

Les zones de sources à surface variable et la question de leur localisation

Philippe MEROT (1)

RÉSUMÉ

L'origine du gonflement de l'hydrogramme de crue est analysée à l'aide de travaux portant sur le concept de source à surface variable. Le rôle de la géomorphologie dans la distribution et l'extension des zones de source à surface variable est développé. L'incidence de ce concept sur les études hydrologiques est abordé. Enfin des mesures, effectuées sur 2 bassins versants, de l'extension des zones saturées sont confrontées à une caractérisation de la saturation potentielle des sols faite sur des critères uniquement topographiques.

MOTS-CLÉS: Ruissellement — Source à surface variable — Zone contributive — Modélisation — Zone tempérée.

ABSTRACT

VARIABLE SOURCE AREA ZONES AND PROBLEM OF THEIR LOCALIZATION

The storm runoff-rainfall relationship is analysed taking in account the variable source area concept. The role of the geomorphology of the catchments on the distribution and on the shrinking-spreading of the variable source areas is investigated. The impact of the concept on the hydrological studies is emphasised. Lastly, measurements of the variation of the saturated zone on 2 catchments is compared to a spatialised topographic index.

KEY WORDS: Stormrunoff — Variable source area concept — Contributing area — Modelling — Temperate zone.

1. LE CONCEPT DE SOURCE A SURFACE VARIABLE

L'introduction du concept de source à surface variable — ou de zone contributive — dans l'étude des relations entre les précipitations et le débit est déjà ancienne. Cependant les multiples travaux auxquels ce concept a récemment donné lieu en font sans doute un des apports majeurs à l'hydrologie actuelle (HEWLETT and TROENDLE, 1975; KIRKBY, 1978; WARD, 1982; DUNNE, 1983). Dans le cadre de cet article nous tenterons d'une part de faire le point sur ce que ce concept recouvre et d'analyser les conséquences sur la pratique en hydrologie analytique, d'autre part de présenter une tentative de morphométrisation de bassins versants s'appuyant sur ce concept.

1.1. INTRODUCTION, DÉFINITION

Le concept de source à surface variable vient de faits d'observations d'hydrologues forestiers sur de petits bassins versants d'amont, bassins versants de premier ordre (FERNOW 1902, ZOU 1927, HURSH 1944 in HEWLETT et TROENDLE, 1975; WARD, 1982). Il apparaissait dans ces travaux que la capacité d'infiltration des sols n'était pas limitante pour l'infiltration car elle était généralement bien supérieure à l'intensité des pluies. La théorie du ruissellement de HORTON, qui veut que le ruissellement survienne lorsque l'intensité de la pluie est supérieure à la capacité d'infiltration, était dans ce cas mise en défaut.

Différentes théories se développaient alors: l'origine des crues était attribuée à l'écoulement dans la porosité biologique du sol (HURSH, 1944) ou à l'écoulement sur des surfaces limitées et bien circonscrites — affleurements rocheux, zones imperméabilisées par l'homme — (BETSON, 1964, in HEWLETT and TROENDLE, 1975).

(1) Chercheur INRA, Laboratoire de science du sol, ENSA, 65, route de Saint-Brieuc, 35042 Rennes Cedex.

Alors que la plupart des travaux faits alors sont le fait d'auteurs anglosaxons, P. CAPPUS développait en France de façon parallèle, dès 1960, une « nouvelle théorie du ruissellement » qu'il formalisait ainsi à propos du bassin expérimental d'Alrance :

« a. Le bassin expérimental peut être partagé en deux zones S_r et S_i d'étendues variables :

- La zone de ruissellement S_r de superficie A_r comporte, d'une part, des zones imperméables d'étendue fixe (routes, chemins empierrés, chemins de terre tassés par le passage répété des hommes ou du bétail, surfaces rocheuses, etc.) et, d'autre part, des zones d'étendue variable constituées de terrains perméables, mais à peu près complètement saturés d'eau. La pluie tombant sur la zone S_r se transforme entièrement en ruissellement superficiel ou hypodermique.

- La zone d'infiltration S_i de superficie A_i est constituée par les terrains perméables non saturés. Le sol de texture sableuse, qui forme les couches superficielles du bassin expérimental est caractérisé par une capacité d'infiltration très forte qui dépasse l'intensité de toutes les pluies pouvant tomber sur ce bassin — à l'exception seulement de pluies d'une rareté extrême —, ainsi, sauf en des cas très exceptionnels, la pluie tombant sur la zone S_i est entièrement absorbée par infiltration et ne donne lieu par conséquent à aucun ruissellement.

Le coefficient de ruissellement d'une pluie élémentaire — que nous appellerons aussi coefficient instantané de ruissellement — est donc égal au rapport du volume d'eau tombée sur la zone de ruissellement S_r au volume total d'eau tombée sur l'ensemble du bassin versant». (CAPPUS, 1960).

Petit à petit émergeait le concept de source à surface variable où l'on considère que le gonflement d'une crue est dû à l'écoulement rapide dans et sur les sols d'une partie seulement du bassin versant. Il s'agit d'une zone saturée en eau, généralement connexe au réseau de drainage naturel et dont la superficie est essentiellement variable. Sur l'autre partie, la pluie s'infiltré en totalité. Les bassins versants sont donc divisés en deux zones au comportement hydrologique totalement opposé, une zone saturée contributive à l'écoulement rapide et une zone non saturée siège de l'infiltration. La limite entre les deux zones est variable et dépend de la chronique des précipitations : la zone saturée va s'accroître tout au long de la saison des pluies de façon relativement lente ; de plus, des pulsations, à l'échelle de l'averse vont faire varier brutalement sa superficie (fig. 1).

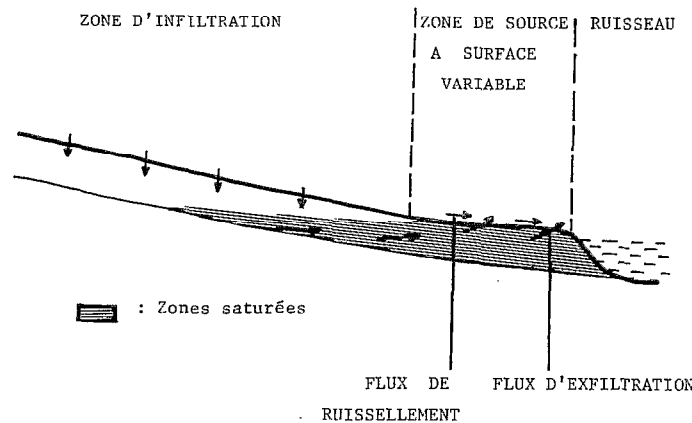


FIG. 1. — Coupe à l'aval d'un versant montrant la zone de source à surface variable (tiré de GASCUEL - ODOUX *et al.*, 1983)

C'est à la difficulté de cartographier ces zones contributives qu'il faut sans doute imputer la lenteur de l'émergence de ce concept : il est extrêmement lourd, fastidieux et parfois impossible de cartographier les zones de source à surface variable pour différents états d'humidité du bassin ; il est donc difficile de vérifier expérimentalement ce concept.

Il est par contre plus aisé de tenter de caractériser les zones contributives en se basant sur des caractéristiques intrinsèques des bassins versants à partir soit de données géomorphologiques et topographiques, soit de données pédologiques.

Cependant, avant d'aborder le rôle de la topographie et des sols, nous allons préciser le domaine d'application du concept de source à surface variable.

1.2. LES LIMITES DU CONCEPT DE S.S.V.

Le domaine d'application du concept de S.S.V. est déterminé assez clairement par les caractéristiques des précipitations : lorsque l'intensité des précipitations est inférieure à la perméabilité du sol en surface, le concept de zone contributive peut s'appliquer.

De ce fait sont concernées les régions tempérées humides où l'intensité des précipitations est faible. Ainsi pour l'ensemble de la France, la période allant de novembre à avril est caractérisée par une intensité des précipitations faible ou modérée. (PIHAN, 1979).

Cependant, dans ce domaine géographique, un certain nombre de situations ne seront pas régies par le concept de S.S.V. :

— Lorsque l'intensité des pluies est très forte — pluie exceptionnelle, pluie d'orage —, le ruissellement sera contrôlé par le modèle hortonien. Ce phénomène ne sera pas à négliger en particulier pour ses conséquences sur l'érosion des versants (CARNET, 1979, VOCT et VOCT, 1979).

— Lorsque le sol présente une perméabilité forte en surface, mais qui diminue brutalement et rapidement en profondeur, comme les sols lessivés argileux de Lorraine (GRAS, 1979), la saturation de l'horizon de surface en hiver sur l'ensemble du territoire crée des conditions de ruissellement généralisé.

— Dans les bassins versants agricoles, on assiste à une profonde modification de l'état de surface des sols: sols dénudés en hiver, compactés par le passage des engins agricoles, sols limoneux présentant une croûte de battance, etc. qui provoquent une forte diminution de l'infiltrabilité par la fermeture de la porosité de surface (AUZET, 1987). Cet état crée, là aussi, les conditions d'un ruissellement hortonien.

— Le drainage agricole des sols, en modifiant la contribution relative de l'écoulement de surface et de l'écoulement au sein de la macroporosité du sol, dans une crue (GALEA, 1977), et en permettant la vidange du réservoir sol, va au contraire donner plus d'importance à la variation de la zone contributive.

Le concept de S.S.V. sera privilégié pour l'étude du régime hydrologique des bassins en conditions hivernales, lorsque les conditions pédologiques ou agronomiques s'y prêtent.

Dans d'autres domaines climatiques, le concept de S.S.V. a été appliqué avec plus ou moins de succès (BONELL et GILMOUR, 1978), selon les caractéristiques de l'intensité des précipitations.

1.3. LE RÔLE DE LA GÉOMORPHOLOGIE ET DE LA TOPOGRAPHIE

Pour tout segment d'une courbe de niveau d'un bassin versant élémentaire, on peut définir une zone d'alimentation délimitée latéralement par les deux lignes de plus grande pente passant par les extrémités du segment, et ayant pour origine la ligne de crête.

Tout bassin versant peut être découpé en un certain nombre de secteurs ainsi définis (BEVEN, 1978; BEVEN *et al.*, 1979; ANDERSON et KNEALE, 1980; BEVEN et WOOD, 1983). Ces secteurs présentent trois formes types: soit les lignes de plus grandes pentes convergent de la crête à la base, soit elles divergent, soit elles sont parallèles (fig. 2). Ces secteurs alimentent à leur base une source à surface variable qui, selon que ces secteurs correspondent à l'un ou l'autre type, auront un comportement différent.

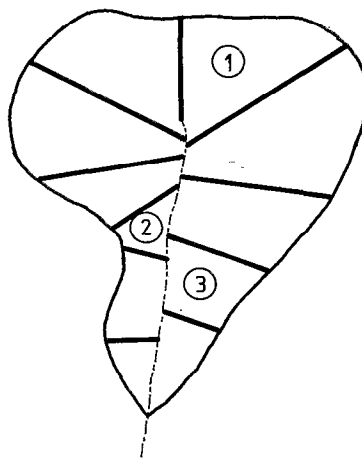


FIG. 2. — Découpage d'un bassin versant en secteurs convergents (1), divergents (2), et parallèles (3)

Nous comparerons le comportement de ces trois secteurs types pour un segment de courbe de niveau élémentaire (de longueur 1). La S.S.V. d'un secteur convergent aura une grande surface d'alimentation, donc des variations impor-

tantes de surface, alors que la S.S.V. d'un secteur divergent aura une faible surface d'alimentation et donc, dans les mêmes conditions de pente et de sols, de faibles variations de surface. Les S.S.V. des secteurs parallèles auront un comportement intermédiaire.

De fait (BEVEN, 1978), on observe que les bassins organisés en secteurs convergents présentent des variations de débits de crue plus importantes que des secteurs non convergents, comparables par ailleurs.

Un deuxième paramètre géomorphologique important est la pente: plus la pente est faible et plus la variation de la S.S.V. sera importante.

Ces relations entre géomorphologie et S.S.V. ont été formalisées par différents auteurs. BEVEN et KIRKBY (1979), partant de la loi de Darcy proposent la relation suivante:

$q = K_0 \exp. (Si/m)/\tan\beta$ qui exprime le débit q à travers une courbe de niveau de longueur unitaire. $\tan\beta$ est la pente au point considéré. K_0 est la perméabilité. Si/m correspond au stock d'eau dans le secteur considéré.

Ils en tirent une relation exprimant la distribution des surfaces saturées, uniquement en fonction d'un paramètre morphologique du bassin versant $\log(a/\tan\beta)$ où a est la surface par longueur unitaire de courbe de niveau. Ce paramètre qu'on pourrait appeler *indice de saturation potentielle*, peut être calculé pour tous les points d'un bassin versant, et donc être cartographié. Il correspond à la fréquence d'apparition des zones saturées. Chaque bassin peut par ailleurs être caractérisé par la courbe cumulative de $\log(a/\tan\beta)$, rapportée à la surface totale, qui caractérise bien le type de bassin: bassin convergent à pentes concaves, à forte probabilité d'apparition de zones contributives, ou bassins divergents à pente convexe, pour prendre les deux extrêmes.

MOORE *et al.* (1986) proposent un indice d'humidité (*Wetness Index*) analogue: la saturation de la zone est présente si le flux de drainage dépasse la capacité de transfert du profil du sol; on a alors:

$$q * \frac{A}{m} * \frac{1}{\tan\beta} \geq T$$

A est la surface d'alimentation correspondant au segment de courbe de niveau de longueur m ; $\tan\beta$ est la pente locale; q , le débit par unité de surface; T , la transmissivité; $\frac{A}{m}$ est égal à la surface d'alimentation pour un segment unitaire de courbe de niveau. La formule proposée diffère de celle de BEVEN en ceci que MOORE *et al.* (1986) considèrent que la transmissivité est constante sur tout le bassin alors que BEVEN considère la perméabilité constante.

1.4. RÔLE DE LA COUVERTURE PÉDOLOGIQUE

Le rôle de la couverture pédologique a fait l'objet d'études plus éparses liées à la méconnaissance des caractéristiques hydrodynamiques des sols: les cartes de sols faites sur des critères morphologiques ne donnant pas accès assez précisément à ces caractéristiques (VALENTIN, 1985). Cependant, deux niveaux d'analyse apparaissent.

Certains travaux mettent en évidence dans un bassin versant deux classes de sol au comportement hydrodynamique très différent: les sols hydromorphes de bas-fond et les sols sains et perméables de versant. Les premiers saturés pendant toute la période humide correspondent à l'extension de la zone contributive la plus fréquemment rencontrée; de fait, MEROT (1978) a pu constater que dans certains bassins versants élémentaires granitiques de Bretagne, les coefficients de ruissellement sont quasi-constants durant tout l'hiver, à des valeurs correspondant à la proportion de sols hydromorphes sur le bassin étudié.

D'autres chercheurs (O'LOUGHLIN, 1981) comparent des bassins à couvertures pédologiques différentes et attribuent la différence dans l'apparition des zones contributives aux caractéristiques hydrodynamiques spécifiques des sols des bassins.

1.5. INCIDENCE SUR LES ÉTUDES HYDROLOGIQUES

L'intégration du concept de source à surface variable dans les études hydrologiques implique à la fois une intégration de nouveaux paramètres et une nouvelle hiérarchie dans ces paramètres.

L'étude morphométrique des bassins versants

La caractérisation morphologique a longtemps porté sur des paramètres globaux: superficie totale, indice de capacité, rectangle équivalent, pente moyenne, indice de pente... Les paramètres à prendre en compte pour utiliser le concept de S.S.V. sont d'un autre ordre; deux éléments interviennent:

- la distribution des S.S.V. est sous la dépendance étroite de la topographie. Il faudra donc caractériser spatialement la géomorphologie de façon à connaître en tout point la valeur des paramètres topographiques;
- la zone de S.S.V. est le domaine hydrologiquement le plus actif, le plus sensible. Ses caractéristiques ont donc un poids plus important dans l'hydrologie du bassin versant que les caractéristiques de la zone de sols non saturés ou que les caractéristiques globales du bassin versant. Dans la paramétrisation des bassins versants, il faudra donc donner un poids plus important à la géométrie des zones de source à surface variable.

Le paramètre $\log_a/\tan\beta$ est un de ces critères qui permettent de comparer des bassins versants sur la base de leur domaine hydrologiquement le plus actif. Notons cependant que la superficie relative des zones contributives est indirectement liée à d'autres indices caractérisant le réseau hydrographique, comme la densité de drainage (BEVEN, 1988 b; RODRIGEZ-ITURBE et VALDES, 1979); de fait, CAMBON (1984) montre que cet indice explique bien la différence de rendement hydrologique entre différents bassins.

Plus généralement, les modèles numériques de terrain permettent une caractérisation beaucoup plus souple et adaptable aux besoins que les critères morphologiques traditionnels.

Le rôle de la pluie

Alors que dans le modèle hortonien, et dans toutes les applications qui en découlent (hydrogramme unitaire, SHERMANN, 1932 in DUBREUIL, 1974), le rôle joué par l'intensité de la pluie est fondamental, il devient ici secondaire.

Dans le modèle de source à surface variable on considérera avant tout que l'eau ruisselle, indépendamment de l'intensité des précipitations, sur des zones prédéfinies en fonction de leur place au sein des bassins versants.

La stabilité de la réponse hydrologique d'un bassin

La comparaison avec la théorie de l'hydrogramme unitaire s'impose à nouveau. Dans celui-ci, on considère que pour une pluie unitaire, le bassin fournit une fonction de transfert et une fonction de rendement uniques. Avec le concept de zone contributive, celles-ci seront éminemment variables et dépendantes de l'extension initiale de la zone saturée.

La définition de l'état d'humidité initiale

La connaissance de l'état d'humidité initial d'un bassin est essentielle à l'analyse des événements averse-crue. Pour le caractériser, différents indices pluviométriques sont proposés dans la littérature (indice de pluies antécédentes) sous la forme d'une fonction du type :

$$aP_j + bP_{j-1} + \dots + nP_{j-m}$$

donnant un poids décroissant aux pluies les plus anciennes: $a > b > n$. j est un indice soit journalier, soit horaire. Ce type de fonction a besoin d'être calé bassin par bassin et n'est donc pas a priori extrapolable à des conditions morphopédologiques différentes (un bassin perméable aura, pour un même indice des pluies antécédentes, un état d'humidité moins grand qu'un bassin imperméable).

Un indice construit à partir de l'indice de saturation potentielle permettrait de caractériser de façon plus pertinente l'état d'humidité initiale du bassin.

Par contre la caractérisation de l'état d'humidité initiale du bassin à partir du débit initial préalable à une crue sera sans doute plus proche d'une caractérisation faite à partir d'un indice de saturation potentielle.

L'analyse des crues par une démarche temporelle

Différents auteurs (CROUZET *et al.*, 1970; SKLASH et FARVOLDEN, 1979; MEROT *et al.*, 1981; KENNEDY *et al.*, 1986, LOYE-PILOT et JUSSERAND, 1988) ont analysé les différentes composantes de l'écoulement lors de crues à l'aide de traceurs naturels, en fonction de l'âge des eaux. Dans cette approche, on discrimine, dans l'eau participant au gonflement des crues, l'eau qui provient directement des précipitations immédiates, de l'eau qui préexiste dans le sol et dans la nappe du bassin considéré. Ces approches mettent en évidence une très faible contribution du ruissellement pur (eau des précipitations) au gonflement des crues, de l'ordre de 1 à 2%. Elles sont en contradiction avec l'approche hortonienne et avec la méthode classique de séparation de l'hydrogramme des crues (ANDERSON et BURT, 1980).

Par contre, avec le concept de S.S.V. ces résultats prennent tout leur sens; l'hypothèse envisageable est que l'alimentation du gonflement des crues se fait par une faible contribution du ruissellement et par une participation importante de l'eau de la zone saturée qui borde les rivières, qui est mise en charge très rapidement lors des averses.

2. CARACTÉRISATION MORPHOMÉTRIQUE DES ZONES DE SOURCES A SURFACES VARIABLES

2.1. MÉTHODOLOGIE

Après avoir défini le concept de S.S.V. et l'avoir situé par rapport à la démarche hydrologique, il apparaît dans la bibliographie que la distribution et l'extension de S.S.V. dépendent avant tout de la géométrie des bassins versants, et secondairement de la nature et de la distribution des sols des bassins versants.

Nous avons donc, dans le cadre de cet article, entrepris de vérifier expérimentalement l'importance de la forme des versants — degré de convergence et pente — sur la distribution de S.S.V. Il nous est apparu intéressant de tester la validité de l'indice de saturation potentielle $\log(a/\tan\beta)$ proposé par Beven en l'appliquant au cas de 2 bassins versants agricoles, à différentes échelles: l'échelle de l'hectare et du km^2 .

Pour ces deux bassins l'indice de saturation potentielle a été calculé et comparé à des cartes d'extension de zones saturées, mesurées lors de campagnes hivernales.

Le calcul de l'indice de saturation potentielle a été fait en tous points des deux bassins versants à l'aide d'un programme développé au laboratoire de Science du Sol de Rennes par Marc KÉRIVIN (1987). Les différentes étapes à suivre sont résumées dans la figure 3.

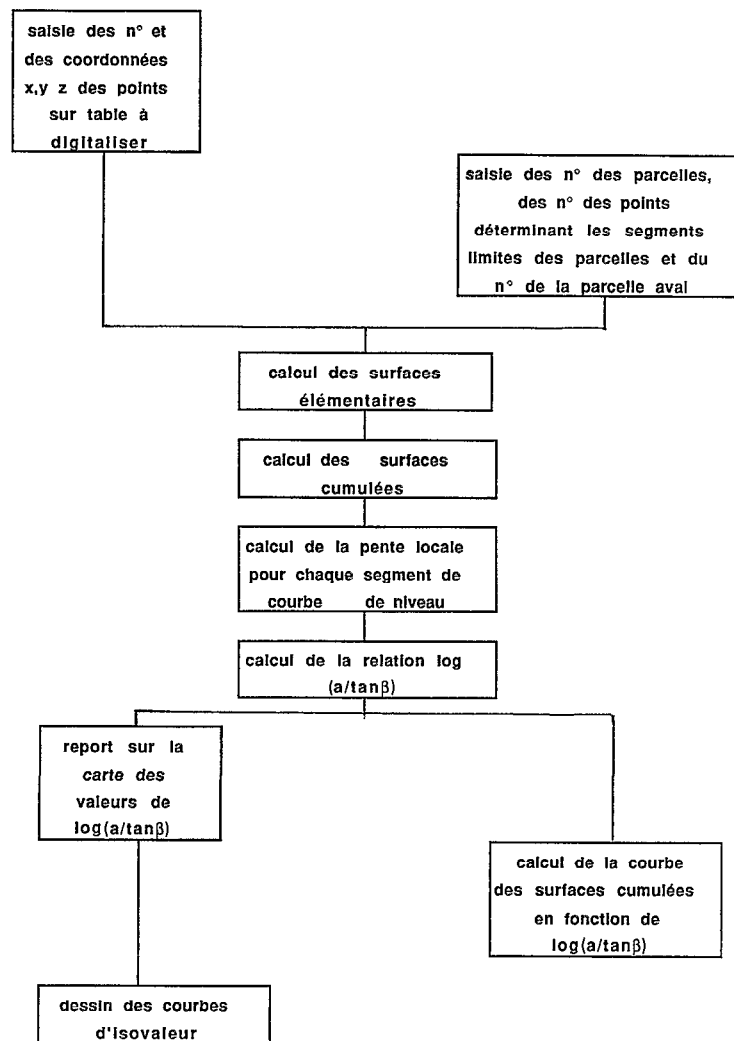


FIG. 3. — Les étapes de calcul de l'indice de saturation potentielle $\log(a/\tan\beta)$

Préalablement au calcul, il est nécessaire de discrétiser spatialement le bassin en unités élémentaires d'alimentation qui s'appuient: 1) sur les lignes de plus grande pente, 2) sur les courbes de niveau. La maille de discrétisation est variable mais doit être resserrée à l'aval pour avoir une bonne précision dans la zone sensible du bassin. Cette phase est extrêmement importante et peut être améliorée par une connaissance du terrain et une vérification préalable sur le terrain de la précision de la carte. On obtient à la fin de ce travail un découpage du bassin en polygones qui vont servir de base au modèle.

2.2. APPLICATION DU MODÈLE AU BASSIN VERSANT DE NOUVOITOU

Ce bassin versant de 10 ha est constitué de sols limoneux sur schistes briovériens et situé dans la région de Rennes. C'est un bassin agricole peu pentu où est présent un bocage dégradé représenté par un réseau lâche de talus et de fossés. Un levé topographique au 1/2000 a été réalisé en 1981 lors d'une première étude.

On a relevé (GASCUEL-ODOUX *et al.* 1983) l'extension des zones saturées à différentes périodes (fig. 4); la carte de l'indice de saturation potentielle des sols $\log(a/\tan\beta)$ (fig. 5) a été réalisée à partir du programme Kérivin. On constate un certain nombre d'analogies entre ces deux cartes; par exemple: la zone saturée le plus longtemps correspond à la zone où la valeur de $\log(a/\tan\beta)$ est supérieure à 19. De même, la grande parcelle trapézoïdale au centre du bassin où $\log(a/\tan\beta)$ est compris entre 16 et 14 correspond à l'extension maximale mesurée de la zone saturée (fig. 4).

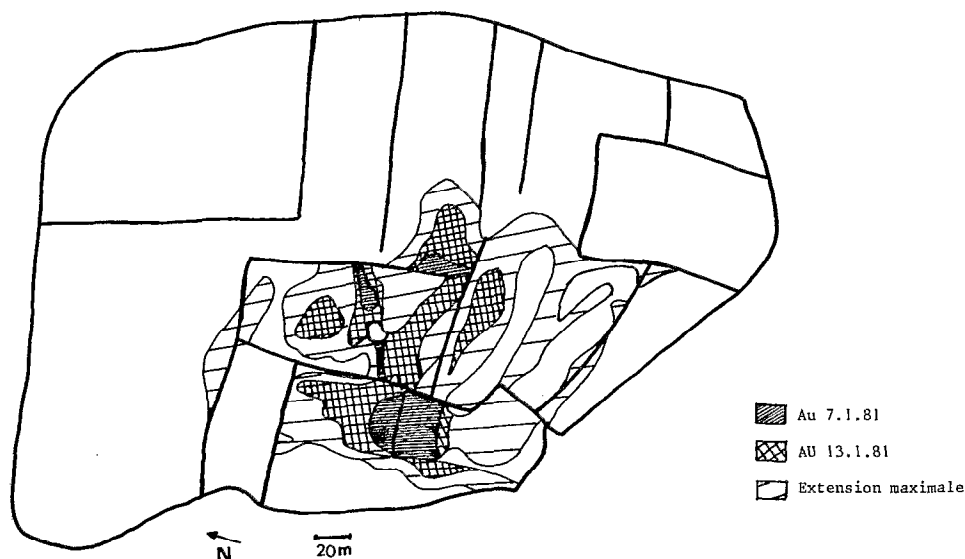


FIG. 4. — Zones saturées mesurées sur le bassin versant de Nouvoitou; hiver 84-85 (tiré de GASCUEL - ODOUX *et al.*, 1983)

Cependant des différences notables sont visibles dans la distribution exacte des zones saturées: la distribution des zones saturées est plus hétérogène pour les valeurs mesurées que pour les valeurs calculées. La carte des valeurs mesurées montre, mise à part la tendance générale du contrôle de l'extension des zones saturées par les formes majeures du relief, une influence notable de la topographie à l'échelle parcellaire: essentiellement ici la présence de talus longés de fossés — qui délimitent les parcelles — induit soit l'allongement des zones saturées dans leur axe, soit une limite à l'extension de la zone saturée, soit enfin un blocage du drainage et la création de zones saturées plus en amont que prévu.

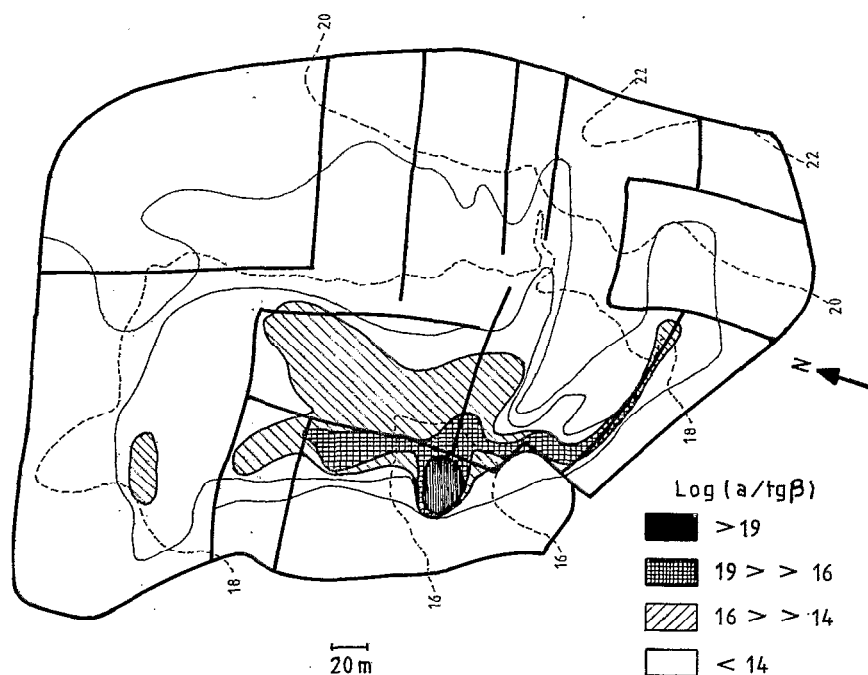


FIG. 5. — Carte de l'indice de saturation potentielle $\log(a/\tan \beta)$, calculé sur le bassin versant de Nouvoitou

2.3. APPLICATION DU MODÈLE AU BASSIN VERSANT DE NAIZIN

Le bassin versant considéré, de l'ordre du km^2 est situé sur schiste dans la région de Pontivy. C'est un bassin versant lui aussi agricole, au relief plus accentué que le précédent. Seul le fond topographique au 1/25 000 était disponible.

L'extension des zones saturées a été relevée sur ce bassin en 1987 lors d'une étude visant à caractériser les zones saturées par radar (BRUN *et al.*). Cependant la validation n'a eu lieu que sur la partie aval du bassin versant (fig. 6). La carte de l'indice de saturation potentielle a été réalisée à partir d'un agrandissement au 1/5 000 de la carte, avec le modèle Kérvin (fig. 7).

La carte des zones saturées mesurées montre:

- 1) une stabilité de la limite de la zone saturée au bas des zones divergentes,
- 2) un allongement des zones saturées dans le bas fond,
- 3) une variation importante de l'extension des zones saturées dans les zones convergentes et planes,
- 4) un découpage complexe de la limite lié essentiellement à la topographie à l'échelle de la parcelle.

On notera ainsi que l'encaissement — non visible sur la carte — de la branche ouest du ruisseau provoque un drainage de la zone saturée sur quelques mètres le long du ruisseau.

La carte des zones saturées modélisées reprend les grandes tendances observées (pour 1, 2 et 3) mais donne des limites beaucoup plus régulières à la limite de la zone saturée.

Sur la partie où la validation du terrain a été faite, on constate une certaine similitude dans le mode de variation des zones saturées modélisées et mesurées. Cependant la période de validation n'a pas été favorable, puisque la pluviométrie a été faible et la variation peu importante.

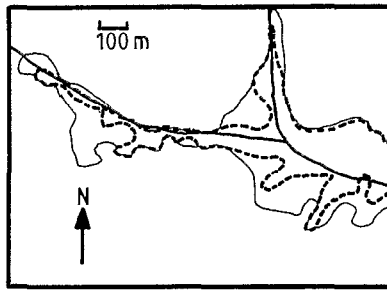


FIG. 6. — Zones saturées mesurées sur le haut bassin versant de Naizin; hiver 86-87 (----- : 10.03; ——— : 07.04)

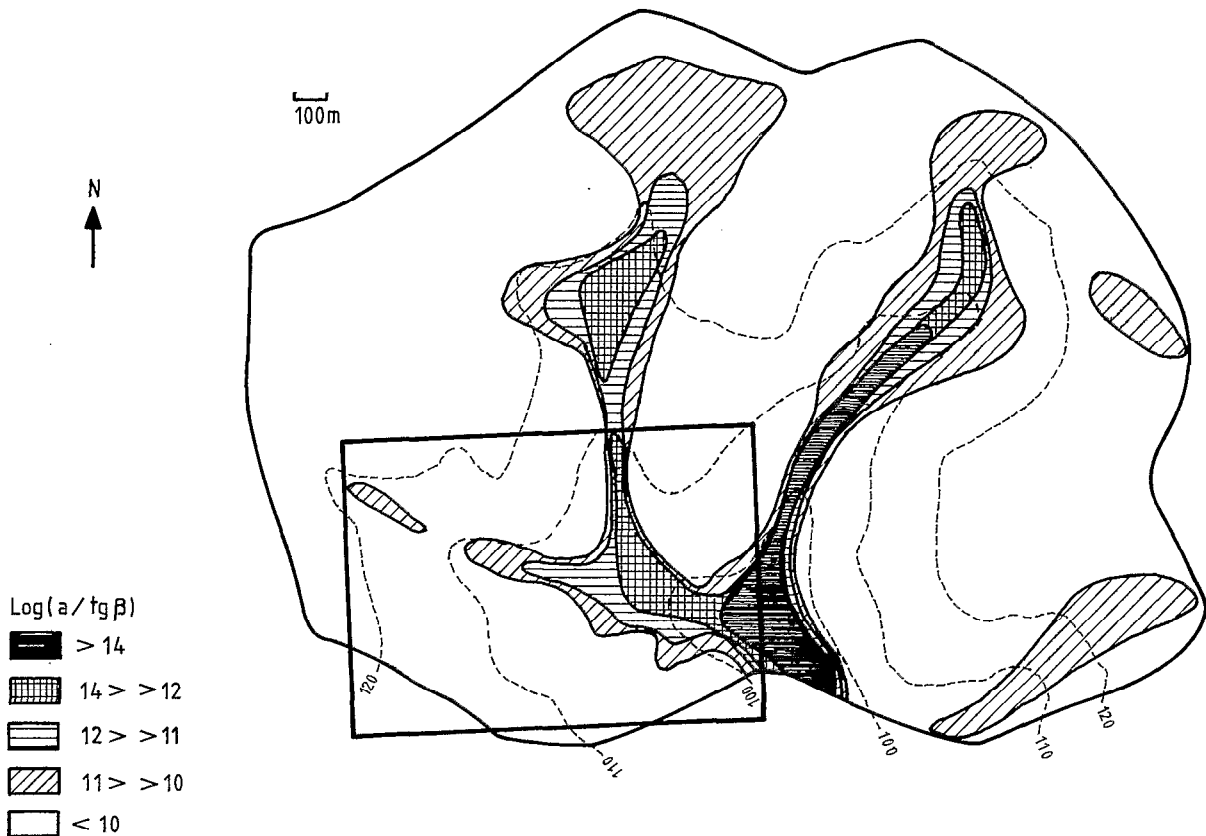


FIG. 7. — Carte de l'indice de saturation potentielle $\log(a/\tan \beta)$, calculé sur le bassin versant de Naizin. Le cadre intérieur indique la partie sur laquelle la validation au champ a été faite.

3. CONCLUSION

La place accordée à la morphologie des bassins dans l'application du concept de source à surface variable ne semble pas usurpée. Cependant dans l'application des modèles morphométriques au calcul de l'apparition de zones saturées il faut distinguer deux échelles.

A l'échelle du paysage, le modèle morphométrique testé rend compte des tendances générales de la variation des zones saturées qui suivent les traits principaux du paysage. Il peut donc être appliqué à des échelles plus petites que l'échelle du bassin versant élémentaire. C'est cependant avant tout sur des bassins versants d'amont que ce modèle a été testé (BEVEN, 1988 a).

A l'échelle de la parcelle un tel modèle est incapable de rendre compte des variations des limites réelles des zones saturées si la morphologie est trop complexe: la topographie — soit naturelle (encaissement des rivières), soit anthropique (talus, fossés,...) — crée un découpage très fouillé des limites des zones saturées. La précision des levés topographiques disponibles n'est pas compatible avec le caractère sinueux des limites relevées sur le terrain.

Différentes voies de recherche sont à développer :

— intégrer le concept de source à surface variable dans des modèles hydrologiques et hydrochimiques spatialisés (BERNIER et HEWLETT, 1982; BURT and BUTCHER, 1985; BEVEN *et al.*, 1984; LUXMOORE, 1983), dans le cadre de l'étude de la pollution des eaux de surface: par exemple pour le contrôle de la pollution par les nitrates dans l'ouest de la France ;

— relier les cartes d'indice de saturation potentielle à des critères pédologiques permanents: le degré d'hydromorphie des sols devrait pour certains types d'hydromorphie être relié à la fréquence de saturation des sols ;

— développer des méthodes de cartographie instantanée de l'état de saturation des sols (télé-détection) pour valider à différentes échelles le concept de source à surface variable (VAN de GRIEND and ENGMAN, 1985).

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 29 juin 1988

BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSON (M.G.) and BURT (T.P.), 1980. — Interpretation of recession flow, *J. Hydrol.*, 46, 89-101.
- ANDERSON (M.G.) and KNEALE (P.E.), 1980. — Topography and hillslope soil water relationships in a catchment of low relief, *J. Hydrol.*, 47: 115-128.
- AUZET (V.), 1987. — L'érosion des sols par l'eau dans les régions de grande culture: aspects agronomiques. CEREG, Strasbourg 60 p.
- BERNIER (P.Y.) et HEWLETT (J.D.), 1982 — Test of revised variable source area simulator (VSA2) on a forested basin. Canadian hydrology symposium Fredericton, new Brunswick: 401-418.
- BEVEN (K.), 1978. — The hydrological response of head water and sideslope areas, *Hydrol. Sci. Bull.* 23 (4), 419-438.
- BEVEN (K.), 1988 (a). — Spatially distributed modelling: conceptual approach to runoff prediction. NATO ASI, Sintra, Portugal, à paraître.
- BEVEN (K.), 1988 (b). — Scale considerations. NATO ASI, Sintra, Portugal, à paraître.
- BEVEN (K.), GILMAN (K.), MALCOM (N.), 1979. — Flow and flow routing in upland channel networks, *Hydrol. Sci. Bull.* 24 (3): 303-327.
- BEVEN (K.), KIRKBY (M.J.), 1979. — A physically based, variable contributing area model of basin hydrology, *Hydrol. Sci. Bull.* 24 (1-3): 43-69.
- BEVEN (K.J.), KIRKBY (M.J.) SCHOFIELD (N.), TAGG (A.F.), 1984. — Testing a physically based flood forecasting model (Topmodel) for three U.K. catchments, *J. Hydrol.*, 69: 119-143.
- BEVEN (K.) and WOOD (E.F.), 1983. — Catchment geomorphology and the dynamic of runoff contributing areas. *J. Hydrol.*, 65: 139-150.
- BONELL (M.) and GILMOUR (D.A.), 1978. — The development of overland flow in a tropical rainforest catchment. *J. Hydrol.*, 39: 365-382.
- BRUN (C.), BERNARD (R.), VIDAL-MADJAR (D.), GASCUEL-ODOUX (C.), MEROT (PH.), DUCHESNE (J.), NICOLAS (H.), 1988. — Locating saturated areas over a watershed by using an helicopter — borne c-band scatterometer. présenté à W.R.R. 20 p.
- BURT (T.P.) and BUTCHER (D.P.), 1985. — On the generation of delayed peaks in stream discharge, *J. Hydrol.*, 78: 379-392.
- CAMBON (J.P.), 1984. — Etude du coefficient d'écoulement moyen sur le système de bassins versants emboîtés du Real Colobrier. CEMAGREF, div. hydrologie. 12 p.
- CAPPUS (P.), 1960. — Etude des lois de l'écoulement. Application au calcul et à la prévision des débits. Bassin expérimental d'Alrance. *La Houille Blanche*, juillet-août 1960, n° A: 493-520.
- CARNET (C.), 1979. — L'effet anti-érosif du bocage en région granitique de Bretagne. in Vogt et Vogt, (éditeur, 1979) — Colloque sur l'érosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen. Strasbourg: 153-156.
- CLARK (R.D.S.), 1980. — Rainfall stormflow analysis to investigate spatial and temporal variability excess rainfall generation *J. Hydrol.*, 47: 91-101.
- CROUZET (E.), HUBERT (P.), OLIVE (Ph.) STWERTZ (E.), MARCE (A.), 1970. — Le tritium dans les mesures d'hydrologie de surface. Détermination expérimentale du coefficient de ruissellement. *J. Hydrol.*, 11: 217-229.
- DUBREUIL (P.), 1974. — Initiation à l'analyse hydrologique, Masson et Cie, ORSTOM. Paris, 216 p.
- DUNNE (T.), 1978. — Field Studies of hillslope flow process in Hillslope hydrology, Kirkby, John Wiley and Sons: 227-293.

- DUNNE (T.), 1983. — Relation of field studies and modelling in the prediction of storm runoff. *J. Hydrol.*, 65: 25-48.
- FREEZE (R.A.), 1974. — Streamflow generation, *Review of geophysics and space physics*, 12, 4: 627-647.
- GALEA (G.), 1977. — Quelques résultats concernant l'influence du drainage sur l'écoulement superficiel des eaux. S.H.F., 13^e journée de l'hydraulique, *multigr.* 9 p. 1 pl. H.T.
- GASCUEL-ODOUX (C), BRANCHARD (J.P.), MEROT (P.), 1983. — Essai de caractérisation globale et de modélisation du fonctionnement hydrique d'un petit bassin versant. *Sc. du Sol*, 1: 3-15.
- GRAS (F.). 1979. — L'érosion des sols lessivés de Lorraine et son incidence sur les projets de remembrement rural in Vogt et Vogt, (éditeur, 1979) — Colloque sur l'érosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen. Strasbourg: 89-94.
- HEWLETT (J.D.), TROENDLE (C.A.), 1975. — Non point and diffused water sources: a variable source area problem, in Irrigation and drainage division symposium, ASCE, Logan, August 11-13, 1975, Watershed management, 46 p.
- KENNEDY (V.C.), KENDAL (C.), ZELLWEGER (G.W.), WYERMAN (T.A.), AVANZINO (R.J.), 1986. — Determination of the components of stormflow using water chemistry and environmental isotopes, Mattole River Basin; California. *J. Hydrol.* 84: 107-140.
- KERIVIN (M.), 1987. — Programme et notice du calcul de l'indice de saturation potentielle log ($a/\tan \beta$). Lab science du sol INRA ENSA Rennes, 15 p.
- KIRKBY (M.J.), 1978. «- Hillslope hydrology. John Wiley and sons. Chichester. 389 p.
- LOYE-PILOT (M.D.), JUSSERAND (C.), 1988. — Décomposition chimique et isotopique d'un hydrogramme de crue d'un torrent méditerranéen montagnard. Réflexions méthodologiques. A paraître dans la *Revue des sciences de l'eau*.
- LUXMOORE (R.J.), 1983. — Infiltration and runoff predictions for a grassland watershed. *J. Hydrol.*, 65; 271-278.
- MEROT (Ph.), 1978. — Le bocage en Bretagne granitique, une approche de la circulation des eaux, thèse 3^e cycle, INRA-ENSA-Université, Rennes, 196 p.
- MEROT (Ph.), BOURGUET (M.), LELEUCH (M.), 1981. — Analyse d'une crue à l'aide du traçage naturel par l'oxygène 18 mesuré dans la pluie, le sol, le ruisseau. *Catena* 8: 69-81.
- MOORE (J.D.), MACKAY (S.M.), WALLBRINK (P.J.), BURCH (C.J.) and O'LOUGHLIN (E.M.), 1986. — Hydrologic characteristics and modelling of a small forested catchment in southeastern New South-Wales. Pre-logging conditions. *J. Hydrol.* 83: 307-335.
- O'LOUGHLIN (E.M.), 1981. — Saturation regions in catchments and their relations to soil and topographic properties. *J. Hydrol.*, 53: 229-246.
- PIHAN (J.), 1979. — Risques climatiques d'érosion hydrique des sols en France in Vogt et Vogt, (éditeur, 1979) — Colloque sur l'érosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen. Strasbourg: 13, 18.
- RODRIGEZ-ITURBE (I) and VALDES (J.B.), 1979. — The geomorphic structure of hydrologic response, *W.R.R.*, 18: 877-886.
- SKLASH (M.G.) and FARVOLDEN (R.N.), 1979. — The role of groundwater in storm runoff. *J. Hydrol.* 43: 45-63.
- VALENTIN (C.), 1985. — Différencier les milieux selon leur aptitude au ruissellement: une cartographie adaptée aux besoins hydrologiques. *Journées hydrologiques de l'Orstom à Montpellier. Colloques et séminaires. ORSTOM: 49-74.*
- VAN de GRIEND (A.A.) and ENGMAN (E.T.), 1985. — Partial area hydrology and remote sensing. *J. Hydrol.* 81: 211-251.
- VOGT (H.) et VOGT (T.). (éditeur, 1979). — Colloque sur l'érosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen. Univ. de Strasbourg 251 p.
- WARD (R.C.), 1982. — The fountains of the deep and the windows of Heaven: Perplexity and progress in explaining the response of rivers to precipitation. University Hull, 30 p.
- WARD (R.C.), 1984. — Hypothesis by modelling catchment response. *J. Hydrol.*, 67: 281-305.