

# Ruissellement, érosion et qualité des eaux en terre de grande culture

*Étude de cas en Laonnois et Soissonnais (France)*

Alexandra ANGÉLIAUME (1), Stanislas WICHEREK (1), Monique DACHARRY (2)

## RÉSUMÉ

*Les problèmes de ruissellement-érosion et de détérioration de la qualité des eaux superficielles en terre agricole sont rarement étudiés conjointement, pourtant il s'agit de deux phénomènes étroitement liés. L'expérimentation en cours sur deux bassins versants élémentaires, cultivés, représentatifs du Laonnois et du Soissonnais, situés au nord du Bassin parisien, en région de grande culture, devrait apporter quelques éléments de réponse quant aux liens qui peuvent exister entre les départs au champ par ruissellement et érosion (eaux chargées en limons, matières organiques, fertilisants, produits phytosanitaires) et la perturbation de la qualité des eaux superficielles. Ces travaux ont le double objectif de comparer le comportement de deux bassins versants ayant des caractéristiques géomorphologiques et agricoles différentes, et de sélectionner les critères utiles pour une typologie des bassins versants quant à leur rôle dans la pollution des eaux superficielles. Dans cette étude, l'utilisation du SIG (Système d'information géographique) permettra de mettre en valeur l'aspect qualitatif des pertes par ruissellement et érosion et de prendre en compte le facteur humain dans son utilisation de l'espace.*

**MOTS CLÉS :** Expérimentation — Bassin versant — Caractéristiques morphopédologiques — Pratiques culturales — Ruissellement — Érosion — Qualité des eaux — Environnement — Bassin parisien.

## ABSTRACT

RUNOFF, WATER EROSION AND WATER QUALITY IN GREAT AGRICULTURAL LANDS.  
EXAMPLES IN LAONNOIS AND SOISSONNAIS (FRANCE)

*Runoff-erosion and water quality problems in farmlands are rarely studied jointly, however they are closely linked. Experimentation on two small cultivated representative watersheds in large agricultural lands in Laonnois and Soissonnais (Parisian Basin) could give us some elements of responses concerning soil losses by erosion linked to water quality. This study permits to compare two watersheds with different geomorphological and agricultural features. It allows also to select water pollution factors. In this article, the GIS (Geographic Information System) is used to illustrate space utilization by man.*

**KEYWORDS :** Experimentation — Watershed — Morpho-pedologic features — Cultivation technics — Runoff — Water erosion — Water quality — Environment — Parisian Basin.

## D'UNE SITUATION RÉGIONALE À L'ÉTUDE DE BASSINS VERSANTS ÉLÉMENTAIRES

L'érosion des terres agricoles par ruissellement concentré affecte de nombreuses régions du nord-ouest de l'Europe (VOGT et VOGT, 1979 ; DE PLOEY et IMESON, 1986 ; CHISCI et MORGAN, 1986) et du nord du Bassin parisien (OUVRY, 1989-90, 1982 ; AUZET 1987 ; LUDWIG, 1989 ; LE BER 1989, KING *et al.*, 1992 ; WICHEREK, 1993, 1994) ;

(1) Centre de biogéographie-écologie, URA 1514, CNRS-ENS Fontenay-Saint-Cloud, Le Parc, 92211 Saint-Cloud.

(2) Université des sciences et technologies de Lille, URA 1688, CNRS, 59655 Villeneuve-d'Ascq Cedex.

et cela malgré un climat et un relief d'ensemble modérés (MONNIER *et al.*, 1986). Les sols limoneux constituent jusqu'alors le principal facteur explicatif, en favorisant la formation du ruissellement et en facilitant le détachement des particules de sol. Plus particulièrement, on cite le phénomène de battance, largement étudié par BOIFFIN (1984) et LE BISSONNAIS (1988).

La Picardie, région de grande culture, ne fait pas exception. Dans ce paysage d'openfield-mosaïque dominant (BRUNET, 1960), qui résulte, d'une part, de l'importante étendue des défrichements médiévaux (HICOUNET, 1990), d'autre part, de l'introduction de la betterave sucrière au XIX<sup>e</sup> siècle (ESTIENNE *et al.*, 1980), on trouve une agriculture intensive (céréales), à très large vocation industrielle (betteraves sucrières et pommes de terre). Les situations d'érosion y sont principalement observées depuis les années 1950 (HENIN et COBILLOT, 1950 ; LEFEVRE, 1958 ; MORAND, 1979 ; MAUCORPS, 1982 ; MORAND et WICHEREK, 1987 ; AUZET, 1990). Elles prennent aujourd'hui de l'ampleur tant au niveau de leur localisation que de leur importance. On peut citer les cas des vallées de la Somme, de l'Authie, de la Maye, de la Bresle, de l'Oise, de la Serre ou de l'Ourcq où tous les types de sol sont touchés, les sols crayeux ou sableux étant aussi concernés.

Les problèmes qui s'ébauchaient il y a quelques années se précisent aujourd'hui. Outre les ravines qui perturbent les travaux agricoles, les pertes de sol, de matières organiques ou de fertilisants se traduisent dans le temps par un appauvrissement du sol et, à terme, par une baisse des rendements. La fertilité que l'on tente de reconstituer par des apports minéraux (N, P, K) est bien souvent inférieure en qualité. De plus ces fertilisants, solubles, sont nettement plus sensibles à un entraînement par ruissellement. Les cours d'eau qui collectent les écoulements voient leur qualité se dégrader à la suite d'un accroissement des teneurs en matières en suspension, en matières organiques, en azote et en phosphore, ainsi qu'en produits phytosanitaires. Cette pollution des eaux de surface, dite « diffuse » du fait de ces multiples sources, se manifeste, à terme, par un appauvrissement de la variété biologique et, de façon chronique, par des mortalités de poissons.

La relation « érosion et qualité des eaux de surface » est évoquée dans les études de pollutions diffuses d'origine agricole (DORIOZ, 1992 ; BERNARD, 1988). Mais de nombreuses questions demeurent. Elle concerne la nature des polluants transférés, leur quantité et leur mode de transfert (dissous ou sur particules du sol) et les flux sur le bassin versant dans son intégralité. En conséquence, l'étude des pollutions diffuses nécessite une échelle adaptée ; celle du petit bassin versant élémentaire, unité spatiale fondamentale des études environnementales, répond le mieux à ce besoin. Les mesures à cette échelle apportent le meilleur compromis entre des techniques dont les objectifs diffèrent : d'une part, la compréhension des processus étudiés le plus souvent à l'échelle de la parcelle ou sur lysimètres, d'autre part, l'estimation des flux appliquée à de grands bassins versants à écoulement pérenne où il est délicat de distinguer les causes et les processus. Le choix de cette échelle intermédiaire permet de suivre simultanément chaque parcelle et d'estimer les flux à l'entrée et à la sortie du bassin.

À l'heure actuelle, les études à l'échelle de bassin versant qui analysent l'impact des activités agricoles sur les cours d'eau sont encore peu nombreuses et portent sur des paramètres particuliers comme les conditions de déclenchement des écoulements (COSANDEY, 1990), les nitrates (Société chimique Grande paroisse, 1991 ; BOUKCHINA, 1992 ; MA, LEVIANDIER, FERRY, 1992), le phosphore (DORIOZ et FERHI, 1994) ou les produits phytosanitaires (GRIL, MAILLOUX, FAUCHON, 1992). Les résultats témoignent du fonctionnement propre de chaque bassin dans une région donnée (coteaux viticoles, versants cultivés, etc.), mais ils restent très épars.

L'étude en cours, portant sur deux bassins versants élémentaires agricoles du nord du Bassin parisien, constituera à terme une référence régionale nouvelle et apportera des éléments d'explication sur le comportement hydraulique de sites plus ou moins vulnérables au ruissellement.

On espère ainsi caractériser les éléments utiles à une typologie et à une cartographie des risques d'érosion. Les paramètres morphopédologiques déjà mis en avant lors de réflexions antérieures (VEYRET, WICHEREK, 1992 ; DACHARRY, VEYRET, WICHEREK, 1993) ont permis la sélection de deux unités spatiales représentatives. Ces paramètres seront associés aux facteurs anthropiques pour un traitement sur SIG. Actuellement, ce travail n'en est qu'au stade descriptif, l'objectif final étant de réaliser des « scénarios » et de les tester sur d'autres petits bassins versants agricoles de la région. Enfin, on souhaite proposer quelques pratiques favorables à la gestion du patrimoine sol et eau. Ainsi, l'agencement des cultures sur le bassin versant ou encore les dates et la nature des traitements peuvent être suggérés afin de promouvoir une agriculture durable en région de plateaux et de collines, c'est-à-dire une agriculture productive et respectueuse de l'environnement à long terme.

## DEUX UNITÉS GÉOGRAPHIQUES POUR UNE RÉGION DE GRANDE CULTURE

L'expérience engagée en 1989 porte sur deux bassins versants élémentaires appartenant à des régions agricoles de grande culture, différentes par la topographie et l'exploitation. La première s'étend sur les plateaux calcaires, du nord de Paris à Soissons ; la seconde, plus au nord, d'« horizons mollement ondulés » (R. REGRAIN, dans ESTIENNE *et*

al., 1980) couvre la plaine crayeuse (fig. 1). Il a été montré, dans le cadre de plusieurs études, que la distinction de ces deux unités spatiales est primordiale pour l'estimation des risques d'érosion à l'échelle régionale (VEYRET, WICHEREK, 1992 ; DACHARRY, VEYRET, WICHEREK, 1993). En effet, aux plateaux ondulés et aux vallées encaissées du Valois, du Multien et du Soissonnais succède la plaine du Laonnois, trop plate pour subir des phénomènes d'érosion hydrique, puis les collines marquées du Saint-Quentinois-Laonnois, prolongement du plateau picard crayeux. Au nord-est, les prairies et haies de la Thiérache limitent cet espace de grande culture. Le choix de sites en plateaux et collines d'une part, représentatifs localement et, d'autre part, complémentaires au niveau régional, apporte une cohésion dans l'étude des paysages à risque érosif.

Les plateaux à corniches, dits de la « Picardie parisienne », largement entaillés par les cours d'eau (l'Aisne, l'Oise, l'Ourcq), se caractérisent par des bassins versants élémentaires de grande taille (plusieurs centaines d'hectares), des pentes faibles (inférieures à 3 % pour la plupart) et un grand parcellaire (la taille moyenne des parcelles avoisine 20 ha).

C'est au sud de Soissons, que se situe le premier site, sur la commune de Vierzy. Ce bassin versant élémentaire, entièrement cultivé, dit du « Grand fossé », dispose d'une surface d'alimentation d'environ 180 ha et se découpe en une quinzaine de parcelles (fig. 2 a). Son exutoire se localise en bordure de plateau à l'amont immédiat du village de Vierzy, déclaré sinistré en mai 1988 à la suite d'importantes coulées de boue. Les sols, caractérisés par une proportion égale de limons argileux et de limons moyens (cartographie au 1/5 000 par MAUCORPS, 1993), coif-

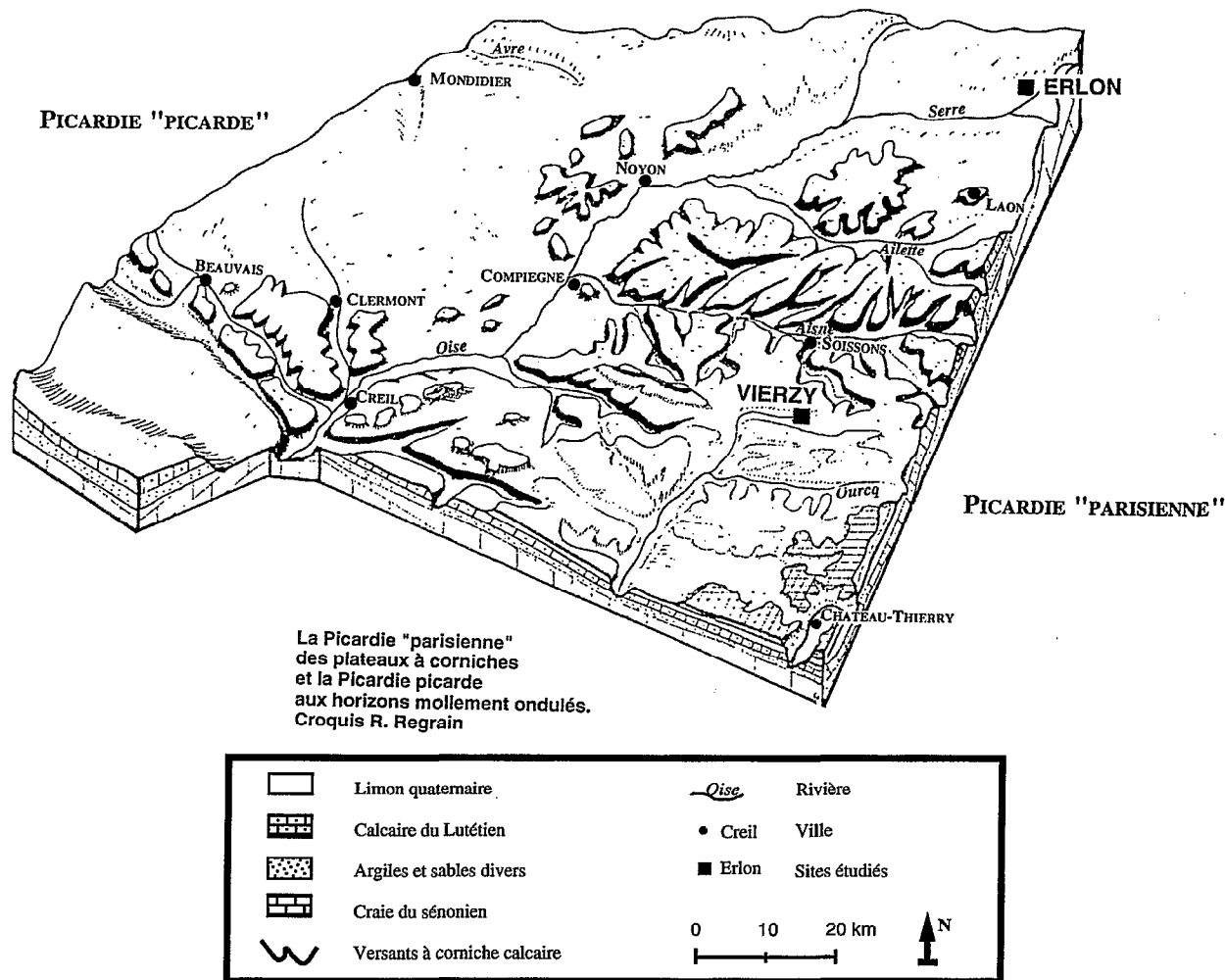


FIG. 1. — Situation géographique des deux sites : Erilon, dans les horizons mollement ondulés du Saint-Quentinois, Laonnois et Vierzy, dans la partie méridionale du plateau soissonnais (d'après R. REGRAIN in ESTIENNE *et al.*, 1980).

fent la nappe phréatique liée aux marnes et caillasses du calcaire grossier lutétien qui affleure en plusieurs points sur le flanc du plateau. Cette nappe se caractérise par de fortes teneurs en nitrates comprises entre 70 et 80 mg/l (mesures bimensuelles, depuis octobre 1993, effectuées par nos soins). Dans l'assolement classique régional blé-betteraves - blé-pois s'intercale la pomme de terre qui est cultivée localement compte tenu de la proximité d'industries agro-alimentaires. Il faut noter l'apport d'amendements sous forme de vinasses et de défécation de sucrerie et, de façon spécifique à ce secteur, des boues de stations d'épuration, des boues d'hœsch (résidus de fabrication de lessive) et des « corps de meules » (déchets de champignonnières). De plus, les traitements phytosanitaires sont distincts selon les cultures et les exploitants agricoles.

Au nord de ces vastes plateaux, immédiatement après la plaine de Laon, s'étend un paysage de collines, aux versants convexo-concave : il s'agit du Saint-Quentinois-Laonnois (Marlois). Les bassins versants y sont plus petits (inférieur à 100 ha) et leurs pentes sont plus contrastées que sur le plateau soissonnais (fig. 2 b). Le BVEC (Bassin versant élémentaire cultivé), de « l'Arbre Robert », sur la commune d'Erlon en est représentatif. Il couvre une petite superficie (28 ha) et ses pentes sont marquées (48 % des pentes sont comprises entre 2 et 5 % et 39 % sont supérieures à 5 %). Les sols se distinguent des précédents par une plus forte proportion de limons argileux (environ trois quarts contre un quart de limons moyens) et par la présence de silex, attribués au Paléolithique, en fond de vallée (cartographie au 1/5 000 par MAUCORPS, 1991). En bas de versant, la nappe alluviale assure la jonction entre la nappe de la craie (située à 6-8 m de profondeur, à teneur peu élevée en nitrates, de 23 à 28 mg/l, DDASS — Direction départementale des actions sanitaires et sociales — et mesures réalisées par nos soins depuis octobre 1993) et le Vilpion affluent de la Serre et de l'Oise. Sur ce site, les parcelles, sept sur le bassin, sont de petite taille (en moyenne 7-8 ha). L'assolement dominant est blé-betteraves-blé-maïs, la présence du maïs étant liée à une réserve hydrique des sols plus importante que sur le plateau.

Quant à la pluviométrie, la moyenne annuelle varie de 750 à 800 mm (Météo-France pour le département). Elle est presque identique sur les deux sites, si ce n'est un léger gradient croissant que l'on observe du sud-ouest au nord-est. De ce fait, la station d'Erlon est, en moyenne annuelle, plus arrosée que celle de Vierzy (de l'ordre de 50 à 100 mm/an). Concernant la répartition spatio-temporelle des précipitations, les 80 km qui séparent les deux sites entraînent des nuances assez marquées des totaux journaliers, mais aussi des intensités. Il est donc relativement rare d'obtenir une séquence de pluie identique sur les deux bassins, surtout au printemps et en été où la trajectoire des perturbations à caractère orageux est aléatoire.

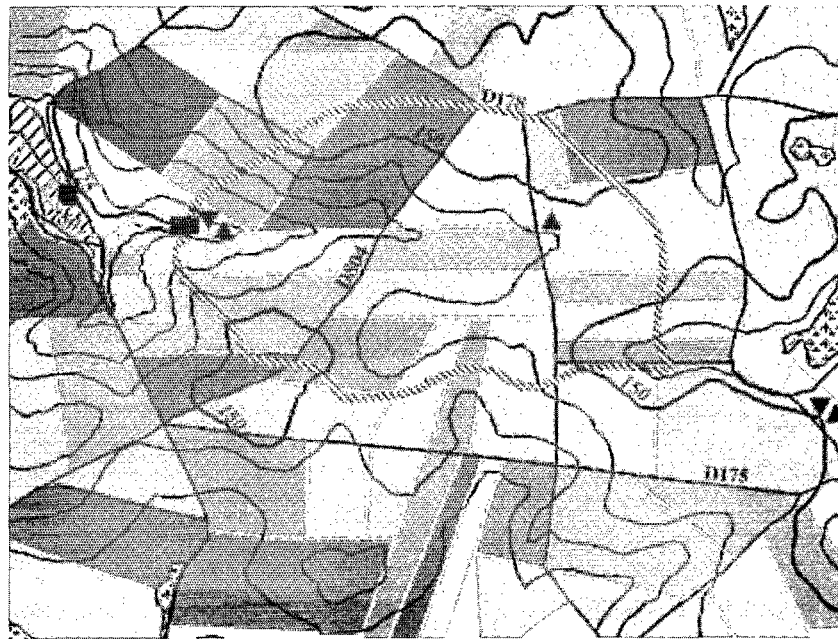
L'essentiel des différences de ces sites réside donc dans leurs caractéristiques morphopédologiques et agraires : les pentes sont plus marquées à Erlon, mais la surface d'alimentation du bassin est moindre, ce qui le différencie de Vierzy. Par ailleurs, à Erlon, les sols sont à dominante limono-argileuse, donc sensibles à la battance et la présence de silex joue un rôle primordial dans l'incision des sols et l'entraînement de terre. Enfin à Vierzy, les parcelles plus grandes et le travail dans le sens de la pente sont d'autres critères de différence pouvant jouer comme facteurs aggravants du ruissellement et de la concentration des eaux. En dernier lieu, les différents modes de travail du sol (déchaumage, labour tardif, etc.) sont aussi pris en compte.

Dans l'optique d'étudier l'incidence de ces différentes caractéristiques morphopédologiques, climatologiques et culturelles, les bassins versants font l'objet d'un équipement et d'un suivi bien spécifique.

## TECHNIQUES ET MESURES

Le ruissellement et l'érosion, phénomènes épisodiques, sont étudiés aux stations de jaugeage installées sur les exutoires des bassins versants depuis mai 1989 pour Erlon et février 1993 pour Vierzy (fig. 2 et fig. 3, WICHEREK, 1991). Lors des événements pluviométriques, les débits sont mesurés et des échantillons d'eau sont prélevés afin de doser les matières en suspension, les matières organiques, les nitrates et cinq produits phytosanitaires sélectionnés en fonction des périodes d'épandage et des cultures (*atrazine* herbicide maïs, *isoproturon* herbicide, *bentazone* herbicide maïs, *métamitron* herbicides betteraves, *2,4d* herbicide céréale ; mais aussi des insecticides ou des fongicides en relation avec les doses utilisées, les toxicités et autres particularités des produits). Les échantillons, récupérés en général dans les 24 heures suivant l'écoulement, sont conservés au réfrigérateur à 4 °C. Les analyses sont réalisées les jours suivants, dans un délai maximal de 8 jours, sur eau filtrée (0,7 µm) pour les analyses de nitrates. D'autres éléments devraient être analysés par la suite : les nitrites, l'ammonium, le phosphore total dissous, le phosphore total particulaire, les ortho-phosphates et les produits phytosanitaires sur sédiments (1) ; afin de caractériser les dépôts sous forme solubles ou fixés sur sédiments.

(1) Les analyses d'azote et de phosphore seront réalisées par le laboratoire de la Station de limnologie lacustre de l'INRA (Thonon-les-Bains), celles de phytosanitaires par le CIRSEE (Centre international de recherche scientifique sur l'eau et l'environnement) et la Lyonnaise des Eaux (Le Pecq).



(a)



(b)

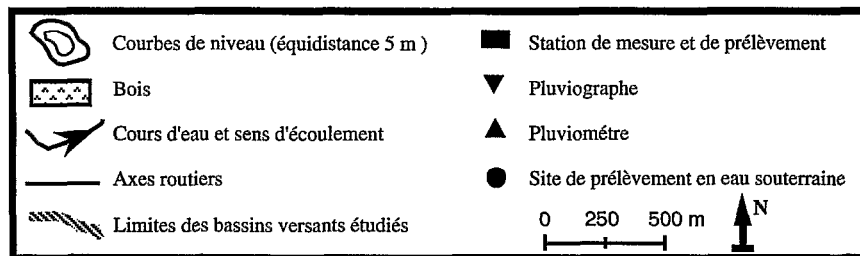


FIG. 2. — Les bassins versants et leur équipement. (a) Vierzy, (b) Erlon.

Parallèlement aux mesures de la station, d'autres paramètres sont étudiés. Les données météorologiques sont enregistrées. Les sols font l'objet de notation des états de surface des sols et de mesures diverses : relevé des densités apparentes et de l'humidité, dosage pendant l'hiver des reliquats azotés, des matières organiques, du pH. Les pratiques agricoles, fertilisations, traitements phytosanitaires et passages de machines agricoles sont suivis par observations et enquêtes.

En complément de cette démarche basée sur ce qui transite à l'exutoire, la quantification des déplacements de terre est aussi évaluée par le dosage dans les sols du Cs137. La méthode mise en œuvre a été développée aux É.-U. par Ritchie et McThuzy dans les années soixante, puis utilisée en Australie, au Canada, en Angleterre et au Québec. Elle se fonde sur la quantité de césium résiduelle trouvée dans un sol, qui est inversement proportionnelle aux mouvements de sol qui l'ont affecté (BERNARD, LAVERDIÈRE, PESANT, 1992 ; WICHEREK, BERNARD, VEYRET, 1993). Les résultats obtenus à Erlon par les deux méthodes, mesures des matières en suspension à l'exutoire et dosages du Cs137 sur le bassin versant, sont cohérents (WICHEREK et BERNARD, 1994). Ainsi le dosage du Cs137 permet une estimation de l'érosion survenue lors des trente dernières années.

### PREMIERS RÉSULTATS

L'étude des pollutions diffuses, d'origine agricole, dans les eaux passe, au préalable, par l'observation très précise des conditions de déclenchement du ruissellement et des processus d'érosion. À ce propos, certaines conclusions concernant les BV peuvent être énoncées.

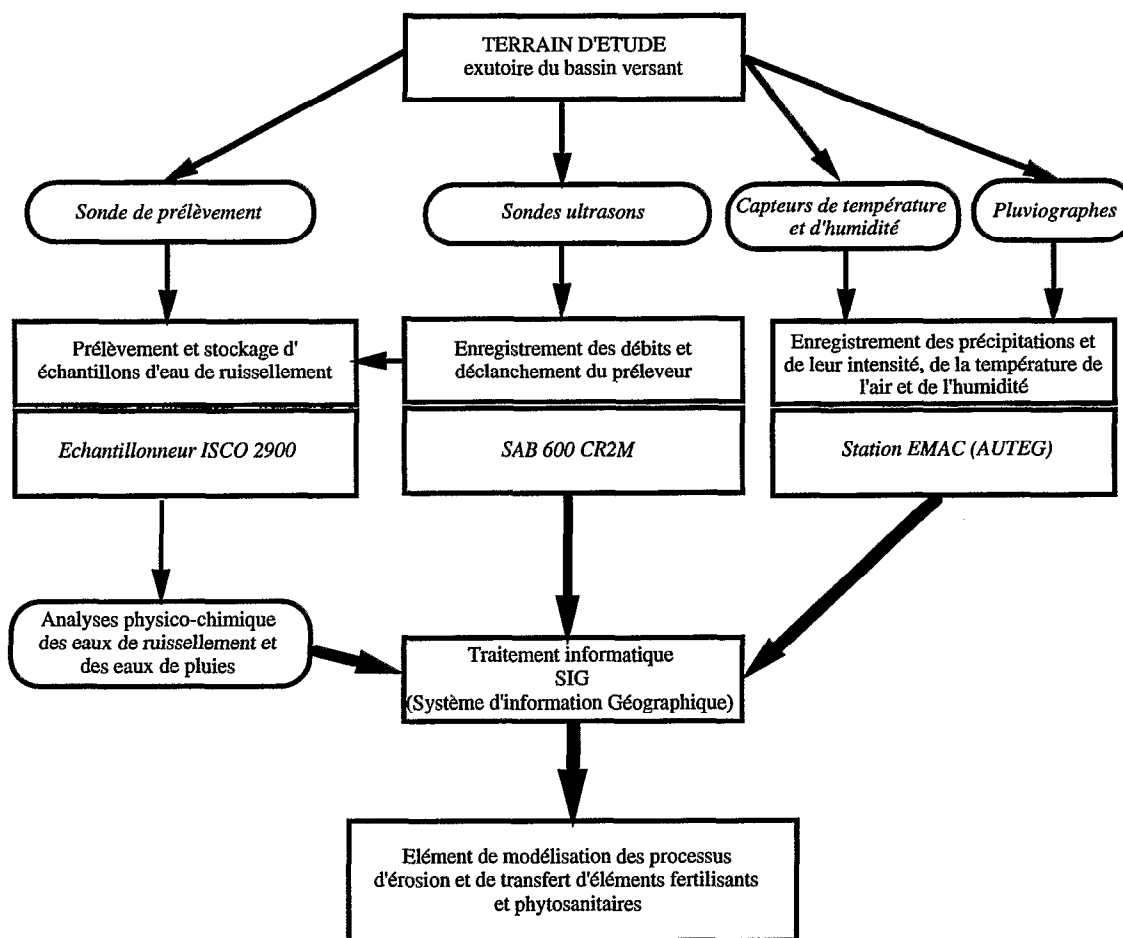


FIG. 3. — Mesures débitimétriques et prélèvements sur bassin versant logique du système (d'après WICHEREK, 1991).

## CARACTÈRES HYDRAULIQUES DES ÉVÉNEMENTS ÉTUDIÉS

En trois ans, quelle que soit la période considérée, on observe *beaucoup plus d'épisodes de ruissellement à Erlon, en région de collines, qu'à Vierzy sur le plateau*. Lors de la période automne-hiver 1993-94, alors que les chroniques de pluies observées sont très voisines sur les deux secteurs, on remarque sur le site d'Erlon de nombreux écoulements faibles pouvant durer plusieurs jours, alors qu'à Vierzy, les ruissellements sont toujours plus courts (quelques heures) et, généralement, importants en volume (voir tableaux ci-après). Dans la présente étude, quatre événements significatifs ont été retenus sur cette période et comparés. Ils concernent les deux sites à des dates similaires ou voisines.

Premier constat, les seuils de déclenchement du ruissellement diffèrent sur les deux sites. On notera ainsi que les ruissellements se sont déclenchés à Vierzy pour une pluie minimum de 19 mm, et surtout un total au moins égal à 60 mm les 10 jours précédents (tabl. I a). À Erlon, les petits ruissellements se produisent pour des pluies nettement inférieures, dès 6-7 mm; il faut toutefois un minimum de 10 mm cumulés lors de l'averse pour déclencher un événement important, ainsi qu'un total de pluie sur 10 jours supérieur à 20 mm (tabl. I b).

Dans tous les cas, pour un total de 100 mm en 10 jours, situation exceptionnelle, on observe de très gros ruissellements.

*Ces différences de comportement des deux bassins versants sont à mettre en relation en priorité avec les facteurs naturels (pentes, sols...) et secondairement avec les facteurs cultureux (récoltes, labours)*. Pour des situations météorologiques proches, il y aura moins de risques de déclenchement de ruissellement sur le plateau. Les pentes y sont plus faibles (69 % inférieures à 3 %) et plus longues, le rassemblement des eaux est donc plus lent. *Le talweg principal* (long de près de 2 km, de pente 1 à 2 %) assure un effet tampon en permettant à une partie de l'eau de s'infiltrer. Et cela même si les sols sont plus limoneux et donc plus sensibles à la battance. Dans les vallons, de type Erlon, la forme plus ovoïde des bassins et leur petite taille contribuent à une meilleure concentration des écoulements superficiels, d'autant que les pentes sont nettement plus marquées (à Erlon, 87 % des pentes sont supérieures à 3 %, dont 39 % supérieures à 5 %).

Pour illustrer le rôle des *facteurs cultureux*, quelques cas sont exemplaires. Le 15 octobre à Vierzy, un important ruissellement a été enregistré. Les deux sites avaient reçu une averse comparable : 26,4 mm à Vierzy (dans la nuit du 14 au 15) et 18,6 mm à Erlon, avec des intensités maximales voisines (24 mm/h à Vierzy dans la nuit du 14 au 15 et 30 mm/h à Erlon). Mais à Vierzy, la récolte des pommes de terre (8 % de la surface du bassin versant) et des betteraves (48 %) était déjà commencée depuis plus d'une semaine. Les sols étaient donc tassés par le passage des machines et gorgés d'eau par les pluies du début du mois. Inversement le 10 novembre à Erlon, la récolte des betteraves se termine (45 % du bassin), l'averse de 13,5 mm, plus faible que celle du mois précédent, entraîne un fort ruissellement, ce qui n'est pas le cas à Vierzy où le seuil de pluie nécessaire au déclenchement de l'écoulement n'est pas atteint. Ces deux exemples montrent l'importance de la date de récolte, conjointement au facteur pluie. Ainsi pour déclencher un ruissellement, il faut simultanément une certaine lame d'eau et un état propice des parcelles (humidité des sols, tassement, croûte de surface).

Par contre, le 20 décembre, les deux sites se trouvent dans une situation très voisine. Après une longue période pluvieuse (du 13 au 20 décembre), on observe en effet sur les BV un fort ruissellement. Les différences entre parcelles sont atténuées, les taux de saturation en eau sont proches (voisins de 25 %, le maximum étant de 33 %, limite de liquidité du substrat) et cela quelle que fût la culture en place. Les labours plus ou moins récents par rapport à l'événement pluvieux (mi-novembre à début décembre) concernent une petite superficie sur les deux bassins versants (inférieure au 1/3 à Erlon et au 1/4 à Vierzy). Ces faibles surfaces labourées sont liées aux mauvaises conditions météorologiques des semaines précédentes (pluies trop abondantes en novembre et gel et neige dès décembre). À cette date du 20 décembre, le débit instantané répond presque instantanément à la pluie. Il y a réaction des bassins, si ce n'est en quantité, tout du moins en variation temporelle. En effet, pour ce qui est des quantités ruisselées par rapport à la pluie tombée, elles sont très faibles : proches de 7 % à Erlon et 2 % à Vierzy.

La pluviométrie (hauteurs totales et intensités) et l'état de surface (faible proportion de labour, sol gorgé d'eau) étant très proches, l'incidence du *facteur topographique* sur le *temps de réponse* (laps de temps entre le début de l'averse et le début de l'écoulement), sur le *temps de concentration* (laps de temps entre le début de l'écoulement et le maximum) et sur la *durée totale de l'événement* est ainsi soulignée. À Erlon, par exemple le 20 décembre en fin de journée, le *temps de réponse décroît à chaque nouvel écoulement pour atteindre une valeur minimale d'une quinzaine de minutes* (confirmant les résultats déjà énoncés par S. WICHEREK en 1993). *Par contre à Vierzy, ce même temps ne descendra pas au-dessous d'une cinquantaine de minutes*. De même, le temps de concentration est d'une vingtaine de minutes à Erlon contre 45 à 50 à Vierzy. La durée de l'écoulement varie également. Par exemple (fig. 4 a), pour les pics 3 et 4, les précipitations et les intensités sont quasiment identiques, le ruissellement est plus rapide et plus court à Erlon, ainsi les deux courbes se détachent nettement. Le dernier pic met bien en évidence la rapidité de la réponse à la pluie et surtout à son intensité. Le débit maximal instantané (proche de

TABLEAU I

Dates et caractéristiques des pluies et des ruissellements à Vierzy (a) et Erlon (b) pendant l'automne-hiver 1993-94  
 Les tableaux ci-après regroupent tous les ruissellements ayant eu lieu entre le premier octobre 1993 et le 31 janvier 1994.  
 Les débits pouvant se maintenir plusieurs jours, on indique d'une astérisque le jour du débit maximal  
 qui est aussi le jour pris pour la valeur de la pluie journalière

Date(s)	Précipitations	Intensité maxi	Précipitations	Précipitations	Volume total	Débit	MES	MES	N-NO3	N-NO3
du	jour j	pendant 1 mn	j-1	total 10j-j	écoulé	inst maxi	total	teneur maxi	total	teneur maxi
ruissellement	(mm)	(mm/h)	(mm)	(mm)	(m3)	(l/mn)	(kg)	(%)	(kg)	(mg/l)
14/10/93	20,2	8	8,2	58,9	3,8	110	-	-	-	-
14-15*/10/1993	6,2	4	20,2	71,6	142,7	700	100	0,08	0,232	6,4
13/12/93	3,8	-	19	61,4	70,8	230	-	-	-	-
20/12/93	28,7	12	20,3	89,7	71,4	378	-	-	-	-
20*-21/12/93	28,7	24	20,3	89,7	1424,6	6300	1083	0,18	1,092	0,8
21/12/93	5,2	24	28,7	103,9	155,9	2500	-	-	-	-
3/01/94	9,6	24	7,5	57,5	64,7	960	-	-	-	-

Date(s)	Précipitations	Intensité maxi	Précipitations	Précipitations	Volume total	Débit	MES	MES	N-NO3	N-NO3
du	jour j	pendant 1 mn	j-1	total 10j-j	écoulé	inst maxi	total	teneur maxi	total	teneur maxi
ruissellement	(mm)	(mm/h)	(mm)	(mm)	(m3)	(l/mn)	(kg)	(%)	(kg)	(mg/l)
1*-2/10/93	8	10	2	17,7	0,25	<1	-	-	-	-
4/10/93	11	8	0	24,7	0,23	2	-	-	-	-
5/10/93	36	60	11	29,7	0,15	9	-	-	-	-
11*-12/10/93	6	30	0	51,5	0,05	<1	-	-	-	-
13-14*-15/10/93	18,6	30	17,3	61	0,34	5	-	-	-	-
10/11/93	13,5	3	0	0,5	57	1200	93	0,70	0,105	2,7
13*-14-15/11/93	11	6	0,5	14,5	136	1000	-	-	-	-
7/12/93	7	2	0	10,5	0,06	<1	-	-	-	-
8/12/93	6,7	2	7	17,2	2,1	32	-	-	-	-
10*-11-12-13/12/93	15	15	1,5	23,3	407	2000	209	0,30	0,260	4,3
15-16*-17-18/12/93	19,2	8	2,1	57,9	142	585	90	0,14	0,137	2,35
19-20*-21/12/93	41	30	20,5	86,1	860	8500	-	-	-	-
22*-23-24-25-26/12/93	7	15	3,5	108,5	126	600	-	-	-	-
30/12/93 au 3/01/94					sondes hors service		-	-	-	-
3/01/94	4,4	-	1,6	33	0,68	23	-	-	-	-
4*-5/01/94	4	-	4,4	30,4	61,6	1260	-	-	-	-
6/01/94	2,5	-	3,5	33,2	7	95	-	-	-	-
10-11-12*/01/94	5,5	-	1,5	27,3	83,05	875	-	-	-	-
13-14-15-16*/01/94	13	-	4	28,7	325,1	985	-	-	-	-
16-19/01/1994					sonde hors service		-	-	-	-
20/01/94	3,5	-	1,5	33	10,85	58	-	-	-	-
22/01/94	1,4	-	0	30,5	0,615	7	-	-	-	-
23/01/94	1,5	-	1,4	25	9,7	114	-	-	-	-
24/01/94	5	-	1,5	24,5	33,3	193	-	-	-	-
25/01/94	2	-	5	29,5	4,8	48	-	-	-	-
26/01/94	2	-	2	30,5	7,6	416	-	-	-	-
27*-28/01/94	5,5	-	5,5	28,5	43,1	1400	-	-	-	-



9 000 l/mm) est près de un tiers supérieur à celui de Vierzy. Par contre, le volume total écoulé est nettement supérieur à Vierzy.

En conclusion, la topographie d'Erlon se traduit par un risque plus accru vis-à-vis *des débits instantanés qui varient très rapidement*. Le travail du sol (labour, déchaumage) peut retarder et atténuer ces ruissellements, mais son effet s'efface lors des pluies exceptionnelles. À Vierzy, la morphologie agira plus en faveur *d'une concentration des volumes et de la puissance du flot, effets d'une surface plus grande*. Les parcelles étant plus étendues, l'effet du changement de rugosité est quasi inexistant et le ralentissement des eaux est moindre.

#### TRANSPORTS SOLIDES ET DISSOUS

Les nuances observées dans le comportement hydrologique des bassins versants se répercutent sur les divers transports, en particulier sur ceux des matières solides et des nitrates. Les situations sont complexes et variables en fonction des périodes hivernales ou automnales, mais aussi en fonction des conditions liées au ruissellement, comme l'occupation du sol. À titre d'exemple, la charge en MES peut atteindre des valeurs très fortes ; ainsi au printemps on obtient jusqu'à 13 % du débit. À l'automne, elle devient bien moins élevée, inférieure à 1 % et souvent même à 0,5 %. Ce pourcentage de matières solides comprend parfois une bonne part de matières organiques, jusqu'à 50 %, et cela surtout après récolte. Pour les nitrates, on observe les plus fortes teneurs au printemps (maximum observé : 90 mg/l en avril 1994), tandis que lors des ruissellements d'automne et d'hiver les valeurs sont très largement inférieures.

Pour la période automne-hiver considérée, l'importance des MES dans les eaux de ruissellement dépend de l'état de surface du bassin. C'est essentiellement la présence de chaumes et de labour qui réduit leur concentration. Leur transport est en partie lié au débit instantané, mais surtout aux *pics d'intensité des pluies qui interviennent sur la prise en charge*. Leur concentration peut décroître même si le débit reste élevé, dans la mesure où les pluies sont de moindre intensité et où les forces d'arrachement des particules du sol sont réduites d'autant. Ainsi le 10 novembre à Erlon, on constate que les concentrations en MES suivent globalement les débits instantanés. Toutefois l'augmentation des MES observée vers 17 h (soit 1 020 min sur le graphique) est consécutive à une recrudescence de l'intensité de la pluie, le débit instantané n'ayant que faiblement augmenté pendant la même période (fig. 5).

Les exportations totales en MES sont évaluées à partir des débits et des concentrations mesurés à la station. À chaque valeur de débit (en litre) est attribuée une concentration en MES (en mg/l) et donc une quantité de matière. On considère que les exportations correspondent à la somme des ces valeurs.

On insistera sur le fait que *les exportations totales en MES du bassin versant cet hiver 1993-94 sont peu importantes* : on les évalue par exemple à 100 kg (soit 0,6 kg/ha) pour 140 m<sup>3</sup> de liquide le 15 octobre 1993 à Vierzy (tabl. I a) et 90 kg (soit 3,2 kg/ha) pour 58 m<sup>3</sup> le 10 novembre 1993 à Erlon (2) (tabl. I b). Il apparaît ainsi que les masses exportées à Erlon sont plus importantes qu'à Vierzy par rapport à la surface du bassin et au volume liquide exporté.

Toutefois, ces pertes peuvent, dans le cas de situations météorologiques exceptionnelles, être beaucoup plus importantes. Les 20 et 21 décembre 1993, on a mesuré 1 083 kg (soit 6,02 kg/ha) à Vierzy, ce qui n'est pas négligeable. Nous ne disposons pas de données pour Erlon à cette date, le préleveur ayant été arraché par une puissante coulée de boue et de silex...

Pour *les nitrates*, la situation est à nuancer (les exportations de nitrates sont évaluées sur le même principe que celles de MES). *Les pertes par événement vers les eaux de surface sont toujours remarquablement faibles en cette saison hivernale*. Pour les mêmes dates, on les évalue à 0,232 kg N-NO<sub>3</sub> (soit 0,0013 kg/ha N-NO<sub>3</sub>) (3) à Vierzy et à 0,105 kg N-NO<sub>3</sub> (soit 0,003 kg/ha N-NO<sub>3</sub>) (4) à Erlon. En décembre, à Vierzy, les pertes sont de 1,092 kg (0,01 kg/ha), soit cinq fois plus qu'en octobre.

Ces derniers chiffres doivent prendre en compte deux facteurs : la configuration des bassins et la reprise des percolations alimentant les nappes.

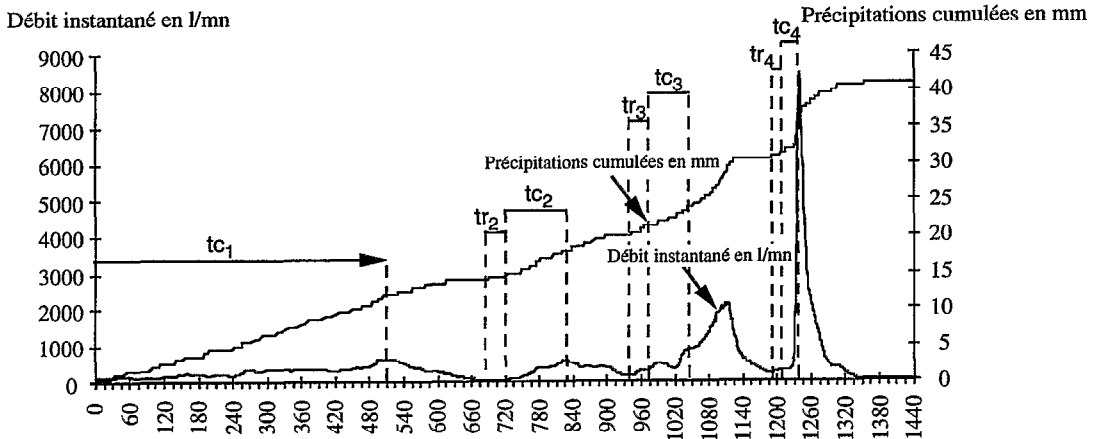
À Vierzy, la surface potentielle d'alimentation en azote est beaucoup plus importante et les temps de contact entre l'eau et les sols sont plus élevés (pentes moins fortes et plus longues, écoulements plus lents). À cela s'ajoute un « effet de relai » lié aux flaques qui se forment dans les replats et en amont des routes et des chemins (temps de contact important avec les sols), et dont l'eau est reprise lors des écoulements.

(2) Les événements choisis, 15 octobre à Vierzy et 10 novembre à Erlon, sont les deux premiers de la saison pour chacun des bassins versants. Il n'y a pas eu d'autre ruissellement au préalable, on a ainsi une situation référence.

(3) Ou 1,02 kg NO<sub>3</sub> et 0,005 kg/ha NO<sub>3</sub>.

(4) Ou 0,460 kg NO<sub>3</sub> et 0,016 kg/ha NO<sub>3</sub>.

**Intensités (mm/h) en fonction du temps en mn le 20 décembre 1993**



**Précipitations cumulées (mm) et débits instantanés (l/mn) en fonction du temps en mn le 20 décembre 1993**

Valeurs approchées des temps de réponse et de concentration en mn

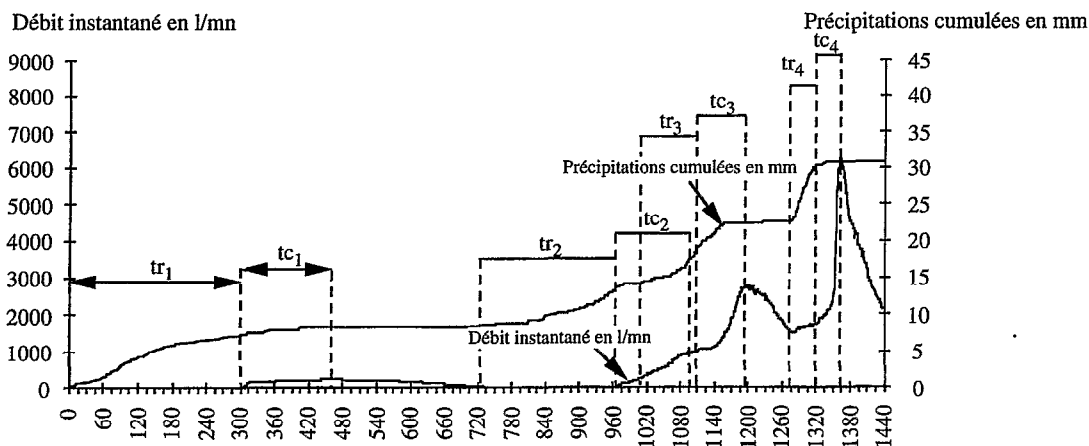
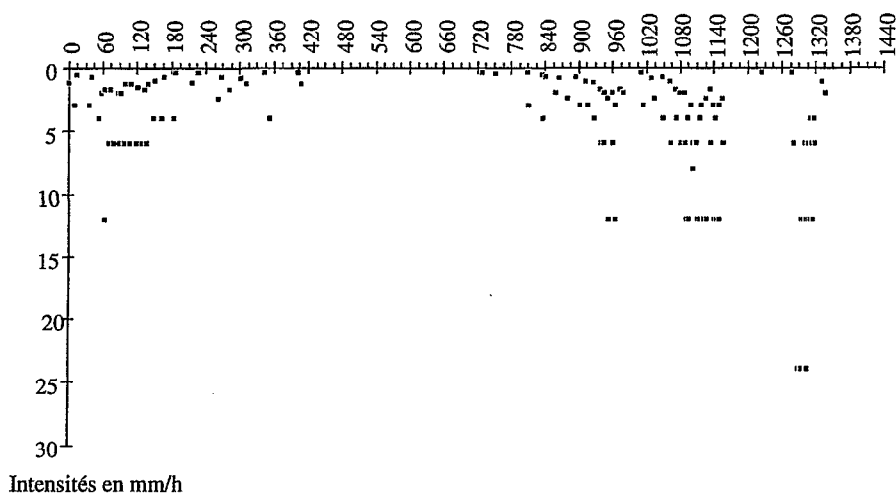
	tr	tc
1	> 60	> 60
2	40	110
3	30	70
4	15	25

tr : temps de réponse  
tc : temps de concentration

(a)

FIG. 4. — Comparaison des intensités, des pluies cumulées et des débits

**Intensités (mm/h) en fonction du temps en mn le 20 décembre 1993**



**Précipitations cumulées (mm) et débits instantanés (l/mn) en fonction du temps en mn le 20 décembre 1993**

Valeurs approchées des temps de réponse et de concentration en mn

	tr	tc
1	320	170
2	253	123
3	102	89
4	45	50

tr : temps de réponse  
tc : temps de concentration

(b)

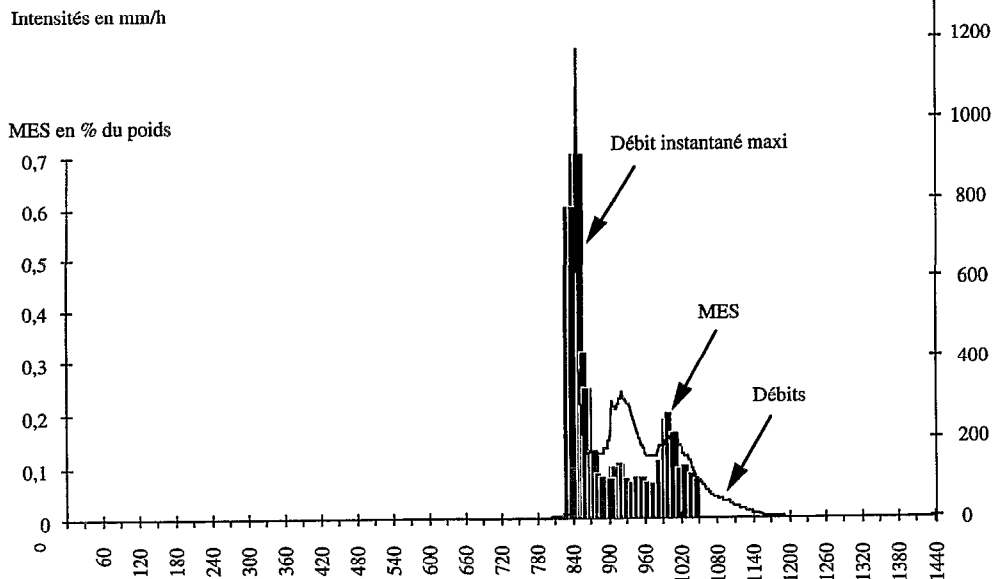
instantanés à Erlon 28 ha (a) et Vierzy 180 ha (b) le 20 décembre 1993.

Par ailleurs, il semble que le démarrage des percolations fin octobre (d'après les bilans hydriques) ait contribué à diluer les teneurs en azote des sols (analyses d'azote dans les sols en septembre, décembre et février) tant à Erlon qu'à Vierzy (pour cette période, on a considéré comme comparable la situation initiale des deux sites, puisque les derniers apports dataient de juin, par apports uniques ou fractionnés de février à juin, et qu'ils avaient été, pour l'essentiel, puisés par les cultures. Cette théorie sera à confirmer par la suite des observations).

Dans chacun des cas, il ne s'agit que d'hypothèses car en cette saison la présence d'azote dans les eaux de ruissellement est essentiellement liée à la minéralisation des résidus de récolte qui libère des nitrates, processus impossible à évaluer.

Si les eaux de ruissellement sont peu concentrées en nitrates (les teneurs avoisinent quelques milligrammes par litres), ce n'est pas le cas des eaux de drainage et des sources superficielles. Des échantillons prélevés peu de temps après le 20 décembre montraient des teneurs plus élevées en nitrates (par exemple 25 à 37 mg/l dans un drain proche du bassin versant d'Erlon et 70 à 78 mg/l dans une source à Vierzy). Il y a peu d'entraînement de l'azote

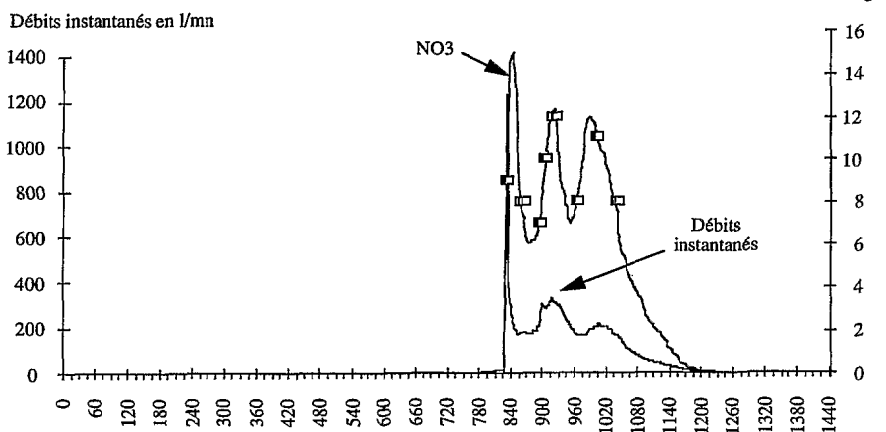
**Intensités (mm/h) en fonction du temps en mn le 10 novembre 1993**



**MES et débits instantanés en fonction du temps en mn le 10 novembre 1993**

FIG. 5. — Débits instantanés, MES et intensités des pluies à Erlon le 10 novembre 1993.

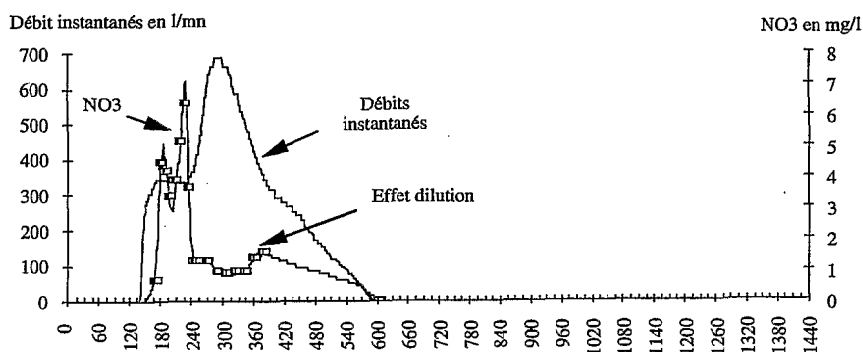
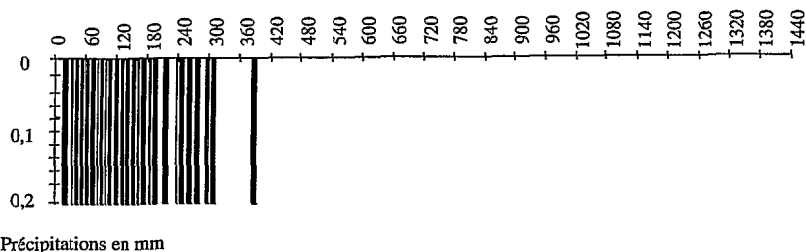
**Précipitations (mm) en fonction du temps en mn le 10 novembre 1993**



(a)

**Nitrates et débits instantanés en fonction du temps en mn le 10 novembre 1993**

**Précipitations (mm) en fonction du temps en mn le 15 octobre 1993**



(b)

**Nitrates et débits instantanés en fonction du temps en mn le 15 octobre 1993**

FIG. 6. — Débits instantanés et concentration en nitrates à Erlon le 10 novembre 1993 (a) et à Vierzy le 15 octobre 1993 (b).

par les eaux superficielles, mais essentiellement par lessivage, comme en témoignent les analyses de reliquat d'azote effectuées en décembre (analyses d'azote dans les sols en septembre, décembre et février montrant de fortes pertes d'azote au profit des horizons inférieurs des sols). Il s'agit d'une situation tout à fait classique où les risques sont accrus pour les eaux souterraines et minimes pour les eaux de surfaces.

En fait, la majeure partie des exportations d'azote par les eaux de ruissellement s'est produite lors du premier ruissellement automnal, les teneurs maximales atteignaient alors 25 à 30 mg/l de nitrates. Par la suite, elles ont rapidement diminué pour atteindre quelques milligrammes par litres.

D'ailleurs, pendant l'événement, on observe globalement une relation débit/nitrate (à Erlon le 10 novembre 1993), mais très rapidement on a un effet dilution : les valeurs élevées au début diminuent avec l'augmentation rapide et importante du débit (à Vierzy le 15 novembre 1993) en l'occurrence, dans ce cas le débit est presque doublé : 300 à 600 l/mn environ (fig. 6).

Au terme de ces quelques observations, il s'avère donc nécessaire de distinguer le comportement des bassins quant à leur flux solide et leur flux dissous.

## CONCLUSION

D'après cette première expérimentation, on peut constater que l'apparition d'un ruissellement, suivi d'une érosion notable dépend de certains facteurs primordiaux. Entre autres, on a apporté quelques informations sur le rôle des pluies et de leurs intensités sur sol limoneux de collines et de plateaux. On a observé sur cette période un seuil de pluie minimal de déclenchement qui est plus important pour le grand bassin de Vierzy, de 180 ha : une vingtaine de millimètres consécutifs contre une dizaine sur celui d'Erlon, de 28 ha. Une intensité de 24 mm/h pendant au moins quelques minutes et sur sol déjà humecté provoque un écoulement ou une reprise de ruissellement. Par ailleurs, le cumul des pluies sur plusieurs jours est aussi primordial. En intervenant sur l'humidité des sols et sur les états de surface, il diminue à quelques millimètres la hauteur d'eau nécessaire au déclenchement du ruissellement et il réduit le temps de réponse des bassins. Le travail du sol est également important, dans le cas présent, les pluies d'octobre, qui repoussent les labours au printemps, accentuent considérablement les effets des précipitations de décembre. Enfin, quelle que soit l'averse observée, les quantités ruisselées représentent moins de 7 % de la lame d'eau tombée. Ce pourcentage diminue fortement sur le grand bassin, à près de 2 % : les faibles pentes, la longueur des versants et du talweg principal (environ 2 km) contribuent fortement à une infiltration des écoulements qui sont moins violents et plus lents.

De même, on constate que les pertes spécifiques en MES (tout en étant peu élevées sur la période considérée) sont plus importantes sur le plus petit des bassins : pour un événement de même ampleur les pertes ont été cinq fois plus élevées avec 3,2 kg/ha contre 0,6 kg/ha. Par contre, les exportations brutes en azote sous forme de nitrates sont plus importantes sur le grand bassin versant. En effet, on est en présence d'une surface d'apport plus imposante (temps d'écoulement généralement plus long). L'eau reste plus longtemps en contact avec les sols, ce qui entraîne une plus grande solubilisation des nitrates, environ le double (0,230 contre 0,105 kg N-NO<sub>3</sub>). Par contre, les pertes spécifiques sont moindres sur le grand bassin : 0,0013 kg/ha à Vierzy contre 0,003 à Erlon. Les résultats sont donc à nuancer selon qu'il s'agit d'éléments solides ou dissous. En fait, il semble que l'intensité des pluies et la pente des versants interviennent directement sur la concentration en MES.

En ce qui concerne les nitrates, le premier ruissellement automnal provoque l'essentiel des pertes. Cependant la configuration des bassins pourrait entraîner une différence de comportement qui serait liée au temps de contact de l'eau avec les sols, c'est-à-dire avec les vitesses d'écoulement et donc les pentes. À Erlon, la présence d'un fossé enherbé et bordé d'arbres, entre le bassin et le Vilpion, assure un rôle épurateur (diminution des concentrations en nitrates d'amont en aval) et peut constituer un exemple d'aménagement.

Ces différences, mises en évidence pour la période octobre 1993 - janvier 1994, restent à confirmer pour le printemps et à intégrer plus précisément dans les pratiques agricoles. Certains points demandent à être approfondis ultérieurement, entre autres l'évolution des diverses teneurs pendant les écoulements, les bilans des exportations en fonction des caractéristiques du ruissellement et de la pluie (intensité particulièrement), la comparaison des pratiques culturales sur chaque bassin versant et leurs effets, et surtout les conséquences de l'arrivée de ces eaux de ruissellement dans les cours d'eau. De façon plus générale, l'absence de proportionnalité entre la surface des bassins et l'intensité des ruissellements et de l'érosion, confirmée par ce début d'expérimentation, pourra être détaillée. Il semble en effet que les bassins versants de petite taille soient plus actifs vis-à-vis des processus d'érosion.

En caractérisant le fonctionnement de ces deux bassins versants, on espère cerner les risques de pollution des eaux de surface par les eaux de ruissellement d'origine agricole. Ainsi pour proposer des mesures pour limiter le ruissellement, entre autres des aménagements sur les versants, il faudrait distinguer ceux de collines et ceux de pla-

teaux. Leur dimensionnement et leur localisation devront prendre en compte les volumes maximaux enregistrés, mais aussi la configuration des bassins qui joue sur la rapidité des phénomènes. Par exemple, les bandes enherbées ou fossés-diguettes ou des haies seraient conseillées à Erlon pour freiner les violents débits. Par contre à Vierzy, compte tenu des volumes considérables mis en jeu lors d'un seul ruissellement, des mares tampons en complément d'aménagement de modelés de terrain assureraient un meilleur effet. En effet, la mise en place de haies et de bandes enherbées seraient très difficile à mettre en œuvre dans cette région de grands espaces. En ce qui concerne la conservation des terres, il faut viser à maintenir le sol en place par des pratiques culturales telles que les rotations ou le travail réduit du sol.

Ces solutions posent un problème de mise en application car elles impliquent un investissement financier de la part des décideurs et de l'agriculteur, mais aussi un « investissement technique », surtout en ce qui concerne les pratiques culturales. Ces dernières sont fortement ancrées dans les habitudes des agriculteurs et leur efficacité vis-à-vis des rendements n'est plus à démontrer. Il faut donc s'interroger sur l'acceptation d'un changement avec toutes ses implications dans les rendements, compte tenu de son efficacité dans la lutte contre l'érosion. C'est une gestion globale de l'espace agricole qui est à envisager avec le meilleur compromis entre l'aspect économique et l'aspect environnemental.

#### REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont à Mme Boissier, Mme Mekharchi, M. Chêne, M. Grégoire et les autres membres du Centre de biogéographie-écologie pour leurs collaborations technique et scientifique, à MM. Maucorps et Dorioz de l'INRA de Laon et de Thonon-les-Bains, à M. Delouée de l'Agence de l'eau Seine-Normandie.

*Manuscrit accepté par le Comité de rédaction le 20 janvier 1995*

#### BIBLIOGRAPHIE

- AUZET (V.), 1987 — L'érosion des sols cultivés en France sous l'action du ruissellement. *Annales de Géographie*, n° 537, sept.-oct. : 530-556.
- AUZET (V.), 1990 — « An approach to the assessment of erosion forms and erosion risk on agricultural land in the northern Paris Basin, France ». In : *Soil erosion on agricultural land*, John Wiley and Sons : 384-400.
- BERNARD (C.), 1988 — Erosion hydrique et pollution diffuse. *Agrosol*, oct. : 21-29.
- BERNARD (C.), LAVERDIERE (M.R.), PESANT (A.R.), 1992 — Variabilité de la relation entre les pertes de césium et de sol par érosion hydrique. *Geoderma*, 52 : 265-277.
- BOIFFIN (J.), 1984 — *La dégradation structurale des couches superficielles sous l'action des pluies*. Thèse doct. ing., Paris INA-PG, 320 p.
- BOUKCHINA (R.), 1992 — « Mesure de débit et de la qualité de l'eau d'un petit bassin versant agricole » In : 16<sup>e</sup> Colloque du génie rural, Univ. Laval, Québec, octobre 1992 : 30-54.
- BRUNET (P.), 1960 — *Structure agraire et économie rurale des plateaux tertiaires entre la Seine et l'Oise*. Thèse d'État Univ. Caen, 552 p.
- CHISCI (C.), MORGAN (R.P.C.), Eds, 1986 — *Soil erosion in the European Community - Impact of changing agriculture*. Rotterdam, Bakema, 233 p.
- COSANDEY (C.), 1990 — L'origine des crues dans les bassins versants élémentaires. *Annales de Géographie*, n° 556, nov.-déc. : 641-659.
- COSANDEY (C.), 1993 — La crue du 22 septembre 1992 sur le mont Lozère. *Revue de géomorphologie dynamique*, n° 2 : 49-56.
- DACHARRY (M.), VEYRET (Y.), WICHEREK (S.), 1993 — « Réflexion sur l'écoulement des eaux pour une évaluation des risques d'érosion ». In : S. WICHEREK éd., *Farm Land Erosion in temperate plains environment and hills*, Amsterdam, Elsevier : 155-164.
- DE PLOEY (J.), IMESON (A.G.), 1986 — « Soil erosion, slope and landscape » In : Trans. 13th Cong. Intern. Soc. Soil Sci., Hamburg, 5 : 455-479.
- DORIOZ (J.-M.), 1992 — La pollution diffuse. *Lémaniques*, n° 6, juin : 5-8.
- DORIOZ (J.-M.), FERHI (A.), 1994 — Pollution diffuse et gestion du milieu agricole : transfert comparé de phosphore et d'azote dans un petit bassin versant agricole. *Water Resources*, 28, 2 : 395-410.
- ESTIENNE (J.), BROHARD (Y.), LEBLOND (J.-F.), LORIOT (R.), GEGOU (F.), GUIGNET (J.), REGRAIN (R.), OUDART (P.), 1980 — *Picardie, Cadre naturel, histoire, art, littérature, langue, économie, traditions populaires*. Christine Bonneton éditeur, 368 p.

- GRIL (J.-J.), MAILLOUX-JASKULKE (E.), FAUCHON (N.), 1992 — « Ruissellement et transfert dans les bassins versants ». In : Colloque Phyt'Eau, ministère de l'Agriculture et du Développement rural, ministère de l'Environnement, ministère de la Santé et de l'Action humaine : 152-167.
- HENIN (S.), COBILLOT (T.), 1950 — L'érosion en France. *Bulletin technique d'information*, n° 50 : 431-433.
- HIGOUNET (C.), 1990 — *Défrichement et villeneuves du Bassin parisien (XI<sup>e</sup>-XIV<sup>e</sup> siècles)*. Éditions du CNRS, 384 p.
- KING (D.), LE BISSONNAIS (Y.), HARDY (R.), EIMBERCK (M.), MAUCORPS (J.), KING (C.), 1992 — Spatialisation régionale de l'évaluation des risques de ruissellement. *Revue des sciences de l'information géographique et de l'analyse spatiale*, 2, 2 : 229-246.
- LE BER (F.), 1989 — *Essai d'évaluation de la sensibilité à l'érosion dans le nord du Bassin parisien — Prise en compte des caractéristiques agraires*. DEA INA-PC, Univ. Paris-XI, INRA Laon, 34 p.
- LE BISSONNAIS (Y.), 1988 — *Analyse des mécanismes de désagrégation et de mobilisation des particules sous l'action des pluies*. Thèse-UER Sci. fond. et appl., Orléans, INRA Ardon, 192 p.
- LEFEVRE (P.), 1958 — Quelques phénomènes d'érosion en Picardie. *Annales agronomiques*, 1 : 91-129.
- LUDWIG (B.), 1989 — *Essai d'évaluation de la sensibilité à l'érosion dans le nord du Bassin parisien — Prise en compte des caractéristiques morphologiques*. DEA Univ. Louis Pasteur Strasbourg, INRA Laon, 69 p.
- MA (Z.C.), LEVIANDIER (T.), FERRY (M.), 1992 — *Fitting a conceptual hydrologic model accounting for nitrate loss in an agricultural representative basin*. Antony, Cemagref, Hydrology and hydraulics division : 319-327.
- MAUCORPS (J.), 1982 — « A note on farmland erosion in northern France ». In : *Soil Erosion*, Report EUR 8427 : 50-52.
- MAUCORPS (J.), 1991 — *Cartographie des sols du bassin versant « L'Arbre Robert » au 1/5 000, Erlon (02)*.
- MAUCORPS (J.), 1993 — *Cartographie des sols du bassin versant du « Grand Fossé » au 1/5 000, Vierzy (02)*.
- MONNIER (G.), BOIFFIN (J.), PAPY (F.), 1986 — Réflexion sur l'érosion hydrique en conditions climatiques et topographiques modérées, cas des systèmes de grande culture de l'Europe de l'Ouest. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 22 (2) : 123-131.
- MORAND (F.), 1979 — « Les parcelles de mesures de processus d'érosion actuels du Mont des Vaux (Cessières, Aisne, France) ». In : H. VOCT et T. VOGT, éd., *Colloque sur l'érosion des sols en milieu tempéré non-méditerranéen*, Strasbourg-Colmar, sept. 1978 : 73-80.
- MORAND (F.), WICHEREK (S.), 1987 — « Douze parcelles de mesure d'érosion sur un versant de la France des plaines : l'exemple de Cessières (1977-1983) ». In : A. CODARD et A. RAPP, éd., *Processus et mesure de l'érosion*, 25<sup>e</sup> Congrès International de Géographie (UGI), 1984, Paris, Éditions du CNRS : 271-290.
- OUVRY (J.-F.), 1982 — *Localisation et description des sites d'érosion des sols agricoles du bassin inférieur de l'Yères (Seine-Maritime)*. INRA, sept. 1992, 70 p. + annexes.
- OUVRY (J.-F.), 1989-90 — Effet des techniques culturales sur la susceptibilité des terrains à l'érosion par ruissellement concentré — Expérience du pays de Caux (France). *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 25 (1-2) : 157-169.
- VEYRET (Y.), WICHEREK (S.), 1992 — Réflexion sur la cartographie des risques des terres agricoles. *BAGF*, n° 2 : 169-176.
- VOCT (H.), VOCT (T.), 1979 — *Colloque sur l'érosion des sols en milieu tempéré non-méditerranéen*, Strasbourg-Colmar, sept. 1978.
- WICHEREK (S.), 1991 — New approach to the study of erosion in cultivated lands. *Soil technology, Catena*, 4, 2 : 99-110.
- WICHEREK (S.), 1993 — « Impact of agriculture on soil degradation : modelisation at the watershed scale for a spatial management and development ». In : S. WICHEREK éd., *Farm Land Erosion in temperate plains environment and hills*, Amsterdam, Elsevier : 137-153.
- WICHEREK (S.), VEYRET (Y.), BERNARD (C.), 1993 — « L'utilisation du Cs137 pour la connaissance de la dégradation des sols ». In : *Mémoire de la Soc. Géol. de France, Atome et Géologie*, 162 : 261-268.
- WICHEREK (S.), BERNARD (C.), 1994 — « Assessment of soil movements in a watershed from Cs137 data and conventional measurements (ex. the Parisian Basin) ». In : J. DE PLOEY éd., *Symposium*, Louvain, 22-27 mars 1993, *Catena*, (sous presse).
- WICHEREK (S.), 1994 — L'érosion des grandes plaines agricoles. *La Recherche*, 25, 268 : 880-888.