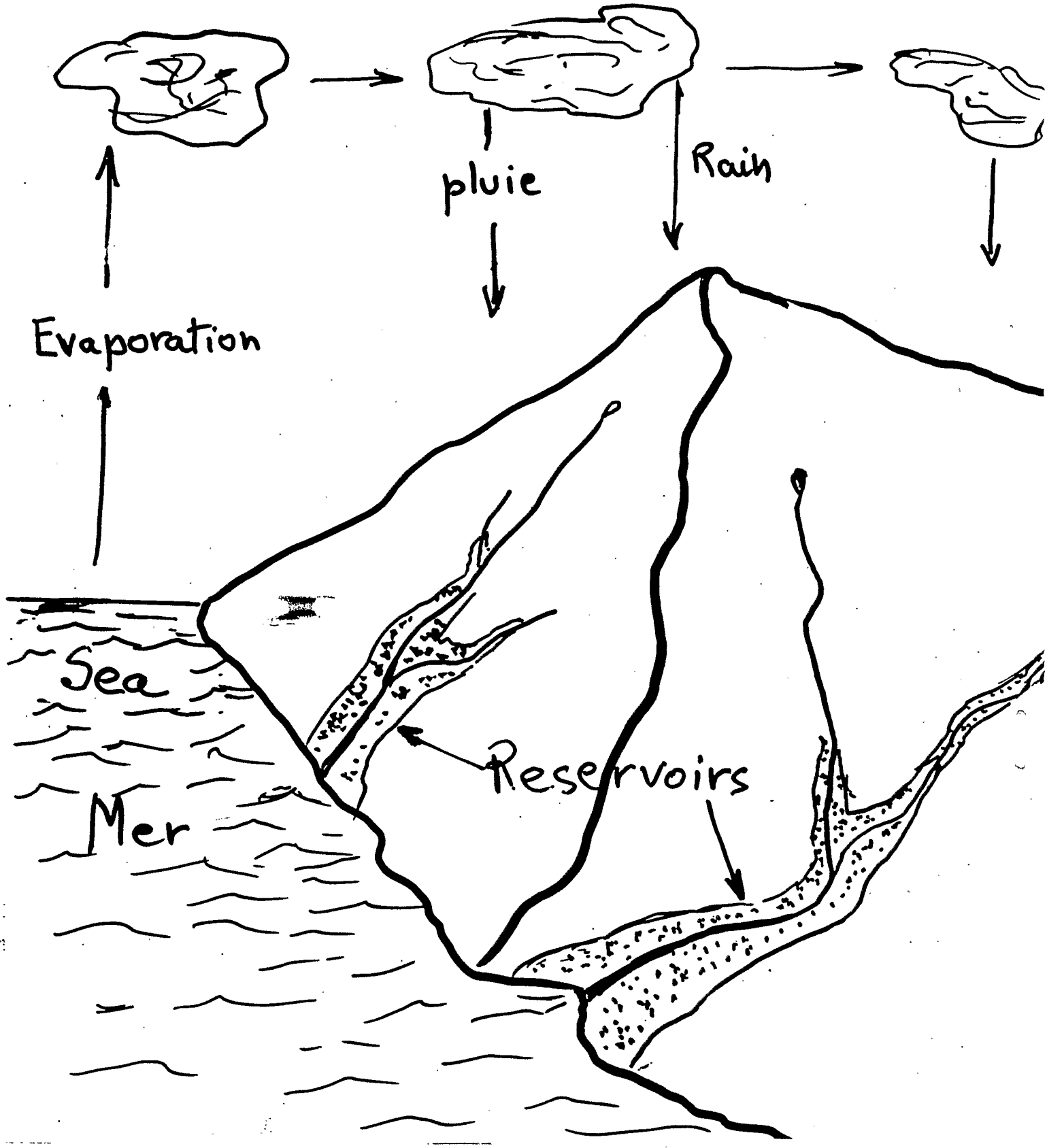
"certains auteurs" selon

"Some authors" according to

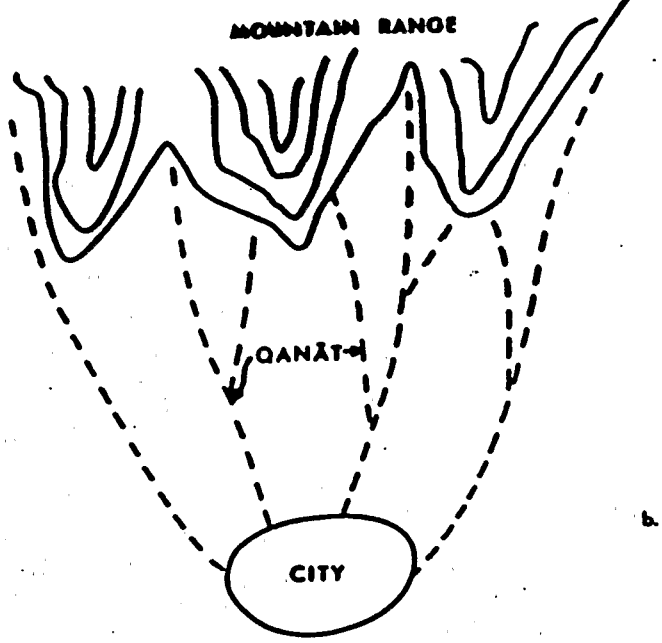
ARISTOTLE

(384-322 B.C.)

in *Météorologica*

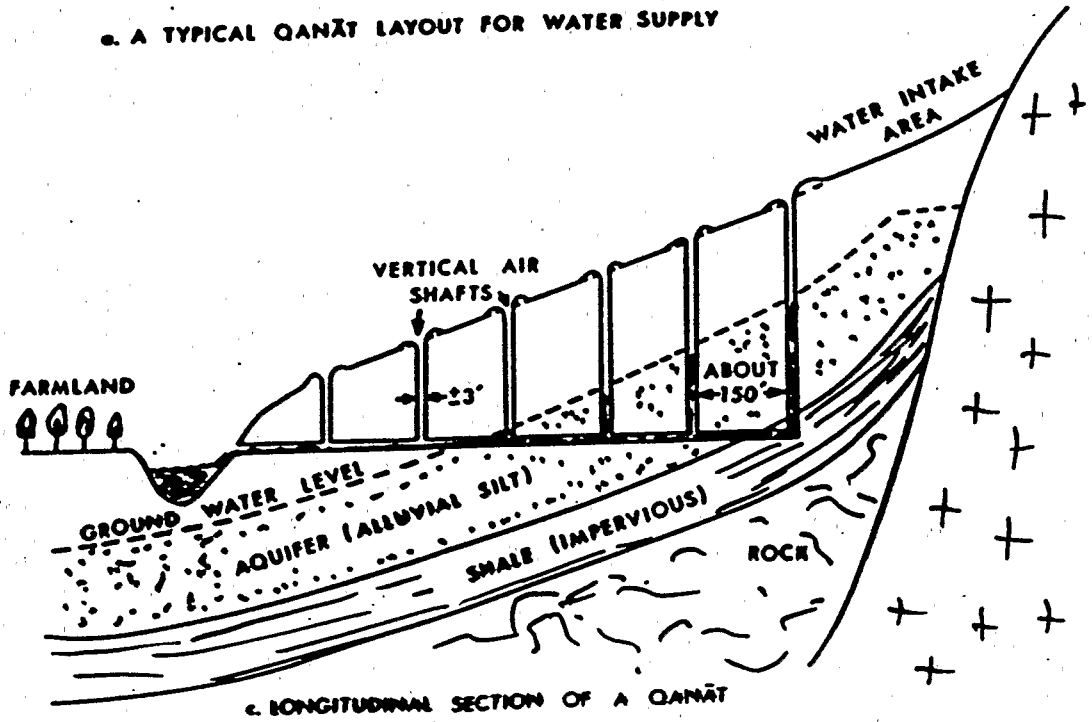


Qānat = Foghara



a. A TYPICAL QANĀT LAYOUT FOR WATER SUPPLY

b. CROSS-SECTION OF A QANĀT



c. LONGITUDINAL SECTION OF A QANĀT

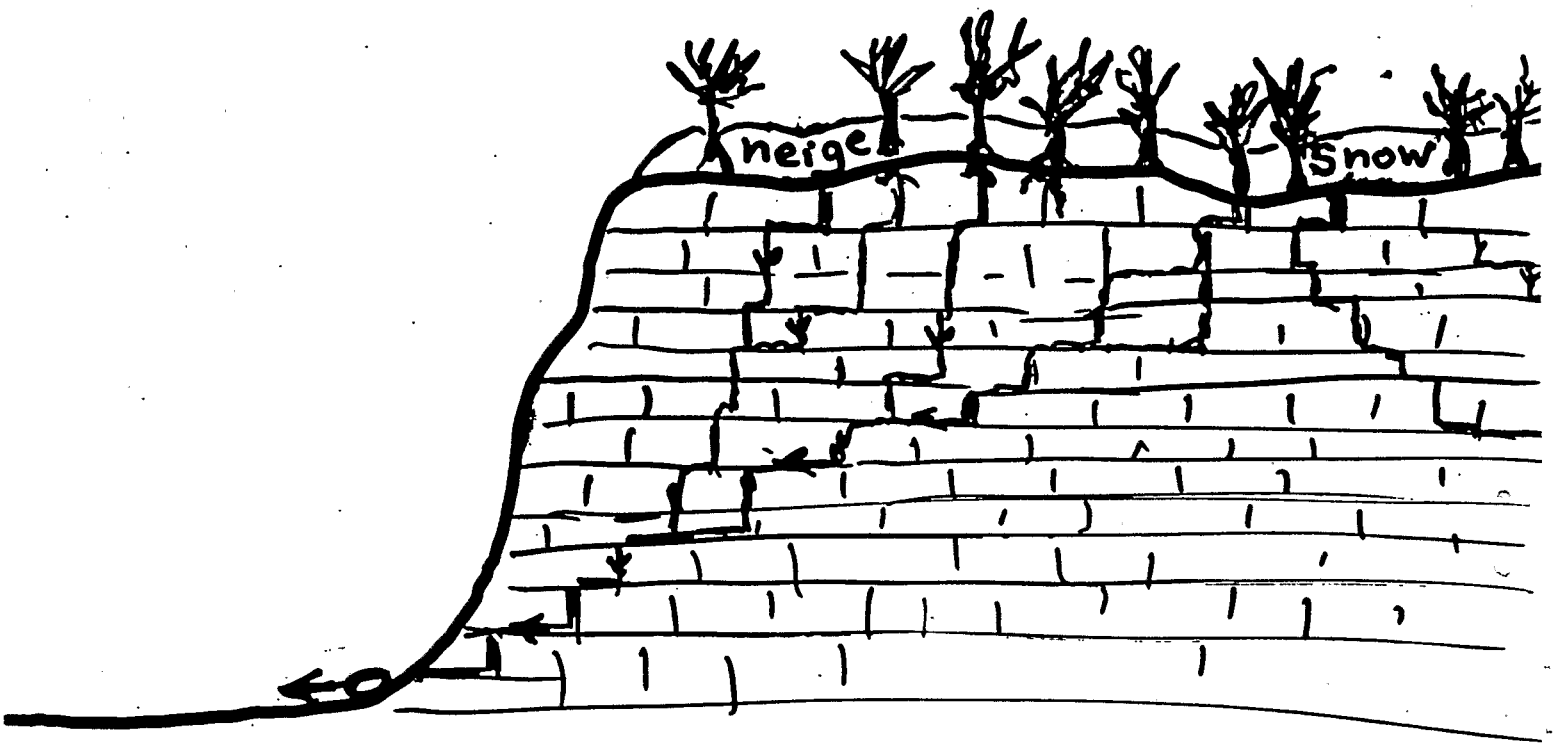
Details of qanāt system (not to scale)

After Biswas-1969

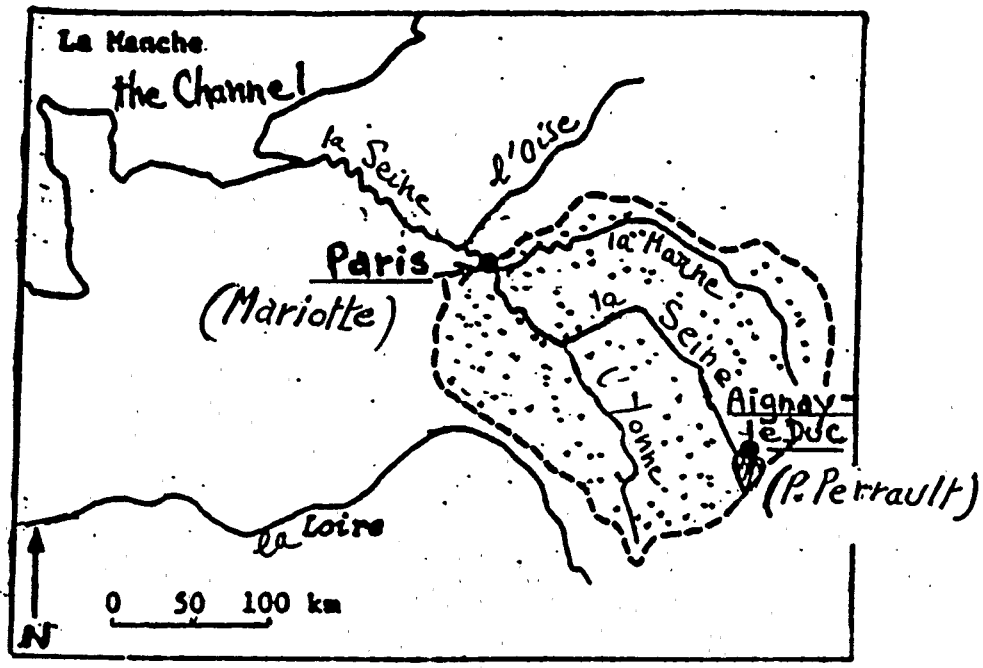
- Uratu (Arménie) 800 B.C.
- Perse - Egypte - Inde et Turkestan 800-700 B.C
- Grèce 200 B.C. (Polype) (Bonnin 1984)
- Maghreb

VITRUVIUS (?_14 A.C.)

in Architectura - VIII



PERRAULT P. De de l'origine des fontaines (1674)
Traité du mouvement des eaux et des fluides par feu MARIOTTE (1686)

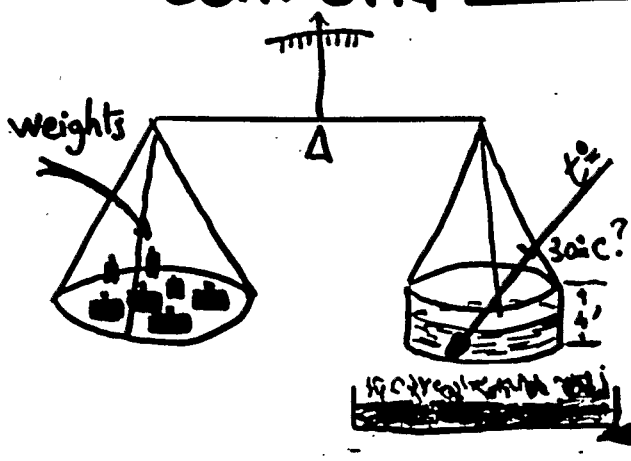


Résultats (*Results*) :

	PERRAULT - Aignay le Duc		MARIOTTE - Paris	
	auteur *author*	données actuelles *current data*	auteur *author*	données actuelles *current data*
Surface du bassin (km2) *Catchment area*	118,8	93	53 500	44 320
P = Pluie annuelle *Annual rainfall*	518 mm	900 mm	459 mm	750 mm
E = Ecoulement annuel *Annual runoff*	80 mm	340 mm	67 mm	194 mm
D = P-E Deficit d'écoulement *Runoff deficit*	438 mm	560 mm	392 mm	556 mm

d'après Tixeront 1974

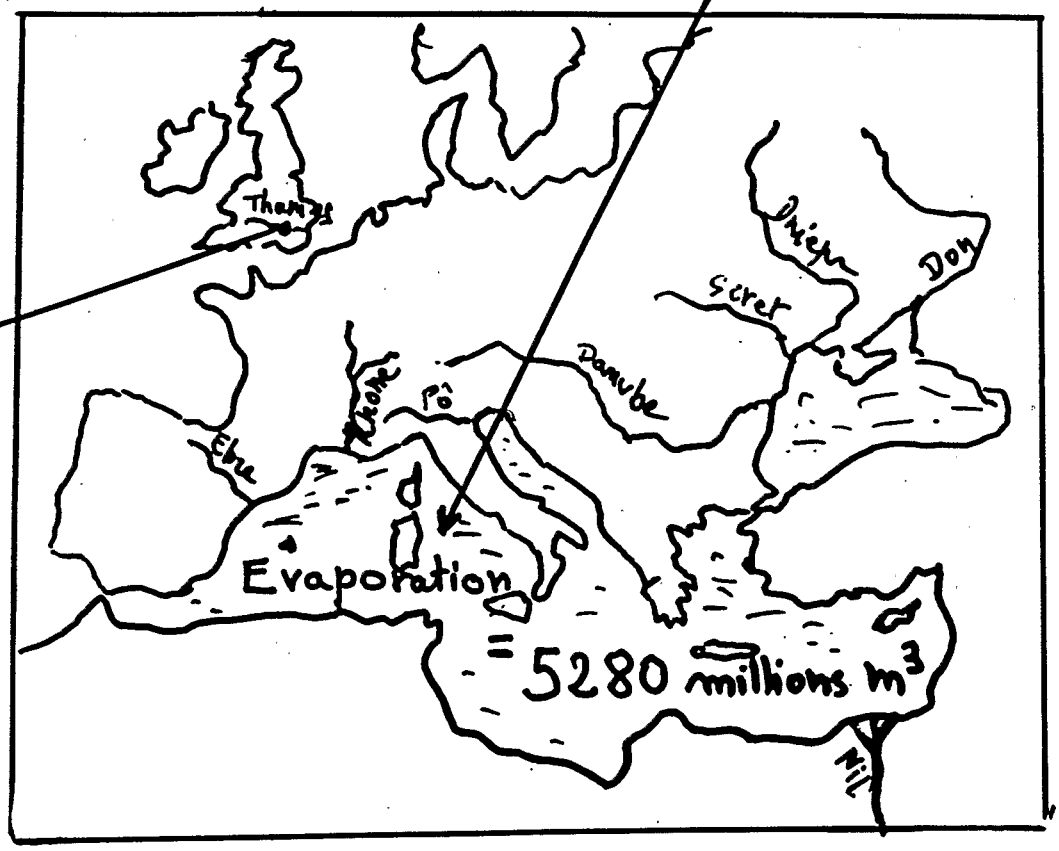
Edmond HALLEY (1687)



"measure" during two hours → estimate

1/10 of 1 inch per day (12h.)

= 2,54 mm./day



estimate

- 1) discharge of Thames at Kingstone Bridge: 20.3 million m³/day
- 2) Mediterranean recieves the flows of nine great rivers, which have 10 times the flow of Thames

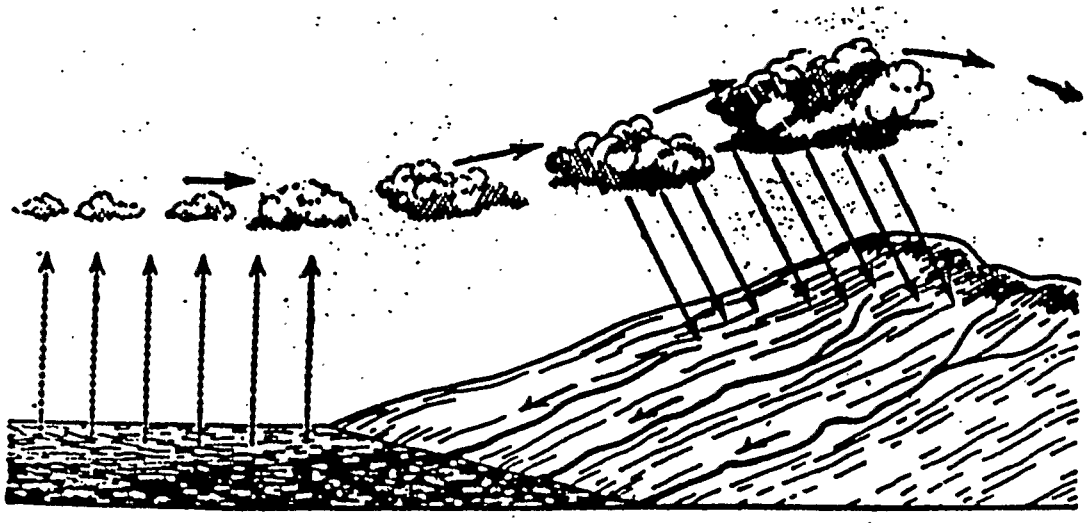
= 1830 million m³/day

i.e. 1/3 of evaporat.

(after J.C.I. DOOGE of Dublin 1974)

THE FUTURE

1. Hydrology related lessons, in the French teaching system (7 to 18 year old people)

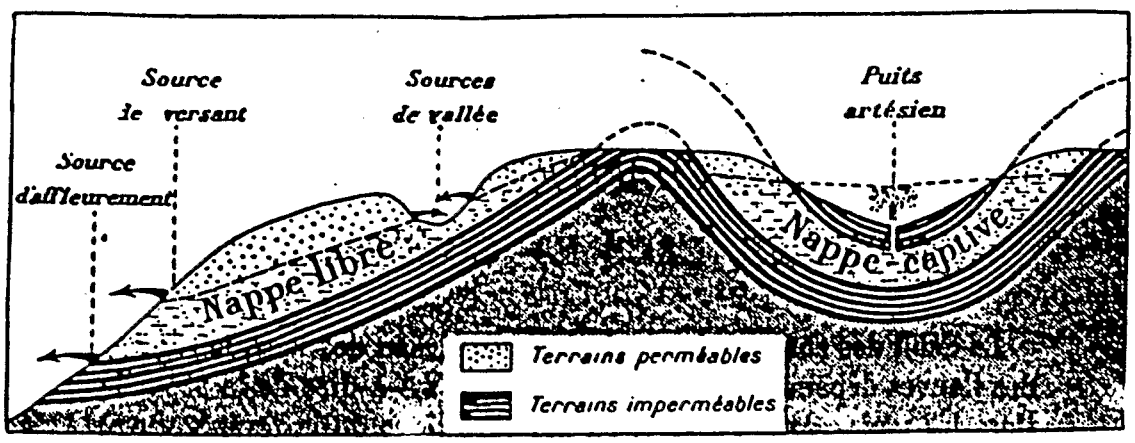


56. Le circuit de l'eau.

Que se passe-t-il, à gauche sur la mer ? Que voit-on dans le ciel ? Que se passe-t-il, à droite sur les montagnes ? Pourquoi ne voit-on plus de nuages tout à fait à droite ? Pourquoi a-t-on marqué les flèches ascendantes en traits discontinus et les flèches descendantes en traits plus gros ?

Géographie, classe de 6 ème (11/12 ans)

Hachette 1937



140. Nappes libres et nappes captives.

Expliquez la présence des sources aux points indiqués par la figure. Quelles sont les plus régulières et les plus abondantes ?

Géographie, classe de 2 ème (15/16 ans)

Hachette 1941

L'ENSEIGNEMENT GENERAL EN FRANCE DE 7 A 18 ANS (1987)

(General teaching in France for 7 to 18 years old people)

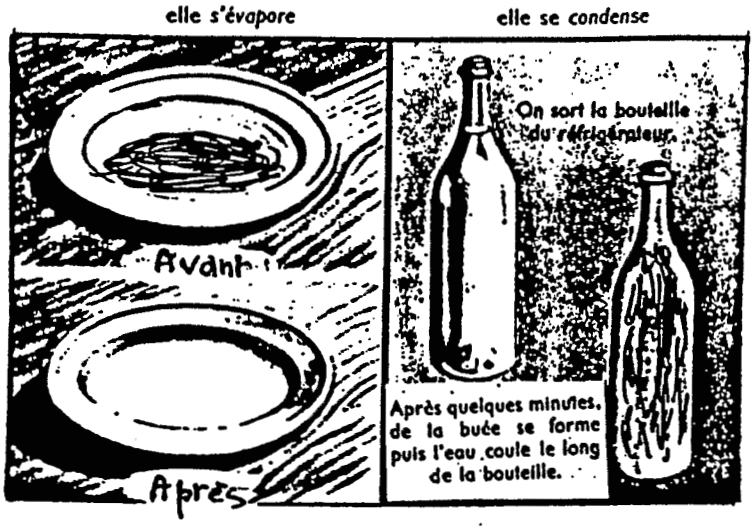
	ELEMENTAIRE				SECOND DEGRE						
Age	7/8 ans	8/9	9/10	10/11	11/12	12/13	13/14	14/15	15/16	16/17	17/18
	obligatoire				obligatory →						
Classe	Cours prepat.	C.Elem. 1	C.Elem. 2	Cours moyen	6è	5è	4è	3è	2è	1è (1èS)	Term TC&TD)
Leçon sur le Cycle de l'eau géographie	0	5 lec. / 25leçons		4 thèmes (topics) /70	5 th. /43	0	0	0	3 / 36 leçons	0	0
Sciences (géologie)	0	0		0	0	0	1-2 /25 lec.	0	0	2 /36 lec.	0

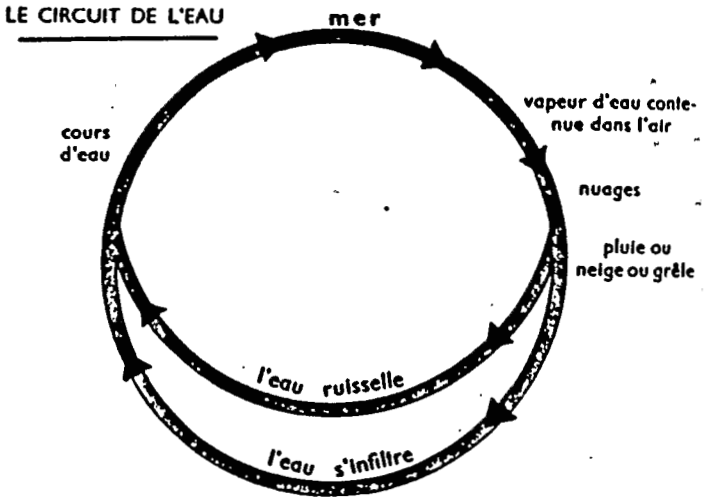
39e leçon

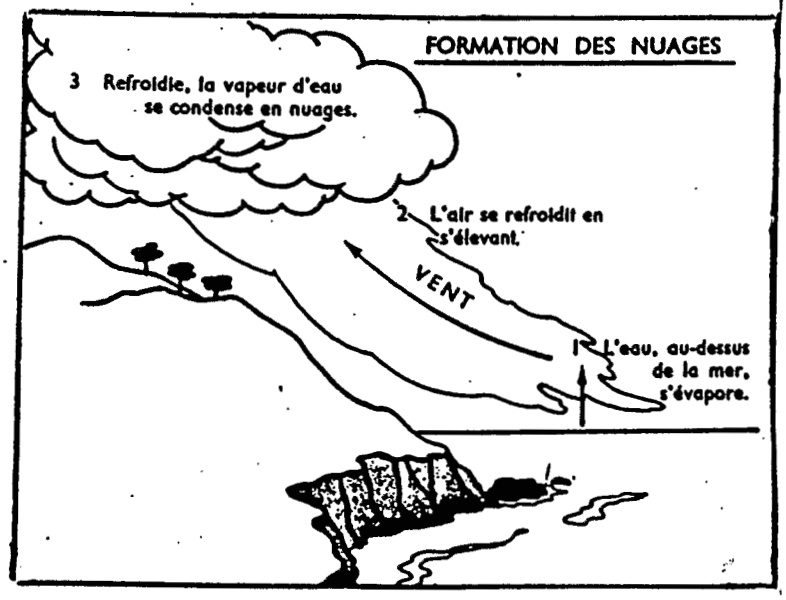
LE CIRCUIT DE L'EAU

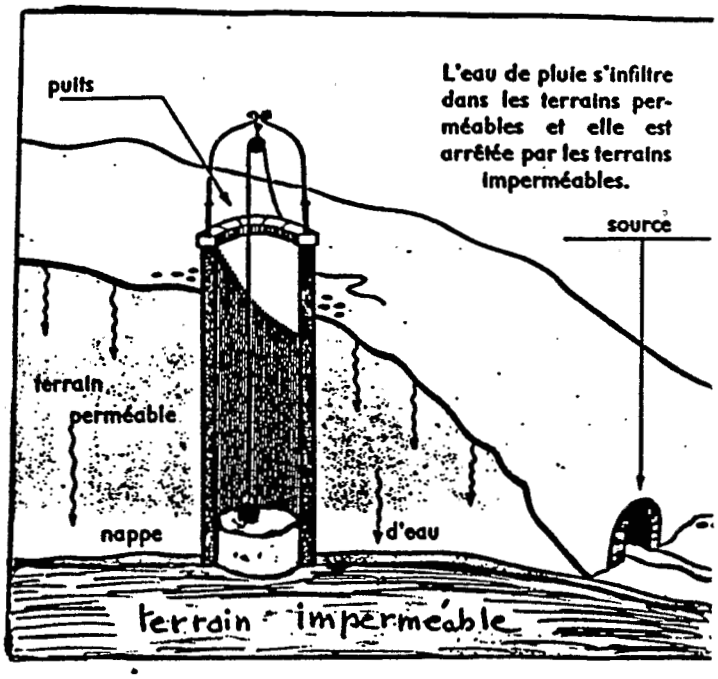
L'eau est un liquide qui peut se transformer en un gaz : elle s'évapore

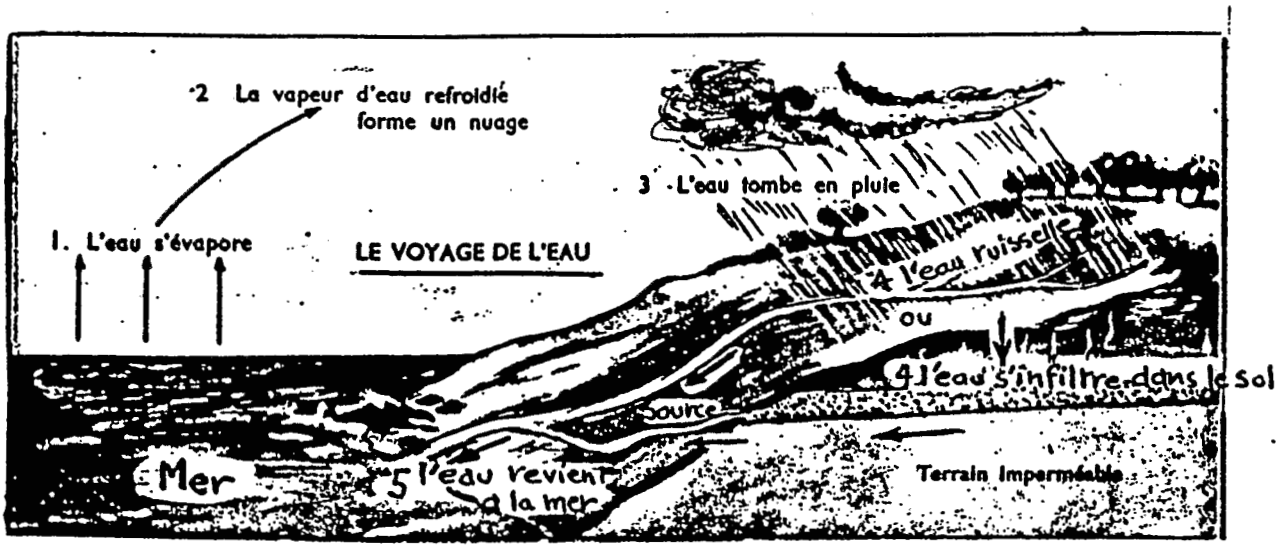
La vapeur d'eau peut se transformer en liquide : elle se condense







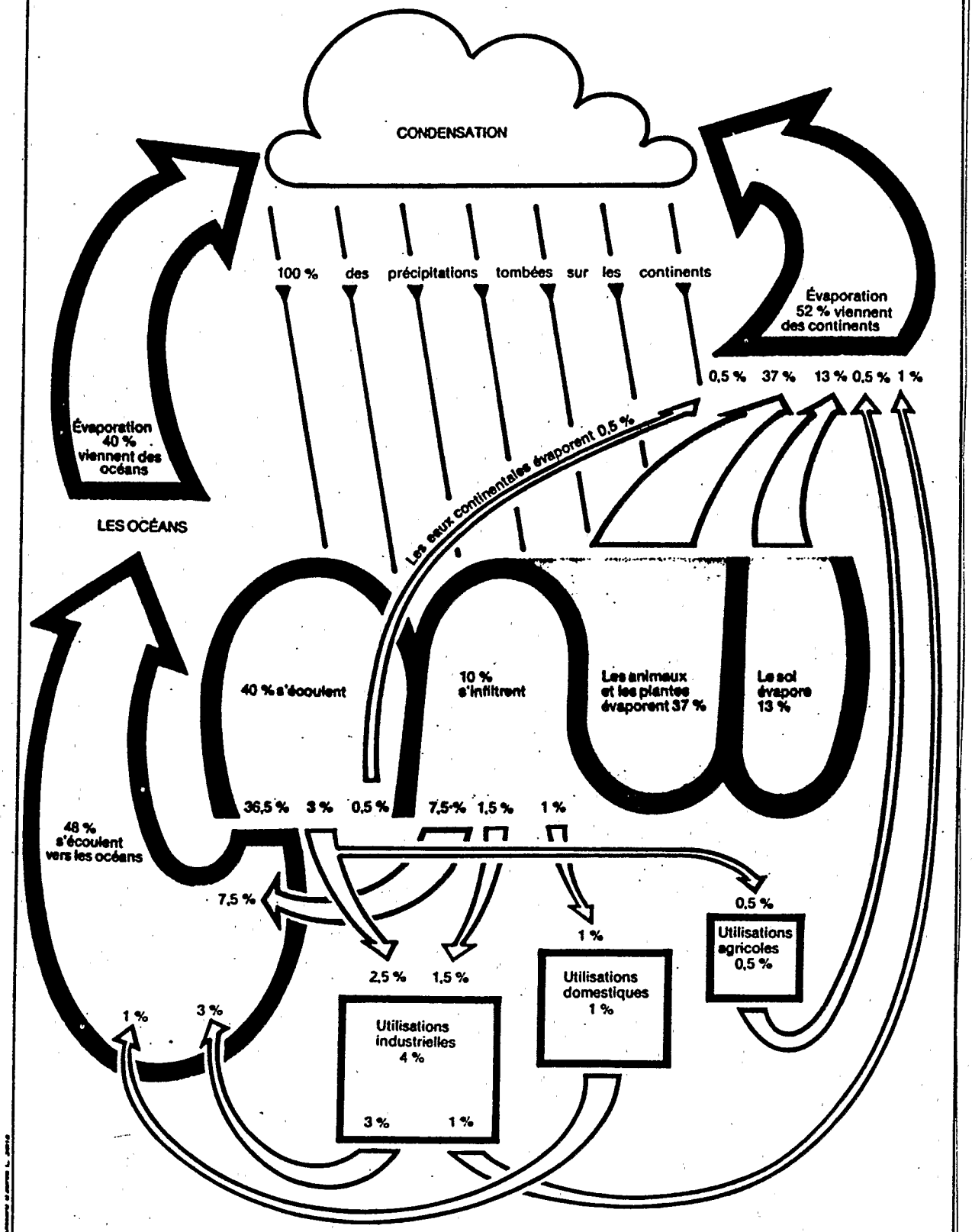




Ma géographie en couleur-Cours élémentaire (8/10 ans)

Fernand Nathan Ed.-1959

Cycle de l'eau tombée sur les continents



Imagesde la terre et des hommes-
Géographie 2 ème (15/16 ans) Belin Ed.-1981

Documentation

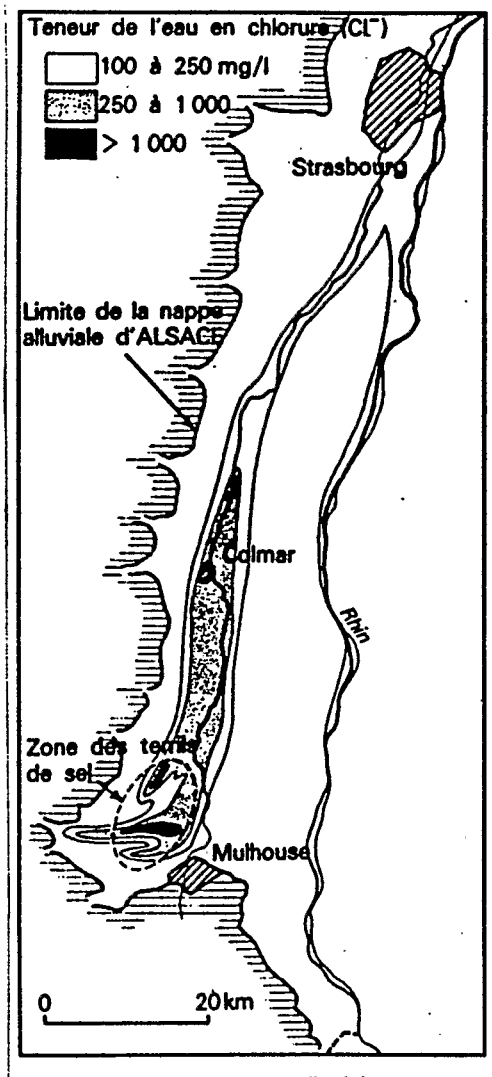
LES STATIONS D'ÉPURATION SUR LA SEINE

Pour faire passer le goût de l'eau

"Le goût de moisi que certains habitants de la région parisienne trouvent à l'eau du robinet peut parfaitement être éliminé.
L'usine qui a été construite il y a cinq ans pompe chaque jour dans la Seine 150 000 mètres cubes d'eau qu'elle traite et qu'elle envoie dans un réseau de distribution qui couvre 90 communes de 4 départements de la frange sud-est de Paris. Or, si le liquide puisé dans le fleuve n'a jamais été aussi médiocre, sa qualité est devenue quasi parfaite au sortir des bassins de traitement.
En raison de sécheresse, la Seine contient, en effet, deux fois plus d'ammoniaque et de matières organiques que de coutume. Les algues y pullulent. L'une d'entre elles, la "cyanophycée", plus communément appelée algue bleue, a fait depuis le mois d'avril une apparition massive. Elle sécrète une substance — la géosmine — qui donne un goût de moisi.
Les dirigeants de la Lyonnaise des eaux estiment apporter, la démonstration que la technique de destruction de la géosmine est déjà maîtrisée. Il suffit de filtrer l'eau sur une couche de charbon actif épaisse d'un mètre.
Cette opération n'est que la dernière d'une série de traitements plus classiques qui font intervenir des produits chimiques comme le chlore, le sulfate d'alumine, la chaux, l'ozone, la soude et des procédés physiques comme la décantation. L'arsenal n'est pas de trop car les algues bleues ne sont pas les seules à donner un mauvais goût à l'eau. Les phénols provenant des revêtements routiers et des stations-service lui confèrent un parfum de pétrole, les engrais et le rejet des stations d'épuration lui ajoutent un goût d'eau de javel, les pesticides la pimentent d'une odeur de vase. On voit qu'il ne suffit pas d'envoyer chez les consommateurs un liquide limpide et bactériologiquement sain, il faut aussi aujourd'hui lui redonner des qualités gustatives sans lesquelles une eau de boisson n'est pas digne de ce nom.

Marc Ambroise-Rendu
Le Monde, 18.06.1976

UNE POLLUTION EXEMPLAIRE EN ALSACE



6. Pollution de la nappe alluviale d'Alsace par le sel.

A. Duprat, L. Simler, J. Valentin, Thèse Strasbourg 1979.

POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES PAR LES NITRATES : DANGER

Les taux réglementaires de tene en nitrates des eaux souterrain destinées à l'eau potable sont la gement dépassés dans certaine régions agricoles. Les ministres d l'Agriculture et de l'Environnemen viennent d'annoncer une série d mesures destinées à enrayer l danger.
Les nappes souterraines de que ques régions françaises, dont l Beauce et le Finistère, sont de plu en plus polluées par les nitrates composés à base d'azote prove nant de l'infiltration des engrai azotés.
En dix ans, la consommatio d'engrais azotés a doublé e France. Le résultat en est la poll tion qui gagne inexorablement.
L'eau potable provenant de c nappes phréatiques peut ainsi d venir dangereuse essentielleme pour les nourrissons, mais aus pour les enfants et les adultes.
Le risque le plus grand concerne l nourrissons élevés au lait artificie dont les mères utilisent de l'ea non embouteillée pour dissoudre poudre de lait. La consommatio d'eau chargée en nitrates (agen oxydants) provoque chez les nou rissons, dont physiologiquemen les moyens de réduction de méthémoglobine sont insuffisants une méthémoglobinémie ...l'hém globine ne peut plus, dans ce ca jouer son rôle dans le transport d l'oxygène ...l'enfant s'intoxiqu rapidement, il apparaît une cyanos avec de nombreux risques nerveux cardiaques et vasculaires.

L'Actualité médicale.

Biologie_Géologie, classe de 1ère S (16/17 ans)

F. Nathan Ed. 1982

THE FUTURE

2. Popularization

SPOT TELEVISE

T.V. SPOT

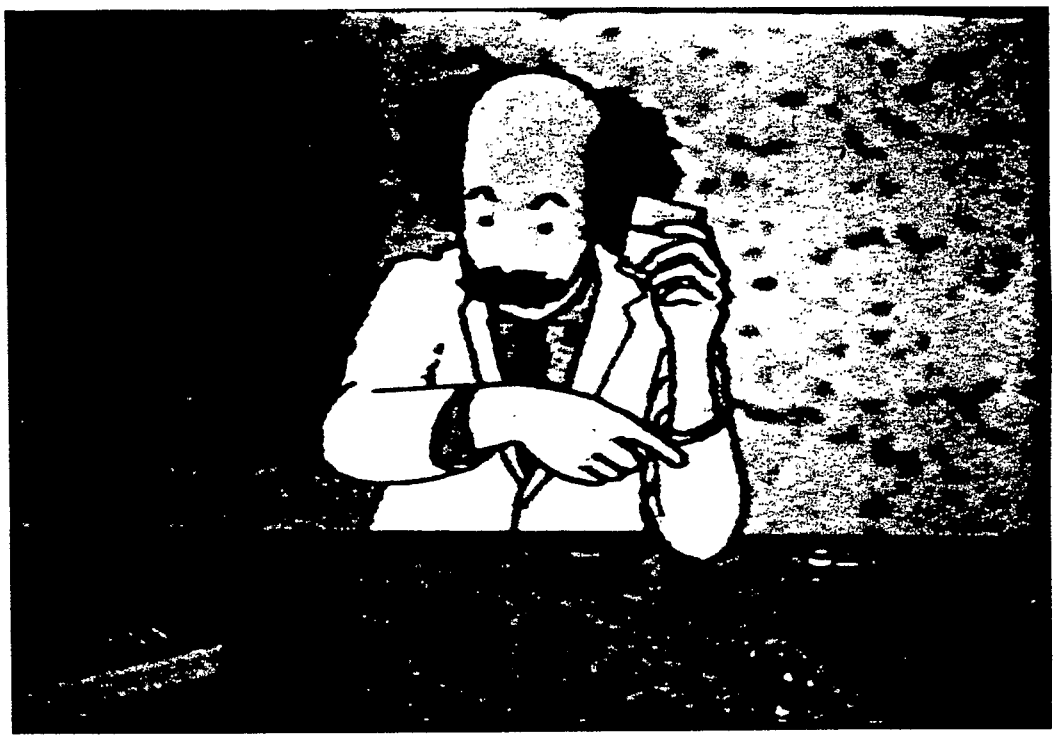
ANNOUNCEMENT

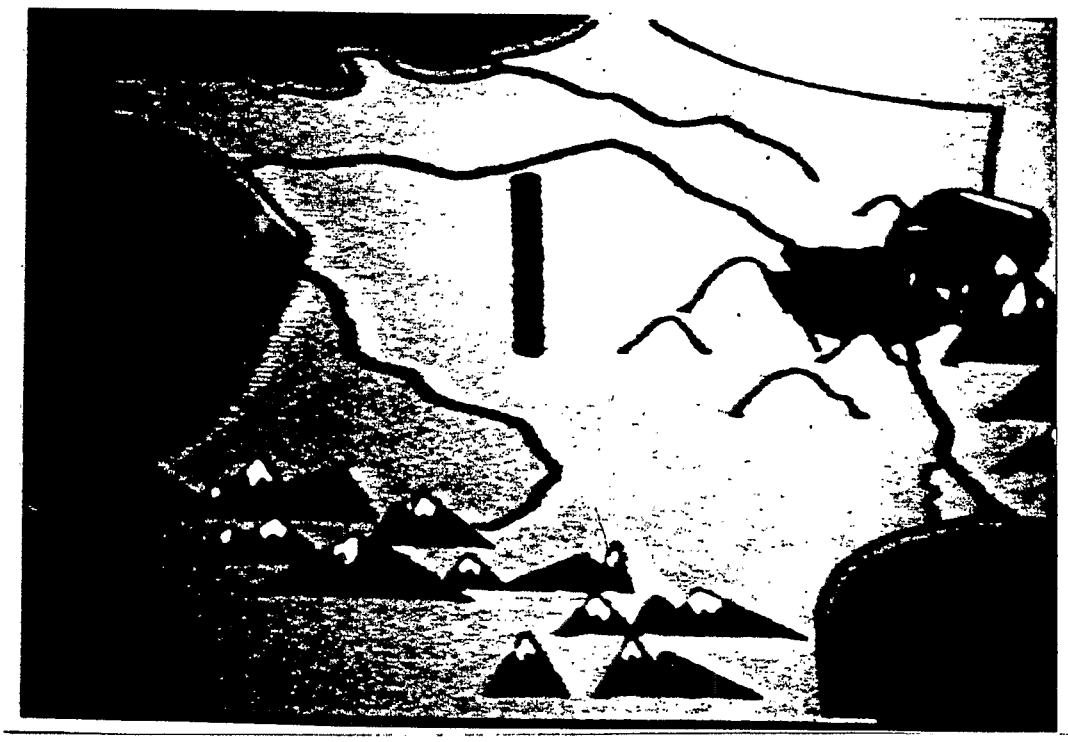
"Aujourd'hui

l'eau de demain"

"Today

water for tomorrow"



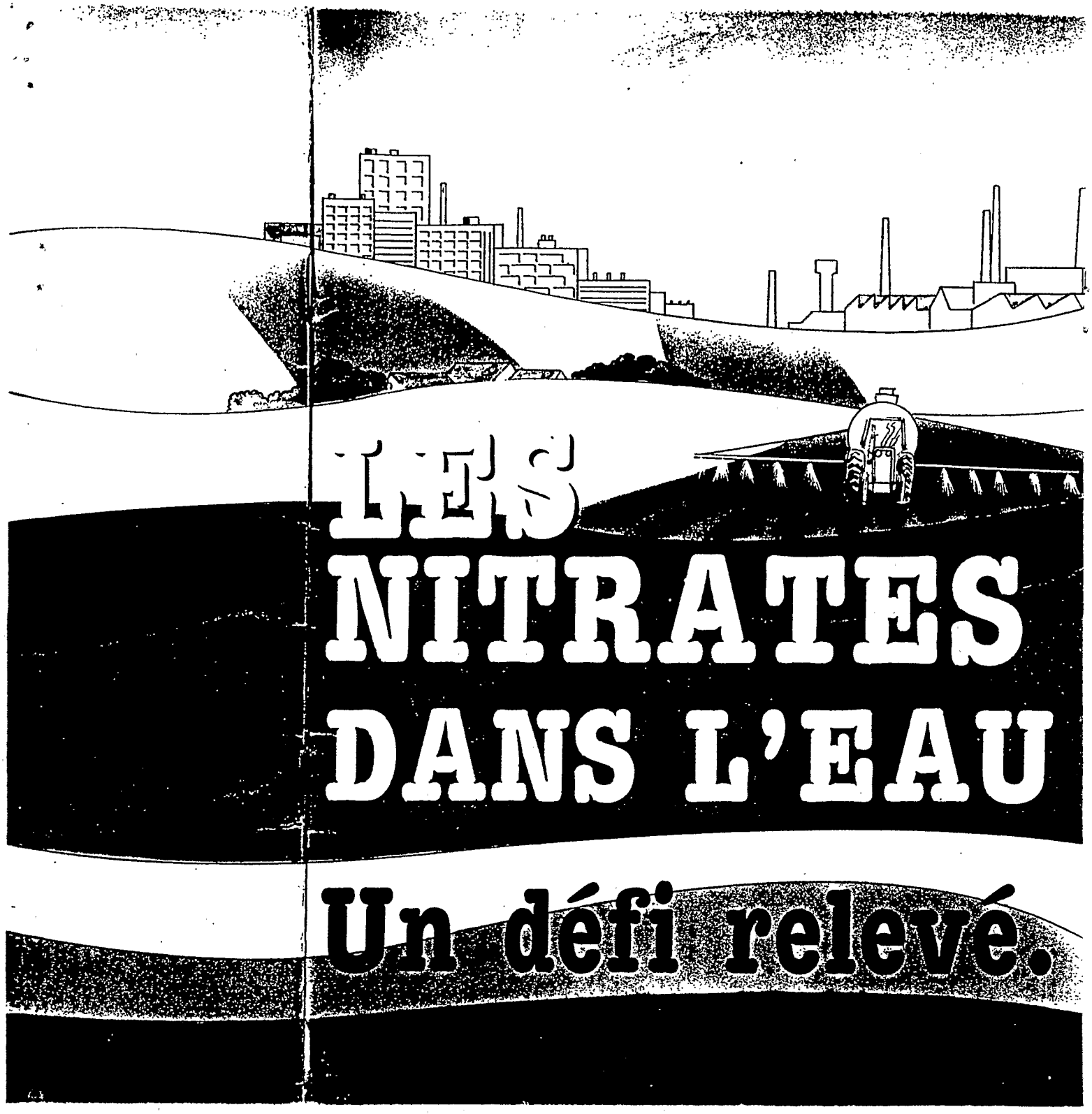


Ministère de la santé

Pays de Loire 1987

Health Ministry

Loire Region 1987



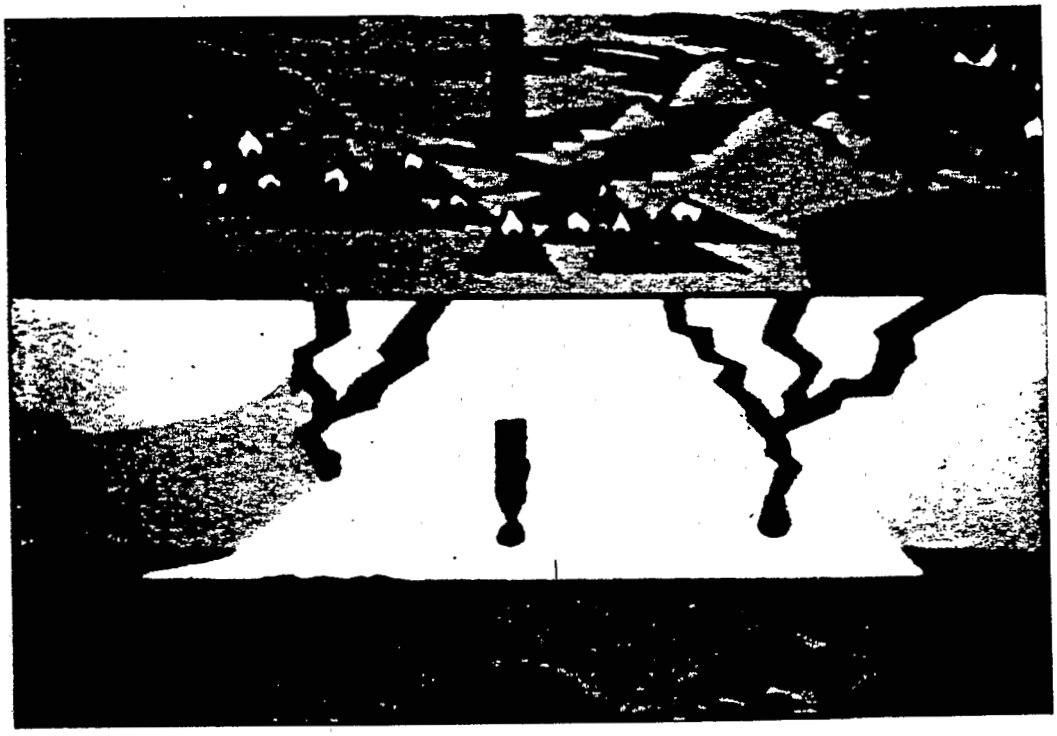
LES NITRATES DANS L'EAU

Un défi relevé.

MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE

MINISTÈRE
DE L'ENVIRONNEMENT

Mission Eau-Nitrates

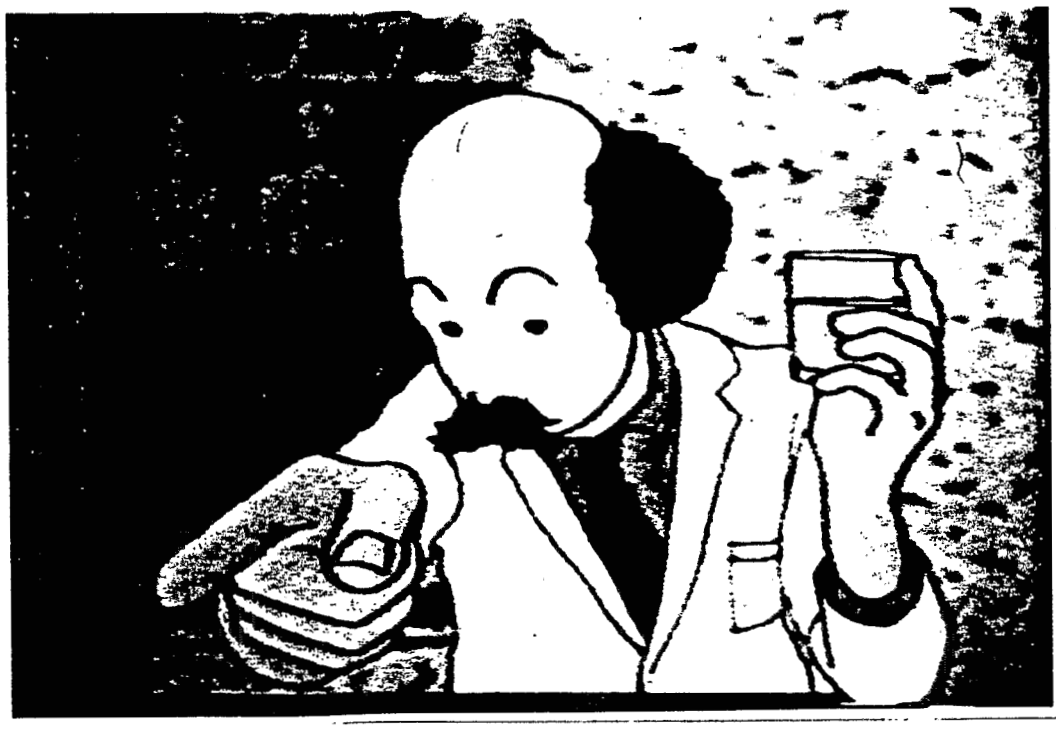


Qui est responsable ?

Who is responsible ?

- Vous, industriels
- Vous, responsables des eaux
- Chaque particulier

- *You, industrialists*
- *You, water surveyors and experts*
- *Everybody*



L'exemple des expérimentations d'AZF en vue d'affiner le conseil de fertilisation et le choix des pratiques culturales.

Les producteurs d'engrais se préoccupent de l'accroissement des teneurs en nitrates des eaux. L'exemple présenté ici est particulièrement significatif. Les services agronomiques de la société AZF ont mis en place, à proximité de Toulouse, tout un dispositif expérimental.

Phase I : connaître (1980-85)

On a comparé les fuites globales de nitrates provenant de bassins versants occupés par de la forêt, de la polyculture-élevage moyennement intensive, de la "grande culture" intensive. Plus on s'oriente vers cette dernière, plus les fuites de nitrates s'accroissent en moyenne, et ceci proportionnellement à l'importance des précipitations.

Phase 2 : comparer des itinéraires techniques (1982-85)

Une analyse plus fine a permis la comparaison de deux associations de cultures différentes A et B et montré leurs conséquences pour l'eau.

Comme on le voit, les associations de cultures n'agissent pas de la même manière sur la teneur en nitrates des eaux. L'association A, pourtant la plus fertilisée, est moins "polluante". La couverture du sol et sa colonisation par les racines, en particulier, ont une influence dont la fertilisation azotée doit tenir compte.

Associations cultures	A		B	
Années	Culture	Fertilisation azotée	Culture	Fertilisation azotée
1982-83	Colza	235 kg de N	Tournesol dominant et blé	120 et 170 kg de N
1983-84	Blé	195 kg de N	Blé dominant et tournesol	170 et 120 kg de N
1984-85	Colza et tournesol	253 et 120 kg de N	Tournesol dominant et blé	120 et 170 kg de N
Teneurs en nitrates des eaux	Teneurs inférieures à 50 mg/l sauf en hiver et parfois au printemps		Teneurs nettement supérieures à 50 mg/l	

Phase 3 : appliquer des techniques agricoles limitant la fuite des nitrates (1986-87 et au-delà)

• Dans un premier temps, dans le bassin d'agriculture intensive, où les risques sont les plus grands, les douze agriculteurs concernés :

— préciseront les doses à épandre en fonction de leurs objectifs de rendement et de l'évaluation de la fourniture d'azote par le sol ;

— accroîtront la couverture du sol, notamment en automne et en hiver ;

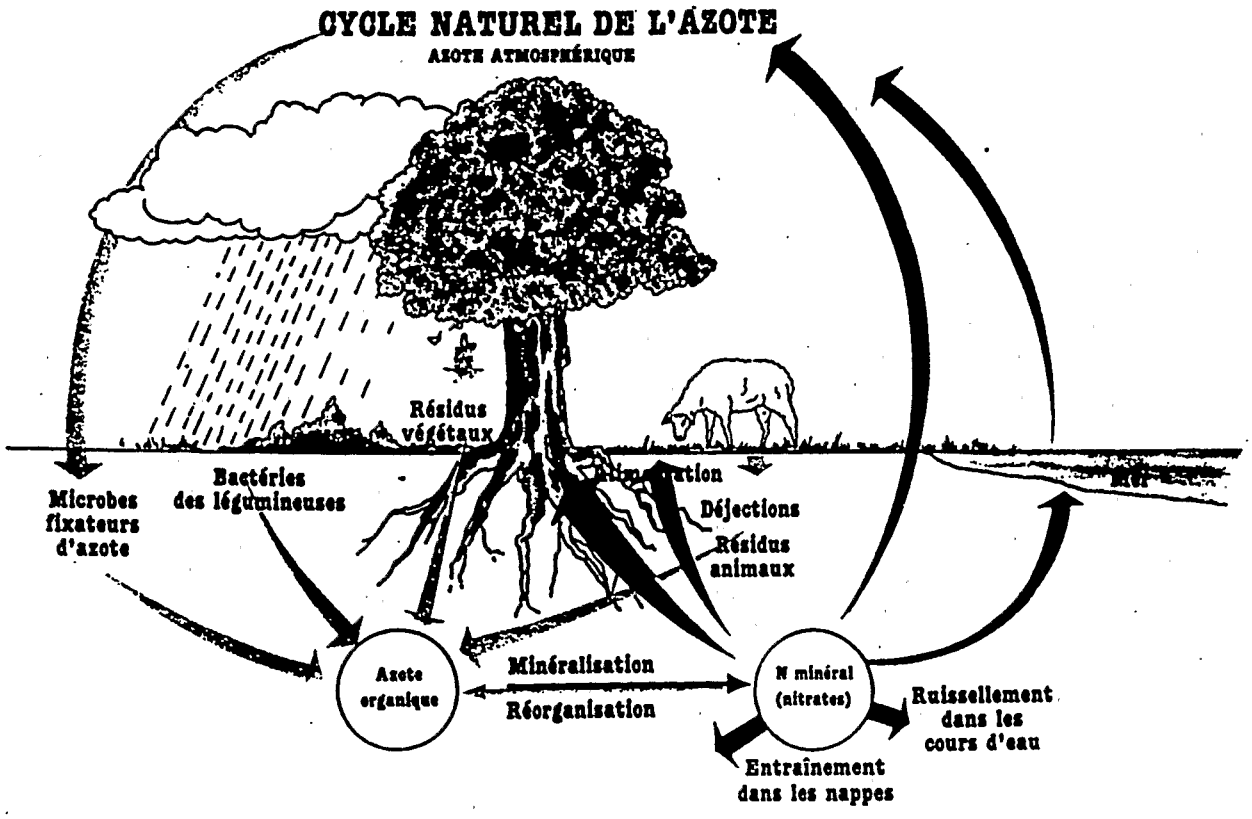
— ajusteront les épandages d'azote en fonction de la pente qui, ici, influence la bonne répartition de l'azote dans le sol ;

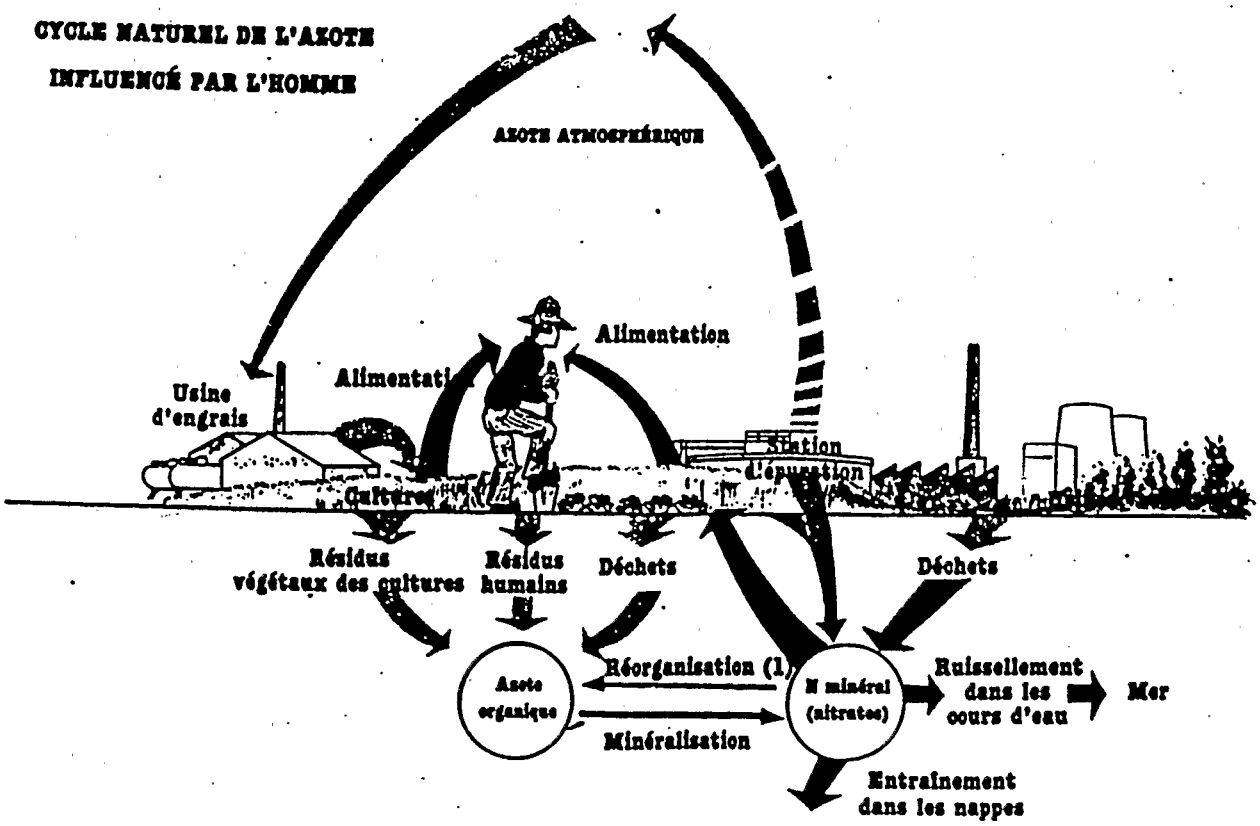
— choisiront la forme d'engrais azoté la mieux adaptée ;

— modifieront certains travaux du sol et tout particulièrement les techniques d'enfouissement des pailles ;

CONCLUSION

Ce dispositif, progressivement développé, permettra de fournir aux agriculteurs un conseil affiné, maintenant la rentabilité de la fertilisation azotée et réduisant les pertes de nitrates vers les eaux.


CYCLE NATUREL DE L'AZOTE
AZOTE ATMOSPHÉRIQUE
Résidus végétaux
Microbes fixateurs d'azote
Bactéries des légumineuses
Déjections
Résidus animaux
Azote organique
Minéralisation
Réorganisation
N minéral (nitrates)
Ruissellement dans les cours d'eau
Entrainement dans les nappes


CYCLE NATUREL DE L'AZOTE
INFLUENCÉ PAR L'HOMME
AZOTE ATMOSPHÉRIQUE
Alimentation
Usine d'engrais
Station d'épuration
Cultures
Résidus végétaux des cultures
Résidus humains
Déchets
Déchets
Réorganisation (1)
Azote organique
Minéralisation
N minéral (nitrates)
Ruissellement dans les cours d'eau
Mer
Entrainement dans les nappes