

## **Eau et changement climatique. Tendances et perceptions en Afrique de l'Ouest**

*Pierre OZER*

Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Liège, Belgique.

*Dominique PERRIN*

Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, Belgique.

*« La sécheresse et la famine ne sont pas des événements extrêmes. Ni des anomalies. Elles ne sont que la partie émergée de l'iceberg d'un système alimentaire mondial fondé sur l'inégalité, les déséquilibres et en définitive la fragilité. Et elles sont le résultat régulier d'un climat de plus en plus hostile et problématique pour la production alimentaire sur d'immenses portions du monde en développement.*

*Pour la troisième fois en sept ans, la région ouest-africaine du Sahel est confrontée à une combinaison explosive de sécheresse, mauvaises récoltes et flambée des prix alimentaires. Six millions de Nigériens, 2,9 millions de Maliens et 700 000 Mauritanien sont aujourd'hui sérieusement en danger.*

*Nous devons réagir immédiatement pour éviter une crise alimentaire et nutritionnelle dévastatrice. Mais notre réaction doit en même temps redéfinir le vocabulaire d'une crise alimentaire. C'est notre système alimentaire mondial qui est en crise. La famine de l'an dernier dans la Corne de l'Afrique et les malheurs actuels au Sahel ne sont que les fissures les plus visibles d'un système qui exhibe aujourd'hui ses limites. Ces crises régionales ne sont pas, en soi, des événements extrêmes : elles ont une dimension systémique [...] ».*

Ce préambule du récent manifeste d'Olivier de Schutter (2012), Rapporteur spécial des Nations unies pour le droit à l'alimentation, montre à quel point la question récurrente des famines en Afrique de l'Ouest –et particulièrement au Sahel– est complexe, liée à des facteurs exogènes variés (sociaux, démographiques, économiques, politiques, environnementaux, climatiques) dont le rayon d'influence est global en l'absence de gouvernance mondiale, affectant les plus démunis du village planétaire. La famine ne se limite pas à la seule question des caprices pluviométriques régionaux actuels et à venir. Ses racines sont très profondes, plantées dans un terreau extrêmement fragile composé de processus démographiques incontrôlés, de dégradation environnementale subie, d'absence de planification agro-économique et étant dès lors de moins en moins résilient aux variations hydrologiques qui –comme partout ailleurs– se durcissent. C'est le thème de cet article. D'où venons-nous, comment en sommes-nous arrivés là, et où nous dirigeons-nous en Afrique de l'Ouest ? Une région qui compte quatorze pays sur quinze dont le « développement humain » est faible (UNDP, 2011) parmi lesquels dix<sup>32</sup> (soit 75 % de la population totale) sont qualifiés par l'Organisation *pour la coopération et le développement économique* d'« Etats fragiles », à savoir un État confronté à de graves difficultés d'ordre intérieur et extérieur, notamment dans les

---

<sup>32</sup> La liste des Etats fragiles de l'OCDE comporte 38 pays dans le monde dont la Côte d'Ivoire, la Gambie, la Guinée, la Guinée-Bissau, le Libéria, la Mauritanie, le Niger, le Nigéria, le Sierra Leone et le Togo en Afrique de l'Ouest.

domaines de la gouvernance, de la sécurité, des finances publiques et de la protection juridique et sociale (OCDE, 2008).

Dans le cadre de cette étude, l'Afrique de l'Ouest est définie par un ensemble de quinze pays au sud du Sahara dont la limite orientale est constituée par le Niger et le Nigéria. On y distinguera deux sous-régions : 1] le « Sahel », caractérisé par un climat aride à semi-aride (0 à 1200 mm par an), qui comprend la Mauritanie, le Sénégal, la Gambie, le Mali, le Burkina Faso et le Niger ; et 2] la partie méridionale, beaucoup plus humide (800 à 2000 mm par an), où tous les pays ont un accès à la mer ; y sont inclus la Guinée-Bissau, la Guinée, le Sierra Leone, le Liberia, la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Togo, le Bénin et le Nigeria. Nous la nommerons « région humide ».

## L'eau en Afrique de l'Ouest

La littérature commentant les fluctuations pluviométriques interannuelles en Afrique de l'Ouest est très abondante, spécifiquement au Sahel où les conséquences des déclin pluviométriques ont des impacts importants sur les économies et les populations. L'intérêt particulier suscité par cette région spécifique s'explique par le fait qu'elle a connu le déficit pluviométrique le plus important jamais enregistré au cours du <sup>xx</sup>e siècle, tant dans son intensité que dans sa durée (Jones Hulme, 1996 ; Lebel Ali, 2009). Dans sa frange humide, l'Afrique de l'Ouest est par contre moins sujette à de telles variations pluviométriques importantes lourdes de conséquences. En effet, même si elles semblent y présenter une diminution sur le long terme, celle-ci est très légère et en aucun cas significative (New *et al.*, 2006 ; Hountondji *et al.*, 2011 ; Oguntunde *et al.*, 2011). Dès lors, nous nous concentrerons ici sur la pluviométrie de la zone sahélienne.

La région sahélienne a toujours connu une alternance de périodes humides et sèches (Nicholson, 1978). Au cours du <sup>xx</sup>e siècle, trois périodes d'intense sécheresse ont affecté le Sahel. Il s'agit des sécheresses des années 1910, des années 1940 et de ladite « grande sécheresse » qui a débuté en 1968 et semble s'être terminée entre la fin des années 1980 et le début des années 1990 (Ozer *et al.*, 2003 ; Lebel Ali, 2009).

La sécheresse des années 1910 a été extrêmement marquée et étendue à toute la zone sahélienne de 1910 à 1916, le déficit pluviométrique culminant en 1913 (Sircoulon, 1976 ; Vannitsem et Demarée, 1991). Cette sécheresse aurait été la plus forte enregistrée au Sahel au moins depuis 1850 (Nicholson, 1978).

Les deux sécheresses suivantes sont illustrées à la figure 1 qui représente l'évolution annuelle des précipitations au Niger entre 1921 et 2007 (Ozer *et al.*, 2010). L'analyse de cette figure met en évidence le fait que la sécheresse des années 1940 n'a été marquée que par une succession d'années plus sèches que la moyenne 1921-2007 alternant avec des années fortement arrosées. La moyenne centrée sur neuf ans reste par ailleurs peu chahutée et seul le déficit de l'année 1949 est remarquable. Ceci étant dit, lors de la sécheresse des années 1940, une analyse plus fouillée montre (i) que les déficits pluviométriques n'ont pas été répartis de manière uniforme durant cette période, leur poids est donc atténué dans la moyenne nationale (Ozer et Erpicum, 1995) et (ii) la sécheresse a été très durement ressentie dans l'extrême ouest sahélien (Vannitsem Demarée, 1991).

Par contre, la « grande sécheresse » apparaît clairement sur la figure 1 comme étant uniforme et rapide. Une rupture climatique s'est produite à la fin des années 1960. En effet, dès 1968, la moyenne centrée sur neuf ans plonge sous la moyenne 1921-2007. De 1921 à 1967, 68 % des années connaissent une pluviométrie

excédentaire par rapport à la moyenne 1921-2007, alors que 80 % des années comprises dans la période 1968-2007 enregistrent des précipitations déficitaires.

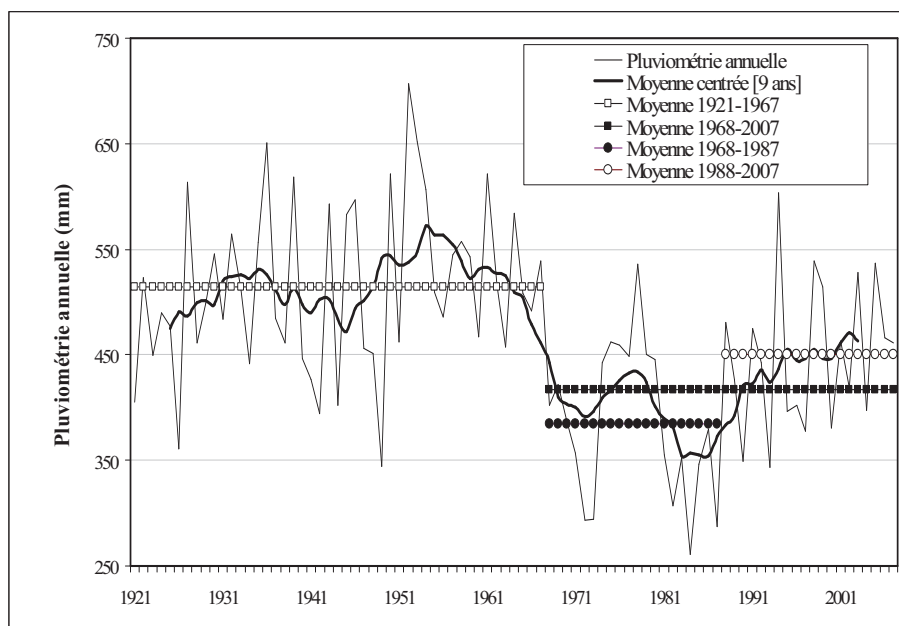


Fig. 1 : Précipitations annuelles au Niger (d'après la méthode de Jones et Hulme, 1996), moyennes des sous-séries pluviométriques avant et après le point de rupture de 1967, ainsi que pour les sous-séries 1968-1987 et 1988-2007. (données provenant de 20 stations) (Ozer *et al.*, 2010).

De 1921 à 1967, huit années sont fortement excédentaires alors qu'aucune n'est fortement déficitaire. A l'inverse, au cours des 40 dernières années analysées, cinq années ont été fortement déficitaires alors qu'une seule a été fortement excédentaire.

A partir des données obtenues pour le Niger, il est possible de mettre en évidence la non-stationnarité des séries pluviométriques au cours de la période 1921-2007 et d'isoler les périodes d'anomalies pluviométriques (périodes fortement pluvieuses ou de sécheresse). Pour ce faire, le test non-paramétrique de Pettitt (1979), capable d'estimer la position d'un changement de moyenne (point de rupture) dans une série, a été appliqué à ces données. Un point principal de rupture est identifié en 1967 ( $p < 0,0001$ ), mettant en évidence le déficit pluviométrique de ces 40 dernières années. Ce résultat est en accord avec les conclusions des travaux antérieurs relatifs à l'analyse, station par station, des séries pluviométriques sahéliennes (Vannitsem et Demarée, 1991 ; Morel, 1998). Au Niger, la comparaison des moyennes des sous-séries pluviométriques homogènes avant et après le point de rupture de 1967 montre l'ampleur de la transition brutale qui caractérise la « grande sécheresse » (Fig. 1). Près de 100 mm séparent les périodes 1921-1967 et 1968-2007, dont les pluviométries moyennes sont respectivement de 514 mm et 417 mm, soit une diminution de la pluviométrie de 19 % à partir de 1968. Notons que le changement pluviométrique est encore accentué par le fait que les années 1950 constituèrent la décennie la plus arrosée du  $xx^e$  siècle (Fig. 1). En effet, plus de 220 mm séparent les valeurs extrêmes de la moyenne des années 1950 et des années 1980.

L'application du test de Pettitt (1979) aux sous-séries 1921-1967 et 1968-2007 détecte une autre rupture significative au sein de la période récente. En effet, comme présenté à la fig. 1, la « grande sécheresse » s'est, statistiquement, terminée en 1987 ( $p = 0,02$ ) et fut suivie d'un regain de l'activité pluviométrique ces 20 dernières

années. Près de 70 mm séparent les moyennes pluviométriques des périodes 1968-1987 (384 mm) et 1988-2007 (450 mm), soit une augmentation de 17 %. Par ailleurs, l'analyse de la fig. 1 montre que les années très déficitaires n'ont plus été observées depuis 1988. Il convient cependant de tempérer cette récente rupture car la pluviométrie moyenne des deux dernières décennies reste toujours largement inférieure (64 mm de moins) à celle d'avant 1968.

Dans le reste de la région sahélienne, ce retour des précipitations se confirme également (Nicholson, 2005 ; Hountondji *et al.*, 2009), notamment au Mali (Frappart *et al.*, 2009) et en Mauritanie (étude en cours) même si cette amélioration pluviométrique reste hésitante dans certaines zones (Lebel Ali, 2009).

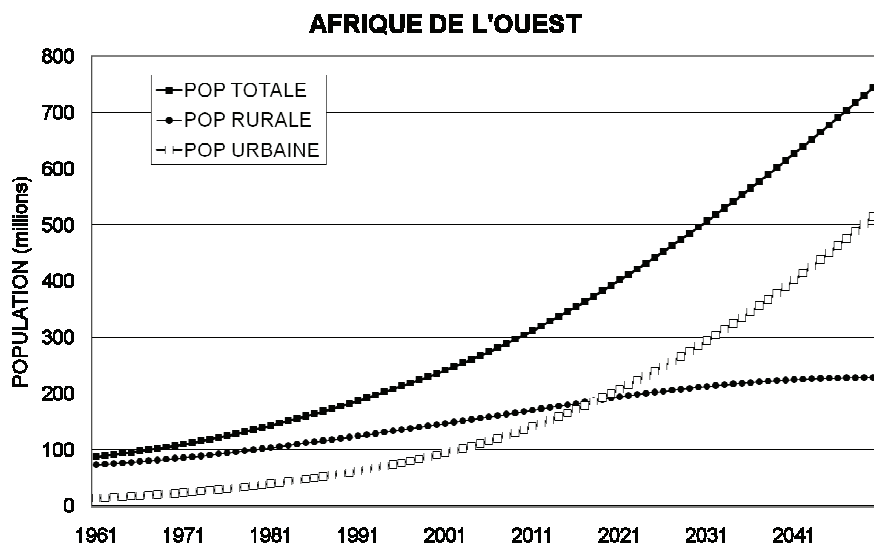
Si la rupture climatique de 1968 se marque particulièrement bien dans les totaux pluviométriques annuels, elle se traduit également par une réduction de la longueur de la saison des pluies (Daouda *et al.*, 1998 ; Ozer, 2000), entraînant donc automatiquement une diminution des possibilités de production céréalière dans les régions les plus fragiles. Ainsi, Daouda *et al.* (1998) ont montré que les stations de la zone sahélienne pastorale du Niger ont vu la disparition pure et simple de leur saison des pluies durant la période 1968-1985 alors que les autres stations, qui accusaient un déficit pluviométrique globalement équivalent à 30 %, ont été confrontées à une diminution de la longueur de la saison des pluies de plus de 40 %. Par contre, l'évolution récente de la longueur de la saison des pluies est inquiétante. Ainsi, au Niger, Ozer *et al.* (2005, 2009) ont démontré que la longueur de la saison des pluies était restée inchangée entre la « grande sécheresse » et les 20 dernières années pourtant caractérisées par une pluviométrie annuelle plus abondante. Frappart *et al.* (2009) dressent le même constat entre 1950 et 2007 dans le Gourma malien où la contraction de la saison des pluies s'est amplifiée dans les années 2000, malgré une pluviométrie plus généreuse. Il en va de même au Sénégal (Sané *et al.*, 2008).

La qualité de la saison agricole est conditionnée par le nombre de jours de pluie et leur répartition dans le temps. Or, il s'avère que le nombre de jours de pluie a également été dramatiquement modifié approximativement dès 1968 (Tarhule et Woo, 1998 ; Ozer, 2000) et que cette tendance à la diminution significative du nombre de jours de pluie perdure ces dernières années malgré l'amélioration récente de la pluviométrie annuelle (Ozer et Ozer 2005, Sané *et al.* 2008, Ozer *et al.* 2009, Frappart *et al.* 2009).

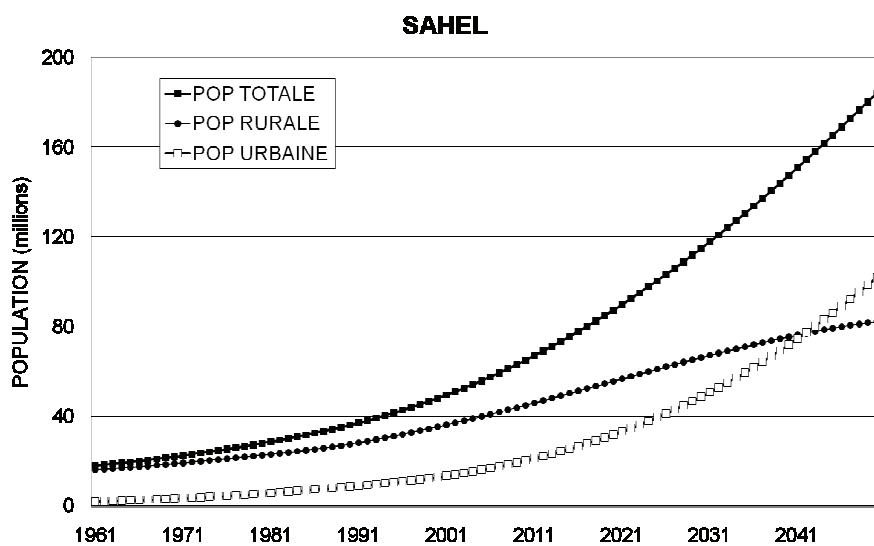
## **Une population extrêmement vulnérable**

### ***Population***

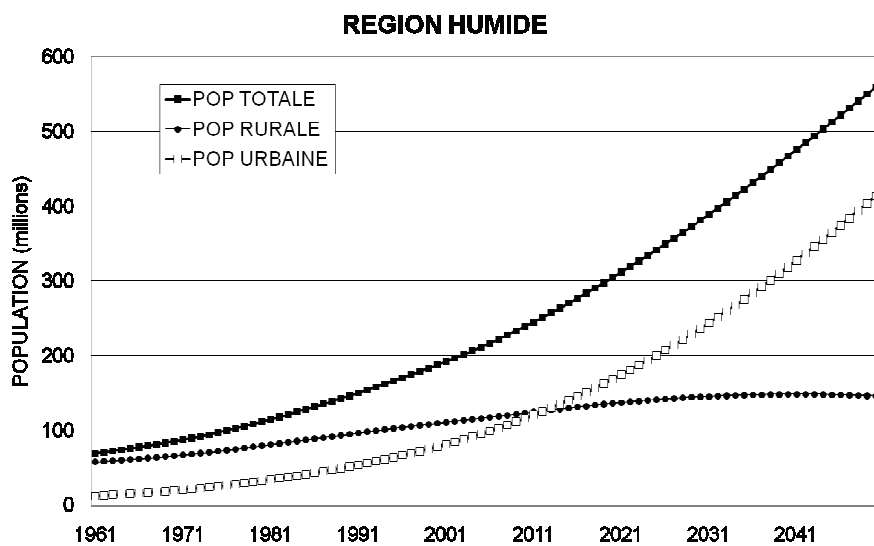
La population de l'Afrique de l'Ouest connaît une des croissances démographiques les plus élevées au monde. De 1961 à 2012, la population totale a quasiment été multipliée par quatre, passant de 87 à 320 millions de personnes (Fig. 2). Le taux de croissance annuel moyen dans la zone d'étude est actuellement (2001-2010) de 2,6 %, avec des nuances entre le Sahel (+3,1 %) et la région humide (+2,5 %). En 2010, les enfants de moins de 15 ans représentent 43 % de cette population. Selon les Nations unies, la population ouest-africaine devrait encore doubler dans les trente prochaines années pour approcher les 750 millions d'habitants en 2050 (Fig. 2). Cette région compte actuellement une augmentation de la population dépassant les 8 millions d'individus par an (United Nations, 2011a).



[a]



[b]



[c]

Fig. 2 : Evolution de la population ouest-africaine [a], sahélienne [b] et de la région humide [c] de 1961 à 2010 et projections pour la période 2011-2050. (d'après les données de United Nations, 2011).

Ces dernières décennies, la répartition rurale/urbaine de la population a fortement évolué. Ainsi, en 1961, la part de la population urbaine était de 17 % en Afrique de l'Ouest. Elle s'élève actuellement à 46 %. Ici aussi, des différences notables existent entre la région sahélienne dont la population urbaine est passée de 11 % à 32 % et la région humide où un habitant sur deux est actuellement urbain, contre 18 % en 1961. Là, il est projeté que la population rurale devrait se stabiliser vers 2030 et que la croissance démographique sera alors totalement supportée par les résidents des villes. Au Sahel, la parité ruraux/urbains devrait apparaître vers 2040 ; on projette près de 184 millions d'habitants en 2050, soit exactement dix fois plus qu'en 1961.

Cette croissance urbaine incontrôlée est particulièrement impressionnante dans les capitales. Ainsi, il est estimé que Nouakchott (Mauritanie) abrite actuellement plus d'un million d'habitants, contre 558 195 habitants en 2000, 138 530 en 1977 et seulement 6000 en 1962 (Ould Sidi Cheikh *et al.*, 2007 ; Ozer *et al.*, 2010). En 1990 (dernières statistiques disponibles), 94 % de la population de la capitale de la Mauritanie vivaient dans des taudis (United Nations, 2011b). Ailleurs, en 2007, la proportion de la population urbaine vivant dans des bidonvilles était le plus souvent supérieure à 50 % et variait de 38 % au Sénégal à 82 % au Niger (United Nations, 2011b).

Près de 53 % de cette population vit avec moins de 1 US\$ par jour (dernières données disponibles depuis 2000) (United Nations, 2011b). Cette proportion de population extrêmement pauvre est supérieure à la moyenne de l'Afrique subsaharienne et est très loin de la cible fixée du premier objectif du Millénaire pour le développement qui consiste à réduire de moitié, entre 1990 et 2015, l'extrême pauvreté (United Nations, 2011c). Ceci explique notamment pourquoi l'Afrique de l'Ouest est très vulnérable aux modifications climatiques tant régionales que globales de même qu'aux chocs externes comme l'augmentation des prix énergétiques ou des prix des denrées alimentaires.

Ainsi, il est important de noter que si, sur l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest, la production céréalière totale par habitant s'est améliorée de 11 % entre les périodes 1961-1970 et 1999-2008, les pays sahéliens ne présentent, eux, qu'une progression de 2 % (FAOSTATS, 2012). Ceci rend les populations sahéliennes toujours aussi vulnérables aux caprices de la nature d'autant plus que certains pays particulièrement 'fragiles' voient leurs marges de manœuvres se rétrécir. Ainsi, au Niger, 91 % du potentiel des terres agricoles cultivables étaient déjà exploitées en 2007 (Brown *et al.*, 2007) alors que les rendements pour la denrée alimentaire de base, à savoir le mil, se sont dépréciés entre 1961 et 2007 (Ozer *et al.*, 2010). Etant donné la croissance démographique projetée pour ce pays qui n'est plus autosuffisant depuis 1975 et doit importer chaque année une part croissante de son alimentation (Boost *et al.*, 2009), on est en droit de se demander si le pire n'est pas à venir. D'ailleurs, au moment où nous écrivons ces lignes, l'organisation non gouvernementale (ONG) Oxfam lance un appel d'aide d'urgence : « *Au Burkina Faso, au Mali, en Mauritanie, au Niger et dans le nord du Sénégal les taux de malnutrition oscillent entre 10 et 15 %, et dépassent même le seuil d'urgence de 15 % dans certaines régions. Plus d'un million d'enfants font face à un risque de malnutrition sévère* », « *Selon la FAO, la production agricole dans la région est de 25 % inférieure à celle de 2010. La récolte de céréales est en baisse de 1,4 million de tonnes pour les pays du Sahel. Le pays le plus touché, la Mauritanie, a connu une baisse de 52 % de sa production céréalière, tandis qu'au Niger celle-ci a baissé de 27 %* » (Oxfam, 2012).

En outre, l'indice ouest-africain des prix à la consommation des produits alimentaires a augmenté de 66 % entre 2001 et 2007 (FAO, 2011). Cette tendance haussière se perpétue depuis sous forme de chocs. Ainsi, l'augmentation globale du prix des céréales en 2008 due en grande partie à la spéculation boursière (De Schutter, 2010) a entraîné un accroissement de 24 % (Niger) et de 30 % (Sénégal) du prix des produits alimentaires par rapport à 2007 (Brinkman *et al.*, 2010) voire plus encore en fonction de la saison (Berazneva et Lee, 2011). Plus récemment encore, au Niger, le prix du mil était de 37 % plus élevé en novembre 2011 qu'un an auparavant ; les prix d'autres céréales sont de 40 % plus élevés que les prix moyens relevés sur les cinq dernières années (Olivier, 2012). Et à Oxfam (2012) d'ajouter un mois plus tard « *Dans toute la région [sahélienne], les prix des denrées alimentaires sont en moyenne de 25 à 50 % plus élevés que la moyenne de ces cinq dernières années. Les prix pourraient encore augmenter de 25 à 30 % d'ici au pic de la période de soudure (la période entre l'épuisement des stocks alimentaires et le début des nouvelles récoltes) entre juillet-août, augmentant le risque de malnutrition sévère pour les familles les plus vulnérables* ».

La contribution des produits alimentaires dans les dépenses totales des ménages en Afrique de l'Ouest s'élevait à 58 % en 2003 (FAO, 2011). Aussi, ces augmentations brusques du coût du panier alimentaire ont des impacts directs sur la diversité alimentaire et la santé publique des plus vulnérables. En effet, ces derniers n'ont d'autre choix que de réduire la quantité et la qualité des aliments qu'ils consomment et sont à risque de malnutrition accru. Les groupes de population les plus affectés incluent ceux qui ont les besoins nutritionnels les plus importants, à savoir malheureusement les jeunes enfants, les femmes enceintes et allaitantes, ainsi que les personnes souffrant de maladies chroniques (Brinkman *et al.*, 2010).

### ***Elevage***

Conséquence directe de la croissance démographique humaine, on note une augmentation du cheptel dans toute la région. Ce développement du cheptel est principalement lié à la volonté des populations rurales de vouloir diversifier leurs activités et à l'espérance des exploitants d'augmenter leurs revenus (Mertz *et al.* 2011). La figure 3 présente l'évolution des cheptels bovins, caprins et ovins par habitant de 1961 à 2010 dans notre zone d'étude, avec une distinction entre le Sahel et la région humide (d'après FAOSTAT, 2012). Il apparaît que tous les cheptels ont été fortement impactés dans le Sahel par les graves crises de sécheresse de 1972-1974 et 1983-1985 avec des pertes variant respectivement entre 17 et 25 % et 18 et 23 %, tous cheptels confondus. Par contre, en l'absence de sévère déficit pluviométrique, le cheptel a depuis enregistré une croissance soutenue. En effet, au cours des 25 dernières années (1986-2010), bovins, caprins et ovins ont connu respectivement une croissance annuelle moyenne de 3,5 %, 4,0 % et 3,4 %. Dans la région humide, le cheptel n'aura jamais réellement été touché par le manque d'eau.

Cette récente augmentation du cheptel bovin ne concurrence néanmoins pas la croissance de la population humaine. Ainsi, au cours des 50 dernières années, malgré une augmentation de 183 % des bovins en Afrique de l'Ouest, la disponibilité par habitant a diminué de 19 %. Il n'en va pas de même pour les caprins et les ovins qui ont enregistré une croissance de 589 % et 499 % entre 1961 et 2010. La production par habitant a, dans ces cas, augmenté de 98 % et 72 %, respectivement.

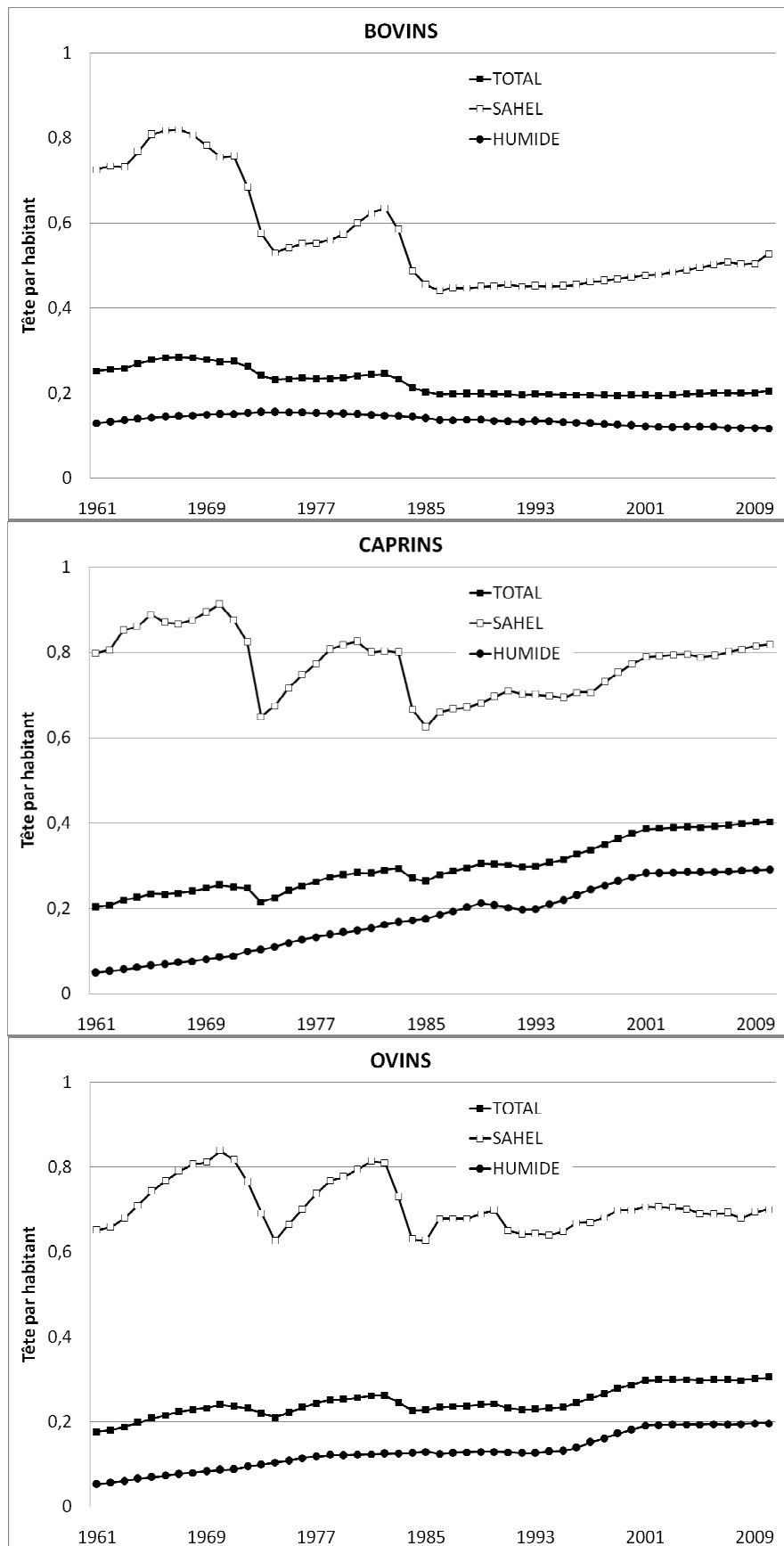


Fig. 3 : Evolution des cheptels bovins, caprins et ovins en Afrique de l'Ouest (total), au Sahel et dans la région humide de 1961 à 2010. (d'après les données de FAOSTAT, 2012).



L'évolution de ces 25 dernières années est déconcertante. Au Niger, l'accroissement annuel moyen est de 6 % pour les bovins, 4 % pour les caprins et 3,5 % pour les ovins. Cette augmentation considérable du troupeau a des répercussions dramatiques sur l'environnement. En effet, avec 9,8 millions de bovins, 13,7 millions de caprins et 10,9 millions d'ovins, ce seul cheptel représente 12,1 millions d'UBT (unité de bétail tropical) au Niger en 2010, soit trois fois plus qu'en 1961. La charge moyenne sur le pâturage avoisinant les 6 ha par UBT (Achard et Chanono, 2006), le cheptel actuel a besoin d'une superficie de l'ordre de 72 millions d'ha pour être en équilibre durable avec les ressources pastorales. La superficie de ces dernières étant estimée à 28,8 millions d'ha par la FAO (FAOSTAT, 2012), ces parcours sont dégradés par surpâturage, le cheptel ne permettant plus la régénération de certaines pousses, qui laissent la place soit à des sols fortement à totalement dénudés, soit à un nouveau couvert de végétaux non consommables, à une prolifération d'espèces buissonnantes et non fourragères et à une augmentation des espèces annuelles éphémères (Ozer *et al.*, 2010). A noter que cette situation de déséquilibre se rencontre partout au Sahel sauf en Mauritanie. De ce fait, une fois que le sol se retrouve partiellement ou totalement dépourvu de couvert végétal, il est exposé à tous les types d'érosion, et spécialement à la déflation éolienne.

### **Forêts**

L'évolution des ressources forestières en Afrique de l'Ouest est un autre point d'inquiétude tant environnemental que socio-économique pour nombre de personnes. En effet, la proportion de la population vivant dans une pauvreté multidimensionnelle sans accès aux combustibles modernes, à savoir totalement dépendant du bois ou du charbon de bois pour la cuisine, est de 63 % en Afrique de l'Ouest, dont 73 % au Sahel (calculé d'après UNDP, 2011). Les coupes abusives pour satisfaire les besoins en énergie des populations et la demande en bois d'œuvre (93 %), l'expansion agricole (89 %), le surpâturage (39 %), les feux de brousse (36 %) et la sécheresse (16 %) sont les cinq causes principales du déboisement citées par la littérature (Ariori et Ozer, 2005). Dès lors, même si les informations objectives relatives à l'évolution des ressources forestières sont très rares en Afrique de l'Ouest (Ozer, 2004), les superficies forestières sont en déclin. En effet, selon la FAO (2010), seule source d'information disponible pour Afrique de l'Ouest, celles-ci seraient passées de 92 à 73 millions d'ha entre 1990 et 2010, soit une diminution de 20 % (Fig. 4). Ce déclin serait surtout observé dans la région humide (- 24 %) alors que le Sahel enregistrerait une diminution de 14 %. Notons que cinq pays ont vu plus du tiers de leurs superficies forestières disparaître en deux décennies : le Ghana (- 33,7 %), le Niger (- 38,1 %), la Mauritanie (- 41,7 %), le Nigeria (- 47,5 %) et le Togo (- 58,1 %). A l'inverse, ces superficies ont augmenté dans deux pays : la Côte d'Ivoire (+ 1,8 %) et la Gambie (+ 8,6 %) essentiellement grâce à la mise en place de plantations forestières. Cependant, ces données étant très imprécises (étude en cours), il est conseillé de prendre ces informations comme étant des tendances et rien de plus.

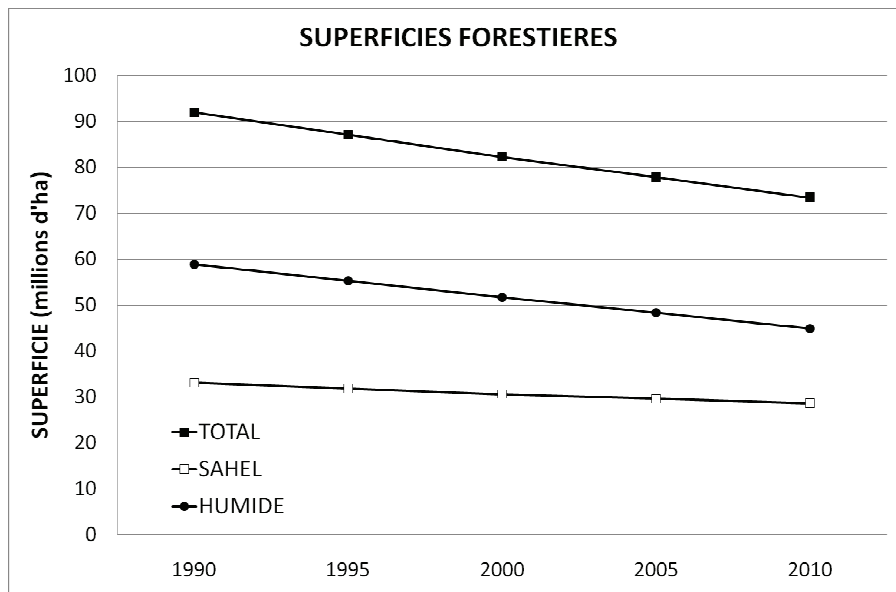


Fig. 4 : Evolution des superficies forestières en Afrique de l'Ouest (total), au Sahel et dans la région humide de 1990 à 2010 (d'après les données de FAO, 2010).

## Tendances et perceptions

### *Des conséquences de l'eau*

L'Afrique de l'Ouest, spécifiquement le Sahel, est souvent associée à des famines provoquées par le manque de précipitations. Si cette perception est pertinente au vu des événements historiques passés très médiatisés (famines des années 1970 et 1980) qui restent ancrés dans nos mémoires et fréquemment rafraichis comme en 2005 (4 millions de personnes touchées au Niger et au Mali), en 2009 (7,9 millions de personnes touchées au Niger), en 2011 (5,5 millions de personnes au Niger, Burkina Faso et Sénégal) et au moment où nous écrivons ces lignes avec 9,6 millions de personnes affectées au Niger, au Mali et en Mauritanie (De Schutter, 2012). Pourtant, les déficits pluviométriques annuels au Sahel ne sont plus exceptionnels, notamment lors de la saison pluvieuse 2011 (Mitchell 2011) et n'expliquent plus que partiellement les raisons de ces famines. Les raisons de ces récentes famines résultent d'une complexe alchimie entre des facteurs globaux et des facteurs propres à l'Afrique de l'Ouest présentés ci-avant.

La figure 5 présente, entre 1980 et 2011, les catastrophes humanitaires liées à l'eau. Ne sont considérées ici, par pays, que les sécheresses dont les conséquences impactent au moins 100 000 personnes et les inondations affectant un minimum de 20000 personnes. Dans le premier cas, nous observons un retour des sécheresses au cours de ces dernières années. Les inondations sont quant à elles de plus en plus fréquentes, tant dans la région humide que dans le Sahel. Ce dernier phénomène a été relevé par Tarhule (2005) et devient récurrent en Afrique de l'Ouest.

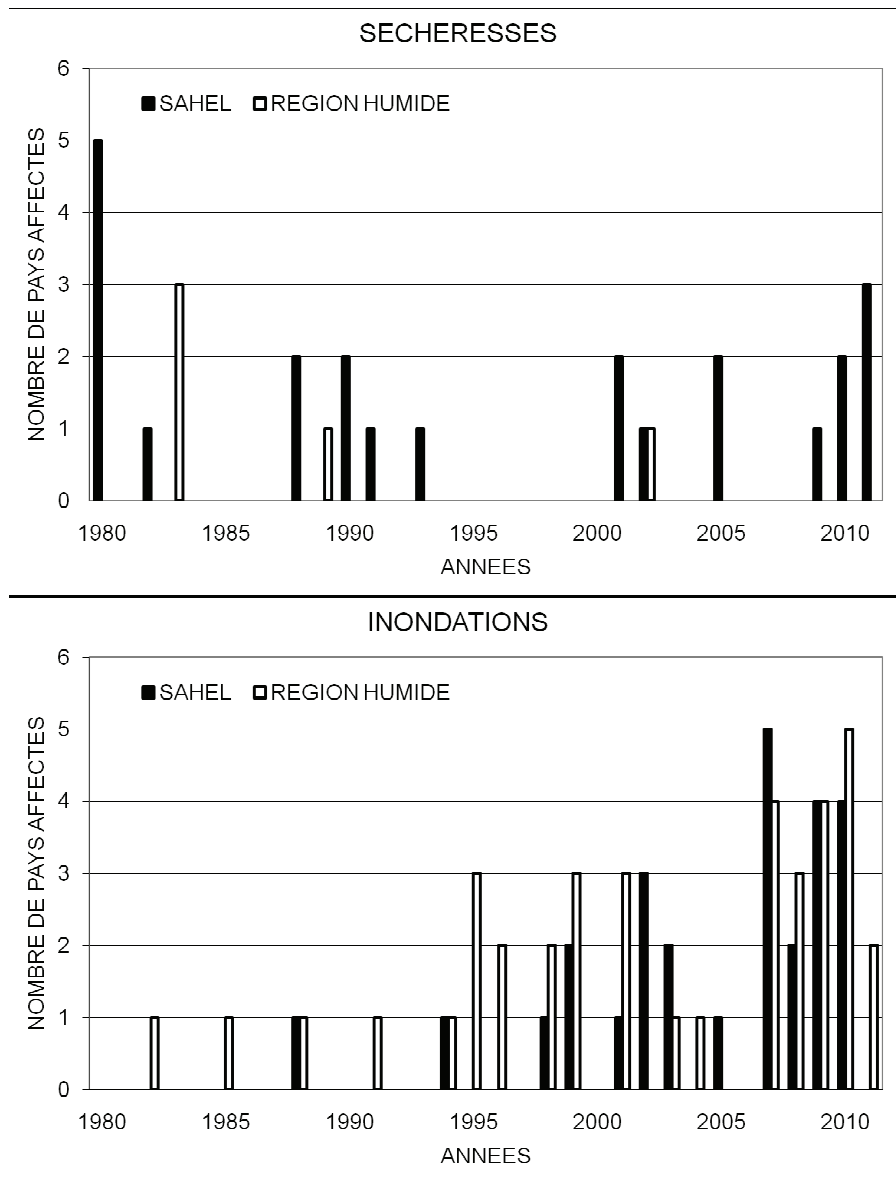


Fig. 5 : Evolution du nombre de pays impactés par des risques hydrologiques (sécheresses et inondations) de 1980 à 2011. (d'après les données de CRED, 2012).

Si certaines de ces importantes inondations sont le résultat de précipitations exceptionnelles dont la période de retour est supérieure à 100 ans comme à Niamey, Niger, en 1998 (Ozer, 2000) ou à Ouagadougou, Burkina Faso, en 2009 (Sarr, 2009) ; la majeure partie d'entre elles sont le résultat des dynamiques non encadrées de l'occupation du sol dans les grandes villes. En effet, depuis les sécheresses des années 1970-1980, les populations du Sahel ont choisi un exode massif vers les centres urbains. Ces déplacements (migrations et exode) se sont accélérés au cours de ces dernières décennies en raison de la dégradation de l'environnement et des conditions climatiques défavorables. L'insuffisance des récoltes constituerait la motivation principale du départ en migration pour la majorité des migrants dans les zones sahéliennes. Ces mouvements liés aux mauvaises récoltes seraient corrélés entre autres aux irrégularités récurrentes de pluies. Une enquête menée auprès de 1249 ménages et des entretiens de groupe dans 20 communautés ont montré que la migration est une adaptation à la variabilité climatique au Sahel (Cissé *et al.*, 2010). Ces nouveaux candidats à la ville ont le plus souvent un accès limité à la connaissance

locale du risque qui les mène fréquemment à s'installer dans des zones potentiellement dangereuses. Ainsi, à Dakar, Nouakchott, Cotonou, Accra ou encore Benin City, il a été montré à partir de cartes d'occupation des sols que la récente croissance urbaine s'est faite autour des mares, des marécages et dans des bas-fonds, colonisant ainsi des zones reconnues (ou non) *non aedificandi* (Ould Sidi Cheikh *et al.*, 2007 ; Mbow *et al.*, 2008 ; Wade *et al.*, 2009 ; Atedhor *et al.*, 2011 ; Rain *et al.*, 2011). L'absence de planification urbaine peut prendre des dimensions alarmantes. Par exemple, 42 % du bâti à Nouakchott se trouve dans des bas-fonds, notamment dans des zones dépressionnaires de sebkhas salées à nappes sub-affleurantes peu profondes (Ould Sidi Cheikh *et al.*, 2007) alors que l'existence de réseaux d'évacuation des eaux usées ne concerne que 5 % de la population (Nouaceur, 2010). Dans ces conditions, on comprend aisément pourquoi des pluies « normales » (dont la période de retour est inférieure à 6 ans) provoquent actuellement des inondations aux conséquences socio-économiques importantes là où elles étaient sans gravité antérieurement en l'absence de population (Sene et Ozer, 2002). Quant aux conséquences des récentes inondations dans le monde rural, elles sont souvent dues à l'augmentation (voire l'apparition) de la vulnérabilité, à savoir l'établissement des populations toujours plus proche des cours d'eau (Ago *et al.*, 2005 ; Ozer *et al.*, 2010 ; Cissé *et al.*, 2011).

### ***Perception et adaptation locale aux changements climatiques***

Longtemps ignorée, la perception des changements climatiques est devenue un champ de recherche très exploré ces dernières années (Akponikpè *et al.*, 2010 ; Nielsen Reenberg, 2010 ; Baudoin, 2010 ; Mertz *et al.*, 2009, 2012 ; Ofuoku, 2011 ; Ajibefun Fatuase, 2012 ; Fosu-Mensah *et al.*, 2012 ; Ahomadegbe *et al.*, soumis). Ceci est une réponse de la communauté scientifique internationale au constat du dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC, 2007) qui avait souligné de graves carences dans ce domaine en Afrique et plus particulièrement en Afrique de l'Ouest. Pour preuve, les références citées ci-après ne datent que des cinq dernières années.

Un constat net s'est dégagé de ces études du point de vue hydrologique : les effets des changements climatiques sont fortement ressentis par les populations rurales, peu importe leur position géographique et la zone pluviométrique considérée (Tableau 1). Une majorité souffre d'une diminution de la longueur de la saison des pluies due à un retard de son installation et de sa fin anticipée, d'une augmentation des événements pluviométriques extrêmes (pouvant mener à des inondations), et à une augmentation des périodes sèches à l'intérieur des saisons pluvieuses (pouvant compromettre la production agricole). Cette perception des changements climatiques connaît un gradient Nord-Sud. Ainsi, une majorité des agriculteurs dans le Sahel estime que ceux-ci se sont déclenchés il y a 20-30 ans alors que dans les zones plus humides (climat guinéen) les effets se sont fait ressentir au cours de la dernière décennie (Akponikpè *et al.*, 2010).

Quant aux stratégies mises en œuvre par les communautés paysannes pour s'adapter au changement climatique, elles varient en fonction des zones étudiées et sont fortement dépendantes de facteurs culturels (Nielsen et Reenberg, 2010 ; Mertz *et al.*, 2011). Cependant, il apparaît que les marges d'adaptation, exception faite de la migration, sont difficilement applicables et que les populations sont généralement dans un profond désarroi. Ainsi, si la grande majorité des agriculteurs estiment que la gestion de la fertilité des sols (via des engrais et/ou des fertilisants) pourrait permettre de contrecarrer les impacts des changements climatiques, la plupart

d'entre eux (66 à 99 %) n'appliquent aucune de ces mesures à cause de l'indisponibilité et du coût de ces ressources. Par ailleurs, la raréfaction des précipitations et la multiplication des périodes sèches à l'intérieur des saisons pluvieuses semblent réduire la production agricole. Il apparaît néanmoins que 78 à 100 % des agriculteurs n'ont recours ni à l'irrigation ni aux techniques du zaï ou des demi-lunes, ces aménagements nécessitant des équipements et des investissements trop coûteux. En réalité, le seul changement observé consiste à postposer les dates des semis (Akponikpè *et al.*, 2010 ; Fosu-Mensah *et al.*, 2012).

Tableau 1 : Perception des changements pluviométriques (% des personnes interrogées) en Afrique de l'Ouest (A noter que pour le « début de la saison des pluies », - correspond à un retard et + à une avancée ; au contraire, pour la « fin de la saison des pluies », - correspond à une fin anticipée et + à une fin prolongée) (Lorsque le total des personnes interrogées n'atteint pas 100 %, le restant est dans la catégorie « sans avis »).

Climat	Guinéen			Soudanien			Sahélien		
Pluviométrie annuelle	> 900 mm			500-700 mm			300-500 mm		
Perception du changement	-	NC	+	-	NC	+	-	NC	+
Source / Indicateur	Total des précipitations annuelles								
Akponikpè <i>et al.</i> (2010)	57	10	22	61	4	21	91	2	2
Nielsen et Reenberg (2010)							62	6	32
Mertz <i>et al.</i> (2009)				13	5	82			
Fosa-Mensah <i>et al.</i> (2012)	87	1	12						
Fatuase et Ajibefun (2012)	71	1	28						
Mertz <i>et al.</i> (2012)	95	0	5	82	10	8	83	4	13
Longueur de la saison des pluies									
Akponikpè <i>et al.</i> (2010)	51	21	10	61	6	14	91	2	4
Nielsen et Reenberg (2010)							60	6	26
Mertz <i>et al.</i> (2012)	94	2	4	84	10	6	82	6	12
Début de la saison des pluies									
Akponikpè <i>et al.</i> (2010)	60	12	18	67	9	15	85	4	6
Fin de la saison des pluies									
Akponikpè <i>et al.</i> (2010)	40	19	29	48	13	24	70	7	11
Périodes sèches à l'intérieur des saisons pluvieuses									
Akponikpè <i>et al.</i> (2010)	19	21	49	13	4	68	6	6	85
Nielsen et Reenberg (2010)							14	0	74
Mertz <i>et al.</i> (2009)				23	0	45			
Mertz <i>et al.</i> (2012)	4	28	68	10	6	84	20	6	74
Intensité des précipitations									
Akponikpè <i>et al.</i> (2010)	49	16	24	52	11	22	65	24	7
Nielsen et Reenberg (2010)							60	0	36
Mertz <i>et al.</i> (2009)				55	5	23			
Mertz <i>et al.</i> (2012)	80	7	13	68	8	22	65	5	30
Inondations									
Nielsen et Reenberg (2010)							30	2	62
Mertz <i>et al.</i> (2009)				23	0	32			
Mertz <i>et al.</i> (2012)	62	6	32	58	4	38	42	5	53

### ***Tendances hydrologiques et impacts à venir***

L'agriculture pluviale est la principale source de nourriture pour les populations du Sahel et les graves sécheresses des années 1970 et 1980 ont eu des effets dévastateurs sur les sociétés, quelles soient nomades ou sédentaires. La fréquence des sécheresses à venir au Sahel et l'évolution lourde du bilan hydrologique sont donc d'un grand intérêt. Dans une récente revue de la littérature, l'analyse de dix études relatives aux incidences des changements climatiques sur l'hydrologie au Sahel à

travers le XXI<sup>e</sup> siècle a été entreprise (Druryan, 2011). Toutes les dix études reposent sur des simulations faites à l'aide de modèles de circulation générale océan-atmosphère couplés (AOGCM) basées sur des scénarios pour différentes gammes d'émissions de gaz à effet de serre. Il apparaît que certaines études font des projections de conditions plus humides alors que d'autres prédisent des sécheresses plus fréquentes. Ainsi, le défi de simuler correctement les tendances des précipitations en Afrique de l'Ouest, et plus spécifiquement au Sahel, dans les décennies à venir est-il particulièrement délicat car de multiples mécanismes physiques entrent en compétition pour déterminer les tendances pluviométriques à la hausse ou à la baisse. Une variété de carences dans ces modèles rend la projection pluviométrique en région sahélienne extrêmement complexe et hasardeuse. Par conséquent, aucun consensus ne se dégage encore actuellement quant à l'impact des gaz à effet de serre sur l'hydrologie future du Sahel.

Néanmoins, le secteur agricole devrait être affecté par les modifications climatiques, l'augmentation des températures ayant un impact plus important que les variations pluviométriques. Ainsi, il est projeté que le Sahel sera plus touché (- 18 % des rendements) que la région humide (- 13 %), avec une dégradation globale de 15 % des rendements céréaliers (Roudier *et al.*, 2011). Tous ces effets toucheront les différentes composantes de la sécurité alimentaire, à savoir la disponibilité, l'accessibilité et la stabilité en nourriture (Kotir, 2011).

Selon le 4<sup>ème</sup> rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC, 2007) l'Afrique est l'une des régions les plus vulnérables face aux changements climatiques. Ce sont 75 à 250 millions d'africains qui seront exposés à un stress hydrique accru d'ici à 2020. De plus, 50 % de réduction des rendements de production pluviale est envisagée d'ici à 2020 avec pour conséquence une aggravation de l'insécurité alimentaire et de la malnutrition. De par ce fait, jusqu'à 10 % du PIB des pays africains risquent d'être consacrés au sauvetage et à l'adaptation des régions (villages et villes) côtières du fait de la montée du niveau de la mer. En outre, du seul fait du changement climatique, les zones arides et semi-arides devraient connaître une extension dans les décennies à venir. Le tout sera conjugué à la pression démographique croissante présentée dans cet article.

Cette vulnérabilité est exacerbée par les problèmes de développement tels que la pauvreté endémique, la mauvaise gouvernance, l'accès limité aux capitaux, l'insuffisance des infrastructures et des technologies, la dégradation des écosystèmes, les catastrophes complexes et les conflits. Cette situation est aggravée d'une part par l'interaction de nombreux stress à différents niveaux et, d'autre part, par la faiblesse des capacités d'adaptation aux nouvelles conditions climatiques. L'enjeu est donc de taille pour l'Afrique de l'Ouest qui doit, par conséquent, se doter d'une politique et d'une stratégie de gestion du changement climatique.

Il n'est donc pas surprenant que les plans nationaux d'adaptations (PANA) établis par les pays de l'Afrique de l'Ouest dans le cadre de la Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique (Rio 1992, [www.unfccc.org](http://www.unfccc.org)) que les mesures visant à optimiser les réserves en eau disponibles soient centrales.

Il faut néanmoins constater que la majorité des actions demandées dans ces PANA, malgré leur urgence unanimement reconnue, est restée « lettre morte ». Si les pays les moins développés ont pu bénéficier d'une aide financière pour la conception

de leur PANA, on déplore que les mesures ne soient financées. Certes, la 15<sup>ème</sup> Conférence des Parties de la Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique (UNFCCC) (COP15) qui s'est déroulée à Copenhague avait, dans son échec relatif, conduit à un engagement ferme des pays industrialisés de contribuer solidairement à la lutte contre le changement climatique et ses effets dans les pays du Sud à concurrence d'un flux financier de 100 milliards de dollars par an d'ici 2020. En étape intermédiaire, la décision a été prise d'une première contribution de 30 milliards dollars sur la période 2010-2012 dans un mécanisme appelé « Fast Start Finance », qui a pour condition de venir en plus de l'aide normale au développement. De nouveau, sur cet engagement précoce, s'il faut attendre la fin 2012 pour mesurer son niveau réel d'engagement, il faut constater que la grande majorité des pays donateurs focalise leurs aides soit sur le mécanisme REDD (programme de collaboration des Nations unies sur la réduction des émissions liées au déboisement et à la dégradation des forêts dans les pays en développement), soit sur les mesures d'atténuation des émissions. ([www.faststartfinance.org](http://www.faststartfinance.org)). Ces deux mécanismes prévoient des retours financiers vers les donateurs notamment en terme de droits d'émissions de gaz à effet de serre, ce qui justifie partiellement leur intérêt plus marqué. En outre, ces mêmes pays utilisent une partie de leur aide normale au développement, contournant ainsi le principe fondamental de l'additionnalité de ladite « aide climatique ». Quant au financement à long terme des 100 milliards de dollars, le « Fond vert » destiné à l'opérationnaliser peine à se mettre en place. Certes, la dernière conférence des parties (COP17) de Durban (décembre 2011) a permis de mettre en place la structure politico-administrative du Fond Vert. Néanmoins, la question essentielle de son financement récurrent n'est toujours pas abordée. On évoque différentes sources potentielles comme la taxe sur les transactions financières, un prélèvement sur les ventes d'unités « carbone » ou une contribution de quelques pourcents sur les carburants fossiles des transports internationaux aérien et maritime. Cet important débat est actuellement éclipsé par celui sur les mesures d'urgence pour redresser le système financier mondial. Pourtant, les budgets à mobiliser pour assurer la solidarité climatique obligatoire sont très inférieurs à ceux consacrés au sauvetage du système financier défaillant et destructeur.

Résumé : L'Afrique de l'Ouest, plus spécifiquement sa frange semi-aride que constitue le Sahel, a connu, au cours des dernières décennies, deux crises majeures de sécheresse presque contiguës dans les années 1970 et 1980. Depuis les années 1990, les tendances pluviométriques montrent globalement un retour vers des moyennes antérieures aux années 1970. Toutefois, cette amélioration des totaux pluviométriques annuels semble être partiellement le fait d'une intensité des pluies plus importante et il apparaît que la longueur de la saison des pluies évolue peu par rapport aux décennies de sécheresse. Par ailleurs, depuis la moitié du XX<sup>e</sup> siècle, la population sahélienne a plus que quadruplé et les prévisions pour 2050 avancent un facteur de croissance de l'ordre de dix. Les taux de croissance urbaine sont encore plus impressionnants et entraînent chaque jour d'importants bouleversements environnementaux. Une telle pression anthropique sur des ressources fragiles engendre un déboisement incontrôlé pour satisfaire les besoins en énergie des populations, la demande en bois d'œuvre et l'expansion agricole. En outre, le cheptel toujours plus nombreux et devant se satisfaire de parcours continuellement réduits engendre un surpâturage. Le tout provoque donc une dégradation de la couverture végétale du sol ainsi qu'une diminution globale des rendements des cultures. Dans le même temps, les études réalisées auprès de communautés locales et de décideurs en Afrique de l'Ouest montrent que la pauvre santé du cheptel, la réduction des rendements céréaliers, l'augmentation de la fréquence des inondations dans certaines villes et la dégradation des moyens d'existence sont le plus souvent attribués au changement climatique. Cet article fait le point sur les connaissances actuelles des variations pluviométriques passées et à venir, ainsi que sur les perceptions des impacts du

« changement climatique » en Afrique de l'Ouest. Ainsi, les famines récurrentes au Niger en 2005, 2009, 2011 et 2012 sont-elles dues au réchauffement climatique ? Les inondations, le plus souvent en zone urbaine, résultent-elles spécifiquement d'une augmentation des événements pluviométriques extrêmes ? Nous concluons sur une analyse des politiques nationales et internationales menées actuellement en Afrique de l'Ouest en termes d'adaptation aux impacts du changement climatique.

**Mots-clés :** Changement climatique, précipitation, impacts, perception, Afrique de l'Ouest

**Abstract:** West Africa, specifically the Sahelian semi-arid fringe, has undergone in recent decades, two major crises of drought almost contiguous in the 1970s and 1980s. Since the 1990s, the overall rainfall patterns show a return to the previous average. However, this improvement in annual rainfall sum appears to be partially due to the intensity of the heavy rains and it appears that the length of the rainy season has changed little over decades of drought. This paper reviews the current knowledge on past and future rainfall changes, as well as perceptions of the impact of "climate change" in West Africa. Thus, recurrent famine in Niger in 2005, 2009, 2011 and 2012 are they due to global warming? Flooding, mostly in urban areas, they specifically resulting from an increase in extreme rainfall events? We conclude with an analysis of national and international policies currently in West Africa in terms of adaptation to climate change.

**Key words:** Climate change, rainfall, impact, perception, West Africa

### Références bibliographiques

- ACHARD F. & CHANONO M., (2006) - Exemple d'une gestion pastorale réussie au Sahel: la station d'élevage de Toukounous (Niger). *Sécheresse*, 17, p. 76-82.
- AGO E.-E., PETIT F. & OZER P., (2005) - Analyse des inondations en aval du barrage de Nangbeto sur le fleuve Mono (Togo et au Bénin). *Geo-Eco-Trop*, 29, p. 1-14.
- AGUILAR E., AZIZ BARRY A., BRUNET M., EKANG L., FERNANDES A., MASSOUKINA M., MBAH J., MHANDA A., DO NASCIMENTO D., PETERSON T., THAMBA UMBA O., TOMOU M. & ZHANG X., (2009) - Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955–2006. *Journal of Geophysical Research*, 114, D02115.
- AHOMADEGBE M.-A., HOUNTONDI Y.-C. & OZER P., soumis. Etude des stratégies endogènes d'adaptation des communautés agricoles du plateau d'Abomey face aux changements climatiques. *Geo-Eco-Trop*. Soumis le 10 juin 2012.
- AJIBEFUN A.-I., FATUASE A.-I., (2012) - Analysis of perception and adaptation to climate change among arable crop farmers in Ikogosi Warm Spring communities of Ekiti State, Nigeria. In: Lund Conference on Earth System Governance. April 18-20, 2012, Lund, Denmark. Ref. 0233, 29 p.
- AKPONIKPÈ P.-B.-I., JOHNSTON P., AGBOSSOU E.-K., (2010) - Farmers' perception of climate change and adaptation strategies in Sub-Saharan West-Africa. In: ICID+18, 2<sup>nd</sup> international conference: climate, sustainability and development in semi-arid regions. August 16-20, 2010, Fortaleza – Ceara, Brazil. 15 pp.
- ARIORI S.-L., OZER P., (2005) - Evolution des ressources forestières en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne au cours des 50 dernières années. *Geo-Eco-Trop*, 29, p. 61-68.
- ATEDHOR G.-O., ODJUGO P.-A.-O., URIRI A.-E., (2011) - Changing rainfall and anthropogenic-induced flooding: Impacts and adaptation strategies in Benin City, Nigeria. *Journal of Geography and Regional Planning*, 4, p. 42-52.
- BAUDOIN M.-A., (2010) - L'adaptation aux changements climatiques au sud du Bénin, Une analyse de la politique internationale et des besoins locaux. *Geo-Eco-Trop*, 34, p. 155-169.
- BERAZNEVA J. & LEE D.-R., (2011) - Explaining the African food riots of 2007-2008: an empirical analysis. In: CSAE 25<sup>th</sup> Anniversary Conference 2011: Economic Development in Africa, 20-22 March 2011, St Catherine's College, Oxford. <http://www.csae.ox.ac.uk/conferences/2011-EdiA/papers/711-Berazneva.pdf>
- BOOST F., CARROUÉ L., COLIN S., GIRAULT C., LE GOIX R., RADVANYI J. & SANMARTIN O., (2009) - Images économiques du monde. Géoéconomie – Géopolitique 2010. Armand Colin, Paris.
- BRICKMAN H.-J., DE PEE S., SANOGO I., SUBRAN L. & BLOEM M.-W., (2010) - High food prices and the global financial crisis have reduced access to nutritious food and worsened nutritional status and health. *The Journal of Nutrition*, 140(1), p. 153S-161S.
- BROWN M.-E., FUNK C.-C., VERDIN J. & EILERTS G., (2008) - Response to "Ensuring food security". *Science*, 320, p. 611-612.
- CISSÉ G., KONÉ B., BÂ H., MBAYE I., KOKA K., UTZINGER J. & TANNER M., (2011) - Ecohealth and climate change: adaptation to flooding events in riverside secondary cities, West Africa. *Resilient cities*, 1, p. 55-67.



- CISSE P., MALICKI Z., BARBIER B. & MAÏGA A., (2010) - Les migrations, une stratégie d'adaptation à la variabilité climatique en zones sahéliennes. *Revue de Géographie du Laboratoire Leïd*, 8, p. 184-196.
- CRED (2012) - EM-DAT: The international disaster database. Centre for research on the epidemiology of disasters. <http://www.emdat.be/> Dernier accès le 11 juin 2012.
- DAOUDA M., OZER P. & ERPICUM M., (1998) - Conséquences de la sécheresse sur la longueur et l'amplitude de la saison des pluies au Niger. In: Tropical Climatology, Meteorology and Hydrology. Demarée G., Alexandre J., De Dapper M. eds. Royal Meteorological Institute of Belgium / Royal Academy of Overseas Sciences, p. 497-506.
- DE SCHUTTER O., (2010) - *Food commodities speculation and food price crises*. United Nation Special Rapport on the Right to Food, Briefing Note 02, 14 p.
- DE SCHUTTER O., (2012) - Famine isn't an extreme event, it's the predictable result of a broken system. The Guardian, 30 January 2012. <http://www.guardian.co.uk/global-development/poverty-matters/2012/jan/30/famine-predictable-result-broken-system>
- DRUYAN L.-M., (2011) - Studies of 21<sup>st</sup>-century precipitation trends over West Africa. *International Journal of Climatology*, 31, p. 1415-1424.
- FAO (2010) - Global forest resources assessment 2010. FAO Forestry Paper 163. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO (2011) - Food security statistics by country. <http://www.fao.org/economic/ess/ess-fs/en/>
- FAOSTAT (2012) - Statistical database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat3.fao.org/>
- FATUASE A.-I. & AJIBEFUN A.-I., (2012) - Determinants of cassava farmers' strategies for adapting to climate change in Ekiti State, Nigeria. In: Lund Conference on Earth System Governance. April 18-20, 2012, Lund, Denmark. Ref. 0234. 21 p.
- FOSA-MENSAH B.-Y., VLEK P.-L.-G. & MACCARTHY D.-S., (2012) - Farmers' perception and adaptation to climate change: a case study of Sekyedumase district in Ghana. *Environment, Development and Sustainability*, in press. DOI: 10.1007/s10668-012-9339-7
- FRAPPART F., HIERNAUX P., GUICHARD F., MOUGIN E., KERGOAT L., ARJOUNIN M., LAVENU F., KOITÉ M., PATUREL J.-E. & LEBEL T., (2009) - Rainfall regime across the Sahel band in the Gourma region, Mali. *Journal of Hydrology*, 375, p. 128-142.
- HOUNTONDJI Y.-C., DE LONGUEVILLE F. & OZER P., (2011) - Trends in extreme rainfall events in Benin (West Africa), 1960-2000. Proceedings of the 1st International Conference on Energy, Environment and Climate Change, August 26-27, 2011, Ho Chi Minh City, Vietnam. 7 p. <http://hdl.handle.net/2268/96112>
- HOUNTONDJI Y.-C., SOKPON N., NICOLAS J. & OZER P., (2009) - Ongoing desertification processes in the sahelian belt of West Africa, an evidence from the rain-use efficiency. In: Recent Advances in Remote Sensing and Geoinformation Processing for Land Degradation Assessment. Röder A., Hill J. (eds.), ISPRS Series, Taylor and Francis, 173-186.
- IPCC (2007) - Core Writing Team, R. K. Pachauri, and A. Reisinger, Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 2007.
- JONES P.-D. & HULME M., (1996) - Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation, Methods and illustrations. *International Journal of Climatology*, 16, p. 361-377.
- KOTIR J.-H., (2011) - Climate change and variability in Sub-Saharan Africa: a review of current and future trends and impacts on agriculture and food security. *Environment, Development and Sustainability*, 13, p. 587-605.
- LEBEL T., ALI A., (2009) - Recent trends in the Central and Western Sahel rainfall regime (1990-2007). *Journal of Hydrology*, 375, p. 52-64.
- M'BOU C., DIOP A., DIAW A.-T., NIANG C.-I., (2008) - Urban sprawl development and flooding at Yeumbeul suburb (Dakar-Senegal). *African Journal of Environmental Science and Technology*, 2, p. 75-88.
- MERTZ O., D'HAEN S., MAIGA A., MOUSSA I.-B., BARBIER B., DIOUF A., DIALLO D., DA E.-D. & DABI D., (2012) - Climate variability and environmental stress in the Sudan-Sahel zone of West Africa. *Ambio*, 41, p. 380-392.
- MERTZ O., MBOU C., REENBERG A. & DIOUF A., (2009) - Farmers' perception of climate change and agricultural adaptation strategies in rural Sahel. *Environmental Management*, 43, p. 804-816.
- MERTZ O., MBOU C., REENBERG A., GENESIO L., LAMBIN E.-F., D'HAEN S., ZOROM M., RASMUSSEN K., DIALLO D., BARBIER B., MOUSSA I.-B., DIOUF A., NIELSEN J.-O. & SANDHOLT I., (2011) - Adaptation strategies and climate vulnerability in the Sudano-Sahelian region of West Africa. *Atmospheric Science Letters*, 12, p. 104-108.

- MITCHELL T., (2011) - Sahel rainfall index (20-10N, 20W-10E), 1900 - October 2011. [http://jisao.washington.edu/data\\_sets/sahel/](http://jisao.washington.edu/data_sets/sahel/)
- MOREL R., (1998) - Début de la sécheresse en Afrique de l'Ouest. In , Tropical Climatology, Meteorology and Hydrology. Demarée G., Alexandre J., De Dapper M. eds. Royal Meteorological Institute of Belgium / Royal Academy of Overseas Sciences, 200-211.
- NEW M., HEWITSON B., STEPHENSON D.-B., TSIGA A., KRUGER A., MANHIQUE A., GOMEZ B., COELHO C., MASISI D., KULULANGA E., MBAMBALALA E., ADESINA F., SALEH H., KANYANGA J., ADOSI J., BULANE L., FORTUNATA L., MDOKA M., LAJOIE R., (2006) - Evidence of trends in daily climate extremes over southern and West Africa. *Journal of Geophysical Research*, 111, D14102.
- NICHOLSON S.-E., (1978) - Climatic variations in the Sahel and other African regions during the past five centuries. *Journal of Arid Environments*, 1, p. 3-24.
- NICHOLSON S.-E., (2005) - On the question of the "recovery" of the rains in the West African Sahel. *Journal of Arid Environments*, 63, p. 615-641.
- NIELSEN J.-O. & REENBERG A., (2010) - Cultural barriers to climate change adaptation: A case study from Northern Burkina Faso. *Global Environmental Change*, 20, p. 142-152.
- NOUACEUR Z., (2010) - Essor économique et crise environnementale d'une capitale sahéenne : Nouakchott. *Sécheresse*, 21, p. 63-70.
- OCDE (2008) - Les objectifs d'aide seraient-ils en passe de devenir inaccessibles ? Organisation pour la coopération et le développement économique, <http://www.oecd.org/dataoecd/47/23/41724396.pdf>
- OFUOKU A.-U., (2011) - Rural farmers' perception of climate change in central agricultural zone of Delta state, Nigeria. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 12, p. 63-69.
- OGUNTUNDE P.-G., ABIODUN B.-J. & LISCHIED G., (2011) - Rainfall trends in Nigeria, 1901-2000. *Journal of Hydrology*, 411, p. 207-218.
- OLIVIER M., (2012) - Sahel : crise alimentaire en vue, l'ONU tire la sonnette d'alarme. Jeune Afrique, 3 février 2012. <http://www.jeuneafrique.com/Article/ARTJAWEB20120203175123/>.
- OULD SIDI CHEIKH M.-A., OZER P. & OZER A., (2007) - Risques d'inondation dans la ville de Nouakchott (Mauritanie). *Geo-Eco-Trop*, 31, p. 19-42.
- OXFAM (2012) - La sécheresse pourrait se muer en catastrophe pour 13 millions de personnes si aucune action n'est entreprise en Afrique de l'Ouest. 9 mars 2012. <http://www.oxfam.org/fr/pressroom/pressrelease/2012-03-09/secheresse-pourrait-muer-catastrophe-pour-13-millions-sahel-afrique-ouest-centrale>
- OZER A. & OZER P., (2005) - Désertification au Sahel : Crise climatique ou anthropique ? *Bulletin des Séances de l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer*, 51, p. 395-423.
- OZER P., (2000) - Les lithométéores en région sahéenne, un indicateur climatique de la désertification. *Geo-Eco-Trop*, 24, p. 1-317.
- OZER P., (2004) - Bois de feu et déboisement au Sahel, mise au point. *Sécheresse*, 15, p. 243-251.
- OZER P., BODART C. & TYCHON B., (2005) - Analyse climatique de la région de Gouré, Niger oriental, récentes modifications et impacts environnementaux. Cybergeog, Revue Européenne de Géographie. No.308, 02/05/2005, 24 p. (<http://www.cybergeog.presse.fr>).
- OZER P. & ERPICUM M., (1995) - Méthodologie pour une meilleure représentation spatio-temporelle des fluctuations pluviométriques observées au Niger depuis 1905. *Sécheresse*, 6, p. 103-108.
- OZER P., ERPICUM M., DEMARÉE G. & VANDIEPENBEECK M., (2003) - The Sahelian drought may have ended during the 1990s. *Hydrological Sciences Journal*, 48, p. 489-492.
- OZER P., GASSANI J., HOUNTONDI Y.-C., NIANG A.-J. & AMBOUTA K., (2007) - La désertification est-elle en recul au Sahel ? Bois et Forêts des Tropiques, 293, p. 23-28.
- OZER P., HOUNTONDI Y.-C. & LAMINO MANZO O., (2009) - Evolution des caractéristiques pluviométriques dans l'est du Niger de 1940 à 2007. *Geo-Eco-Trop*, 33, p. 11-30.
- OZER P., HOUNTONDI Y.-C., NIANG A.-J., KARIMOUNE S., LAMINO MANZO O. & SALMON M., (2010) - Désertification au Sahel : historique et perspectives. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 54, p. 69-84.
- OZER P., AFOUDA A., HOUNTONDI Y.-C., AHLONSOU E., HOUANYE A., AHOMADEGBE M. & DE LONGUEVILLE F., (2010) - Effets du réchauffement global sur les variables climatiques et hydrologiques au Bénin: Analyse de l'année 2010 par rapport aux données historiques. Colloque international : *Les événements pluvieux extrêmes en Afrique de l'Ouest et leurs impacts sur les populations vulnérables dans un contexte de variabilité climatique*. <http://hdl.handle.net/2268/80202>
- PETTITT A.-N., (1979) - A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, 28, p. 126-135.

- RAIN D., ENGSTROM R., LUDLOW C., ANTOS S., (2011) - Accra, Ghana: A city vulnerable to flooding and drought-induced migration. Case study prepared for cities and climate change: Global report on human settlements 2011. 21 p.  
[http://130.191.118.3/Research/Projects/IPC/publication/Rain\\_etal\\_Ch4.pdf](http://130.191.118.3/Research/Projects/IPC/publication/Rain_etal_Ch4.pdf)
- ROUDIER P., SULTAN B., QUIRION P. & BERG A., (2011) - The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say? *Global Environmental Change*, 21, p. 1073-1083.
- SANE T., DIOP M. & SAGNA P., (2008) - Etude de la qualité de la saison pluvieuse en Haute-Casamance (Sud Sénégal). *Sécheresse*, 19, p. 23-28.
- SARR B., (2009) - Recrudescence des fortes pluies et des inondations dans un contexte de changement climatique. In: Le Sahel face aux changements climatiques. Centre Régional Agrhyet, Numéro spécial, p. 9-11.  
<http://www.cilss.bf/fondsitalie/download/down/specialChC.pdf>
- SENE S. & OZER P., (2002) - Evolution pluviométrique et relation inondations – événements pluvieux au Sénégal. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 42, p. 27-33.
- SIRCOULON J., (1976) - Les données hydropluvio-métriques de la sécheresse récente en Afrique intertropicale. Comparaison avec les sécheresses « 1913 » et « 1940 ». *Cahiers ORSTOM, série Hydrologie*, 13, p. 75-174.
- TARHULE A., (2005) - Damaging rainfall and flooding, the other Sahel hazards. *Climatic Change*, 72, p. 355-377.
- TARHULE A. & WOO M., (1998) - Changes in rainfall characteristics in northern Nigeria. *International Journal of Climatology*, 18, p. 1261-1271.
- UNDP (2011) - Human Development Report 2011. Sustainability and equity: a better future for all. United Nations Development Programme, New York, USA.
- United Nations (2011a) - World population prospects: The 2010 Revision. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, CD-ROM Edition.
- United Nations (2011b) - Millennium development goals indicators. <http://mdgs.un.org/unsd/mdg/>.
- United Nations (2011c) - The Millennium development goals report 2011. United Nations, New York, USA.
- VANNITSEM S. & DEMAREE G., (1991) - Détection et modélisation des sécheresses au Sahel. *Hydrologie continentale*, 2, p. 155-171.
- WADE S., FAYE S., DIENG M., KABA M. & KANE N.-R., (2009) - Télédétection des catastrophes d'inondation urbaine : le cas de la région de Dakar (Sénégal). *Journées d'animation scientifique (JAS09) de l'AUF*, Novembre 2009. 7 p.  
[http://www.reseautd.cict.fr/alger/Articles\\_PDF\\_apres\\_correction\\_et\\_evaluation/A53\\_Souley\\_Wade\\_JAS09.pdf](http://www.reseautd.cict.fr/alger/Articles_PDF_apres_correction_et_evaluation/A53_Souley_Wade_JAS09.pdf)