Hydraulique agricole et aménagement des rivières

J. Dunglas

Ingénieur Général du Génie Rural, des Eaux et des Forêts

1. Agriculture moderne et maîtrise de l'eau

L'agriculture a perdu dans la plupart des pays sa position dominante dans l'économie. Elle reste néanmoins, bien évidemment, un élément de production strictement indispensable à la vie des sociétés humaines. Il faut, sur ce point, garder en mémoire quelques faits fondamentaux.

- Une agriculture productive est la clé de l'indépendance alimentaire et la seule méthode pour freiner l'abandon des campagnes ; ces deux points sont à la base de la stabilité sociale et politique.
 - L'accroissement prévu de la population mondiale amène nécessairement à préparer, dans la plupart des pays, un accroissement concomitant de la production agricole.
 - Les aléas climatiques et politiques génèrent constamment des déficits de production et des zones de sous-nutrition qu'il faut gérer.
 - L'agriculture est l'élément de base des agro-industries et du système de distribution alimentaire qui peut représenter jusqu'à 35 à 40 % du PIB de nombreux pays développés.
- Pour la France, cette activité engendre chaque année un flux d'exportation de 200 milliards de F et un excédent commercial de 50 milliards de F.

• La notion d'excédent est à relativiser vis-à-vis des pénuries ; la notion de prix mondiaux a peu de signification car ces derniers ne jouent que sur des quantités marginales avec des agricultures pour la plupart subventionnées. Dès l'apparition d'une pénurie les prix montent rapidement.

Dans les cinquante prochaines années l'agriculture mondiale devra augmenter sa production de 60 à 80 % ; dans ce cadre les agricultures européennes devront, sans doute, encore accroître leur compétitivité et leur capacité exportatrice.

Ceci étant, une agriculture compétitive et productive ne peut se concevoir sans une maîtrise pratiquement complète de l'eau. Traditionnellement l'hydraulique agricole comporte deux grandes techniques : l'irrigation et le drainage.

L'irrigation

La plupart des plantes cultivées ont besoin de 500 à 1 000 kg d'eau pour élaborer 1 kg de matière sèche. Ces besoins s'expriment avec le plus d'intensité au moment du maximum de l'activité végétale.

L'alimentation en eau se fait par la pluie, les réserves en eau du sol et les apports extérieurs de type irrigation. Dans

Agricultural hydraulics and river development

Drainage and irrigation act on transfers between soils and ground water. They have a direct influence, therefore, on rivers both as regards the hydrological regime and the quality of the water.

At present there are methods allowing for the minimization of high water levels from drainage networks. These waters thus transferred can be charged with fertilizer substances, mainly nitrates and also pesticides. An improvement in growing methods enables these risks to be minimized.

Irrigation uses large quantities of water. The installation of connectors, canals, basins, dams comes up against difficulties and may lead to major modifications in the water-flow regime.

The implementation and management of these developments requires more studies and precautions than in the past. The effect on underground water must be taken into account.

Drainage and irrigation increase greatly the productivity and adaptability of agriculture. Now a more refined agriculture enables the quality and the good state of the hydrographic network to be guaranteed at the same time.

beaucoup de zones tempérées suffisamment arrosées en moyenne, et spécialement en France, on peut avoir intérêt à compléter, en fin de printemps ou en début d'été, les apports naturels par une irrigation de complément. Ce type d'opération peut être occasionnel ; il a souvent tendance à devenir systématique.

Dans de nombreuses zones à climat sec ou aride, il est indispensable d'irriguer régulièrement pour obtenir une récolte. L'irrigation est alors dite structurelle. En irrigation de complément les consommations atteignent 2 000 à 2 500 m³/ha/an. En irrigation structurelle, elles peuvent être beaucoup plus élevées.

En France la superficie réelle irriguée est de l'ordre de 1 million d'ha (pour une superficie « irrigable », c'est-à-dire équipée, d'environ 1,8 million d'ha). Le volume d'eau consommé chaque année varie de 1,9 à 3 milliards de m³ suivant les besoins et la disponibilité en eau.

Au niveau mondial le total des surfaces irriguées serait de l'ordre de 300 millions d'ha pour une consommation d'eau annuelle totale de l'ordre de mille milliards de m³. On estime que cent millions d'ha verraient leur productivité très améliorée par l'irrigation.

L'irrigation ne vise pas seulement à augmenter les productions. Elle régularise les récoltes, permet d'accroître la diversité des cultures et d'améliorer sensiblement la qualité des produits.

Il existe 3 grandes méthodes d'irrigation.

La plus répandue dans le monde est l'irrigation gravitaire par ruissellement ou submersion des champs. L'eau arrive en général par des canaux. Les investissements sont réduits mais la consommation est, en moyenne, assez élevée.

L'irrigation par aspersion, qui pulvérise l'eau en pluie, est nettement plus économique en eau mais nécessite la mise en place d'un réseau sous pression, ce qui est plus coûteux.

L'irrigation localisée, qui amène l'eau au pied de chaque plante en quantité strictement suffisante, est encore plus économique en eau mais demande des investissements importants et n'est pas applicable à toutes les cultures.

Dans tous les cas le système comprend une ressource (prise en rivière, barrage, puits ou forage), un réseau alimentation (canaux, tuyaux), et un système de répartition de l'eau à la parcelle.

Le drainage

L'excès d'eau dans les terres cultivées entraîne une asphyxie du sol et des racines, limite les rendements et amène les plantes à certaines maladies. Il retarde également le travail du sol et les façons culturales. Drainer augmente la productivité, régularise les productions, facilite l'exploitation, élargit la gamme des cultures possibles et améliore la qualité des produits. Le drainage est nécessaire dans les zones irriguées où il y a danger de remontée de nappes salées.

On peut drainer par fossés ouverts (assainissement) ou par tuyaux enterrés. La mécanisation des opérations a considérablement abaissé les coûts du drainage dans les vingt dernières années.

Chaque année 110 000 ha de terres supplémentaires sont drainées en France pour une superficie totale équipée de 1,8 million d'ha. A l'échelle mondiale 170 millions d'ha sont drainés ou assainis. Une surface au moins équivalente est justiciable de cette amélioration.

Un réseau de drainage comporte toujours un ensemble de drains enterrés ou de fossés à la parcelle, des tuyaux enterrés ou des fossés collecteurs qui recueillent les eaux et les rejettent dans un émissaire, lequel les évacue dans le système hydrographique.

Irrigation et drainage sont en interaction systématique avec les eaux de surfaces (rivières, étangs, lacs), et les eaux souterraines (nappe phréatique, nappes profondes), à la fois aux plans quantitatif et qualitatif.

Les changements de pratique agricole liés à ces améliorations agissent également sur le régime et la qualité des eaux.

L'aménagement des rivières en vue de protéger et d'enrichir l'environnement (écosystèmes et paysages), ainsi que de lutter contre les étiages et les inondations doit donc impérativement prendre en compte toutes ces influences, tant au niveau de la conception générale qu'à celui du fonctionnement et de l'entretien.

2. Influence de l'hydraulique agricole sur le régime et la qualité des eaux

2.1. Drainage

Le drainage a été souvent accusé d'entraîner des crues plus fortes avec des temps de réponse plus courts, des volumes d'eau écoulés plus importants et un lessivage aggravé des fertilisants et des pesticides.

La réalité est beaucoup plus nuancée.

De nombreux essais expérimentaux entrepris en Europe depuis 5 à 6 ans ont permis d'aboutir à des conclusions valables en climat tempéré.

En sol argileux saturé avant drainage, et durant les mois les plus arrosés, le drainage diminue ou annule le ruissellement, diminue les débits de pointe et rend les réactions du bassin versant moins brutales même si, dans certains cas, le volume total de la crue est légèrement augmenté.

En revanche en période de pluie intense ou d'orage, au printemps ou en été, sur sol limoneux relativement perméable, le drainage peut augmenter les débits de pointe et diminuer les temps de réaction.

Bien entendu, la mise en place du réseau de drainage entraîne un changement des modes d'exploitation des sols et des systèmes de culture, ce qui influe également fortement sur le régime des eaux.

D'autre part, la création d'émissaires nouveaux largement dimensionnés ou le recalibrage d'émissaires existants considérés comme des rivières réduites à leur lit mineur sans zones d'épandage latérales, amène à faire transiter beaucoup plus vite, donc avec une plus forte intensité, les crues vers l'aval.

Au plan de l'hydrologie qualitative, l'exportation des nitrates par les eaux de drainage représente le phénomène le plus important. Beaucoup de facteurs globaux, locaux, culturels liés ou non au drainage influent sur la concentration et son évolution. La compréhension des mécanismes s'améliore et permet maintenant d'envisager des solutions mettant généralement en jeu les pratiques agronomiques. Il faut noter toutefois que l'entraînement des nitrates se fait surtout à la fin de l'automne, en hiver et au début du printemps, à la suite d'épisodes pluvieux importants, donc en période de hautes eaux.

Les pertes en phosphore sont en général très faibles sauf dans certains cas particuliers mettant en cause la nature des sols et leurs pH. Compte tenu du rôle de cet élément dans les phénomènes d'eutrophisation cet entraînement peut être dangereux. Néanmoins les transferts de phosphore liés à l'agriculture dans les rivières restent globalement négligeables par rapport à ceux provenant des villes ou des activités industrielles.

Les autres solutés minéraux sont moins actifs, et ne présentent pas de danger particulier.

Le phénomène du transfert des pesticides reste difficile ; des études complémentaires sont nécessaires sur ce point.

Il s'avère ainsi que le drainage peut intercepter la migration de diverses substances et, dans certains cas, en protéger les nappes superficielles.

En climat aride, en sol salé, et, de façon plus générale quand il existe à faible profondeur des nappes salées limitant la profondeur des racines ou susceptibles de remonter par suite d'arrivées massives d'eau (irrigation, fuite de canaux...) et que l'on traite par un drainage approprié, le phénomène de loin le plus important est l'exportation des eaux salées vers les émissaires et les rivières.

C'est ainsi, par exemple, qu'on évalue à plus de 500 000 tonnes la quantité de sel évacuée annuellement dans la rivière Colorado, venant de Grand Valley.

Dans certains cas particuliers des micropolluants dangereux peuvent également se retrouver dans les eaux de drainage : en particulier les métaux lourds comme le mercure, le plomb, le cadmium venant de sources diverses ; on a cité aussi du sélénium d'origine géologique (Californie, près de San Francisco).

2.2. Irrigation

L'irrigation entraîne un prélèvement d'eau soit en rivière, soit dans une nappe souterraine. La prise peut se faire au fil de l'eau ou par l'intermédiaire d'un ouvrage régulateur de niveau ou encore par l'implantation d'un barrage réservoir. Dans tous les cas, le régime hydraulique de la rivière en est profondément perturbé.

Beaucoup de nappes de surface et certaines nappes plus profondes sont en relation directe avec des cours d'eau. Toute modification du niveau de la nappe en influence alors l'écoulement et inversement. Un prélèvement excessif peut faire baisser les nappes mais des apports massifs peuvent les faire remonter.

Lorsque les prélèvements ont lieu en période de sécheresse il en résulte une diminution éventuellement dange-

reuse des débits d'étiage des cours d'eau. La pollution se concentre et la vie aquatique peut en être alors profondément perturbée.

En résumé, l'irrigation agit au plan quantitatif par la diminution des débits du cours d'eau en période d'arrosage, les changements de régime dus aux stockages éventuels, la gestion proprement dite des réservoirs (avec éventuellement rétention puis rejet des sédiments), et corrélativement par les modifications des nappes.

Au plan de la qualité des eaux et comme avec le drainage qui lui est d'ailleurs très souvent associé, l'irrigation favorise l'entraînement dans le réseau hydrographique et les nappes des particules fines du sol, d'engrais (surtout les nitrates) et de pesticides. Cet effet est marqué avec l'irrigation gravitaire ; il se manifeste nettement moins avec l'aspersion et est encore plus réduit avec l'irrigation localisée.

Quand l'irrigation est trop importante, ou mal conçue, ou quand des fuites se produisent, la remontée de nappes salées peut créer des situations agronomiquement très dangereuses, allant jusqu'à la stérilisation des sols. Le remède est alors l'installation d'un réseau de drainage ; mais l'excédent de sel est, de ce fait, rejeté dans l'émissaire puis les rivières.

Quelques exemples, sélectionnés dans une littérature très fournie, permettent de bien illustrer la description de ces effets.

Les prélèvements dans le fleuve Syr Daria pour alimenter les réseaux d'irrigation de champs de coton ont entraîné un rétrécissement considérable de la mer d'Aral en URSS, Asie Centrale.

En Espagne, le transfert d'une partie des eaux du Tage vers le bassin du Segura, représentant environ 200 millions de m³ par an, pour alimenter les réseaux d'irrigation de la région de Murcie a entraîné, en période d'étiage, une diminution du débit en aval du Tage préjudiciable au niveau de la pollution. Les doses excessives d'irrigation gravitaire, dans le haut bassin de Segura, ont amené des érosions et des lessivages de sols particulièrement dommageables pour les zones basses.

En France, la plaine alluviale de la Durance est le support de nombreuses irrigations. Le débit dérivé par les canaux atteint en été 100 à 120 m³/s. Les irrigations entraînent, de mars à août une remontée sensible de la nappe phréatique et dans des zones d'intense culture maraîchère des doses de nitrates de l'ordre de 80 mg/l ont été observées.

Dans le bassin du Nil (qui couvre près de 2 900 000 km²) les surfaces irriguées sont considérables et atteignent, rien qu'en Egypte 4 700 000 ha. Les besoins en eau annuels correspondants sont estimés à 40 milliards de m³. A noter que 2,3 milliards de m³ retournent au Nil par drainage et que 2,5 milliards de m³ d'eau provenant également de drainages sont réutilisés pour l'irrigation. Les ingénieurs égyptiens pensent que, sur cette consommation, 10 milliards de m³ pourraient être économisés.

On estime qu'en basse Egypte 16 milliards de m³ d'eau provenant des drainages retournent directement à la mer. Ils pourraient être réutilisés en irrigation.

Une partie importante des eaux d'irrigation s'évapore ; l'évaporation touche également les lacs de barrage (équivalent de 2 à 3 m d'épaisseur d'eau par an). La diminution globale du débit qui en résulte, ajoutée au contrôle des crues par les retenues qui bloquent une partie importante des sédiments entraîne un recul du delta du Nil qui se chiffre en dizaines de m par an.

Le dernier exemple se situe en Italie et est relatif à la rivière Marcchia qui traverse la plaine de Rimini avant de se jeter dans l'Adriatique.

La nappe alluviale de la plaine côtière y est fortement sollicitée pour des usages d'irrigation et d'eau potable. Malheureusement sa teneur en nitrates augmente et tend vers 30 mg/litre. Les pompes intensives en saison estivale entraînent d'autre part un accroissement de la salinité dans les zones les plus proches de la mer. Un programme de réalimentation des nappes et d'utilisation plus large des eaux de surface devrait permettre d'améliorer la situation.

De tels phénomènes sont très fréquents dans beaucoup de rivières côtières du sud de l'Europe.

3. Vers une conception intégrée des aménagements de bassin

Historiquement et jusqu'à une époque récente les aménagements d'hydraulique agricole étaient traités de façon relativement indépendante des rivières considérées seulement comme des ressources en eau, ou comme des exutoires.

L'accroissement des besoins en eau pour l'industrie, les villes et le développement de l'agriculture intensive ont fait apparaître à la fois des conflits aigus d'attribution de ressources et des effets importants, souvent aperçus comme négatifs, sur les cours d'eau eux-mêmes ainsi que sur la vie et les activités des riverains et des usagers. On vient d'en voir une rapide description.

La plupart de ces effets négatifs peuvent être largement évités ou efficacement traités par des remèdes spécifiques. Mais le principal progrès dans ce domaine viendra d'une conception intégrée des aménagements de bassin.

3.1. Comment éviter ou traiter les conséquences dommageables de l'hydraulique agricole

Cas du drainage

On a vu qu'en zone tempérée, les émissaires des réseaux de drainage étaient en général calibrés pour conduire directement et le plus rapidement possible les débits de pointe vers les cours d'eau.

On préconise maintenant de gérer les terres avoisinant les émissaires et les zones proches des cours d'eau dans lesquels ils se jettent comme des aires d'inondation limitée (en quelque sorte des éléments de lit majeur) aménagés pour recevoir sans dégâts une submersion durant un temps suffisamment court. L'onde de crue est ainsi amortie et peut se transmettre sans danger à l'aval. Le choix de ces

zones est à établir en fonction de critères économiques et agronomiques, par comparaison avec les critères pris en compte dans les zones drainées. Cette opération doit se préparer au moment même de la conception du réseau de drainage.

Le lessivage et l'entraînement des engrais, en particulier des nitrates, peuvent se maîtriser en raisonnant mieux la fertilisation, en sélectionnant les périodes d'apport par comparaison avec les périodes de pluies (y compris l'enfouissement des engrais verts et des résidus de récoltes), ainsi que les travaux du sol. Il est fortement conseillé de laisser le moins longtemps possible la terre nue sans végétation.

Le problème du transfert des pesticides reste difficile à court terme. A moyen terme sa solution passe par des progrès agronomiques et l'utilisation de substances rapidement biodégradables.

L'évacuation des eaux salées ne peut se traiter qu'en jouant sur la dilution ou par des transferts hydrauliques souvent coûteux.

Cas des irrigations

On doit d'abord citer, mais en le passant rapidement, le cas des alimentations par barrages — réservoirs. La conception et la gestion de ces ouvrages, actuellement controversées en France et en Europe occidentale, dans le but d'en minimiser l'impact sur l'environnement, demanderaient pour être explicitées, de longs développements qui sortiraient du cadre de cet article.

Disons simplement que la construction de barrages ne doit pas être considérée forcément, et à priori, comme une agression contre la nature et les paysages. Bien souvent de nombreux avantages apparaissent au-delà de la simple amélioration de l'alimentation et de la régularisation du débit : protection de la vie aquatique contre les étiages, création de biotopes et de nouveaux écosystèmes intéressants et même création de nouveaux paysages harmonieux. Mais il faut pour cela que la mise en place et la gestion de l'ouvrage respectent un certain nombre de règles, bien connues, comme la mise en place d'échelles à poissons pour la protection des espèces migratrices ou la gestion raisonnée des sédiments.

En dehors de cet aspect les principaux problèmes sont liés à l'aval à des excès des prélèvements, aux fuites trop importantes dans les systèmes de répartition, enfin à des consommations trop fortes à la parcelle.

Les solutions consistent en une meilleure organisation de la distribution et en une réhabilitation des systèmes de prise et de canaux. Dans beaucoup de pays il est impossible, pour des raisons d'investissements et de coût de l'énergie, de passer à l'aspersion ou à l'irrigation localisée. Néanmoins, dans bien des endroits, l'irrigation gravitaire peut être considérablement améliorée malgré les difficultés qu'il y a toujours à modifier les manières de faire de la paysannerie locale.

En résumé il s'agit de limiter les pertes par infiltration et ruissellement, d'amener l'eau au meilleur moment, et de répandre la quantité strictement nécessaire.

Des dispositions particulières (petits ouvrages sur les rivières, épandages des crues) permettent également de réalimenter les nappes affaiblies et d'éviter, près de la mer, les avancées d'eau salée.

Au niveau de la qualité des eaux, les précautions à prendre sont analogues à celles décrites pour le drainage. Il faut, également dans toute la mesure du possible, aménager les parcelles pour éviter les érosions.

Les problèmes de remontées de nappes salées en zone aride se traitent, comme il a été dit, par un drainage approprié.

3.2. La conception intégrée des aménagements de bassin et les nouvelles possibilités des méthodes de modélisation

Du fait des interactions qui se succèdent le long de son cours, l'aménagement d'une rivière doit maintenant être pensé à l'échelle de son bassin en y intégrant l'ensemble des usagers actuels et prévisibles et bien entendu les objectifs environnementaux qu'on se donne. Les aspects administratifs et réglementaires en ont été décrits dans d'autres contributions. Nous en donnerons simplement ici quelques éléments techniques.

Le principal outil à mettre en œuvre est la modélisation pour prévoir les effets, ajuster les paramètres, optimiser les aménagements.

La modélisation porte sur les aspects purement physiques, physicochimiques, et biologiques ; elle peut s'opérer à différentes échelles.

La modélisation des débits, à l'échelle hectométrique ou kilométrique, est relativement aisée et permet de bien prendre en compte les crues liées au drainage ou les prélèvements des irrigations.

Il existe des modèles numériques complexes mais bien maîtrisés donnant la possibilité de prévoir les propagations d'onde de crue à cette échelle.

De bons modèles représentant le traitement, l'évolution et la propagation des pollutions sont également disponibles depuis la dimension du bassin ou d'une fraction de bassin jusqu'à celle du 1 à 10 km. A titre d'exemple citons le modèle EUTROLOIRE d'EDF.

Les évolutions de la forme du lit sont surtout, pour l'instant, du domaine de certains modèles physiques, toujours coûteux à mettre en œuvre et qui couvrent difficilement plus de quelques km. Les modèles numériques n'ont pas, sur ce point, et malgré d'importants progrès, encore atteint un stade complètement opérationnel.

On commence toutefois à utiliser, à plus grande échelle et avec un niveau de détail métrique et décimétrique, des modèles hydrodynamiques à trois dimensions capables de représenter les conditions physiques dans les principaux biotopes de la rivière, tout au long de l'année.

On peut y associer une modélisation physicochimique moins précise mais encore utilisable.

A partir de là, l'aménagement écologique peut s'envisager par phases successives :

- diagnostic général du cours d'eau ;
- aménagement du profil en travers dans diverses zones ;

- aménagement du profil en long ;
- contrôle et amélioration de la végétation ;
- développement des populations animales.

Citons, comme exemple dans ce domaine, d'importants travaux réalisés depuis quelques années au CEMAGREF. En premier lieu on y a effectué la modélisation complète du bassin de la Charente. En second lieu on y a trouvé une méthode de modélisation des habitats de plusieurs espèces de poissons qui, articulée à une modélisation physique très fine de la zone en vitesses, hauteurs d'eau, composantes de l'écoulement et substrats, permet de quantifier de façon claire l'habitabilité de divers tronçons de rivières.

Par contre, en écotoxicologie, les outils prédictifs détaillés d'effets de pollutions éventuelles n'en sont pas encore à un tel niveau d'efficacité et de mise au point.

Les ingénieurs aménageurs sont donc maintenant en possession d'outils puissants de modélisation. Il faut bien prendre conscience toutefois qu'ils ne couvrent pas encore, et d'assez loin toute la gamme des problèmes. Le plus souvent, même après examen de ces modèles, beaucoup de solutions restent du domaine du savoir d'expert.

Toutefois, l'expert aura de moins en moins souvent à s'exprimer sur des aspects limités mais devra, au contraire, s'appuyer systématiquement sur une vision globale du bassin.

4. Conclusion

L'importance de l'agriculture et son nécessaire développement amènera, dans beaucoup de pays, à compléter, réaménager ou établir de nombreuses installations de drainage et d'irrigation.

Ces améliorations influencent souvent très lourdement les cours d'eau associés, l'exemple le plus frappant (parce que le plus massif) étant celui du Nil.

D'importants effets négatifs sur l'environnement ont été fréquemment soulignés. Il existe des méthodes bien au point pour les atténuer voire les supprimer, au moins ponctuellement. Elles ne sont malheureusement pas toujours systématiquement utilisées.

Toutefois, on préfère maintenant, à chaque fois que cela est possible, mettre en œuvre des méthodes de conception globale de l'aménagement de la rivière, seule solution qui permette de prendre en compte les interactions complexes et les besoins souvent divergents des différents usagers et des différents biotopes qui se succèdent le long du cours. Les progrès récents en modélisation, très importants, permettent à l'heure actuelle ce type d'approche. Néanmoins, dans la plupart des cas il faut, dans ce cadre, à un moment donné faire appel au savoir d'expert, tant en géomorphologie dynamique, qu'en hydrobiologie ou en écotoxicologie pour être certain de réaliser des aménagements stables et conformes aux objectifs.