

La gestion durable des eaux de ruissellement, préalable à la réduction des crues

JEAN DUCHESNE

Résumé

En milieu urbain, le développement économique, tout spécialement dans les pays riches, a entraîné une rapide augmentation des surfaces imperméabilisées. En milieu rural, il a bouleversé, via l'intensification de l'agriculture, les structures paysagères, et le cycle de l'eau s'en est trouvé profondément altéré. Des solutions originales sont proposées pour tendre vers une gestion durable des eaux de ruissellement.

Tous les aménagements qui ont été induits par le développement économique ont abouti à l'imperméabilisation des sols ou (et) à une accélération du transfert de l'eau de pluie vers son exutoire naturel : les rivières. En milieu urbain, on pense immédiatement à l'imperméabilisation quasi totale qu'entraînent les infrastructures viaires ou les toitures des maisons et immeubles. L'observation

Jean Duchesne est professeur de l'enseignement supérieur agronomique (Agrocampus Ouest, Angers).

vaut aussi bien pour le centre historique des villes que pour les lotissements, les zones industrielles ou aéroportuaires. En milieu rural, le développement agricole a entraîné de profonds bouleversements dans plusieurs domaines.

L'intensification de la production par la mécanisation durant les « Trente glorieuses » a eu comme première conséquence une modification profonde de la structure des paysages. L'augmentation de la puissance des machines a rendu nécessaire l'agrandissement des parcelles, et la politique de remembrement des terres, d'abord encouragée par les pouvoirs publics puis pratiquée à grande échelle, a entraîné dans toutes les régions à structure bocagère, soit une grosse moitié de la France, l'arrachage des haies et l'arasement des talus. Les terrasses que l'homme avait patiemment édifiées au fil des siècles dans les régions de semi-montagne, devenues plus difficiles à rentabiliser quand elles ne sont pas plantées en vigne, ont été progressivement abandonnées, puis se sont rapidement dégradées. L'exemple des Cévennes est particulièrement intéressant comme on va le voir.

Puis le souci de productivité a conduit les techniciens à vouloir maîtriser le plus complètement possible le cycle de l'eau. Ainsi, la technique du drainage des terres a-t-elle connu une vogue croissante à partir de la fin des années 60 jusqu'à la fin des années 80. L'idée était techniquement simple : évacuer plus rapidement l'eau de sols souvent engorgés pour assurer une meilleure production en limitant l'asphyxie hivernale, mais surtout pour permettre un accès plus précoce des engins de travail du sol au printemps. Les réseaux de drains enterrés constituent une solution radicale. L'eau stagne moins longtemps dans le sol puisqu'elle est évacuée *via* un réseau de drains enterrés vers le réseau hydrographique. Mais cet afflux plus intense et plus rapide de l'eau dans les rivières ne peut être évacué vers l'aval qu'en accélérant le débit des petits ruisseaux dans lesquels débouchent les réseaux de drainage. C'est pourquoi il a souvent fallu associer aux opérations de drainage de lourds travaux de recalibrage et de reprofilage des rivières sur des tronçons d'ordre de plus en plus élevé.

Il est à peu près incontestable donc que tous les aménagements pratiqués sur le milieu physique, tant en milieu agricole dans la période d'intensification de l'agriculture qu'en milieu urbain, ont entraîné une accélération, quelquefois spectaculaire, de la vitesse de transfert de l'eau de pluie vers le réseau hydrographique.

Historique et explication de ces aménagements

En milieu urbain

Dans les villes et surtout à leur périphérie, le développement économique a eu, du point de vue qui nous intéresse, deux conséquences.

La première, liée à la migration massive vers les villes, est la construction de zones pavillonnaires. Ce type d'habitat a l'inconvénient de générer beaucoup plus de surfaces imperméables que l'habitat urbain traditionnel. Ramenée à une population donnée, la surface des toitures y est beaucoup plus importante que dans l'habitat urbain classique ; en outre, la desserte des îlots exige à son tour plus de routes et de chemins – le plus souvent imperméabilisés – par habitant que les centres ville.

La deuxième conséquence a été l'apparition d'un nombre toujours plus grand de zones industrielles et de zones d'activité, dans lesquelles la proportion de sol imperméable (routes, parkings, toitures) est importante. « Près des trois quarts de la population de l'Union européenne vivent dans des zones urbaines et suburbaines représentant 10 pour cent de sa superficie totale. Cela semble gérable, mais l'intensité et les conflits sur les utilisations multiples des terres peuvent avoir des répercussions sur des parties notables du territoire européen, loin du lieu d'utilisation initiale des terres... En Europe, plus de 800 000 ha supplémentaires de terres naturellement productives ont été transformés en surfaces artificielles pour la construction d'habitations, de bureaux, de magasins, d'usines et de routes, soit un accroissement de 6 % des zones urbaines entre 1990 et 2000. Cela correspond à trois fois la superficie du Luxembourg et représente une réduction considérable du capital naturel » [European Environment Agency, 2005 a et b].

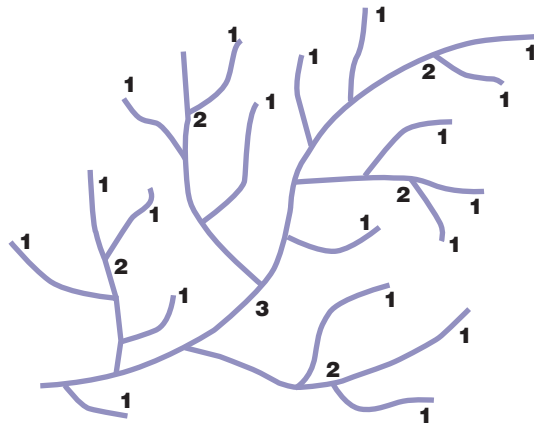
En milieu rural

Le chevelu hydrographique fin tel qu'il résulte de la topographie locale a été artificiellement estompé. L'observation d'une photographie aérienne de n'importe quelle région agricole en Europe montre la structuration de l'espace telle que

l'homme l'a imposée : parcelles aussi grandes et aussi régulières que possible, rectangulaires le plus souvent. Or la nature ne fonctionne pas ainsi : l'homme de tout temps a voulu aménager l'espace en le structurant de façon géométrique, régulière, alors que la nature, par essence, crée de l'irrégulier, voire du fractal ! [Mandelbrot, 1982 et 1995]

La figure 1 montre comment le chevelu hydrographique est ramifié depuis les plus petits talwegs d'ordre 1 (Strahler, 1957), qui ne coulent que de façon temporaire, vers les ordres plus élevés, au fur et à mesure qu'un talweg d'ordre 1 en rencontre un autre, puis qu'un talweg d'ordre 2 en rencontre un autre, etc. Ce type de structure est en fait très complexe puisque la structure est la même à toutes les échelles, et ne peut être décrit de façon profonde que par la géométrie fractale [Mandelbrot, 1982 et 1995 ; Rodriguez-Iturbe et Rinaldo, 1997].

Fig. 1 : schéma d'un réseau hydrographique dont les tronçons ont été numérotés selon la typologie de Strahler [1957].



Les rivières ont été rectifiées. Dès la fin des années 60, on a vu se développer la pratique de rectification des rivières consistant à supprimer tous les méandres. Il est clair qu'en raccourcissant ainsi la distance à parcourir entre deux points donnés, on augmentait la pente moyenne de la rivière. En recalibrant la rivière, on

augmentait encore la vitesse ; en effet, si l'on considère l'équation de Manning-Strickler qui donne la vitesse moyenne \bar{v} dans un canal ou une rivière en régime permanent [Ouziaux et Perrier, 1978] :

$$\bar{v} = KR^{\frac{2}{3}}\sqrt{i}(1)$$

on s'aperçoit que \bar{v} augmente bien avec la pente i , mais comme la rectification s'accompagne toujours d'un recalibrage, on joue aussi sur le rayon hydraulique R . En effet, le recalibrage aboutit presque toujours à une section trapézoïdale, comme sur la figure 2, où le rayon hydraulique est bien plus grand, pour la même section S de passage, qu'avec une section naturelle irrégulière. En outre, le coefficient K de la même formule est d'autant plus élevé que les parois de la rivière sont plus lisses. Les grandes opérations de rectification-recalibrage jouaient donc sur les trois paramètres de la formule (1), ce qui explique leur efficacité. Cependant, si on avait, par ces opérations, remarquablement géré le problème de l'évacuation de l'eau et de son accélération, on avait mal anticipé les conséquences pour les zones situées en aval. L'accélération de l'eau dans les biefs de rivière d'ordre 1 ou d'ordre 2 a entraîné une accélération des transferts vers les rivières d'ordre 3 ou d'ordre plus élevé encore, si bien que le remède pour les parties amont des bassins versants s'est vite révélé catastrophique pour les parties aval, qui ont vu augmenter tant la fréquence que l'ampleur des crues. Il y avait bien alors la solution de rectifier et reprofiler ces tronçons d'ordre 3 ou d'ordre 4 pour accélérer l'évacuation, mais au risque, souvent pris, de reporter le problème, en l'aggravant encore, vers l'aval.

Fig. 2 : le rayon hydraulique d'un canal ou d'une rivière est le rapport entre la section mouillée (en couleur) et le périmètre mouillé (en noir)



On a généralisé la pratique du drainage. Dans la course à la productivité, le drainage a souvent été associé à la mécanisation et au remembrement. L'idée d'assainir les terres en vue de limiter l'asphyxie des cultures ou même de faciliter la portance des engins est techniquement intéressante. C'est la généralisation

abusive de la technique du drainage qu'il faut critiquer. Drainer des sols de plateau hydromorphes est bénéfique pour l'agriculture et l'est aussi pour l'environnement puisqu'un sol drainé est plus enclin à emmagasiner l'eau de pluie et permet donc, dans certains cas, de limiter le risque de ruissellement. Par contre, le drainage de zones humides comme les prairies naturelles de fond de vallée, voire de tourbières, est un non-sens lourd de conséquences. Au cours des trente dernières années, la moitié des zones humides françaises a disparu par assèchement, drainage, mise en culture, mettant en danger l'équilibre hydrologique et biologique de notre pays [WWF, 2008]. Les zones humides de fond de vallée, en permettant l'épandage des crues, jouent un rôle majeur dans l'écrêtage des crues à l'aval. Leur suppression a rapidement entraîné une aggravation des crues dans les vallées d'ordre supérieur.

On a abandonné les terrasses de culture et renoncé à labourer selon les courbes de niveau. La mécanisation a permis de s'affranchir du relief, vu comme une contrainte à la direction du labour. « Toutes les fois que c'est possible, les champs, quels qu'ils soient, devraient être labourés en suivant les courbes de niveau – jamais de bas en haut, procédé qui encourage l'érosion... les programmes de conservation du sol auront peut-être à considérer la redistribution des terres, ou bien les agriculteurs devront travailler ensemble » [TILZ, 2005].

On a comblé la plupart des mares et des trous d'eau. Leur disparition, objectivement et subjectivement programmée, a alarmé quelques naturalistes car elles sont victimes de comblements massifs, notamment dans les espaces ruraux en raison des mutations dans les pratiques agricoles. Entre 30 % et 50 % d'entre elles ont disparu depuis 1950 et leur nombre est environ dix fois moins élevé qu'au début du siècle [IFEN, 2008]. Pour le département de Maine-et-Loire par exemple, le *Groupe Mares 49* estime à 25 000 le nombre de mares au début du XX^e siècle. Or si les fonctions écologiques et patrimoniales des mares ont été décrites dans bon nombre de travaux [IFEN, 2008 ; Sajaloli, B. et Teissier-Ensminger, A., 1996 par exemple], leur fonction hydrologique est très peu étudiée. Un calcul simple montre que le volume total retenu par les 25 000 mares évoquées ci-dessus correspond à une lame d'eau d'environ 10 mm sur l'ensemble du département, soit plus de 5 % du volume annuel ruisselé sur le département. Outre ce rôle tampon, l'organisation du réseau de mares est importante à considérer surtout pour les mares de plateau ou de tête de bassin, qu'elles soient forestières ou non.

Propositions impertinentes pour des aménagements pertinents

Que faire ? Une première réponse vient à l'esprit : le retour au *statu quo ante*. Mais n'y a-t-il pas d'autres réponses – ou un faisceau de réponses – plus pertinentes, même si elles paraissent quelque peu impertinentes dans l'état d'esprit actuel ?

En milieu urbain

Dans le centre des villes, il est difficile d'intervenir autrement qu'en créant des bassins de rétention enterrés, d'ailleurs très coûteux et d'un volume limité. Par contre, à la périphérie des villes, la croissance rapide des zones imperméabilisées, et donc du ruissellement, peut être facilement contrée par la création de noues ; il s'agit de petits vallons naturels dont on conserve la morphologie de manière à ce qu'ils jouent le rôle de réceptacle à l'eau de ruissellement, et qu'on engazonne pour ralentir l'eau et permettre son stockage puis son infiltration. De tels aménagements sont très efficaces. Quelquefois proposés, ils devraient constituer le fer de lance de la lutte contre le ruissellement et l'érosion dans les lotissements nouveaux, qu'ils soient situés en périphérie de grandes agglomérations ou dans des communes rurales. Un calcul simple montre qu'il suffit d'aménager en noues 3 % de la surface totale d'un lotissement ou d'un quartier pour stocker toute l'eau de ruissellement d'une pluie de 40 mm qui ruissellerait à 50 % !

Certes, de tels aménagements sont déjà pratiqués par certains architectes paysagistes ; notre proposition vise à modifier totalement la conduite de la conception des nouveaux quartiers. Au lieu de concevoir la ville en commençant par le bâti et la voirie pour finir éventuellement par quelques zones de rétention de l'eau de pluie, notre suggestion est de commencer par la conception des lotissements et autres espaces industriels par les aspects hydrauliques : noues, plans d'eau, fossés et exutoires de toute sorte. En procédant ainsi, il sera aisé de placer les noues dans les talwegs naturels. En outre, on sera tenté de garder à la topographie ses irrégularités naturelles, évitant ainsi les lourds et coûteux nivellements du sol... préalable aujourd'hui à tout aménagement urbain d'envergure.

En milieu rural

Pour un remembrement intégral et naturel

Cette proposition, ainsi que la suivante, découle des observations faites autour de la fig.1. Nous suggérons un remembrement intégral et cohérent qui s'appuie sur la géomorphologie, autrement dit qui tient compte des chemins de l'eau dans le milieu naturel. L'idée est d'effectuer ce remembrement en fonction de la structure, normalement dendritique, du réseau hydrographique [Rodriguez-Iturbe et Rinaldo, 1997], mais en allant jusqu'à tenir compte des plus petits talwegs, rarement en eau, mais qui jouent un rôle crucial lors des épisodes pluvieux intenses. Concrètement, nous pensons que, là où ils ont été effacés – dans les grandes plaines céréalières, dans l'ouest et dans le sud-ouest –, il faut redonner consistance aux tronçons d'ordre inférieur (fig. 1). On peut pour cela :

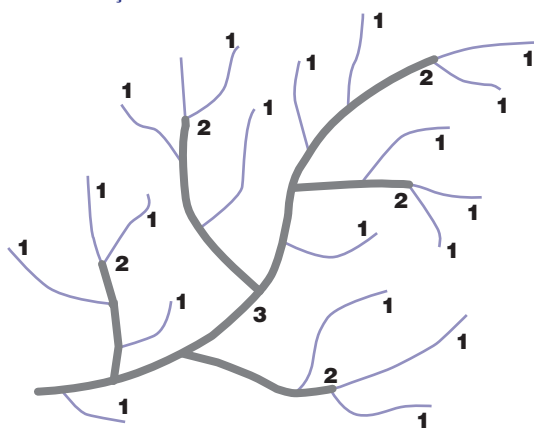
- aménager de larges zones enherbées en fond de vallon ; cette technique avait été utilisée très localement avec succès dans le Marquenterre (Somme) sous l'impulsion de la DDA pour lutter contre l'érosion ;
- créer ou laisser se développer une ripisylve, c'est-à-dire de la végétation arbustive ou arborescente en bord de rivière, le long de la plupart des tronçons d'ordre 3 et d'ordre supérieur.

A l'instar des remembrements qui sont pratiqués dans les fuseaux de futures voies autoroutières ou ferroviaires, les parcelles agricoles seraient redessinées, et la surface agricole amputée de la surface nécessaire à l'aménagement du talweg. L'emprise des talwegs d'ordre 1 pourra être faible dans certains cas ; dans les régions d'élevage de moyenne montagne par exemple, où les parcelles agricoles sont enherbées, on peut même envisager qu'il n'y ait pratiquement aucune solution de continuité entre les parcelles proprement dites et les talwegs. Certaines régions, comme la Bretagne dans le cadre du plan Bretagne-Eau pure, recommandent aujourd'hui de placer des bandes enherbées le long des rivières [CORPEN, 2008] dans le but d'obtenir une filtration de l'eau en transit vers la rivière. Or ce plan ne peut atteindre la moindre efficacité s'il ne vise pas l'ensemble du bassin versant concerné et, surtout, l'ensemble du réseau hydrographique, petits et tout petits talwegs d'ordre 1 compris !

On voit bien sur la figure 3 que si l'on enherbe les grands talwegs, mais pas les petits, la surface ruisselante non touchée par l'aménagement est très importante.

La surface « filtrée » devient dérisoire si on n'enherbe que les rives des talwegs permanents, d'ordre 3 ou d'ordre supérieur par exemple.

Fig. 3 : le réseau hydrographique de la fig. 1 a été surligné, sauf les tronçons d'ordre 1



Pour un (re)méandrage des tracés des cours d'eau qui avaient été rectifiés à partir des années 60

Dit autrement, il s'agit de recréer les méandres et les zones humides qui leur étaient associées. Il est difficile de réaliser un tel aménagement sans avoir recours à un remembrement systématique et sans prévoir des mesures financières d'accompagnement : incitatives comme l'allègement d'impôt pour les propriétaires qui acceptent d'emblée; coercitives comme le passage de la propriété privée à celle des collectivités territoriales à chaque fois que le propriétaire refuserait de s'engager dans la voie préconisée.

Pour la restauration des terrasses de moyenne montagne et pour des cultures en courbes de niveau

Sur tous les continents, les hommes ont réussi à cultiver les pentes abruptes en aménageant des terrasses. Le soutènement peut être assuré par des talus de terre,

parfois élevés (Philippines, Indonésie) ou par des murets de pierre (Moyen-Orient, Cap-Vert, Cévennes), mais l'objectif est toujours le même : aménager la surface naturellement pentue pour obtenir une succession de terrasses horizontales ou subhorizontales, faciles à cultiver. Une conséquence de ces aménagements est le stockage de l'eau de pluie, qui peut être très efficace pour peu que les murets soient munis d'une revanche, c'est-à-dire qu'ils soient un peu plus hauts que le sol de la terrasse.

C'est forcément le cas pour les terrasses rizicoles et nous avons eu l'occasion *via* un travail de thèse [Gatot et al, 1997 ; Sumarjo Gatot, 1999] de montrer le rôle majeur d'écêtement de crue des terrasses de Java central. Mais on pourrait atteindre la même efficacité pour les terrasses à murets de pierre des Cévennes. Les terrasses de cette région, qui couvrent 50 000 ha, sont aujourd'hui souvent abandonnées et en mauvais état. Il est clair pourtant, et c'est possible de le vérifier par une modélisation hydraulique, qu'il suffirait de restaurer ces terrasses en s'assurant qu'une revanche soit ménagée entre la surface de la terrasse et le haut du muret, pour qu'elles puissent stocker une lame d'eau importante (au moins 60 ou 80 mm) avant de la restituer lentement par filtration à travers le muret et de permettre ainsi un laminage efficace de la crue correspondante. Dans cette région, où les pluies peuvent être fréquemment très intenses, ce type d'aménagement, qui relève à l'évidence du développement durable, permettrait de lutter efficacement contre les crues et de disqualifier les projets de construction de barrages. Même à coût total (construction et entretien) identique, les terrasses ont plusieurs avantages : elles ne perturbent pas les écosystèmes liés à la rivière ; elles retiennent la terre : sans elles, l'érosion est importante et les éventuels barrages sont voués à se combler plus ou moins rapidement ; elles assurent un développement durable et sont moins coûteuses en énergie que les barrages ; elles permettent de pratiquer une agriculture de « niche » aujourd'hui difficile à envisager eu égard à leur mauvais état ; elles créent des paysages remarquables, ce qu'illustre bien le projet de labellisation Patrimoine mondial de cette région ou encore le grand nombre de paysages de terrasses inscrits au Patrimoine de l'UNESCO (cordillère des Philippines, vallée du Douro au Portugal, Cinque Terre en Italie, vignoble de Lavaux en Suisse).

La culture en courbes de niveau obéit à la même logique. Pratiquée naguère dans les régions de collines, elle avait pour but de rendre possible le labour par traction animale sur des parcelles dont la pente excède quelques pourcents. La traction mécanique a largement permis de s'en affranchir, même si c'est au prix

d'une dépense énergétique sensiblement plus élevée. L'intérêt de ce mode de culture réside aussi dans son efficacité pour ralentir le ruissellement et faciliter l'infiltration. Le simple modelé des sillons de labour et, *a fortiori*, des bourrelets des rangs de culture (maïs, tournesol, etc.) suffit à créer des obstacles efficaces pour des pluies faibles ou moyennes. L'eau stockée par ces mini dépressions ne peut plus que s'infiltrer. On pourra objecter que l'efficacité de ces techniques est subordonnée à la coïncidence quasi parfaite entre les lignes de culture et les courbes de niveau. Les techniques modernes de pilotage par satellite ou par laser permettent de lever facilement cette contrainte. Moins spectaculaire que celui des terrasses, l'effet de cette technique sur le cycle hydrologique reste très intéressant pour les pluies moyennes ou faibles.

Pour l'aménagement de mares et de trous d'eau dans les dépressions naturelles

Le développement de l'agriculture s'est appuyé partout sur une simplification des formes topographiques :

- le tracé rectiligne des parcelles comme on l'a vu précédemment,
- le nivellement du sol par arasement des aspérités et comblement des dépressions.

La mécanisation s'en est trouvé facilitée, et c'était l'objectif visé. Mais la conséquence insidieuse sur le cycle de l'eau est très négative. En effet, les volumes d'eau que peuvent stocker les dépressions naturelles peuvent être importants. Ils le sont d'autant plus que la densité de ces dépressions est grande, et le laminage des crues est efficace si leur taille couvre un éventail étendu. L'agriculture intensive, et la mécanisation qui est son corollaire, ont par endroits modifié de façon profonde le régime des crues. L'exemple du bassin de l'Oudon (1 300 km²) en Maine-et-Loire est édifiant. De nombreux villages, qui n'avaient connu par le passé que des crues rarissimes, sont à présent inondés à chaque épisode pluvieux un peu important. Cet exemple est aussi intéressant en raison du caractère multifactoriel du phénomène. Dans cette région, non seulement les moindres trous d'eau ont été bouchés, de nombreuses mares ont été supprimées, mais on y a aussi procédé massivement à l'arrachage des haies et à l'arasement des talus, tous obstacles qui contribuent à freiner le ruissellement et donc à réguler le débit des rivières. Redisons-le : pour être efficace, cette technique d'aménagement doit respecter deux conditions : *i*) les trous d'eau sont nombreux ; *ii*) ils couvrent un

large éventail de tailles. Ainsi, après une pluie donnée, ils ne se remplissent pas tous en même temps et, par conséquent, ils ne se déversent pas tous en même temps dans le réseau hydrographique. Un exemple simple, très proche de celui qui a été donné avec les noues en aménagement urbain, montre qu'avec 3 % de la surface agricole ainsi aménagés on écrête totalement une pluie de 40 mm, qui, à titre indicatif, est la pluie de période de retour quinquennal dans l'ouest de la France.

La figure 4 synthétise les aménagements qu'un remembrement cohérent devrait entraîner :

1. aménagement systématique de bandes enherbées et (ou) de ripisylves sur les tronçons de talwegs d'ordre 1 et d'ordre 2 (ceux qui sont rarement en eau),
2. culture en courbes de niveau (avec coïncidence exacte),
3. création de haies sur bourrelet le long des courbes de niveau,
4. création de trous d'eau et de zones humides.

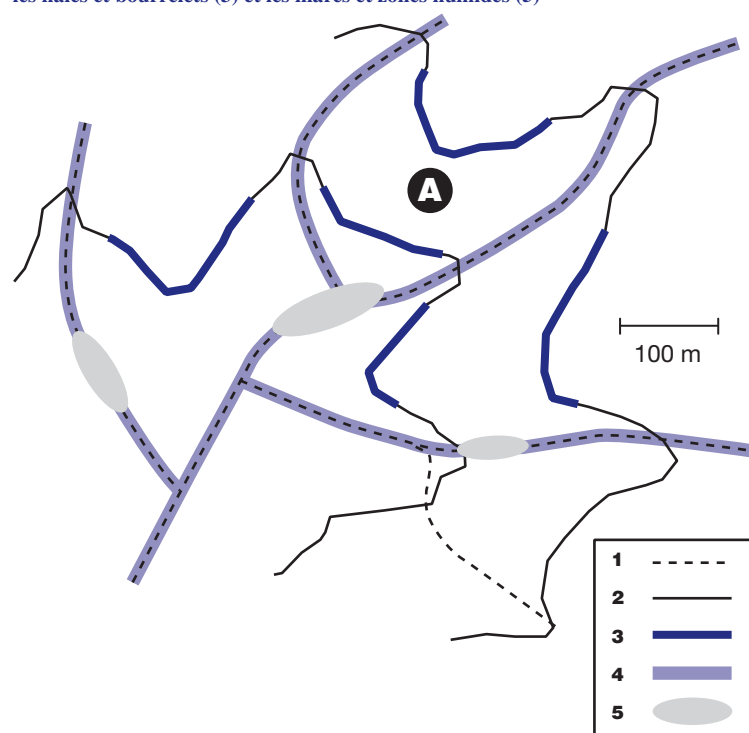
On pourra objecter que la forme des parcelles à laquelle on va aboutir, beaucoup plus irrégulière, n'est pas compatible avec l'agriculture moderne. Remarquons alors que la parcelle A de la figure 4, par exemple, comprise entre deux courbes de niveau talutées et deux talwegs, couvre environ 6 ha, ce qui est une valeur moyenne pour des régions à relief à peine marqué comme celui de la figure 4, qui pourrait être un extrait de la carte du Segréen ou du Perche. Quant à la forme, elle n'est plus régulière, certes, mais elle n'est plus forcément une contrainte, si l'on veut bien admettre que l'agriculture moderne intègre désormais un volet agriculture de précision. Cette technique consiste à améliorer la gestion des cultures en modulant les pratiques culturales en fonction de la variabilité à l'intérieur des parcelles ou entre les parcelles ; elle utilise les données satellitaires (Spot image, 2008) et la navigation GPS. Il est donc possible de travailler des champs de forme curviligne sans ralentir les travaux et, probablement, en consommant un peu moins d'énergie puisque la traction ne s'effectue jamais face à la pente !

Loin de constituer un retour en arrière, cette proposition de remembrement intégral et naturel s'appuie au contraire sur deux piliers modernes.

Le premier est de type écologique : il prend en compte la géomorphologie et le fonctionnement naturel du cycle hydrologique. Les obstacles au ruissellement sont placés très en amont du cycle de l'eau et répartis sur tout le bassin versant : sur les courbes de niveau, sur tous les petits talwegs d'amont.

Le second, technologique, permet de tirer profit des techniques de pointe de guidage d'engins pour s'assurer que les lignes de labour, les rangs de semis, etc. coïncident le plus précisément possible avec les courbes de niveau, condition indispensable à une efficacité maximale de l'interception du ruissellement.

Fig. 4 : sur un réseau hydrographique, où on a figuré les talwegs (1) et les courbes de niveau (2), on a représenté tous les types d'aménagement agricole qui peuvent être réalisés lors d'un remembrement intégral naturel : les bandes enherbées (4), les haies et bourrelets (3) et les mares et zones humides (5)



Il est clair que des effets marqués à l'échelle d'un bassin versant ne peuvent être atteints que si le bassin est entièrement – ou presque – aménagé. C'est réalisable, quelle que soit la superficie du bassin versant, à condition qu'une volonté politique s'installe et que les agriculteurs, la FNSEA, les chambres d'agriculture acceptent l'idée. L'aggravation des crues, et plus généralement la détérioration du cycle hydrologique, d'une part, et la diminution catastrophique de la biodiversité d'autre part, représentent un tel enjeu qu'on voit mal comment les politiques et les techniciens pourraient rester sourds à une telle démarche d'aménagement dans la mesure où la productivité agricole n'en souffrirait pas. On peut même penser qu'elle serait améliorée puisque :

1. la dépense énergétique de traction serait diminuée ;
2. la disponibilité de l'eau serait améliorée ;
3. un meilleur fonctionnement écologique serait restauré dans de nombreuses régions.

A l'échelle d'un pays comme la France, de telles propositions amèneront les sceptiques à penser que seule une politique de grands travaux pourrait en venir à bout. On peut rétorquer que le remembrement effectué dans les années 60 à 80 dans la majorité des communes rurales représentait, en raison notamment des travaux connexes, un chantier colossal qui n'a été possible qu'en l'étalant sur une trentaine d'années et en le subventionnant largement.

Il faut maintenant procéder de même, mais en concentrant les moyens au départ sur des bassins versants de taille modeste, de manière à aménager des bassins versants tests et à démontrer rapidement l'efficacité hydraulique, écologique et économique des aménagements réalisés.

BIBLIOGRAPHIE

- Anonyme.** 1995. « Le ravinement dû à l'érosion », *Pas à pas*, nov. 1995, 24, 4.
- Arnaboldi, F.** 2007. « Enjeux autour des mares forestières », *Mares*, Le journal d'information du pôle-relais Mares et mouillères de France, **04**, 2-3.
- Commission européenne.** 2005. *L'environnement en Europe: état et perspectives*, 2005, résumé.
- CORPEN.** 2008. *Les zones tampons, un moyen de préserver les milieux aquatiques*, ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durable, 20 p.
- Gatot, I., Duchesne J., Perez P.** 1997. H2U, "A transfer function model using fractal characteristics of the hydrographic network", dans : Mc Donald, A. D. et Mc Aleer, M. (eds), *Proceedings of MODSIM 97* (Hobart, 8-11 décembre 1997), MSSA Canberra, vol 1, pp. 470-478.
- Fleury, V.** 1998. *Arbres de pierre, la croissance fractale de la matière*, Flammarion.
- Mandelbrot, B.B.** 1982. *The Fractal Geometry of Nature*, W.H. Freeman and Company.
- Mandelbrot, B.B.** 1995. *Les objets fractals*, 3^e éd., Flammarion.
- Ouziaux, R. et Perrier, J.** 1978. *Mécanique des fluides appliquée*, 3^e édition, Dunod, .
- Rodriguez-Iturbe, I. et Rinaldo, A.** 1997. *Fractal river basins: chance and self-organization*, Cambridge University Press.
- Sajaloli, B. et Teissier-Ensminger, A.** 1996. « Les mares de la France des plaines : eaux domestiquées, lieux dévalués mais zones humides à réhabiliter », actes du colloque d'Orléans, 10 juin 1995, L'Harmattan, coll. Environnement.
- Stockley, D.** 2005. "Terrasses naturelles", *Vetiver Information Network*, World Bank, Washington.
- Strahler, A. N.** 1957. "Quantitative analysis of watershed geomorphology", *EOS Transactions AGU*, 38, 913-920.
- Sumarjo Gatot, I.** 1999. *Modélisation de la transformation pluie-débit et de l'influence de l'aménagement des terrasses sur les crues de mousson ; cas du bassin versant de Kali Garang à Java central, Indonésie*, ENSA de Rennes.
- Vanhuyse, S.** 2005. *Étude de l'évolution de l'imperméabilisation du sol sur le territoire de la région de Bruxelles-Capitale*, Université libre de Bruxelles.
- European Environment Agency.** 2005 a. *L'environnement en Europe : état et perspective*, 2005. *Résumé*. http://reports.eea.europa.eu/state_of_environment_report_2005_1/fr/
- European Environment Agency.** 2005 b. CSI014 – Land take – Assessment published Nov 2005 http://themes.eea.europa.eu/IMS/ISpecs/ISpecification20041007131735/IAssessment1116504972257/view_content

IMPERTINENCES 2009

SPOT Image. 2008. *Agriculture de précision*, <http://www.spotimage.fr/web/621-agriculture-de-precision.php>

WWF Wild World Foundation. 2008. *Zones humides*, http://www.wwf.fr/s_informer/nos_missions/eaux_douces/zones_humides

TILZ. 2005. *Comment contrôler l'érosion du sol*, <http://tilz.tearfund.org/Francais>

IFEN. 2008. *Les mares*, http://www.ifen.fr/zoneshumides/pages/medd_mares.htm