

Point de vue sur les fonctions de production

D. IBIZA

RÉSUMÉ

Les hydrologues de l'ORSTOM bénéficient de l'expérience originale de cet organisme qui est de travailler dans des régimes climatiques très variés, et sont tentés de rechercher des fonctions de production des écoulements utilisables dans la plus grande gamme de climats possible. L'approche déterministe, qui consiste à comprendre et à décrire les phénomènes physiques de l'hydrodynamique dans le sol, est souvent préférée à une approche stochastique entièrement aveugle dont la plage d'application est forcément limitée dans l'espace.

Une description de toutes les dynamiques de l'eau dans le sol est cependant complexe, même si on ne se limite qu'à une approche globale des phénomènes dominants. Les dynamiques ont des vitesses différentes. Elles sont généralement plus rapides à la surface du sol et plus lentes en profondeur. Il y a la dynamique de Horton qui traduit la réhumidification, pendant l'averse, des tranches proches de la surface et leur ressuyage rapide, qui durent quelques heures. La dynamique de Kohler traduit l'assèchement en surface du sol pendant les périodes sèches et le ressuyage lent, sur quelques jours. Les tarissements des nappes peuvent se prolonger plusieurs mois et les dynamiques des aquifères profonds sont encore souvent plus lentes.

Il faut une bonne douzaine de paramètres pour décrire l'ensemble des phénomènes en suivant le principe du bilan hydrique, avec trois paramètres pour les réservoirs de surface (entrée, stockage, sortie) et deux paramètres pour les réservoirs plus profonds, un ou deux paramètres de perméabilité et un paramètre d'hétérogénéité spatiale.

Il n'est cependant pas nécessaire de décrire toujours tous les phénomènes et de sortir en toutes circonstances toute l'artillerie. Des simplifications importantes sont possibles suivant les problèmes pratiques spécifiques à résoudre. Le choix du pas de temps permet de faire le tri nécessaire. A un pas de temps donné, en effet, on ne peut décrire avec une certaine précision que les phénomènes plus lents que ce pas de temps. La simplification est d'autant plus importante que le pas de temps est plus grand et le nombre de paramètres de calage est diminué en conséquence.

Le pas de temps mensuel donne les lames écoulées, décrit globalement le régime de la rivière et peut donner des bases pour les problèmes de stockage, dans une phase d'avant-projet, mais il n'est pas suffisant dans les régimes climatiques trop déficitaires. Le pas de temps journalier est le plus employé : Il peut donner des indications sur les débits et les utilisations au fil de l'eau. Il est également intéressant pour le calcul de l'ETR. Les petits pas de temps sont réservés aux études fines et à l'élaboration de méthodes de prédétermination des débits de pointe des crues rares.

L'auteur, qui travaille sur des petits bassins versants dont le temps de base est inférieur à vingt-quatre heures, propose une chaîne de programmes compatibles pour différents pas de temps, avec des paramètres de calage communs. L'utilisation des grands pas de temps permet de faciliter le calage aux pas de temps plus petits et de rendre plus rigoureuse la procédure de calage.

MOTS-CLÉS : régimes climatiques variés – déterminisme – description des phénomènes physiques – pas de temps mensuel – pas de temps journalier – petits pas de temps.

ABSTRACT

ABOUT THE PRODUCTION FUNCTIONS

The ORSTOM hydrologists benefit by the original experience of this institution which consists in working under extremely various climatic conditions and they are tempted to find flow production functions which can be used in the largest possible range of climates. The determinist approach which consists in understanding and describing the physical phenomena of hydrodynamics in the soil is often preferred to a completely stochastic approach whose application is necessarily limited in space.

However, it is difficult to describe all the water dynamics in the soil even though only the prevailing phenomena are tackled. Dynamics are characterized by different speeds. Generally, they are faster on the soil surface and slower in depth. There is the Horton's dynamics which reveals during the shower the rehumidification of the upper layers of soil and their fast interflow within a few hours. The Kohler's dynamics reveals the drying up on the soil surface during the dry periods and the slow interflow over a few days. The groundwater depletions can be observed over several months and the dynamics of the deep aquifers are still often slower.

Over a dozen parameters are necessary to describe the whole phenomena following the principle of the water balance including three parameters for the surface stores (inlet, storage, outlet), two parameters for the deeper stores, one or two permeability parameters and a space heterogeneity parameter.

However, it is not necessary to describe all the phenomena and to use all the methods available under any circumstances. It is possible to make some significant simplifications according to the specific problems to be solved. Selecting the step time allows to make the necessary sorting out. Given a certain step time, one can describe with some accuracy only the phenomena which are slower than this step time. The simplification is all the more important as the step time is larger and therefore, the number of adjustment parameters is reduced.

The monthly step time defines the depths of runoff, describes the river regime as a whole and can give some basic data concerning the storage problems in a preliminary project, but it is not adequate under poor climatic conditions. The daily step time is the most commonly used : it can give some information about the discharges and the uses downstream. It is also useful to evaluate the actual evapotranspiration. The small step times are reserved for the fine studies and for the development of methods for the predetermination of the peak discharges of the rare floods.

The author who works on the small drainage basins whose base time is lower than 24 hours suggests to launch a series of programmes which, given different step times, should be consistent with common adjustment parameters. Using large step times allows to make the adjustment easier at the smaller step times and to make the adjustment method stricter.

KEY WORDS : various climatic conditions – deterministic methods – describing physical phenomena – monthly step time – daily step time – small step time.

I. AVANT-PROPOS

La pluie est discrète : le phénomène des précipitations a une structure essentiellement granulaire. La répartition des intensités de pluie dans l'espace, à un certain instant, se fait selon une composante aléatoire fortement marquée et les intensités de la pluie, en un point, constituent un échantillon d'une population statistique d'intensités, sur un espace donné, dont les individus sont faiblement liés entre eux. Le nombre de pluviographes installés sur un bassin versant est habituellement trop faible pour satisfaire aux conditions de répétition minimales d'échantillonnage et pour appréhender avec une précision suffisante le phénomène global des précipitations sur une courte période. Sur des périodes assez longues toutefois, à l'échelle de l'averse ou de la journée, les différentes pluies cumulées mesurées tendent vers une certaine homogénéité par le jeu de pondération des moyennes et sous l'effet d'une forte persistance climatique pluvieuse, locale, momentanée. L'hétérogénéité spatiale des précipitations augmente lorsque la période de temps diminue.

Lorsque la pluie tombe sur le sol, chaque particule d'eau est soumise à un processus d'infiltration singulier et le comportement hydrique d'une petite surface est le résultat de l'accumulation d'une population de comportements singuliers. On peut le décrire par un comportement moyen mais cette notion est plutôt statistique et on doit lui associer des paramètres décrivant la dispersion de la population. Ils sont appelés « paramètres d'hétérogénéité spatiale ». Il n'y a aucune raison pour que le résultat du comportement moyen soit, en toutes circonstances, exactement le même que le résultat de la somme des comportements élémentaires.

Le ruissellement est la quantité d'eau qui ne peut s'infiltrer : il est lié aux phases paroxysmiques de l'averse, qui sont habituellement les plus hétérogènes dans l'espace.

La comparaison des écoulements naturels et de la pluie naturelle sur bassins versants, au moyen des modèles hydropluviométriques, est une technique complexe et néanmoins peu précise d'étude indirecte des phénomènes de l'infiltration et de l'évaporation, mais c'est la seule technique d'approche des phénomènes réels et qui utilise un dispositif de mesure suffisamment discret pour ne pas risquer de les dénaturer.

Quelle que soit la finesse de la technique de simulation des débits sur bassins versants à partir des pluies, il subsistera toujours une dispersion résiduelle irréductible entre les valeurs observées et les valeurs calculées, liée

à la mauvaise connaissance des précipitations, et aux erreurs de méthode dues à la substitution d'un mécanisme moyen d'infiltration à une population de comportements. Cette dispersion incitera à une certaine prudence dans l'interprétation des résultats et on ne pourra pas, en particulier, attendre de ces techniques qu'elles puissent prouver la supériorité d'une théorie de l'infiltration sur une autre.

Les études de ce type sont cependant indispensables et complémentaires aux mesures d'infiltration ponctuelles, en régime artificiel, car elles illustrent la complexité des phénomènes réels et permettent de nous mettre en garde contre le danger de simplifications excessives des expériences, d'interprétations simplistes des mesures et de transpositions trop rapides des résultats en régime artificiel.

Nous nous proposons d'étudier, malgré une forte dispersion prévisible des résultats, les relations de causes à effets hydrologie-physiographie dans les processus de production des écoulements et de « traquer » leurs déterminismes jusqu'aux limites de la vraisemblance. Nous utiliserons comme mode d'investigation les techniques de simulation numérique des événements hydrométriques à partir de la pluie, ou modèles hydropluviométriques, et comme méthode de valorisation des mesures d'hydrométrie la confrontation entre les écoulements simulés et les écoulements observés, résultant de ces mesures.

II. LES MODÈLES HYDROPLUVIOMÉTRIQUES

II.1. RÉPÉTITION DANS LE TEMPS ET TRANSPPOSITION DANS L'ESPACE

Un modèle hydropluviométrique est la formulation mathématique d'un ensemble de mécanismes et de règles permettant de calculer les débits des rivières à partir de la pluie recueillie sur le bassin versant. Certains types de modèles procèdent au calcul préalable de l'ETR à partir de la valeur régionale de l'ETP.

Dans l'expression « modèle hydropluviométrique », le mot « modèle » est utilisé, comme en couture, dans le sens d'un « gabarit » destiné à être reproduit. Un objet mathématique règle l'évolution d'un certain nombre de variables sur une petite période de temps appelée « pas de temps », à partir des valeurs initiales de ces variables données au début du pas de temps. Il est ensuite répété indéfiniment, en prenant, à chaque fois, pour conditions initiales des variables, les valeurs calculées à la fin du pas de temps précédent. La notion de « modèle hydropluviométrique » implique nécessairement l'idée d'une répétition dans le temps, ce qui suppose que les mécanismes sont répétitifs dans le temps selon un certain déterminisme des conditions initiales des sols.

Le mot « modèle » n'a pas le sens « d'exemple à suivre » et n'exprime pas nécessairement l'idée de répétition dans l'espace ou de transposabilité d'un bassin versant à un autre. Tout modéliste espère néanmoins que son modèle est transposable dans l'espace.

II.2. MODÈLES D'EXTENSION ET MODÈLES D'ÉTUDE

Les modèles d'extension servent à calculer, en un lieu d'étude qui correspond généralement à un site probable d'exploitation des eaux de surface, des débits et des écoulements vraisemblables sur une longue période de temps pour permettre des analyses statistiques, à partir de mesures pluviométriques régionales effectuées sur cette période. Les précipitations sont, dans une étape préalable, corrigées et complétées en séries chronologiques continues par un traitement d'homogénéisation des pluies régionales.

L'opérateur de calcul des écoulements et des débits à partir de la pluie est quantifié et adapté aux caractéristiques du lieu d'étude par la détermination des valeurs d'un certain nombre de paramètres, appelés « paramètres de calage ». On dit que l'on procède à une « extension » lorsque le calage a été obtenu à partir d'une période plus courte de mesures hydrométriques effectuées sur le lieu d'étude. Lorsque le calage est effectué à partir d'une « transposition » de mesures hydrométriques sur des rivières voisines ou à partir d'une évaluation, pour le lieu d'étude, des paramètres de calage, on dit que l'on procède alors à une « transposition » des débits ou des écoulements. Toutes les situations réelles sont, en pratique, intermédiaires entre l'extension pure et la transposition. Tout dépend en effet de la quantité et de la qualité des mesures effectuées. Dans la plupart des cas, on se sert, à la fois, de mesures fractionnaires et souvent insuffisantes effectuées sur le lieu d'étude et d'éléments de transposition tirés de la connaissance des régimes régionaux.

Les modèles d'extension sont conçus selon une logique opérationnelle de calage optimal des paramètres, effectuée parfois par minimisation quadratique des écarts observé-calculé. Cette logique suppose que le nombre de paramètres de calage soit aussi restreint que possible, et que les différents paramètres aient des effets distincts. C'est peut-être un artifice qui s'oppose au souci de décrire fidèlement les mécanismes naturels.

On pourrait appeler « modèle d'étude », par opposition aux modèles d'extension, des modèles dont la fonction essentielle est de traduire le plus fidèlement possible les mécanismes observés, dans l'optique d'une meilleure compréhension des phénomènes. La conception de ce type de modèle peut être plus complexe. Les paramètres peuvent paraître, dans certains cas, plus nombreux que nécessaires pour obtenir une bonne adéquation des résultats. Leur action peut, parfois, aller dans le même sens que celle d'autres paramètres et produire des effets voisins mais ils ont une signification physique précise et on peut les évaluer à partir de mesures du milieu physique : humidité, infiltration, niveaux piézométriques, etc. Ils peuvent également être déterminés par calage, selon une procédure précise, lorsqu'on ne dispose pas des mesures d'investigation nécessaires. On peut les appeler « paramètres hydrologiques de calage ».

II.3. FONCTION DE PRODUCTION, FONCTION DE TRANSFERT

Un modèle hydropluviométrique est constitué d'une « fonction de production » et d'une « fonction de transfert ». La fonction de production calcule globalement la production d'écoulement sur un espace élémentaire qui peut cependant être assez vaste. La fonction de transfert décrit la propagation de l'onde de crue de l'amont vers l'aval et du flux d'eau souterrain. Elle utilise à son tour une fonction « organisation » qui organise l'espace et établit, à partir d'un fichier de saisie des données physiographiques, les différentes liaisons existant entre les différents espaces élémentaires.

II.4. BILAN HYDRIQUE ET MODÈLE A RÉSERVOIRS

Le principe du bilan hydrique est basé sur l'équation de continuité. L'espace souterrain est découpé en systèmes qui ont des dynamiques différentes : système « interception de surface », système « horizon végétal », système nappe, etc. qui sont reliés entre eux par un certain nombre de transferts. L'équation de continuité revient à écrire que ce qui sort d'un système est égal à ce qui y entre moins ce qui s'y accumule. Une fonction de production basée sur le principe du bilan hydrique se présente sous la forme d'une série d'additions et de soustractions qui gèrent les différents stockages des différents systèmes. On peut, d'un certain point de vue, assimiler ces différents systèmes à des réservoirs. Certaines fonctions de production, plus anciennes, décrivaient précisément le remplissage, en cascade, d'une succession de réservoirs. Chaque réservoir représentait une interception qui fonctionnait en tout ou rien, c'est-à-dire que l'interception était totale tant que le réservoir n'était pas plein et nulle lorsque le réservoir était rempli. Actuellement, le mode de remplissage de ces réservoirs est plus complexe et traduit des lois physiques et des mécanismes.

Nous estimons qu'il convient de limiter la dénomination de « fonction à réservoirs » aux fonctions qui décrivent des réservoirs qu'on peut dessiner et d'en exclure les fonctions dont le dessin des mécanismes de remplissage et de vidange serait trop complexe pour apporter un éclaircissement supplémentaire par rapport à leur description.

III. SITUATION DE L'ÉTUDE, POSITION DU PROBLÈME, POINT DE VUE DE L'AUTEUR

On s'intéresse aux mécanismes de l'infiltration sur versants, aux phénomènes de stockage souterrains sur place résultant de la montée de la « nappe topographique » qui suit plus ou moins la surface topographique et qui peut avoir une incidence, en retour, sur l'infiltration en surface. On espère dégager les relations de cause à effet hydrologie-physiographie entre les comportements hydrologiques ordinaires et les caractéristiques physiographiques.

L'étude est entreprise à partir de mesures effectuées sur un certain nombre de bassins versants « ordinaires » et avec le support de mesures ponctuelles de toute nature lorsqu'elles existent. Nous définissons ci-dessous les normes des bassins que nous qualifions « d'ordinaires » par rapport à l'optique de l'étude essentiellement axée sur des phénomènes d'infiltration.

– Transfert : on se limite autant que possible aux petits bassins dont le temps de base est inférieur à 24 heures de façon à limiter les problèmes de transfert. Il n'y a pas de transfert pour les pas de temps égaux ou supérieurs à la journée, et on se restreint à un transfert global, sur le bassin, pour les pas de temps inférieurs à la journée. On s'en tient alors strictement à l'hydrogramme type.

– Accumulations en surface qui peuvent être dues à des zones d'inondation, des marais, des lacs et des rizières ou aussi à des stockages neigeux. Dans les climats humides, on tolère toutefois des marais et des rizières dans des proportions qui ne dépassent pas 6 à 7 % de la superficie du bassin.

– Complexité des transferts souterrains. Bassins appartenant à des systèmes d'eau souterrains plus vastes dont l'organisation dans l'espace est complexe et qui peut présenter de fortes singularités : systèmes karstique, gréseux, etc. On se limite aux bassins à peu près « étanches », c'est-à-dire ceux dont la plus grande partie du drainage de la nappe est assurée par la rivière du bassin versant et passe par la station de contrôle hydrométrique.

La technique de simulation des événements hydrologiques nous paraît la seule méthode qui permette de faire une synthèse d'un ensemble de mesures effectuées sur bassins versants et de mesures ponctuelles. Les modèles utilisés sont essentiellement centrés sur des fonctions de production et ils contiennent une multitude de tests destinés à contrôler la bonne adéquation globale des débits calculés aux débits observés, mais également à vérifier certains points de détail.

La première étape de l'étude consiste à mettre au point des fonctions de production « d'étude » utilisables indifféremment sur des parcelles élémentaires homogènes de petite superficie et sur des espaces plus vastes constitués d'une ou de plusieurs vallées entièrement organisées. Elles doivent pouvoir « fonctionner » globalement sur un bassin versant entier et elles contiennent, à ce titre, des éléments de transfert latéraux et des paramètres d'hétérogénéité spatiale. Elles doivent, en outre, être transposables et s'appliquer dans la plus grande gamme de climats possible.

Elles sont basées sur la technique du bilan hydrique, qui calcule les écoulements par différence entre la pluie et l'ETR, elle-même calculée à partir de l'ETP.

III.1. TRANSPOSABILITÉ D'UNE FONCTION DE PRODUCTION

Une fonction de production transposable s'appuie sur les quelques éléments du climat et de l'hydrodynamique transposables en hydrologie. Elle doit séparer aussi clairement que possible l'influence du climat, dans la production des écoulements, de celle des caractères physiographiques propres du bassin et s'appuyer sur un mécanisme de l'infiltration standard complet.

– Les éléments du climat qui interviennent au premier degré dans le processus de l'infiltration sont essentiellement le régime des précipitations et l'ETP, elle-même liée aux autres paramètres du climat, et, dans une moindre mesure, à la végétation. On calcule l'ETR à partir de l'ETP. L'exigence d'une transposabilité toutes latitudes impose en premier lieu une méthode de calcul de l'ETR très précise, tout particulièrement dans les régions où le déficit hydrique est très grand. Une méthode de calcul défectueuse entraîne, par contrecoup, une distorsion dans la détermination de la « réserve facilement utilisable ».

– Certaines caractéristiques physiographiques comme, par exemple, la végétation et la nature du sol, sont également influencées par le climat, et la séparation qu'on a préconisée plus haut ne peut malheureusement pas être aussi claire qu'on l'aurait souhaitée. La nature, qui aime le flou, s'accommode assez mal d'une classification simple.

– Le mécanisme de l'infiltration qui est décrit est un mécanisme global moyen et il n'est pas nécessaire, pour être plus convaincant, d'en revenir strictement aux équations fondamentales de l'infiltration. On peut s'en tenir à des algorithmes équivalents qui traduisent globalement et avec simplicité les mouvements de l'eau dans le sol. Lorsqu'on représente, par exemple, une corrélation entre l'écoulement et la pluie disponible (excédent de la pluie après réhumidification des sols) par une courbe parallèle à la première bissectrice, quelle que soit la durée du pas de temps, on traduit le fait que l'infiltration tend vers une valeur finie lorsque les précipitations augmentent indéfiniment et on n'a pas véritablement besoin d'invoquer de façon explicite la loi de Darcy.

– ce mécanisme doit être cependant complet et on doit se défier des simplifications qui pourraient être suggérées par l'observation sous certains climats et sur certains bassins particuliers. La seule méthode possible est de travailler simultanément sous des climats très différents.

III.2. NOMBRE DE PARAMÈTRES

Il y a une évolution qui est l'assèchement du sol, une dynamique rapide qui règle la réhumidification et la saturation du sol pendant l'averse, et le ressuyage après l'averse. A l'autre extrémité, il y a la dynamique très lente du tarissement de la nappe et, on le verra, la dynamique assez lente du « drainage rapide », en relation avec le système nappe qui traduit le « débordement de la nappe », ou une reprise sur la nappe, par des sources perchées.

Chacune de ces dynamiques est représentée par un réservoir géré par deux ou trois paramètres (entrée, sortie, capacité). Lorsqu'on y rajoute les paramètres de perméabilité, d'hétérogénéité, on arrive au total des 14 paramètres des tableaux des pages 11 et 12, nécessaires pour décrire le mécanisme de base de l'infiltration.

Notre attitude, dans l'optique de l'étude entreprise, est de ne pas effectuer de simplification a priori. Toute simplification entraînerait une régionalisation et une limitation géographique de validité de la fonction de production.

L'objectif à terme est la prédétermination des écoulements et on se propose d'étudier les corrélations qui pourraient exister entre différents paramètres et d'explicitier les plus significatifs d'entre eux. Mais, pour y arriver, il faut d'abord que les différents paramètres soient transparents et que l'on puisse comprendre les phénomènes et il est préférable d'avoir un ou deux paramètres de trop que de risquer de confondre deux phénomènes distincts par suite d'une conception a priori trop étreiquée.

IV. MODE OPÉRATOIRE

IV.1. ÉTUDE À PLUSIEURS PAS DE TEMPS

L'utilisation conjointe de plusieurs pas de temps, mensuel, journalier et élémentaire, permet d'éclairer les phénomènes sous des lumières différentes.

La description phénoménologique complète n'est possible et elle n'est intéressante qu'aux petits pas de temps, inférieurs à une heure.

Au pas de temps journalier, les différents écoulements rapides se sont déjà regroupés. On ne possède plus d'information sur la forme de l'averse et on se satisfait d'algorithmes de substitution qui tiennent compte d'une forme moyenne d'averse pour un certain climat.

Au pas de temps mensuel, la détermination des écoulements se fait à partir de considérations encore plus globales de bilans hydriques alors que les phénomènes transitoires de décroissance de l'infiltration pendant l'averse deviennent très secondaires. Les écoulements mensuels résultent de l'accumulation d'un ensemble d'événements météorologiques et sont faiblement influencés par les circonstances particulières de ces événements.

Le nombre de paramètres augmente au fur et à mesure que la description des phénomènes devient plus précise, c'est-à-dire que le pas de temps diminue.

IV.2. DES GRANDS PAS DANS LES PETITS PAS

Il est évidemment souhaitable que les différentes fonctions de production à des pas de temps différents, qui traduisent une approche différente des mêmes phénomènes, aient en commun le plus grand nombre possible de paramètres, mais ce résultat n'est pas automatique et ne peut être obtenu qu'après un assez long travail de réglage des algorithmes divers utilisés dans ces fonctions de production, de façon à les rendre compatibles.

Une fois ce résultat acquis, on dispose alors d'une chaîne de programmes de calcul, à différents pas de temps, qui s'emboîtent les uns dans les autres.

Le mode opératoire, pour obtenir un calage fiable des « paramètres hydrologiques de calage », consiste à opérer progressivement, de proche en proche, depuis les pas de temps les plus longs, qui fournissent les paramètres de volume les plus essentiels, jusqu'aux petits pas de temps qui précisent les fonctionnements de détail.

IV.3. AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS RESPECTIFS DE CHAQUE PAS DE TEMPS

Les différents pas de temps ont leur intérêt propre, et peuvent être utilisés séparément pour répondre à des problèmes précis partiels.

(a) *Pas de temps mensuel* : le principal intérêt de ce pas de temps, qui utilise en entrée les précipitations et l'ETP mensuelles, est sa rapidité et sa simplicité de mise en œuvre. Il peut très bien convenir pour une prédétermination des écoulements mensuels ou dans une phase provisoire ou préliminaire à une étude plus conséquente. Le principal inconvénient de ce pas de temps se situe au niveau des transferts. On ne peut concevoir, en effet, de transfert au pas de temps mensuel. Sur les bassins de grande dimension où le transfert n'est pas total dans le pas de temps, on doit traiter ce problème en se ramenant à un pas de temps pseudo-journalier obtenu en divisant l'écoulement mensuel produit par le nombre de jours du mois.

(b) *Pas de temps journalier* : le pas de temps journalier est assez hybride du point de vue de la fonction de production. La forme de l'averse n'est pas connue, et le calcul de la production des écoulements rapides est très approximatif. Le transfert au pas de temps journalier est, par contre, intéressant pour la plupart des bassins d'assez grande dimension. C'est en fait le pas de temps le plus pratique pour les extensions de données. Il ne faut pas oublier toutefois qu'on ne peut faire une extension fiable qu'à partir d'un fichier de précipitations journalières homogénéisées.

Sur le plan théorique l'utilisation du pas de temps journalier peut permettre d'étudier les mouvements lents des écoulements, débit de tarissement, ressuyage lent, et le calage des paramètres qui règlent ces écoulements.

(c) *Pas de temps élémentaire* : la mise en œuvre de modèles aux petits pas de temps est assez lourde puisqu'elle nécessite l'utilisation de relevés d'enregistrements de pluie à un ou à plusieurs pluviographes.

Ce pas de temps est essentiellement destiné à l'étude et à la compréhension des phénomènes de distribution temporelle des débits et a pour objectif pratique l'étude des débits de pointe et l'élaboration de méthodes de prédétermination de ces débits.

V. LES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES AUX DIFFÉRENTS PAS DE TEMPS

Les tableaux suivants font l'inventaire des différents paramètres hydrologiques de calage utilisés aux différents pas de temps sur des bassins à substratum étanche. Il existe d'autres « paramètres de fuite » pour traduire les infiltrations profondes vers des aquifères plus vastes, mais ils ne seront pas utilisés dans la présente étude.

Les différents paramètres ont été regroupés en quatre tableaux sous quatre rubriques : paramètres de volume, paramètres de perméabilité et d'hétérogénéité spatiale, paramètres de réglage des écoulements lents et paramètres intervenant dans le ruissellement.

Un parcours rapide du premier tableau montre que les paramètres de volume, qui fixent la quantité d'écoulement annuel, sont communs aux trois pas de temps : mensuel, journalier et élémentaire. On les détermine au pas de temps mensuel et ils sont prédéterminés aux autres pas de temps si on utilise le protocole complet de progression des plus grands pas de temps aux plus petits. Le coefficient A n'intervient que lorsque la donnée pluviométrique disponible est différente de la pluie moyenne vraie : postes éloignés du bassin, correction d'altitude, etc. Dans le cas de bassins représentatifs, fortement équipés en postes pluviométriques, la valeur de A est imposée et égale à 1. De la même façon, le coefficient de passage COEF de l'ETP régionale à celle du bassin est également fixé à 1 sauf si un coefficient de correction est nécessaire : correction d'altitude, mesure de l'ETP peu représentative (Piche), etc. La valeur de la dimension de l'horizon végétal est actuellement assez bien connue : elle peut être reliée à la nature du volume de la végétation et à son mode d'adaptation au climat (Ibiza, 1983).

Les différents paramètres de perméabilité du deuxième tableau sont spécifiques à chaque pas de temps. On retrouve à tous les pas de temps une capacité d'infiltration maximale, après réhumidification et, éventuellement, saturation de l'horizon végétal, qui caractérise la perméabilité en régime permanent. Au pas de temps journalier, la perméabilité est plutôt conditionnée par la valeur du coefficient d'écoulement rapide q qui fixe la part de l'écoulement rapide dans la pluie disponible. On espère pouvoir établir, après coup, des corrélations entre ces différents paramètres capables de servir d'abaques de conversion de la perméabilité d'un pas de temps à un autre.

Le troisième tableau donne les paramètres de stockage et de vidange des réserves souterraines. Ces paramètres conditionnent le régime de la rivière et les reports d'écoulements d'un mois sur l'autre. Ils interviennent également dans le processus de réduction de l'infiltration lorsque ces réserves se saturent.

1. Paramètres de volume

PARA.	DÉFINITIONS	PAS DE TEMPS		
		MENS	JOUR	PPT
A	Coefficient d'ajustement entre la donnée pluviométrique disponible et la pluie moyenne vraie. Lorsque la pluie moyenne est bien connue $A = 1$	*	*	*
COEF	Coefficient d'ajustement entre l'ETP du bassin et l'ETP régionale. Lorsque l'ETP est connue $COEF = 1$	*	*	*
DEFMAX	Dimension de l'horizon végétal : Réserve facilement utilisable (RFU)	*	*	*

2. Paramètres de perméabilité et d'hétérogénéité spatiale

PARA.	DÉFINITIONS	PAS DE TEMPS		
		MENS	JOUR	PPT
PERMAX	Capacité d'infiltration maximale mensuelle après réhumidification de l'horizon végétal	*		
q	Coefficient d'écoulement rapide journ. compris entre 0 et 1		*	
FJo	Capacité d'infiltration maximale journ. après réhumidification de l'horizon végétal		*	
FIo	Seuil d'infiltration nominale : Capacité d'infiltration instantanée après réhumidification et saturation de l'horizon végétal			*
X	Coefficient d'hétérogénéité spatiale du recouvrement végétal		*	*

3. Paramètres de réglage des écoulements lents

AL	Coefficient de tarissement du réservoir nappe (jour-l)	*	*	*
HNo	Hauteur du réservoir nappe		*	*
R2	Coefficient de drainage rapide (heure-l)		*	*
HNol	Capacité du réservoir à drainage rapide		*	*
Z	Paramètre intervenant dans l'algorithme de séparation entre tarissement et ressuyage lent (faible importance)		*	*

4. Paramètres intervenant dans la production de ruissellement

R1	Coefficient de ressuyage (rapide) (heure-l)			*
Ho	Dimension du réservoir de sursaturation			*
G1	Gradient d'assèchement : paramètre d'entrée du réservoir DEFMAX			*
G2	Gradient de sursaturation : paramètre d'entrée du réservoir Ho Habituellement G1 = G2			*

Ces paramètres sont déterminés au pas de temps journalier et ils sont transposés tels quels pour les études aux petits pas de temps.

Le dernier tableau donne les paramètres de remplissage, de stockage, et de vidange des réserves de l'horizon végétal dont le remplissage conditionne l'évolution de l'infiltration pendant l'averse en régime transitoire. Ces paramètres n'interviennent qu'aux petits pas de temps.

VI. CONCLUSION

Dans le domaine des modèles hydropluviométriques, la tendance actuelle semble être de proposer des mécanismes qui fonctionnent avec un nombre de paramètres de calage de plus en plus réduit.

On comprend bien que cette tendance répond au désir de séduire l'utilisateur éventuel et de donner de la modélisation l'impression d'une certaine simplicité. Notre démarche est différente puisque les fonctions de production à divers pas de temps qui ont été établies ici ont pour objectifs essentiels de comprendre et de quantifier les phénomènes de base de l'infiltration. Les études qui suivent dans ce cahier procèdent de cette démarche et donnent les premiers résultats obtenus dans cette optique. Les fonctions de production proposées ici sont expérimentales et ne sont pas nécessairement conçues dans un objectif d'application immédiate. Des simplifications seront proposées dans une deuxième étape : elles seront faites en connaissance de cause, dans un certain contexte climatique ou géographique.

BIBLIOGRAPHIE

IBIZA (D.), 1983. - Un modèle simplifié de calcul des écoulements mensuels par bilan hydrique. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. XX, n° 1 : 3-45.

ANNEXE I

LES DIFFÉRENTS BASSINS ÉTUDIÉS

La première série de bassins étudiés est alimentée de bassins versants connus de l'auteur ou de bassins ayant fait l'objet de mesures d'infiltration sur parcelles (minisimulateur de pluies), ou encore de bassins Antillais qui doivent servir de support à une étude de l'influence de la forme de l'averse sur la forme des crues (Article 4).

Cette première série fournit un très large éventail de climats, de types de végétation, de perméabilités et de pentes différentes. Les superficies restent modestes : rappelons qu'on s'est limité, pour minimiser les phénomènes de transfert, à des bassins versants dont le temps de base de la crue reste inférieur à vingt-quatre heures.

ÉTAT	BASSINS	SUPER. (Km ²)	PENTE I. Global	PLUIE INTERAN.	CLIMAT
Burkina	Polaka (Oursi)	9,2	12	450	Semi-aride
Tunisie	Bassins versants Nord (B.V.N.)	13,9 3,2	39 99	800 900	Méditerranéen humide
R.C.A.	Sarki	3,9	27	1 400	Tropical transition
C. Ivoire	Korhogo	3,6	15	1 450	Tropical transition
C. Ivoire	Tai	37,8		1 900	Équatorial transition
C. Ivoire	Agbeby	11	10	2 100	Équatorial transition
Guadeloupe	Pte Plaine	8,8	117	3 000	Insulaire hyper-humide
Guadeloupe	Gde Goyave	54,3	68	4 700	»
Guadeloupe	Pte Goyave	30,3	112	4 000	»
Martinique	Lézarde	13,3	99	4 000	Insulaire hyper-humide

Les caractéristiques sommaires de ces bassins, ainsi que celles du climat environnant sont précisées ci-dessous.

Bassin de Polaka (Oursi)

Superficie : $S = 9,6 \text{ km}^2$ $I_p = 0,092$

Sols : sols compacts argileux (40 % environ) et placages sableux (60 %)

Végétation : graminées et cultures vivrières (mil) sur les placages sableux, un peu de brousse tigrée : 54 %.

Sols argileux nus ou brousse tigrée à très faible recouvrement : 36 %, cuirasse 10 %.

Précipitations, ETP : Pluie an. = 450 mm ETP = 2 676 mm.

Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
			7	18	41	119	106	66	6		
189	196	260	252	288	273	238	208	192	204	186	183

ETP évaluée à partir de mesures bac et formule de Penman
Pluie moyenne sur quatre ans

Bassins de Tunisie nord, Bassin AmontSuperficie : S = 3,2 km² IG = 99 m/km

Sols : argileux recouverts d'un manteau de colluvion sablo-argileux

Végétation : taillis de lentisques bien conservé

Précipitations, ETP : Pluie an. = 850 mm, ETP = 1 168 mm

Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
69	123	63	55	40	17	8	21	22	169	162	75
56	56	90	105	115	126	150	150	105	96	66	53

Pluie : moyennes mensuelles sur quatre ans

ETP : évaluation à partir de mesures bac

Bassin de Sarki (Mbilali), République de Centre AfriqueSuperficie : S = 3,9 km² IG = 26,8 m/km

Sols : ferrallitiques

Végétation : savane arbustive à arborée

Précipitations, ETP : P. annuelle = 1 400 mm, ETP = 1 817 mm

Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
0	4	64	110	131	174	354	281	282	119	4	0
188	202	191	175	175	136	104	93	103	124	155	171

Pluies mensuelles moyennes sur trois années

ETP : mesures bac Colorado

Bassin de Korhogo, Côte d'IvoireSuperficie : S = 3,6 km² IG = 15 m/km

Sols : ferrallitiques

Végétation : cultures vivrières : mil, manioc et rizières, quelques bois de Teck

Précipitations, ETP : P. annuelle : 1 450 mm, ETP = 2 050 mm

Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
14	10	56	80	137	163	177	346	292	147	47	15
179	204	236	233	179	169	175	175	114	108	132	146

Pluies mensuelles moyennes sur quatre années

ETP évaluée à partir Piche et calage sur bassin versant

Bassins de Tai, Côte d'IvoireSuperficie : S = 1,42 km² à 37,8

Sols : ferrallitiques appauvris

Végétation : forêt dense

Précipitations, ETP : P. annuelle = 1 900 mm, ETP = 1 163 mm

Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
21	65	148	170	216	269	124	132	293	240	108	47
102	104	121	99	99	84	71	78	90	102	114	99

Pluies mensuelles moyennes sur trente années

ETP : Mesures obtenues sur bac Colorado à Tiassalé

Bassin de l'Agbeby, Côte d'IvoireSuperficie : S = 11 km² IG = 10 m/km

Sols : ferrallitiques appauvris

Végétation : forêt dense 70 %, Cacao 30 %

Précipitations, ETP : P. annuelle = 2 100 mm, ETP = 1 163 mm

Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
31	54	114	126	368	565	210	48	68	210	192	89
102	104	121	99	99	84	71	78	90	102	114	99

Pluies mensuelles moyennes à Abidjan sur trente années
ETP : Mesures obtenues sur bac Colorado à Tiassalé

Bassin de Petite Plaine, GuadeloupeSuperficie : S = 8,8 km² IG = 117 m/km

Sols : fersiallitiques, Oxysoils et Andosols

Végétation : forêt dégradée insulaire

Précipitations, ETP : P. an = 3 000 mm ETP = 1 300 mm

Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
216	160	183	124	164	134	130	332	332	276	255	240
106	116	136	125	116	116	109	106	96	96	89	89

ETP : mesures Piche et calage sur bassin versant
Pluies : moyenne sur quatre années

Bassin de Grande Goyave, GuadeloupeSuperficie : S = 54,3 km² IG = 68 m/km

Sols : fersiallitiques, Oxysoils et Andosols

Végétation : forêt dégradée insulaire

Précipitations, ETP : P. an = 4 700 mm ETP = 1 182 mm

Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
438	240	268	322	266	274	213	422	455	460	314	326
96	106	124	115	106	104	99	96	88	86	82	80

Pluie : moyenne sur trois années
ETP : Mesures Piche et calage sur bassin versant

Bassin de Petite Goyave, GuadeloupeSuperficie : S = 30,3 km² IG = 111 m/km

Sols : fersiallitiques

Végétation : forêt dégradée insulaire

Précipitations, ETP : P. an = 4 000 mm ETP = 1 316 mm

Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
255	188	187	205	335	148	212	337	493	783	718	461
105	118	136	126	118	114	118	102	99	96	90	87

Pluies mensuelles moyennes sur trois années
ETP : Mesures Piche et calage sur bassin versant

Bassin de Lézarde au quartier Lézarde III (Gros Morne), Martinique

Superficie : S = 13,3 km² IG = 99 m/km

Sols : fersiallitiques

Végétation : forêt dégradée insulaire

Précipitations, ETP : P. an = 4 000 mm ETP = 1 100 mm

Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
257	212	300	279	324	296	400	374	475	364	391	337
102	95	109	112	104	86	76	76	73	77	89	95

Pluies mensuelles moyennes sur quatre années

ETP : évaluée à partir de mesures Bac classe A et calage sur bassin versant