

CRUES CATASTROPHIQUES

Le Déluge est devant nous

Les crues sont l'un des grands fléaux de l'humanité. Depuis la nuit des temps, elles détruisent les habitations proches des rives, ravinent les berges et jettent, après leur passage, la désolation. Elles ont fait, et font toujours, plus de morts et de blessés que les tremblements de terre ou les volcans, ces derniers, spectaculaires et photogéniques, sont en effet relativement rares et moins dévastateurs. En revanche, chaque jour, il y a sur la planète, quelque part, une ou plusieurs crues. Or l'homme a été et demeure le plus souvent impuissant pour endiguer la force de milliards de mètres cubes qui dévalent. Les marins savent que, même très hautes, les vagues ne sont pas dangereuses tant qu'elles ne déferlent pas car elles passent sous le bateau. En revanche, dès qu'elles déferlent, elles ont une force incroyable tout simplement parce qu'un m³ d'eau pèse une tonne d'eau qui peut tordre en un seul passage le plus solide des aciers ! Il en est ainsi des torrents, rivières et fleuves en période de crue.

Pendant l'été 2010, au Pakistan, la crue de l'Indus a fait la Une de la presse mondiale et surtout des milliers de morts et 20 millions de victimes, pour la plupart des personnes déplacées qui ont tout perdu. Trois millions d'hectares de récoltes ont été anéantis. Les images ont tenu quelques jours, le drame demeure. Comme il s'agit du quart du Pakistan (soit l'équivalent du tiers de la France), son ampleur est telle que les pouvoirs publics sont dans l'incapacité d'apporter une aide significative. Après l'ouragan Katrina, les Etats-Unis d'Amérique, le pays le plus riche du Monde, ont été tout aussi incapables de venir en aide à la région de la Nouvelle-Orléans. Six ans après, elle en porte encore de profonds stigmates, le quart de la population n'est toujours pas revenue. Quand elles ont été reconstruites, les routes, l'ont été à l'identique : sous le niveau du Mississippi ! En revanche, les raffineries de pétrole fonctionnent toujours à plein régime, à moins d'un kilomètre du centre-ville...

Plus près de nous, les violentes pluies qui se sont abattues sur le département du Var le 16 juin 2010, ont semé la désolation à Draguignan. On a dénombré plus de 25 morts. Les rivières comme la Nartuby ou le Gapeau, dont le bassin versant est inférieur à 100 km², ont été incapables d'absorber des pluies de 100 mm en moyenne pour la région mais qui furent par endroit de 400 mm en 24 heures !

Aujourd'hui, face au drame des inondations, que peut-on faire ? Faut-il prévenir ? Comment ? Doit-on se résigner à chercher simplement à organiser les secours ? Nous verrons, dans les lignes qui suivent que la pensée commune donne au mieux des réponses discutables, souvent contradictoires, parfois fausses. Bons sens et bons sentiments ne suffisent pas. Mieux connaître les crues, les volumes et les débits en jeu, les mécanismes de leur propagation, est indispensable pour tenter de les maîtriser, au moins partiellement.

Depuis toujours, l'homme cherche une raison à ces drames et des boucs émissaires, faute de trouver des responsables. Ce furent les dieux et leurs colères. Quand les eaux se retirèrent, l'arche de Noé, nous dit la Bible, s'échoua à 5 000 mètres d'altitude sur le mont Ararat, là où prennent leurs sources le Tigre et l'Euphrate. Et, si le Déluge est un mythe, la précision géographique du texte est cohérente avec l'évènement historique qui l'a inspiré.

Noé sauve l'humanité et tout le monde vivant, car l'Homme avait péché. La colère de Dieu, décrite dans la Genèse au chapitre 6, ne laisse aucune ambiguïté : « *Le Seigneur vit que la méchanceté de l'homme se multipliait sur la terre : à longueur de journée, son cœur n'était porté qu'à concevoir le mal et le Seigneur se repentit d'avoir fait l'homme sur la terre. Il s'en affligea et dit « J'effacerai de la surface du sol l'homme que j'ai créé, homme, bestiaux, petites bêtes et même les oiseaux du ciel, car je me repends de les avoir faits ».*

Est-on plus rationnel aujourd'hui lorsqu'on accuse pèle mèle le réchauffement climatique, l'urgence climatique, la déforestation, la « bétonisation », la culture intensive, la pollution, le remembrement, le reboisement en résineux plutôt qu'en feuillus, ou l'urbanisation en zones inondables ? N'est-ce pas parce que le péché contemporain est devenu le « mal » écologique ? L'homme n'a-t-il pas tenté de maîtriser à son profit les forces de la nature qui se venge ? Est-il anormal qu'il soit puni ?

Nos ancêtres recherchaient des explications métaphysiques. Aujourd'hui hydrologues, géographes, météorologues, et ingénieurs cherchent à mieux comprendre ces phénomènes mais l'opinion se contente, le plus souvent, de rechercher des coupables et de trouver des explications politiques. Persuadé de pouvoir être protégé de tout, car il paie des impôts à l'Etat Providence, l'homme moderne cherche toujours un responsable ou un coupable. Et il ne manque pas de l'assigner en justice, au civil comme au pénal. Mais qu'en est-il exactement ? Ce chapitre va s'efforcer d'analyser point par point les facteurs réels ou supposés de ces crues, petites ou grosses.

Les différents types de crues

On peut distinguer deux grands types : les crues torrentielles et les crues fluviales.

Les torrents

Les premières concernent de petits bassins versants (entre 10 et 1 000 km²), le plus souvent en zones montagneuses. La rivière ou le torrent ont donc une forte pente. A l'occasion d'une pluie décennale ou centennale, l'eau se met alors à couler à des vitesses élevées, jusqu'à 10 mètres par seconde, emportant tout sur son passage. Quand elle déborde, routes, ponts, habitations, voitures, terrains de campings, sont emportés. Ces crues sont courtes : quelques heures. Elles représentent de faibles volumes d'eau malgré l'intensité des pointes de débit. De ce fait, un peu plus en aval dans le bassin versant, l'évènement n'a le plus souvent pas ou peu d'impact sur l'écoulement habituel des eaux.

Ainsi, la destruction de deux terrains de camping, en bordure de torrent, un emplacement *a priori* idéal pour la baignade et la beauté du site, aura entraîné la mort de 21 personnes au Grand-Bornand en Savoie le 14 juillet 1987 et 37 personnes à Vaison-la-Romaine dans le Vaucluse le 22 septembre 1992. Plus récemment, les 8 et 9 septembre 2002, le département du Gard a été durement touché par des pluies intenses. Des valeurs de précipitations exceptionnelles ont été relevées, comme par exemple 687 mm à Anduze et même jusqu'à 713 mm à Cardet au sud d'Alès, une valeur correspondant à la moyenne annuelle et cela en vingt-quatre heures à peine. On a déploré 23 morts à la suite de cet épisode de crue « cévenole », notamment à Sommières. Des pluies de très fortes en intensité sont en effet tombées sur des terrains caillouteux, arides et en pente. L'infiltration a été quasi nulle, le coefficient de ruissellement de crue était de 100 %.

Or, Météo France ne sera jamais capable de prédire l'endroit précis d'une pluie catastrophique ni son intensité, même si la vigilance orange ou rouge a été instaurée. Le déclenchement d'alertes est encore à cet échelon pratiquement impossible, les délais sont très courts et le phénomène local aléatoire.

Les fleuves

Le deuxième type de crues est de type « fluvial ». Elles concernent l'aval de grands bassins versants dont les rivières ou fleuves présentent, *a contrario*, de faibles pentes. La vitesse de l'eau reste lente, entre 2 et 5 mètres par seconde. Comme la pluie en amont a été à la fois intense et longue, elle envoie vers l'aval un débit supérieur à celui que la section de la rivière peut évacuer. Les lits des rivières sont analogues à des canaux à ciel ouvert. Ce lit s'est formé grâce à l'érosion des crues habituelles, pas celle des crues exceptionnelles. Quand ces dernières surviennent, le lit n'est pas assez grand, la rivière déborde. La crue de Paris en

janvier 1910 est le modèle de la crue fluviale car elle ne fut pas violente, mais la Seine s'est déversée dans les rues de Paris. Elle est sortie de son lit.

Que s'est-il passé cette année-là ? Deux trains de pluies assez forts mais non exceptionnels se sont succédés sur le haut bassin de la Seine à cinq jours d'intervalle en des sous-bassins différents. Le déphasage qui existe à Paris, entre les flux provenant des affluents à transit rapide, car pentus, à savoir l'Yonne, le Morin et le Loing, et des affluents à transit lent, la Marne et la haute vallée de la Seine est précisément de cinq jours : le débit de la Marne, gonflée par les premières pluies a rencontré, juste à l'amont de Paris, le débit de l'Yonne gonflées par les secondes, provoquant un phénomène de fréquence centennale. Les pluies n'ont pas été diluviennes, mais la coïncidence de deux pluies à cinq jours d'écart sur des affluents à régimes différents a gonflé les eaux. Un décalage de dix jours n'aurait entraîné aucune crue. De même, si la première séquence de pluies avait eu lieu sur l'Yonne, l'eau se serait très vite écoulée et la seconde séquence venue de la haute Seine et la Marne aurait suivi derrière, dans une Seine déjà dégagée de la crue en provenance du Morvan. Comme souvent, c'est la séquence peu probable d'évènements normaux qui crée la catastrophe.

Le débit d'une rivière, qui s'exprime en m^3/s est, par définition le produit de sa section, exprimée en m^2 , par la vitesse de l'eau, exprimée en mètres par seconde (m/s). Cette dernière est liée à la pente. A pente faible, vitesse faible et vice-versa. La Seine est une rivière lente, elle ne descend que de 25 mètres entre Paris et son embouchure dans la Manche, sa vitesse, même en crue, reste faible. Comme la section d'écoulement, notamment sous les ponts, est intangible, quand l'eau monte, à partir d'un certain niveau, elle déborde. Ce fut le cas à Paris en 1910 : le lit ne pouvait pas faire couler les 2 350 m^3/s de la crue. Dans ce cas, contrairement aux torrents, les dégâts ne sont pas dus à la vitesse du courant, mais à la submersion durable d'habitations et de rues. La présence d'un mètre d'eau, voire plus, dans les maisons, les administrations, les boutiques, le métro, etc... n'est jamais bienvenue. Les égouts notamment se mettent à fonctionner à l'envers et refoulent l'eau de la rivière vers l'intérieur de la ville. Par ailleurs, les maisons de mauvaise qualité, en terre, pisé, ou autres matériaux économiques, se transforment en boue et s'effondrent sur leurs habitants. Ce fut le cas à Lyon au dix-neuvième siècle, notamment lors de la crue de 1856. On observe le même phénomène aujourd'hui dans les villes des pays tropicaux. L'inondation même de courte durée est un drame, toujours, partout : animaux qu'il faut évacuer, caves et rez-de-chaussée inondés, véhicules et appareils électriques détruits, etc.

Ce phénomène n'est pas nouveau. Comme on peut le constater dans le tableau ci-dessous, des crues spectaculaires ont eu lieu il y a cinquante, cent, cent cinquante ans, voire deux siècles. Par ailleurs, en regardant ces débits par seconde exceptionnels, on verra que la Seine n'est qu'un petit fleuve, même à l'échelle de la France.

Quelques débits de crues exceptionnels¹

RIVIERE OU FLEUVE ET LIEU	ANNEE	DEBIT EN M3/S	DEBIT PAR JOUR EN MILLIONS DE M3
Seine à Paris	Janvier 1910	2 350	203
Loire au Bec d'Allier	1846	9 000	780
Garonne à Toulouse	Juin 1875	7 500	648
Rhône à Beaucaire	Novembre 1840	9 000	780
Pô à Plaisance	Novembre 1951	12 000	1 036
Volga à Kouïbychev	1926	61 000	5 270

D'autres records historiques ont été enregistrés : 12 500 m³/s pour le Rhin à la frontière avec la Hollande, 120 000 m³/s pour l'Ienisseï, 110 000 m³/s pour la Léna, toujours en Russie, 300 000 m³/s pour l'Amazone. Pour le grand fleuve brésilien, les crues atteignent donc un million de m³ en trois secondes, un milliard de m³ en 50 minutes, 26 milliards de m³ par jour. Beaucoup, beaucoup d'eau !

Les récentes crues du Rhône aval

Plus près de nous, et pour le seul fleuve Rhône, pris comme exemple, le débit de la crue de l'automne 1993 en Camargue a été estimé à 10 000 m³.s⁻¹. Vers Saint-Gilles, dans le Gard, les digues cèdent en 14 endroits. 13 000 hectares et 450 maisons sont submergés. L'année suivante, en 1994, nouvelles inondations en Camargue ; le débit est estimé à 10 500 ou 11 000

¹ Source : Encyclopédie Larousse en vingt volumes – article « hydrologie » - 1983

m³.s⁻¹. En deux endroits, les digues cèdent encore. 2 000 hectares sont submergés et 45 maisons inondées.

En 2003, on observe la plus grande crue historique mesurée avec un débit instantané de 13 000 m³.s⁻¹ le 4 décembre à 3 heures du matin à Beaucaire. Les dégâts sont particulièrement dramatiques dans la plaine du Bas-Rhône, au sud de Tarascon. Les digues cèdent au nord d'Arles et toute l'agglomération construite au nord-est de la cité depuis 1900 est sous les eaux, bloquées au sud et à l'est par les digues du canal du Viguerat. Pour la seule ville d'Arles, la Fédération Française des Assurances comptabilise plus de 8 000 sinistrés.

Les hauteurs enregistrées

L'eau peut ainsi monter très haut et inonder des surfaces considérables. Dans les gorges du Yangzi Jiang, l'ancien fleuve bleu, en Chine, les eaux monteraient parfois de plus de 60 mètres. Dans le Douro inférieur, au Portugal, les eaux sont montées à plus de 26 mètres au-dessus de l'étiage en décembre 1909. Le record de l'Ohio, à Cairo, aux USA, a dépassé 18 mètres. En France, les niveaux records par rapport aux zéros des échelles officielles ont atteint : pour la Garonne 8,32 m à Toulouse et 11,70 m à Agen, pour la Loire, 7,52 m à Tours, pour la Seine 8,60 m au pont d'Austerlitz à Paris, et pour le Rhône 8,30 m à Avignon.²

La Loire menace environ 150 000 hectares. Le Rhône peut inonder à l'aval de Beaucaire, 240 000 hectares. Le Mississipi à l'aval de Cairo à submergé, en 1882, neuf millions d'hectares soit plus que la surface de la Belgique et de la Hollande réunies. Le Yangzi Jiang a submergé des étendues comparables en 1931 et en 1954. En ces deux circonstances, il aurait détruit les habitations de plus de 20 millions de personnes³. Pour la seule crue de 1931, on aurait déploré plus de 100 000 morts. Rédigé quelques années plus tard, le « Lotus Bleu », album d'Hergé, montre Tintin sauvant de la noyade le jeune Chinois Tchang. Le Huang Ho, ex fleuve jaune, au nord de la Chine a été souvent encore plus meurtrier.

Quand les pluies produisent des crues

Insistons maintenant sur les conséquences d'un truisme : si l'eau monte c'est parce qu'il pleut quelque part. Toutes les crues ont pour origine une ou des pluies de fréquence exceptionnelle, décennale pour les crues modestes, centennales ou millénales pour les plus graves d'entre elles. Des pluies de 100 millimètres, ou de 200 millimètres sont assez fréquemment observées en France. On aurait observé en un seul jour 792 millimètres de pluie près de Joyeuse,

² Source : Encyclopédie Larousse

³ Source : Encyclopédie Larousse

en Ardèche, en octobre 1827. L'averse terrifiante, dite « de Thrall » dans le Texas central déversa, en dix-huit heures, 250 millimètres sur un bassin versant de 29 500 km², les 9 et 10 septembre 1921. En octobre 1951, une station de la Calabre, en Italie aurait reçu 1 495 millimètres. A la Réunion, on aurait également observé des précipitations de plus de 1 000 millimètres par jour. A Ouagadougou, au Burkina Faso, il est tombé 263 millimètres en moins de douze heures le 1^{er} septembre 2009. La crue centennale, est souvent liée à deux crues décennales en deux jours.

A partir d'un certain niveau de pluie, l'eau ne s'infiltrer plus, elle ruisselle à 100 %. Ce phénomène n'est pas assez expliqué et compris. **Une crue exceptionnelle s'explique toujours par le ruissèlement induit par la saturation du sol.** En temps normal, il absorbe les pluies, les plantes pompent l'eau dont elles ont besoin dans la terre et la prochaine pluie vient combler le déficit ainsi créé. Mais assez vite, aucune eau ne peut s'infiltrer et les végétaux ne pompent plus l'eau dans le sol. Comme l'air est saturé de vapeur d'eau, l'eau qui tombe ne s'évapore pas, contrairement à ce qui se passe, par exemple, dans les premières heures d'une pluie fine après plusieurs jours de soleil. Quand les pluies sont abondantes ou tombent sur un sol détrempe, une lame d'eau commence à recouvrir tout le sol et comme l'eau tombe sur de l'eau, elle ruisselle à 100 % sans s'infiltrer ni s'évaporer. Tout se passe alors comme si elle tombait sur du béton. En cas de grandes pluies, l'urbanisation n'explique donc rien⁴ car champs et forêts peuvent être aussi imperméables qu'une route ou un toit ou du « béton », s'ils sont saturés. Nul ne s'étonne que, sur les océans ou sur les lacs, le coefficient de ruissellement soit, bien entendu, de 100 % et que, donc, l'océan soit du « béton » pour l'eau qu'il reçoit.

En temps « normal », et même pour les pluies de fréquence décennale, la saturation n'est en général pas atteinte. Les éléments « ralentisseurs de crues » jouent encore leur rôle. Les haies, les forêts, les cultures en courbe de niveau bloquent une partie de l'écoulement, car elles favorisent l'infiltration dans le sol et l'évapotranspiration des plantes. **En cas de pluie exceptionnelle, ces éléments ne jouent plus leur rôle régulateur.** Donc l'argument souvent ressorti ne tient pas : qu'il y ait ou qu'il n'y ait pas de forêt, que les cultures soient traditionnelles, « bios » ou raisonnées, quand l'eau de pluie tombe sur un sol saturé d'eau, 100% de celle-ci s'écoule. Le phénomène de saturation de tous les sols ou végétaux rend également illusoire les considérations sur l'emploi d'engrais minéraux et sur leurs doses par

⁴ Dans le cas de la France l'ensemble des sols imperméabilisés (toitures des maisons et immeuble, trottoirs, routes revêtues, parcs de stationnement, etc...) couvrent 3 millions d'hectares, soit 5 % du territoire national. Leur impact sur le coefficient de ruissellement est faible en temps normal et nul en période de forte crue. C'est bien moins que les sols rocheux des Alpes au-dessus de 3 000 m d'altitude, très imperméables.

l'agriculture intensive, qui aggraverait les crues. Cette corrélation n'a jamais été démontrée. Pas plus que l'affirmation que, les forêts de résineux seraient moins efficaces que les forêts de feuillus pour retenir l'eau⁵.

Des masses considérables

Quand le ruissellement atteint 100 %, les masses d'eau qui s'écoulent deviennent vite considérables. Ainsi, le bassin versant de l'Indus mesure 1 081 000 de km² (deux fois la surface de la France), pour une longueur totale de 3 180 km. Son module moyen annuel à l'embouchure est de 4 000 m³/s, soit 120 milliards de m³ par an. Le ruissellement intégral de 100 mm de pluies sur la moitié amont du bassin versant, à savoir 500 000 km² génère un volume d'eau de 50 milliards de m³, en quelques jours. Soit la moitié de l'abondance brute annuelle moyenne. L'inondation catastrophique est alors inévitable. Le débit de crue habituel au mois d'août, qui est de 4 000 m³/s, peut alors passer à 10 fois plus, soit 40 000 m³/s. Le bassin versant amont de l'Indus, au Tibet, puis au Cachemire peut être totalement saturé par une ou des pluies exceptionnelles. Les pentes fortes, les terrains rocheux peu perméables aggravent le phénomène. Le reboisement, les cultures en terrasses, les pratiques culturales, le remembrement, les haies, la présence de villes dans le haut bassin de l'Indus seraient, s'ils existaient, sans impact notable pour lutter contre un phénomène d'une telle ampleur. Pour éviter ou limiter des drames de fréquence faible à moyenne, disons décennale ou cinquantennale, l'homme peut intervenir par le reboisement, les cultures en terrasses ou en courbe de niveau, ce qui est déjà une belle victoire. Les auteurs de cet ouvrage y ont d'ailleurs consacré une partie de leur vie professionnelle. Toutefois ces mesures sont d'une totale inefficacité en cas d'évènement extrême.

Les barrages : seuls protections contre les crues exceptionnelles

La construction d'un ou plusieurs barrages, le plus souvent hydroélectriques, en cascade, en amont dans le bassin versant, est la seule réponse technique au risque d'inondations catastrophiques. Elle a prouvé son efficacité. Ces ouvrages peuvent être capables de stocker, d'encaisser tout le volume de la crue. En construisant des barrages hydro-électriques, non seulement l'électricité ainsi fabriquée ne rejette pas de dioxyde de carbone, mais encore ils protègent des inondations les habitants de l'aval. La protection contre les crues est un « sous-produit » de la production d'électricité. ⁶ En attendant, on peut citer quelques exemples. En

⁵ Contrairement à ce qu'affirme Claude Allègre dans « *Ma vérité sur la planète* » - opus cité.

⁶ Nous avons déjà évoqué ce point au chapitre 8, consacré aux barrages.

2011, sont ainsi protégées les plaines alluviales du Tigre et de l'Euphrate en Turquie, en Syrie et en Irak, grâce à la cascade de barrages hydroélectriques construits dans ces trois pays. Le barrage Atatürk est la clé de voûte de cet ensemble, nous y reviendrons au chapitre 16. Le Déluge n'aura plus lieu à Bagdad, ni dans la Mésopotamie. La vallée du Nil est protégée par les barrages hydroélectriques éthiopiens, soudanais et surtout par le barrage d'Assouan en Egypte, qui peut stocker jusqu'à deux années complètes d'écoulement du Nil ! Le débit de ce fleuve est devenu constant à l'aval d'Assouan. Il est de 2 500 m³/s car la production d'énergie électrique doit être à peu près constante 24 heures sur 24, 365 jours par an, soit 8760 heures pour satisfaire les besoins en électricité et en eau de 80 millions d'Egyptiens qui vivent en aval de cet ouvrage. Les Egyptiens ont fait le bon choix. Cela dit, ils laissent « gaspiller » 75 milliards de m³ d'eau qui se jettent en pure perte dans la mer ! L'Egypte ne manque pas d'eau ! Elle manque d'électricité, ce qui n'a rien à voir ! Idem pour l'Ethiopie.⁷

En France, la basse vallée de la Durance est protégée par le barrage hydroélectrique de Serre-Ponçon. De la même manière, Grenoble est à l'abri des crues grâce aux barrages hydroélectriques construits sur le haut Drac, sur la Romanche et sur l'Isère. Aujourd'hui, rien encore n'a été fait sur la Saône pour mieux protéger Lyon, qui garde la mémoire des inondations catastrophiques du 7 novembre 1840 et du 21 mai 1856, essentiellement dues à cet affluent du Rhône. En revanche, la maîtrise des niveaux du lac Léman par la Suisse et la construction des barrages hydroélectriques en cascade de Vouglans, Coiselet, Cize-Bolzon et Allement sur l'Ain, autre affluent du Rhône, ont nettement amélioré la protection de l'agglomération lyonnaise et la situation plus en aval. On peut noter, au passage, que les crues bloquées à Vouglans, un barrage qui n'a jamais déversé depuis sa construction⁸, vont pouvoir être turbinées sur 400 mètres de haut, jusqu'à la mer, grâce à la cascade des barrages aval sur l'Ain, puis sur le Rhône. Après le confluent avec la Saône, les 13 barrages hydroélectriques au fil de l'eau jouent un rôle régulateur mais n'empêchent pas les inondations de la plaine d'Arles et de la Camargue. Un tiers des communes de France sont encore vulnérables au risque de crues.

Il arrive dans certains cas que des barrages soient construits à seules fins de protection, c'est le cas de Paris. En effet, la ville et son agglomération sont mieux protégés depuis la construction sur la Seine des barrages et lacs du Der et d'Orient puis, sur l'Aube, ceux du lac d'Amance et du lac d'Auzon-Temple et enfin, sur l'Yonne, celui du lac de Pannecière. Ces

⁷ Une parenthèse sur les « guerres pour l'eau » vaticinées ça et là. Ce ne sont pas des guerres pour l'eau mais pour l'électricité, la vraie denrée rare aujourd'hui sur la Terre.

⁸ Autrement dit, il a toujours pu bloquer les crues en amont.

équipements, réalisés dans les années 1970 et 1980, ne suffiraient pas à empêcher une crue type de 1910, mais la fréquence d'une telle catastrophe a été réduite d'un facteur 10 environ. Aucune électricité n'est produite, mais ces lacs artificiels sont bien équipés pour les activités touristiques. Rappelons que pour établir ces ouvrages, des milliers d'hectares ont été expropriés et trois villages ont été noyés.

Une protection coûteuse et inefficace pour les torrents

Il est théoriquement possible de construire des barrages sur de petits bassins versants. Leur efficacité serait douteuse car ces barrages seraient nécessairement de faibles volumes, sans capacité suffisante d'encaissement ou de laminage des crues. En outre, leur rentabilité hydroélectrique serait quasiment nulle et le coût de protection des habitations en aval trop élevé. En effet, en dehors de brèves périodes de crue, les débits moyens sont trop faibles. Sous climat méditerranéen, le débit des petits torrents s'annule pendant six mois. Des milliers de villages ou de villes moyennes de France sont ainsi installés au bord de petites rivières. Un pont médiéval, des maisons anciennes donnant directement sur l'eau, de vieux lavoirs croulants aujourd'hui sous les géraniums, une barque attendant les pêcheurs du dimanche... ce tableau bucolique ne doit pas faire illusion, car ces sites sont potentiellement dangereux. Les risques sont précisément connus. Implantés bien avant le principe de précaution, ces villes et villages peuvent subir de graves inondations, demain ou dans deux cents ans. Faut-il les détruire ?

Les villes plus victimes que coupables

Plus de 80% de l'humanité et 80 % des grandes villes sont installées à moins de 100 kilomètres de la mer. Les grandes inondations viennent donc de l'amont des bassins versants, souvent déserts ou peu urbanisés. Ainsi, la crue qui a frappé la Nouvelle Orléans en 2005 était liée à une crue du Mississippi. Son bassin versant couvre 3 200 000 km², soit plus de six fois la France. Son débit moyen à l'embouchure est de 20 000 m³/s. A la suite de la catastrophe, il n'est venu à l'idée de personne d'accuser l'urbanisation de Saint Louis dans l'Etat du Missouri, ou de Memphis, dans celui du Tennessee ou de Little Rock en Arkansas. Les Etats-Unis sont le pays le plus urbanisé du monde, mais toutes les villes du bassin du Mississippi ne sont qu'une « goutte d'eau » dont l'impact sur les crues dans le delta est insignifiant.

On peut noter, par ailleurs, que l'urbanisation pavillonnaire, fréquente en France ou dans le monde, recrée un bocage. Chaque parcelle va être entourée d'une clôture, souvent doublée d'une haie. Des pelouses, des aires en gravier ou en terre battue, souvent horizontales, parfois

une piscine seront mises en place. Quelques arbres seront plantés dans chaque jardin. Après quelques années, le paysage aura évolué vers une forêt claire, vers un nouveau bocage. L'imperméabilisation due aux toits et aux voies d'accès revêtues sera plus que compensée par le reboisement, le cloisonnement des parcelles, leur établissement en terrasses, etc.... Par rapport au champ de blé ou de maïs qui a pu précéder le lotissement, la situation du point de vue du ruissellement est meilleure après l'urbanisation pavillonnaire. Ce dernier est donc réduit au cours des épisodes « normaux ».

Par ailleurs, dans les centres villes, les eaux usées sont récupérées par des réseaux d'égout. Ils recréent une forme de perméabilité. Ainsi les grands égouts visitables peuvent stocker de manière dynamique plus d'un m³ d'eau par mètre linéaire. Après un orage, le simple remplissage du réseau d'égout peut « laminer » la crue, en stockant des milliers, voire des millions de m³. La perméabilité du terrain naturel, perdue par le bitumage des rues et les toitures est en partie compensée par la « perméabilité en grand » du réseau d'assainissement. De plus, il faudrait décompter les espaces verts, les cours et jardins privés, les parcs et jardins publics, les arbres d'alignement, les trottoirs ou promenades laissés en terre battue, les rues restées pavées, les fissures dans le goudron. En période de pluie normale, ou de fréquence moyenne, il n'est pas sûr que la ville de Paris ait un impact significatif sur la crue. Les bassins de rétention, chargés précisément d'encaisser les grosses pluies et de retarder leur rejet au milieu naturel sont devenus obligatoires pour tous les équipements « imperméabilisateurs » : parcs de stationnement, notamment ceux des grandes surfaces, routes, autoroutes, nœuds autoroutiers, zones industrielles. Ces équipements sont efficaces pour diminuer les pointes de crues, pas trop exceptionnelles. La lutte menée par les maires écologistes contre « l'artificialisation des sols urbains » n'a aucun sens, et ne sert à rien !

On peut se protéger contre les crues « habituelles »

Si le risque zéro n'existe pas, il est toujours possible de le réduire parfois jusqu'à un facteur dix, ce qui est considérable. Passer d'une probabilité de un pour cent à une probabilité de un pour mille, permet de sauver des vies et des biens.

Dans un pays comme la France, on peut donc recommander :

- de poursuivre de l'élaboration des cartes des risques et des plans de prévention,
- de mieux définir les zones inondables, d'y imposer a minima un cahier des charges strict : interdiction des pièces habitables en rez-de-jardin, compteurs d'électricité et d'eau au premier étage, achat d'un bateau gonflable, stockage d'eau embouteillée, et

d'alimentation, exercices d'alerte, précautions particulières pour enfants ou personnes âgées, etc.

- de laisser les lits majeurs et les lits mineurs des fleuves et rivières le plus larges possible. Dans les villes, on peut y installer des terrains de sports, des espaces verts, des parkings, non vulnérables à la submersion. Souvent, les villes manquent de ce type d'espaces. Elles peuvent faire ainsi rendre inconstructibles des zones inondables tout en les utilisant pour des équipements publics dont la demande sociale est forte. La collectivité peut acheter les terrains concernés grâce au droit de préemption urbain, mais il faut à la fois la volonté politique et les moyens financiers.
- de saisir l'occasion des travaux routiers au bord des rivières pour aménager aussi la rivière pour l'élargir, l'endiguer, créer des seuils et des bassins de dissipation de l'énergie,
- de faire des digues et assurer leur entretien,
- de construire le maximum de bassins de rétention, déjà prévus par les textes en vigueur,
- de construire les nouveaux ponts avec le minimum de piliers et le maximum de section d'écoulement,
- de draguer les rivières ou fleuves qui s'ensablent,
- de poursuivre la politique de restauration des terrains en montagne, engagée depuis 150 ans,
- de poursuivre le reboisement de la France, en choisissant les espèces d'arbres adaptées aux différents sols et aux différents climats de l'hexagone. Avec ses 15 millions d'hectares, la forêt couvre déjà près du tiers de notre territoire. Chênes et hêtres ne poussent pas sur sols peu profonds, acides, au-dessus de 800 m d'altitude et sous climat méditerranéen. En revanche, les résineux acceptent bien ces conditions de vie plus difficiles. Leur capacité à jouer un rôle pour les pluies de fréquence moyenne ou décennale est la même. Elle serait même supérieure pour les résineux, qui, en hiver, peuvent stocker plus d'eau, par mouillage de leur feuillage persistant. Notons au passage que la proportion de deux tiers de feuillus pour un tiers de résineux dans la forêt française réalise un excellent optimum écologique et économique.
- de développer les réseaux d'alerte,
- d'améliorer l'efficacité des secours. En France, elle est déjà élevée, grâce au professionnalisme et à la disponibilité des sapeurs-pompiers, des SAMU, des CRS, des hôpitaux, des médecins libéraux, des entreprises de déblaiement, etc... Les préfets

peuvent mobiliser rapidement de gros moyens, notamment dans le cadre des plans ORSEC. Comme Organisation des Secours, et pas « au sec » !

On peut conseiller aussi aux particuliers de ne pas acheter une habitation au bord d'une rivière, même petite. Quant aux immeubles, il vaut mieux éviter le rez-de-jardin.

Le développement de la prévention est difficile. C'est une œuvre de longue haleine dont les résultats n'auront qu'un impact faible en cas d'évènement exceptionnel, ce qui n'est pas une raison pour ne pas agir. Soulignons ici qu'il faut une constance politique et technique, pendant des décennies, voire des siècles, bien au-delà des échéances électorales. Nous sommes ainsi les bénéficiaires inconscients des travaux colossaux menés au dix-neuvième siècle en matière de reboisement. Par ailleurs, cela ne règle pas la sécurité contre les crues de tous les immeubles et de leurs habitants, déjà construits en sites dangereux. Un gros tiers de l'existant est probablement exposé aux crues, en France. A commencer par Paris, ou Lyon, Toulouse, Bordeaux, Tours, etc.

L'expropriation est techniquement et politiquement difficile, comme on l'a vu lors de la marée de tempête « Xynthia » qui a frappé les côtes de la Charente Maritime en février 2010. De zones « noires » en « zones de confiance », Etat, élus locaux et habitants ont changé d'avis au rythme d'une valse-hésitation à plusieurs temps. La définition d'une zone à risque élevé, dans laquelle il faut démolir, ne sera jamais purement scientifique. Des marges d'incertitude sur le risque présent ou futur subsisteront toujours. Un risque mal connu est donc un risque contestable et contesté.

Les systèmes d'assurance obligatoire contre les catastrophes naturels sont par ailleurs une bonne réponse, non pas au risque lui-même, mais à la vulnérabilité des biens et des personnes. Certes, elles ne ressuscitent pas les morts, mais elles permettent de trouver une solution au dilemme des situations où le risque est très faible et les dégâts potentiels très élevés.

Des investissements, le plus souvent, très insuffisants dans les pays pauvres

Dans les pays pauvres ou émergents, il est vraisemblable que la situation demeure dramatique à horizon prévisible.

Les grands travaux chinois

En Chine, le fleuve Yangzi Jiang a toutes les caractéristiques hydrologiques pour être et rester **le fleuve le plus dangereux du monde**. Le plus long fleuve d'Asie, le troisième de la Planète, est long de 6 000 km. Il prend sa source à plus de 6 000 mètres d'altitude, au Tibet. Les pentes du lit et des rives sont fortes, les montagnes et les gorges sont nombreuses au long de son

cours. Il reçoit 700 affluents à caractéristiques torrentielles. Peu de zones inondables ou de lacs naturels se trouvent en amont, elles ne permettent donc pas de réguler les crues. Par ailleurs, le climat de mousson entraîne chaque année des pluies diluviennes. Les sols de lœss sont alors rapidement saturés. La population rurale et urbaine atteint plus de 300 millions d'habitants dans ce bassin versant de 1 800 000 km². Pour nourrir la population, les surfaces cultivées, notamment le riz, ont remplacé la végétation naturelle. Les mégapoles de Chongjin, Wuhan, Nankin et Shanghai sont riveraines d'un fleuve qui charrie en année normale 1 000 milliards de m³.

La construction récente du barrage des Trois Gorges a amélioré la situation, sans avoir supprimé le risque de crues catastrophiques. Sa capacité est insuffisante pour être efficace à 100 %. Il ne stocke « que » 34 milliards de m³, soit moins de 4% de l'eau charriée à l'embouchure chaque année. Les débits peuvent aujourd'hui encore dépasser 100 000 m³/s et atteindre en aval une cote de 17 mètres au-dessus du niveau de la plaine. En septembre 1998, avant la construction du barrage, la cote de 29 mètres a été atteinte au centre de Wuhan, causant la mort de milliers de personnes. Néanmoins, il régule les crues moyennes et par ailleurs produit 85 milliards de kilowattheures, l'équivalent de 20 tranches de centrales nucléaires ou de 50 millions de tonnes de charbon par an. Il facilite la navigation, autrefois redoutée dans ces gorges. Elle était consommatrice d'une main d'œuvre de halage, bon marché, les « coolies », dont la fatigue et la vie ne pesaient pas lourd. En témoigne l'autobiographie de Lucien Bodard, « Monsieur le Consul », prix Goncourt, né à Chongjin en 1914. Il décrit dans cet ouvrage ce qu'était la remontée du Yangzi Jiang en bateau pendant les années 1930, alors qu'il accompagnait son père jusqu'à Cheng Du, l'autre mégapole du Se Chouan. Il y aura, hélas, encore beaucoup de crues en Chine, même si ce pays s'efforce de lutter contre des éléments naturels d'une particulière violence.

Le drame des autres pays

Le Pakistan est un pays doté d'une forte armée et de la bombe atomique. Il a une bourgeoisie d'affaires éduquée, des classes moyennes et riches, une urbanisation importante. Toutefois son développement économique a accru les inégalités. La haute vallée de l'Indus et plus généralement le monde rural ont été délaissés. Toutefois, comme il existe des sites favorables pour construire des barrages, la soif d'énergie résoudra peut-être un jour ce que la recherche d'un monde plus équitable n'a pas été capable de réaliser. Les cas du Bangladesh et de l'Inde sont similaires. Les ressources en eau colossales de la chaîne himalayenne sont à la fois la chance et la malédiction des pays qui la bordent au sud.

Dans les pays tropicaux qui n'ont pas la richesse et l'expertise de la Chine, les catastrophes à venir seront d'une autre ampleur. L'urbanisation s'y accélère. Elle est anarchique, sans plan directeur, souvent sans eau potable pour la majorité des habitants, sans égouts, sans traitement d'eau et sans barrages de protection contre les crues. Les secours y sont mal organisés en temps normal et le plus souvent inexistant en cas de catastrophe. Fort heureusement, l'Afrique tropicale reste peu vulnérable aux crues. Ceci est largement dû à la platitude globale du continent, à l'absence de grandes chaînes de montagne, à l'absence totale de cyclones. Cela dit, des inondations graves ont frappé le Mozambique, le Bénin et le Burkina Faso pendant la dernière décennie. Les risques de crues sont plus élevés en Amérique latine.

A choisir, la sécheresse est moins dangereuse

L'excès d'eau tue et tuera de mort violente, beaucoup plus que le manque d'eau. L'eau est d'abord une ressource menaçante car il est beaucoup plus facile de lutter contre la sécheresse que contre les inondations. Le tableau de l'annexe 16 le rappelle.

C'est la présence de l'homme qui transforme l'évènement naturel en catastrophe. Qui fait que le risque devient vulnérabilité⁹. L'homme a besoin d'eau, il aime l'eau. Pendant des millénaires, il s'est servi des fleuves comme voies de communication principales. Les habitations, les villages, les villes les bordent. L'urbanisation de l'humanité, pas toujours bien maîtrisée, s'accroît et avec elle, faute d'investissements de protection suffisants, le nombre de personnes et de biens vulnérables.

CRUE OU SECHERESSE : QUELLE CATASTROPHE EST LA PLUS GRAVE ?

	CRUE	SECHERESSE
RAPIDITE D'OCCURENCE	Très rapide	Etalée dans le temps
VIOLENCE DE L'OCCURENCE	Importante à très importante	Faible à nulle
MORTS VIOLENTES	Nombreuses	Aucune
BLESSES VIOLENTS	Nombreux	Aucun
DESTRUCTIONS DES	Importante	Nulle

⁹ Dans les régions sibériennes totalement désertes, les crues annuelles catastrophiques de l'Ob, de l'Ienisseï ou de la Neva, formant des embâcles gigantesques ne font pas la Une, car aucun habitant n'est concerné.

HABITATS		
DESTRUCTION DES INFRASTRUCTURES	Importante à très importante	Nulle
DESTRUCTION DU BETAÏL	Souvent importante à très importante	Variable à nulle, pour des éleveurs ayant l'habitude du nomadisme
DESTRUCTION DES STOCKS ALIMENTAIRES	Souvent totale, parfois partielle	Nulle
POSSIBILITE DE FUIRE LES LIEUX POUR LA POPULATION	Faible à nulle	Totale : les personnes peuvent quitter une zone frappée par la sécheresse
POUVOIRS PUBLICS ET ADMINISTRATIFS LOCAUX	Le plus souvent totalement sinistrés, désorganisés, incapables de réagir	Maintenus en place
POUVOIRS PUBLICS NATIONAUX	Pas forcément capables de bien réagir en urgence, faute de moyens ou de volonté politique	Possibilités techniques et politiques de réaction plus faciles. Pas de décisions à prendre en urgence.
CAPACITE D'ACCES POUR LES SECOURS OU LES ONG	Toujours difficile, souvent impossible	Capacité d'accès maintenue à 100 %
AMPLEUR DES MOYENS DE SECOURS A DEPLOYER	Très importants	Modestes
RISQUES SANITAIRES ET EAU POTABLE	Très élevés. En général, il n'y a plus d'eau potable	Faibles à nuls. En général, l'eau potable reste disponible
POSSIBILITE DE LIVRER DES VIVRES POUR LES SINISTRES	Souvent faible à nulle : le risque de famine est important	Capacité maintenue à 100 %. Le risque de famine est réduit
POSSIBILITE DE VENTE DE PATRIMOINE PAR LES SINISTRES POUR ACHETER DES VIVRES	Le plus souvent impossible : beaucoup de sinistrés ont tout perdu	Souvent possible, notamment par vente d'animaux

POSSIBILITE DE REVENIR CHEZ EUX POUR LES HABITANTS	Variable, parfois limitée, souvent tardive. Reconstruction coûteuse et difficile	Très vite possible
COUT EN POINT DE P.I.B.	Elevé à très élevé pour les crues de grande ampleur	Modeste
POSSIBILITE DE LUTTE STRUCTURELLE ET DURABLE CONTRE LE RISQUE	Faible à nulle, sauf investissements très élevés (barrages en retenue totale, digues, etc.)	Importante et pas forcément très coûteuse : forages, petits barrages. Amélioration des pratiques culturelles, par le développement de l'élevage, etc.
TENDANCE LOURDE AU NIVEAU MONDIAL	Aggravation de la vulnérabilité aux crues liée à la poussée démographique et au développement corrélatif de l'habitat, de l'urbanisation et des infrastructures	Réduction constante du risque et de la vulnérabilité, liée aux progrès de la technologie des forages, et de l'irrigation, au désenclavement, aux progrès de la productivité de l'agriculture et de l'élevage, etc.