

## CHAPITRE 5

### GESTION DE L'EAU OU AMÉNAGEMENT DE L'ESPACE ?

#### LA FONCTION HYDROLOGIQUE D'UN TERRITOIRE

*« 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 (ex : 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

montagnes, du moins le plus souvent des secteurs peu peuplés<sup>1</sup>, ils sont à la fois les zones où les débits spécifiques (débit d'une rivière ramené à la superficie du bassin, en l/s/km<sup>2</sup>) 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.

Quoiqu'il en soit, comme le remarque Moral<sup>2</sup> (2001) 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* »

***Au XIX<sup>ème</sup> siècle en France : la RTM  
(Restauration des Terrains en Montagne)  
ou comment vider les bassins versants  
des troupeaux causeurs de crues :  
une gestion autoritaire des territoires et de leurs eaux***

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 torrencialité, ainsi qu'une aggravation des crues et des étiages. Cela se perçoit dès les temps modernes à travers les archives, par exemple dans les Alpes (Sclafert, 1933<sup>3</sup> ; Blanchard, 1945<sup>4</sup> ; Gautier, 1992<sup>5</sup> ; Descroix, 1994<sup>6</sup>). 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<sup>ème</sup> au XIX<sup>ème</sup> 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 forêt* ». <sup>7</sup>

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'appelait les Eaux et Forêts. C'est cette concordance entre la torrencialité et l'état de la couverture végétale qu'a synthétisée Surell (1841)<sup>8</sup> dans ses travaux sur les torrents des Hautes Alpes.

Cela étant, il y a longtemps eu débat sur les réelles causes de l'accroissement, aujourd'hui certain, de la torrencialité entre les XVI<sup>ème</sup> et le XIX<sup>ème</sup> siècles. En effet, les « reboiseurs » du début des programmes RTM ont négligé un fait dont ils ne 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 4 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 l'a en fait surtout accéléré. Il y aurait en fait eu collusion entre le besoin de main d'œuvre pour les travaux 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 autochtones* ». <sup>12</sup>

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 3 départements des Hautes-Alpes, de la Drôme et des Alpes de Haute-Provence, la superficie boisée est passée de 3 800 à 7 200 km<sup>2</sup> sur 19 000 km<sup>2</sup> de superficie totale entre 1878 et 1992 soit un taux de boisement passant de 20 à 38%. Etant 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 1 000 et 2 000 m d'altitude, et que cette tranche de hauteur est pratiquement intégralement protégée de nos jours. L'impact en terme de 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 bien moindres qu'auparavant (il est vrai aussi qu'ils gênent bien moins une population entre-temps fortement clairsemée..). En terme de gestion de l'eau et du territoire, l'action des services des Eaux et Forêts est une réussite complète.

De ce fait, aujourd'hui, on voit apparaître un nouveau problème, à l'opposé des ravinements et crues dévastatrices du XIX<sup>ème</sup> 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, a 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, ce déficit se traduit, à l'embouchure du Rhône, par 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 montagne 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 déstabilisation 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 tarin »<sup>13</sup>, 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 (du fait du 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 pâturages 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 hydrologique de protection des espaces situés à l'aval. Là encore, on voit bien 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.

## **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 gêne 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 m<sup>3</sup>), permettant l'irrigation de 50 000 hectares seulement (Maroc : 14 barrages aussi, 2 km<sup>3</sup> de réserve utile ; et seulement 38 000 hectares irrigués)<sup>14</sup>. 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 colmatés.<sup>15</sup> Les paysans algériens et leurs troupeaux repoussés sur les hauteurs ont provoqué une reprise rapide de l'érosion par déforestation et surpâturage.

De ce fait, 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 S.C.S. (Soil Conservation Service) américain. Il s'agissait essentiellement d'installer des banquettes et des terrasses sur les terres les plus érodées ; ceci afin d'enrayer une dégradation qui menait à la ruine de l'agriculture algérienne. Le programme est immense : il porte sur 5 millions d'hectares, dont deux à traiter en première urgence. Selon Benchetrit (1972)<sup>16</sup>, les travaux n'ont porté en 20 ans que sur 250 000 hectares, et une grande partie de cette surface subissait déjà au moment de l'indépendance une érosion à nouveau catastrophique. L'échec serait dû à ce que la DRS n'aurait pas su s'intégrer à l'économie agraire des





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

Le service français qui a en charge 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. Encore faut-il définir 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 citer en particulier, en climat tropical humide, les travaux de Fritsch (1990)<sup>19</sup>, en climat méditerranéen, et en climat tempéré, ceux de Cosandey et Robinson (2000)<sup>20</sup>, et Galea *et al.* (1993)<sup>21</sup>, ainsi que Hudson et Gilman (1993)<sup>22</sup>, en climat semi-aride ceux de Viramontes et Descroix (2002)<sup>23</sup>.

Bosch et Hewlett (1982)<sup>24</sup>, 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<sup>25 26</sup>. 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 Mexique<sup>27</sup>, les recherches ont montré les éléments suivants : en terme de volume total annuel, ni les pluies ni les écoulements des deux principaux cours d'eau du haut Nazas ne montrent de tendance définie à la hausse ou

à la baisse. Apparemment, la déforestation et le surpâturage n'ont pas changé les coefficients d'écoulement annuels des rivières de la Sierra Madre Occidentale. Cela coïncide avec les résultats des travaux réalisés dans le Massif Central (Andreassian, 1999)<sup>28</sup> et dans les Appalaches (Bent, 1994)<sup>29</sup>. 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 tendances<sup>30</sup>, 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, l'installation d'une végétation secondaire peut prendre la place de la végétation initiale<sup>31</sup>. 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'infiltration (Descroix *et al.* 2002)<sup>32</sup>. 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). Par contre elle a aussi 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<sup>ème</sup> au début du XX<sup>ème</sup> siècles, 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 drastiquement 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. Ceci est dû premièrement aux trop fortes extractions de matériaux, mais aussi

aux barrages qui stockent les alluvions ainsi qu'au reboisement qui, en limitant sérieusement 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 1 à 3 mètres suivant les secteurs (Gautier, 1992)<sup>33</sup>. 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 constaté 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 sédimentaire (Descroix et Gautier, 2002)<sup>34</sup>. Ce type de processus a aussi été remarqué, parfois plus fortement encore, dans les Alpes du Nord (Peiry et al., 1994)<sup>35</sup>.

Sur le Buëch, un seul barrage a été construit, celui de Saint Sauveur, mis en eau en 1991 ; dans les 6 ans qui ont suivi sa mise en eau, le lit s'est encore enfoncé de 3 mètres en aval du barrage sur plusieurs centaines de mètres, l'influence se faisant encore sentir 4 kilomètres à l'aval.

On peut donc dire que le reboisement a été une réussite totale en terme 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<sup>ème</sup> 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 conduire à 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.

## **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 km<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/an, ce qui est loin d'être négligeable ; mais le pompage a atteint des valeurs de 2 km<sup>3</sup>/an certaines années sèches, et reste en moyenne d'un peu plus d'un km<sup>3</sup>/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 herbages<sup>36</sup>. Pour deux bassins d'une superficie d'environ 5000 km<sup>2</sup> chacun, ces auteurs 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 ;
- 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



- la Sierra, 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'ETP sont de 3 000 à 4 000 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. Ceci 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, 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/km<sup>2</sup>) ; 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.

## **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.

### **Exemple 1 : la fin du bocage**

Au sujet de la récente double inondation de Redon<sup>38</sup>, 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 7-8 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 Lechevalier (1991)<sup>39</sup> dans le Pays de Caux, par une série de facteurs conduisant à l'accélération du ruissellement :

- l'augmentation de la taille des parcelles ;
- 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-prise en compte 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 humide en 20 ans, au profit de la grande culture du maïs. Le remembrement a très rapidement (20-30 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.

### ***Exemple 2 : le désherbage 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 qui avait 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 montagne 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 forêt<sup>40</sup>. La même observation a été faite sur les vignobles champenois<sup>41</sup> mais également en Alsace où le désherbage chimique est encore incriminé.<sup>42</sup>

On a pu constater 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 : 3-4 siècles) et quoiqu'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 (plus de 300 mm en 3 heures). De fait Wainwright (1996)<sup>43</sup> a pu montrer *a posteriori* que la vitesse de l'infiltration de l'eau est 2 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 bassin (évoqué par Piégay et Bravard, 1997)<sup>44</sup> n'y est probablement pour rien : les secteurs touchés, dans la moyenne vallée de l'Ouvèze entre Buis-les-Baronnies et Vaison-la-Romaine<sup>45</sup> sont soit viticoles depuis longtemps, soit 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 Robinson<sup>45</sup>, 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 qui se reproduit en moyenne plusieurs fois par automne dans cette région.

## **Des barrages et des lacs collinaires pour qui ?**

Cadier *et al.* (1986)<sup>46</sup> citent le cas d'un bassin de taille moyenne au Nordeste du Brésil, celui du Jaguaribe (70 000 km<sup>2</sup>) « où des densités de 10 à 20 açudes (lacs collinaires) pour 100 km<sup>2</sup> ne sont pas rares ». Ils arrivent à retenir la moitié de la lame écoulée 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'aquifère.<sup>47</sup>

À une toute autre échelle, celle de pays entiers, la Tunisie (et aussi plus récemment, le Maroc)<sup>48</sup> 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 l'encart sur le rôle des saumons dans la politique d'effacement des barrages en page 169). 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 indemnités, 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 annoncés<sup>49</sup>. 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 2000<sup>50</sup> ; 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 se rencontrent 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. Par contre, les conflits d'usage sont légion, parce qu'on s'est habitués à l'abondance de l'eau. De ce fait, 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 des crues. En zone urbaine et péri-urbaine, 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 terme 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, 4 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 km<sup>2</sup>) en zone péri-urbaine 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 péri-urbanisation 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 accru, et continue à s'accroître du fait du développement péri-urbain. La commune d'Eybens souhaiterait aménager des réservoirs collinaires

à but d'écrêtage des crues sur les communes en amont (Brié et Herbeys). Mais cela nécessite l'accord de communes encore surtout rurales, mais en voie d'urbanisation rapides, 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, aménagement d'un territoire et gestion de l'eau sont ici indissociables.

## **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 Hir<sup>51</sup>, 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 3/4 des constructions touchées par les grandes inondations du début des années 90 (et celle de novembre 1999 dans la vallée de l'Aude ne ferait pas exception) avaient moins de 25 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 inondations !! D'après Pierrick Givone<sup>52</sup>, 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* ». Par contre, 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 compte l'ensemble des modifications à attendre. On privilégierait aujourd'hui plutôt, aux dires de Jean Michel Grésillon<sup>53</sup>, directeur de l'Ecole 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 exemple :<sup>54</sup>

- 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.).

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 incité 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 relayée 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 de 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<sup>ème</sup> 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.

## **Éviter un changement climatique ?**

(Voir l'encart p. 202). On ne sait pas précisément si un déboisement massif peut avoir un impact sur le climat et dans ce cas quel impact. D'après Escourrou (1980)<sup>55</sup>, « *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 évapo-transpiration (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 et l'énergie mieux utilisée, donc l'ETP est plus élevée. A 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 Warrilow (1989)<sup>56</sup>, les pluies diminueraient de 20% sur l'Amazonie si elle était déboisée. D'après Polcher et Laval (1994)<sup>57</sup>, au moins trois types de modélisation (dont celle de Lean et Warrilow, 1989) 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* » ; ceci pourrait avoir pour effet d'assécher le climat local, mais, en augmentant l'évaporation, alimenterait la circulation globale en humidité, susceptible de se transformer en pluie ailleurs.

Rien de bien avéré, donc, du fait que 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 ; 30 ans après, c'est en fait un autre système latifundiaire qui provoque le plus de défrichement dans le bassin amazonien.

Ceci étant, en quoi les pays du nord, responsables des  $\frac{3}{4}$  des rejets de CO<sup>2</sup> 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 CO<sup>2</sup>, puisque les forêts sont de





## **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, 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 -7 500 à -4 500 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 pour l'existence d'un changement climatique.

### ***Les faits indubitables***

On a cru remarquer une forte augmentation du nombre de tempêtes sous les latitudes tempérées, et 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 30 années précédentes (1938-67). Ces tendances vont-elles perdurer 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 de scénarios générés par des modèles, chaque modèle paraissant avoir été fait 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 s'ils 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 1880<sup>61</sup>. Mais on ne s'accorde pas non plus sur les conséquences de cette hausse des températures sur les pluies et les ressources en eau. Ceci étant, on n'a qu'au maximum 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 traduire<sup>62</sup> par « *un réchauffement plus marqué aux pôles qu'aux tropiques, plus important au-dessus des continents que des océans* ».
- le 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 100 ans ; la surface glaciaire du massif du Kilimandjaro a baissé de 70% depuis 1980<sup>63</sup> ; les glaciers tropicaux sont en effet ceux qui sont les plus touchés par le réchauffement : certains glaciers andins ont perdu 40% de leur masse durant la décennie 1990.<sup>64</sup>
- le début de la saison végétative, dans la région du delta du Mackenzie au nord du Canada, est passé de la mi-juin à mi-mai en 20 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 100 ans, la température moyenne a augmenté de 1,5 °C.<sup>65</sup> 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





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 terme 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<sup>ème</sup> siècle, ou même au XIX<sup>ème</sup> 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 100 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 est que, du moins dans les pays industrialisés, l'élévation du niveau de vie fait qu'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 ex.) ; les élus sont à chaque fois plus enclins aussi à laisser construire des habitations, des zones commerciales ou toute sorte de bâti, dans des zones dont on sait qu'elles peuvent être inondées ou touchées par des glissements de terrain, des avalanches... Une même crue qui ne provoquait que la perte de foin ou de production agricole au XIX<sup>ème</sup> 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.

D'autre part, 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 (ex. : la torrentialité dans les Alpes du Sud au XIX<sup>ème</sup> 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 pointeraient 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 Etats-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 !!



## 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 p 169) 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 ville<sup>73</sup>, où il reste encore des lônes<sup>74</sup> et des brotteaux<sup>75</sup> ; 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 ; par contre, 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. Suite aux catastrophiques inondations 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 le contraindre* »<sup>76</sup>. 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 bio-diversité ; 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 (comme expliqué dans l'encart sur l'effacement des barrages, p. 169) 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 (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 rivière.<sup>77</sup>

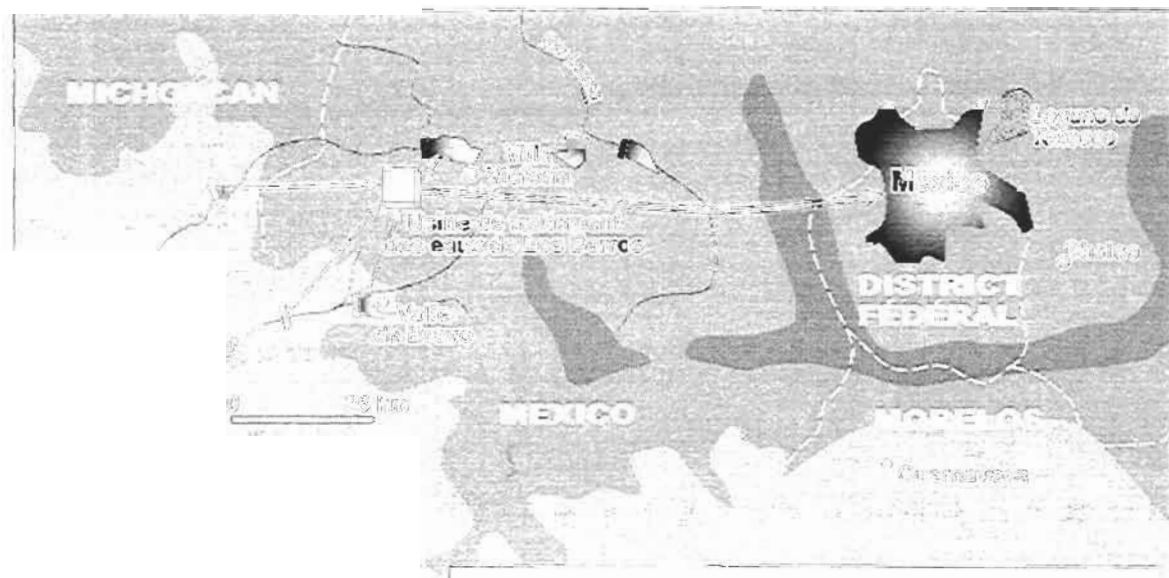
## **Conclusion :** **éviter les erreurs du passé ?**

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 la méthode bien connue de « l'arbre fontaine ». <sup>78</sup> Pour cela, on met 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 au pied de ces arbres. 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 du fait 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 auto-subsistance) 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, afin de rassembler au pied des plantes des quantités d'eau bien supérieures à celles précipitées sur place, et aussi pour remplir quelques citernes. Mais cette eau n'était pas utilisée en aval auparavant, et l'espace monopolisé pour capter l'eau 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 fin hydrologique.

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 la figure 5-1 en page de gauche) 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 kilomètres 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 4 600 m. d'altitude, et il domine un plateau situé entre 2 200 et 2 700 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 elle commençait à voir s'épuiser ses eaux souterraines (la ville s'enfonce 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 mètres pour les plus bas captages), pour pouvoir franchir un col à 2800 mètres 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 lorsque l'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.

## NOTES DU CHAPITRE 5

1. De Villiers, Marq, 2000. *L'eau*. Actes Sud.
2. Moral, Leandro del (2001). Planification hydrologique et politique territoriale en Espagne. *Hérodote* n° 102, 87-112.
3. Sclafert, Thérèse, 1933. « A propos du déboisement des Alpes. » *Annales de Géographie*, XLII, 266-277 et 350-360.
4. Blanchard, Raoul, 1945. *Les Alpes Occidentales*. Thèse d'Etat, Université de Grenoble.
5. Gautier, Emmanuèle, 1992. *Recherches sur la morphogénèse et la dynamique fluviales dans le bassin du Buëch (Alpes du Sud)*. Thèse de l'Université Paris X.
6. Descroix, Luc, 1994. *L'érosion actuelle dans la partie occidentale des Alpes du Sud*. Thèse de l'Université Lumière Lyon II.
7. Lilin, Charles, 1986. « Histoire de la restauration des terrains en montagne au XIX<sup>ème</sup> siècle. » *Cab. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXII, n°2 : 139-145.
8. Surell, Alexandre, 1841. *Études sur les torrents des Hautes Alpes*. Dunod, Paris, 2 tomes.
9. Neboit, René, 1983. *L'homme et l'érosion*. Publications de l'Université de Clermont Ferrand, fasc. N° 17.
10. Lilin, Charles, 1986. « Histoire de la restauration des terrains en montagne au 19<sup>ème</sup> siècle. » *Cab. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXII, n°2 : 139-145.
11. Lilin, 1986, *op. cit.*
12. Lilin, 1986, *op. cit.*
13. Nom donné à la haute vallée de la Tarentaise, autour de Bourg-Saint-Maurice (Savoie, France).
14. Mutin, 2000, *op. cit.*, pp. 110-111.
15. Benchetrit, M. 1972. *L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement en Algérie*. Publications de l'Université de Poitiers, n°XI, PUF.
16. Benchetrit, 1972, *op. cit.* pp. 177-188.
17. Benchetrit, 1972, *op. cit.* p. 179.

18. Benchetrit, 1972, cité par Neboit, 1983, *op. cit.*
19. Fritsch, Jean Marie, 1990. *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, 390 p.
20. Cosandey et Robinson, 2000, *op. cit.*, pp. 307-326.
21. Galea, G., Breil, P. et Ahmad, A., 1993. « Influence du couvert végétal sur l'hydrologie des crues, modélisation à validations multiples. » *Hydrol. Continent.*, vol. 8, n°1 : 17-33.
22. Hudson, J.A. et Gilman, K, 1993. « Long term variability in the water balances of the Plynlimon cathments. » *Journal of Hydrology*, n° 143, pp. 355-380.
23. Viramontes, David et Descroix, Luc, 2002. « 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* (sous presse) .
24. Bosch J.M. et Hewlett, J.D. 1982. « A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration ». *Journal of Hydrology*, no. 55, pp. 3-23.
24. Fritsch, 1990, *op. cit.*
26. Cosandey et Robinson, *op. cit.*, pp. 307-326.
27. Viramontes et Descroix, 2002, *op. cit.*
28. Andreassian Vazken (Coordinateur). 1999. *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.
29. Bent, G. C., 1994. « Effects of timber cutting on runoff to Quabbin Reservoir », Central Massachusetts. Dans MARSTON R. A., HASFURTHER V. R. (eds). *Effects of Human-Induced Changes on hydrologic Systems*. AWRA Annual Summer Symposium. Am. Water Ress. Ass., pp. 187-196.
30. Galea *et al.* 1993, *op. cit.*
31. Fritsch, 1990, *op. cit.*
32. Descroix, Luc, Gonzalez Barrios, José Luis, Vandervaere, Jean Pierre, Viramontes, David, Bollery, Arnaud, 2002. « Variability of hydrodynamic



- behaviour on soils and hillslopes in a subtropical mountainous environment (Western Sierra Madre, Mexico). » *Journal of Hydrology* (sous presse).
33. Gautier, Emmanuèle, 1992. *Recherches sur la morphogénèse et la dynamique fluviales dans le bassin du Buëch (Alpes du Sud)*. Thèse de l'Université Paris X.
34. Descroix, Luc et Gautier Emmanuèle, 2002. « Hydric erosion in Southern French Alps : climatic and human mechanisms ». *Catena* (sous presse) .
35. Peiry, Jean Luc, Salvador, Pierre-Guy et Nougier, Frédéric, 1994. « L'incision des rivières dans les Alpes du Nord : état de la question. » *Revue de Géographie de Lyon*, 69(1) : 47-56.
36. Viramontes et Descroix, 2002, *op. cit.*
37. Viramontes et Descroix, 2002, *op. cit.*
38. Cette petite ville du département d'Ille et Vilaine, en Bretagne, a été inondée deux fois en quelques semaines durant l'hiver 2000-2001.
39. Lechevalier, Claude. *L'érosion des terres agricoles en Pays de Caux*. Etudes Normandes, Cahiers géographiques de Rouen, n°1, 24 p.
41. Galea *et al.*, 1993, *op. cit.*
41. Lombart, Olivier et Marre, Alain, 1997. « Premières observations de l'érosion hydrique sur un substrat crayeux : l'exemple du vignoble champenois. » *Ann. Soc. Géol. Du Nord*, T.5 (2<sup>ème</sup> série) : 381-384.
42. Vogt, H., Lévy, G. et Mettauer, H., 1986. « 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. » *Cab. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXII, n°2, 1986.
43. Wainwright, John, 1996. « Infiltration, runoff and erosion characteristics of agricultural land in extreme storm events, SE France. » *Catena*, 26 : 27-47.
44. Piégay, Hervé et Bravard, Jean-Paul, 1997. « Response of a mediterranean riparian forest to a 1 in 400 year flood, Ouvèze river, Drôme-Vaucluse, France.» *Earth Surface Processes and Landforms*. 22, pp. 31-43.
45. Cosandey et Robinson, 2000, *op. cit.*

46. Cadier, Eric et Dubreuil, Pierre, 1986. « 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<sup>èmes</sup> Journées de l'hydraulique, Paris, Question I, rapport 11.
47. Estrada, Juan, 1999. *Importance et fonctionnement des petits barrages dans une zone semi-aride du Nord-Mexique*. Thèse de l'Université Montpellier 2, 462 p.
48. Mutin, 2000, *op. cit.*, p. 111.
49. Pongsak Bai-ngern, 2000. « Pak Mool, un barrage en eaux troubles. » Article de *The Nation* (Bangkok) paru dans *Courrier International* (27/7/2000).
50. *Le Monde*, 4-5 juin 2000
51. Le Hir, Pierre, 2001. « L'aménagement des bassins-versants peut limiter l'impact des inondations. » *Le Monde*, 21-22/01/2001, p. 20.
52. Cité par Le Hir, 2001, *op. cit.*
53. Cité par Le Hir, 2001, *op. cit.*
54. Le Hir, 2001, *op. cit.*
55. Escourrou, Gisèle, 1980. *Climat et environnement ; les facteurs locaux du climat*. Masson, Paris, 182 p.
56. cité dans Cosandey et Robinson, 2000, *op. cit.*
57. Polcher, Jan et Laval, Katia, 1994. « The impact of African and Amazonian deforestation on tropical climate. » *Journal of Hydrology*, 155 : 389-405.
58. Le Barbé, Luc et Lebel, Thierry. « Rainfall climatology of the HAPEX-Sahel region during the years 1950-1990. » *Journal of Hydrology*, 188-189 : 43-73.
59. Brisse, Henri, 1966. *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'Etudes Phyto-sociologiques et Ecologiques), Montpellier, 80 p.
60. Descroix, Luc, 1994. *L'érosion actuelle dans la partie occidentale des Alpes du Sud*. Thèse de l'Université Lumière Lyon II, 300 p.
61. *Ça m'intéresse* n°237, p. 74.

62. Déqué, Michel, 2000. 2069, année carbonique. *Sciences et Avenir*, novembre 2000, p. 82.
63. *Le Figaro* 13 nov. 2000
64. *Sciences au Sud*, n°4, mars/avril 2000.
65. Grescoe Taras, « Temperature rising », *Canadian Geographic*, novembre 1997, pp. 37-38
66. Hubert Morin, *Consortium de recherches sur la forêt boréale, 2000*, cité par Claude Villeneuve et François Richard, *Vivre les changements climatiques*, Multimondes, Montréal, 2001, p. 87 ;
67. Labeyrie, Jacques, 1993. *L'homme et le climat*. Points sciences, Paris, 335 p.
68. Labeyrie, 1993, *op. cit.*
69. voir site Internet du programme Jason : [http://www.jason.oceanobs.com/html/applications/niveau/mean\\_sea\\_level\\_fr.html](http://www.jason.oceanobs.com/html/applications/niveau/mean_sea_level_fr.html) .
70. Planton, Serge et Bessemoulin, Pierre, 2000. Le climat s'emballe-t-il ? *La Recherche*, octobre 2000, 46-49.
71. Postel-Vinay, Olivier, 2000. L'effet de serre existe-t-il ? *L'Histoire*, n°248, p.32.
72. Leroux, Marcel, 2000. *La dynamique du temps et du climat*, 2<sup>ème</sup> édition, Dunod, Paris, pp.330-334.
73. Bravard, Jean Paul, 1987. *Le Rhône, du Léman à Lyon*. Ed. La Manufacture, Lyon.
74. nom donné dans la région lyonnaise aux bras morts du Rhône.
75. nom des îles formées entre les différents bras du Rhône et ses affluents.
76. Murphy, David, 2001. « Suivre le courant plutôt que le contraindre. » Article tiré de la *FEER (Far Eastern Economic Review)* traduit dans *Courrier International*, 30/8/2001.
77. Racine, Jean-Luc, 2001. « Le débat sur la Narmada : l'Inde face au dilemme des grands barrages ». *Hérodote*, 102 :73-85.
78. Gioda, Alain, Hernandez, Z., Blot, J. et Acosta Baladon, A., 1997. *L'arbre fontaine : brouillard et aridité en Afrique*. Le Flamboyant, n°41.



- SANJUAN, Thierry et BEREAU, Rémi, 2001. « Le barrage des Trois Gorges. Entre pouvoir d'État, gigantisme technique et incidences régionales. » *Hérodote*, 102, pp.19-56.
- SZÖLLOSI-NAGY, A., NAJLIS, P. et BJÖRKLUND, G., 1998. « Estimation des ressources en eau de la planète. » *Nature et ressources*, UNESCO-Elsevier, Paris, p.8-18.
- WITTFOGEL, K., 1974. *Le despotisme oriental, étude comparative du pouvoir total*. Paris, éditions de Minuit, 672 p.

## **Chapitre 5**

### **Gestion de l'eau ou aménagement de l'espace ? La fonction hydrologique d'un territoire**

- ANDREASSIAN Vazken (Coordinateur). 1999. *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.
- BENCHETRIT, Maurice, 1972. *L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement en Algérie*. Publications de l'Université de Poitiers, n°XI, PUF, 216 p.
- BENT, G. C., 1994. " Effects of timber cutting on runoff to Quabbin Reservoir", Central Massachusetts. Dans MARSTON R. A., HASFURTHER V. R. (eds). *Effects of Human-Induced Changes on hydrologic Systems*. AWRA Annual Summer Symposium. Am. Water Res. Ass., pp. 187-196.
- BLANCHARD, Raoul, 1945. *Les Alpes Occidentales*. Thèse d'Etat, Université de Grenoble, 2400 p.
- BOSCH J.M. et HEWLETT, J.D. 1982. "A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration". *Journal of Hydrology*, no. 55, pp. 3-23.
- BRAVARD, Jean Paul, 1987. *Le Rhône, du Léman à Lyon*. Ed. La Manufacture, Lyon, 450 p.
- BRISSE, Henri, 1966. *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'Etudes Phyto-sociologiques et Ecologiques), Montpellier, 80 p.

- CADIER, Eric et DUBREUIL, Pierre, 1986. « 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<sup>èmes</sup> Journées de l'hydraulique, Paris, Question I, rapport 11.
- COSANDEY, Claude et ROBINSON, Mark., 2000. *Hydrologie Continentale*. Col. U, Armand Colin, 360 p.
- ÇAM'INTERESSE, n°237, novembre 2000, p.74-94.
- DESCROIX, Luc, 1994. *L'érosion actuelle dans la partie occidentale des Alpes du Sud*. Thèse de l'Université Lumière Lyon II, 300 p.
- DESCROIX, Luc, VIRAMONTES, David, VAUCLIN, Michel, GONZALEZ BARRIOS, José Luis et ESTEVES, Michel, 2001. « Influence of soil surface features and vegetation on runoff and erosion in the Western Sierra Madre (Durango, Northwest Mexico) ». *Catena*, 43 :115-135.
- DESCROIX, Luc et GAUTIER Emmanuèle, 2002. « Hydric erosion in Southern French Alps : climatic and human mechanisms ». *Catena* (sous presse) .
- DESCROIX, Luc, GONZALEZ BARRIOS, José Luis, VANDERVAERE, Jean Pierre, VIRAMONTES, David, BOLLERY, Arnaud, 2002. « Variability of hydrodynamic behaviour on soils and hillslopes in a subtropical mountainous environment (Western Sierra Madre, Mexico) ». *Journal of Hydrology* (sous presse).
- DE VILLIERS, Marq, 2000. *L'eau*. Actes Sud, 440 p.
- ESCOURROU, Gisèle, 1980. *Climat et environnement ; les facteurs locaux du climat*. Masson, Paris, 182 p.
- ESTRADA, Juan, 1999. *Importance et fonctionnement des petits barrages dans une zone semi-aride du Nord-Mexique*. Thèse de l'Université Montpellier 2, 462 p.
- FRITSCH, Jean Marie, 1990. *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, 390 p.
- GALEA, G., BREIL, P. et AHMAD, A., 1993. « Influence du couvert végétal sur l'hydrologie des crues, modélisation à validations multiples. » *Hydrolog. Continent.*, vol. 8, n°1 :17-33.

- GAUTIER, Emmanuèle, 1992. *Recherches sur la morphogénèse et la dynamique fluviales dans le bassin du Buëch (Alpes du Sud)*. Thèse de l'Université Paris X, 440 p.
- GIODA, Alain, HERNANDEZ, Z., BLOT, J. et ACOSTA BALADON, A., 1997. *L'arbre fontaine : brouillard et aridité en Afrique*. Le Flamboyant, n°41.
- HUDSON, J.A. et GILMAN, K., 1993. « Long term variability in the water balances of the Plynlimon cathments. » *Journal of Hydrology*, n° 143, pp. 355-380.
- LABEYRIE, Jacques, 1993. *L'homme et le climat*. Points sciences, Paris, 335 p.
- LE BARBE, Luc et LEBEL, Thierry. « Rainfall climatology of the HAPEX-Sahel region during the years 1950-1990. » *Journal of Hydrology*, 188-189 : 43-73.
- LECHEVALIER, Claude. *L'érosion des terres agricoles en Pays de Caux*. Etudes Normandes, Cahiers géographiques de Rouen, n°1, 24 p.
- LE HIR, Pierre, 2001. « L'aménagement des bassins-versants peut limiter l'impact des inondations. » *Le Monde*, 21-22/01/2001, p. 20.
- LEROUX, Marcel, 2000. *La dynamique du temps et du climat*, 2<sup>ème</sup> édition, Dunod, Paris, 365 p.
- LILIN, Charles, 1986. « Histoire de la restauration des terrains en montagne au 19<sup>ème</sup> siècle. » *Cab. Orstom*, sér. Pédol., vol. XXII, n°2 :139-145.
- LOMBART, Olivier et MARRE, Alain, 1997. « Premières observations de l'érosion hydrique sur un substrat crayeux : l'exemple du vignoble champenois. » *Ann. Soc. Géol. Du Nord*, T.5 (2<sup>ème</sup> série) : 381-384.
- MURPHY, David, 2001. « Suivre le courant plutôt que le contraindre. » Article tiré de la *FEER (Far Eastern Economic Review)* traduit dans *Courrier International*, 30/8/2001.
- MUTIN, Georges, 2000. *L'eau dans le Monde Arabe*. Ellipses, Carrefour de Géographie, Paris, 160 p.
- NEBOIT, René, 1983. *L'homme et l'érosion*. Publications de l'Université de Clermont Ferrand, fasc. N°17, 183 p.
- PEIRY, Jean Luc, SALVADOR, Pierre-Guy et NOUGUIER, Frédéric, 1994. « L'incision des rivières dans les Alpes du Nord : état de la question. » *Revue de Géographie de Lyon*, 69(1) : 47-56.







RESSOURCES RENOUVELABLES

# EAUX ET TERRITOIRES :

tensions, coopérations  
et géopolitique de l'eau



Frédéric Lasserre

et

Luc Descroix

en collaboration avec

Jean Burton



L'Harmattan

**Frédéric Lassere & Luc Descroix**

En collaboration avec **Jean Burton**

**EAUX ET TERRITOIRES :**  
**tensions, coopérations**  
**et géopolitique de l'eau**



**RESSOURCES RENOUVELABLES**

**L'Harmattan**  
5-7, rue de l'École-Polytechnique  
75005 Paris

**L'Harmattan Hongrie**  
Hargita u. 3  
1026 Budapest

**L'Harmattan Italia**  
Via Bava, 37  
10214 Torino

© L'Harmattan, 2003  
ISBN : 2-7475-4405-2

Descroix Luc

Gestion de l'eau ou aménagement de l'espace ? : la fonction hydrologique d'un territoire

In : Lasserre F. (ed.), Descroix Luc (ed.), Burton J. (collab.)  
Eaux et territoires : tensions, coopérations et géopolitiques de l'eau

Paris : L'Harmattan, 2003, p. 177-219. (Ressources Renouvelables). ISBN 2-7475-4405-2