

UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL
CENTRE D'HYDROGÉOLOGIE

DISPOSITIFS D'OBSERVATION
PROBLÈMES D'ÉCHANTILLONNAGE
EN HYDROLOGIE
ET EN HYDROGÉOLOGIE

par

L. KIRÁLY

N° 1 (1974)

INSTITUT DE GÉOLOGIE
rue Emile-Argand 11
2000 NEUCHÂTEL 7 - (SUISSE)

SOMMAIRE

1. GENERALITES
2. SUGGESTIONS POUR UNE METHODE d'ECHANTILLONNAGE GENERALE
3. CONCLUSIONS

1. GENERALITES

Le but de l'échantillonnage est de pouvoir reconstruire le champ des variables hydrologiques ou hydrogéologiques, ainsi que les variations temporelles de ce champ ou les corrélations entre les variables, à partir de quelques observations ponctuelles dans l'espace, ponctuelles ou continues dans le temps. L'ensemble de ces observations doit être un échantillon représentatif du champ des variables étudiées. Le rôle du dispositif d'observation est de fournir cet échantillon représentatif. L'analyse des échantillons se fait par des méthodes statistiques et des résultats de l'analyse statistique peuvent servir de base dans un processus de décision (confirmation d'une interprétation causale des phénomènes, choix d'attitude sur le plan de l'intervention humaine, etc.).

La densité (dans l'espace et dans le temps) des observations, donc le "plan d'échantillonnage", dépend surtout:

- a. de la nature des renseignements désirés (but de la campagne d'observation)
- b. de la valeur pragmatique des renseignements désirés (le prix que l'on est prêt à payer pour obtenir ces renseignements)
- c. de la structure intrinsèque du champ des variables (variabilité spatiale et temporelle).

L'importance du point "a" paraît évidente. La densité des piézomètres, par exemple, est très différente suivant qu'ils servent à estimer la transmissivité et la porosité des terrains autour d'un puits ou qu'ils doivent fournir des renseignements sur la surface d'une nappe étendue. Si l'on veut tester la corrélation entre perméabilité "in situ" et résistivité électrique des terrains, les forages doivent être implantés autrement que pour l'étude de l'hétérogénéité spatiale de la perméabilité. Bref, le plan d'échantillonnage

dépendra toujours du problème à résoudre, le meilleur plan d'échantillonnage étant celui qui fournit des renseignements pour plusieurs problèmes. Avant l'implantation du dispositif d'observation il est donc indiqué de faire une étude exhaustive des problèmes et des différentes méthodes de solution envisagées.

La condition "b" joue, évidemment un rôle capital, encore que son évaluation se fait, à notre avis, de façon extrêmement sommaire. On économise trop souvent sur le dispositif d'observation (quelques milliers ou quelques dizaines de mille francs) alors que ce même dispositif d'observation pourrait indiquer à partir de quel moment les installations valant parfois plusieurs millions de francs, sont mis en danger par une exploitation non adaptée aux circonstances. Souvent on renonce, par mesure d'économie, à employer une "maille d'échantillonnage" qui permettrait une analyse statistique plus complète des données alors que des intérêts considérables sont en jeu et dépendent des décisions basées sur l'analyse des "échantillons". Il est tout à fait normal que l'on cherche à investir le moins possible dans l'échantillonnage et dans le dispositif d'observation, mais il faut que ce "minimum investi" permette encore la solution du problème posé.

Il faut, toutefois, bien admettre que la condition économique (la "valeur" des renseignements pour la ou les communautés) est la plus difficile à évaluer car outre les questions "techniques" (coût "objectif" des installations), des questions politiques, sociologiques et "idéologiques" entrent aussi en jeu pouvant "augmenter" ou "diminuer" la valeur des renseignements désirés. Cette "valorisation" (ou "dévalorisation") politique ou sociologique n'apparaît malheureusement, pas aussi clairement dans les décisions qu'il serait souhaitable.

La condition "c" (variabilité spatiale et temporelle des caractères étudiés) est, du point de vue "scientifique" ou "technique", la plus importante pour les problèmes d'échantillonnage. Dans chaque problème d'échantillonnage l'idée de "prévision des valeurs d'une variable à partir de quelques observations" est impliquée de façon plus

ou moins claire. Dans des systèmes naturels aussi complexes que les systèmes hydrologiques ou les systèmes hydrogéologiques, toute prévision (interpolation dans l'espace ou extrapolation dans le temps) comporte une certaine erreur (plus ou moins grande) et la détermination de cette erreur probable a une importance capitale dans l'utilisation des "échantillons". Or, l'erreur probable sur la valeur "prévue" d'un caractère (perméabilité, porosité, gradient, précipitation, etc) dépend directement de l'hétérogénéité spatiale ou temporelle de la variable étudiée. Si, par exemple, les variations "locales" de la perméabilité sont grandes, l'interpolation de la perméabilité entre deux puits ne peut se faire qu'avec une erreur importante. Si les précipitations mesurées à la même altitude varient beaucoup d'une station à l'autre, la prévision des précipitations à partir des altitudes comportera une erreur importante. La densité des piézomètres devrait être plus grande pour la surveillance d'une nappe "hétérogène" que pour la surveillance d'une nappe "homogène", etc. Il nous paraît donc très important d'avoir une idée sur la variabilité "locale" par rapport à la variabilité "régionale" des caractères hydrogéologiques étudiés.

2. SUGGESTIONS POUR UNE METHODE D'ECHANTILLONNAGE GENERALE

Il semble prétentieux de vouloir définir une méthode d'échantillonnage générale adaptable pour tous les problèmes particulier et pour tous les "budgets", aussi nous contentons-nous d'évoquer quelques problèmes importants et donner quelques suggestions.

2.1 Potentiel et gradient hydrauliques

La surface de la nappe peut être observée dans un piézomètre perforé sur toute sa longueur. Le potentiel hydraulique peut être mesuré en un "point" de la nappe si le piézomètre est perforé dans le voisinage de ce "point" seulement. Les potentiels mesurés en trois "points" relativement rapprochés et non co-linéaires permettent de déterminer la direction d'une surface isopiézométrique et la direction du

gradient. Si l'on admet que les surfaces isopiézométriques sont verticales, les trois mesures permettent de déterminer la valeur absolue du gradient également.

Les potentiels mesurés en quatre points " non tous co-planaires, permettent de calculer l'orientation spatiale de la surface piézométrique (direction et inclinaison), l'orientation du gradient (direction et plongement), ainsi que la valeur absolue du gradient. L'arrangement des piézomètres montré "en plan" par la figure 1, permet une mesure "exacte" du gradient (orientation et valeur absolue) si le piézomètre central prend la "pression" de la nappe à une profondeur différente que les trois autres

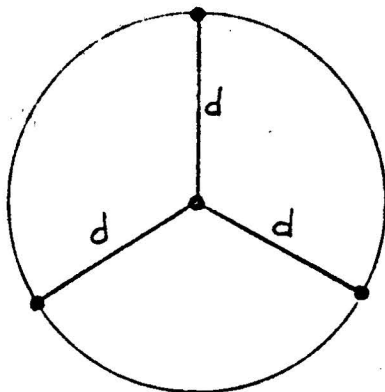


Figure 1

La distance d est de quelques mètres à une dizaine de mètres suivant la perméabilité des terrains qui peut être estimée grossièrement après l'exécution du premier piézomètre central. L'avantage d'un tel groupe de piézomètres est que l'on peut estimer à tout moment l'orientation des lignes d'écoulement (direction et plongement) en cet endroit. Si l'on connaît la perméabilité on peut calculer le débit de la nappe par unité de surface perpendiculaire au gradient. Soulignons que si les quatre piézomètres étaient répartis "uniformément" sur une plus grande région, nous ne pourrions jamais calculer le plongement du gradient (écoulement vers le haut ou vers le bas?). Le groupes de piézomètres fournit en même temps une indication sur la variabilité locale du niveau piézométrique en toutes

les circonstances (alimentation, exploitation, etc.) Si cette variabilité locale est relativement faible par rapport à la variabilité régionale, nous pouvons interpoler les hauteurs moyennes, gradients ou débits, avec plus de confiance même entre des groupes relativement éloignés. Il est évident que pour des raisons économiques, le nombre de ces groupes devrait rester relativement petit dans une région donnée, mais nous sommes persuadés que la plupart des problèmes pratiques pourrait être abordée de façon plus adéquate à l'aide d'un tel "plan d'échantillonnage".

2.2 Perméabilité et porosité des aquifères

La détermination "in situ" de la perméabilité et de la porosité du milieu poreux se fait à l'aide des essais de pompage dans un piézomètre ou dans un puits, généralement en régime transitoire. Il existe des méthodes permettant l'estimation de K et S à l'aide d'un seul puits, sans piézomètre, mais pour une détermination "sérieuse" de ces paramètres, on devrait avoir au moins 3 piézomètres autour du puits, situés à des distances différentes. Un arrangement "idéal" est montré en plan par la figure 2.

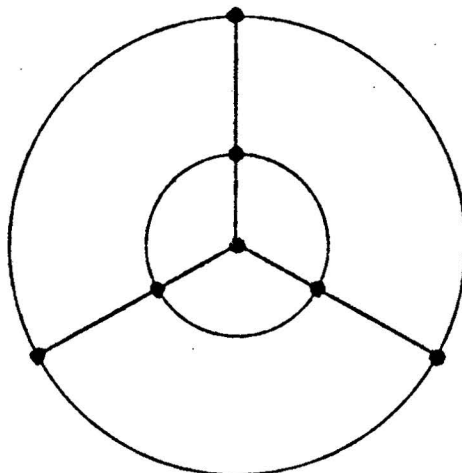
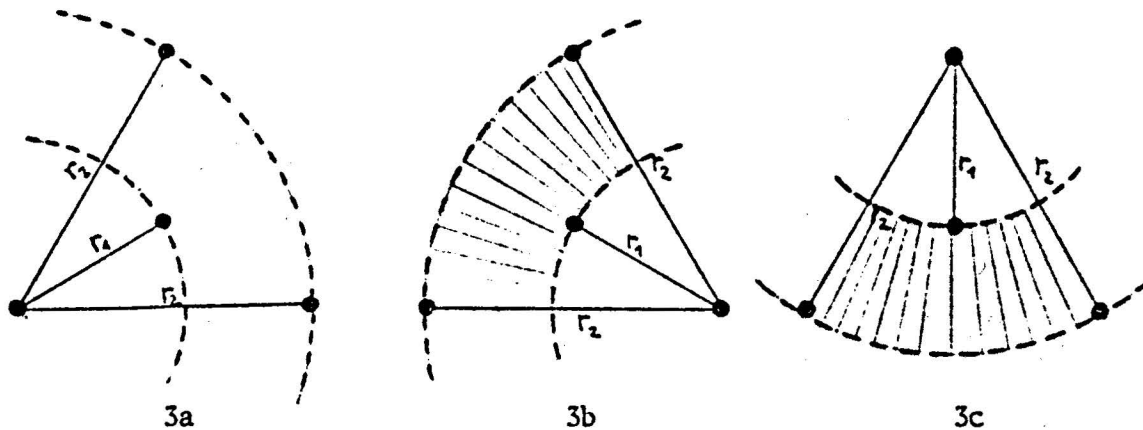


Figure 2

Ce groupe de 7 piézomètres (dont un fonctionne comme un puits) ne pourrait être réalisé que pour des ouvrages importants. Toutefois, on pourrait utiliser avantageusement le groupe de quatre piézomètres de la figure 1 de la façon suivante (figures 3 a, 3 b, 3 c) :



On pompe dans chacun des piézomètres situés aux sommets du triangle, en utilisant les trois autres comme des piézomètres d'observation. On obtient ainsi trois valeurs de perméabilité et de coefficient d'emmagasinement montrant non seulement la variabilité locale de ces paramètres, mais pouvant encore indiquer une éventuelle anisotropie que l'on peut facilement contrôler par un pompage dans le piézomètre central. Si la variabilité de K et S est plus faible à l'intérieur des groupes qu'entre les groupes, on interpole les paramètres avec plus de confiance même entre des groupes relativement éloignés. Chaque carte de perméabilité pourrait être doublée par une carte des erreurs probables (limite inférieure et limite supérieure probables autour des valeurs moyennes estimées). On pourrait ainsi mieux délimiter les parties "homogènes" et "hétérogènes" de l'aquifère, facilitant l'implantation définitive des ouvrages de captages.

2.3 Température, chimisme, pollution

Les groupes représentés sur les Figures 1 et 3 permettrait aussi une meilleure estimation des gradients de température et des gradients de concentration de composées chimiques ou de matières polluantes. L'orientation de ces gradients (qui peut être très différente de l'orientation du gradient hydraulique) pourrait indiquer de façon plus exacte la source des flux thermiques, chimiques ou de matières polluantes que les piézomètres isolés.

2.4 Analyse statistique des échantillons

Soulignons enfin que ce plan d'échantillonnage "emboîté" (groupe de piézomètres rapprochés se répétant à des intervalles plus ou moins réguliers) permet une analyse statistique plus complète des observations que les piézomètres isolés. Une erreur probable d'estimation peut être trouvée aussi bien pour les cartes représentant les valeurs moyennes des paramètres que pour les corrélations (courbes de régression) entre les divers caractères étudiés. L'analyse de variance montrerait clairement le rapport entre variabilité locale et variabilité régionale des paramètres, facilitant ainsi l'implantation des ouvrages définitifs ou des dispositifs d'observation ultérieurs.

2.5 Utilisation pour les modèles et pour la surveillance de l'exploitation

Lors de la simulation d'une nappe l'imposition de flux traversant les "limites" de la région étudiée donne de meilleurs résultats que l'imposition des hauteurs variables, les limites à hauteur fixe étant généralement rares. Les groupes de piézomètres décrits pourraient être placés sur les limites d'une "nappe" exploitée et donner, ainsi, des renseignements sur le flux traversant les limites de la région simulée. Les changements de gradient et du potentiel aux limites éloignées des ouvrages de captages permettraient de prévoir les difficultés d'exploitation qui surgiront plus tard seulement aux ouvrages de captage même.

2.6 Plan d'échantillonnage emboîté dans le temps

La variation d'une valeur dans le temps peut être enregistrée de façon continue ou peut être représentée par une série d'observations effectuées à intervalles réguliers. Dans le dernier cas, cet intervalle d'échantillonnage "définitif" devrait être déterminé par un échantillonnage "emboîté" préliminaire en effectuant des observations à intervalles courts et en répétant ces "groupes" d'observations rapprochées à intervalles plus longs. Le rapport entre la variabilité à court terme et la variabilité à long terme permettra ensuite de fixer l'intervalle d'observation à sa valeur optimale pour la représentativité des mesures.

3. CONCLUSIONS

Pour l'observation des paramètres hydrogéologiques et hydrologiques nous suggérons l'emploi de plans d'échantillonnage "emboîté" plutôt que l'emploi de plans d'échantillonnage à "maille régulière". Dans les systèmes naturels, généralement hétérogènes, la première méthode d'échantillonnage permet d'obtenir des renseignements plus variés et plus intéressants que la seconde méthode.

Neuchâtel, le 25 mars 1974.