

CHAPITRE 4

Prévention des risques

CHEIKH CISSÉ, LAMINE DIARRA,
ALMOUSTAPHA FOFANA, PIERRICK GIVONE

Introduction

Méthodologie

La prévention des catastrophes naturelles a d'autant plus d'importance que la confrontation des « systèmes naturels » et des « systèmes humains » génère, et générera de plus en plus compte tenu de l'importance croissante des « systèmes anthropiques » – en particulier urbains –, des enjeux tellement considérables que le développement global des sociétés peut être durablement gêné, voire arrêté pendant de nombreuses années. Les économistes considèrent en effet que, si une catastrophe naturelle met en jeu une proportion relativement faible (10 % est un ordre de grandeur admis) de l'équivalent du Produit Intérieur Brut (PIB) de la zone géographique concernée par l'évènement, le développement de cette zone sera compromis pendant de nombreuses années, voire une génération, au sens où cette durée sera au moins nécessaire pour retrouver le niveau de développement atteint avant la catastrophe.

On peut ainsi pronostiquer d'une manière quasi certaine une dégradation de notre capacité de développement compte tenu de la croissance rapide de mégapoles exposées notamment celles de la zone intertropicale qui sont le lieu où, précisément et de plus en plus, se forme le PIB des régions et des États. De plus, l'accroissement induit

de risques en cascade naturels mais aussi technologiques voire sociaux, induit le sentiment croissant du « risque insupportable » par les sociétés.

Les exemples abondent dans l'actualité mondiale récente, du Vietnam (crue du Mékong) à l'Inde (mousson catastrophique), précédant la Turquie et Taiwan (séisme catastrophique). En Europe, les crues de l'Oder et du Rhin sont restées dans toutes les mémoires sans parler des cyclones et des moussons qui frappent durement l'Amérique du sud, l'Asie, et bien sur de l'Afrique.

Tous les pays concernés par les inondations, soit une forte majorité à l'échelle mondiale, ont réalisé diverses études conduisant à des recommandations pour lesquelles la partie méthodologique met en exergue un petit nombre d'éléments essentiels dont :

- la gestion des incertitudes pour mieux appréhender les phénomènes extrêmes en analysant des scénarios prospectifs, y compris dans la cartographie des aléas, qu'il faut améliorer et généraliser ;
- l'approche intégrée qui se définit comme : « le besoin d'une approche pluridisciplinaire fondée sur une intégration des sciences de la nature, des sciences de l'ingénieur et des sciences humaines ».

Ces deux points sont particulièrement pertinents sur le bassin versant du Niger. Il faudrait y ajouter le besoin d'une structure institutionnelle opérationnelle au quotidien, à l'échelle du bassin versant, tant il est vrai que les éléments méthodologiques ne valent que par leur mise en application fonctionnelle.

De ce point de vue plus opérationnel, les différents rapports constatent tous un certain nombre de faiblesses – en particulier en métrologie de l'environnement (au sens large : il s'agit de produire les systèmes d'informations utiles)- et souhaitent très clairement que l'ensemble des acteurs concernés, non seulement scientifiques et techniques, mette systématiquement leurs ressources en commun et fasse de cette intégration leur moyen d'action le plus efficace.

Les éléments d'analyse de la thématique « risques naturels »

La thématique « risques naturels », comme nous venons de le voir, concerne et intéresse de nombreux opérateurs à l'échelle mondiale dans le monde de la recherche comme dans celui des prescriptions techniques, administratives, juridiques et législatives. La prévention et la prévision des catastrophes naturelles suscitent toujours, à l'échelle mondiale, une forte demande sociale que les résultats de la recherche contribuent à satisfaire. Dans les seuls secteurs scientifiques et techniques, de nombreuses disciplines/thématiques sont concernées, sans (le plus souvent) qu'une action programmatique intégrée, dédiée spécifiquement aux risques naturels en tant qu'objets globaux identifiés, n'apparaisse réellement.

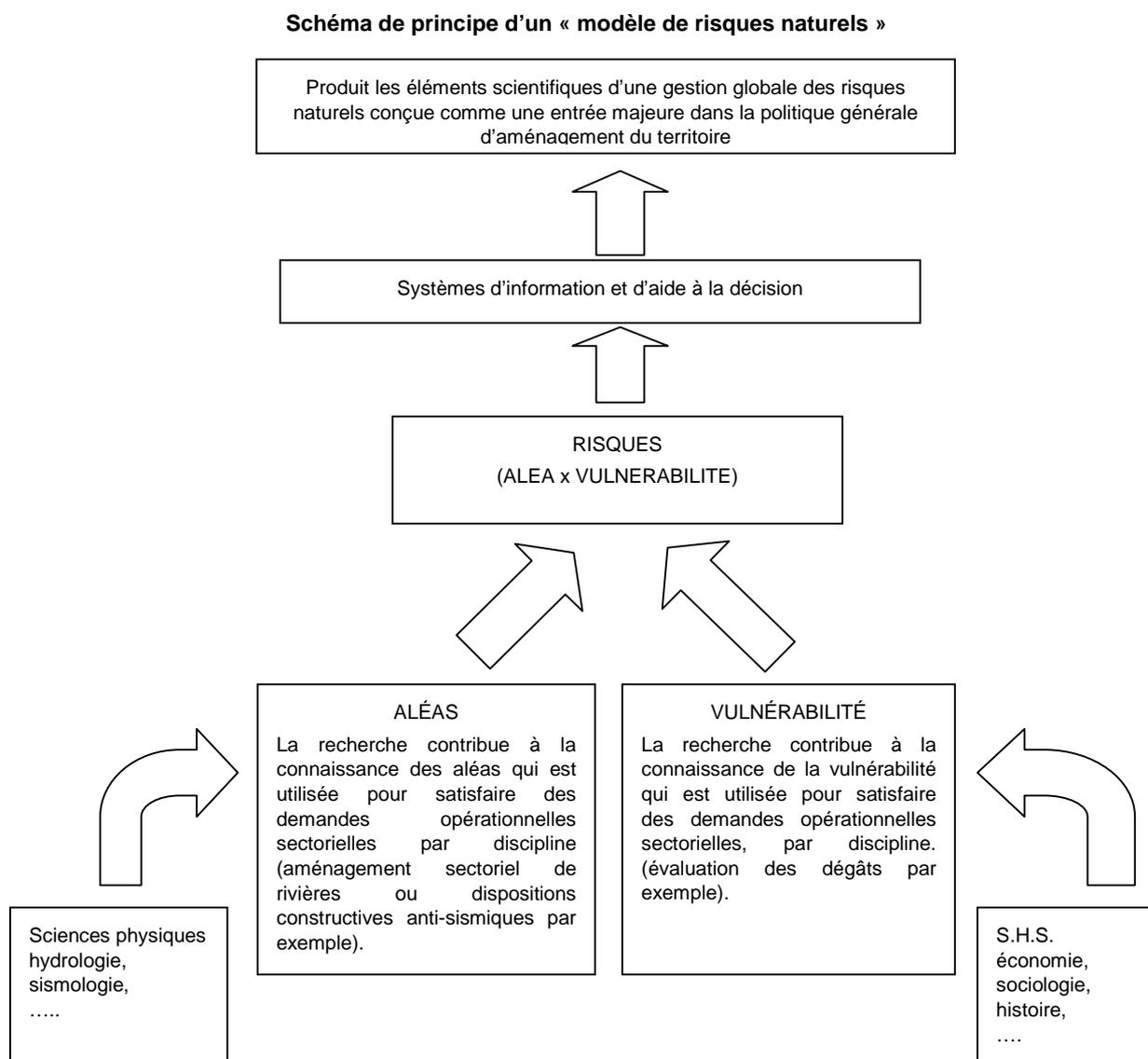
En conséquence, il reste nécessaire de se livrer à un exercice minimum (mais périlleux) de délimitation méthodologique de la thématique que l'on considère. D'un point de vue strictement historique, le risque naturel était du domaine exclusif des Sciences humaines et sociales (SHS) à l'époque où il était vécu comme une manifestation de colère(s) divine(s). Ce point n'est pas à négliger, il fonde encore, et sur les 5 continents, des éléments de « culture sociale du risque » tout à fait importants et

dont on ne peut s'affranchir facilement en prônant simplement, par exemple, une approche rationnelle des crues et des inondations. Il s'est largement ensuite ouvert aux progrès des sciences physiques, jusqu'à d'ailleurs « bénéficiaire » de l'illusion technologique du « contrôle de la Nature » qui a longtemps prévalu et souvent inspiré nos politiques d'aménagement du territoire, au moins jusque dans les années soixante. Il reste que l'origine SHS du concept de risque fait que les premières échelles d'évaluation du risque n'étaient fondées que sur la seule perception des dégâts et, en fait, sur leur caractère plus ou moins supportable par la société. Ce n'est que bien plus tard que sont apparues les échelles d'aléas (le cas de l'échelle de Richter est très significatif) qui s'efforcent, depuis, d'être compatibles avec les échelles issues de cette perception initiale de la vulnérabilité.

De fait, ce n'est que bien plus récemment, depuis les années 1970 voire 80, que l'étude des risques naturels a gagné ce qui est très probablement sa vraie place, au confluent des Sciences Physiques (SP), considérées au sens le plus large comme les sciences des processus physiques concernés, à toute échelle de temps et d'espace, tels que la Géologie, l'Hydrologie, la Météorologie... et des Sciences humaines et sociales, y inclus les Sciences Politiques. D'une manière plus précise, l'ensemble des disciplines des Sciences de l'Univers (Géophysique, Sismique, Volcanologie, Hydrologie, Climatologie, Mécanique, Nivologie, Météorologie, Biochimie et Géochimie des milieux naturels, ...) est concerné, en couplage avec de nombreuses disciplines relevant des Sciences Humaines et Sociales (Sociologie, Économie, Histoire, Sciences Politiques, ...), au premier rang (au moins chronologiquement) desquelles la Géographie a beaucoup contribué, y compris au couplage « SP-SHS », à travers la Géographie physique qui ne connaît plus, aujourd'hui, l'importance qu'elle a eue jusque dans les années 1960-70.

Le modèle conceptuel le plus simple pour rendre compte de la thématique « risque naturel » est sans doute le modèle « aléa-vulnérabilité » : l'aléa renvoyant aux différents processus physiques (crues, séismes, avalanches, ...), la vulnérabilité traitant les enjeux socio-économiques menacés par l'aléa. La confrontation, le couplage, la juxtaposition voire la convolution d'un aléa et d'une vulnérabilité produit généralement et définissent un risque de manière plus ou moins quantifiée selon les modalités de couplage.

Adopter cette grille de lecture (qu'il faut certainement affiner) en découplant Sciences physiques et Sciences humaines et sociales permet de mieux cerner la thématique car très peu de projets et encore moins de programmes de recherche-développement experts traitent des deux composantes à la fois (aléa et vulnérabilité) et donc des « risques » au sens de la cindynique. Ce découplage doit cependant se réaliser en conservant à l'esprit que le but final est bien d'organiser, au moins ultérieurement, un vrai couplage destiné à la production de connaissances dans le domaine des risques naturels au sens complet du terme et à la mise en œuvre de ces connaissances au sein de véritables projets opérationnels que cette expertise doit préfigurer. On montre ci-dessous un modèle simplifié plutôt adapté à des projets de recherche/développement.



Le fait de « passer à l'opérationnel » ne remet pas du tout en cause ce modèle théorique qui a fait la preuve de son efficacité dans de nombreux projets et programmes. Il faut toutefois y rajouter une composante essentielle qui relève de la profonde immersion dans la réglementation de tout projet concernant les risques naturels et, avant même de parler des textes, dans la « culture réglementaire et légale » qui prévaut dans le pays/région/système que l'on considère. Ce point, essentiel il faut le rappeler, est facilement compréhensible dès lors que la vulnérabilité est directement reliée à la gestion de l'occupation des sols et donc à la gestion de la propriété individuelle et collective qui sous-tend souvent l'architecture juridique (droit des sols mais aussi des ressources naturelles) de la zone d'application des programmes concernés.

Par conséquent, il n'est pas toujours possible de réduire les projets traitant de risques naturels à la seule physique des processus d'une part et à l'évaluation de la

vulnérabilité d'autre part. De nombreuses autres thématiques de recherche participent (globalement) à la production de connaissances et à leur mise en œuvre dans le domaine des risques naturels. Si l'on considère le risque sismique par exemple, les prescriptions constructives qui s'appliquent, via une réglementation, au génie civil ont été initiées par des recherches élaborées au sein de programmes de mécanique des structures et bien d'autres. Dans un domaine totalement différent, la cartographie du risque est un thème majeur et la sémiologie des cartes à produire un sujet de recherche parfois prioritaire pour certains risques (inondations par exemple) fait de la géomatique une discipline « satellite » importante.

Il faut donc considérer la thématique scientifique « risques naturels » comme résultant d'un continuum (au sein duquel l'étude des processus physiques concernés et les SHS sont deux domaines « piliers ») qui serait largement ouvert sur d'autres domaines scientifiques plus spécialisés qu'il faut mobiliser en tant que besoin, de la mécanique aux sciences de la communication et à la géomatique, en passant par beaucoup d'autres.

Il s'agit bien de la « thématique » risques naturels, et non pas de la « discipline » risques naturels : le niveau d'agrégation entre les disciplines ne se produisant pas au niveau disciplinaire lui-même mais à un niveau intermédiaire entre les disciplines et l'ingénierie (en particulier dans l'ingénierie purement sectorielle : génie civil, aménagement hydraulique, ...) et en réalisant donc une intégration complète.

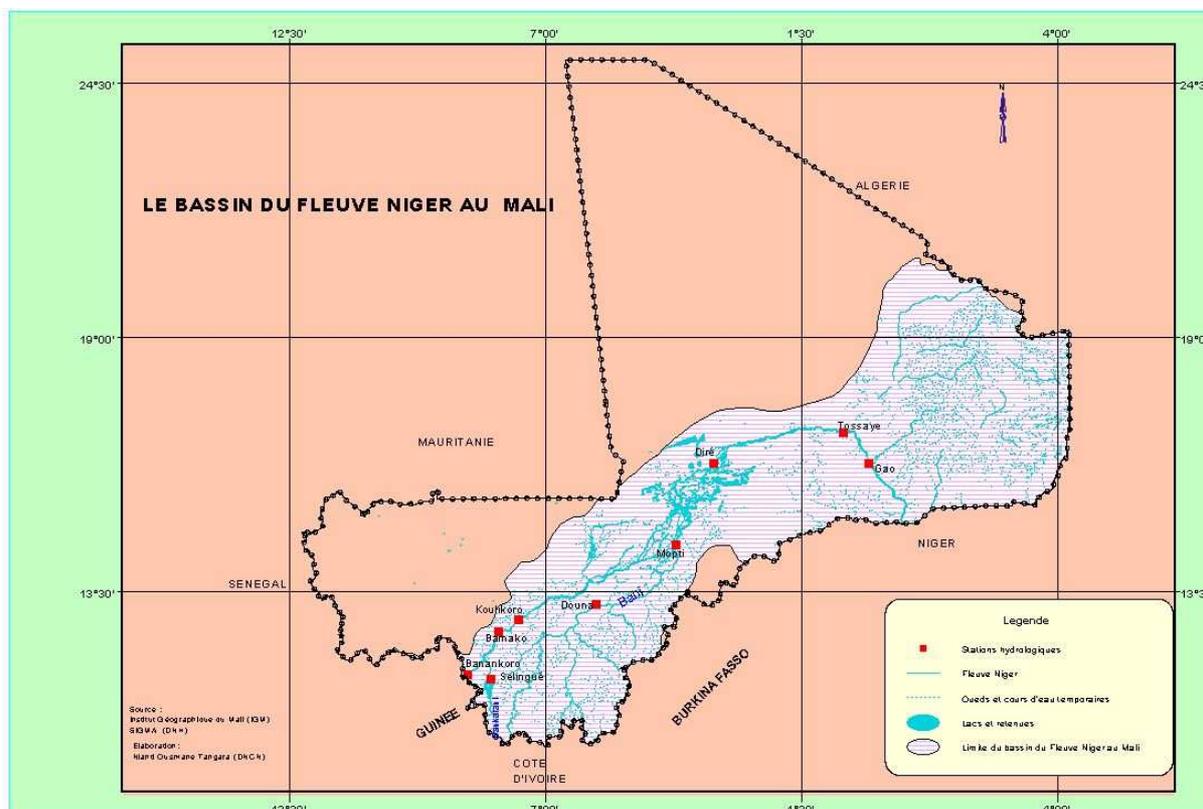
Cette agrégation, ou ce couplage, dégagent des objets de recherche/développement (et pas uniquement des objets technologiques) thématiques qui ne se confondent pas avec les objets de recherches disciplinaires que l'on doit continuer et contribuer (par l'étude des risques naturels) à consolider comme des éléments essentiels du couplage. Cette vision classique à trois niveaux (qui ne prétend évidemment pas éliminer complètement les zones de flou entre les niveaux) s'appuie sur le niveau disciplinaire, le niveau thématique (celui de l'agrégation et du couplage) et le niveau de l'ingénierie et de l'application opérationnelle.

Des programmes ou des projets pluridisciplinaires réalisant un couplage serré entre les Sciences physiques et les SHS et collaborant avec d'autres disciplines « satellites » (la géomatique étant prioritaire) pour mettre en évidence et traiter des objets de recherche pertinents (au niveau thématique) en termes de risques naturels sont les mieux à même de satisfaire les besoins scientifiques fondamentaux de la thématique, de préparer des opérations de transfert vers l'ingénierie et donc de répondre à la forte demande sociale qui s'exprime. De ce point de vue, l'expertise en cours sur le fleuve Niger est exemplaire ; il faudra veiller à ce que « sa mise en opérationnalité » soit réelle, en particulier en mobilisant les bonnes structures institutionnelles.

Le contexte géographique

Le fleuve Niger est le troisième des grands fleuves d'Afrique (après le Nil et le Congo), tant par sa longueur (4 200 km) que par la superficie de son bassin théorique (2 000 000 km²) qui occupe le cœur de l'Afrique de l'Ouest et une partie de l'Afrique Centrale (Yaya, 1995).

Le bassin du fleuve Niger (figure 1) couvre les territoires de 10 pays africains dans les proportions suivantes : Algérie 3 %, Bénin 2 %, Burkina Faso 4 %, Cameroun 4 %, Côte d'Ivoire 1 %, Guinée 6 %, Mali 25 %, Niger 22 %, Nigéria 32 %, Tchad 1 % (Yaya, 1995).



Source : Tangara, janvier 2004

Figure 1 - Carte du bassin du fleuve Niger

Le bassin du fleuve Niger occupe une position particulière au Mali, pays enclavé et continental situé au cœur de l'Afrique de l'Ouest, dans lequel il parcourt 1 750 km. En effet, la portion du pays dans le bassin constitue 48 % de la superficie totale du Mali, vaste de 1 240 000 km².

Le fleuve Niger est constitué par la réunion de quatre branches-mères en Guinée (le Niger lui-même, le Tinkisso, le Niandan et le Milo).

- Au Mali, le bassin du fleuve est conventionnellement subdivisé en trois parties :
- le Haut-Niger allant de la frontière guinéenne à Markala et le haut bassin du Bani ;
 - le delta intérieur allant de Markala à Koryoumé (Tombouctou) ;
 - le Niger moyen allant de Koryoumé à la frontière nigérienne.

Le haut-Niger

Le fleuve draine dans cette partie, l'ensemble des eaux venant du haut bassin guinéen ainsi que les apports intermédiaires de ses affluents dont les principaux sont :

- le Fié qui rejoint le fleuve à 20 km en amont de la localité de Kangaba ;
- le Sankarani qui rejoint le fleuve à quelque 70 km en amont de Bamako ;
- le Bani en amont de Douna.

La cuvette lacustre (delta intérieur)

C'est une vaste zone d'épandage des eaux du fleuve entre Markala et Tombouctou formée d'un réseau très complexe de bras, de défluent et de lacs.

Le réseau hydrographique du delta est formé :

- de bras principaux dont le tracé est bien défini; Niger, Issa Ber, Bani, Diaka, Bara Issa et Koli Koli ;
- de nombreux bras secondaires (affluents ou défluent des bras principaux) constituant un réseau complexe ;
- de lacs et de mares alimentés par les crues du fleuve ou les précipitations locales ;
- de plaines d'inondation submergées en période de crue.

À cause de la faible pente dans le delta, la topographie elle-même est ondulée si bien que, pendant la crue annuelle, les eaux dérivent des chenaux pour s'épandre sur de grandes surfaces. Au cours de cet épandage, les chenaux secondaires sont alimentés et, par la suite, les bas-fonds se trouvant à l'exutoire de ces bras. Il se forme ainsi des lacs dont l'alimentation dépend du régime hydrologique du Niger.

La vallée du Niger entretient des conditions de vie pour l'homme, conserve la diversité biologique et abrite une faune et une flore riches dans un milieu, autrement, désertique. Le fleuve Niger constitue donc l'artère nourricière des régions traversées, en particulier pour plus de 70 % de leur population totale dont il conditionne les activités économiques essentielles que sont l'agriculture irriguée, l'élevage, la pêche, la chasse et la cueillette.

Le delta intérieur du Niger qui s'étend sur plus de 40 000 km² constitue une des particularités écologiques les plus remarquables.

Le delta intérieur du Niger appartient à la zone éco-climatique sahélienne avec une pluviométrie inférieure à 550 mm/an. Elle couvre 18 % du territoire et représente une zone de prédilection de l'élevage transhumant avec d'importantes zones inondables propices aux pâturages et aux cultures irriguées et/ou de décrue.

Le Niger moyen

Le fleuve traverse sur ce tronçon une zone aride sans apports hydrologiques significatifs.

Le fonctionnement hydrologique de la cuvette dépend essentiellement :

- des régimes hydroclimatiques des hauts bassins du Niger et du Bani ;
- de l'évaporation et de l'infiltration dans la cuvette ;
- des conditions morphologiques du delta intérieur.

Les faibles pentes dans la cuvette entraînent des vitesses maximales du courant en surface n'excédant pas 0,3 à 0,6 m.s⁻¹ dans les bras principaux (Olivry *et al.*, 1993).

Entre Niafunké et Labbézanga (frontière de la République du Niger), le fleuve qui ne reçoit aucun affluent actif décrit une sorte de grande boucle de 900 km. Il coule dans un sillon dunaire large de 2 à 8 km en divaguant d'un bord à l'autre. On ne rencontre des berges rocheuses et un lit étroit que dans les tronçons où le socle affleure (défilé de Tossaye, succession des rapides au-delà d'Ansongo). Ailleurs, le fleuve comporte de multiples îles avec plusieurs chenaux parallèles au lit principal. La pente varie de 2 cm/km en aval (Brunet-Moret *et al.*, 1986).

Le fleuve Niger et ses principaux affluents (Sankarani et Bani) ont eu un écoulement moyen annuel de 1 704 m³.s⁻¹ durant la période 1952-99 en amont du delta, soit un volume de 54 milliards m³. Les valeurs extrêmes observées sont de 2 704 m³.s⁻¹ soit 85 milliards de m³ en 1967 et de 706 m³.s⁻¹, soit 22 milliards de m³ en 1984.

Le débit moyen annuel du fleuve Niger à Diré à la sortie du delta intérieur est de 926 m³.s⁻¹, soit un écoulement annuel de 29,2 milliards m³. Les valeurs observées en année humide (1967) et en année sèche (1984) sont respectivement de 1 070 m³.s⁻¹, soit 33,7 milliards de m³, et de 462 m³.s⁻¹, soit 14,6 milliards de m³.

État des lieux de l'inondation dans le bassin du fleuve Niger

Définitions : crue et inondation

Crue : vient du verbe croître ; désigne une brusque augmentation du débit d'un cours d'eau.

On classe les crues selon leur période de retour (méthode statistique : par exemple une crue décennale a une chance d'arriver tous les 10 ans (ou une chance sur 10 par an), une crue centennale une chance d'avoir lieu tous les siècles (ou une chance sur 100 par an).

Inondation : stade d'une crue où le fleuve sort de son lit majeur et envahit les zones basses environnantes (vallée, plaine).

Cause des inondations

La première cause des inondations est bien sûr une concentration de précipitations dans un court laps de temps. Les quantités sont telles qu'elles ne peuvent

s'infiltrer dans le sol entièrement et qu'elles excèdent les capacités d'évacuation d'eau des lits fluviaux, d'où un débordement du cours d'eau.

Les inondations peuvent, parfois, être accidentelles dans le cas de rupture d'un barrage ; mais ce cas est rare.

Certaines conditions peuvent accroître l'ampleur des crues et de leurs dégâts :

- la déforestation excessive des versants dénude le sol ; l'eau est donc moins ralentie dans son ruissellement. Elle s'infiltrer moins et converge plus vite vers les cours d'eau ;
- l'occupation par les activités humaines des zones inondables accroît les risques de dégât.

Impact des inondations

Impacts directs

Mort d'hommes.

Destruction de biens matériels, de production ou d'équipements : habitations, locaux de travail ; destruction des récoltes et mort du bétail.

Rupture des réseaux : routes, réseaux de téléphone et d'électricité, réseaux d'eau.

À court terme

Les inondations peuvent entraîner des épidémies lors de la stagnation des eaux, surtout si les cadavres des animaux ne sont pas rapidement brûlés.

On peut observer un lessivage des sols (donc un appauvrissement) ainsi que d'importants phénomènes d'érosion emportant la végétation.

Des phénomènes de sédimentation massive et ponctuelle sont aussi fréquents : coulées de boue recouvrant tout sur leur passage et pouvant plus tard être un obstacle à l'écoulement normal des rivières (formation de « bouchons »).

Pertes dues aux inondations (cas de l'année 1999)

Les fortes pluies de l'année 1999 ont causé d'importants dégâts dans tous les domaines de la vie socio-économique du pays. Aux pertes en vies humaines se sont ajoutées des pertes de bétail, des destructions de cultures, des dégâts sur les infrastructures, sur des habitations et sur les autres biens (tableau 1).

| Pertes | Observations |
|-------------------------------|--|
| Pertes en vie humaines | 12 morts |
| Risques socio-sanitaires | La dégradation de l'environnement provoquée par les inondations a eu des conséquences liées aux maladies hydriques parasitaires et virales : risque de choléra, de fièvre jaune et de méningites, déplacement de population ; ce qui a des conséquences sur les cellules familiales les plus vulnérables (les enfants) |
| Pertes en biens personnels | 400 t de céréales perdus à Mopti, Koulikoro et Tombouctou |
| Pertes en animaux | - Segou 324 ovins/caprins, 42 porcins et 100 bovins - Tombouctou : 2 318 ovins /caprins, 49 bovins et 5 ânes |
| Pertes en volailles | 1858 volailles emportées à koulikoro et Segou |
| Pertes en intrants agricoles. | 240 l d'insecticide, 10 sacs d'urée, 25 sacs de phosphate naturel de Télémsi, 7 sacs d'engrais |
| Autres pertes | 45 magasins , 5 cuisines. 25 toilettes, 17 vestibules, 1 cuve de carburant. 16 puits, 1 mosquée, 4 lits, des ustensiles de cuisine et des vêtements |
| Pertes monétaires | 384 500 Fcfa disparu dans les inondations |

Tableau 1 - Pertes dues aux inondations de l'année 1999

Aperçu sur le régime hydrologique du fleuve Niger

La pente du fleuve Niger

La baisse d'altitude du Niger entre Banankoro (frontière guinéenne) et Koulikoro atteint 40 m sur une distance de 200 km, ce qui équivaut à une pente hydrologique de 20 cm/km. Avec une telle pente, la vitesse d'écoulement est bonne. De Koulikoro à Ké-macina (l'entrée du delta), la pente est seulement de 20 m sur une distance de 500 km, ce qui donne une pente de 4 cm/km. Ainsi, la pente hydrologique en aval de Koulikoro est seulement de 20 % par rapport à celle en amont. Cependant, cette faible pente est suffisante pour permettre l'écoulement de l'eau de Koulikoro à Ké-macina en quelques jours. Dans le delta, la pente est encore plus faible qu'entre koulikoro et le DIN. Entre Ké-macina et Diré, la pente est inférieure à 15 m sur une distance de 850 km, donc de 2 cm/km.

Les pentes du Niger et du Bani sont faibles, si bien que la crue du DIN à partir de ces deux fleuves et de leurs bassins est d'une longue durée. La vitesse à laquelle l'eau s'écoule peut être décrite en détail puisque les niveaux d'eau et les débits sont relevés une ou deux fois par jour le long des fleuves, à diverses stations hydrologiques, depuis une longue série d'années.

La faiblesse de la pente à l'intérieur du delta a des effets évidents sur la vitesse à laquelle l'eau passe à travers la zone. Un système pour décrire l'écoulement de l'eau est de comparer sur plusieurs sites la date à laquelle la hauteur d'eau atteint son maximum.

Évolution des débits maximaux

Les années d'inondation pertinentes répertoriées d'après les observations hydrologiques sont celles de 1967, 1969, 1994, 1999, 2001 et 2003 (tableau 2 et figures 2, 3 et 4).

| Années Stations | 1967 | 1969 | 1994 | 1995 | 1999 | 2001 | 2003 |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Banankoro (hauteur en cm) | 7 110 | 5 840 | 4 710 | 5 030 | 3 970 | 4 960 | 4 130 |
| Dates d'apparition | 7/10 | 6/9 | 24/9 | 28/9 | 20/9 | 12/9 | 3/9 |
| Bamako | 499 11/10 | 447 13/9 | 380 2/10 | 384 1/10 | 374 26/9 | 425 14/9 | 371 4/9 |
| Koulikoro | 9 340 12/10 | 7 850 14/9 | 5 790 3/10 | 5 870 2/10 | 5 350 26/9 | 6 790 15/9 | 5 380 6/9 |
| Douna | 3 230 24/9 | 2 320 20/9 | 1 880 28/9 | 966 2/10 | 2 320 7/9 | 1 250 14/9 | 1 940 1/10 |
| Kirango | 7 300 17/10 | 6 540 17/9 | 5 060 18/10 | 5 180 4/10 | 4 480 29/9 | 5 570 21/9 | 4 770 21/9 |
| Ké-Macina | 5 650 16/10 | 5 340 12/9 | 4 670 1/10 | 4 820 30/9 | 4 450 29/9 | 5 280 19/19 | 4 630 6/9 |
| Mopti | 3 740 11/11 | 3 280 15/11 | 3 050 22/10 | 2 640 11/10 | 3 110 12/10 | 2 720 13/10 | 3 010 14/10 |
| Diré | 2 410 27/12 | 2 330 16/12 | 2 250 12/12 | 2 010 24/11 | 2 130 14/11 | 2 010 7/11 | 2 110 24/11 |

Tableau 2 - Débits maximum observés au niveau de certaines des principales stations hydrométriques dans le bassin du fleuve Niger et dates d'apparition

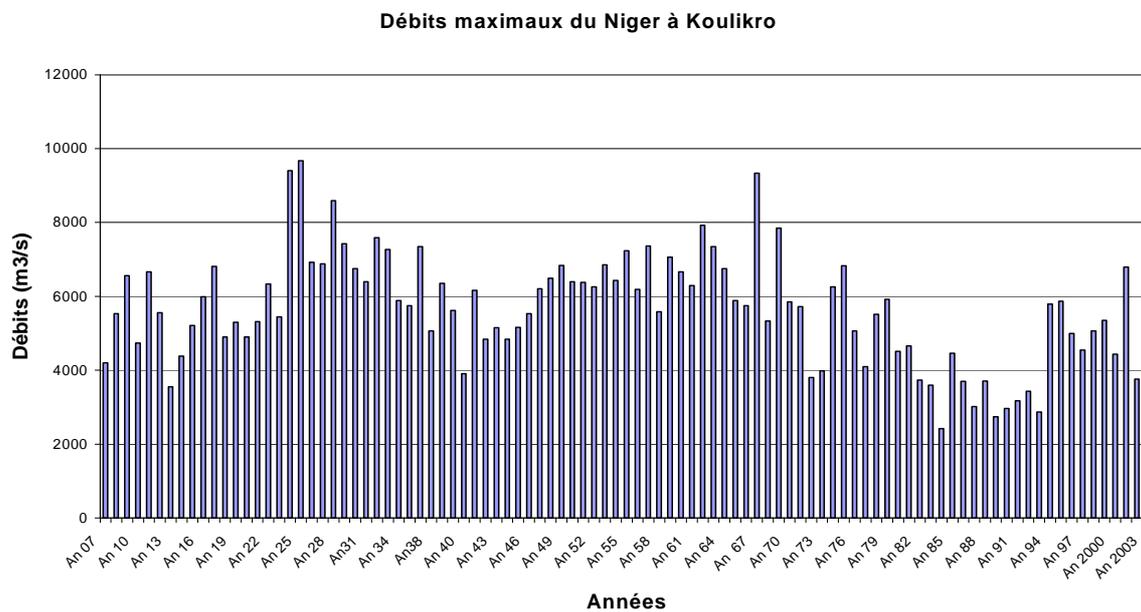


Figure 2 - Évolution des débits maximaux du Niger à Koulikoro

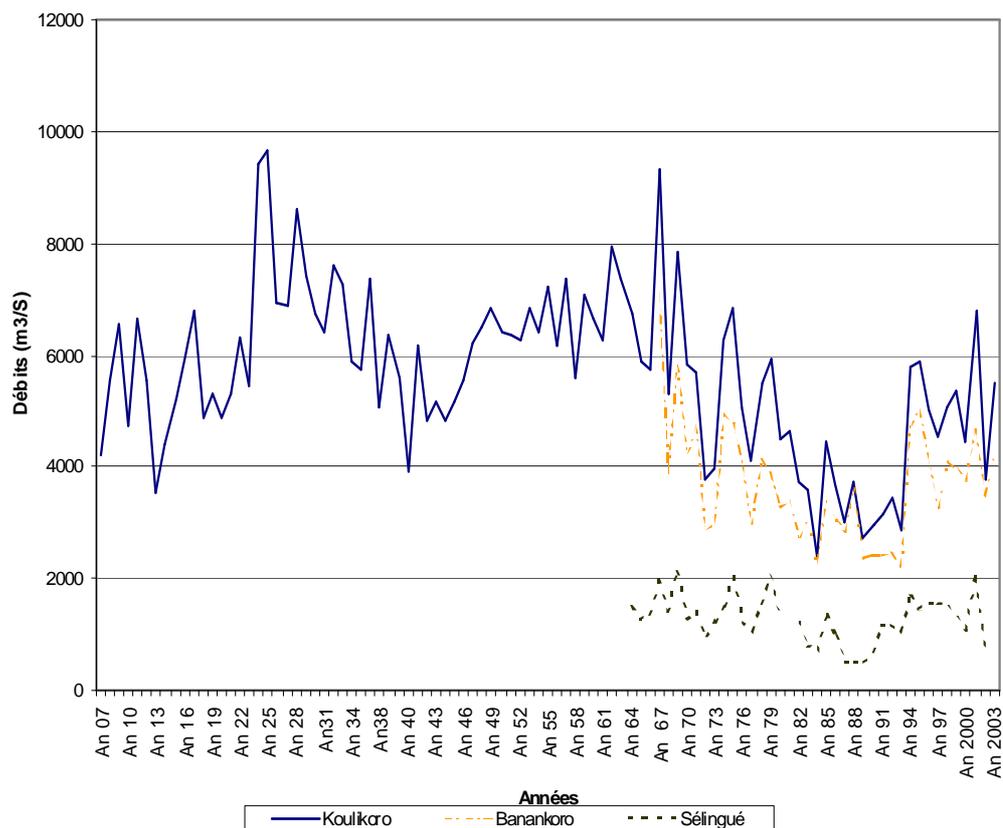


Figure 3 - Variation des débits maximaux à Sélingué, Banankoro et Koulikoro

À Koulikoro, depuis le début du siècle dernier jusqu'en 2003, les débits maximaux ont varié entre $9\,670\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ en 1925 et $2\,400\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ en 1984 .

À Banankoro, de 1967 date de la création de la station jusqu'en 2003, les débits maximaux ont varié entre $7\,110\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ en 1967 et $2\,210\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ en 1984.

À Sélingué, de 1964 à 2003, les débits maximaux ont varié entre $2\,130\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ en 1969 et $712\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ en 1984 (figure1).

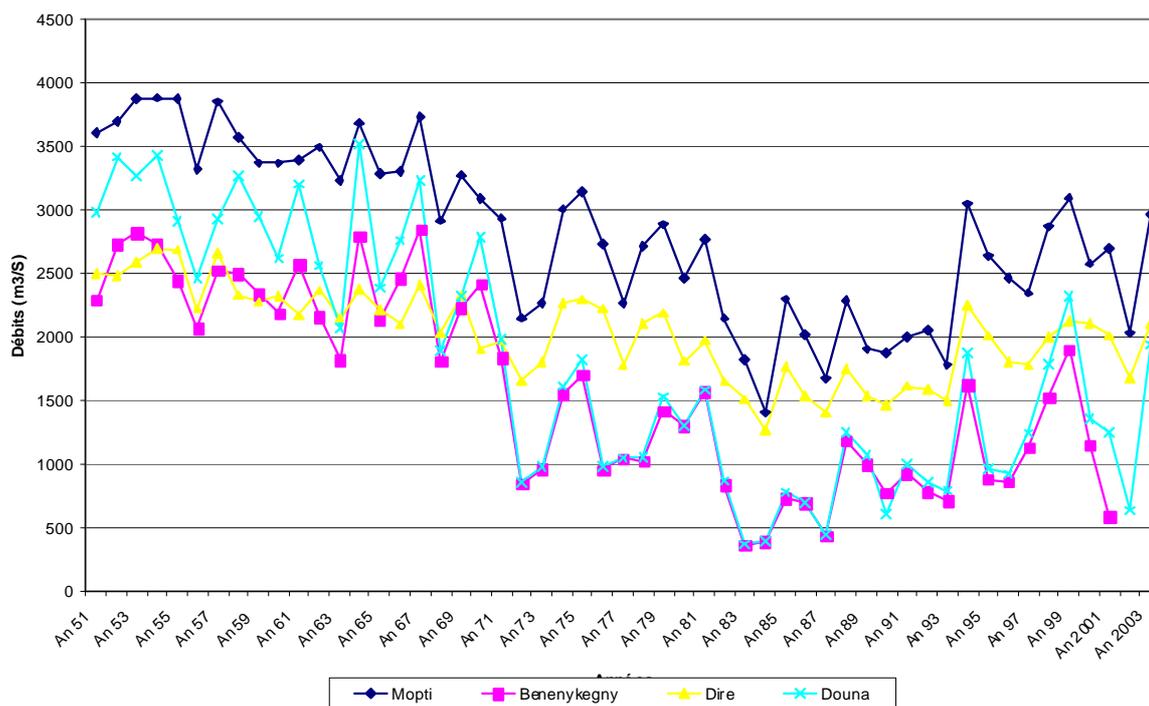


Figure 4 - Variation des débits maximaux à Mopti, Douna, Bénény, Kégny et Diré

À Douna sur le Bani, de l'année 1951 à 2003, les débits maximaux ont varié de 3 520 m³.s⁻¹ en 1964 à 385 m³.s⁻¹ en 1984.

À Benény Kégny également sur le Bani en aval de la station de Douna, de 1951 à 2003, les débits maximaux ont varié de 2 850 m³.s⁻¹ à 387 m³.s⁻¹ en 1984.

À Mopti sur le Bani, les débits maximaux ont varié de 3 890 m³.s⁻¹ en 1954 à 728 m³.s⁻¹ en 1984.

À Diré sur le Niger, les débits maximaux ont varié de 2 700 m³.s⁻¹ en 1954 à 1 400 m³.s⁻¹ en 1972 (figure 2).

Prévention des risques des excès du régime du fleuve Niger

Prévention et prévision

Il n'est pas toujours simple de faire la différence entre ces deux éléments essentiels de l'action publique en matière de risques naturels ; ceci d'autant plus que le langage commun, y compris au sein des services techniques, tend à les mélanger. Ces deux éléments sont pourtant de nature très différente sur le plan scientifique et technique, bien entendu, mais aussi d'après les organisations opérationnelles différenciées qu'il faut mettre en place pour les traiter.

Les actions, et donc les systèmes de prévision des catastrophes naturelles, sont d'abord des systèmes technologiques (quels que soient les aléas considérés) basés sur de la métrologie évoluée de paramètres environnementaux, puis sur des systèmes d'analyse des paramètres acquis et, enfin, sur des systèmes d'aide à la décision et de gestion de crise et d'après-crise. Apporter une attention soutenue à ces systèmes opérationnels conduit à mettre en place une recherche-développement forte (et souvent technologique) dans les divers domaines considérés, de la métrologie environnementale (y inclus satellitaire, radar, Lidar, ...) à l'aide à la décision, et à acquérir et défendre des positions économiques et commerciales sur ces créneaux. Typiquement, des pays comme l'Allemagne, les USA, le Japon ou le Royaume-Uni se placent dans cette optique ; ce qui ne signifie évidemment pas pour autant qu'ils n'aient aucune action dans le champ de la prévention. En conclusion, maintenir un système de prévision moderne des crues, à l'échelle du bassin versant (BV) du Niger, implique la mise en place et la maintenance d'une technologie relativement sophistiquée dédiée au temps réel et, donc, de services techniques coordonnés dans les différents pays concernés ainsi que des moyens – ce qui n'est pas toujours simple dans le contexte africain – d'informer la population en temps réel.

Les actions de prévention sont de nature très différente : elles privilégient la gestion à long terme de l'occupation des sols face aux phénomènes physiques ; et la problématique dominante est d'abord dans le champ de la décision publique et du débat public, ce qui ne signifie pas pour autant que la connaissance des phénomènes physiques soit à négliger : elle seule, le plus souvent, étant capable de produire des éléments quantitatifs objectifs qui participent à la décision et qui, le plus souvent, la fondent. Considérer ces actions comme prioritaires conduit à mettre en place une recherche dans le domaine de la décision publique, sans doute moins facilement qualifiable et moins visible qu'une recherche technologique, mais tout aussi importante, surtout si on lui donne sa réelle dimension fédérative et multidisciplinaire. Les pays qui défendent cette position (typiquement la France) soutiennent qu'elle implique que l'on considère la notion de risque dans sa globalité (ce qui reste, certes, à préciser) et pas seulement son aspect « phénomène physique dont on cherche à prévoir l'occurrence et/ou l'extension spatiale et temporelle ». De ce point de vue, la notion de risque, explicitée comme le croisement d'un aléa (phénomène physique) et d'une vulnérabilité renvoyant à des enjeux socioéconomiques, prend tout son sens. Compte tenu du

fonctionnement largement intégré du BV du fleuve Niger, et encore plus de son delta intérieur, cette position devrait être soutenue par les pays concernés.

Cote d'alerte

La connaissance de la cote d'alerte passe par l'analyse fréquentielle des hauteurs maximales ou des débits maximaux suivant la disponibilité des données de la station hydrologique donnée.

Analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés caractéristiques d'un processus donné (hydrologique ou autre) afin d'en définir les probabilités d'apparition future.

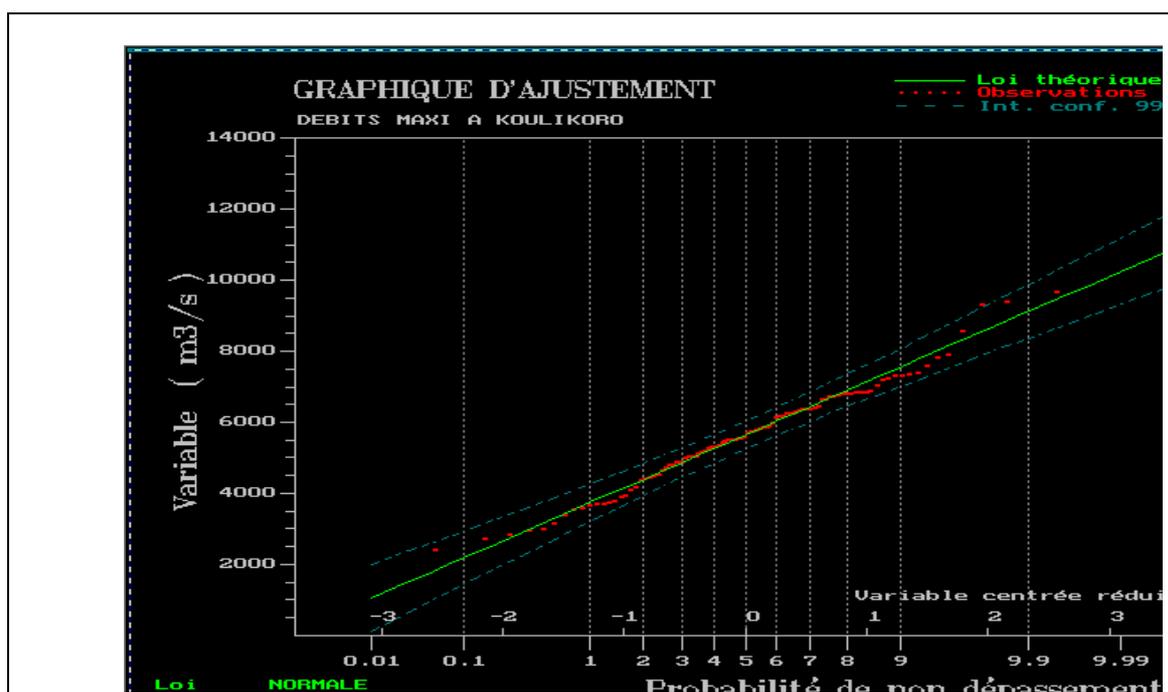
Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel qui est une équation décrivant le comportement statistique d'un processus. Ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée.

L'analyse fréquentielle fait appel à diverses techniques statistiques et constitue une filière complexe qu'il convient de traiter avec beaucoup de rigueur.

La validité des résultats d'une analyse fréquentielle dépend du choix du modèle fréquentiel et plus particulièrement de son type.

Ainsi, nous avons choisi les débits maximaux des principales stations dans le bassin du fleuve Niger afin d'en déterminer les crues avec les périodes de retour (figure 5). La cote correspondant à une crue centennale est considérée comme une cote critique qui provoquerait à tout point de vue l'inondation des villes riveraines du fleuve Niger.

Figure 5 - Analyse fréquentielle des débits maximaux de la station de Koulikoro



La loi normale a été utilisée avec la méthode du maximum de vraisemblance pour l'analyse fréquentielle des débits maximaux à Koulikoro.

En année médiane, le débit maximum sera de $5\,655\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. La crue centennale humide donnera un débit maximum de $9\,118\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (tableau 5). La crue millennale donnera un débit maximum de $10\,255\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (figure 5 et tableau 3).

| Probabilités | Débits (m^3/s) | Intervalle de confiance à 99 % | |
|---------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------|
| | | Borne inférieure | Borne supérieure |
| 0,0010 | 1 055,225 | 114,865 | 1 995,585 |
| 0,0020 | 1 370,890 | 483,552 | 2 258,228 |
| 0,0050 | 1 820,908 | 1 007,814 | 2 634,001 |
| 0,0080 | 2 069,357 | 1 296,429 | 2 842,285 |
| 0,0100 | 2 192,258 | 1 438,943 | 2 945,573 |
| 0,0200 | 2 598,018 | 1 908,043 | 3 287,993 |
| 0,0500 | 3 206,655 | 2 606,426 | 3 806,883 |
| 0,0800 | 3 563,567 | 3 011,949 | 4 115,185 |
| 0,1000 | 3 747,425 | 3 219,340 | 4 275,511 |
| 0,1500 | 4 112,281 | 3 627,129 | 4 597,433 |
| 0,2000 | 4 402,257 | 3 946,889 | 4 857,624 |
| 0,3000 | 4 874,436 | 4 457,084 | 5 291,788 |
| 0,4000 | 5 277,896 | 4 880,351 | 5 675,441 |
| 0,5000 | 5 655,000 | 5 263,685 | 6 046,315 |
| 0,6000 | 6 032,104 | 5 634,559 | 6 429,649 |
| 0,7000 | 6 435,564 | 6 018,212 | 6 852,912 |
| 0,8000 | 6 907,743 | 6 452,376 | 7 363,111 |
| 0,9000 | 7 562,575 | 7 034,489 | 8 090,660 |
| 0,9500 | 8 103,345 | 7 503,117 | 8 703,574 |
| 0,9900 | 9 117,742 | 8 364,427 | 9 871,057 |
| 0,9950 | 9 489,092 | 8 675,999 | 10 302,186 |
| 0,9990 | 10 254,775 | 9 314,415 | 11 195,135 |
| 0,9999 | 11 190,713 | 10 089,764 | 12 291,662 |

Tableau 3 - Probabilité d'apparition des débits maximaux à Koulikoro

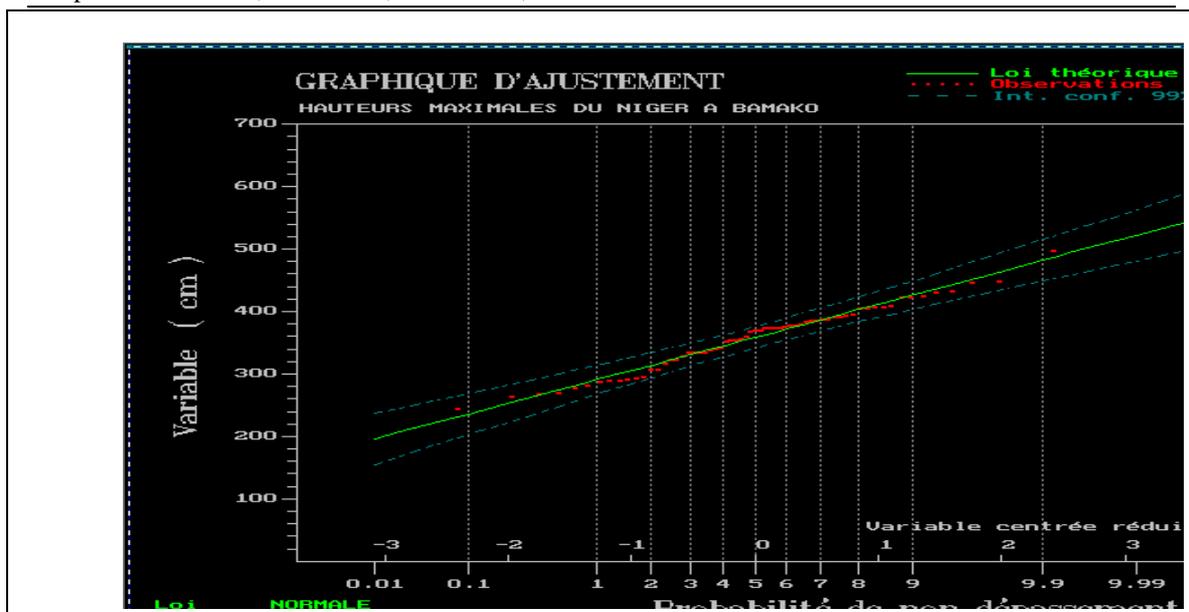


Figure 6 - Analyse fréquentielle des hauteurs maximales à la station de Bamako

La loi normale a été utilisée avec la méthode du maximum de vraisemblance. En année moyenne, la cote de 359 cm sera observée à Bamako tandis que la centennale humide donne une cote de 482 cm (tableau 5). En millennale humide, une cote de 555 cm sera observée à Bamako (figure 6 et tableau 4).

| Probabilités | Hauteurs (cm) | Intervalle de confiance à 99 % | |
|--------------|---------------|--------------------------------|------------------|
| | | Borne inférieure | Borne supérieure |
| 0,0001 | 162,539 | 114,300 | 210,779 |
| 0,0010 | 195,761 | 154,558 | 236,964 |
| 0,0020 | 206,966 | 168,086 | 245,846 |
| 0,0050 | 222,939 | 187,312 | 258,566 |
| 0,0080 | 231,758 | 197,891 | 265,625 |
| 0,0100 | 236,120 | 203,113 | 269,128 |
| 0,0200 | 250,523 | 220,291 | 280,755 |
| 0,0500 | 272,127 | 245,827 | 298,427 |
| 0,0800 | 284,796 | 260,626 | 308,965 |
| 0,1000 | 291,322 | 268,183 | 314,460 |
| 0,1500 | 304,272 | 283,015 | 325,530 |
| 0,2000 | 314,565 | 294,613 | 334,518 |
| 0,3000 | 331,325 | 313,038 | 349,612 |
| 0,4000 | 345,646 | 328,227 | 363,065 |
| 0,5000 | 359,032 | 341,886 | 376,178 |
| 0,6000 | 372,417 | 354,998 | 389,836 |
| 0,7000 | 386,738 | 368,451 | 405,025 |
| 0,8000 | 403,498 | 383,546 | 423,451 |
| 0,9000 | 426,742 | 403,603 | 449,881 |
| 0,9500 | 445,937 | 419,637 | 472,237 |
| 0,9900 | 481,943 | 448,936 | 514,951 |
| 0,9950 | 495,124 | 459,497 | 530,751 |
| 0,9990 | 522,303 | 481,099 | 563,506 |
| 0,9999 | 555,524 | 507,284 | 603,764 |

Tableau 4 - Probabilité d'apparition des hauteurs maximales à Bamako

| Stations | Cote à la crue centennale (cm) | Débits à la crue centennale (m ³ .s ⁻¹) |
|-----------|--------------------------------|--|
| Banankoro | 950 | 7 035 |
| Bamako | 482 | * |
| Koulikoro | 790 | 9 118 |
| Mopti | 740 | 4 348 |
| Dire | 600 | 2 784 |

Tableau 5 - Débits et cote à la crue centennale de quelques stations hydrométriques du bassin du fleuve Niger

Gestion des inondations

Gestion des inondations dans le delta

Les stratégies de mitigation des crues se composent de plusieurs types d'interventions en fonction de la nature de la zone inondable : plaine inondable, lacs et mares d'inondation.

Mesures structurelles

La régulation des inondations se fait par :

- la création de digues traditionnelles de gestion des crues sans ouvrage de gestion. Ce type d'ouvrages est détruit (ou simplement une brèche est ouverte dans le corps de la digue) après la crue pour évacuer l'excédent d'eau et effectuer les cultures de décrue sur les terres gorgées d'eau ;
- la création d'ouvrages de régulation, de réservoirs et de lâchers de crues artificielles : au niveau du barrage de Sélingué et du barrage de Markala. Cette gestion se fait en tenant compte des activités socio-économiques de l'aval comme l'Office du Niger et l'Office Riz Mopti ;
- l'endiguement pour la limitation de la superficie inondable et la régulation locale grâce à des ouvrages (canaux d'alimentation, digues et vannes ou seuils – en submersion contrôlée -). Ces techniques s'opèrent dans le delta intérieur du Niger. Elles se traduisent par l'isolement d'une zone dépressive en bordure du fleuve, appelée casier, et par la création des ouvrages appropriés pour gérer la crue. La plupart du temps, le casier est séparé du fleuve par une digue munie de vannes. L'inondation est admise et évacuée du casier par l'ouverture, l'ajustement et la fermeture des vannes, occasionnant une gestion efficace de la crue et une production agricole élevée (denrées agricoles, fourrage). Ces techniques sous des formes modifiées sont utilisées pour la protection des agglomérations contre les crues. Les techniques de protection des berges y sont associées. La technique de gabionnage est fortement utilisée ;
- l'amélioration de l'extension de la productivité des spéculations traditionnelles : des nouvelles variétés de riz ont été introduites dans le delta intérieur du Niger avec une répartition des espèces en fonction de l'importance de la crue par les ouvrages traditionnels et améliorés. Ces techniques ont fait l'objet de recherche

par l'IER et ont donné des résultats très appréciés au niveau des populations. La culture fourragère (Bourgou) a donné aussi des résultats satisfaisants dans ces conditions. Les diguettes établies suivant les courbes de niveau et les digues filtrantes ont trouvé en ces techniques un usage certain.

Pour l'irrigation, la création de canaux d'irrigation permettant l'irrigation gravitaire (là où la topographie le permet) et/ou le pompage permet l'évacuation des eaux d'inondation vers l'aval par la gestion des ouvertures (fermetures des vannes de casiers et ouverture des vannes du canal). Par contre, la gestion contraire permet l'accroissement du rendement agricole par les cultures de crue, de décrue et les cultures maraîchères.

La maîtrise des crues pour des besoins de la pêche se fait aussi par la création de digues de retenue des eaux d'inondation dans les bas-fonds de la zone inondée avant le retrait des eaux. Les poissons, emprisonnés dans cet espace, sont pêchés par des techniques traditionnelles après infiltration et évaporation d'une grande quantité d'eau emprisonnée.

Les techniques d'endiguement couplées avec la réalisation d'ouvrages de gestion et de régulation (vannes) semblent dominer les autres pratiques au niveau du delta central du Niger. Les zones lacustres continuent d'adopter la submersion contrôlée et la maîtrise totale.

La répartition suivante est observée dans le delta :

- les périmètres à maîtrise totale, comme l'Office du Niger, où deux cycles cultureux sont possibles (environ 60 000 ha) ;
- les périmètres à submersion contrôlée, comme l'Office Riz Ségou et l'Office Riz Mopti (environ 70 000 ha).

Mesures non structurelles

La prévision des crues et des inondations se fait suivant deux techniques distinctes : les méthodes traditionnelles de prévision qui sont basées sur les observations de phénomènes climatiques simples et des observations biologiques et physiologiques.

Les observations des phénomènes climatiques : depuis des temps reculés, les populations rurales émettent des prévisions de crue par les constats d'orientation des vents à l'approche de l'hivernage. Ainsi, les vents forts en provenance du sud ou du sud-est (selon les régions) sont annonciateurs de crues fortes. Il en est de même du temps et du mode de déplacement de certains types d'oiseaux tels que la cigogne permettant de prévoir une saison pluvieuse ou non. L'observation des végétaux (floraison), des insectes divers (surtout les fouisseurs) ont aussi permis des prévisions plus ou moins confirmées.

Les méthodes modernes de prévisions saisonnières sont apparues avec le développement des statistiques et l'acquisition de séries de données hydrométéorologiques plus ou moins longues. Les analyses fréquentielles des précipitations ainsi que les corrélations diverses ont permis de faire des prévisions quant au dimensionnement et au calage des cotes des ouvrages de maîtrise des eaux dont ceux

des crues. Récemment, des méthodes statistiques de corrélation entre les événements pluvieux ou les écoulements et les températures de surface de la mer servent efficacement à faire des prévisions de crues sur les cours d'eau. Ces méthodes sont apparues en Afrique de l'ouest depuis 1998 avec l'implication de l'ACMAD¹, de l'ABN et de la CBLT² dans le cadre du programme PRESAO (Prévision saisonnière en Afrique de l'Ouest). La PRESAO est sur le point d'être institutionnalisée dans les pays de l'Afrique de l'Ouest depuis la PRESAO 4.

Importance relative des types de mesures

Les mesures structurelles sont efficaces quant à la production agricole, mais les variables pluviométriques et les variables d'écoulement sont faiblement maîtrisées par ces techniques.

Par contre, les méthodes non structurelles permettent d'apprécier à l'avance ces variables hydroclimatiques sans pour autant en assurer la maîtrise. Toutefois, les méthodes non structurelles permettent de guider les acteurs des zones inondées sur le choix des parcelles à mettre en valeur dans le contexte de l'agriculture de crue et de décrue (zones de bordant les dépressions en cas de prévision de crues importantes et cultures dans les dépressions en cas de crues faibles).

La combinaison des deux méthodes semble être la meilleure forme de maîtrise des crues pour ce qui est de la productivité et de la protection des espaces (agricoles et habitats).

Gestion des inondations à partir de Sélingué

Commission de gestion des eaux de la retenue de Sélingué

La commission « Gestion des Eaux » de la retenue de Sélingué est chargée d'assurer une gestion concertée des ressources en eau de la retenue de Sélingué. À cet effet, elle a pour attributions :

- d'examiner les différents programmes de gestion des eaux élaborés par les structures nationales bénéficiant des eaux de la retenue et de veiller à leur adéquation ;
- d'arrêter les programmes de gestion des eaux de la retenue (remplissage et déstockage) ;
- d'informer les décideurs sur l'incidence de la gestion des eaux de la retenue dans tous les aspects techniques des activités liées au barrage (production électrique, irrigation, navigation, pêche, santé, industrie, tourisme, protection de l'environnement,...) ;
- de s'assurer de la bonne tenue de l'ouvrage (fuites, auscultation et stabilité de l'ouvrage...).

¹ African center of meteorological application for development.

² Commission du bassin du lac Tchad.

Activités proprement dites

Dans le cadre de l'exécution de ses missions, la cellule de crise de la commission « Gestion des Eaux » de la retenue de Sélingué a tenu 15 réunions durant la période allant du 1^{er} septembre au 20 octobre 2003, qui ont permis de gérer au mieux les inondations dans le bassin du Haut Niger pendant la crue de 2003.

Les différents services pourvoyeurs de données étaient, entre autres, la Direction nationale de l'hydraulique (données hydrologiques), la Direction nationale de la météorologie (prévisions pluviométriques) et EDM-SA (Électricité du Mali – SA) (situation de la retenue de Sélingué). Elle a eu à diffuser trois communiqués de presse à l'intention des riverains, des utilisateurs et du grand public sur la situation hydrologique qui était caractérisée par une poursuite de la montée franche des niveaux de tous les cours d'eau du bassin du fleuve Niger avec un risque imminent d'inondation et un communiqué pour annoncer l'amorce de la décrue dans le haut bassin du Niger et la propagation de l'onde de crue en aval de Kirango-Markala.

La crue à Bamako est la résultante des apports du fleuve Niger depuis sa source en territoire guinéen et de ceux de son affluent, le Sankarani. Si la pointe de crue du Niger coïncidait avec celle du Sankarani, des inondations très importantes pourraient se produire à Bamako (cas des inondations de 2001).

Il faut noter que si les apports du Sankarani peuvent être maîtrisés à travers la gestion de la retenue du barrage de Sélingué, il n'en n'est pas de même pour le fleuve Niger en amont de Bamako sur lequel il n'y a aucun ouvrage de régulation.

Afin de minimiser les effets des inondations, la retenue a été gérée par EDM-SA, selon les consignes arrêtées par la commission « Gestion des Eaux » de la retenue de Sélingué à travers la cellule de crise, de manière à limiter les déversements de Sélingué et à écrêter au maximum la pointe de crue du Sankarani.

La retenue de Sélingué a été gérée par EDM-SA suivant les recommandations de la cellule de crise. Ces recommandations étaient faites en fonction des apports d'eau aux stations de Banankoro sur la frontière guinéenne, à Mandiana sur le Sankarani en Guinée et de l'intensité des activités pluvio-orageuses sur le bassin du Haut Niger ainsi que de la cote de la crête du périmètre irrigué de l'ODRS (Office du développement rural de Sélingué) (337,62 m) et de celle à l'Échelle de Bamako (3,70 m).

Au cours de la gestion, il a été constaté à la cote de 337,380 m en aval du barrage de Sélingué des infiltrations à travers la digue de protection du périmètre irrigué de Sélingué. En conséquence, la cote 337,00 m a été retenue au lieu de 337,62 m indiquée par l'ODRS compte tenu de la nature de la digue.

Pendant toute la période de la crise, la commission a fait des recommandations notamment pour la gestion de la retenue de Sélingué. Les consignes données par la commission ont été scrupuleusement respectées par EDM-SA.

Les activités de la commission « Gestion des Eaux » de la retenue de Sélingué s'inscrivent dans le cadre d'un processus de mise en œuvre de la gestion intégrée des ressources en eau du Niger supérieur. Dans cette première étape, il s'agit de mettre en

place un mécanisme de gestion concertée de la retenue de Sélingué. Cette commission pourra servir comme structure technique du comité du bassin du Niger supérieur qui est conforme à la Loi N° 2-006 du 31 janvier 2002 portant Code de l'Eau qui crée les comités de bassins et de sous bassins où sont représentés l'administration, les collectivités locales et les usagers.

Pour une gestion efficace des inondations, la construction de barrages s'avère nécessaire pour écrêter les crues et la protection des zones sensibles par des digues et des levées de terre.

À côté de ces aménagements, il faudrait faire l'entretien des cours d'eau et la mise en place d'un réseau hydrologique de suivi et d'alerte des crues permettant de donner les informations en temps réel.

Variation de la superficie inondée

Estimation indirecte à partir de la perte d'eau

Les échelles à Akka, à Mopti et à plusieurs autres stations donnent une description précise et facile de la variation de la hauteur d'eau. Il est plus difficile d'estimer la superficie de la zone ayant été couverte par l'eau afin de montrer la variation journalière et annuelle dans la zone d'inondation. C'est la raison pour laquelle la superficie inondée telle que donnée dans plusieurs rapports varie entre 20 000 et 40 000 km². La variation annuelle de la zone inondée a été faite en analysant la perte d'eau due à l'évaporation (Quensière, 1994 ; Kuper *et al.* 2000).

Il est possible d'estimer la zone ayant été inondée chaque année à partir des données de perte. Selon ce modèle d'étude, la superficie inondée maximale variait entre 9 500 km² en 1984 et 44 000 km² en 1957. La superficie de la zone inondée peut être décrite avec précision en fonction de la hauteur maximale de la crue à Akka (figure 7). Cependant, la relation ne signifie pas automatiquement que l'estimation de la superficie de la zone inondée est correcte. Le modèle peut être erroné dans la mesure où la perte d'eau ne peut pas totalement être justifiée par l'évaporation. En plus de celle-ci, l'eau pourrait être perdue par des écoulements souterrains à l'intérieur du delta. Dans tous les cas, même si le modèle est correct, on aimerait encore connaître en plus de la superficie totale ayant été inondée, la distribution des zones inondables en fonction de la hauteur de l'eau. Les images satellites offrent une opportunité d'obtenir ces informations.

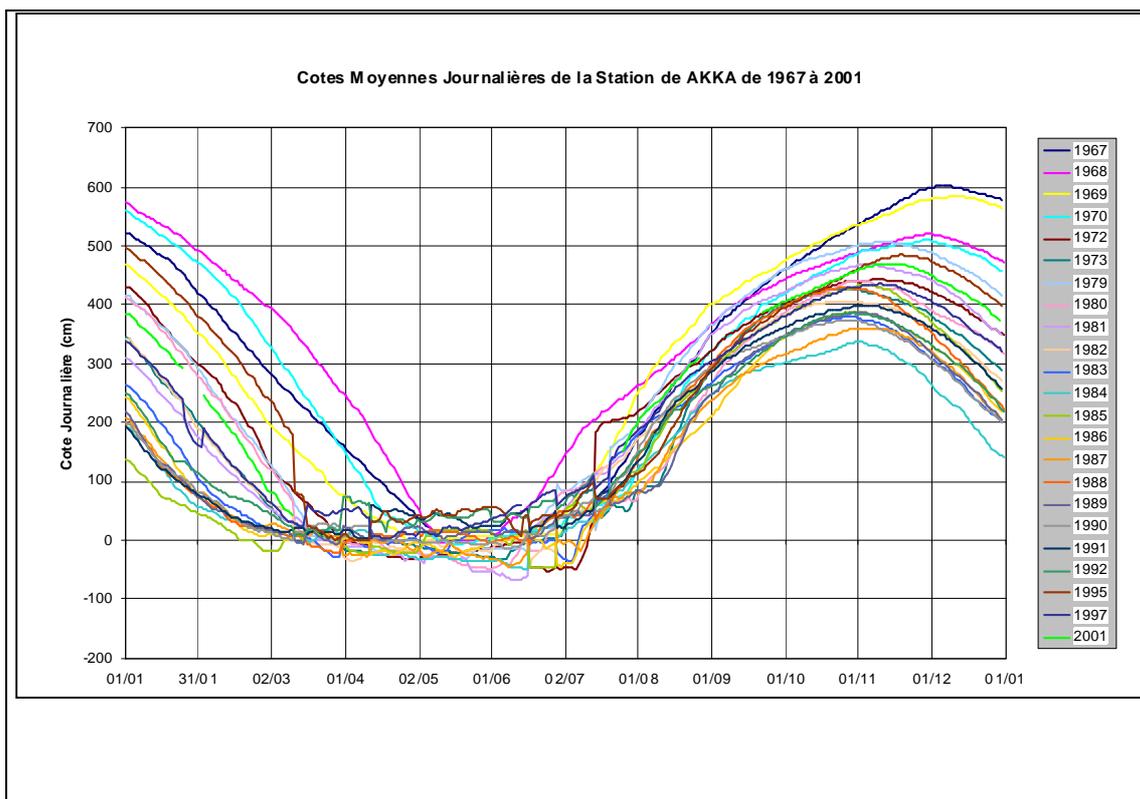


Figure 7 - Cotes moyennes journalières de la station d'Akka de 1967 à 2001

Estimation directe par télédétection

Grâce aux satellites circulant autour du globe, il est possible d'observer continuellement la terre et de voir aussi si une zone est couverte d'eau ou non (figure 8). Les satellites Landsat passent sur le delta tous les 15 jours et cela depuis 20 ans. Parmi les centaines d'images satellites du delta, seulement une fraction paraît être disponible et utile. La hauteur de l'eau est connue pour tous les jours durant lesquels l'image satellite était disponible.

Des images d'une résolution moyenne (de type Landsat) suffisent pour ce genre d'analyse, mais ces images ont, d'une part, un coût important et, d'autre part, leur analyse et leur traitement implique des compétences spécifiques et du matériel adapté (notamment des logiciels). Les images satellites permettent non seulement de suivre l'étendue des zones inondées, mais elles peuvent également servir à estimer le volume d'eau mobilisé dans les plaines inondables en combinaison avec des données topographiques collectées sur le terrain.

Selon le modèle d'inondation basé sur les mesures de la perte d'eau, on peut déterminer la superficie totale ayant été entièrement inondée dans le delta.

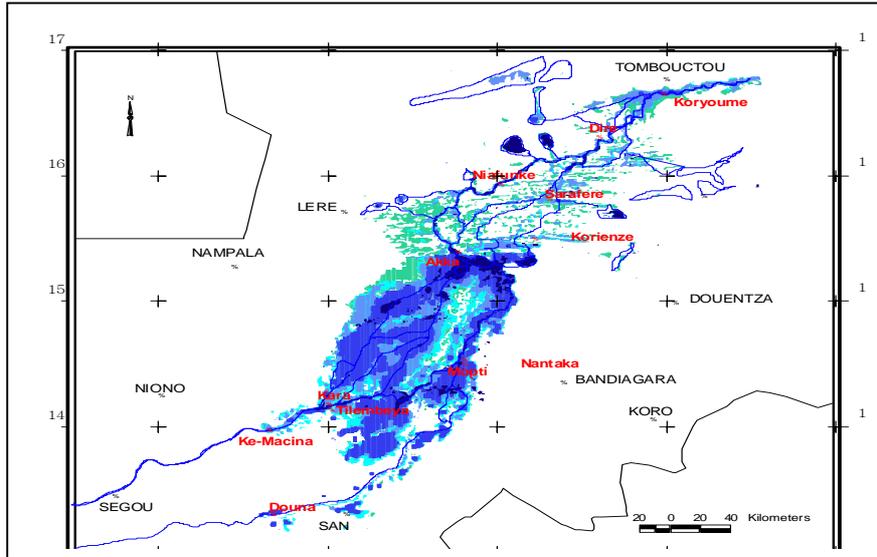


Figure 8 - Carte du delta intérieur / zone inondée

Dans la thèse de Mariko (2004), il a été utilisé les images NOAA (National oceanic and atmospheric administration) pour déterminer les surfaces inondées dans le delta intérieur. La corrélation des surfaces inondées totales avec les hauteurs d'eau à la station de Mopti située au centre du delta semble donner de meilleurs résultats au niveau de l'ensemble du delta et des zones amont et aval (figure 9). Au-delà de l'anticipation des surfaces inondées, la station de Mopti peut servir d'outil de prévision pour la gestion des campagnes rizicoles notamment dans le delta aval. Le transfert des eaux prend en moyenne un mois, entre Mopti et Diré, temps de prévision nécessaire pour les préparatifs des champs et des semis.

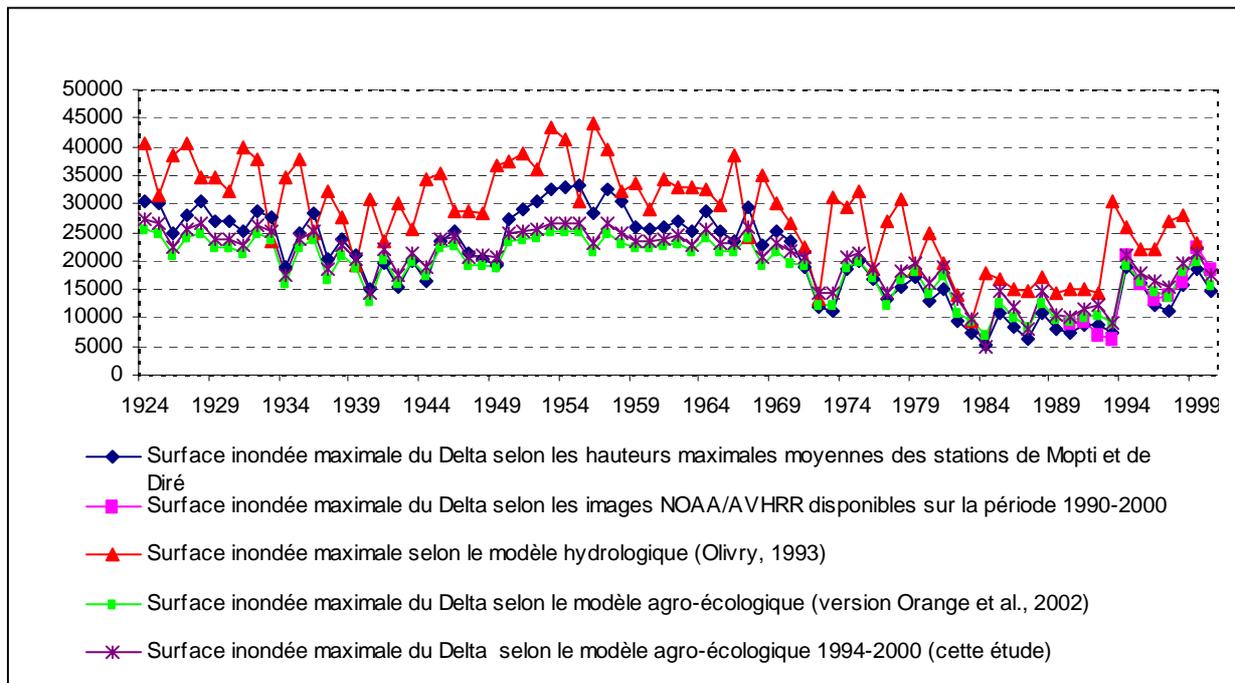


Figure 9 - Surface inondée maximale selon les différents modèles

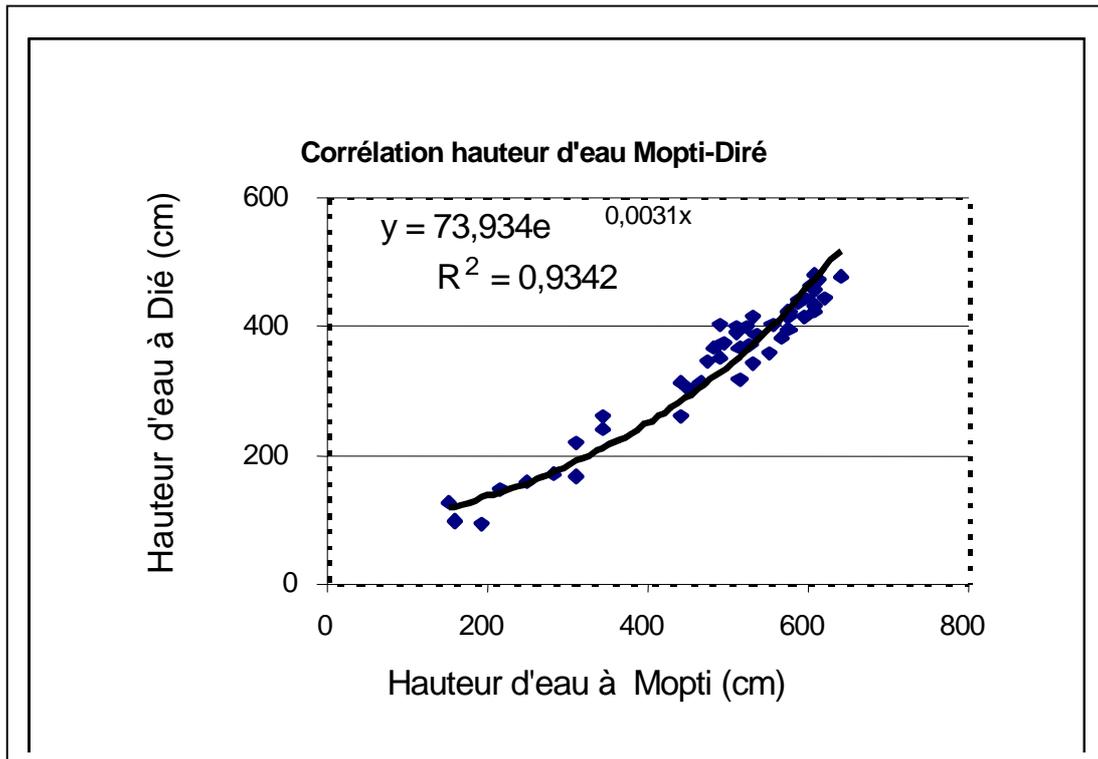


Figure 10 - Corrélation hauteur d'eau Mopti/Diré

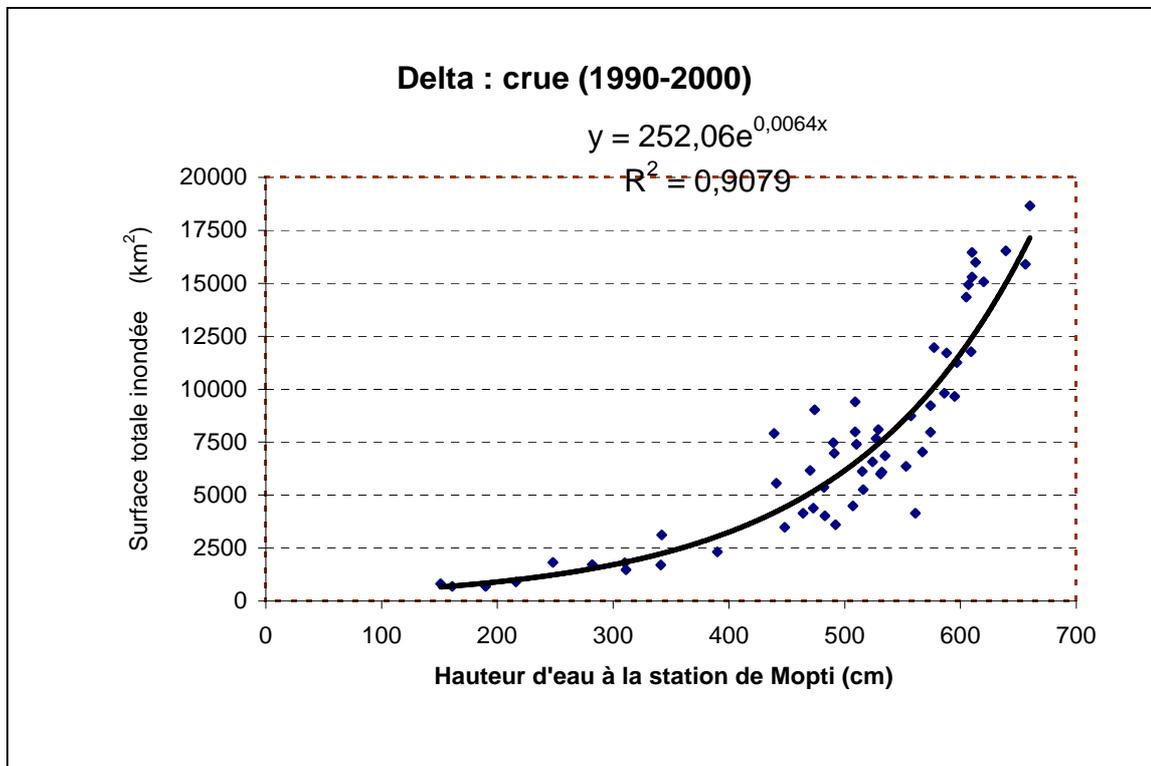


Figure 11 - Relation entre surface inondée et hauteur d'eau à Mopti

Description des crues

Types de crues/inondation

Le fonctionnement spatio-temporel du système d'inondation du delta intérieur du Niger et de ses cuvettes lacustres fait apparaître un phénomène saisonnier caractérisé par le déclenchement des crues seulement pendant la saison pluvieuse. Cependant, sachant que les eaux constituant les crues du delta intérieur du Niger proviennent pour la majeure partie des apports du bassin amont du fleuve Niger, il est évident que l'inondation observée dans ce complexe hydrologique aura une empreinte d'inondation de grand cours d'eau. Cette particularité se justifie par la durée de l'inondation s'étendant sur plus de 4 mois (octobre - janvier).

La saisonnalité des crues est due essentiellement aux apports constitutifs du bassin amont du fleuve Niger. Celles-ci proviennent des eaux de ruissellement du haut bassin du Niger (Niger supérieur et Bani) provoquées par la mousson. Ces crues sont atténuées par l'épandage sur les larges espaces du delta. Pendant cet épandage, les chenaux d'alimentation des lacs sont atteints et fonctionnent comme des canaux d'emmenée entre le fleuve en crue et les lacs : les systèmes des lacs sont ainsi alimentés en eaux de crue.

Incidence des crues fortes

Les crues exceptionnelles surviennent dans le delat intérieur du Niger à la suite de crues exceptionnelles sur le Niger et sur le Bani mais aussi sur les cours d'eau torrentiels en provenance du plateau Dogon. L'accumulation de ces eaux dans la dépression du delta provoque une montée brutale des eaux, inondant toutes les terres.

Lorsque ces événements surviennent quelques jours après la semence des cultures de crue, il en résulte une perte partielle ou totale des récoltes. En effet, les jeunes plantes sont immergées pendant un temps ne lui permettant pas de mener à bien leurs fonctions de photosynthèse. Il en résulte un pourrissement de la jeune plante. Il n'est plus possible de semer encore la même parcelle à cause du plan d'eau. Seul le repiquage permet de sauver la saison agricole dans les zones à faible lame d'eau.

Les crues trop fortes entraînent aussi des sinistres se traduisant par la destruction des habitations et des biens des paysans, des éleveurs et des pêcheurs, par le naufrage des animaux et, rarement, par des pertes en vies humaines.

Les crues extrêmement fortes favorisent la navigation fluviale.

Description des désastres d'inondation

Les inondations extrêmes dans le bassin Niger (comme ce fut le cas de la crue de 1967) ont eu plusieurs incidences socio-économiques et environnementales dont les plus notables sont :

- l'inondation des habitats d'agriculteurs, d'éleveurs mais surtout de pêcheurs situés sur les rivages (villages et hameaux) de la zone inondée et des systèmes de lacs ;

- la destruction des plants de riz, de mil et de sorgho plantés en début d'hivernage sous humidité pluviale ;
- la disparition d'animaux (ruminants, volaille) dans les villages et les hameaux.

Une crue est dite désastreuse au niveau du delta intérieur du Niger si la surface inondée est supérieure à 84 000 km² et que la hauteur moyenne de lame d'eau excède 3,5 m.

Recommandations/actions de lutte contre les crues

La prévention

La meilleure politique à adopter est celle d'une gestion préventive des crues. Cela nécessite une bonne maîtrise des techniques de l'eau avec :

- la construction de barrages ou de retenues, quand cela est possible, pour écrêter les crues. Ce principe consiste en un stockage des eaux dans le lac de barrage pour éviter les crues en aval ; cet excédent d'eau est ensuite redistribué au fleuve avec un débit contrôlé ;
- l'entretien des cours d'eau, dans la mesure du possible : curage des lits et entretien des berges pour éviter leur obstruction par des troncs d'arbres favorisant le dépôt des sédiments qui diminuent le débit, entraînant ainsi la sédimentation et la formation de bouchons et rendant aussi les inondations plus fréquentes ;
- la protection des zones sensibles en bord de rivière par des digues et des levées de terre ;
- la mise en place d'un réseau d'assurance des crues : celui-ci nécessite une surveillance très attentive des stations de jaugeage et une connaissance parfaite du comportement des rivières du bassin versant (temps de réponse : rapidité de propagation de la crue et vitesse de résorption de la crue, entre autres).

La prévention des crues passe aussi par un contrôle de l'occupation des sols : dans les pays développés sont mis en place, par commune, des plans d'occupation des sols (POS). Ces plans doivent signaler les zones à risque d'inondation, n'y autoriser que l'établissement d'activités agricoles, y limiter les activités économiques industrielles et y interdire les lotissements à but d'habitation.

Au Mali, l'installation anarchique de la population dans le lit majeur des cours d'eau engendre fréquemment l'inondation des villes riveraines. Une sensibilisation accrue de la population doit être faite par les autorités communales afin de mettre fin à un tel comportement.

Dans le cas de la retenue de Sélingué, il est important d'observer les consignes suivantes :

- ne pas remplir la retenue au-delà de la cote 348,5 m avant l'amorce de la décrue du Sankarani ;
- évacuer les populations menacées par les eaux du fleuve ;

- fournir régulièrement les informations sur l'évolution de la situation hydrologique.

L'accroissement démographique ajouté à une mauvaise gestion des ressources (utilisation incontrôlée des sols et négligence des systèmes d'écoulement) font que les inondations qui sont des aléas naturels deviennent des désastres.

Une gestion à vue a été faite sur le plan administratif et politique, les solutions tentées ayant été, pour la plupart, des appuis (en termes de secours alimentaire et médical) essentiellement apportés par le gouvernement, les ONG et les organisations internationales.

Les solutions à préconiser pour une gestion rationnelle et durable de l'inondation sont :

- d'accélérer les textes sur la mise en place de la commission nationale de gestion des catastrophes (CNGC) ;
- de constituer un fonds d'urgence ;
- de créer une base de données des ONG (nationales et internationales) intervenant en cas d'inondation ;
- de maintenir et de renforcer le protocole d'accord DGPC/PRMC.

Quant aux mesures préventives susceptibles de diminuer la répétition annuelle des inondations, elle sont :

- d'avoir un plan d'occupation des sols (POS) ;
- d'élaborer une réglementation par les services compétents pour les types de constructions appropriées à ces zones inondables ;
- d'élever le niveau de conscience des responsables (chefs traditionnels divers, responsables d'association et de groupements, notabilités diverses, ...) ;
- de mettre en œuvre un système de surveillance, de prévention et d'alerte précoce.

Action à moyen terme

Pour prévenir les inondations, les mesures qui doivent être prises sont :

- la mise en place d'un cadre adéquat de concertation de tous les acteurs conformément au code de l'eau (création de comités de bassins) ;
- le balisage des limites du lit majeur du fleuve Niger dans les agglomérations à la cote du maximum des eaux (cote centennale par exemple) ;
- le renforcement des berges du fleuve Niger dans les agglomérations.

Action à court terme

La campagne d'information et de sensibilisation devra être poursuivie et renforcée auprès des populations riveraines pour les inviter à plus de prudence, à s'éloigner des abords immédiats des cours d'eau et, éventuellement, à évacuer les habitations situées dans les zones à risque.

Sur le plan sanitaire, des dispositions doivent être prises pour prévenir ou maîtriser d'éventuels foyers de pathologies liées aux inondations, notamment le choléra, et pour sécuriser et/ou traiter les sources d'approvisionnement en eau des populations.

Recommandations / les mesures attendues

Au plan humain

À court terme

- couvrir les besoins d'urgence des populations ;
- faire libérer, avant la date officielle de la rentrée scolaire, les salles de classe et les logements des enseignants utilisés pour abriter les populations sinistrées.

À moyen terme

- poursuivre le recasement des populations dans des zones sûres sous des tentes, dans des bâtiments administratifs présentement libres ou auprès des voisins et des parents ;
- équiper ces lieux d'habitation provisoire (en lampes, ustensiles de cuisine, nattes, points d'eau, toilettes, etc.) ;
- donner un appui en nourriture pendant au moins trois mois (jusqu'à la récolte),
- assurer le suivi sanitaire des populations sinistrées ;
- apporter un appui aux enfants scolarisés ou à scolariser dans la perspective de la rentrée scolaire ;
- drainer les eaux qui stagnent dans les domiciles, les villages et les villes et qui constituent un danger pour les bâtiments et pour les habitants ;
- réhabiliter tous les bâtiments et logements administratifs écroulés ;
- identifier pour toutes les localités concernées des sites de recasement sûrs ;
- assainir toutes les agglomérations à risque ;
- respecter rigoureusement les principes d'urbanisme et d'assainissement lors de tout lotissement ;
- élaborer un plan d'assainissement de toutes les communes urbaines et des grandes villes ;
- faire le point de l'impact des inondations sur la production des populations concernées en vue d'envisager des mesures à leur endroit pour préserver leur pouvoir d'achat : concours céréalier à long terme pour la culture de contre-saison et autres concours.

Dans le domaine du secteur rural

À court terme

- évaluation des besoins en semences maraîchères et des besoins en appui alimentaire (PAM) ;
- désherbage des parcelles envahies après le retrait de l'eau et raffermissement des terres ;

- suivi permanent de l'évolution de la situation dans les différentes localités par les comités de crise ;
- sensibilisation des populations autour des activités de maraîchage ;
- intensification des cultures de contre-saison ;
- mise en place de banques de céréales ;
- mise en place d'actions amélioratrices de revenus dont l'embouche ovine/caprine, les activités de promotion des femmes et l'aviculture ;
- aide d'urgence en céréales aux paysans ayant perdu leurs greniers ;
- compensation des pertes de céréales avec 900 kg de céréales pour un hectare inondé ;
- différé des crédits des exploitations cotonnières ayant perdu plus de la moitié de leur superficie ;
- suivi sanitaire des animaux ;
- diminution de la lame d'eau par pompage ;
- utilisation de variétés de riz adaptées aux zones à immersion profonde ;
- renforcement des interventions de l'OPAM.

À moyen terme

- intensification de la lutte anti-érosive dans les zones inondables pour favoriser l'infiltration ;
- mesures pour éviter l'installation des parcs à bétail dans les zones inondables ;
- promotion des cultures de contre-saison.

Dans le domaine des infrastructures

À court terme

- renforcement des systèmes de suivi et de sécurisation des infrastructures de transports, instauration des procédures d'alerte et d'information en temps réel

À moyen terme

- extension du réseau d'observation hydrologique et météorologique ;
- renforcement des capacités de la Direction nationale de l'hydraulique ;
- renforcement du réseau de suivi hydrologique ;
- renforcement des activités du groupe de travail pluridisciplinaire d'assistance agro-météorologique par le perfectionnement en prévision saisonnière des cadres et par l'acquisition d'équipements modernes.

Dans le domaine socio-sanitaire

Les mesures à envisager portent sur :

- le pré-positionnement des vaccins et du matériel de vaccination ;
- l'approvisionnement des populations en chloroquine, insecticides, désinfectants, moustiquaires imprégnées, couvertures, grésil, eau de Javel et savon de toilette ;

- le renforcement de l'IEC (Information- Éducation -Communication).

Dans le domaine de l'habitat

À court terme

Les mesures à court terme doivent aider les populations à surmonter le cap difficile. C'est pourquoi, il est important que les zones les plus affectées soient identifiées et déclarées zones sinistrées.

À moyen terme

Quant aux mesures à moyen terme, elles nécessitent un financement plus important devant permettre, entre autres, de restaurer les infrastructures et de renforcer les systèmes de protection en prévision de risques futurs.

Au delà de ces mesures, il se pose le problème de la gestion efficace des sinistres.

Les mesures attendues sont les suivantes :

- prévoir et aménager des espaces (places publiques, réserves foncières) dans les communes pour recevoir les sans abri en vue de libérer les établissements scolaires ;
- sensibiliser les populations pour qu'elles fassent l'effort d'entretenir leur habitat avant chaque hivernage ;
- aménager les collecteurs naturels comme indiqué dans les différents schémas directeurs d'aménagement et d'urbanisme de Bamako et des autres villes ;
- curer les caniveaux existants et en créer d'autres si nécessaire ;
- libérer les servitudes des cours d'eau ;
- veiller à l'application rigoureuse des textes relatifs aux autorisations de construire ;
- accélérer le lotissement et viabiliser les nouveaux quartiers avant toute occupation ;
- aménager les berges des fleuves là où ces derniers traversent des villes ou de grosses agglomérations ;
- tenir compte des niveaux des plus hautes eaux dans les futurs plans d'urbanisation.
-

Gestion des risques d'inondation liés aux incidents de manipulation des ouvrages, avaries et ruptures

La sécurité du barrage de Sélingué a retenu l'attention des responsables politiques et administratifs maliens à cause de la localisation de ce barrage – dont la rupture pourrait causer d'énormes pertes matérielles et en vies humaines – en amont des principales villes situées le long du fleuve Niger.

Les crues exceptionnelles de septembre 2001 et le remplissage rapide de la retenue ont causé d'importantes inondations qui ont attiré l'attention des pouvoirs administratifs et techniques sur les possibilités de rupture dudit barrage avec ses conséquences sur les villes et les villages en aval, les installations socio-économiques, les cultures et le bétail.

Dans le cas du fleuve Niger au Mali, seule la rupture du barrage de Sélingué peut occasionner un risque majeur sur les personnes et les biens. Cependant, hors du Mali, le futur barrage de Fomi en Guinée, une fois construit, aura les mêmes risques que ceux de Sélingué.

État des lieux sous l'angle des phénomènes physiques et institutionnels

Phénomènes physiques

Le scénario de rupture du barrage de Sélingué et de ses effets en aval se déduit aisément des événements de risque d'inondation ayant frappé les zones aval du barrage de Sélingué en 2001.

Le fleuve Niger a connu des inondations antérieures à celle de 2001. Les plus récentes remontent à la fin des années 1960 (1967 et 1969). Le niveau maximum atteint à Bamako le 14 septembre 2001 a été de 4,25 m. Ce niveau reste nettement inférieur à celui atteint en 1967, à savoir 4,99 m.

Les débits maximums pendant les inondations en septembre 2001 ont atteint la valeur critique de $2\,994,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à Sélingué. La vitesse moyenne de la montée du niveau d'eau du fleuve Niger à Bamako a été de 14 cm par jour entre le 8 et le 14 septembre 2001.

À Sélingué, avec l'ouverture des vannes du barrage, le niveau d'eau a enregistré une montée de plus de 4 m entre le 9 et le 12 septembre 2001 soit, une moyenne de 1 mètre par jour.

En termes de dégâts et en dehors des chiffres, il faut signaler que la digue de protection des périmètres irrigués à l'aval immédiat du barrage a cédé et que sept villages ont été sinistrés. On a constaté la perte de 324,64 ha de parcelles de riz. Les populations riveraines de plusieurs quartiers de Bamako ont été évacuées. Certaines infrastructures hôtelières installées le long du fleuve Niger ont été vidées de leur

clientèle. Les pertes en vies humaines et en bétail n'ont pas été estimées. Cependant, les pertes matérielles de l'inondation de 2001 portant sur les cultures et sur les infrastructures ont été estimées, pour la seule localité de Selingué, à 755 418 724 Fcfa.

L'hivernage de 2003 a été caractérisé par de fortes pluies. Le cumul des précipitations enregistrées est égal ou supérieur à la normale sur presque toute l'étendue du territoire national. En certains endroits, il a été enregistré des hauteurs de pluie dépassant 130 mm en 24 heures et ayant entraîné des montées de niveau d'eau atteignant parfois 4 m en ravageant tout sur leur passage. Selon un rapport produit par le ministère chargé de la protection civile, les dégâts causés à l'échelle nationale ont été évalués à 9 084 773 446 Fcfa.

Suite à la crue exceptionnelle de 1967 qui a souligné l'extrême gravité d'une absence totale de prévisions dans le haut bassin du fleuve Niger, le Mali a bénéficié de plusieurs systèmes de prévisions hydrologiques, que ce soit au niveau bilatéral avec la République de Guinée ou, au niveau multilatéral, avec la mise en place de projets financés par la communauté internationale comme le Programme Hydroniger qui a couvert la presque totalité du bassin du Niger. Les différents projets avaient pour objectifs :

- la protection des populations riveraines et des activités économiques ;
- l'élaboration de prévisions de crue et de décrue pour inciter notamment les utilisateurs des aménagements agricoles à mieux gérer les apports d'eau, à sécuriser et à améliorer la production agricole ainsi que le transport fluvial et à rentabiliser les centrales hydroélectriques.

Le projet Gestion hydroécologique du Niger supérieur (Ghenis) qui est la plus récente initiative conjointe entre le Mali et la Guinée (janvier 1999 à juin 2002) visait à sauvegarder l'environnement de la partie supérieure du bassin du fleuve Niger et à aboutir à une gestion hydroécologique durable du bassin versant. Pour atteindre l'objectif global, le projet devait contribuer à l'amélioration de la connaissance hydroécologique sur le bassin supérieur du fleuve et il devait faciliter la prise de décision concernant la maîtrise des risques de dégradation des écosystèmes. Parmi les résultats obtenus, un réseau d'alerte, de suivi et de contrôle des paramètres physicochimiques, biologiques et de la qualité hydroécologique du bassin du Niger supérieur a été mis sur pied et en exploitation.

Malgré son état inachevé, le réseau d'alerte mis en place a déjà donné la preuve de son utilité pendant les inondations à Bamako en 2001. Avec les données en provenance de Banankoro (frontière avec la Guinée), les hydrologues ont été capables d'informer en temps réel les autorités, les usagers et le public sur la propagation de la crue.

Aujourd'hui, force est de reconnaître l'état défectueux des réseaux mis en place : peu de Plateformes de Collecte des Données (PCD) supposées fonctionner transmettent des données exploitables en raison de l'inadaptation de certains équipements et de la faible capacité financière d'entretien par la Direction nationale de l'hydraulique.

Un cas possible exceptionnel pourrait être lié à la rupture du barrage de Sélingué (2 milliards de m³) qui est situé sur le Sankarani, un affluent du fleuve Niger à quelque 150 km en amont de Bamako. Dans ce cas, sans système de protection en aval, les pertes en vies humaines et matérielles seront incalculables.

Les activités de modélisation du projet Ghenis ont permis de mettre en place un système de simulation hydrologique et hydrodynamique du Niger supérieur permettant de prévoir les niveaux, les débits et le transfert des pollutions. Le modèle choisi (Mike 11) a, d'abord, été adapté à la zone d'étude, c'est-à-dire construit avec la saisie des informations spécifiques sur le réseau hydrographique, la pluviométrie, l'évaporation, les hauteurs et les débits. Ensuite, on a procédé à son calage à l'aide de données hydrométriques d'une année sèche (1984) et d'une année humide (1969) et la vérification a été faite sur une année moyenne (1994).

L'exploitation du modèle a permis d'analyser divers scénarios quantitatifs ou qualitatifs et d'anticiper sur les impacts des aménagements en cours et projetés sur le régime hydrologique.

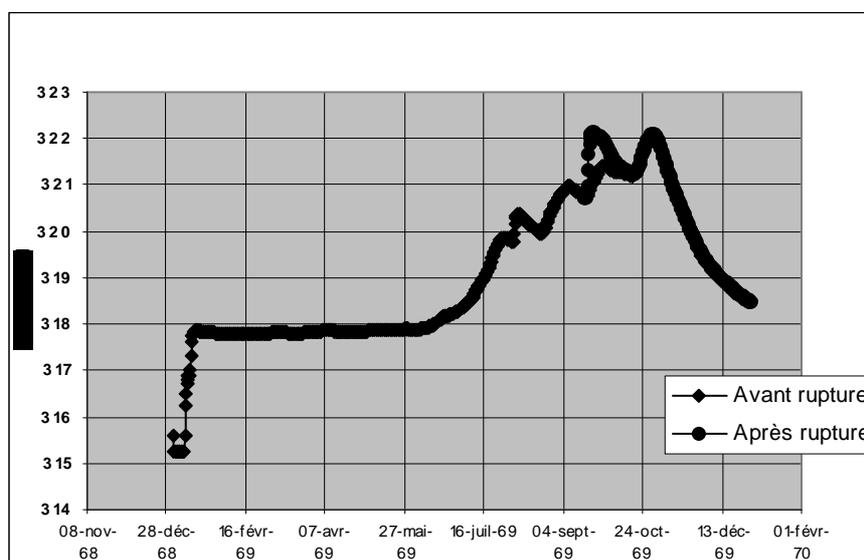
Ainsi, parce que l'on veut considérer la rupture du barrage en mettant les choses au pire, sa rupture a été simulée pour une année humide comme 1969.

La date initiale de cette simulation sans barrage a été choisie en tenant compte du fait que le réservoir de Sélingué est plein au moment de la rupture (09/09/1969).

Les conséquences à l'aval d'une rupture du barrage de Sélingué sont mieux illustrées par la figure 12 ci-après.

On constate, entre la situation avant rupture et celle après rupture, une différence maximale de hauteur de l'ordre de un mètre du 21 au 23 septembre. À Koulikoro, on observe une augmentation des hauteurs d'eau de l'ordre de 1 mètre à près de 4 m. À Ké-Macina, la différence s'estompe pour devenir nulle.

Figure 12 - Cotes du Niger à Bamako en cas de rupture du barrage de Sélingué en année humide comme 1969



Institutions nationales concernées par les risques d'inondation liés aux incidents de manipulation des ouvrages, aux avaries et aux ruptures en cas d'inondation

Plusieurs structures nationales sont impliquées dans la gestion des risques liés aux ruptures de barrages dans le bassin du fleuve Niger. Il s'agit :

du Ministère des Mines, de l'Énergie et de l'Eau (MMEE)

La tutelle actuelle du secteur de l'eau est assurée par le Ministère des Mines, de l'Énergie et de l'Eau. Dans le domaine du secteur de l'eau, sa mission consiste à élaborer la politique nationale de l'eau. Deux de ses structures départementales sont directement impliquées dans la gestion des risques de rupture des barrages.

de la Direction nationale de l'énergie (DNE)

Cette institution est concernée par la réalisation et l'exploitation des centrales hydroélectriques à travers le pays. Les barrages hydroélectriques en cours d'exploitation sur le fleuve Niger sont ceux de Sotuba (sur une dérivation du fleuve Niger) et de Selingué (sur un affluent du Niger).

Une rupture de barrage impliquerait cette institution à cause de sa mission de mise en œuvre de la stratégie nationale en matière de production hydroélectrique et en tant que principale institution officielle nationale interlocutrice de la société de production et d'exploitation de l'énergie hydroélectrique. Le travail de suivi, d'auscultation et de planification des réparations lui incombe.

de la Direction nationale de l'hydraulique (DNH)

Cette institution, chargée de la mise en œuvre et de l'application de la politique nationale en matière de mobilisation, de gestion et d'exploitation des ressources en eau.

La DNH a pour mission d'élaborer les éléments de la politique nationale de l'eau au Mali. À ce titre, elle est chargée :

- de faire l'inventaire et d'évaluer le potentiel, au plan national, des ressources hydrauliques ;
- d'étudier, de contrôler, de superviser les travaux de réalisation des ouvrages hydrauliques et de veiller à leur bon état de fonctionnement ;
- de procéder à l'évaluation des projets de développement dans le secteur de l'eau ;
- de participer à la promotion de la coopération sous-régionale dans le domaine de la gestion des ressources en eau.

À cet effet, cette institution est concernée par tout problème sur ces ouvrages, en particulier les problèmes de fuite pouvant générer de graves erreurs dans la planification et la gestion des retenues ainsi que les problèmes de rupture pouvant engendrer de véritables désastres en aval.

La DNH dispose depuis 1997, d'un laboratoire d'hydrologie isotopique doté d'équipements et de compétences nécessaires pour la détection des fuites et pour l'auscultation sécuritaire des barrages.

de l'Énergie du Mali (EDM)

L'EDM opère l'exploitation des barrages de Sélingué et de Sotuba pour la production et la vente d'électricité.

En tant que producteur et exploitant des ressources des barrages hydroélectriques, cette institution est le premier responsable des cas de rupture causée par une mauvaise gestion des retenues.

du Service de protection civile

Ce service joue un rôle primordial dans la protection, l'évacuation et le secours lors des inondations.

du comité de coordination interministériel du secteur Eau et Assainissement à travers la commission « Gestion des Eaux »

La commission « Gestion des Eaux » a pour attributions de :

- suivre la mise en œuvre des programmes d'exploitation des eaux ;
- promouvoir les échanges de données et d'informations relatives aux ressources en eau ;
- recueillir les avis des différents acteurs en vue d'une gestion rationnelle des eaux ;
- donner des avis techniques ou faire des suggestions sur les différents programmes de gestion des eaux et veiller à leur adéquation ;
- conseiller les décideurs sur l'incidence de la gestion des eaux sur le plan national et sous-régional.

du comité de gestion de la retenue de Sélingué

La commission « Gestion des Eaux » de la retenue de Sélingué est chargée d'assurer une gestion concertée des ressources en eau de la retenue de Sélingué. À cet effet, elle a pour attributions de :

- examiner les différents programmes de gestion d'eau élaborés par les structures nationales bénéficiant des eaux de la retenue et de veiller à leur adéquation ;
- arrêter les programmes de gestion des eaux de la retenue (remplissage et déstockage) ;
- informer les décideurs sur l'incidence de la gestion des eaux de la retenue dans tous les aspects techniques des activités liées au barrage (production électrique, irrigation, navigation, pêche, santé, industrie, tourisme, protection de l'environnement...) ;
- s'assurer de la bonne tenue de l'ouvrage (fuites, auscultation et stabilité de l'ouvrage...).

Recommandations

Sous l'angle technique

La sûreté de barrage doit être considérée dans tout le cycle de vie d'un barrage. Elle commence à l'étape d'exploration et de choix d'emplacement, continue par la conception et la construction puis par la vie opérationnelle entière de la structure et même pendant sa mise hors de fonctionnement. Pendant l'étape opérationnelle, la sûreté du barrage est contrôlée par un programme de sûreté de barrage qui devrait inclure les trois éléments suivants :

- les activités récurrentes ;
- la révision de sécurité de barrage ;
- le programme d'amélioration de sécurité de barrage.

Les activités récurrentes incluent le suivi et la surveillance, les inspections, la formation du personnel de terrain, la planification d'état d'urgence pour la préparation des secours, les opérations et l'entretien. Ces activités devraient être vues en tant qu'aspects complémentaires d'un programme intégré prévu pour assurer la sécurité de la structure mais aussi la sécurité des personnes dont les vies et la propriété pourraient être menacées lors de la rupture du barrage.

Les révisions de sécurité de barrage sont programmées sur un cycle périodique, qui change d'un pays à l'autre, mais s'étendent typiquement entre 3 et 10 ans. Elles comportent :

- une évaluation détaillée de l'exécution de la structure, y compris les effets du vieillissement depuis sa dernière revue ;
- la conformité aux directives courantes de sécurité de barrage ;
- les pratiques courantes admises et le besoin de mesures réparatrices.

De telles revues incluent de plus en plus une identification des modes de défaillance et une évaluation des risques. Cette façon de procéder se présente comme un moyen de synthétiser toutes les considérations qui peuvent affecter la sécurité d'un barrage existant, quoiqu'elles puissent être assignées à différents types d'activité récurrente ou à différentes disciplines. Cette approche holistique constitue également le moyen d'une meilleure intégration des activités récurrentes et des décisions économiques sur le choix des mesures réparatrices pour réduire le risque et pour assurer la durabilité.

Un programme d'amélioration de sécurité de barrage comporte généralement des mesures structurelles et des investigations de support. Il peut également inclure des mesures non structurales.

Dans chacune des trois parties d'un programme de sécurité de barrage, il est essentiel qu'une bonne compréhension soit réalisée de ces facteurs qui affectent l'exécution du barrage.

Une vue d'ensemble de la sécurité de barrage devra être prise en compte, y compris tous les aspects de recherche initiale d'emplacement, pour la conception, la construction, l'exploitation et l'évaluation continue de ses structures.

La valeur supplémentaire de sécurité, garantie par l'utilisation des techniques conventionnelles et par celles de traceurs, devrait être identifiée avant, pendant et après la construction du barrage. Cette technique combinée apparaît comme un moyen sûr d'investigation et de sûreté.

Sous l'angle Institutionnel

La gestion des risques liés à la rupture des barrages nécessite de :

- cartographier, délimiter les zones à risque et les classer par ordre de risque, élaborer un plan d'intervention en cas de rupture de barrage et créer un modèle de simulation des inondations par scénario de rupture (rupture par brèche, rupture de partie centrale, rupture des ailes) ;
- doter les services techniques en charge de l'eau, notamment la Direction Nationale de l'Hydraulique, en équipements de surveillance permettant les études d'auscultation des barrages depuis la phase de conception jusqu'à celle de réalisation et d'exploitation ;
- mettre en place un système d'alerte précoce contre les inondations sur le fleuve Niger dans les grandes villes riveraines du Niger en incluant une synergie entre la Direction nationale de l'hydraulique, la Direction nationale de la météorologie, les gestionnaires des ouvrages (Énergie du Mali et Office du Niger) et le Service de protection civile ;
- sécuriser les populations riveraines du fleuve Niger en aval du barrage de Sélingué par la prévention et l'information sur l'arrivée de crues susceptibles d'inonder les agglomérations et les zones de production agro-pastorales ;
- réduire, voire annuler, les effets des inondations dues aux crues exceptionnelles et de celles pouvant résulter de la rupture du barrage de Sélingué sur les espaces en aval situés sur les rivages du fleuve Niger ;
- renforcer les capacités de la commission « Gestion des Eaux » du barrage de Sélingué et des gestionnaires d'ouvrages hydrauliques en moyens d'intervention ;
- former les agents de la Protection Civile en matière d'alerte, d'évacuation et de sauvetage des personnes et des biens lors des inondations exceptionnelles issues des ruptures de barrage.

Gestion de l'occupation de l'espace et des catastrophes

Outils de prévention

Les outils de prévention sont généralement mis en œuvre au niveau de certains ministères dont les attributions spécifiques sont notamment de :

- définir et de mettre en œuvre les mesures et les moyens de prévention des risques majeurs d'origine naturelle (Ministère de l'Environnement) ;
- préparer et mettre en œuvre les mesures de prévention et de secours destinées à assurer la protection des populations notamment dans le cas de sinistres ou de calamités (Ministère de la Sécurité et de la Protection civile) ;
- élaborer et mettre en œuvre un plan de prévision et d'annonce des crues et de prévention des inondations (Ministère chargé de l'Eau).

En outre, ce ministère a pour attributions de :

- prendre en charge avec, le cas échéant, la participation des collectivités territoriales concernées tous les travaux tendant à la réalisation d'ouvrages de protection contre les inondations lorsque ces travaux présentent le caractère d'utilité publique ;
- modifier ou supprimer tout ouvrage susceptible de faire obstacle à l'écoulement des eaux ou de restreindre de façon nuisible le champ des inondations sur les parties submersibles des cours d'eau ;
- autoriser tout ouvrage hydraulique de prévention des inondations ;
- contrôler périodiquement les ouvrages hydrauliques susceptibles de constituer une menace pour la sécurité publique ;
- veiller au bon fonctionnement et à la protection des ouvrages hydrauliques d'importance sous-régionale, nationale ou régionale afin de prévenir toute atteinte à la sécurité publique.

Enfin, il faudrait signaler que les cotes d'alerte constituent des instruments appropriés pour collecter l'information et la porter à temps aux populations. Cependant, selon le directeur adjoint de l'ODRS, ce système n'a pas fonctionné en 2001 à cause des carences de la circulation de l'information.

Selon un paysan de Samaya (zone de Sélingué), Ousmane Kanté, des informations sont apportées régulièrement aux populations, mais celles-ci se laissent souvent surprendre par les crues à cause de leur avidité qui les pousse à cultiver sur les espaces interdits susceptibles d'être inondés.

La solution d'un tel problème ne pourrait-elle pas venir de la création d'une cellule de concertation régulière entre les autorités concernées et les populations intéressées ?

Gestion des crises

La gestion des crises est assurée par les ministères susmentionnés auxquels il convient d'ajouter d'autres ministères techniques qui ont pour attributions de :

- coordonner l'action humanitaire en relation avec les ministères concernés en matière de catastrophes naturelles dues à des inondations (Ministère des Affaires étrangères) ;
- mettre en œuvre des aides d'urgence en relation avec le Ministère des Affaires Étrangères et les autres ministères techniques concernés (Ministère de l'Administration territoriale et des Collectivités locales) ;
- prendre des mesures de protection et d'entraide sociale (Ministère chargé des Affaires sociales) ;
- veiller à la santé publique (Ministère de la Santé).

Depuis l'indépendance, des secours de diverse nature et des organes (commissions locales, régionales et nationales) ont été institués pour assister les victimes de sinistres et de calamités publiques (inondations notamment) :

- Décret N° 177.PG du 25 juin 1959 réorganisant le service des Affaires sociales ;
- Décret N° 63/SEITAS du 11 février 1960 portant réglementation des secours au titre de la République soudanaise ;
- Décret N° 44/PG du 22 février 1968 qui précisait que « les demandes de secours pour sinistres et calamités collectifs doivent mentionner les mesures d'urgences prises par les autorités locales et régionales » et que « les secours ne peuvent constituer des réparations de préjudices subis par les demandeurs ni des dédommagements aux pertes dues aux catastrophes et calamités naturelles » ;
- Décret N° 109/PG du 26 janvier 1968 portant réglementation des secours après décès ;
- Décret N° 000595/P-RM du 04 décembre 2000 réglementant la procédure de paiement du secours après décès ou capital décès applicable aux fonctionnaires, magistrats, militaires, personnels de sécurité, personnels de l'administration relevant du Code du travail et autres agents de l'État.

Les Ministères concernés se concertent et se rendent immédiatement sur les lieux des inondations en apportant directement des secours en nature et ou en argent avec le concours des Hauts commissaires et des commissions locales de secours.

Il y a lieu de recommander l'application rigoureuse des textes relatifs aux attributions du Ministre chargé de l'Eau.

Il semble nécessaire de corriger les lacunes qui seraient liées à l'absence d'une réglementation spécifique relative à la question de pollution exceptionnelle.

Les pollutions

État des lieux sous l'angle des phénomènes physiques

Long de 4 200 km, prenant sa source en Guinée, le Niger traverse le Mali sur 1 750 km, reliant ainsi les zones humides du sud aux régions désertiques du nord. C'est donc le principal pourvoyeur en eau d'irrigation du Mali et aussi la source d'approvisionnement en eau des nombreuses populations riveraines.

Malheureusement, depuis quelques décennies et, à l'instar de nombreux autres cours d'eau, le Niger est l'objet d'une pollution croissante, suite à la grande implantation des industries autour du fleuve et de l'urbanisation des villes non accompagnées de mesures d'assainissement. De nombreuses localités en sont victimes, compte tenu de leur position géographique car, à leur niveau, des quantités considérables de déchets industriels, hospitaliers et domestiques sont régulièrement déversées dans le fleuve Niger, compromettant ainsi dangereusement son avenir.

Une étude effectuée par le Ministère des Mines et de l'Énergie a révélé que depuis plusieurs années, la qualité de l'eau distribuée aux populations de Bamako et de Kati se dégradait progressivement, notamment en début d'hivernage, avec des pointes en 1984, 1988, 1993 et 1998 (MMEE, 2001). « *La flore, la faune et l'écosystème subissent durement les conséquences de cette pollution* », constate le directeur de l'Agence du bassin du fleuve. Cette situation est préoccupante pour les autorités qui ont tiré sur la sonnette d'alarme pour tenter de sauver ce fleuve qui est qualifié d'artère nourricière du pays.

La pollution des eaux, à savoir : la dégradation du milieu par le fait de l'homme, peut être physique, c'est-à-dire due à la présence de matières en suspension : elle se traduit par un trouble ou une coloration plus ou moins prononcée. Elle peut être aussi chimique, suite à la présence de substances en solution. Dans ce cas, on assiste à un changement de saveur et parfois à l'apparition d'un caractère toxique lorsque le corps dissous est un poison.

Pour la caractériser, on utilise différents paramètres dont les plus usités sont la demande biologique en oxygène (DBO), la demande chimique en oxygène (DCO), les matières en suspension (MES), les matières azotées et, enfin, les paramètres bactériologiques (Leroy, 1999).

Les causes de pollution du fleuve Niger sont multiples. On distingue les différentes pollutions suivantes.

Les pollutions domestiques

Il s'agit essentiellement des eaux usées domestiques comprenant deux catégories :

- les eaux-vannes, provenant des wc ou des latrines ;
- les eaux domestiques regroupant les eaux de ménages et les eaux savonneuses résultant des bains, des douches, de la lessive, etc. Elles sont transportées par des effluents dont le volume varie selon les villes. Les quantités de déchets produits sont importantes. À titre d'exemple, le district de Bamako produit quotidiennement 2 000 m cubes d'ordures ménagères et 2 200 m cubes d'eaux usées dont une bonne partie est déversée dans le fleuve (source ABN). Selon une étude faite par Tecsuit (1994), la production moyenne de déchets solides pour la ville de Bamako était de 1 033 828 m³ en 2003.

Selon J.-B. Leroy (1999), la pollution domestique peut être évaluée à :

- 65 g/habitant/jour de charge organique dissoute ;
- 70 g/habitant/jour de matières en suspension ;
- 14 g/habitant /jour d'azote Kjeldahl.

Calculés sur cette base, les déchets domestiques produits par an sont importants (tableau 6) : plus de 2 000 t de MES à Mopti contre 344 à Diafarabé.

| Localité | Population | Matières en suspension | Azote | Charge organique |
|-----------|------------|------------------------|-------|------------------|
| Diafarabé | 13 461 | 344 | 69 | 319 |
| Djénné | 19 233 | 491 | 98 | 456 |
| Macina | 31 655 | 809 | 162 | 751 |
| Mopti | 79 867 | 2 040 | 408 | 1 894 |
| Youwarou | 14 767 | 377 | 75 | 350 |

Tableau 6 - Quantité de déchets produits dans certaines localités du delta (en t)

Les pollutions urbaines et industrielles

Les pollutions urbaines sont très variées et regroupent les déchets d'abattoirs, des teintureries, des usines et des hôpitaux auxquels s'ajoutent les déchets occasionnés par le lavage des rues, des marchés et des trottoirs. Elles n'ont pas les mêmes impacts sur le fleuve Niger. Les déchets d'abattoirs – qui sont des déchets organiques – sont moins préoccupants que ceux des usines. Dans le district de Bamako, la production annuelle de déchets industriels atteint 9 715 t métriques dont 7 830 t métriques sont récupérées (81 %), 276 t métriques (3 %) sont recyclées, 238 t métriques sont brûlées (2 %) et 1 372 t métriques (14 %) jetées (ESPGRN SOTUBA).

Une étude effectuée dans la région de Koulikoro par la Direction régionale de l'assainissement, du contrôle des pollutions et des nuisances (DRACPN) fait ressortir que plusieurs unités industrielles contribuent à polluer le fleuve Niger et que 80 % des

usines maliennes sont implantées entre Bamako et Koulikoro (tableau 7). Elle fait ressortir aussi que la principale source de pollution du fleuve Niger est l’Huilerie cotonnière du Mali (Huicoma).

Si l’impact des pollutions engendrées par certaines unités industrielles a pu être quantifié (Huicoma, Bramali, Sukala), pour beaucoup d’entre elles nous ne disposons pas de données chiffrées. Les lignes qui suivent concernent donc essentiellement l’Huilerie cotonnière du Mali (Huicoma) et la Brasserie du Mali (Bramali).

Tableau 7 - Inventaire des unités industrielles, minières, artisanales et commerciales de la région de Koulikoro

| N° | | Lieu d'implantation | Distance de Koulikoro | Potentialités en matière de pollutions et de nuisances | | | | | | | Observation |
|----|--|---------------------|-----------------------|--|-----|-----|--------|-------|---------|--------|--------------------------|
| | | | | Eau | Sol | Air | Bruits | Odeur | Paysage | Autres | |
| 1 | Huicoma | Koulikoro | - | + | + | + | + | + | + | + | Prolifération d'insectes |
| 2 | INACOM | // | - | | + | | | | + | | |
| 3 | Comanav | // | - | + | | | + | | | + | |
| 4 | Usine de fûts | // | - | | + | | + | | | | Non fonctionnelle |
| 5 | Usine de beurre de Karité | // | - | + | | | | + | | | |
| 6 | GMM (Grands Moulins du Mali) | Kayo | 5 km | | | + | | + | | | Incinération des déchets |
| 7 | OMNIUM S.A. (pile Mansa) | Kayo | 5 km | + | + | + | + | | | | Pas d'observation |
| 8 | Briqueterie | Massala | 9 km | | | | | | | | |
| 9 | SAMPACARAP profil | Sala | 32 km | | | | + | | + | | En construction |
| 10 | SAMPACARA Métallurgie | // | - // - | | | | | | | | |
| 11 | Nouvelle Brasserie Bamakoise | Moribabougou | 40 km | | | | | | | | |
| 12 | BRAMALI | Banankoro | 80 km | + | + | | | + | | | Non fonctionnelle |
| 13 | Total Gaz Mali | // | - // - | | | + | | | + | | En construction |
| 14 | SIKA – MALI | // | - // - | | | + | | | + | | Pas d'observation |
| 15 | Usine d'aliments pour le bétail | // | - // - | | | | | | | | Pas d'observation |
| 16 | Boulangerie SANOGO | Koulikoro | | | | | | | | | - // - |
| 17 | Boulangerie Bourou Massa | Kati | 75 km | | | | | | | | |
| 18 | Boulangerie Fana | Fana | 175 km | | | | | | | | |
| 19 | Carrière de DIO | Dio | 85 km | | + | + | | | + | | |
| 20 | Carrière de Moribabougou | Moribabougou | 40 km | | + | + | | | + | | |
| 21 | Carrière de Yékébougou | Yékébougou | 130 km | | + | + | | | + | | En construction |
| 22 | Dépôt d'hydrocarbure | N'gabakoro-droit | 32 km | | | | | | | | |
| 23 | Atelier métallique | Tienfala | 30 km | | + | | | + | | | |
| 24 | Atelier métallique | Kati | 75 km | | + | | + | | + | | Non fonctionnelle |
| 25 | SOMACO | Baguinéda | 85 km | | | | | | | | |
| 26 | Entreprise de matériel de construction | Dio | 85 km | | | + | + | | | | Non fonctionnelle |
| 27 | Eau minérale " Diago" | Kati - Lido | 75 km | | | | | | + | | |
| 28 | Eau minérale Tombouctou | Kati | 75 km | | | | | | + | | |

| | | | | | | | | | | | |
|----|---|----------------|--------|---|---|---|---|--|--|---|------------------------|
| 29 | CMDT Usine d'égrainage de coton | Ouéléssébougou | 130 km | | | + | + | | | | |
| 30 | CMDT - Fana | Fana | 175 km | | | + | + | | | | |
| 31 | CMDT – Dioïla | Dioïla | 215 km | | | + | + | | | | En construction |
| 32 | Bonneterie | Fana | 175 km | | | | | | | | En construction à Fana |
| 33 | Entreprise Italienne de TP | Didéini | 245 km | | | + | | | | | |
| 34 | Usine d'aliments pour le bétail | Fana | 175 km | + | | | | | | | |
| 35 | Association des teintureries | Koulikoro | - | + | + | | | | | + | |
| 36 | Association des exploitants de déchets de Huicoma | Koulikoro | - | + | + | | | | | + | |
| 37 | Mine d'or de Kangaba | Kangaba | 125 km | + | + | | | | | + | |

Le signe plus (+) indique que les potentialités sont positives en matière de pollutions ou de nuisances en agissant sur le sol, l'air, l'eau, etc.

Le Mali est un pays peu industrialisé. Néanmoins, rien qu'à Bamako, plus d'une centaine d'industries dans la zone industrielle en commune II rejettent des eaux usées. Les méthodes de traitement et d'évacuation des effluents industriels sont, en général, médiocres car les installations existantes sont insuffisantes ou non opérationnelles (SNV). Ainsi, la plupart des usines évacuent leurs eaux usées dans des puits d'infiltration, dans le fleuve ou dans les caniveaux pour eaux pluviales. D'autres les épandent simplement sur le sol. Quelques exemples permettront d'illustrer ces constats.

Huicoma

Les sources de pollution du fleuve par Huicoma se situent à plusieurs niveaux.

La savonnerie

Cette unité a une capacité d'environ 8 t/jour (Primature, Mission de restructuration du secteur coton, 2002). Elle produit des déchets solides tels que la pâte de neutralisation qui se retrouvent tout autour de l'usine ainsi que des eaux usées pouvant être chargées de soude caustique.

L'huilerie

La production annuelle d'huile est de 57 000 t d'huile raffinée dont 35 000 t en fût de 200 l.

Le lavage des fûts d'huile neutre à l'eau chaude produit des eaux usées chargées de soude caustique qui est un produit corrosif et dangereux pour la santé et l'environnement. Ces eaux usées sont déversées dans le fleuve au moins trois fois par mois selon les populations.

Le brûlage de coke dans les chaudières produit, d'une part, quelques 6 t de cendres pâteuses, un produit basique dangereux pour l'environnement et la santé, et, d'autre part, des escarbilles (aérosols) qui sont, dans le meilleur des cas, récupérés dans des fûts de 200 l.

Les déchets d'hydrogénation (réaction de l'hydrogène avec l'huile en présence de nickel) de l'huile sont stockés, en attendant une solution de recyclage pour récupérer le nickel, dans 42 fûts de 200 l. à 300 m en amont du point de captage de la station de traitement d'eau potable de EDM. Ces déchets dangereux, car contenant du nickel qui fait partie des métaux lourds, se retrouvent dans le fleuve sous l'effet des eaux de ruissellement.

Autres sources de pollution

Les huiles usées provenant des opérations de vidange des machines et des autres engins (environ 2 000 l par an) sont déversées dans la nature pour terminer leur course dans le fleuve à la faveur des eaux de pluie qui drainent aussi toute une gamme de déchets (déjections animales, feuilles mortes, sacs en plastique, épiluchures, poussière des villes). Ces huiles sont des composés organiques de synthèse qui peuvent être responsables de la non pénétration des rayons solaires dans l'eau et de la diminution de la quantité d'oxygène dissous. En plus de la détérioration de la qualité de l'eau, elles modifient la faune et la flore aquatique et entraînent l'eutrophisation des rivières. Les

eaux de lessivage des filtres usés (environ 1 000 par an) sont des sources de pollution du fleuve car elles contiennent d'importantes quantités d'huile.

La situation est donc préoccupante à Koulikoro car les pollutions engendrées par Huicoma menacent sérieusement l'environnement et la vie des populations. Comme constat, on peut retenir :

- le changement de couleur et du goût de l'eau qui devient fade ;
- la mort des poissons entraînant une diminution des captures ;
- l'encombrement des filets de pêche par divers objets ;
- le noircissement et le pourrissement des matériels de pêche surtout quand ils sont en contact avec les mousses ;
- la destruction des pontes et des alevins qui flottent sur l'eau en toute période ;
- l'apparition de végétaux flottants ;
- la prolifération des insectes sur le fleuve ;
- la formation de grosses mousses de savon à la surface de l'eau ;
- l'apparition de diverses maladies (démangeaisons, dermatites, maux de ventre, problèmes de vision, etc.).

Les analyses effectuées par le laboratoire de la qualité de l'eau pour évaluer le niveau des pollutions montrent que :

- en amont et en aval des stations d'épuration, l'eau est polluée, basique et très colorée avec une turbidité élevée ; la DCO ainsi que les teneurs en nitrate, nitrite et nickel sont très élevées ;
- au niveau de la prise d'eau EDM de Koulikoro, la turbidité de l'eau est comprise entre 70 et 250 alors que la normale est comprise entre 0,8 et 5,5 ; quant au PH, il se situe entre 6,1 et 7,5 pour une normale comprise entre 7,1 et 7,9.

Bramali

Les déchets produits sont constitués de débris de verre, des drèches de bière, des emballages et des eaux usées de l'usine.

Les pollutions agricoles

Même si le niveau d'intensification de l'agriculture au Mali n'est pas le même que celui des pays développés, la recherche de rendements de plus en plus élevés entraîne une mécanisation croissante et une utilisation plus importante d'engrais et de pesticides. Une des conséquences pour le milieu aquatique est l'érosion des sols, suite à des monocultures, par les eaux de ruissellement qui drainent vers le fleuve tous les éléments arrachés à la terre : même une forte pluie survenant juste après une application d'engrais entraînera une quantité importante d'éléments nutritifs.

Pour la protection des cultures, des quantités importantes de produits chimiques sont utilisées chaque année.

Ainsi, en zone Office du Niger, le Fenthion et le Cyanox sont utilisés depuis plusieurs années dans la lutte contre les oiseaux pour des quantités respectives de 2 160 et 4 370 l. Si la méthode actuelle de lutte contre les déprédateurs (par signalisation des itinéraires de pulvérisation du produit par les avions) permet de minimiser les impacts sur l’environnement aquatique, il faut quand même signaler que l’eau reste non potable deux à trois jours après la pulvérisation (Diarra L., 1998).

De même, pour lutter contre les rongeurs, plus de 25 000 t de ces produits souvent dangereux pour l’homme sont déversés dans les écosystèmes sahéliens (Diarra W., 2003).

Plus récemment, en zone Office du Niger et dans la région de Mopti, la Division Prévention des Risques Protection des Animaux et Végétaux (DPRPAV 2003) a utilisé pour lutter contre les ravageurs par voie aérienne et/ou terrestre, des milliers de litres de pesticides (tableau 8).

| Type de ravageurs | Niono | | | Mopti | |
|---------------------------------|--------|-------|--------|-------|-------|
| | 2001 | 2002 | 2003 | 2002 | 2003 |
| Oiseaux | 15 005 | 4 910 | 17 826 | 1 440 | 1 050 |
| Sauteriaux | 6 975 | 505 | 7 827 | 970 | 2 853 |
| Cantharides et chenilles | 1 028 | - | 1 445 | - | 49 |

Source : Rapport annuel de la DPRPAV

Tableau 8 - Quantités de pesticide utilisées autour de Niono et de Mopti (litres d’avicides ou de ULV)

Même si l’on reconnaît l’effet bénéfique de ces traitements, il y a lieu de s’inquiéter parce que ces produits qui restent longtemps dans le sol (car, en général, très peu biodégradables) seront transportés en grande partie vers le fleuve par les eaux de ruissellement ou en profondeur pour polluer les eaux souterraines.

Transportés par les eaux, ces produits aboutiront en aval dans des mares et souvent à des concentrations dépassant les niveaux acceptables. La consommation de ces eaux polluées peut avoir des conséquences graves pour le bétail et pour l’homme.

Le marâchage dans le lit du fleuve au niveau du district mérite aussi d’être signalé parmi les sources de pollution. Les ressources en eau utilisées pour irriguer les surfaces agricoles sont aussi utilisées pour rincer le matériel de pulvérisation des pesticides.

Les pollutions par les transports

Les sources de pollution par les moyens de transport sont variées mais difficiles à quantifier.

À la Comanav, même si les problèmes de pollution sont moindres, il faut quand même signaler :

- le déversement des huiles de vidange des moteurs de bateaux (400 l par vidange); mais de nos jours cet impact est faible car les populations récupèrent ces huiles pour d'autres besoins ;
- le lavage des citernes contenant des lubrifiants ;
- les pertes d'huiles dues à des fuites de réservoir ou à des moteurs de bateaux défectueux.

Les transports fluviaux génèrent différents types de déchets notamment dans les zones où le trafic est intense. Les points de stationnement des bateaux sont de véritables lieux d'échange qui génèrent différents déchets : sachets plastiques, huiles, graisses, qui peuvent être toxiques. Le niveau de pollution dépend de l'importance du lieu et de la durée du stationnement.

Au cours du voyage, tous les déchets produits par les voyageurs sont déversés dans le fleuve. Il en est de même pour toutes les marchandises avariées.

Le nettoyage de cuve de produits pétroliers et des citernes transportant les pesticides contribue aussi à la pollution des eaux.

Autres sources de pollution

Compte tenu de la complexité du sujet, il est difficile de traiter de façon exhaustive l'ensemble des sources de pollution du fleuve Niger. Cependant nous pensons qu'il est nécessaire de signaler les sources suivantes :

- beaucoup de pêcheurs utilisent des produits toxiques et explosifs en vue du ramassage de poisson ;
- les pesticides sont utilisés dans la lutte contre certains vecteurs de maladies. Depuis longtemps le DDT est employé au Mali et, actuellement, un vaste programme de lutte contre l'onchocercose est mis en œuvre en collaboration avec l'OMS. Dans ce cadre, des quantités importantes de pesticides, notamment le Témephos (Abate) et le Chlorphoxim, sont utilisés pour lutter contre les larves du diptère *Simulium damnosum*. Ces pesticides contribuent à polluer les eaux du Niger ;
- de nombreux usagers utilisent le fleuve comme débarras de produits de toutes sortes : cadavres d'animaux, vidanges de fosse septique, nettoyage de cuve de produits pétroliers ;
- les déchets animaux représentent une autre source de pollution du fleuve. Même si leur volume réel est difficile à évaluer, compte tenu de l'importance du cheptel

dans le delta, force est de reconnaître que, lorsque ces déchets seront déversés dans le fleuve, des problèmes considérables de pollution surviendront.

Gestion des risques de pollution

Le Mali est un pays peu industrialisé. Néanmoins, rien qu'à Bamako, plus d'une centaine d'industries dans la zone industrielle en commune II rejettent des eaux usées. Les méthodes de traitement et d'évacuation des effluents industriels sont en général médiocres car les installations existantes sont insuffisantes ou non opérationnelles. Ainsi, la plupart des usines évacuent leurs eaux usées dans des puits d'infiltration, dans le fleuve ou dans les caniveaux pour eaux pluviales. D'autres les épandent simplement sur le sol. Quelques exemples permettront d'illustrer ces constats.

Huicoma

Pour l'évacuation des déchets solides et/ou liquides, plusieurs dépôts sont utilisés. Les déchets y sont stockés dans des fûts de 200 l à même le sol sans le moindre aménagement. Les fûts des déchets d'hydrogénation (qui se situent à 200 m du fleuve et à 300 m en amont du point de captage de EDM) coulent sous l'effet de la corrosion. Le sol, couvert d'huile et d'autres produits souvent dangereux, représente une source de pollution.

À la raffinerie, les eaux usées sont traitées dans deux bassins de décantation : l'un reçoit les eaux de refroidissement ainsi que les eaux du traitement en cas de panne d'électricité, tandis que le second traite les eaux de nettoyage des ateliers et des équipements et l'eau de lavage de l'huile brute. Ces bassins reçoivent donc beaucoup d'eaux usées de toute qualité. Or, une simple décantation ne peut en aucun cas épurer ces eaux chimiquement polluées. Toutes les eaux provenant des bassins de décantation constituent donc une source de pollution du fleuve. D'autre part, il faut signaler que la capacité de traitement des eaux usées de l'huilerie ne dépasse pas 60 %. Le reste des déchets liquides (40 %) est rejeté directement dans le fleuve.

La totalité des déchets produits à la savonnerie est déversée directement dans le fleuve sans aucune forme de traitement. Même si la station de traitement des eaux usées est en bon état, elle n'est pas fonctionnelle à cause du coût de fonctionnement trop élevé.

Bramali

Au niveau de Bramali, il n'y a pas de station de traitement des eaux usées. En conséquence, plus de 85 % des eaux usées sont déversées dans la nature. L'unité dispose de deux grands bassins qui ne peuvent arrêter que les grosses particules de déchet et ne répondent aucunement aux normes en vigueur. Cette situation a pour conséquence, entre autres, la pollution des eaux de surface lorsque les eaux usées sont entraînées par les eaux de ruissellement qui aboutissent souvent au fleuve.

Siribala

En zone Office du Niger, les eaux résiduelles de la sucrerie de Siribala ne subissent aucun traitement préalable et ne font l'objet d'aucun recyclage. Ces eaux sont acheminées normalement vers une cuvette située à 200 m de l'usine. Mais, en cas de panne de la pompe de refoulement, elles sont alors déversées dans les drains agricoles, entraînant une pollution occasionnelle de l'eau. Selon les pêcheurs de la zone, l'effet de cette pollution est l'asphyxie immédiate du poisson dans les endroits à forte concentration d'eau résiduelle. L'effet létal du produit s'observe sur près de 20 km au-delà du déversoir de l'usine. Sa rémanence qui reste à préciser est d'environ un mois selon les pêcheurs (Diarra L., 1998).

Recommandations

Au terme de ce bref survol, nous proposons quelques mesures d'atténuation des impacts de la pollution. D'une façon générale, pour améliorer la qualité de l'eau, nous recommandons :

- de communiquer pour un changement de comportement (CCC) : il s'agira de mettre un accent particulier sur l'implication des populations dans la sauvegarde de l'environnement. Une prise de conscience sur les conséquences néfastes de certains gestes quotidiens devra être l'objectif visé par une bonne politique d'information, d'éducation et de communication (IEC) ;
- de traiter les déchets liquides de toutes les unités industrielles avant leur rejet dans le fleuve ;
- de construire des magasins de stockage des déchets solides avant leur recyclage ;
- d'appliquer la loi N° 01-120 relative aux Nuisances (loi du pollueur-payeur) ;
- d'installer un système d'épuration des eaux usées de la zone industrielle ;
- de créer une décharge finale pour les industries ;
- de lutter contre les plantes polluantes ;
- de faire des analyses périodiques pour un contrôle permanent de la qualité de l'eau ;
- d'appliquer les mesures d'atténuation et d'accompagnement ;
- de tenter d'éloigner à certaines saisons le cheptel des bordures du fleuve pour limiter la pollution due aux déchets animaux ;
- lorsqu'on est sûr que les déchets transportés sont importants, il importe de déterminer la DBO maximum acceptable afin d'éviter que la concentration d'oxygène ne tombe à un niveau dangereux pour les poissons.

Dans le cas particulier de Huicoma, les mesures à prendre sont les suivantes.

À court terme :

- construire des silos pour une gestion économique et saine des stocks de graines ;
- créer un dépôt d'huiles usées ;
- reconditionner les déchets d'hydrogénation dans des fûts appropriés ;

- regrouper les fûts dans un magasin en évitant de les stocker à même le sol ;
- recycler les déchets d'hydrogénation en vue d'y extraire le nickel ;
- procéder au tri des déchets ;
- arrêter l'envoi des résidus de pâte de neutralisation et des déchets plastiques sur les dépotoirs ;
- mettre le stock de résidus de la pâte de neutralisation à l'abri de la pluie.

Autorité municipale : identification et aménagement d'une décharge finale

À moyen terme :

- améliorer le système d'épuration des eaux usées ;
- procéder à l'évaluation quantitative et qualitative de chaque type de déchets :
 - les eaux usées de la savonnerie et de l'huilerie ;
 - les cendres des cheminées et des chaudières ;
 - les résidus de pâte de neutralisation ;
 - les déchets plastiques.

À long terme :

- construire une station d'épuration pour l'ensemble des eaux usées de la savonnerie ;
- installer des filtres sur les deux cheminées pour récupérer les escarbilles.

Pour l'amélioration de la qualité de l'eau au niveau du district de Bamako, les mesures suivantes peuvent être envisagées :

- amélioration de la filière/système de traitement ; il s'agira d'améliorer les performances de la station de traitement par l'insertion d'une phase d'injection de charbon actif avant décantation ;
- préservation de la qualité de l'eau dans le réseau de distribution ;
- renforcement des équipements de laboratoires ;
- renforcement des ressources humaines d'exploitation ;
- information, éducation et communication (IEC). Cette action devrait s'effectuer en permanence de façon à influencer sur le savoir être des populations ;
- application des textes existants ;
- renforcement du cadre réglementaire de l'eau ;
- construction d'une nouvelle station de traitement.

Conclusions et recommandations

Conclusions

Pour mieux gérer les inondations dans le bassin du fleuve Niger et minimiser les dégâts, une sensibilisation accrue doit être faite du côté de la population et les services techniques doivent jouer pleinement leur rôle ; pour cela le gouvernement doit mettre à la disposition de ces derniers des moyens adéquats.

Il est nécessaire de mettre en place, au plan national, un mécanisme de prévention et de gestion des calamités naturelles : ceci pourrait être une cellule de veille dotée de ressources humaines, matérielles et financières conséquentes.

La qualité de l'eau n'est pas uniquement une préoccupation locale : les contaminants dans les eaux superficielles voyagent souvent sur de longues distances en franchissant les frontières nationales.

Elle constitue un enjeu de taille pour les nombreux cours d'eau, ce qui induit la nécessité d'examiner les droits et les besoins des utilisateurs en aval.

Les facteurs influant sur la qualité des eaux transfrontalières sont :

- la croissance démographique et l'urbanisation ;
- les changements climatiques ;
- l'expansion économique, la demande d'énergie et la production accrue de déchets ;
- l'intensification de l'agriculture ;
- les préoccupations liées aux eaux transfrontalières :
 - offre et demande d'eau ;
 - emploi et rejets de produits chimiques ;
 - perte d'habitat aquatique et de diversité biologique ;
 - gestion des déchets.

Il faut garder à l'esprit que l'impact des pollutions accidentelles souvent sous-estimé, est important et qu'il doit en être tenu compte dans toute politique de gestion des milieux aquatiques.

Quelle que soit la qualité des méthodes et des moyens de lutte, la solution de tels problèmes, ou du moins la raréfaction de leur occurrence, passe avant tout par la prévention.

Avec une volonté sans faille et un engagement soutenu des populations dans la gestion et dans la sauvegarde des ressources du bassin du fleuve Niger, la stabilité de l'environnement socio-économique sera une réalité.

Recommandations

Pour remédier aux différents problèmes de dégradation des écosystèmes, de limitation de la pollution et de sauvegarde du fleuve et de son environnement, il est nécessaire de mener certaines actions :

- assurer la formation des populations riveraines en général et de toute la communauté en particulier sur la nécessité de la gestion des ressources naturelles et sur le suivi de l'environnement en liaison avec la convention de Rio, notamment sur la lutte pour la diversité biologique et contre la désertification et les changements climatiques ;
- soutenir la participation des femmes dans leurs activités de teinture ou de maraîchage sur les berges le long du fleuve en mettant en place des aires de lavage pour empêcher la pollution de l'eau du fleuve et des aires de jardinage avec des enclos et des puits pour empêcher la dégradation des berges et la coupe de bois sur les berges ;
- informer les populations et les décideurs sur les différentes causes de détérioration de l'environnement du fleuve (forte pression sur les ressources, ouverture anarchique de carrières par les orpailleurs et par les fabricants de brique sur les abords immédiats du fleuve, rejets des eaux usées et de déchets solides dans le fleuve, exploitation anarchique de sables et de graviers, etc. ;
- responsabiliser, faire participer et impliquer les populations dans toutes les actions de développement des ressources du fleuve ;
- interdire à toutes les sociétés industrielles le rejet systématique des eaux usées et des déchets solides dans le fleuve, les obliger de faire un pré-traitement et mettre en place des stations d'épuration et de traitement des déchets ;
- mettre en place un comité de surveillance et de contrôle des sociétés ;
- vérifier la qualité de l'eau qui constitue un enjeu de taille pour les nombreux cours d'eau qui sont souvent contaminés par les impacts des activités de développement socio-économiques.