

ÉTABLISSEMENT DES CARTES HYDROGÉOLOGIQUES

J. MARGAT

Centre des Etudes Hydrogéologiques du Maroc

RÉSUMÉ

Problèmes posés par l'établissement des cartes hydrogéologiques.

Choix de l'échelle, des éléments à représenter et des figurés en fonction des données locales, du but recherché et des utilisateurs prévus.

Propositions de signes conventionnels.

Les différents types de cartes hydrogéologiques.

Présentation comme exemple de la carte hydrogéologique d'une région subaride (Plaine du Tafilalet S. E. Marocain) au 1.50.000.

INTRODUCTION

La définition et l'établissement de cartes hydrogéologiques pose avant tout un problème de choix : choix de l'échelle, de la présentation matérielle de la carte, des figurés et enfin sélection des éléments à représenter. Il semble en effet impossible qu'un document puisse conserver un minimum de clarté si l'on y fait figurer la plupart des données géologiques et hydrologiques cartographiables.

Les critères en fonction desquels devront s'effectuer les choix, se ramènent surtout à trois : le but poursuivi, les conditions particulières de la région à cartographier, enfin les servitudes imposées par les nécessités de l'édition. De la variété de ces facteurs, résulte une assez grande diversité de types de cartes hydrogéologiques, qui correspondent beaucoup plus que les cartes géologiques à autant de cas particulier.

Il ne semble donc pas possible ni utile de concevoir des cartes hydrogéologiques régulières au même titre que les cartes géologiques et pouvant couvrir la totalité d'un pays.

Il n'est pas impossible par contre, et il est souhaitable que les essais tentés en divers pays soient accordés dans une certaine mesure et qu'un minimum de règles et de modes de représentation communs puisse être défini et recommandé.

I — CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT

Les objectifs assignés à une carte hydrogéologique sont surtout de trois sortes, qui correspondent à trois catégories d'utilisateurs :

But scientifique.

La carte hydrogéologique est le meilleur mode d'expression synthétique des connaissances hydrogéologiques sur une région donnée. En même temps qu'un but, elle est d'abord un outil de recherche. L'analyse, l'interprétation et la comparaison de cartes lithologique, piézométrique, thermique, géochimique, etc... constituent une méthode de travail indispensable et des plus fructueuses.

La publication de ces documents ne présente cependant qu'un intérêt de second plan, elle est rarement possible de manière complète et s'effectuera surtout dans le cadre des échanges scientifiques entre spécialistes.

But didactique.

La carte hydrogéologique est la base la plus commode et la meilleure illustration pour exposer et expliquer les conditions hydrogéologiques d'une région, à des fins d'enseignement ou pour d'autres buts. Sa clarté est dans ce cas, d'autant plus nécessaire, ce qui implique de restreindre au minimum les éléments à représenter. L'intérêt de la publication n'est fonction que du nombre des usagers éventuels.

But technique.

La carte hydrogéologique peut être enfin un document d'intérêt pratique directement utilisable par des usagers non spécialistes (Ingénieurs divers, Techniciens de travaux publics, de mines et d'agriculture, ou même Cultivateurs). Elle doit alors être de lecture facile et comporter exclusivement des indications directement utiles. Sa publication présente un intérêt général.

La cartographie de chaque région pose des problèmes spécifiques en fonction des conditions climatiques, hydrologiques et géologiques qui entraîne une complexité hydrogéologique plus ou moins grande : nombre de nappes superposées, fractionnement en unités indépendantes ou communicantes, variété de concentration des eaux, importance de l'exploitation des eaux souterraines.

Il est évident que l'existence d'une nappe (phréatique ou profonde) est une condition minimum pour qu'une carte hydrogéologique présente un intérêt. Sinon elle se réduit à une carte lithologique ou structurale agrémentée de quelques indications tectoniques et de points d'eau isolés. Une telle carte qui ajoute peu de chose à une carte géologique bien faite, ne mérite pas le nom de carte hydrogéologique. Quant aux cartes de points d'eau, elles sont essentiellement des documents d'archives, dont la publication ne s'impose pas.

Plus la complexité hydrogéologique est grande, plus il semble nécessaire de sélectionner parmi les faits à représenter, ceux qui sont essentiels.

Les nécessités imposées par les conditions de publication doivent enfin entrer aussi en ligne de compte. Le fond topographique pré-existant et le format voulu conditionnent souvent le choix de l'échelle. D'autre part, le choix des procédés graphiques et du nombre de couleurs dépend rarement de seules raisons techniques.

II — ELEMENTS A FAIRE FIGURER SUR UNE CARTE HYDROGEOLOGIQUE

Ces éléments pourraient se répartir en deux classes : ceux dont la figuration doit être à peu près systématique et ceux dont la figuration sera surtout fonction des particularités locales et de la mesure dans laquelle ils ne risquent pas de nuire à la clarté de l'ensemble.

Parmi les premiers, on rangera les éléments géologiques et hydrographiques, les sources et autres points d'eau, la surface piézométrique de la nappe phréatique, l'extension de nappes profondes, les ouvrages hydrauliques. Parmi les seconds : la qualité chimique des eaux, la surface piézométrique de nappes profondes, les puissances aquifères, la topographie souterraine des murs ou toits imperméables, les coefficients de transmissivité et d'emménagement.

1. *Lithologie*

La représentation de la nature lithologique des terrains affleurants, doit surtout faire ressortir le degré et le type de perméabilité : on peut suggérer l'emploi de figures

EXEMPLES DE
FIGURES CONVENTIONNELLES POUR UNE CARTE HYDROGÉOLOGIQUE

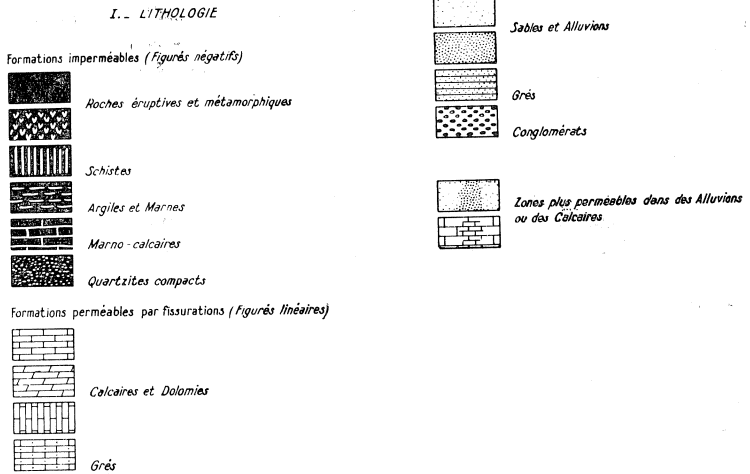


Fig. 1 — Lithologie

« négatifs » pour les terrains imperméables et « positifs » pour les terrains perméables (fig. 0), sans entrer dans les distinctions trop nuancées. Ce mode de représentation présente l'avantage de permettre de réduire le nombre de couleurs utilisées et d'alléger la carte plus que l'emploi de teintes unies nombreuses.

Les contours ne coïncideront pas nécessairement avec ceux de la carte géologique, la carte lithologique pouvant être plus détaillée que cette dernière ou au contraire ignorer certaines coupures stratigraphiques.

L'emploi de couleurs neutres et peu nombreuses paraît préférable, les couleurs plus vives devant être réservées à des figures hydrologiques.

2. Tectonique

Le maximum d'indications tectoniques est à porter sur la carte, qui pourra être plus détaillée à ce point de vue que la carte géologique classique : pendages mesurés, axes anticlinaux et synclinaux, failles et contacts anormaux.

3. Hydrographie et hydrologie superficielle

On distinguera les cours pérennes des non pérennes, en indiquant pour les premiers le sens de variation du débit s'il y a lieu : ceci est surtout important dans les régions arides. La figuration des lignes de partage des eaux (limites de bassins versants et de sous-bassins), est également utile, de même que tous les plans d'eau naturels ou artificiels (lacs, étangs, marais, bassins de retenue).

Le figuré des points d'eau peut difficilement être complété systématiquement par la mention de renseignements ponctuels, tels que la température et le débit des sources, la profondeur de l'eau des puits, la qualité chimique de l'eau. Outre que la plupart de ces données varient dans le temps et qu'on devrait se borner à mentionner une valeur moyenne estimée plus ou moins arbitrairement, ces renseignements risquent de charger la carte à l'excès, surtout si les points d'eau sont nombreux.

Il en est de même de la mention de numéros de référence à un Inventaire qui ne paraît utile que pour des points d'eau importants (sources, forages, drains).

On peut suggérer que le nom des sources soit écrit en caractères proportionnels au débit, de la même façon que les noms de villes par rapport à la population, sur les cartes géographiques et qu'il soit souligné dans le cas de sources thermo-minérales.

Sources.

La figuration des sources pose un problème de classification. On ne peut entrer ici dans une étude critique complète des nombreuses classifications proposées et on se bornera à formuler quelques observations, en se limitant à l'objectif précis de la cartographie.

La classification de sources à adopter pour la représentation cartographique, doit semble-t-il répondre aux exigences suivantes :

comprendre un petit nombre de classes, reposer sur un critère unique et simple, rapidement et aisément déterminable sur le terrain, donner la prédominance à un critère hydrogéologique de préférence à tout autre (géologique pur, géographique, topographique, géochimique ou hydraulique). Or la plupart des classifications proposées par divers auteurs (Gärtner, Meinzer, Kirk Bryan, Tolman, Blasquez) sont trop complexes pour constituer une base cartographique : ou bien les critères de base utilisés ne sont pas d'ordre hydrogéologique, ou bien aucune hiérarchie entre les multiples critères utilisés pour les divisions et les subdivisions n'est définie ni appliquée.

Le critère hydrogéologique de base doit être le rôle d'une variation de perméabilité de l'aquifère, c'est à dire l'absence ou la présence de l'imperméable et la position de ce dernier par rapport à la source.

On proposera donc, en s'inspirant surtout des classifications de Imbeaux et de Schoeller, les types de sources suivants :

a) *Emergence* : source résultant d'une intersection de la surface piézométrique d'une nappe avec la surface du sol, sans intervention visible d'un imperméable.

b) *Source de déversement* : source au contact — ou proche — du mur imperméable affleurant du niveau aquifère.

c) *Source de débordement* : source au contact — ou proche — du toit imperméable affleurant du niveau aquifère (en structure inclinée), ou d'un imperméable latéral.

d) *Source artésienne* : source provenant d'une nappe en charge, à travers un toit imperméable (généralement par faille).

On ajoutera deux cas particuliers d'émergence, courants dans les terrains calcaires:

e) *Exsurgence* : débouché d'un réseau aquifère en milieu fissuré

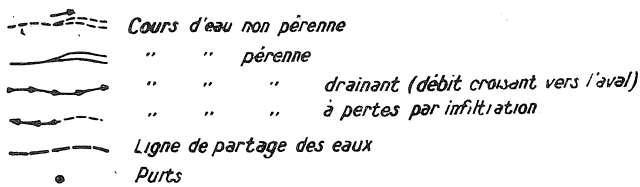
f) *Résurgence* : débouché d'une rivière souterraine provenant au moins en partie d'une perte d'un cours d'eau superficiel.

Des figurés simples pour ces 6 types de sources sont proposés ci-contre.

4. *Nappe phréatique*

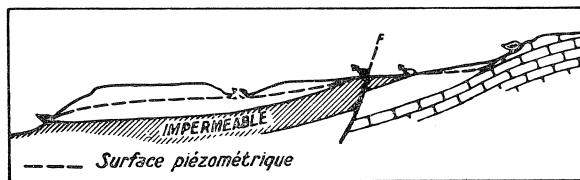
Le figuré le plus important est celui de la surface piézométrique, représenté par courbes isopièzes ou équipotentielles (correspondant à un niveau d'étiage moyen de la nappe). L'équidistance des courbes est choisie en fonction du gradient de la nappe, de la densité des points d'eau (c'est à dire de la précision effective obtenue) et de l'échelle. La représentation des lignes perpendiculaires (filets d'eau) ne peut se substituer à celle des courbes isopièzes et ne paraît pas ajouter assez de précision pour figurer sur une carte publiée.

La représentation des profondeurs de la nappe par figuré de courbes isobathes peut être plus directement accessible pour l'utilisateur praticien, mais elle est surtout



SOURCES

- Emergence
- Source de déversement
- ⊖ " de débordement
- ⊕ Exurgence
- ⊖ " vaucloisienne intermittente
- Source artésienne
- ⊖ Résurgence



OUVRAGES HYDRAULIQUES

- ⊙ Puits avec aménagement pour pompage
- ⊕ Station de pompage publique ou collective
- ⊕ Forage stérile
- ⊕ " productif
- ⊕ " artésien
- Drain
- " primitif ("Rhettars" ou "foggara" en Afrique du Nord)
- Captage de source
- " pour l'alimentation d'un centre urbain
- Conduite d'adduction d'eau
- ⊕ Réservoir
- Barrage de dérivation
- " souterrain
- " de retenue
- Canal d'irrigation

Fig. 2 — Hydrographie et hydrologie

significative dans une région très plane (plaine alluviale) où la surface piézométrique peut être plus accidentée que celle du sol. Elle paraît difficilement superposable à celle des courbes isopièzes sans nuire à la clarté et convient mieux à une carte annexe.

Il en est de même pour la représentation par courbes de la surface du mur imperméable et des puissances aquifères (courbes isopaques), lorsqu'elles sont assez connues.

Egalement intéressante peut être la représentation des variations de facies ou de nature lithologique de l'aquifère au niveau supérieure de la nappe : elle peut se concevoir par de simples changements de teinte des courbes isopièzes. L'arrêt du figuré de ces courbes peut enfin indiquer avec une précision suffisante les limites horizontales de la nappe. La représentation de la surface piézométrique par des courbes assez rapprochées rend inutile toute autre figuration de l'extension de la nappe par des rayures ou des couleurs unies.

5. *Nappes profondes*

La représentation de leur surface piézométrique, rarement connue avec autant de précision que celle d'une nappe phréatique, au moyen de courbes isopièzes, peut difficilement être superposée à celle de la nappe phréatique si elle existe, même en employant des couleurs différentes.

Il sera préférable de réserver des cartes annexes à cet effet et de ne représenter sur la carte principale que les limites d'extension connues ou supposées de ces nappes, ainsi que les points où leur existence est reconnue (sondages), avec mention de la profondeur du toit du niveau aquifère et de l'altitude de la surface piézométrique.

6. *Géochimie des eaux*

L'adjonction à la carte hydrogéologique d'indications géochimiques est beaucoup plus importante dans les régions arides et subarides, où les eaux sont très concentrées, que dans les régions humides. Le figuré de « courbes isocones » (concentration totale ou concentration de certains ions) est en régions arides d'une utilité pratique directe et il est souhaitable qu'il puisse être superposé à la carte de la surface piézométrique. Il peut se concevoir aussi par une gamme de teintes unies.

Des cartes plus particulières, comme celles de certains rapports d'ions caractéristiques, qui sont surtout des documents de travail, peuvent à la rigueur être annexées dans une notice.

7. *Hydraulique souterraine*

Il est rare que les caractéristiques hydrauliques des niveaux aquifères, (coefficients de perméabilité, de transmissivité et d'emmagasinement, débit spécifique) soient connus assez bien pour être cartographiables et en outre leur variation verticale, en général plus grande que leur variation horizontale soulèverait des difficultés. Si l'on dispose de données suffisantes, il sera possible d'exprimer les ordres de grandeur de ces caractéristiques par des figurés lithologiques plus ou moins denses par exemple, ou encore en utilisant une gamme de teinte pour chacun d'eux (fig. 1). Il convient de définir avec précision les caractéristiques représentées : trop souvent des cartes font mention de *débit* sans préciser s'il s'agit d'un débit spécifique exploitable par pompage, d'un module d'alimentation par unité de surface ou d'un débit moyen d'écoulement par unité de surface de front de nappe.

8. Les ouvrages hydrauliques

Il convient de figurer par des signes conventionnels d'une part tous les ouvrages hydrauliques de surface (barrages de retenue ou de dérivation, principaux canaux d'irrigation ou de navigation, digues, conduites d'adduction d'eau et réservoirs, conduites forcées), de même que les zones d'irrigation ou d'épandage et éventuellement les points d'injection où les bassins créés pour recharge de nappe; d'autre part tous les ouvrages d'exploitation d'eau souterraine ou de rabattement de nappe (captages de sources, drains, barrages souterrains, stations de pompage de toutes catégories, forages productifs ou stériles).

III — CHOIX DE L'ÉCHELLE

Il sera surtout fonction du but poursuivi, mais aussi de la complexité de la région cartographiée et du degré de précision des connaissances. Il peut aussi dépendre dans une certaine mesure des fonds topographiques existants.

Une carte à but surtout scientifique et technique ne peut guère dépasser l'échelle de 1/50.000. Au delà, il s'agira surtout d'une carte de synthèse (1/50.000 à 1/100.000). Enfin les échelles de l'ordre de 1/200.000 au 1/500.000, ne conviennent, comme les cartes géologiques de cette échelle, qu'à des cartes de reconnaissance ou synthèse très simplifiée pour l'exposition.

IV — MODE DE PUBLICATION

Le choix peut se présenter entre un calque hydrogéologique superposable à une carte géologique, pédologique ou simplement topographique et une carte hydrogéologique autonome.

La première solution présente des avantages certains pour certains types de cartes de petit format, réalisées dans un but principalement scientifique. On peut alors, par exemple dans un Atlas, répartir les éléments cartographiés sur plusieurs calques superposables, ensemble ou séparément à une carte géologique. Le principal avantage est la possibilité de réduire au minimum les figurés géologiques et topographiques et d'obtenir une carte peu chargée.

Les inconvénients sont cependant sérieux : il n'existe pas toujours une carte géologique publiée, à l'échelle choisie, couvrant la même région et suffisamment précise. Les coupures d'une carte hydrogéologique ne sont pas nécessairement celles de la carte géologique générale.

Enfin le maniement d'un calque est incommode dès qu'il dépasse un certain format.

Il semble donc préférable dans le cas général, que la carte hydrogéologique forme un document complet, ce qui ne saurait gêner sa confrontation avec la carte géologique.

CONCLUSIONS

En résumé, on peut concevoir l'établissement dans un pays donné, de trois types de cartes hydrogéologiques.

1. Des cartes régionales de chaque bassin ou sous-bassin sédimentaire constituant une « province hydrogéologique » homogène à des échelles de l'ordre du 1/20.000 au 1/50.000, pouvant se compléter lorsqu'elles couvrent des régions assez vastes

nécessitant plusieurs coupures, par une synthèse au 1/100.000 à 1/200.000. Les notices auront un caractère monographique et comporteront de nombreux documents annexes.

2. Des cartes techniques s'adressant à des usagers d'eau souterraine et couvrant seulement des régions où les problèmes sont assez importants et les usagers assez nombreux. Leur notice sera essentiellement pratique.

3. Une carte générale au 1/500.000 ou au 1/1.000.000 couvrant tout le pays, à but surtout didactique et pédagogique.

PRÉSENTATION, COMME EXEMPLE, DE LA CARTE HYDROGÉOLOGIQUE DU TAFILALT AU 1/50.000

La plaine du Tafilalt, dans le Sud-Est pré-saharien du Maroc, présente des conditions très simples : c'est une plaine alluviale quaternaire comportant une nappe phréatique sur un substratum primaire toujours stérile. La forte concentration des eaux (de 1 à 25 g/l), effet du climat aride, a incité à compléter la carte de la surface piézométrique (en courbes isopièzes équidistantes de 1 m) par le figuré de la concentration (au moyen d'une gamme de teintes unies et de courbes isocones équidistantes de 1 g/l).

Une seule couleur, en divers figurés, a servi à représenter les affleurements du Primaire qui forment un encadrement complet de la plaine.

A l'échelle du 1/50.000 la carte forme une seule feuille de format 0,7 × 1 m. Il n'existe pas de carte géologique à la même échelle.