

CHAPITRE



GESTION DE L'EAU OU AMÉNAGEMENT DE L'ESPACE ? LA FONCTION HYDROLOGIQUE D'UN TERRITOIRE

Luc Descroix

*Institut de recherche pour le développement
(IRD)*

*Ce qui apparaît à nos yeux,
c'est le Monde d'avant l'Homme [...]
Les eaux viennent de s'écarter
et le temps de la sécheresse est advenu.
Alejo CARPENTIER, Los pasos perdidos*

Peut-on dire qu'un espace est destiné à produire ou à retenir de l'eau pour alimenter ou, au contraire, protéger l'aval (zones d'inondation dans la vallée de la Saône, de la Loire, etc.). Autrement dit, peut-on destiner un territoire plus ou moins étendu à jouer un rôle hydrologique particulier ? Dans certains cas, cela semble aller de soi, par exemple dans celui des zones de captage d'eau pour l'approvisionnement en eau potable des villes (il s'agit en général de petites surfaces). Mais peut-on demander à une commune périurbaine située en tête de bassin versant de geler son développement urbain et de limiter ou interdire son expansion en termes de plan d'occupation des sols sous prétexte que son urbanisation risque de favoriser la formation de crues et d'inondations sur les communes situées en aval ?

À plus petite échelle, peut-on demander à des régions situées dans la zone de montagne, en amont d'un bassin, de ne pas utiliser l'eau du haut bassin, afin d'en laisser la disposition aux régions d'aval plus

peuplées, qui en ont besoin pour l'irrigation, comme c'est le cas dans la Laguna, au nord du Mexique, par exemple ?

À plus petite échelle encore, peut-on demander à un pays de ne pas utiliser l'eau d'un bassin amont pour ne pas nuire aux activités des pays situés en aval ? (Éthiopie/Égypte, Turquie/Syrie et Irak, États-Unis/Mexique, etc.). Comme il y a 250 bassins majeurs qui chevauchent plusieurs pays, il y a une multitude de cas où un pays dispose des sources d'un cours d'eau alors que d'autres sont concernés par les cours aval. Comme les zones amont sont, en général, sinon des zones de montagnes, du moins le plus souvent des secteurs peu peuplés¹, ils sont à la fois les zones où les débits spécifiques (débit d'une rivière ramené à la superficie du bassin, en l/s/km²) sont les plus forts, la qualité de l'eau la meilleure (eaux non encore utilisées ou réchauffées ou polluées) et celles où la demande est la moins forte. D'où la position de force de pays « château d'eau » comme la Turquie, le Lesotho, le Népal, la Chine du Sud et le Tibet, l'Éthiopie, l'Ouganda, et bien d'autres encore.

Enfin, peut-on demander à un pays du Sud d'arrêter de déboiser ses massifs forestiers, parce qu'ils contribuent à l'équilibre climatique de la planète, quand les pays du Nord, et le plus pollueur de tous en particulier, refusent de restreindre leurs émissions de polluants qui menacent sûrement plus un équilibre climatique planétaire ?

Cela pose de manière incessante le problème du droit de l'eau entre le droit à l'antériorité (« j'utilisais l'eau avant vous donc je continue ») ou le droit du territoire (de l'eau sourd ou coule dans notre pays, pourquoi en laisser à ceux d'aval ?), et l'importance des traités, quand ils existent.

Quoi qu'il en soit, comme le remarque Moral², la gestion de l'eau est indissociable de celle du territoire, et les problèmes de gestion de l'eau sont avant tout des problèmes d'aménagement du territoire ; et cet auteur de citer Alfred Baron, un responsable du plan hydrologique des Baléares :

techniquement, tout peut se résoudre : s'il manque de l'eau, on peut construire de nouvelles usines de dessalement d'eau de mer, et s'il manque de l'énergie pour les faire fonctionner, on peut construire de nouvelles structures [...], mais ce que l'on ne peut élargir, c'est le territoire [...]; donc, on peut dire qu'il n'y a pas de problème d'eau ou d'énergie ; ce qu'il y a, c'est un problème d'aménagement du territoire.

1. Marq De Villiers, *L'eau*, Actes Sud, 2000.

2. Leandro del Moral, « Planification hydrologique et politique territoriale en Espagne », *Hérodote*, n° 102, 2001, p. 87-112.

1. LA RTM OU COMMENT VIDER LES BASSINS VERSANTS DES TROUPEAUX CAUSEURS DE CRUES : UNE GESTION AUTORITAIRE DES TERRITOIRES ET DE LEURS EAUX AU XIX^E SIÈCLE EN FRANCE

De fait, l'eau est a priori indissociable de son territoire, et leur gestion va forcément de pair. L'un agit sur l'autre parce que le sol et la roche sont le milieu sur lequel l'eau va ruisseler, s'infiltrer ou s'évaporer suivant l'état du substratum et la gestion et l'usage du sol qui y sont pratiqués.

En France, et globalement dans les pays du bassin méditerranéen, on a remarqué depuis longtemps que le déboisement des montagnes se traduisait par un accroissement de l'érosion, de la torrentialité, ainsi qu'une aggravation des crues et des étiages. Cela se perçoit dès les temps modernes à travers les archives, par exemple dans les Alpes³. Les habitants ont fait le lien entre les problèmes de gestion des eaux en aval (crues dévastatrices et inondations, engrèvement des lits, etc.) et la déforestation en amont, liée surtout à l'installation de nouveaux pâturages, mais aussi à la fourniture de bois pour la marine, la construction ou le chauffage.

On a assisté en France du XVII^e au XIX^e siècle et malgré des conditions climatiques défavorables, à une « croissance démographique qui a nécessité l'extension des labours et l'augmentation des troupeaux. Il en est résulté une crise érosive dans de nombreuses régions de montagne, se traduisant en particulier par le recul de la forêt⁴ ».

Tout se passait comme si le bassin versant arrêta de retenir l'eau comme par le passé. Ce n'est pas par hasard si l'administration en charge des travaux forestiers s'appelaient les Eaux et Forêts. C'est cette concordance entre la torrentialité et l'état de la couverture végétale qu'a synthétisée Surell⁵ dans ses travaux sur les torrents des Hautes Alpes.

Cela étant, il y a longtemps eu débat sur les causes réelles de l'accroissement, aujourd'hui certain, de la torrentialité entre le XVI^e et le XIX^e siècle. En effet, les « reboiseurs » du début des programmes RTM (Restauration des terrains en montagne) ont négligé un fait dont ils ne

3. Thérèse Sclafert, « À propos du déboisement des Alpes », *Annales de Géographie*, XLII, 1933, p. 266-277 et 350-360 ; Raoul Blanchard, *Les Alpes Occidentales*, Thèse d'État, Université de Grenoble, 1945 ; Emmanuèle Gautier, *Recherches sur la morphogénèse et la dynamique fluviales dans le bassin du Buëch (Alpes du Sud)*, Thèse de l'Université Paris X, 1992 ; Luc Descroix, *L'érosion actuelle dans la partie occidentale des Alpes du Sud*, Thèse de l'Université Lumière Lyon II, 1994.

4. Charles Lilin, « Histoire de la restauration des terrains en montagne au 19^{ème} siècle », *Cahiers Orstom*, série Pédologie, vol. XXII, n° 2, 1986, p. 139-145.

5. Alexandre Surell, *Études sur les torrents des Hautes Alpes*, Dunod, Paris, 2 tomes, 1841.

pouvaient avoir une connaissance précise à cause de l'absence de données climatiques anciennes et d'archives fiables à ce sujet : c'est l'existence de la péjoration climatique, aujourd'hui certaine, durant ce que l'on nomme le « petit âge glaciaire ». On sait à présent, grâce à la géomorphologie, à la palynologie, à la dendrochronologie, à des travaux d'historiens sur archives et à l'étude des glaciers, que ces siècles ont correspondu à un refroidissement sensible (de 1 °C en moyenne dans certaines régions) de la planète, et en tout cas de l'Europe de l'Ouest. Donc, la plupart des auteurs s'accordent à penser à l'heure actuelle que la période de crues fréquentes et d'érosion accélérée qui s'étend sur ces quatre siècles a dû être causée par une conjugaison de la surexploitation des bassins versants conduisant à une fragilisation des milieux, et de la péjoration climatique qui aurait conduit à un accroissement de l'efficacité des agents d'érosion : plus de phases gel-dégel, plus de précipitations intenses, etc. Le fait que c'est surtout vers la fin du « petit âge glaciaire » que la torrentialité s'est déchaînée peut être attribué à deux facteurs : le premier, c'est l'effet de latence et de cumul dans la dégradation progressive de l'espace ; le second, c'est que « le 18^{ème} siècle a été un siècle de surexploitation sans précédent de la forêt d'altitude, à la fois par les bergers transhumants et par les charbonniers, qui a coïncidé avec le refroidissement marqué du climat⁶ ».

Ceci a conduit à mener une politique massive et volontariste d'aménagement des bassins versants qui s'est traduite par la construction de nombreux seuils, digues et barrages destinés à casser l'énergie de l'écoulement comme à stocker les matériaux arrachés aux versants amont. Mais cette politique, menée par le service de Restauration des terrains en montagne (RTM) à partir de la fin du XIX^e siècle dans les Alpes et les Cévennes, a bien consisté à geler des terres pour les reboiser et à corriger des torrents afin d'amoindrir l'effet des crues en aval. Ce gel s'est accompagné d'une diminution de la population et des activités rurales en montagne, en particulier dans les zones de pâturage.

C'est sous le Second Empire, en 1860, qu'est adoptée la première loi sur le reboisement de la montagne ; au dynamisme industriel et financier des villes devait correspondre un remodelage du territoire national⁷. « La loi de 1860 permettait d'imposer en montagne la constitution de périmètres de reboisement définis d'après l'état du sol et les dangers qui en résultent pour les terrains inférieurs. » Cette loi tendait ainsi à « imposer

6. René Neboit, *L'homme et l'érosion*, Publications de l'Université de Clermont Ferrand, fasc. n° 17, 1983, p. 140.

7. Lilin, 1986, *op. cit.*, p. 141.

une gestion étatique de l'espace montagnard. Les droits des propriétaires s'effaçaient devant l'intérêt collectif⁸ ». D'après ce même auteur,

la résistance [à la loi] fut d'autant plus vive que les forestiers firent porter leurs efforts surtout sur les communaux, qui étaient les parcours les plus dégradés, mais dont l'utilisation prolongeait tout en les atténuant les inégalités sociales du village, et qui constituaient le symbole de l'unité villageoise. Modifier la mise en valeur de ces espaces perturbait fortement la reproduction des conditions de production ainsi que l'organisation sociale des habitants⁹.

Sous la Troisième République fut adoptée, dans la même lignée, la loi sur la Restauration des terrains en montagne, qui avait aussi pour objectif de limiter l'exode rural déjà amorcé dans les montagnes, mais qui l'a en fait surtout accéléré. Il y aurait en fait eu collusion entre le besoin de main-d'œuvre pour les travaux de RTM et le fait qu'on ne laissait plus les montagnards exploiter leurs alpages et leurs forêts comme auparavant. Mais aussi « collusion entre la politique de l'État à la recherche de bras pour coloniser les pays annexés par la France et les forestiers qui, dans leur action de reboisement, facilitaient l'expropriation, donc la ruine et l'exode vers les colonies des populations autochtones¹⁰ ».

Cependant, le résultat est étonnant et des séries de photos prises à la fin du siècle dernier dans les bassins des Alpes du Sud et comparées à la situation actuelle donnent une bonne idée du travail accompli. Et ce, d'autant plus, qu'à côté des 90 000 hectares reboisés uniquement dans les Alpes du Sud, une reconquête spontanée des versants par la végétation s'est opérée du fait de la déprise rurale et du déclin du pastoralisme. Pour les trois départements des Hautes-Alpes, de la Drôme et des Alpes-de-Haute-Provence, la superficie boisée est passée de 3800 à 7200 km² sur 19 000 km² de superficie totale entre 1878 et 1992, soit un taux de boisement passant de 20 à 38 %. Étant donné que les zones les plus basses (en dessous de 1000 mètres) sont en grande partie occupées par des cultures et des pâturages, et que la forêt s'arrête à 2000 m, au maximum 2200 m sur certains adrets, cela signifie que l'essentiel de cette progression s'est faite entre 1000 et 2000 m d'altitude, et que cette tranche de hauteur est presque intégralement protégée de nos jours. L'impact sur la gestion de l'eau est indéniable : même si l'évolution du climat depuis la fin du petit âge glaciaire a pu renforcer ce processus, il est indubitable que les dégâts des eaux de torrents sont moindres qu'auparavant (il est vrai aussi qu'ils gênent bien moins une population entre-temps fortement clairsemée...). En termes de gestion de l'eau et du territoire, l'action des services des Eaux et Forêts est une réussite complète.

8. Lilin, 1986, *op. cit.*, p. 141.

9. *Ibid.*, p. 142.

10. *Ibid.*, p. 141.

De ce fait, aujourd'hui, on voit apparaître un nouveau problème, à l'opposé des ravinements et crues dévastatrices du XIX^e siècle ; le reboisement massif et la trop forte extraction de matériaux dans les rivières, ainsi que la construction de nombreux barrages fonctionnant comme autant de pièges à sédiments, ont conduit à un « déficit sédimentaire » et à un encaissement des lits des cours d'eau dans de nombreuses régions françaises, comme dans le val de Loire (le pont de Tours s'est effondré en 1983 du fait de l'affouillement de ses piles), et plus encore dans les montagnes comme dans toutes les Alpes (aussi bien du Nord, comme sur l'Arve, l'Isère, le Drac, que du Sud, comme sur le Buëch, la Bléone, la Durance, ou le Var). Plus en aval encore, à l'embouchure du Rhône, on observe un déficit en matériaux qui est à l'origine de la régression du littoral camarguais.

A contrario, autant l'agriculture et l'élevage en zone de montagnes ne sont plus des facteurs susceptibles d'aggraver ruissellement et torrencialité, autant les nouvelles activités de la montagne arrivent à occasionner des reprises d'érosion et parfois des déstabilisations de versant. L'aménagement de la station des Arcs, au-dessus de Bourg-Saint-Maurice, en Savoie, a nécessité la construction d'une grande route d'accès, de logements, d'aires de récréation, de zones de stationnement, qui ont entraîné une hausse considérable des coefficients de ruissellement et la réactivation des torrents de la Ravoire et de l'Église, qui se sont creusés d'une dizaine de mètres lors de deux événements en mars 1981. Par contre, sur l'adret de ce « berceau tarin¹¹ », l'abandon de certains alpages a permis la prolifération d'une variété d'aulnes (*alnus viridis*) qui est accusée de faciliter les avalanches en se couchant en début de saison hivernale sous le poids de la neige. Et sur ces mêmes alpages, les canaux d'irrigation creusés dans les siècles passés pour alimenter les prairies de fauche lors des étés, relativement secs dans ces zones d'abri intra-alpines, ont été abandonnés, et on a pu constater que leur rupture (causée par le défaut d'entretien) pouvait être à l'origine de glissements de terrain.

En résumé, en dehors des zones revitalisées par le tourisme hivernal, les anciennes zones de pâturage ont souvent été vidées de leurs habitants, par la misère certes, mais aussi par l'action des services RTM, qui, un temps, ont employé les agriculteurs dépossédés du droit de faire pâturer leurs troupeaux à corriger les lits des torrents et à reboiser les bassins versants. On a bien utilisé des espaces ruraux (dont la dépopulation avait commencé du fait de l'attrait des villes et de l'arrivée du chemin de fer et allait être accélérée par les guerres) pour une fonction

11. Nom donné à la haute vallée de la Tarentaise, autour de Bourg-Saint-Maurice (Savoie, France).

hydrologique de protection des espaces situés à l'aval. Là encore, on voit que la gestion de l'espace, l'aménagement du territoire, ou son « désaménagement », ont un impact considérable sur la gestion de l'eau et en sont indissociables.

2. EXPORTATION DU MODÈLE FRANÇAIS DANS LES EX-COLONIES

En Algérie aussi, on a vite compris que l'exploitation des bassins versants aggravait les crues et colmatait les barrages en aval. Mais là le problème géopolitique était en quelque sorte exacerbé par le fait que les expropriations nécessaires s'ajoutaient aux frustrations liées au fait colonial. Les colons se sont octroyés les meilleures terres (et les plus faciles à travailler) avec l'appui de leur administration, repoussant les paysans algériens des plaines dans les montagnes les dominant, ce qui a créé un premier problème : ces paysans ont dû défricher des forêts et des maquis pour en faire des pâturages et des champs. Bien que l'érosion existât déjà auparavant (elle est attestée dès l'époque romaine comme une entrave à l'agriculture), la mise en valeur intensive de terrains en pente a accéléré l'érosion qui allait vite s'avérer gênante et constituer une contrainte pour les colons. En effet, les barrages ont été édifiés dès cette époque, comme au Maroc ; en 1956, 14 barrages sont en service en Algérie (capacité totale : près de 500 millions de m³), permettant l'irrigation de 50 000 hectares seulement (Maroc : 14 barrages aussi, 2 km³ de réserve utile ; et seulement 38 000 hectares irrigués)¹². Or, très vite, on s'est rendu compte que l'envasement des barrages était très rapide. Les barrages de l'oued Fodda et de l'oued Fergoug, en Oranie, se sont très vite colmatés¹³. Les paysans algériens et leurs troupeaux repoussés sur les hauteurs ont provoqué une reprise rapide de l'érosion par déforestation et surpâturage.

Par conséquent, durant la Seconde Guerre mondiale, un service de Défense et restauration des sols (DRS) est créé en 1942, qui reçoit pour mission d'étendre les travaux de correction déjà entrepris à titre expérimental à toutes les terres affectées par l'érosion, sur le modèle du SCS (Soil Conservation Service) américain. Il s'agissait essentiellement d'installer des banquettes et des terrasses sur les terres les plus érodées afin d'enrayer une dégradation qui menait à la ruine l'agriculture algérienne.

12. Mutin, 2000, *op. cit.*, p. 110-111.

13. M. Benchetrit, *L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement en Algérie*, Publications de l'Université de Poitiers, n° XI, Presses universitaires de France, Paris, 1972, p. 176.

Le programme est immense : il porte sur cinq millions d'hectares, dont deux à traiter en première urgence. Selon Benchetrit¹⁴, les travaux n'ont porté en vingt ans que sur 250 000 hectares, et une grande partie de cette surface subissait déjà au moment de l'indépendance une érosion de nouveau catastrophique. L'échec serait dû au fait que la DRS n'aurait pas su s'intégrer à l'économie agraire des régions intéressées, y apparaissant comme un corps étranger et une initiative de l'Administration. Il ne s'était affirmé aucun lien évident et direct entre ces travaux et l'intérêt de l'agriculture montagnarde ; de plus, ces travaux représentaient une servitude pour l'exploitant : entretien nécessaire, gêne pour la circulation, les troupeaux et les travaux. La DRS fut souvent considérée avec hostilité, notamment par les fellahs qui voyaient dans cette intervention de l'Administration coloniale sur leurs terres une nouvelle menace d'expropriation¹⁵. Au Maroc aussi, la DRS a traité plusieurs dizaines de milliers d'hectares avec plus ou moins de succès.

Pendant la guerre d'indépendance algérienne, les « opérations de maintien de l'ordre » menées par l'armée française ont conduit à des pratiques qui ont localement aggravé le problème de l'érosion des sols en Algérie du Nord : d'abord, les villages de regroupement, qui ont concentré le surpâturage en certains points, et surtout la destruction des forêts (localement grâce à l'usage des défoliants) destinée à éliminer les « maquis » rebelles, qui a laissé les sols à nu en maints endroits (Plan Challe).

Ces politiques de DRS destinées à protéger les sols ont tenté de geler des terres pour imposer une gestion de l'eau et des sols à long terme ; mais là, moins encore qu'en France, elle n'avait aucune chance d'avoir le soutien de la population locale. Toujours en Algérie, a-t-on déboisé les bassins versants des barrages pour qu'ils se remplissent plus vite d'eau ? Des témoignages en feraient état ; quoi qu'il en soit, la politique d'aménagement et de colonisation¹⁶ a eu un grand impact hydrologique.

Après l'indépendance, au début des années 1970, le gouvernement algérien a décidé de tenter d'arrêter « l'avancée du désert », au sud de l'Algérie tellienne, en constituant le fameux « barrage vert » ; des millions d'arbres ont été plantés au sud des hauts plateaux, mais l'entretien en ayant été déficient, très peu d'entre eux ont survécu.

14. Benchetrit, 1972, *op. cit.*, p. 177-188.

15. Benchetrit, 1972, *op. cit.*, p. 179.

16. Benchetrit, 1972, cité par Neboit, 1983, *op. cit.*, p. 143.

Plus récemment, on a constaté le même genre d'impact d'une guerre sur l'état des sols, lorsque l'érosion des sols s'est généralisée autour des camps de réfugiés afghans au Nord du Pakistan durant la domination soviétique de l'Afghanistan.

LA FORÊT RETIENT-ELLE L'EAU ? VERS UN DÉFICIT SÉDIMENTAIRE

Le service français qui est chargé de la gestion de la forêt s'est longtemps appelé « Service des Eaux et Forêts ». Comme si le lien entre les deux était établi. En tout cas, qu'il y ait influence de l'un sur l'autre ne fait pas de doute. Reste à établir si la forêt préserve les ressources en eau ou si elle les consomme.

L'influence de la couverture végétale et de ses modifications sur la partie terrestre du cycle de l'eau a été l'objet de nombreux travaux qui montrent qu'en général une diminution de la couverture végétale (déboisement, mise en culture, incendie, urbanisation, surpâturage) se traduit par une augmentation des écoulements. On peut en citer quelques-uns : en climat tropical humide, les travaux de Fritsch¹ ; en climat méditerranéen et en climat tempéré, ceux de Cosandey et Robinson², de Galea *et al.*³ ainsi que de Hudson et Gilman⁴ ; en climat semi-aride, ceux de Viramontes et Descroix⁵.

Bosch et Hewlett⁶ ont synthétisé les résultats des expérimentations sur 94 bassins versants de différentes régions du monde. Leurs résultats ont confirmé l'augmentation des coefficients d'écoulement avec le déboisement. Cependant, ils ont constaté que, dans l'ensemble des résultats, la corrélation entre le taux de progression du boisement et la réduction de l'écoulement est médiocre. S'il est vrai que les écoulements augmentent après les coupes ou bien après les transformations de forêts en prairies ou en zones de culture, les résultats montrent une grande diversité d'explications qui évoquent la part de la végétation, des sols et des modifications du milieu lui-même^{7,8}. Les seules données d'entrée (pluie) et de sortie (écoulement) de l'eau dans le bassin versant ne montrent pas la forte complexité du cheminement de l'eau parcouru dans le système.

Dans le bassin du Nazas au Mexique⁹, les recherches ont montré les éléments suivants : au regard du volume total annuel, ni les pluies ni les écoulements des deux principaux cours d'eau du haut Nazas ne manifestent de tendance définie à la hausse ou à la baisse. Apparemment, la déforestation et le surpâturage n'ont pas changé les coefficients d'écoulement annuel des rivières de la Sierra Madre occidentale. Cela coïncide avec les résultats des travaux réalisés dans le Massif central¹⁰ et dans les Appalaches¹¹. Ces auteurs n'ont pas constaté de relation entre les volumes annuels écoulés et la modification du couvert végétal. La difficile détection de tendances statistiques dans les chroniques du fait de séries trop courtes et des erreurs de mesures supérieures aux tendances¹², ainsi que la variabilité

spatiale et temporelle du milieu, peuvent relativiser les effets de la transformation physique des bassins dans la production des écoulements. Ainsi, une végétation secondaire peut prendre la place de la végétation initiale¹³. De plus, les observations sur des stations expérimentales peuvent ne pas avoir de relation avec les résultats à une échelle supérieure à cause de la variabilité spatiale de l'infiltration¹⁴. Pour cette raison, la recherche des tendances hydriques ne doit pas se limiter aux séries de données totales de débits. Des paramètres de comportement du régime des bassins versants peuvent être des indicateurs plus sensibles aux changements ténus.

En conclusion, il semble bien que la forêt retient l'eau, c'est-à-dire que sa présence diminue les écoulements (par rapport à d'autres types de végétation ou d'usage du sol). En outre, elle a indéniablement un rôle régulateur : sa capacité à retenir l'eau lui permet aussi d'en restituer une partie sur le long terme, longtemps après l'épisode pluvieux ; cela fait qu'un bassin boisé aura des étiages et des crues moins marqués qu'un bassin cultivé ou pâturé.

Vers un déficit sédimentaire ?

Après avoir connu une dernière phase d'érosion et de ravinement intense du XVII^e au début du XX^e siècle, qui s'était traduite par un exhaussement des lits des cours d'eau sur leurs alluvions, les Alpes connaissent depuis quelques dizaines d'années un fort déficit sédimentaire ; le volume de matériaux transporté par les cours d'eau a énormément diminué : il est passé par exemple de 200 000 tonnes à 10 000 tonnes par an sur l'Isère en amont de Grenoble entre 1900 et 2000. Cela est dû premièrement aux trop fortes extractions de matériaux, mais aussi aux barrages qui stockent les alluvions ainsi qu'au reboisement qui, en limitant considérablement l'érosion, fait que les versants apportent bien moins de matériaux solides aux cours d'eau.

Ce phénomène s'est traduit par un encaissement des rivières dans leurs alluvions actuelles ; en effet, les cours d'eau n'ayant plus de matériaux à transporter, leur compétence (capacité de transport de sédiments) croît et ils creusent leur lit en y arrachant les matériaux accumulés : le Buëch (affluent de droite de la Durance) s'est ainsi enfoncé de un à trois mètres suivant les secteurs¹⁵. Mais cela a été constaté aussi sur la Bléone (affluent de gauche de la Durance), sur le Bèz (affluent de droite de la Drôme) et sur le Var. Comme on a relevé des encaissements sur des affluents du Buëch où aucune action humaine ne s'est produite sur les lits, on peut penser que le seul reboisement a pu, localement, induire ce déficit sédimentaire¹⁶. Ce type de processus a aussi été remarqué, parfois plus fortement encore, dans les Alpes du Nord¹⁷.

Sur le Buëch, un seul barrage a été construit, celui de Saint-Sauveur, mis en eau en 1991 ; dans les six ans qui ont suivi sa mise en eau, le lit s'est encore enfoncé de trois mètres en aval du barrage sur plusieurs centaines de mètres, l'influence se faisant encore sentir quatre kilomètres à l'aval.

On peut donc dire que le reboisement a été une réussite totale en termes de lutte contre l'érosion dans les Alpes du Sud. Les problèmes actuels d'encaissement lui sont en partie attribuables, mais sont autrement moins contraignants pour l'aménagement des montagnes que les ravages du ravinement au XIX^e siècle.

Cet exemple montre :

- combien la dynamique d'un cours d'eau est liée à celle de tout le bassin versant ;
- comment une politique volontariste d'aménagement peut produire des résultats concrets sur le moyen terme ;
- comment la forêt joue un rôle régulateur et comment un territoire peut avoir une fonction hydrologique ;
- que la gestion de l'eau passe aussi par celle de l'espace et du territoire.

-
1. Jean Marie Fritsch, *Les effets du défrichement de la forêt amazonienne et la mise en culture sur l'hydrologie de petits bassins versants*, Thèse Université de Montpellier II, 1990, 390 p.
 2. Claude Cosandey et Mark Robinson, *Hydrologie continentale*, Armand Colin, coll. « U », Paris, 2000, p. 307-326.
 3. G. Galea, P. Breil et A. Ahmad, « Influence du couvert végétal sur l'hydrologie des crues, modélisation à validations multiples », *Hydrol. Continent.*, vol. 8, n° 1, 1993, p. 17-33.
 4. J.A. Hudson et K. Gilman, « Long term variability in the water balances of the Plynilimon catchments », *Journal of Hydrology*, n° 143, 1993, p. 355-380.
 5. David Viramontes et Luc Descroix, « Modifications physiques du milieu et conséquences sur le comportement hydrologique des cours d'eau de la Sierra Madre occidentale (Mexique) », *Revue des Sciences de l'eau*, 2002 (sous presse).
 6. J.M. Bosch et J.D. Hewlett, « A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration », *Journal of Hydrology*, n° 55, 1982, p. 3-23.
 7. Fritsch, 1990, *op. cit.*
 8. Cosandey et Robinson, *op. cit.*, p. 307-326.
 9. Viramontes et Descroix, 2002, *op. cit.*
 10. Vazken Andreassian (coordinateur), *Indicateur d'impact de l'évolution du couvert forestier sur la ressource en eau à l'échelle des bassins versants des Cévennes et de la Montagne Noire*, Programme Environnement, Vie et Société CNRS, Rapport final, 1999.
 11. G.C. Bent, « Effects of timber cutting on runoff to Quabbin Reservoir, Central Massachusetts », dans R.A. Marston et V.R. Hasfurther (dir.), *Effects of Human-Induced Changes on Hydrologic Systems*, AWRA Annual Summer Symposium, American Water Resource Ass., 1994, p. 187-196.
 12. Galea *et al.* 1993, *op. cit.*
 13. Fritsch, 1990, *op. cit.*
 14. Luc Descroix, José Luis Gonzalez Barrios, Jean Pierre Vandervaere, David Viramontes et Arnaud Bollery, « Variability of hydrodynamic behaviour on soils and hillslopes in a subtropical mountainous environment (Western Sierra Madre, Mexico) », *Journal of Hydrology*, 2002 (sous presse).

15. Emmanuèle Gautier, *Recherches sur la morphogénèse et la dynamique fluviales dans le bassin du Buëch (Alpes du Sud)*, Thèse de l'Université Paris X, 1992.
16. Luc Descroix et Emmanuèle Gautier, « Hydric erosion in Southern French Alps : Climatic and human mechanisms », *Catena*, 2002 (sous presse).
17. Jean Luc Peiry, Pierre-Guy Salvador et Frédéric Nouguier, « L'incision des rivières dans les Alpes du Nord : état de la question », *Revue de géographie de Lyon*, vol. 69, n° 1, 1994, p. 47-56.

3. AMÉNAGEMENT DU BASSIN AMONT AU SERVICE DE L'AVAL AU NORD-MEXIQUE ?

On a vu plus haut que la Laguna, principal bassin laitier mexicain, périmètre irrigué de 160 000 hectares qui s'est installé dans une oasis de piedmont, dépendait entièrement des eaux venues de la Sierra Madre quant à ses approvisionnements en eaux de surface (1,2 km³/an). Le pompage dans l'eau de la nappe ne devait y constituer qu'un appoint pour les années sèches. La recharge naturelle de la nappe est en moyenne de 300 millions de m³/an, ce qui est loin d'être négligeable ; mais le pompage a atteint des valeurs de 2 km³/an certaines années sèches, et reste en moyenne d'un peu plus de un kilomètre cube par an, malgré l'abattement de la nappe et les coûts d'exhaure de plus en plus élevés.

Or des études récentes réalisées dans le haut bassin du Nazas (situé dans la Sierra Madre occidentale) ont montré que l'approvisionnement en eau de surface était pour le moment garanti, mais qu'il risquait d'être modifié par la surexploitation du milieu de montagne, qui comporte des pâturages de bien meilleure qualité nutritive que ceux du désert de Chihuahua. Il a ainsi été démontré que sur l'essentiel des zones pâturées de la Sierra Madre, la surcharge en bétail était réelle et très importante : on a compté, suivant les communautés rurales, des charges effectives de bétail deux à quatre fois plus élevées que le niveau souhaitable pour le maintien de la qualité des herbages¹⁷. Pour deux bassins d'une superficie d'environ 5000 km² chacun, Viramontes et Descroix ont montré que le déboisement de plus de la moitié de la surface boisée en vingt ans ainsi que le surpâturage généralisé avaient entraîné les conséquences hydrologiques suivantes :

- un accroissement de l'écoulement de crue et un abaissement de l'écoulement de base, ce qui signifie que crues et étiages sont plus prononcés qu'auparavant ;

17. Viramontes et Descroix, 2002, *op. cit.*

- une diminution du temps de réponse des bassins versants (de 2 à 6 %), ce qui signifie que les crues se produisent plus rapidement après le déclenchement de la pluie ;
- une diminution de la capacité de stockage d'eau du bassin versant : la végétation et les sols jouent de moins en moins leur rôle d'emménagement temporaire des eaux de pluie, et le ruissellement est plus rapide et plus important ; sa part dans l'écoulement total annuel s'accroît au détriment de la recharge des nappes perchées et de l'évapotranspiration.

Pour expliquer ces modifications, la diminution de la couverture végétale joue un rôle important, mais il ne faut pas négliger l'impact du tassement et de la déstructuration du sol par le simple piétinement d'un bétail trop nombreux.

Fort de ces observations, doit-on pour autant suggérer aux éleveurs de la Sierra Madre de réduire la charge pastorale afin d'assurer un meilleur approvisionnement en eau des périmètres en aval ? La réponse est complexe.

D'une part, il faut dire qu'en principe la destruction de la végétation sur le bassin se traduit théoriquement par un accroissement des volumes totaux écoulés. Pour le moment, cela n'a pas été observé dans le cas du Nazas, où le coefficient d'écoulement annuel dans les zones de montagnes n'est que de 15 %. Ce type de résultat théorique (« je déboise donc j'accrois l'écoulement en sortie ») a surtout été observé dans les zones très pluvieuses comme le Pays de Galles, le Nord-Ouest des États-Unis, le mont Lozère en France¹⁸. Ici, on n'a encore observé aucun accroissement de l'écoulement annuel total, mais seulement un accroissement de l'irrégularité intra-annuelle et interannuelle des écoulements.

D'autre part, et surtout, peut-on demander, dans un contexte de pénurie, et de très fort déficit de la balance alimentaire du Mexique, à des éleveurs qui exportent des veaux aux États-Unis, de diminuer leur troupeau ou du moins de veiller à ne pas modifier les états de surface, pour assurer l'avenir hydrologique d'un périmètre qui surpompe ses propres aquifères depuis cinquante ans ? Autrement dit, encore une fois, peut-on « geler » des terrains en amont pour assurer une ressource en aval ? Ici, on reste dans le même pays, dans le même État (Durango) qui

18. Viramontes et Descroix, 2002, *op. cit.*

est assez peu peuplé mais comporte une zone de montagnes opérant comme un « château d'eau » en marge du grand désert de Chihuahua. Les réponses peuvent être multiples :

- la Laguna, zone aval, existe en tant que riche région agricole depuis bien avant la création des communautés rurales de la Sierra Madre, donc elle aurait un droit d'antériorité ;
- la Sierra Madre, en amont, est une zone de moindre évaporation donc il serait plus logique d'y exploiter les eaux plutôt que de la laisser couler vers les zones arides où les valeurs d'évapotranspiration potentielle (ETP) sont de 3000 à 4000 mm/an.
- la Laguna pratique l'élevage laitier, dont on ne peut pas dire qu'il soit le plus économe en eau (il faut 1000 litres d'eau pour produire un litre de lait) ; il serait logique de ne pas favoriser des spéculations trop demandeuses en eau. Cela étant, la Laguna a un très fort secteur agro-industriel lié à la production laitière ;
- il y a et il y aura de manière croissante, concurrence sur l'usage des eaux dans la Laguna. Comme sur la frontière, les industries (en particulier les *maquiladoras*, ces usines sous douane qui ont poussé dans tout le nord du Mexique pour profiter du faible coût de la main-d'œuvre) s'installent en grand nombre, l'ouverture totale des frontières au commerce en Amérique du Nord (théoriquement faite en 2001 pour les investissements et les produits manufacturés) va accélérer le mouvement : les *ex-maquiladoras* pourront se multiplier. De ce fait, il y a sérieusement concurrence pour l'eau entre ville et industrie, d'une part, et agriculture, de l'autre. Étant donné que la valeur ajoutée des activités urbaines (secondaire et tertiaire) est bien plus élevée, on peut supposer que le bassin laitier devra réduire ses activités ou au moins optimiser fortement l'usage de l'eau.
- la Sierra Madre comprend de vastes pâturages (dégradés), mais elle est très peu peuplée (1 à 2 hab./km²) ; et de plus, elle se dépeuple par émigration aux États-Unis. Défavoriser les zones d'élevage en amont ne touchera que peu de gens et concernera essentiellement des familles dont plus de la moitié des personnes en âge de travailler sont déjà aux États-Unis. On peut même envisager d'y créer des réserves naturelles pour rétablir la qualité des pâturages et la diversité des forêts.

4. MÉCANISATION DE L'AGRICULTURE

Il est intéressant de constater que les deux principales spéculations agricoles françaises, d'une part les grandes cultures (en général céréalières ou betteravières) dans le Nord et l'Ouest du pays, d'autre part la vigne

dans le Sud et l'Est, ont adopté des techniques qui favorisent le ruissellement et l'érosion, et fait apparaître des dégradations où elles n'existaient pas auparavant.

4.1. EXEMPLE 1: LA FIN DU BOCAGE

Au sujet de la récente double inondation de Redon¹⁹, il ne faut pas négliger l'effet aggravant des actions humaines : la destruction du bocage en amont de la ville et l'aménagement urbain (la zone commerciale qui a été inondée en aval n'aurait-elle pas servi de barrage, et son aménagement a-t-il bien été conçu en fonction du risque inondation ?).

Toute la Bretagne a connu durant l'automne et l'hiver 2000-2001 des inondations mémorables, il est vrai dues avant tout à des pluies très importantes. Le journal *Le Monde* des 7 et 8 janvier 2001 titrait à la une, au moment de la deuxième crue inondant Redon, Quimperlé et Châteaulin, « Pourquoi la Bretagne prend l'eau ». Et les rédacteurs du journal d'évoquer la disparition du bocage comme facteur aggravant les inondations.

En fait, c'est dans toute l'agriculture « moderne » que les pratiques favorisant le ruissellement immédiat se multiplient (voir plus bas avec la vigne aussi). En effet, l'idéal recherché par l'agriculteur, c'est une meilleure productivité horaire en même temps que de meilleurs rendements. Cela se traduit par quelques principes de base :

- le remembrement, pour accroître les parcelles de culture, de manière à faciliter la mécanisation ;
- la transformation d'herbages en cultures, le bétail étant plus productif quand il est nourri d'aliments composés ; cela libère autant d'espace pour les cultures de plain champ ; et cela entraîne aussi la disparition du bocage là où il existait ;
- une homogénéisation des paysages, qui deviennent lisses, nets et exempts de limites.

Dans le détail, ces principes se traduisent, comme l'a observé Lechevalier²⁰ dans le pays de Caux, par une série de facteurs conduisant à l'accélération du ruissellement :

- l'augmentation de la taille des parcelles ;

19. Cette petite ville du département d'Ille et Vilaine, en Bretagne, a été inondée deux fois en quelques semaines durant l'hiver 2000-2001.

20. Claude Lechevalier, *L'érosion des terres agricoles en Pays de Caux*, Études normandes, Cahiers géographiques de Rouen, n° 1, 24 p.

- la réduction du cloisonnement de l'espace et la disparition des multiples lisières qui limitaient le ruissellement ;
- la disposition des parcelles de culture en grands blocs orientés similairement ;
- la non-considération du relief dans la délimitation des nouvelles parcelles ;
- la disparition d'éléments régulateurs de l'écoulement des eaux superficielles (mares et fossés) ;
- le recul des prairies permanentes ;
- des assolements qui laissent souvent le sol à nu lors des périodes les plus pluvieuses ;
- la disparition des « tournières » ou « fourrières », ces bandes laissées enherbées en bordure des champs et destinées à permettre les manœuvres des engins agricoles, pour gagner de la place ;
- des labours moins motteux et un lissage des champs après les semis ; la rugosité moindre facilite l'écoulement des eaux ;
- l'augmentation du nombre d'interventions avec un matériel de plus en plus lourd qui tasse la terre et facilite la création de rigoles dans les traces de roues et la formation d'une semelle de labour bloquant l'infiltration de l'eau.

Bref, tout a été fait pour faciliter le ruissellement immédiat, en ôtant toutes les irrégularités, à toutes les échelles (de la haie aux mottes) qui permettent à l'eau de s'infiltrer au lieu de ruisseler. La rugosité a disparu tant au niveau du paysage (haies, petites parcelles, alternance d'herbages et de cultures) qu'au niveau du champ (fourrières, fossés, labours motteux) et de la micro-topographie (structure lissée du champ après semis, encroûtement rapide glaçant les dernières irrégularités). Cela explique en grande partie la multiplication des crues observées en Normandie depuis deux décennies, et en Bretagne plus récemment. Le département d'Ille-et-Vilaine aurait ainsi perdu 65 % de ses prairies et zones humides en vingt ans, au profit de la grande culture du maïs. Le remembrement a très rapidement (vingt ou trente ans maximum) fait disparaître partout dans le Nord et l'Ouest, mais aussi parfois dans l'Est de la France (Lorraine, Bourgogne), prairies permanentes, haies, talus et zones humides.

4.2. EXEMPLE 2 : LE DÉSHÉBAGE DES VIGNES

Les vignobles connaissent également des facteurs favorisant le ruissellement et l'érosion :

- comme l'ensoleillement n'est pas toujours suffisant, on place les vignes sur les coteaux exposés au sud, donc sur des secteurs en pente (souvent les plus pentus conviennent le mieux du fait justement de leur forte pente, surtout dans le Nord-Est (Champagne, Alsace));
- par ailleurs, la vigne se plaisant sur des sols légers, elle pousse souvent sur des sols très sableux, peu structurés, donc facilement affouillables.

A contrario, il faut remarquer que les sols caillouteux sont mieux protégés et, comme les sols sableux, ils ont une forte capacité d'infiltration.

Surtout, les nouvelles pratiques culturales dans ces vignes de coteaux ne se sont pas trop traduites par l'agrandissement du parcellaire ni par la destruction des murets (indispensables sur les fortes pentes); en revanche, on a généralisé le désherbage chimique et, dans les secteurs où le vin se vend bien, on a parfois agrandi le terroir au maximum de l'aire ayant droit à une appellation, ce qui a conduit à gagner de nouveaux lopins sur la forêt ou les pâturages.

De ce fait, alors que les zones de montagnes connaissent une diminution de l'érosion, dans les régions viticoles, on constate de plus en plus de dégâts; c'est le cas en Beaujolais, où les meilleurs crus sont situés sur les coteaux exposés au sud dominant la vallée de la Saône ou de ses affluents de droite comme l'Ardières. Un bassin occupé à 70% par la vigne connaît des crues bien plus rapides et deux fois plus intenses qu'un autre bassin proche de mêmes pente et exposition moyennes mais couvert à 90% par de la forêt²¹. La même observation a été faite sur les vignobles champenois²² mais également en Alsace où le désherbage chimique est encore incriminé²³.

On a pu relever aussi que ce traitement radical de la vigne pouvait aggraver les crues comme lors de l'épisode de Vaison-la-Romaine en septembre 1992. En effet, cet événement est exceptionnel (temps de retour probable: trois ou quatre siècles) et, quoi qu'il en soit, une crue importante aurait frappé la ville; mais les plus forts abats d'eau ont eu lieu dans une zone occupée essentiellement par des vignobles, dans une petite plaine située en amont de Vaison, autour du village d'Entrechaux

21. Galea *et al.*, 1993, *op. cit.*

22. Olivier Lombart et Alain Marre, « Premières observations de l'érosion hydrique sur un substrat crayeux: l'exemple du vignoble champenois », *Ann. Soc. Géol. du Nord*, t. 5 (2^e série), 1997, p. 381-384.

23. H. Vogt, G. Lévy et H. Mettauer, « Ablation hydrique en vignoble en conditions d'érosivité chronique et exceptionnelle: mécanismes et coûts comparés. Exemple du vignoble de Sigolsheim et Kientzheim, Haut-Rhin, France », *Cahiers Orstom*, série Pédologie, vol. XXII, n° 2, 1986.

(plus de 300 mm en trois heures). De fait Wainwright²⁴ a pu montrer a posteriori que la vitesse de l'infiltration de l'eau est deux fois et demie plus grande là où les vignes n'ont pas été désherbées que là où elles l'ont été. C'est probablement cette cuvette viticole qui a effectivement laissé ruisseler de grandes quantités d'eau, et ce très rapidement ; le déboisement du bassin²⁵ n'y est probablement pour rien : les secteurs touchés, dans la moyenne vallée de l'Ouvèze entre Buis-les-Baronnies et Vaison-la-Romaine sont viticoles depuis longtemps ou ont été reboisés spontanément durant les dernières décennies. On ne peut pas plus incriminer le haut bassin de l'Ouvèze, comme le suggèrent Cosandey et Robinson²⁶, puisqu'il a peu plu dans ce haut bassin : c'est en aval de Buis que se sont produits les fortes intensités et les grands volumes précipités. Au col de Perty, en tête de bassin, il n'est tombé que 27 mm ce 22 septembre 1992. Donc, le fait que ce haut bassin est très boisé et aurait dû amortir la crue n'a rien à voir, puisqu'il y a plu une quantité d'eau comparable à celle que l'on reçoit en moyenne plusieurs fois par automne dans cette région.

5. DES BARRAGES ET DES LACS COLLINAIRES POUR QUI ?

Cadier et Dubreuil²⁷ citent le cas d'un bassin de taille moyenne au Nordeste du Brésil, celui du Jaguaribe (70 000 km²) « où des densités de 10 à 20 açudes (lacs collinaires) pour 100 km² ne sont pas rares ». Ils arrivent à retenir la moitié de la lame écoulee annuelle, et plus que cela les années sèches, ce qui augmente considérablement la proportion d'eau perdue par évaporation. On a vu un cas extrême au Nord du Mexique (ranch Atotonilco) où une cinquantaine de *presones* arrivent à retenir toutes les eaux de surface, asséchant littéralement les communautés rurales situées en aval ; celles-ci ne peuvent pas compter sur l'eau des nappes effectivement rechargées par cette grande quantité de plans d'eau ; en effet, le ranch est également équipé d'une cinquantaine de puits qui assèchent également l'aquifère²⁸.

24. John Wainwright, « Infiltration, runoff and erosion characteristics of agricultural land in extreme storm events, SE France », *Catena*, 26, 1996, p. 27-47.

25. Évoqué par Hervé Piégay et Jean-Paul Bravard, « Response of a Mediterranean riparian forest to a 1 in 400 year flood, Ouvèze river, Drôme-Vaucluse, France », *Earth Surface Processes and Landforms*, 22, 1997, p. 31-43.

26. Cosandey et Robinson, 2000, *op. cit.*

27. Eric Cadier et Pierre Dubreuil, « Influence de la taille et du nombre des retenues sur le régime hydrologique de petits bassins du Nordeste du Brésil », dans *L'impact des activités humaines sur les eaux continentales*, 19^{es} Journées de l'hydraulique, Paris, Question I, rapport 11, 1986.

28. Juan Estrada, *Importance et fonctionnement des petits barrages dans une zone semi-aride du Nord-Mexique*, Thèse de l'Université Montpellier II, 1999, 462 p.

À une tout autre échelle, celle de pays entiers, la Tunisie (et aussi plus récemment, le Maroc²⁹) a décidé il y a une vingtaine d'années que pas une goutte d'eau ne devait atteindre la mer ; d'où la construction d'un très grand nombre de lacs collinaires en plus des barrages sur les principaux cours d'eau : mais là au moins il n'y a personne en aval, et les apports à la Méditerranée n'étaient pas suffisamment conséquents pour que l'absence d'alluvions mette les pêcheries en faillite comme en Égypte. Il y a là volonté délibérée de favoriser un usage total de l'eau sans trop se soucier des conséquences (apparemment peu nombreuses) en aval. Dans le cas du Maroc, qui est un pays dont les pêcheries sont dynamiques, il sera intéressant de voir si le blocage des eaux continentales et de leurs alluvions se traduira par une diminution des volumes pêchés en mer. Les barrages sont de fait souvent accusés de détruire les habitats de poissons d'eau douce, d'empêcher les remontées des poissons migrateurs (voir le rôle des saumons dans la politique d'effacement des barrages dans l'encart sur ce thème, p. 145). Ainsi, en Thaïlande, les villageois se sont coalisés contre la construction du barrage de Pak Mool, construit sur un affluent de droite du Mékong, dans l'Est du pays. Ils dénoncent pêle-mêle la faiblesse des indemnisations, l'inefficacité de l'échelle à poissons, la pollution des eaux de la retenue et la mauvaise productivité du barrage, qui ne produirait que 40 mégawatts au lieu des 136 annoncés³⁰. Ils demandent que le gouvernement rétablisse l'équilibre écologique de leur rivière pour qu'elle redevienne l'habitat naturel des poissons et que les vannes du barrage soient ouvertes pour permettre leur remontée jusqu'aux lieux de ponte. En Turquie, c'est un drame historique et archéologique qui est dénoncé par un groupe de scientifiques dans la région de Birecik sur l'Euphrate, inondée par la retenue en 2000³¹ ; l'important site romain de Zeugma, qualifié de « Pompéi turc » par les spécialistes, a notamment été submergé.

Les conflits pour la gestion de l'eau et des territoires dans une optique hydrologique s'observent en plus grand nombre dans les pays du Nord. Paradoxalement, l'eau y est plus abondante et les situations de pénurie prononcée et persistante y sont rares. En revanche, les conflits d'usage sont légion, parce qu'on s'est habitués à l'abondance de l'eau. Par conséquent, les utilisateurs sont nombreux et pas forcément économes. Mais on trouve aussi des situations tendues liées à des gestions de l'espace en vue de la prévention du risque hydrologique en particulier

29. Mutin, 2000, *op. cit.*, p. 111.

30. Pongsak Bai-ngern, « Pak Mool, un barrage en eaux troubles », article de *The Nation* (Bangkok) paru dans *Courrier International*, 27 juillet 2000.

31. *Le Monde*, 4-5 juin 2000.

des crues. En zone urbaine et périurbaine, le risque majeur observé ces dernières années (Nîmes en 1988; Vaison-la-Romaine en 1992, la basse vallée de l'Aude en 1999, Redon, Châteaulin et Quimperlé en 2000-2001), c'est l'inondation.

Le cas de la ville de Grenoble est assez typique à cet égard. La ville avait été promue «ville pilote» en termes de gestion des risques tant naturels que technologiques. La ville et son agglomération cumulent en effet de nombreux risques tant naturels – crues, séismes, glissements de terrain – que technologiques – usines chimiques au vent, installations nucléaires de recherche en bordure de la ville, quatre installations nucléaires de première importance entre 50 et 100 km à vol d'oiseau, des dizaines de barrages en amont dont plusieurs menaceraient, en cas de rupture, la presque totalité de l'agglomération, etc.

En comparaison avec ces problèmes majeurs, les risques émanant du petit bassin du Verderet (17 km²) en zone périurbaine de Grenoble, sur les contreforts de la chaîne de Belledonne, paraissent bien dérisoires. En effet, si presque toute la ville de Grenoble (et sa banlieue proche, en particulier Saint-Martin-d'Hères, ce dernier mot provenant d'un terme d'origine celtique signifiant marais) est située en zone inondable, le Verderet ne menace qu'une partie de sa banlieue sud (communes de Eybens et sud de Grenoble). Cependant, en 1991, une crue a provoqué des dégâts sérieux dans la ville d'Eybens, menaçant d'endommager le siège social et les centres de recherches d'un grand fabricant américain de matériel informatique. Il faut dire qu'à partir de l'entrée dans le vieux village d'Eybens, et dans presque toute sa traversée de la ville, la rivière a été canalisée et recouverte afin de permettre un aménagement en continu de la ville.

Du coup, la municipalité a prévu un plan d'aménagement des eaux à moyen terme, destiné à limiter l'impact de crues éventuelles. Un vélodrome a été construit, dont la piste en creux peut servir de stockage d'eau en cas de crue du Verderet. Un terrain de football est prévu pour augmenter cette capacité. Mais, dans le même temps, tout le haut bassin du Verderet a été l'objet d'une périurbanisation rapide; la croissance démographique des communes (encore petites) de Brié et Herbeys est de 3% ou 4% par an, contre 0,6% en moyenne pour l'agglomération. Cela peut avoir des conséquences hydrologiques, car les zones urbanisées ont des coefficients de ruissellement plus élevés (du fait de l'imperméabilisation des chaussées, des parkings, de l'aire des maisons, etc.) et des temps de réponses des bassins aux précipitations plus rapides (en liaison avec l'aménagement des caniveaux, évacuations, etc.). Donc, on pressent que le risque de crues est augmenté et continue à s'accroître du fait du développement périurbain. La commune d'Eybens souhaiterait aménager des

réservoirs collinaires afin d'écrêter les crues sur les communes en amont (Brié et Herbeys). Mais cela nécessite l'accord de communes encore surtout rurales, mais en voie d'urbanisation rapide, qui n'ont aucun intérêt à geler des espaces pour protéger un territoire qui n'est pas le leur. Cependant, la municipalité d'Eybens a déjà acquis des terrains en propriété sur la commune de Brié afin d'y aménager au plus vite des lacs collinaires. On aboutit ici, en l'absence de communauté urbaine, à des gestions partielles des bassins, sans lien logique entre l'amont et l'aval.

Mais, encore une fois, l'aménagement d'un territoire et la gestion de l'eau sont ici indissociables.

6. VERS UNE PRISE DE CONSCIENCE DE L'IMPORTANCE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE POUR LA GESTION DE L'EAU

Les crues de Redon de décembre 2000 et janvier 2001 (voir plus haut) ont donné lieu à un échange de points de vue : le maire, Alain Madelin, a ainsi déclaré : « à un niveau de crue comme celle-ci, il n'y a hélas rien à faire, sinon panser les plaies », reconnaissant par là que le gouvernement de gauche n'était pas responsable de la crue ! Dominique Voynet, ministre de l'Aménagement du territoire et de l'environnement, a, pour sa part, mis en cause les pratiques agricoles, en particulier la disparition des haies, des talus et des prairies « qui favorise évidemment le ruissellement » ainsi que « l'urbanisation concentrée à l'aval des bassins-versants ». Un article paru dans *Le Monde* daté des 21-22 janvier 2001 décrit, sous la plume de Pierre Le Hir³², l'avancement de l'idée du lien entre territoire et action de l'eau au niveau des instances gouvernementales, scientifiques et aménagistes. Évoquant le programme RIO (risque-inondation), qui fédère la plupart des équipes françaises travaillant dans ce domaine, cet auteur insiste sur les risques de l'urbanisation en zone inondable ; ainsi, on s'aperçoit que les trois quarts des constructions touchées par les grandes inondations du début des années 1990 (et celle de novembre 1999 dans la vallée de l'Aude ne ferait pas exception) avaient moins de vingt-cinq ans d'âge. Et ce sont souvent les mêmes conseils municipaux (de toutes tendances politiques) qui délivrent les permis de construire dans des zones réputées inondables et se retournent ensuite contre des gouvernements (également de toutes tendances politiques) incapables de prévoir et de lutter contre les fortes pluies et les

32. Pierre Le Hir, « L'aménagement des bassins-versants peut limiter l'impact des inondations », *Le Monde*, 21-22 janvier 2001, p. 20.

inondations !! D'après Pierrick Givone³³, directeur scientifique adjoint du Cemagref (institut de recherche public français spécialisé dans le milieu rural, les eaux et les forêts), « il est impossible de dire, dans l'état actuel des connaissances scientifiques, si les pratiques agricoles ont une part de responsabilité significative ». En revanche, on sait que le reboisement limite le ruissellement, et à l'inverse que la destruction des haies et des talus et la disparition des prairies permanentes l'accélèrent. De même, la construction de grands barrages, comme ceux du Plan Loire, porté pendant de longues années par feu Jean Royer, maire de Tours, n'est plus considérée par les gestionnaires et les aménagistes comme une solution d'avenir, du fait des perturbations qu'ils apportent en voulant remédier à un problème sans prendre en considération l'ensemble des modifications à attendre. On privilégierait aujourd'hui plutôt, aux dires de Jean Michel Grésillon³⁴, directeur de l'École supérieure d'hydraulique de Grenoble (ENSHMG) et président du conseil scientifique du programme RIO, un « ralentissement dynamique » ; cette stratégie d'aménagement du territoire viserait à exploiter la diversité des paysages naturels et des types d'occupation des sols pour créer des zones d'expansion et favoriser le ralentissement des eaux, à l'aide d'aménagements aussi légers que possible, répartis sur l'ensemble du bassin versant. Le type de mesures suggérées sont, par exemple³⁵ :

- le rétrécissement de l'ouverture des ponts pour permettre le stockage de volumes d'eau sur des zones considérées comme raisonnablement « inondables » ;
- l'utilisation des routes sur digues pour stockages contrôlés de l'eau ;
- la construction de retenues de petite taille ;
- la réalisation de petites digues protégeant les villages exposés ;
- la contribution des espaces forestiers à l'écrêtement des crues ;
- l'exploitation de zones naturelles se prêtant au ralentissement et au stockage des eaux ;
- la promotion d'une occupation de l'espace et de pratiques culturelles minimisant les ruissellements (haies, talus, remblais, rangées de vignes, labours, etc.).

33. Cité par Le Hir, 2001, *op. cit.*

34. Cité par Le Hir, 2001, *op. cit.*

35. Le Hir, 2001, *op. cit.*

Mais les agriculteurs, souvent considérés comme responsables, ont aussi été poussés par une politique productiviste (tant à l'échelle régionale, que française et européenne), qui les a incités à négliger l'aspect environnemental ; étant donné la faible part de l'agriculture dans le PNB européen (disproportionnée par rapport au poids médiatique des agriculteurs, très bien relayés par les médias et les partis), et la grande extension des terres gelées, en friche, abandonnées ou en voie de l'être, il est de plus en plus question de transformer les agriculteurs en jardiniers, aménagistes, paysagistes et gestionnaires de l'espace rural et des eaux, ce à quoi beaucoup s'opposent en vertu de la libre entreprise sans tenir compte du montant faramineux de primes que touchent déjà depuis des décennies les plus rétifs d'entre eux (c'est-à-dire bien souvent les plus riches et les plus conservateurs et libéraux, tant ces deux termes en principe antithétiques sont devenus synonymes depuis quelques décennies). Il serait facile de justifier le montant des primes à l'agriculture si celle-ci jouait ce rôle de gestion des terres et de l'eau, et cela permettrait de verser les primes à ceux qui en ont vraiment besoin et non aux plus riches et aux plus productivistes, comme c'est le cas à l'heure actuelle.

Ici, comme dans le cas de la politique RTM de la fin du XIX^e siècle, il y a une véritable prise de conscience du lien entre le territoire et l'eau ; la gestion de l'espace rural mais aussi de plus en plus, urbain, doit tenir compte du « rôle ou de la fonction hydrologique » des territoires dans l'aménagement de l'espace.

7. ÉVITER UN CHANGEMENT CLIMATIQUE ?

On ne sait pas précisément si un déboisement massif peut avoir un impact sur le climat et, dans ce cas, quel impact. D'après Escourrou³⁶, « le passage d'une masse d'air d'un plateau dénudé à une forêt entraîne un ralentissement de la vitesse du vent et par suite une ascendance de l'air qui renforce l'intensité des pluies ». De fait, dans la forêt amazonienne, on a constaté qu'il pleuvait 30 % de moins dans les clairières et zones déboisées que dans le massif forestier ; mais cela est observable à l'échelle locale, du fait de la moindre rugosité des clairières par rapport aux zones restées boisées. En effet, la forêt connaît une évapotranspiration (ETP) plus élevée que les autres formations végétales (en particulier la prairie, et a fortiori les sols nus) ; du fait d'un plus faible albédo et de la plus forte rugosité, la turbulence de l'air est accrue, donc l'évapotranspiration est plus

36. Gisèle Escourrou, *Climat et environnement ; les facteurs locaux du climat*, Masson, Paris, 1980, 182 p.

élevée. À l'échelle régionale ou globale, on ne peut se fier qu'aux modèles pour estimer les possibles conséquences de la déforestation. Et les conséquences d'une déforestation sur le montant de la pluviométrie ne peuvent pas être à l'échelle locale : la diminution de l'évaporation qu'induit la disparition d'un massif forestier pourrait se traduire par une diminution de la pluviométrie, mais sur des régions au vent de celle qui a été déboisée. D'après Lean et Warrilow³⁷, les pluies diminueraient de 20 % sur l'Amazonie si elle était déboisée. D'après Polcher et Laval³⁸, au moins trois types de modélisation (dont celle de Lean et Warrilow) prédisent une diminution de la pluviométrie locale en cas de déboisement ; mais une déforestation se traduirait surtout par « une augmentation de la température du sol, et donc de la convergence d'humidité » ; cela pourrait avoir pour effet d'assécher le climat local, mais, en augmentant l'évaporation, cela alimenterait la circulation globale en humidité, susceptible de se transformer en pluie ailleurs.

Rien de bien avéré, donc, puisque l'on peut seulement s'appuyer sur les modèles et que divers modèles donnent des conclusions différentes.

De fait, le Brésil a été très critiqué du fait de sa volonté (très stratégique au départ il est vrai) d'occuper l'Amazonie : cela permettait de mettre en valeur des terres, de montrer qu'on avait bien besoin de cet espace puisqu'il était en voie de colonisation et de faire l'épargne d'une réforme agraire en y installant les paysans déshérités du Nordeste en particulier ; trente ans après, c'est un autre système latifundiaire qui provoque le plus de défrichement dans le bassin amazonien.

Ceci étant dit, en quoi les pays du Nord, responsables des trois quarts des rejets de CO₂ et autres gaz à effet de serre, avaient-ils le droit de critiquer le Brésil qui défrichait la forêt parce que cela risquait de modifier le climat ? Pourquoi le Brésil devrait-il préserver des ressources (eau, forêt) que le Nord a bradées, sacrifiées, détruites et polluées allègrement depuis deux siècles ? Cela modifiera-t-il le cycle de l'eau ? Il est vrai que cela aggrave la production de gaz à effet de serre (la forêt est brûlée avant d'être mise en valeur) et, en même temps, diminue d'autant la capacité d'absorption de CO₂, puisque les forêts sont de vrais puits à CO₂. Mais le Brésil a tout à fait le droit de faire ce qu'il veut de son territoire et n'a pas de leçons à recevoir de pays qui laissent leurs investisseurs acheter et défricher l'Amazonie pour y remplacer la forêt par des pâturages destinés à élever des vaches dont on va faire des hamburgers pour les riches.

37. Cité dans Cosandey et Robinson, 2000, *op. cit.*

38. Jan Polcher et Katia Laval, « The impact of African and Amazonian deforestation on tropical climate », *Journal of Hydrology*, 155, 1994, p. 389-405.

À plus petite échelle, on a laissé déboiser la Côte d'Ivoire et les pays du golfe de Guinée par les compagnies forestières européennes ; cela est peut-être une des causes de la sécheresse du Sahel : la forêt dense évaporant autant que la mer, la disparition de la forêt, c'est comme si la mer s'était éloignée de plusieurs centaines de kilomètres vers le sud ; et cela a amoindri considérablement les volumes de vapeur d'eau précipitables plus au nord. Toutefois, les recherches des climatologues semblent montrer que ce n'est pas la quantité d'eau tombée par averse qui diminue au Sahel, mais le nombre total d'averses durant la saison des pluies, et en particulier en juillet et en août, c'est-à-dire au cœur de la saison des pluies³⁹. Cela va à l'encontre d'une influence possible du déboisement sur le volume total des pluies annuelles.

On a vu combien le reboisement des Alpes du Sud et l'action régionale de la politique de RTM avaient été critiqués en leur temps, mais aussi quelle avait été leur réussite sur le plan technique : les secteurs érodés ne s'étendent plus et, au contraire, les versants traités produisent bien moins de matériaux qu'avant ; on aboutit même à un déficit en matériaux. Mais il est possible que l'impact des reboisements se remarque aussi au niveau pluviométrique. Il a été observé⁴⁰ que le régime pluviométrique des Alpes et Préalpes du Sud (de la vallée du Rhône à la frontière italienne, et ce jusqu'au littoral méditerranéen) se « méditerranéisait », c'est-à-dire que la proportion des pluies tombées en été diminuait. Or, si l'on observe des cartes de la région concernée, on peut remarquer que cette supposée « méditerranéisation » a été plus ténue, voire ne s'est pas produite, dans les secteurs qui ont connu les plus forts reboisements (Préalpes de Digne, Baronnies, Diois, Ventoux⁴¹).

Cela ne suffit pas bien sûr pour lier déforestation et changement climatique (et du reste cette dernière notion est très controversée ; voir l'encart sur ce thème), mais il semble y avoir un faisceau de présomptions montrant que l'action des grands massifs forestiers sur le climat sinon local, du moins régional, n'est pas complètement un mythe.

39. Luc Le Barbé et Thierry Lebel, « Rainfall climatology of the HAPEX-Sahel region during the years 1950-1990 », *Journal of Hydrology*, 188-189, 1997, p. 43-73.

40. Henri Brisse, *L'évolution du régime moyen des précipitations dans les Alpes Françaises pour deux périodes de référence : 1881-1910 et 1931-1960*, Publication du CEPE (Centre d'études phyto-sociologiques et écologiques), Montpellier, 1966, 80 p.

41. Luc Descroix, *L'érosion actuelle dans la partie occidentale des Alpes du Sud*, Thèse de l'Université Lumière Lyon II, 1994, 300 p.

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ACTIVITÉS HUMAINES : CONCOMITANCE OU CORRÉLATION ?

Les « changements climatiques » observés récemment sont sans commune mesure avec les variations climatiques connues depuis la fin du dernier épisode glaciaire il y a 18 000 ans ; on sait que des rivières coulaient dans le Sahara et alimentaient de grands lacs dès le début de l'Holocène (-15 000 à -12 000 BP [*before present*], c'est-à-dire, il y a 15 000 et 12 000 ans) ; puis, lors de l'optimum climatique de la période dite Atlantique (de -7500 à -4500 BP), ce désert n'était pas un désert, mais une savane arborée, parsemée de grands lacs peu profonds et peuplée de nombreuses espèces aujourd'hui confinées aux tropiques humides, 1000 ou 2000 km plus au sud. Cependant, un faisceau de convergences semble plaider en faveur de l'existence d'un changement climatique.

Les faits indubitables

On a cru remarquer une forte augmentation du nombre de tempêtes sous les latitudes tempérées ainsi que du nombre de phénomènes liés à l'oscillation méridionale dite El Niño (ENSO en anglais : *El Niño Southern Oscillation*). On sait aussi, de manière indubitable cette fois, que les précipitations ont baissé de 15 à 30 % en Afrique de l'Ouest entre 1968 et 1997 par rapport aux trente années précédentes (1938-1967). Ces tendances vont-elles se poursuivre et quelles peuvent en être les conséquences sur les disponibilités en eau ?

Il faut faire une distinction claire entre ce qui a été observé (il y a des milliers de stations météorologiques sur l'ensemble de la planète) et ce qui relève de suppositions ou d'impressions ressenties par les habitants de tel ou tel lieu, et surtout se méfier de scénarios générés par des modèles, chaque modèle paraissant avoir été élaboré pour prouver quelque chose de différent.

Parmi les éléments certains de l'évolution des climats, en dehors de la grande sécheresse du Sahel, il y a quelques évolutions indubitables même si elles n'ont pas l'ampleur des changements connus dans les 10 000 dernières années (et a fortiori durant les périodes glaciaires, avant 18 000 BP). Parmi ces éléments, citons :

- la hausse des températures : celle-ci serait de 0,4 °C (degrés Celsius) entre 1940 et 2000, de presque 1 °C depuis 1880¹. Mais on ne s'accorde pas non plus sur les conséquences de cette hausse des températures sur les pluies et les ressources en eau. À noter qu'on n'a au maximum qu'un siècle et demi de mesures fiables, mais des deux côtés de l'Atlantique, la décennie 1990 a été celle où la température moyenne a été la plus élevée. Le taux de gaz carbonique aura doublé dans l'atmosphère en 2070 et devrait se traduire² par « un réchauffement plus marqué aux pôles qu'aux tropiques, plus important au-dessus des continents que des océans » :
- recul des glaciers : la couverture glaciaire des Alpes a été divisée par deux en 150 ans ; le volume des glaces du Caucase par deux en cent ans ; la surface glaciaire du massif du Kilimandjaro a baissé de 70 % depuis 1980³ ;

les glaciers tropicaux sont en effet ceux qui sont les plus touchés par le réchauffement ; ainsi, certains glaciers andins ont perdu 40 % de leur masse durant la décennie 1990⁴.

- le début de la saison végétative, dans la région du delta du Mackenzie au nord du Canada, est passé de la mi-juin à la mi-mai en vingt ans. Les grizzlies, qui normalement hivernent à partir de début octobre, ne sont pas rares à être encore actifs début décembre, car les étés plus secs les privent des baies dont ils se nourrissent à la fin de l'été. En cent ans, la température moyenne a augmenté de 1,5 °C⁵. Le permafrost fond, provoquant la déstabilisation des fondations de nombreuses maisons dans l'Arctique canadien (entreprises par le Canadian Arctic Research Council, janvier 2002 ; par le Centre d'études nordiques, Université Laval, octobre 2001 ; par le Gouvernement du Québec, ministère de la Sécurité publique, octobre 2001). Par des méthodes dendrochronologiques, on a pu relever une accélération marquée de la vitesse de croissance des arbres dans le nord du Québec depuis cent ans, la largeur des anneaux annuels ayant augmenté de 40 à 60 % en moyenne⁶.
- le trou de la couche d'ozone : on s'est aperçu vers 1974 que la couche d'ozone de la haute atmosphère qui protège la vie sur Terre d'une partie des rayonnements ultraviolets était trouée au niveau de l'Antarctique ; depuis, cela a été confirmé et le trou, saisonnier, semble s'agrandir d'année en année (il touche maintenant les zones habitées de l'extrême sud de l'Amérique du Sud). Il est désormais vérifié que partout ailleurs la couche d'ozone s'amointrit, mais de manière très lente ; ce phénomène est lié aux émanations de CFC (chlorofluorocarbones) qui servaient dans les systèmes de réfrigération et de gaz propulseurs dans les aérosols⁷ ; après un temps de latence de plusieurs dizaines d'années, cette dégradation devrait s'arrêter du fait de l'interdiction de ces produits par le protocole de Montréal au début des années 1990.
- la hausse de la teneur en CO₂ et l'effet de serre. Cette augmentation, due aux activités humaines (pour plus du quart aux automobiles), est chiffrée : la teneur en CO₂ de l'atmosphère est passée de 280 parties par million en volume (ppm) en 1800 à 315 ppm en 1960 et 360 ppm en 2000 ; on peut donc constater que la croissance s'est nettement accélérée ces dernières années⁸. Le CO₂ n'est qu'un des gaz à effet de serre dégagé par la Nature et les activités humaines ; c'est grâce à l'effet de serre que la Terre est habitable : en effet, la présence de vapeur d'eau et des autres gaz à effet de serre fait agir l'atmosphère terrestre comme la vitre d'une serre, qui laisse passer le rayonnement solaire, mais retient une grande partie des rayons infrarouges ré-émis. Les activités industrielles n'ont fait qu'ajouter un « effet de serre additionnel », qui se traduit par une hausse des températures (mais les scientifiques ne savent pas quelle en est la conséquence sur les ressources en eau).

- la remontée du niveau de la mer : elle est avérée aussi, mais très faible : 18 centimètres en un siècle ; cependant, cela suffit à menacer déjà des zones littorales (Camargue, Pays-Bas, Bangladesh) ou des îles plates (atolls du Pacifique, archipels des Maldives et des Seychelles, etc). Cette remontée du niveau des eaux (d'autres, de bien plus grande ampleur, ont déjà eu lieu dans les dernières dizaines de milliers d'années) est due à la fonte des glaciers et des calottes glaciaires ainsi qu'à la dilatation de la masse d'eau réchauffée ; le niveau moyen des océans a augmenté de 1,8 mm/an depuis le début du XX^e siècle, et de 2 mm/an durant la décennie 1990^e.

Les doutes

Concomitance et corrélation : il y a concomitance de ces observations, mais cela ne signifie pas qu'il y ait corrélation : c'est-à-dire par exemple que le réchauffement actuel de la Planète n'est pas forcément dû à l'effet de serre additionnel. « Il est bien difficile d'établir une quelconque relation avec les modifications de la composition chimique de l'atmosphère dues aux émissions de gaz à effet de serre par les activités humaines¹⁰. » Pour le directeur de la rédaction de la revue française *La Recherche*, Olivier Postel-Vinay¹¹, « il y a bien un réchauffement de la température de surface d'environ un demi-degré en un siècle », mais « aucun réchauffement de la basse atmosphère n'est décelable depuis vingt ans ». Et cet auteur de supposer que le consensus admis par 99 % de la communauté scientifique mondiale permet surtout à ces scientifiques d'obtenir facilement des crédits de recherche, « si bien que la rhétorique langue de bois dont ruisselle la littérature scientifique sur l'effet de serre, si elle charrie de l'idéologie, dégage aussi la bonne odeur de l'argent ».

Toutefois, il y a aussi un débat scientifique : si la plupart des chercheurs s'accordent sur le réchauffement, Leroux¹² le met en doute en affirmant qu'il « n'est démontré, ni par les modèles numériques du climat, ni par les courbes "reconstituées" de la température moyenne ni par l'évolution du temps examiné à l'échelle régionale », et plus loin, que : « En outre l'évolution climatique ne peut être réduite au seul paramètre thermique, aucun élément du temps et du climat ne pouvant évoluer indépendamment des autres. » Toutefois, plus loin, l'auteur admet que « tous les événements [climatiques notoires enregistrés depuis le milieu des années 1980] s'inscrivent dans une lente évolution du temps directement observable depuis une trentaine d'années, dont témoignent de nombreux paramètres ».

Enfin et surtout, personne n'est capable de dire à l'heure actuelle quelles sont les conséquences de ces changements (réchauffement, effet de serre, trou d'ozone, remontée de la mer) sur les ressources en eau : là aussi, les modèles se contredisent entre eux et prédisent des scénarios optimistes en termes de disponibilité en eau pour certaines régions et pessimistes pour d'autres, celles-ci n'étant pas les mêmes d'un modèle à l'autre !

Climat réel, climat perçu et effet de mémoire

Le changement climatique tel qu'il est perçu par les habitants de la planète est basé sur une mémoire personnelle très courte, de quelques dizaines d'années, on n'a donc pas assez de recul pour dire qu'il y a vraiment un changement. De plus, s'il y a des endroits qui sont devenus plus chauds, d'autres plus secs, il y a aussi des régions qui sont devenues plus froides, ou plus humides. Quand un maire dit que telle zone n'avait jamais été inondée, c'est du temps de son mandat, c'est-à-dire quelques années ; mais cela a pu arriver dans un mandat précédent, ou au XX^e siècle, ou même au XIX^e siècle, ce qui est somme toute très proche. Il se passe chaque année en un ou plusieurs endroits de France un phénomène climatique d'ordre centennal (c'est-à-dire qui a un temps de retour statistique de cent ans) : en effet, chacun de ces événements ne touche en général qu'une zone limitée (celui de l'Aude en 1999 était un événement centennal pour une partie de ce département, mais pas pour les autres départements touchés par la précipitation), donc il est logique qu'il s'en produise plusieurs par an dans l'ensemble du pays.

Même si, indéniablement, les dernières décennies ont connu une accélération de certains phénomènes, il y a deux éléments à retenir :

- le premier, c'est que du moins dans les pays industrialisés, l'élévation du niveau de vie fait que l'on supporte de moins en moins les aléas liés à la Nature : tempêtes, orages violents, inondations, grêle, grosses chutes de neige, incendies de forêts, etc. C'est comme si l'enrichissement ou l'embourgeoisement devaient s'accompagner d'une domination de la Nature et de ses éléments ; on n'admet de moins en moins d'être soumis aux catastrophes, ou à leurs effets tels que perte de biens mobiliers, coupure d'électricité ou de téléphone, retards dans les transports, etc.
- la population augmente, y compris dans les pays occidentaux, donc les zones occupées aussi, et on finit par occuper des zones qui étaient soumises à des risques, mais aussi des zones dont l'occupation induit des risques pour d'autres (en aval par exemple) ; les élus sont à chaque fois plus enclins aussi à laisser construire des habitations, des zones commerciales ou toutes sortes de bâtis, dans des zones dont on sait qu'elles peuvent être inondées ou touchées par des glissements de terrain, des avalanches, etc. Une même crue qui ne provoquait que la perte de foin ou de production agricole au XIX^e siècle pourra provoquer la destruction d'usines ou de maisons, provoquer des pollutions si des citernes répandent leur contenu, etc. De plus, on est de mieux en mieux informés, donc chaque fois qu'il y a eu des inondations ou des pluies diluviennes, on l'apprend plus facilement qu'autrefois.

Par ailleurs, l'homme lui-même joue un rôle important dans l'aggravation de certains épisodes pluvieux. Le changement d'usage des sols liés à l'urbanisation, au déboisement, à l'arrachage des haies, fait qu'une même précipitation qui auparavant ne produisait que peu de ruissellement pourra

en provoquer aujourd'hui (p. ex., la torrentialité dans les Alpes du Sud au XIX^e siècle, liée au déboisement ; les crues à répétition en Bretagne dans des bassins qui jusqu'à il y a quelques décennies étaient bocagers, et sont passés à la grande culture).

Des certitudes suffisantes pour agir dès à présent

Les climatologues font tourner, cependant, des dizaines de modèles différents pour tenter d'isoler des scénarios qui pointerait dans le sens d'un possible statu quo climatique. En vain. Tous les modèles convergent vers un réchauffement global. Seule demeure la marge d'incertitude sur l'ampleur du phénomène et sa géographie régionale. Le collectif de recherche sur les changements climatiques du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), créé par l'ONU et qui s'appuie sur plus de 3000 scientifiques, pour rester prudent sur le volet prévisionnel, n'en demeure pas moins convaincu aujourd'hui de la réalité des changements climatiques et du fort impact anthropique dans ces changements.

Si l'effet de mode ou le principe de précaution ne suffisent pas, les faits avérés et mesurés sont indubitables et doivent conduire à une démarche volontaire et mondiale de réduction des gaz à effet de serre. Depuis une bonne décennie, on a du mal à faire face aux coûts engendrés par les effets du changement climatique ; si celui-ci s'accélère, les conséquences risquent d'en être néfastes.

Les protocoles adoptés lors de réunions internationales à Rio de Janeiro (1992) puis à Kyoto (1997) et à La Haye (novembre 2000) prévoient un calendrier de réductions des émissions de gaz à effet de serre. La plupart des pays du Nord semblent d'accord pour s'y conformer et ont, pour la plupart, pris des mesures pour y arriver. Mais les États-Unis, devenus seule puissance impériale de la planète, ont décidé de n'en pas tenir compte. Au nom de la croissance, de la libre entreprise ou de n'importe quel prétexte idéologique ? Non, simplement parce que la raison du plus fort est toujours la meilleure !

1. *Ça m'intéresse*, n° 237, p. 74.

2. Michel Déqué, « 2069, année carbonique », *Sciences et Avenir*, novembre 2000, p. 82.

3. *Le Figaro*, 13 nov. 2000

4. *Sciences au Sud*, n° 4, mars-avril 2000.

5. Grescoe Taras, « Temperature rising », *Canadian Geographic*, vol. 117, n° 8, novembre 1997, p. 37-38.

6. Hubert Morin, Consortium de recherches sur la forêt boréale, 2000, cité par Claude Villeneuve et François Richard, *Vivre les changements climatiques*, Multi-mondes, Montréal, 2001, p. 87.

7. Jacques Labeyrie, *L'homme et le climat*, Points sciences, Paris, 1993, 335 p.

8. Labeyrie, 1993, *op. cit.*

9. Voir site Internet du programme Jason : <http://www.jason.oceanobs.com/html/applications/niveau/mean_sea_level_fr.html>.
10. Serge Planton et Pierre Bessemoulin, « Le climat s'emballe-t-il ? », *La Recherche*, octobre 2000, p. 46-49.
11. Olivier Postel-Vinay, « L'effet de serre existe-t-il ? », *L'Histoire*, n° 248, 2000, p. 32.
12. Marcel Leroux, *La dynamique du temps et du climat*, 2^e éd., Dunod, Paris, 2000, p. 330-334.

8. RENDRE AUX COURS D'EAU LEUR « ESPACE DE LIBERTÉ »...

C'est aussi une tendance actuelle en Europe comme en Amérique du Nord ; l'effacement des barrages (voir l'encart à la p. 145) ressort de cette tendance mais n'en est qu'un volet. On s'est aperçu que tous les travaux réalisés sur les cours d'eau (endiguement, seuils, épis, barrages, etc.) avaient en fin de compte détruit un grand nombre d'écosystèmes. Il n'est que de voir le cours du Rhône en aval de Lyon, et le comparer aux rares tronçons non aménagés en amont de cette ville⁴², où il reste encore des lônes⁴³ et des brotteaux⁴⁴ ; ou mieux, le comparer à la Loire. Ce resserrement des lits fluviaux a conduit à oublier que, même endigué, un fleuve peut déborder. De fait, les cours d'eau débordent peut-être moins souvent qu'avant endiguement ; en revanche, à présent, quand ils débordent, aucune zone d'épandage ne permet l'écrêtement des crues ; d'où deux conséquences néfastes :

- la crue se répand plus vite vers l'aval, et si elle doit finir par déborder, elle le fait bien plus rapidement qu'avant et à des endroits imprévus ;
- l'inondation provoque des dégâts bien plus importants, car l'endiguement a fait croire aux riverains qu'ils étaient à l'abri, et ils ont construit ce que l'on ne construisait jamais dans les siècles passés dans les terrains inondables : habitations, usines, zones commerciales, etc.

De même, en Chine, on révisé à présent les méthodes de lutte contre les crues. À la suite des inondations catastrophiques du Yangze en 1998, au cours desquelles les digues n'ont pas réussi à contenir les flots, on pense qu'il vaut mieux accompagner le flot, « suivre le courant plutôt que

42. Jean Paul Bravard, *Le Rhône, du Léman à Lyon*, Éd La Manufacture, Lyon, 1987.

43. Nom donné dans la région lyonnaise aux bras morts du Rhône.

44. Nom des îles formées entre les différents bras du Rhône et ses affluents.

le contraindre⁴⁵ ». En même temps que l'on interdisait l'abattage des arbres sur les hautes terres du Sichuan et du Tibet, on a cherché à faire retourner les terres mises en valeur près du fleuve à leur état originel de terrains marécageux et de lacs, pour qu'ils remplissent à nouveau «leur fonction naturelle d'éponges et absorbent les crues saisonnières ». De fait, des progrès notoires ont été réalisés dès l'année qui a suivi la remise des terres cultivées à l'état de marécages : plus de 30 espèces d'oiseaux sont revenues nicher autour des lacs agrandis et régénérés.

De nos jours, on cherche à reconstituer les zones humides, qui sont des niches écologiques à forte biodiversité ; cela concerne aussi bien les bordures de rivières (méandres recoupés, zones inondables et aujourd'hui gravières abandonnées) que les étangs, les marais et les lacs.

De plus, il y a indéniablement une mode anti-barrages (voire l'encart sur l'effacement des barrages, p. 145) à l'heure actuelle, qui s'appuie sur :

- l'échec des « éléphants blancs » ses investissements énormes et calamiteux faits dans les pays du Sud sur financements internationaux et surimposés mais non intégrés aux sociétés rurales locales (p. ex., l'aménagement du fleuve Sénégal) ;
- les problèmes environnementaux posés par certains grands barrages (Colorado, Assouan, etc.) ;
- la très médiatique campagne de lutte contre les barrages de la Narmada en Inde, orchestrée très efficacement par la NBA (Narmada Bachao Andolan, « sauvons la Narmada ») et sa leader charismatique, Medha Patkar, qui milite auprès des instances internationales pour obtenir l'arrêt de l'équipement de cette rivière⁴⁶.

CONCLUSION : ÉVITER LES ERREURS DU PASSÉ ?

Aux îles du Cap-Vert, on utilise les crédits de l'aide internationale pour « reverdir » l'archipel, désolé et battu par les vents, touché comme le continent par la sécheresse sahélienne. Pour cela, on a entre autres adopté

45. David Murphy, « Suivre le courant plutôt que le contraindre », article tiré de la FEER (*Far Eastern Economic Review*) traduit dans *Courrier International*, 30 août 2001.

46. Jean-Luc Racine, « Le débat sur la Narmada : l'Inde face au dilemme des grands barrages », *Hérodote*, n° 102, 2001, p. 73-85.

la méthode bien connue de « l'arbre fontaine⁴⁷ ». On met ainsi à contribution les très faibles quantités d'eau disponibles grâce aux « précipitations occultes » (rosée, brume et brouillard), mais sur des surfaces très importantes, ce qui arrive à constituer un réseau d'alimentation en eau potable pour la ville de Praia, par exemple. Alors, gâchis d'espace ou utilisation abusive d'un territoire pour une fonction hydrologique ? Dans ce dernier cas, il n'y a pas concurrence pour l'espace ; les secteurs de l'île qui sont mis à contribution sont inutilisés depuis longtemps, et la main-d'œuvre ne manque pas localement. Il y a, au pire, conflit sur l'usage, puisque cela se fait en même temps que le reboisement, et que l'eau ainsi captée est en partie utilisée pour l'arrosage des arbres replantés ; mais ceux-ci sont surtout alimentés par de très vastes impluviums, qui concentrent l'eau de ruissellement des rares précipitations à leur pied. Des alimentations de ce type existent aussi au Nord du Chili, aux Canaries et dans d'autres régions de désert côtier où les pluies sont très rares mais les précipitations occultes, importantes.

Autre exemple d'utilisation apparemment abusive de l'espace, mais qui n'entraîne aucune nuisance en aval : le périmètre expérimental de La Ventana, au Nord du Mexique (État du Coahuila), est un site de recherches agronomiques sur les « plantes utiles » du désert ; en fait, il est actuellement moribond en raison du manque de moyens et de l'absence de volonté politique d'aider des paysans de moins en moins nombreux. Ce site avait été ouvert dans les années 1970, et ses recherches avaient pour but d'améliorer le sort des petits paysans (généralement en autosubsistance) du désert de Chihuahua. On y a sélectionné une série de plantes pouvant permettre aux paysans d'entrer dans le marché avec des productions adaptées au climat : les seules qui aient finalement été retenues, mais pas étendues, sont la lechuguilla (aloé vera, utilisé pour les cosmétiques), la candelilla (sabila, *idem*) et le nopal (figuier de Barbarie, utilisé pour l'alimentation en complément du maïs). Ce périmètre (en fait tout petit, quelques hectares) a utilisé des kilomètres carrés de désert comme impluvium, dans le but de rassembler au pied des plantes des quantités d'eau bien supérieures à celles précipitées sur place et aussi de remplir quelques citernes. Mais cette eau n'était pas utilisée en aval auparavant et l'espace monopolisé pour la capter était inutilisable pour l'agriculture, donc son utilisation ne créait aucun conflit. Bien qu'il ait périclité depuis, cela paraît un bon exemple de l'utilisation optimale de l'espace à des fins hydrologiques.

47. Alain Gioda, Z. Hernandez, J. Blot et A. Acosta Baladon, « L'arbre fontaine : brouillard et aridité en Afrique », *Le Flamboyant*, n° 41, 1997.

Mais ce genre de contexte où la déprise rurale est générale, comme en France au siècle dernier (avant ou/et à cause de la politique RTM), est de plus en plus rare dans le monde actuel, et surtout il est atypique dans un pays du Sud. Cette déprise rurale au Sud est peut-être un signe tangible de l'intégration du Mexique comme annexe des États-Unis : la structure économique et surtout sociale (dépendances, inégalités sociales) est celle d'un pays en développement ; mais certains processus sont déjà typiques des pays du Nord.

**LE HAUT BASSIN DU CUTZAMALA:
UN EXEMPLE DE CHANGEMENT D'UTILISATION HYDROLOGIQUE D'UN TERRITOIRE**

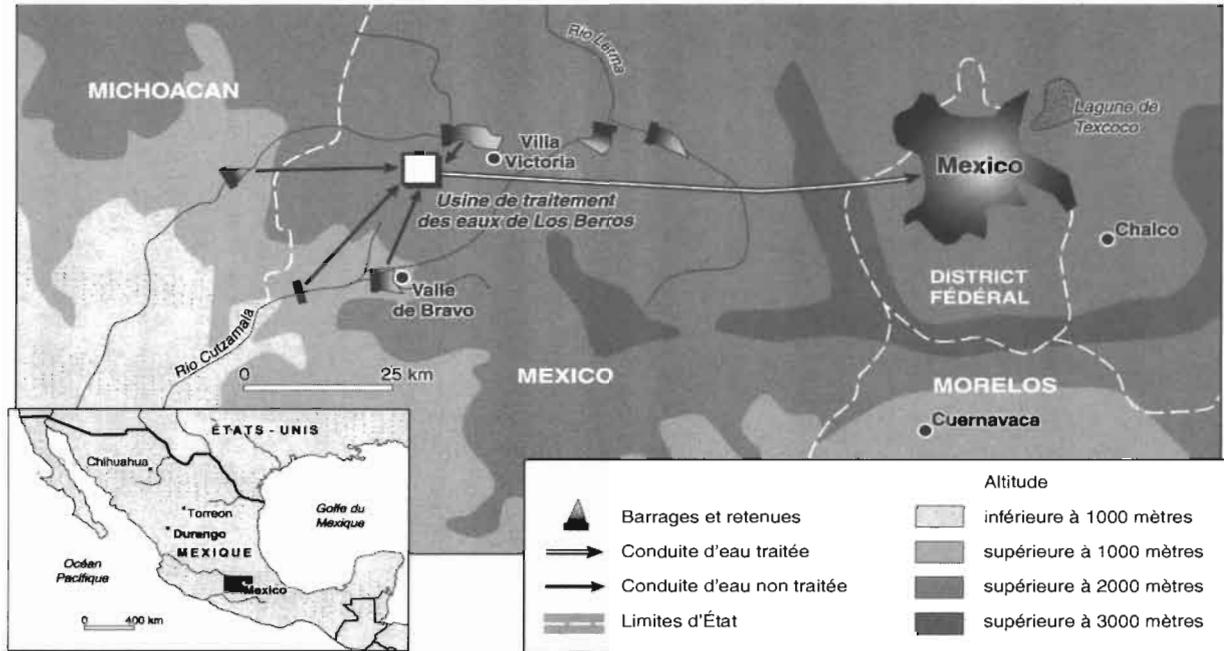
Si l'on accepte de parler de vocation « hydrologique » d'un territoire, il faut aussi admettre qu'il puisse y avoir changement dans cette vocation. C'est exactement ce qui est arrivé au haut bassin du rio Cutzamala, au Mexique. Le rio Cutzamala (voir figure 5.1) est un affluent de droite du rio Balsas, l'un des plus grands fleuves du Sud du Mexique (son bassin s'étend sur les États de Mexico, Guerrero et Michoacan; coulant vers le sud-ouest, il se jette dans le Pacifique à 300 km au sud-ouest de la capitale. Le Cutzamala est constitué par la jonction de plusieurs cours d'eau pérennes qui prennent leur source dans la chaîne des volcans à l'ouest de la ville de Toluca (située elle-même à 70 km à l'ouest de Mexico); ses deux principaux tributaires sont le valle de Bravo et le rio Villa Victoria. Ce haut bassin de montagne (le Nevado de Toluca dépasse 4600 m d'altitude et il domine un plateau situé entre 2200 et 2700 m et parsemé d'édifices volcaniques plus petits) a été équipé dès les années 1940 de barrages et de centrales hydroélectriques destinés à fournir du courant à la ville de Mexico. Au fil des ans, un vaste réseau de galeries a rabattu l'eau d'autres bassins vers une demi-douzaine de barrages, dont certains en escalier sur le valle de Bravo. Mais dans les années 1970, il s'est avéré que la vallée de Mexico (dont le fond est à plus de 2200 m) avait épuisé toutes ses ressources en eaux de surface et commençait à voir s'épuiser ses eaux souterraines (la ville s'enfonçait de quelques centimètres par an du fait de la surexploitation de l'aquifère).

La Comisión Nacional del Agua (CNA, organisme chargé de la gestion de l'eau) et la Comisión Federal de Electricidad (CFE, gestionnaire de la production de courant et du réseau de distribution électrique) ont décidé de faire passer l'eau devant l'électricité et tout l'équipement hydroélectrique a été démantelé pour que l'eau, au lieu de descendre vers les turbines, remonte vers une usine de traitement, située près de Villa Victoria, d'où elle repart une fois rendue propre à la consommation, vers Mexico, propulsée par d'énormes pompes. Cela signifie qu'une partie non négligeable de l'eau de la ville de Mexico ($14 \text{ m}^3/\text{s}$) est pompée de zones situées en partie plus bas que cette ville (à partir de 1700 m pour les plus bas captages), pour pouvoir franchir un col à 2800 m avant d'emprunter une galerie jusqu'aux portes d'une des plus grandes villes du monde. Il va sans dire qu'à présent cet usage du bassin consomme bien plus d'énergie (pour alimenter ces pompes) qu'il n'en produisait auparavant.

Il s'agit, comme lorsqu'on détruit un barrage pour rétablir une rivière dans son cours naturel, d'un changement de vocation des cours d'eau et de leur bassin.

FIGURE 5.1

Le haut bassin du rio Cutzamala : un exemple de changement d'utilisation hydrologique d'un territoire



Source : Luc Descroix.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDREASSIAN Vazken (coordinateur), *Indicateur d'impact de l'évolution du couvert forestier sur la ressource en eau à l'échelle des bassins versants des Cévennes et de la Montagne Noire*, Programme Environnement, Vie et Société CNRS, Rapport final, 1999.
- BENCHETRIT, Maurice, *L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement en Algérie*, Publications de l'Université de Poitiers, n° XI, Presses universitaires de France, Paris, 1972, 216 p.
- BENT, G.C., « Effects of timber cutting on runoff to Quabbin Reservoir », Central Massachusetts, dans R.A. MARSTON et V.R. HASFURTHER (dir.), *Effects of Human-Induced Changes on Hydrologic Systems*, AWRA Annual Summer Symposium, American Water Resource Association, 1994, p. 187-196.
- BLANCHARD, Raoul, *Les Alpes Occidentales*, Thèse d'État, Université de Grenoble, 1945, 2400 p.
- BOSCH, J.M. et J.D. HEWLETT, « A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration », *Journal of Hydrology*, n° 55, 1982, p. 3-23.
- BRAVARD, Jean Paul, *Le Rhône, du Léman à Lyon*, Éd. La Manufacture, Lyon, 1987, 450 p.
- BRISSE, Henri, *L'évolution du régime moyen des précipitations dans les Alpes françaises pour deux périodes de référence: 1881-1910 et 1931-1960*, Publication du CEPE (Centre d'études phyto-sociologiques et écologiques), Montpellier, 1966, 80 p.
- CADIER, Eric et Pierre DUBREUIL, « Influence de la taille et du nombre des retenues sur le régime hydrologique de petits bassins du Nordeste du Brésil », dans *L'impact des activités humaines sur les eaux continentales*, 19^{es} Journées de l'hydraulique, Paris, Question I, rapport 11, 1986.
- COSANDEY, Claude et Mark ROBINSON, *Hydrologie continentale*, Armand Colin, coll. « U », Paris, 2000, 360 p.
- Ça m'intéresse*, n° 237, novembre 2000, p. 74-94.
- DEL MORAL, Leandro, « Planification hydrologique et politique territoriale en Espagne », *Hérodote*, n° 102, 2001, p. 87-112.
- DESCROIX, Luc, *L'érosion actuelle dans la partie occidentale des Alpes du Sud*, Thèse de l'Université Lumière Lyon II, 1994, 300 p.

- DESCROIX, Luc, David VIRAMONTES, Michel VAUCLIN, José Luis GONZALEZ BARRIOS et Michel ESTEVES, « Influence of soil surface features and vegetation on runoff and erosion in the Western Sierra Madre (Durango, Northwest Mexico) », *Catena*, 43, 2001, p. 115-135.
- DESCROIX, Luc et Emmanuèle GAUTIER, « Hydric erosion in Southern French Alps: Climatic and human mechanisms », *Catena*, 2002 (sous presse).
- DESCROIX, Luc, José Luis GONZALEZ BARRIOS, Jean Pierre VANDERVAERE, David VIRAMONTES et Arnaud BOLLERY, « Variability of hydrodynamic behaviour on soils and hillslopes in a subtropical mountainous environment (Western Sierra Madre, Mexico) », *Journal of Hydrology*, 2002 (sous presse).
- DE VILLIERS, Marq, *L'eau*, Actes Sud, Paris, 2000, 440 p.
- ESCOURROU, Gisèle, *Climat et environnement : les facteurs locaux du climat*, Masson, Paris, 1980, 182 p.
- ESTRADA, Juan, *Importance et fonctionnement des petits barrages dans une zone semi-aride du Nord-Mexique*, Thèse de l'Université Montpellier II, 1999, 462 p.
- FRICTSCH, Jean Marie, *Les effets du défrichement de la forêt amazonienne et la mise en culture sur l'hydrologie de petits bassins versants*, Thèse de l'Université de Montpellier II, 1990, 390 p.
- GALEA, G., P. BREIL et A. AHMAD, « Influence du couvert végétal sur l'hydrologie des crues, modélisation à validations multiples », *Hydrol. Continent.*, vol. 8, n° 1, 1993, p. 17-33.
- GAUTIER, Emmanuèle, *Recherches sur la morphogénèse et la dynamique fluviales dans le bassin du Buëch (Alpes du Sud)*, Thèse de l'Université Paris X, 1992, 440 p.
- GIODA, Alain, Z. HERNANDEZ, J. BLOT et A. ACOSTA BALADON, « L'arbre fontaine: brouillard et aridité en Afrique », *Le Flamboyant*, n° 41, 1997.
- HUDSON, J.A. et K. GILMAN, « Long term variability in the water balances of the Plynlimon catchments », *Journal of Hydrology*, n° 143, 1993, p. 355-380.
- LABEYRIE, Jacques, *L'homme et le climat*, Points sciences, Paris, 1993, 335 p.
- LE BARBÉ, Luc et Thierry LEBEL, « Rainfall climatology of the HAPEX-Sahel region during the years 1950-1990 », *Journal of Hydrology*, 188-189, 1997, p. 43-73.

- LECHEVALIER, Claude, *L'érosion des terres agricoles en Pays de Caux*, Études normandes, Cahiers géographiques de Rouen, n° 1, 24 p.
- LE HIR, Pierre, « L'aménagement des bassins-versants peut limiter l'impact des inondations », *Le Monde*, 21-22 janvier 2001, p. 20.
- LEROUX, Marcel, *La dynamique du temps et du climat*, 2^e édition, Dunod, Paris, 2000, 365 p.
- LILIN, Charles, « Histoire de la restauration des terrains en montagne au 19^{ème} siècle », *Cahiers Orstom, série Pédologie*, vol. XXII, n° 2, 1986, p. 139-145.
- LOMBART, Olivier et Alain MARRE, « Premières observations de l'érosion hydrique sur un substrat crayeux : l'exemple du vignoble champenois », *Ann. Soc. Géol. du Nord*, t. 5 (2^e série), 1997, p. 381-384.
- MURPHY, David, « Suivre le courant plutôt que le contraindre », article tiré de la *FEER (Far Eastern Economic Review)* traduit dans *Courrier International*, 30 août 2001.
- MUTIN, Georges, *L'eau dans le monde arabe*, Ellipses, Carrefour de Géographie, Paris, 2000, 160 p.
- NEBOIT, René, *L'homme et l'érosion*, Publications de l'Université de Clermont Ferrand, fasc. n° 17, 1983, 183 p.
- PEIRY, Jean Luc, Pierre-Guy SALVADOR et Frédéric NOUGUIER, « L'incision des rivières dans les Alpes du Nord : état de la question », *Revue de géographie de Lyon*, vol. 69, n° 1, 1994, p. 47-56.
- PIÉGAY, Hervé et Jean-Paul BRAVARD, « Response of a Mediterranean riparian forest to a 1 in 400 year flood, Ouvèze river, Drôme-Vaucluse, France », *Earth Surface Processes and Landforms*, 22, 1997, p. 31-43.
- POLCHER, Jan et Katia LAVAL, « The impact of African and Amazonian deforestation on tropical climate », *Journal of Hydrology*, 155, 1994, p. 389-405.
- PONGSAK Bai-ngern, « Pak Mool, un barrage en eaux troubles », article de *The Nation (Bangkok)* paru dans *Courrier International*, 27 juillet 2000.
- RACINE, Jean-Luc, « Le débat sur la Narmada : l'Inde face au dilemme des grands barrages », *Hérodote*, n° 102, 2001, p. 73-85.
- SCLAFERT, Thérèse, « À propos du déboisement des Alpes », *Annales de Géographie*, XLII, 1933, p. 266-277 et 350-360.
- SURELL, Alexandre, *Études sur les torrents des Hautes Alpes*, Dunod, Paris, 2 tomes, 1841.

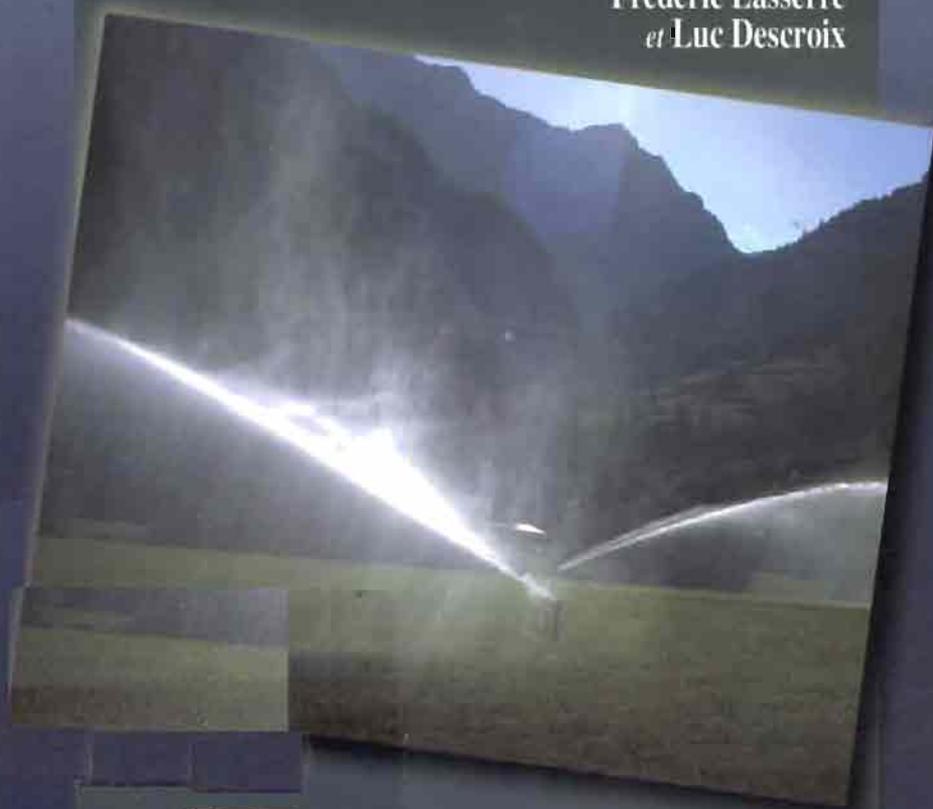
- TARAS, Grescoe, « Temperature rising », *Canadian Geographic*, vol. 117, n° 8, novembre 1997, p. 37-38.
- VILLENEUVE, Claude et François RICHARD, *Vivre les changements climatiques*, Multimondes, Montréal, 2001, p. 87.
- VIRAMONTES, David et Luc DESCROIX, « Modifications physiques du milieu et conséquences sur le comportement hydrologique des cours d'eau de la Sierra Madre occidentale (Mexique) », *Revue des sciences de l'eau*, 2002 (sous presse).
- VOGT, H., G. LÉVY et H. METTAUER, « Ablation hydrique en vignoble en conditions d'érosivité chronique et exceptionnelle: mécanismes et coûts comparés. Exemple du vignoble de Sigolsheim et Kientzheim, Haut-Rhin, France », *Cahiers Orstom, série Pédologie*, vol. XXII, n° 2, 1986.
- WAINWRIGHT, John, « Infiltration, runoff and erosion characteristics of agricultural land in extreme storm events, SE France », *Catena*, 26, 1996, p. 27-47.

GÉOGRAPHIE
CONTEMPORAINE

Eaux et territoires

TENSIONS, COOPÉRATIONS ET GÉOPOLITIQUE DE L'EAU

Frédéric Lasserre
et Luc Descroix



Presses de l'Université du Québec



Collection sous la direction de
Juan-Luis Klein

Grands projets urbains et requalification

Sous la direction de Gilles Sénécal, Jacques Malézieux et Claude Manzagol

2002, ISBN 2-7605-1184-7, 280 pages

Géographie et société

Sous la direction de Suzanne Laurin, Juan-Luis Klein et Carole Tardif

2001, ISBN 2-7605-1090-5, 334 pages

L'espace économique mondial

Les économies avancées et la mondialisation

Jean-Paul Rodrigue

2000, ISBN 2-7605-1037-9, 534 pages

Les espaces dégradés

Contraintes et conquêtes

Sous la direction de Gilles Sénécal et Diane Saint-Laurent

2000, ISBN 2-7605-1071-9, 280 pages

Le Québec en changement

Entre l'exclusion et l'espérance

Sous la direction de Pierre Bruneau

2000, ISBN 2-7605-1058-1, 242 pages

L'éducation géographique, 2^e édition

Formation du citoyen et conscience territoriale

Sous la direction de Juan-Luis Klein et Suzanne Laurin

1999, ISBN 2-7605-1052-2, 270 pages

PRESSES DE L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

Le Delta 1, 2875, boulevard Laurier, bureau 450

Sainte-Foy (Québec) G1V 2M2

Téléphone : (418) 657-4399 • Télécopieur : (418) 657-2096

Courriel : puq@puq.quebec.ca • Internet : www.puq.quebec.ca

Distribution :

CANADA et autres pays

DISTRIBUTION DE LIVRES UNIVERS S.E.N.C.

845, rue Marie-Victorin, Saint-Nicolas (Québec) G7A 3S8

Téléphone : (418) 831-7474 / 1-800-859-7474 • Télécopieur : (418) 831-4021

FRANCE

DIFFUSION DE L'ÉDITION QUÉBÉCOISE

30, rue Gay-Lussac, 75005 Paris, France

Téléphone : 33 1 43 54 49 02

Télécopieur : 33 1 43 54 39 15

SUISSE

SERVIDIS SA

5, rue des Chaudronniers, CH-1211 Genève 3, Suisse

Téléphone : 022 960 95 25

Télécopieur : 022 776 35 27



La Loi sur le droit d'auteur interdit la reproduction des œuvres sans autorisation des titulaires de droits. Or, la photocopie non autorisée – le « photocopillage » – s'est généralisée, provoquant une baisse des ventes de livres et compromettant la rédaction et la production de nouveaux ouvrages par des professionnels.

L'objet du logo apparaissant ci-contre est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit le développement massif du « photocopillage ».

Eaux et territoires

TENSIONS, COOPÉRATIONS ET GÉOPOLITIQUE DE L'EAU

**Frédéric Lasserre
et Luc Descroix**

avec la collaboration de
Jean Burton et Anne Le Strat

2002



Presses de l'Université du Québec
Le Delta I, 2875, boul. Laurier, bur. 450
Sainte-Foy (Québec) Canada G1V 2M2

Données de catalogage avant publication (Canada)

Lasserre, Frédéric, 1967-

Eaux et territoires : tensions, coopérations et géopolitique de l'eau

(Géographie contemporaine)

Comprend des réf. bibliogr.

ISBN 2-7605-1206-1

1. Droits sur les eaux. 2. Eau – Approvisionnement – Aspect politique.
3. Ressources en eau – Exploitation – Aspect politique. 4. Eau – Conservation.
5. Eau – Utilisation. 6. Eau – Approvisionnement – Aspect politique – Cas, Études de.
I. Descroix, Luc. II. Titre. III. Collection.

HD1691.L37 2003

341.4'4

C2002-941700-7

Nous reconnaissons l'aide financière du gouvernement du Canada
par l'entremise du Programme d'aide au développement
de l'industrie de l'édition (PADIÉ) pour nos activités d'édition.

Révision linguistique : GISLAINE BARRETTE

Mise en pages : CARACTÉRA PRODUCTION GRAPHIQUE INC.

Couverture : RICHARD HODGSON

1 2 3 4 5 6 7 8 9 PUQ 2002 9 8 7 6 5 4 3 2 1

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés

© 2002 Presses de l'Université du Québec

Dépôt légal – 4^e trimestre 2002

Bibliothèque nationale du Québec / Bibliothèque nationale du Canada

Imprimé au Canada