

L'ÉTUDE DU CYCLE DE L'EAU SUR UN BASSIN D'INVESTIGATION

PAR
J. JACQUET *
ET
Y. CORMARY *

Avant-propos

Parlant du cycle de l'eau, il est illusoire de prétendre apporter des lumières nouvelles et universelles sur la nature bien connue du phénomène. Par ailleurs, vu la diversité des objectifs et la multiplicité des méthodes d'approche utilisées pour son étude dans les conditions naturelles les plus variées, il ne saurait être question, dans le court délai d'un exposé, d'en présenter le bilan : la valeur des résultats dépendant directement du contexte local dans lequel ils ont été établis. Aussi nous sommes-nous bornés à essayer de tirer de ces expériences une philosophie — sans doute un peu aride — et surtout d'en dégager une politique d'action logique pour l'avenir en matière de recherche hydrologique.

Cet essai s'appuie d'abord sur deux expériences concrètes et personnelles, conduites de manière parallèle et indépendante :

- par la Division Hydrologie du Centre de Recherches et d'Essais de Chatou, en particulier sur les bassins d'Alrance (Aveyron) et de la Haute-Dordogne où ont été étudiés les problèmes de formation d'hydrogrammes et des relations pluie-débit;
- par le Centre de Recherche du Génie rural de Tunisie où l'on s'est davantage penché sur le problème de l'analyse des données régionales et sur celui de l'extrapolation géographique des résultats de petits bassins d'analyse.

Ces travaux ont fait ou feront l'objet de publications, de même que ceux analogues effectués notamment en France par le Centre de Recherches et d'Expérimentation du Génie rural, et Outre-mer par le Service hydrologique de l'ORSTOM : nos propos doivent beaucoup aux échanges fructueux qui se sont développés avec ces services.

* Centre de Recherches et d'Essais de Chatou.

Position des problèmes du cycle de l'eau aux différentes échelles d'espace et de temps

Du fait du développement rapide de la France sur les plans urbain, industriel et agricole, le problème pratique de la détermination et de l'utilisation rationnelle des ressources en eau intéresse des secteurs de la vie du pays de plus en plus larges, des régions de plus en plus étendues. Aussi la précision avec laquelle il est résolu doit progresser aussi bien en ce qui concerne la connaissance de ces ressources dans l'espace que celle de leur évolution dans le temps.

Parallèlement, il faut tenir compte du fait que les perturbations apportées par l'homme dans le cycle naturel de l'eau sont de plus en plus importantes et l'un des soucis majeurs des praticiens est de savoir dans quelle mesure il est possible de modifier la distribution dans l'espace et dans le temps de ces ressources du fait de la discordance croissante à ces deux points de vue entre besoins et ressources mobilisables.

La multiplicité et la variété géographique des zones d'étude, la diversité des points de vue des utilisateurs et les délais impartis (quelques années) posent à l'Hydrologie en général et à la Recherche hydrologique en particulier le problème du choix des méthodes les plus efficaces à appliquer. Nous supposons admis que cette recherche garde ses impératifs, son rythme, ses méthodes, mais se veut appliquée et au service des utilisateurs. Il importe donc de préciser comment se posent concrètement les problèmes d'estimation des ressources en eau dans l'espace (à différentes échelles d'utilisation) et dans le temps (distribution des ressources et des besoins de prévision de leur évolution).

Nous considérerons, pour fixer les idées, deux

échelles d'espace assez arbitraires correspondant l'une aux bassins versants inférieurs à 100 km², l'autre aux bassins supérieurs à 100 km² :

— Dans la première classe constituée de petits bassins, les eaux souterraines sont utilisées essentiellement à l'alimentation en eau des petites et moyennes collectivités locales : beaucoup de questions relèvent encore de « l'hydrogéologie du puisatier » et concernent des nappes peu profondes et peu étendues, à tarissement et réalimentation assez rapide.

L'agriculture avec le développement de l'irrigation de complément (multiplication des retenues collinaires qui contrôlent des bassins de 0,5 à 10 km²) et l'hydroélectricité (prises d'eau en montagne) sont les principaux utilisateurs des eaux superficielles de ces petits bassins. La connaissance des ressources en eau au droit de chaque ouvrage serait donc nécessaire pour son dimensionnement et son exploitation, mais des données hydrologiques plus précises concernant notamment les crues à craindre sont également indispensables pour la détermination de ses organes de protection. A ce dernier aspect, il faut rattacher les questions d'hydrologie qui intéressent au premier chef les Travaux Publics pour le dimensionnement des ouvrages secondaires (ponceaux, buses, etc.) des réseaux de voies de communication et le calcul des ouvrages de drainage des eaux pluviales de zones urbaines ou industrielles; le surdimensionnement préventif de tels ouvrages reproduits à des milliers d'exemplaires coûte cher. C'est donc par dizaines de milliers qu'il faudrait ici décompter les points où des données hydrologiques seraient nécessaires à l'échelle d'espace considérée : il est évidemment impensable de constituer un tel réseau.

— A plus grande échelle (bassins versants dont la superficie dépasse 100 km²), l'importance et l'urgence n° 1 reviennent aux ressources en eaux souterraines dont l'inventaire est rendu plus délicat par les perturbations causées par l'exploitation des nappes. Les questions majeures sont ici les problèmes de chronologie des relations pluie-nappe pour l'étude de l'alimentation et de la réalimentation artificielle des aquifères souterrains. Ce problème chronologique est d'ailleurs lié au problème plus général de la prévision hydrologique, qui prend d'autant plus d'importance pour les eaux de surface qu'il concerne des bassins plus étendus ou l'exploitation de ressources en eau pour des buts multiples (protection contre les crues, renforcement des étiages, irrigation, production d'énergie, eau de refroidissement, plaisance et tourisme). Il apparaît enfin la nécessité d'établir des synthèses à l'échelle régionale à partir d'un canevas de stations : par exemple pour étudier l'évolution quantitative des disponibilités en eau de l'amont vers l'aval d'un bassin en tous les points d'utilisation avec tous les problèmes que cela soulève (extrapolation de données ponctuelles à un tronçon de cours d'eau, problèmes particuliers aux confluences, pertes, etc.).

Donc en pratique, un problème d'hydrologie est toujours posé en termes bien définis d'espace : il l'est également en ce qui concerne l'échelle des temps. Tout problème de ressources en eau ou de prévision hydrologique se ramène en effet à l'estimation des termes d'un bilan qui, pour une zone

et un intervalle de temps déterminés, exprime quantitativement le cycle de l'eau :

$$P = Q + E + \Delta R$$

- P : représente les apports d'eau atmosphérique sur la zone pendant l'intervalle de temps considéré;
- Q : représente le volume d'écoulement de surface contrôlé aux exutoires de la zone étudiée;
- E : représente le volume d'eau évaporée et transpirée par la végétation;
- ΔR : représente la variation des réserves d'eau en surface et dans le sol entre l'instant initial et l'instant final de la période considérée : c'est sur ce terme que pèsent généralement les incertitudes les plus grandes qui, par voie de conséquence, excluent souvent l'écriture des bilans à échelle de temps fine.

Cette relation pourra être appliquée aux divers types d'aquifères naturels ou de réservoirs artificiels (nappes souterraines, lacs, bassins versants, parcelles de sol, etc.) et à différentes échelles de temps :

- à l'échelle interannuelle : évaluation globale des ressources en eau d'une région;
- à l'échelle annuelle : étude du régime d'un cours d'eau en vue de sa régularisation;
- à l'échelle saisonnière : étude des étiages, de l'écoulement consécutif à la fusion nivale ou glaciaire;
- à l'échelle de l'épisode pluvieux (quelques jours) : étude des crues, relations pluie-débit;
- à l'échelle journalière : étude des besoins en eau de la végétation, problèmes de drainage d'eaux pluviales.

Il est demandé de plus en plus à l'hydrologue non seulement de *décrire* ce qui est en explicitant les différents facteurs du bilan aux échelles d'espace et de temps choisies, mais encore d'*expliquer* les interactions entre ces facteurs afin de *prévoir* l'évolution consécutive à la variation de l'un d'eux : le but recherché étant de *modifier* les conditions naturelles en introduisant un dispositif de régularisation ou une technique visant à l'accroissement des disponibilités en eau mobilisables pour la satisfaction de besoins variables dans l'espace et le temps.

La solution de tels problèmes dépend tout d'abord de l'information disponible. Pour ne parler que des eaux de surface, il existe actuellement en France un réseau d'environ 1 000 stations de jaugeage, d'ancienneté, de valeur diverses et dont la distribution géographique correspond assez mal à la localisation des besoins maximaux. Après remodelage du réseau, il est prévu un optimum voisin de 1 500 stations primaires et secondaires. La question qu'il faut alors poser est double :

- est-il possible, avec les données actuellement existantes, de répondre à l'ensemble des problèmes précédemment posés par des travaux d'interprétation statistique de ces données?
- chaque problème hydrologique particulier posé en un point où il n'existe pas de station de mesure, est-il justiciable à ce moment-là d'une nouvelle installation et doit-on différer son examen jusqu'à ce que l'on dispose d'une série suffisamment longue d'observations au point considéré?

La réponse à ces questions se déduira de l'ana-

lyse des deux attitudes extrêmes que l'on peut adopter, de façon très schématique, pour traiter un problème de ressources en eau pour lequel les débits d'une rivière ou les niveaux d'une nappe peuvent être considérés comme les résultantes d'un ensemble complexe de facteurs. On peut :

- soit observer cette résultante et en décrire les variations où et quand on a besoin de la connaître;
- soit analyser la combinaison de ses facteurs conditionnels afin de prédéterminer cette résultante en un point quelconque à partir de la connaissance des facteurs dominants qui la réalisent.

Ces deux attitudes ont leurs vertus et leurs limites.

L'étude du cycle de l'eau par les méthodes de l'hydrologie descriptive

La première attitude conduit à la description *historique* de la distribution des ressources qui relève des méthodes de l'hydrologie statistique : on précise ainsi une probabilité d'occurrence portant en général sur un paramètre déterminé qui a été choisi soit par son caractère utilitaire, soit par la facilité de sa mesure.

Ce résultat est éminemment précieux mais son obtention est subordonnée à des conditions limitatives très strictes :

- du fait des problèmes d'échantillonnage qui supposent la disposition de séries d'observations longues et homogènes (continuité dans la qualité d'exploitation des stations, absence de distorsions introduites par l'intervention humaine dans le phénomène mesuré;
- de ce fait, le nombre des points où existent de telles séries de mesures est extrêmement limité (1).

Cette description *historique* est complétée par la description *chronologique* des événements (étude de la dépendance d'événements successifs et liaisons en chaîne par les méthodes d'analyse statistique des séries chronologiques). Cette étape est importante, car la mise en évidence de liaisons dans le temps entre les débits successifs d'un cours d'eau par exemple introduit une nouvelle dimension essentielle au problème des ressources en eau : celui de la connaissance de leur évolution dans le temps, d'où la possibilité de prévisions et donc de redistribution des ressources prévues en fonction des besoins également prévisibles.

L'analyse des séries chronologiques permet de définir l'indépendance des réalisations de la variable hydrologique considérée et débouche ainsi sur l'étude de relations statistiques entre ces réalisations indépendantes et celles de ses facteurs conditionnels (relation pluie-débit par exemple) : il s'agira de construire un « modèle » de calcul, généralement sous la forme de régressions multiples.

La difficulté à laquelle on achoppe ici est évidem-

(1) Sur 843 stations de jaugeage en service au 1-1-1963 : 378 (45 %) ont moins de 10 ans d'ancienneté, 235 (28 %) entre 10 et 20 ans, 55 (7 %) entre 20 et 30 ans et 175 (20 %) ont plus de 30 ans d'ancienneté. La plupart de ces stations anciennes sont par ailleurs situées sur des cours d'eau de montagne.

ment la complexité des processus en jeu dans le cycle hydrologique : on devra choisir un nombre restreint de paramètres pour le représenter. Par ailleurs l'hétérogénéité spatiale de la zone étudiée est une cause fréquente d'échecs relatifs dans l'analyse statistique globale de relations cause-effet (alimentation d'une nappe ou genèse des débits d'un cours d'eau) : par exemple à l'exutoire d'un bassin à caractéristiques pluvio-nivales (Haute-Dordogne), comment séparer dans l'écoulement des crues de printemps les parts dues à la fusion nivales et à la pluie?

Il serait donc nécessaire de multiplier des points de mesure sur des zones réputées « homogènes » du point de vue de l'hydrologue si l'on veut dépasser le stade descriptif local dans l'étude des séries chronologiques d'observations. Cette homogénéité ne peut raisonnablement se définir que par rapport à un ou deux paramètres et, à la limite, on aboutira à plusieurs découpages possibles d'une même zone suivant l'association de facteurs que l'on étudie (pluie et neige pour la formation des débits, pente et perméabilité pour la formation du ruissellement, couverture végétale et sols pour l'évapotranspiration, etc.).

Quel qu'en soit le but, la multiplication de points de contrôle des ressources en eaux de surface ou souterraines va se heurter — indépendamment des considérations matérielles (coût d'équipement et d'exploitation, organisation des réseaux, continuité et qualité des mesures, qualification du personnel chargé de la gestion des stations) — à des difficultés de localisations géographiques :

- comment prévoir à l'avance les sites intéressants et ensuite garantir la constitution de séries chronologiques homogènes, c'est-à-dire non perturbées par des interventions humaines et justiciables d'un traitement statistique;
- cet impératif utilitaire dans la localisation des stations ne s'accorde en général pas avec celui de l'« homogénéité » hydrologique souhaitée pour l'étude systématique des facteurs conditionnels dominants permettant d'établir un « modèle » statistique efficace pour estimer les variations des ressources consécutives à la variation de ces facteurs contrôlés.

L'étude du cycle de l'eau par les méthodes de l'hydrologie analytique

Une autre attitude consiste non plus à décrire seulement les phénomènes et leur chronologie, mais à en expliquer la genèse dans un but scientifique de compréhension de leur *dynamique* et avec les objectifs pratiques suivants :

- prévoir l'évolution dans le temps de la variable hydrologique quand on modifie un de ses facteurs conditionnels (estimation de l'influence humaine dans la distorsion des séries de données hydrologiques et connaissance des possibilités de modification artificielle et voulue du cycle de l'eau dans un but pratique);
- expliquer la variabilité géographique de certaines caractéristiques hydrologiques afin de pouvoir — en partant de la connaissance de leurs facteurs conditionnels principaux — interpoler ou extrapoler dans l'espace les données

des stations existantes sans multiplier à l'infini les points de mesure;

- raccorder les séries courtes de données hydro-métriques, relatives aux débits des cours d'eau ou aux nappes souterraines, aux événements « climatiques » et ainsi valoriser les longues séries d'observations climatologiques.

Il s'agit alors pour une telle « Hydrologie analytique » de distinguer sur des cas bien déterminés et analysables quels sont les facteurs conditionnels dominants du phénomène étudié et ensuite d'en préciser quantitativement l'action.

On peut penser ici à un problème d'analyse de la variance où l'un des facteurs (la pluie) se présente de manière aléatoire et à des niveaux variables. Sur le terrain, l'analyse correspondante s'opère en comparant avec le maximum de précision l'évolution des débits ou des nappes, sur divers bassins différant essentiellement par la présence ou l'absence (naturelle ou artificielle) d'un ou plusieurs facteurs bien déterminés, ou par le niveau de tel ou tel autre facteur. On tente en fait de retrouver dans la nature des dispositifs tels que ceux que l'on crée artificiellement dans les champs expérimentaux en agronomie par exemple.

Ce qui implique que la divergence testée soit attribuable à un facteur ou à une association de facteurs déterminée (infiltration en fonction du complexe sol-végétation, alimentation des nappes en fonction du complexe sol-sous-sol, etc.) et qu'il n'en intervient pas d'autre de manière notable.

L'introduction de la technique des plans d'expérience dans la Recherche hydrologique impose donc une taille limite pour le bassin d'étude qui doit présenter une bonne homogénéité vis-à-vis du facteur testé, et par ailleurs impose également, en raison du nombre des facteurs à tester, un assez grand nombre de tels petits bassins soumis aux mêmes averses.

Il sera donc nécessaire, pour chaque problème ou groupe de problèmes, de constituer un réseau de mesure spécial avec la présence souhaitable de répétitions (groupes de bassins réputés analogues : boisés et déboisés par exemple).

Une autre raison en faveur de la petite taille des bassins versants découle de la durée limitée pendant laquelle on peut envisager raisonnablement de faire fonctionner un tel système complexe. On est donc conduit à définir comme individu étudié le phénomène le plus court possible (averse par exemple) de manière à observer le maximum de « cas » dans le temps imparti pour la campagne d'étude. Ceci implique que de faibles variations dans le temps soient discernables; par conséquent, la taille limitée de la zone d'étude se justifie encore par un impératif de précision des mesures avec la mise en œuvre de matériel et de personnel spécialisé.

Les plans d'expérience et l'interprétation de leurs résultats ne sont possibles que si les mêmes phénomènes physiques sont étudiés sur un plan théorique et à l'échelle du laboratoire et si l'on a pu s'assurer à l'avance de la représentativité des mesures envisagées sur le terrain (par exemple mesures lysimétriques d'évapotranspiration).

Le grave inconvénient de cette méthode d'investigation est évidemment la difficulté d'extrapolation des résultats, puisqu'il est peu vraisemblable que, sauf cas exceptionnel, le facteur dominant du

cycle de l'eau sur le groupe de bassins où son influence a été étudiée (bassins qui ont été choisis en raison du caractère particulièrement net de cette dominance) le demeure sur toute une région. Il y a donc à ce niveau antinomie entre bassins d'analyse et bassins représentatifs : ces derniers sont d'ailleurs difficiles à trouver et à définir du fait de la complexité spatialement changeante des combinaisons de facteurs qui interviennent dans les processus constituant le cycle de l'eau.

En se limitant aux principaux facteurs dominants, on pourra — en combinant les relations mises au point sur des groupes, même géographiquement dispersés, de bassins versants élémentaires — définir des « modèles » (de prévision par exemple) dont on comparera les indications aux observations faites à l'échelle régionale : de cette comparaison seule on déduira la précision, donc la représentativité relative des modèles.

Cette méthode d'analyse des facteurs dominants du cycle de l'eau sur petits bassins versants a pu être utilisée dans des régions ne disposant que de très courtes séries d'observations et de ce fait la validité des extrapolations tentées n'a pas souvent pu être testée. Dans le cas de la France, on peut se demander si la prise en compte et l'analyse préalable par les méthodes de l'hydrologie statistique hydrométéorologiques existantes à l'échelle d'une région n'est pas nécessaire :

- à la mise en place rationnelle des zones d'études;
- à un premier choix des facteurs à étudier;
- au contrôle de la validité des résultats obtenus sur les bassins élémentaires.

La complémentarité des points de vue descriptif et analytique dans l'étude du cycle de l'eau

Nous venons d'analyser deux attitudes méthodologiques extrêmes, l'une supposant une certaine richesse d'information historique, l'autre s'efforçant de fournir le plus rapidement possible une information nouvelle utilisable en des points où l'on ne dispose au départ que de données parcimonieuses, voire nulles. Ces deux attitudes se rejoignent néanmoins :

- par leur objet d'abord, qui est de déterminer sur un domaine délibérément limité dans l'espace et le temps les renseignements quantitatifs dont on a besoin concernant le cycle de l'eau;
- par le fait que leurs méthodes se veulent objectives et font largement appel aux techniques de la statistique mathématique.

Il serait donc vain de les opposer et la seule solution constructive pour la recherche hydrologique consiste à tenter d'allier les avantages respectifs de ces deux méthodes d'investigation qui s'avèrent en définitive complémentaires.

En effet, la première permet de contrôler la validité des extrapolations spatiales des résultats de la seconde, tandis que la seconde permet d'améliorer les modèles statistiques (pour la prévision hydrologique notamment) élaborés par la première méthode.

Concrètement, la mise en œuvre de ces deux démarches d'esprit pourrait s'appliquer à une

région déterminée où, partant des données existantes relatives aux variables hydrologiques qui constituent le cycle de l'eau, l'analyse descriptive qui en serait faite permettrait de répondre aux questions suivantes :

- que connaît-on ou peut-on connaître en matière hydrologique, secteur par secteur, dans la région étudiée, avec l'information disponible?
- quelles sont les zones où de nouvelles mesures de caractère courant (réseau pluviométrique ou de station de jaugeage) seraient nécessaires pour compléter utilement cette information?
- quelles sont les zones bien localisées où tel ou tel facteur physique semble prédominant dans le cycle de l'eau et où la création d'un dispositif d'étude expérimental serait intéressante (quelle serait la « valeur ajoutée » par une telle opération)?

Cette investigation basée sur l'analyse des données existantes, appelle quelques précisions. Elle pourrait comprendre :

- la recherche, la mise en forme et la critique de ces données;
- l'étude classique des lois de distribution d'un certain nombre de variables hydrologiques dont on dispose d'échantillons de valeurs suffisamment importants;
- des reports synoptiques de valeurs de paramètres homologues observés ou calculés sur la région étudiée : ce qui, en plus de l'utilité directe de tels regroupements, a l'avantage de faire apparaître des accidents qui soit ne peuvent provenir que de la mauvaise qualité des données (critiques), soit suggèrent l'intervention de facteurs physiques (intervention que les études d'hydrologie analytique devront s'efforcer de préciser);
- des études ponctuelles de relations pluie-débit, pluie-nappes (dans la mesure où les données le permettent) et étude de la déformation synoptiques de ces relations;
- l'étude et la cartographie des différents facteurs physiques intervenant dans le cycle de l'eau (lithologie, végétation, géomorphologie) en s'efforçant de caractériser et de classer ces éléments physiques par des indices quantitatifs en fonction de leur comportement vis-à-vis de l'eau;

- le rapprochement de ces deux derniers points pour mettre en évidence des liens de cause à effet;
- la définition de la nature des investigations complémentaires d'hydrologie analytique et la détermination des zones d'étude correspondantes.

A la lumière des résultats précédents, un programme de mesures fines et concentrées, poursuivies pendant un temps restreint (3 à 5 ans) sur de petits bassins d'investigation sélectionnés pour l'étude de problèmes précis, prend tout son sens.

Le but recherché est en définitive la réponse aux questions posées par la multiplication géographique des points où se posent des problèmes d'hydrologie : permettre la prédétermination (contrôlée sur des bassins ayant servi de test) des caractéristiques hydrologiques recherchées sur des bassins quelconques (en général non jaugeés) ou tout au moins réduire au maximum la durée nécessaire au rassemblement de l'information nécessaire lorsque l'installation d'une nouvelle station de contrôle s'est avérée indispensable.

Il est évident que de telles études qui portent sur les divers aspects du cycle de l'eau, ces essais d'interprétation et de synthèses hydrologiques mettent en jeu des techniques et des points de vue très divers et ne peuvent être menés à bien que par la participation concertée de spécialistes d'appartenance et de formation très diverses.

Vu la complexité des problèmes évoqués et l'ampleur de la tâche, il est nécessaire que ces chercheurs soient groupés au sein d'une équipe « fonctionnelle » qui se consacre entièrement à ces recherches.

Ce n'est d'ailleurs qu'en fonctionnant que la composition de cette équipe, son rôle, le dosage entre les divers aspects (analytique, statistique, expérimental, synthétique) de son activité pourront se préciser et partant son efficacité.

Parallèlement c'est « à l'usage » que les utilisateurs pourront et devront préciser la nature, les termes et la localisation de leurs exigences.

C'est donc une mise en phase permanente des moyens et méthodes d'étude concernant le cycle de l'eau avec les inconnues à déterminer qui permettra de tendre vers un ajustement rationnel des ressources en eau aux besoins sans cesse changeants de l'économie moderne.

Discussion

Président : M. JANET

Avant de donner la parole à M. JACQUET, M. Paul-Marie JANET remercie personnellement M. le Président du Comité Technique de la S.H.F. de lui avoir proposé la présidence de cette séance, ce qu'il a accepté d'autant plus volontiers que les sujets mis à l'ordre du jour ont trait aux rapports de l'eau avec le territoire pris dans ses deux dimensions, c'est-à-dire avec le territoire rural.

M. le Président souligne l'importance de ce premier contact de l'eau avec le sol, car c'est dès ce moment que, dans leur essentiel, les jeux sont faits, que se fait le grand partage entre les 250 milliards de m³ qui s'évaporent et les 150 ou 200 milliards de m³ qui ruissellent et qui s'infiltrent : c'est l'instant de la création de la ressource et il est essentiel de connaître, autant que possible, les mécanismes qui la déterminent.

Avant l'exposé de M. JACQUET, M. GLANGEAUD met l'accent

sur l'importance qualitative des eaux souterraines pour l'alimentation, en raison de leur relative pureté chimique vis-à-vis des eaux de surface, et sur notre retard dans l'étude analytique du bilan d'écoulement des nappes, qui a progressé beaucoup plus lentement que celle des eaux de surface. En plus des études du type général, il serait nécessaire de mettre en œuvre les récents procédés isotopiques et géophysiques, qui permettront d'étalonner les valeurs que l'on mesure par les méthodes habituelles.

En s'aidant d'un croquis fait au tableau d'après de récentes études de microbassins, tel celui d'Evian, M. GLANGEAUD montre l'importance de l'infiltration à travers les couches dites imperméables, jusqu'à présent négligée par rapport à celle qui règne entre ces couches. La vitesse d'écoulement de l'eau qui filtre à travers les couches géologiques est inférieure à celle qui circule entre ces couches,

mais leur composition chimique est analogue en première approximation, ce qui rend leur étude très difficile.

Après ces remarques de M. GLANGEAUD, M. JACQUET rappelle que, pour écrire le bilan hydrologique des eaux souterraines, il faut s'attacher à l'étude des variations de stockage de l'eau dans la couche saturée et dans la couche non saturée du sol. Les méthodes évoquées par M. le Professeur GLANGEAUD, et notamment la méthode d'investigation utilisant des traceurs ou des marqueurs, seront certainement d'une grande utilité à cet égard.

M. le Président remercie M. JACQUET et s'associe aux doléances de M. GLANGEAUD, touchant le retard de la France, non pas quant aux méthodes — bien au contraire — mais à la quantité de mesures et à la qualité des stations dont elle peut disposer. Actuellement, le Ministère de l'Industrie,

l'E.D.F., le Ministère des Travaux publics, le Ministère de l'Agriculture essayent de compléter le réseau de stations et le réseau de mesures qui existent, mais nous sommes encore devant d'énormes lacunes.

M. le Président conclut :

« Il est certain, comme l'a souligné M. JACQUET, que la combinaison coordonnée entre l'hydrologie analytique et l'hydrologie statistique, combinaison heureusement dosée et constituant véritablement l'hydrologie intelligente, est la voie que nous devons suivre, et que le développement des études de bassins d'investigation qui sont en cours et qui, je pense, se multiplieront, doit finalement permettre des synthèses et des extrapolations contrôlées qui doivent nous aider à combler peu à peu ces lacunes.