

# Processus d'édification des ressources naturelles en zones inondables tropicales

**Robert Arfi**  
Hydrobiologiste

En évoquant le fonctionnement écologique de zones inondables, on fait le plus souvent référence à des processus transitoires et réversibles, qui concernent essentiellement des dépressions plus ou moins profondes dans des zones « plates ». Lorsque ces zones se situent en milieu tropical, il faut prendre en compte les effets d'une saisonnalité thermique peu marquée et d'activités métaboliques facilitées par des températures souvent élevées. Le fonctionnement de ces systèmes est le plus souvent basé sous l'influence du régime du "flood pulse" (Junk *et al.*, 1989) qui contrôle la mise en eau temporaire des zones inondées avec leur enrichissement, et qui transforme complètement les mécanismes d'édification des ressources naturelles à partir d'apports nutritifs exogènes – tant particuliers que dissous – liés à la crue (Scheffer, 1998). La crue fait transiter dans un site donné de l'eau avec sa charge minérale et organique, ce qui transforme radicalement les conditions hydrogéochimiques locales et initie un nouveau cycle biologique. Pendant une période de durée variable, des processus chimiques et biologiques pourront se développer dans les zones inondées, aboutissant à une production de biomasse nouvelle qui sera exportée ou s'accumulera sur place. En fin de cycle, les conditions se transforment de nouveau et se rapprochent plus ou moins rapidement de ce qui était observé avant l'arrivée de l'eau. L'intensité de ces processus sera très différente en fonction de l'éloignement des sites où ils se produisent par rapport au lit du

fleuve, et donc de leur connectivité (Junk, 1997). De même, la profondeur de la lame d'eau et son temps de résidence dans un milieu donné sont autant de paramètres essentiels dont dépendra *in fine* la productivité de ce milieu.

Ainsi, la pérennité de ces sites, leur productivité – et en fait leur sensibilité à l'intensité de la crue – dépendront aussi bien de leur position géographique, de leurs caractéristiques morphologiques (profondeur, superficie du bassin versant, qualité des sols) que de leur histoire socio-culturelle (usages, aménagements). On observera donc une multitude de situations intermédiaires et spécifiques. En affectant les usages et en modifiant les caractéristiques physiques, les pressions anthropiques jouent aussi un rôle important quant à la « qualité » de ces milieux aquatiques.

## ■ L'eau, vecteur d'apports exogènes et milieu de transformations

Pour comprendre les mécanismes qui contrôlent les processus d'édification des ressources naturelles en zones inondables tropicales, il faut s'intéresser à l'eau en tant que vecteur d'apports exogènes et en tant que milieu de transformations biogéochimiques. Il faut donc, d'une part, aborder le fonctionnement hydrologique de ces zones en s'intéressant notamment au suivi de l'inondation qui reflète le chemin de leur enrichissement naturel et, d'autre part, s'intéresser aux processus (physiques, chimiques ou biologiques) permis par la présence transitoire de l'eau dans ces milieux. En effet, la fertilisation du milieu par l'eau est à la base des processus biologiques permettant la productivité primaire. Ces processus sont à la fois contrôlés par des facteurs ascendants (*bottom-up*, liés aux conditions environnementales qui permettent l'accès aux ressources) et descendants (*top-down*, liés au contrôle biologique par les consommateurs au sein d'un réseau trophique). Ces productions s'organisent dans l'espace et dans le temps (répartition, abondance, disponibilité), et leur transfert au sein des réseaux trophiques aboutit à l'édification de ressources, exploitées ou non.

## Saisonnalité et variabilité interannuelle de l'inondation

Dans une zone inondable, la crue constitue l'irruption d'un phénomène – l'arrivée des eaux fluviales – ayant une origine décalée dans l'espace et dans le temps, dans un milieu dont le fonctionnement était jusqu'alors régulé par des conditions climatiques et hydrologiques locales. Ces apports exogènes, parfois d'origine très lointaine et qui s'ajoutent à la pluviométrie locale, sont liés aux conditions météorologiques régnant en amont, et le cas échéant aux éventuels aménagements ou usages des plans d'eau de l'amont. Par ailleurs, les climats tropicaux sont caractérisés par une saison des pluies toujours très marquée par rapport à une saison sèche plus ou moins longue. Ainsi, l'édification des ressources naturelles dans les zones inondables tropicales dépendra avant tout d'une crue annuelle induisant une forte saisonnalité. Aussi, la dynamique hydrologique est fortement dépendante de la variabilité climatique du bassin versant dont dépend la zone inondable. Par exemple, dans le delta intérieur du fleuve Niger, Gil Mahé *et al.* montrent que la diminution des superficies inondées observée au cours des années 1980 serait due essentiellement à la diminution des écoulements fluviaux provenant de Guinée, même si les pluies sur le delta ont aussi diminué de 20 % au cours de cette période. Par contre, des règles de gestion des eaux mal maîtrisées peuvent changer la dynamique hydrologique locale (remontée du niveau de la nappe phréatique, inondations atypiques), comme le souligne Alioune Kane dans le cas du delta du fleuve Sénégal, où les inondations sont de plus en plus fréquentes avec des conséquences catastrophiques pour les cultures et les infrastructures riveraines, malgré la baisse actuelle des maximums de crue et en dépit des aménagements construits pour en atténuer les effets.

La connaissance des superficies inondées en fonction des termes du bilan hydrologique est un moyen rapide pour évaluer les potentialités en ressources naturelles de ces zones. Différents modèles hydrologiques ont été proposés pour estimer les superficies maximales inondées du delta intérieur du Niger : les superficies inondées varieraient entre 9 000 km<sup>2</sup> en 1984, année la plus sèche du XX<sup>e</sup> siècle, et plus de 40 000 km<sup>2</sup> en 1955, année la plus humide. Mais outre les modèles hydrologiques, des descripteurs écologiques peuvent également être utilisés pour

suivre l'évolution de l'inondation. En effet, la forte saisonnalité induit des modifications importantes du paysage. L'inondation, qui accompagne l'arrivée de la crue, transforme un milieu souvent aride en un milieu humide. Ce phénomène entraîne un basculement progressif des conditions environnementales aboutissant à une spatialisation de la couverture végétale liée aux conditions morphologiques de la zone inondée. *A contrario*, le décryptage de cette couverture végétale en fonction d'associations agro-écologiques spécifiques renseignent sur les surfaces moyennes inondables. Didier Orange *et al.* utilisent ces deux types d'approche – hydrologique et agro-écologique – pour décrire le fonctionnement hydrologique par seuil du delta intérieur du Niger et discuter la forte variabilité interannuelle de l'inondation.

Enfin, s'il est important de pouvoir estimer les superficies totales en eau pour une planification de la gestion des ressources naturelles, il est également très utile de connaître la dynamique spatio-temporelle de l'inondation. Ainsi, pour une zone aussi grande que le delta intérieur du Niger, la télédétection peut représenter un outil performant, comme le montrent Adama Mariko *et al.* en utilisant des données satellitales NOAA. A partir de séquences d'image, les auteurs décrivent l'évolution du front d'inondation et d'assèchement en 1999. Les images mettent en évidence l'évolution de la végétation herbacée qui s'installe au début de la crue, présente une extension maximale en décembre, commence à se dégrader en février et disparaît en grande partie en juin, laissant un sol alluvionnaire nu. Cette vision synoptique d'un phénomène dynamique peut s'avérer d'autant plus riche d'information que l'on se rapproche du traitement en temps réel, ce qui semble possible puisque ces images sont acquises quotidiennement par le centre Agrhymet de Niamey.

### *Seuils topographiques et apports allochtones*

L'inondation fonctionne comme un moteur assurant le transit d'énergie dans le système, amenant l'eau, les particules et le matériel dissous dans des milieux jusqu'alors confinés ou asséchés. Cette mise en connexion avec le reste du bassin et entre les compartiments constitutifs de la zone inondable est dépendante de seuils topographiques (naturels ou aménagés) qui font que les zones inondables n'ont pas uniquement une fonction de transfert. Mais elles jouent un rôle de piège retenant des quantités

considérables d'eau et de composés particuliers et dissous, comme Cécile Picouet *et al.* l'expliquent. Ces auteurs montrent que suivant l'hydraulicité de l'année, 30 à 45 % des entrées d'eau dans le delta intérieur du Niger sont perdues par évaporation. Ils confirment le fonctionnement hydrologique par seuil du remplissage successif des plaines, des mares et des lacs qui stockent puis consomment des volumes d'eau et de matières significatifs. Ainsi, la traversée du delta entraîne la capture de 26 à 54 % des entrées de matières particulières.

## Facteurs et processus contrôlant la productivité primaire

Faible profondeur, éclairement fort et constant, températures de l'eau et de l'air souvent élevées sont autant de caractéristiques des zones inondables tropicales. La morphologie naturelle (seuils, bathymétrie, végétation) et les aménagements (seuils ou chenaux artificiels, barrages) contrôlent l'intensité et la durée de la crue et de la décrue, et donc les temps de résidence de l'eau ainsi que les transferts de matière d'un bief à l'autre. Toutefois, l'élaboration de la ressource ne se réalise que lorsque la situation devient favorable pour les différents compartiments producteurs. Ces caractères peuvent expliquer la rapide colonisation des sites une fois remis en eau et le très fort développement de biomasse végétale qui s'en suit. Ils expliquent aussi le rôle secondaire joué par le compartiment pélagique, surclassé en biomasse par des macrophytes triomphantes parce qu'accédant aisément aux ressources nutritives avec peu ou pas de limitation énergétique. En effet, la transformation locale d'un matériel d'origine allochtone amené par la crue, puis d'un matériel autochtone et de recyclage, obéit à des règles particulières largement dépendantes de la morphologie des sites, et, le cas échéant, des aménagements. Fleuves et défluent ne sont généralement que des « tubes » assurant le transit de l'eau et des ressources minérales, alors que les lacs et les mares ne deviennent favorables à la production planctonique que lorsque les temps de résidence et surtout les conditions d'éclairement le permettent dans un contexte de

profondeur optimum autorisant des échanges aisés entre la couche supérieure, éclairée et productive, et la couche profonde, siège de la minéralisation à l'interface eau-sédiment. Didier Orange *et al.* décrivent le fonctionnement biogéochimique d'une plaine d'inondation typique du delta intérieur du Niger où les chemins de l'eau et la turbidité sont les principaux paramètres explicatifs de l'évolution des teneurs en nutriments dans les divers compartiments constitutifs de la plaine, qui s'avère être une formidable zone de stockage d'azote et de phosphore. Dans cette même plaine, Robert Arfi démontre que ces conditions nécessaires à la concrétisation de la productivité primaire principalement liées à l'hydrodynamisme et au temps de résidence de l'eau dans le milieu sont en étroite relation avec les exigences respectives des producteurs microphytiques ou macrophytiques, fixés ou dérivants. Ainsi, par exemple, la profondeur des sites et les énergies auxiliaires – comme le vent – régulent le réapprovisionnement de la couche euphotique en éléments nutritifs. La productivité de ces milieux généralement peu profonds dépend donc des conditions environnementales, qui contrôlent la production primaire *via* la climatologie et la morphologie locale.

## ■ Macrophytes et consommateurs secondaires

Les zones inondables tropicales sont essentiellement favorables aux macrophytes. Comme le montre Jacques Lemoalle, les macrophytes sont un élément majeur du fonctionnement des zones inondables avec la mise en œuvre d'une association étroite entre les cycles climatique, hydrique et biologiques. Ainsi le succès de leur colonisation dépend à la fois de la répartition temporelle des pluies locales préalables à la crue, qui permettent leur germination, que de l'ampleur de la crue. Ces formations végétales ont aussi un rôle déterminant dans la structuration des communautés phytoplanctoniques. Le long des berges mais aussi aux entrées et aux sorties des plans d'eau lacustres, les macrophytes forment des réseaux de tiges très denses, qui exercent une action de filtration efficace et favorisent la sédimentation et le piégeage des particules

pélagiques. D'après Samuel Diarra *et al.*, ce rôle considérable des macrophytes dans le piégeage particulaire serait à l'origine d'un changement récent du fonctionnement hydrosédimentologique du lac Débo, lié à la prolifération du « bourgou » dans les lacs centraux du delta intérieur du Niger à la faveur des sécheresses récentes. En outre, alors que les sites de pleine eau sont caractérisés par une production surtout autotrophe, les formations macrophytiques où s'accumule et s'immobilise du matériel biologique sont caractérisées par un fonctionnement basé sur l'hétérotrophie et les échanges de proximité entre compartiments. Enfin, elles jouent un rôle essentiel pour les comportements trophiques et de reproduction du zooplancton et des poissons.

La présence et l'abondance des consommateurs secondaires susceptibles d'utiliser la ressource primaire disponible, eux-mêmes dépendants de la présence et de l'abondance des carnivores, vont conditionner les transferts trophiques vers les niveaux exploitables. A cet égard, les migrations de poissons liées à la propagation de l'onde de crue sont un élément essentiel du fonctionnement écologique des zones inondables. Dans le delta intérieur du Niger, Vincent Bénéch démontre l'importance des migrations latérales dans l'utilisation de la zone inondable par les poissons originaires du système fluvial. Les espèces de petite taille se cantonnent dans les chenaux et les abords des plaines inondées, alors que les espèces de grande taille restent dans le réseau fluvial pour effectuer leur reproduction. Les plaines inondées joueraient donc un rôle de nurseries à la faveur des zones macrophytiques et permettraient une croissance élevée. La colonisation de ces milieux s'effectue par le biais de plusieurs cohortes de jeunes qui pénètrent successivement dans la plaine à la faveur de la montée des eaux. Ce phénomène pourrait correspondre à une adaptation aux modifications des caractéristiques saisonnières de la crue, et donc aux potentialités trophiques offertes par les zones inondées. En raison de cette fonction nourricière essentielle de la plaine inondée, il pourrait s'avérer intéressant de contrôler l'alevinage de certains milieux et d'augmenter artificiellement le temps de résidence des eaux. Cependant, on rencontrerait alors des conflits d'intérêt quant aux usages des milieux, la récolte de riz qui succède habituellement aux activités halieutiques de décrue nécessitant un contrôle du niveau d'eau contradictoire.

Outre les migrations de poissons, déjà évoquées, les crues ont un effet régulateur du comportement de nombreuses espèces animales.

Bruno Sicard et Wamian Diarra montrent l'importance du cycle hydrologique pour les processus liés à la reproduction et aux pullulations de rongeurs. Enfin, on sait aussi que les oiseaux peuvent faire office d'indicateurs écologiques, tant par leur présence que par leur activité et leur influence sur les transferts trophiques dans les systèmes terrestres et aquatiques.

## ■ Variabilités et résiliences

La crue et l'inondation qui s'en suit contrôlent donc l'édification des ressources dans les zones inondables. Comme nous venons de le voir, ces phénomènes hydrologiques présentent une très forte variabilité en zone tropicale. Aussi, des infrastructures sont souvent développées pour limiter cette incertitude et pour augmenter la productivité agricole. De tels dispositifs modifient parfois l'intensité et la dynamique des apports exogènes en contrôlant les temps de résidence et la connectivité des sites, et limitent ainsi l'enrichissement du milieu. Pour pallier à ces inconvénients, des processus mimant le cycle naturel de l'inondation peuvent être mis en œuvre avec des succès divers, la manipulation de systèmes dont on ne connaît qu'imparfaitement le fonctionnement pouvant s'avérer hasardeuse. Ces dispositifs ont des conséquences environnementales non négligeables, comme le montrent Serge Marlet et Kabirou Ndiaye à propos de l'évolution des sols et des eaux à l'Office du Niger au Mali. Une autre caractéristique de ces zones inondables tropicales est leur pouvoir résilient parfaitement adapté à cette forte variabilité de l'apport en eau. Cependant, on peut se demander où se situe la limite de réversibilité des processus naturels induisant la fertilité de ces zones? Dans certains cas d'aménagements ayant entraîné une dégradation sensible de la qualité des sols et des eaux, il s'est avéré intéressant de retrouver un cycle d'inondation naturelle, comme l'expliquent Daniel Sighomnou *et al.* dans le cas du réaménagement de la plaine du Yaéré dans le nord du Cameroun. La richesse naturelle des zones inondables, leur fragilité, réelle ou supposée, plaident pour le maintien, voire la restauration, d'un cycle hydrologique naturel essentiel pour les processus participant à l'édification des ressources naturelles dans ce chaos organisé.

## Conclusion

Vecteur d'eau, de particules et de composés dissous dont des éléments nutritifs indispensables à la production primaire, la crue et l'inondation permettent le développement de processus naturels aboutissant au développement de réseaux trophiques et à leur exploitation par l'agriculture, l'élevage et la pêche, en association avec la géomorphologie des sites qui en régule l'édification et la diversification. Les différentes études de cas des fonctionnements hydrologique, biogéochimique et biologique de ces zones inondables tropicales militent pour une approche écologique globale. L'édification des ressources naturelles dans ces zones dépend à la fois de la dynamique spatiale et temporelle de l'inondation – liée à l'importance respective des apports (débits entrants, pluies) et des sorties (débits sortants, évaporation, évapotranspiration, infiltration) –, de la variabilité interannuelle du climat local et régional, des temps de résidence dans les différents types de milieux (fleuves et défluent, lacs et mares, plaines d'inondation) et de la typologie des systèmes (lentiques ou lotiques, permanents ou temporaires). Enfin, parce que les consommateurs supérieurs (poissons, oiseaux et mammifères) exploitent directement ou indirectement le milieu à partir de la production primaire, l'importance de la production terminale éventuellement exploitable dépendra *in fine* du succès de ce compartiment planctonique.

Aussi, dans une volonté d'aménagement et de gestion durable des zones inondables tropicales, il semble nécessaire de connaître à différentes échelles spatiales et temporelles : les modalités de contrôle de l'échelon primaire planctonique et macrophytique par la ressource nutritive d'origine exogène ou remobilisée (que ces facteurs soient environnementaux, physiologiques ou biologiques) ; la productivité primaire et secondaire des compartiments constitutifs des zones inondables tropicales, leurs facteurs de contrôle ainsi que leur variabilité saisonnière afin de mieux comprendre le devenir trophique de la matière organique ainsi produite et l'efficacité des transferts ; le rôle d'indicateur joué par les organismes supérieurs (insectes, poissons, petits mammifères, oiseaux), surtout lors de pullulation ; les forçages physiques régulant les comportements de migrations, de

reproduction et de nutrition dans un contexte environnemental donné; et les conséquences des aménagements sur le fonctionnement des systèmes et sur leur biodiversité. Cependant, les ressources naturelles des zones inondables tropicales sont souvent basées sur des variétés ou sur des espèces opportunistes parfaitement adaptées et sélectionnées par les extrêmes variabilités dans le temps – saisonnière et interannuelle – ou dans l'espace – entre lit fluvial et plaine inondée et dépendant essentiellement de la géomorphologie du système. Il est donc essentiel d'approcher la variabilité interannuelle hydrologique et d'en comprendre son impact dans les processus biogéochimiques si l'on veut un jour pouvoir exploiter de façon durable et maximale les potentialités et la diversité des zones inondables tropicales. Il est donc nécessaire de coupler la compréhension des processus d'édification des ressources naturelles avec une connaissance de la zone inondable en termes de géomorphologie et d'aménagements, sans omettre de recadrer ces phénomènes au sein de la dynamique spatio-temporelle de l'hydroclimat et du suivi de l'inondation. A terme, il s'agira de disposer de modèles conceptuels liant l'édification spatio-temporelle des ressources naturelles exploitables à la disponibilité en eau et en éléments dissous prenant en compte la production primaire et la production macrophytique, qui semble être essentielle. Cette approche devrait permettre l'accès aux indices de sensibilité de ces ressources, aux aléas hydroclimatiques et, dans un second temps, aux aménagements.

## Bibliographie

Junk W. J., Bayley P. B., Sparks R. E., 1989 –  
 "The flood-pulse concept in river-floodplain systems".  
*In Dodge D. P. (éd) : Large river symp., Can. Spec. Publ. Fish. Aquat., 106 : 110-127.*

Junk W. J., 1997 –  
 "General aspects of floodplain ecology with special reference

to Amazonian floodplains".  
*In Junk W. J. (éd) :  
 The central Amazon floodplain,  
 Ecological studies, 126 : 3-20.*

Scheffer M., 1998 –  
*The ecology of shallow lakes.*  
 Londres, Chapman et Hall, 357 p.