

## Les fortes pluies enregistrées au Sahel au cours de l'hivernage 2007 : variabilité et/ou changement climatique

Benoît SARR et Issaka LONA

Centre Régional Agrhymet (CRA), Département Formation et Recherche, BP 11011, Niamey, Niger

### **Benoît SARR :**

Dr Benoit Sarr est expert formateur en agrométéorologie au Centre régional Agrhymet, Niamey, Niger. Il a obtenu en PhD en climatologie. Il est auteur ou co-auteur de plus d'une quinzaine de publications parues dans des revues scientifiques internationales, auteurs de nombreuses communications à des rencontres scientifiques internationales dans des domaines touchant le climat et l'agriculture. M. Sarr a été admis au Conseil Africain et Malgache pour l'Enseignement Supérieur (Cames) CTS : Sciences et Techniques de l'Ingénieur / Discipline en 2005. Il est membre groupe de travail de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) sur l'Éducation et la formation et Conseiller scientifique de la Fondation Internationale pour la Science (FIS), Stockholm, Suède. Il a assuré, dans ces domaines, la formation diplômante et continue et l'encadre de plus d'une vingtaine d'ingénieurs, de Masters et de DEA dans ces domaines.

### **Résumé :**

De nombreux pays d'Afrique de l'Ouest, du Centre et de l'Est ont été touchés en juillet et août 2007 par des pluies diluviennes qui ont fait plus d'un million et demi de sinistrés. Parmi les pays les plus sévèrement touchés figurent pour le cas des pays sahélien le Burkina Faso, le Niger, le Mali, le Sénégal. Cet article fait du point de vue statistique une analyse sur les pluies extrêmes enregistrées dans de nombreux pays du Sahel au cours de l'hivernage 2007 en comparant cette situation avec les données de la période 1951-2006. L'article cherche à faire comprendre pour le cas de l'Afrique de l'Ouest, pourquoi les dégâts ont été plus importants au Burkina Faso. Pour ce faire, 18 stations localisées au Sénégal, au Mali, au Burkina Faso et au Niger ont été étudiées sur la période 1950-2007. Il ressort des résultats que les inondations sont le fait des pluies extrêmes au Burkina Faso (supérieures au 90ème percentile). En outre, selon le test de comparaison d'une moyenne à une valeur donnée de Student, l'année 2007 a été caractérisée par recrudescence de nombre de jours de pluie supérieure à 50 mm statistiquement supérieure à la moyenne de la période 1950-2006. On comprend alors l'importance des dégâts occasionnés par ces inondations ainsi que les conséquences socio-économiques et humaines Sahel et au Burkina Faso en particulier. Enfin, sans être affirmatif, on pourrait relier ces événements de 2007 avec le changement climatique.

Mots-clés : Sahel, année 2007, extrêmes climatiques, inondations, analyse statistique, changement climatique, conséquences socio-économiques,

### **I. Introduction**

L'Afrique sahélienne est sans doute l'une des régions du globe où la variabilité climatique et les sécheresses sont les plus accusées. Au cours de ces dernières décennies, un processus d'aridification du climat dans la zone sahélienne a été observé. Les précipitations ont en moyenne baissé de 15 à 30 % au Sahel et de 15 % dans les régions des forêts tropicales humides (CSAO/CEDEAO/CILSS/FAO, 2007). Au même moment, il a été noté une baisse plus importante des écoulements dans les grands bassins fluviaux (Sénégal, Niger) de l'ordre de 40 à 60 % depuis le milieu des années 1970 (Paturel *et al.* 1997). Dans toute la région, le déficit pluviométrique résulte de la diminution du nombre d'événements pluvieux selon Le Barbé et Lebel (1997).

Les années 1980 ont été les plus sèches au cours du 20<sup>ème</sup> siècle. Depuis les années 1990, un retour à de meilleures conditions pluviométriques est toutefois notable, notamment dans le Sahel continental. À ces tendances de long terme s'ajoute un fort degré de variabilité interannuelle des précipitations (Janicot *et al.* 2001 ; Nicholson, 2001). La sécheresse qui a frappé le Sahel et ses habitants au cours de ces dernières

décennies, pourrait être un des événements extrêmes de la variabilité du climat qui serait amplifiée sans doute par les changements climatiques (CSAO/CEDEAO/CILSS/FAO, 2007). En revanche, le Groupe s intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) dans son quatrième rapport d'évaluation fait état d'une multiplication des phénomènes extrêmes depuis cinquante ans (GIEC, 2007). Le GIEC prévoit d'ailleurs qu'il est très probable que les vagues de chaleurs et notamment les épisodes de chaleurs extrêmes continueront de se multiplier tout comme les épisodes de fortes précipitations. Selon l'Organisation Météorologique Mondiale, l'année 2007 a connu des climats extrêmes à travers la planète. En effet, depuis janvier 2007, de nombreuses régions du monde ont connu des extrêmes météorologiques et climatologiques. Les mois de janvier et d'avril ont sans doute été les plus chauds à l'échelle du globe depuis le début des observations systématiques, en 1880, si l'on se réfère aux températures moyennes à la surface des terres émergées, l'anomalie positive atteignant 1,8 °C pour janvier et 1,37 C pour avril.

Ce travail s'est focalisé uniquement sur les précipitations extrêmes qui sont les causes principales des crues et des inondations

## II. Objectif

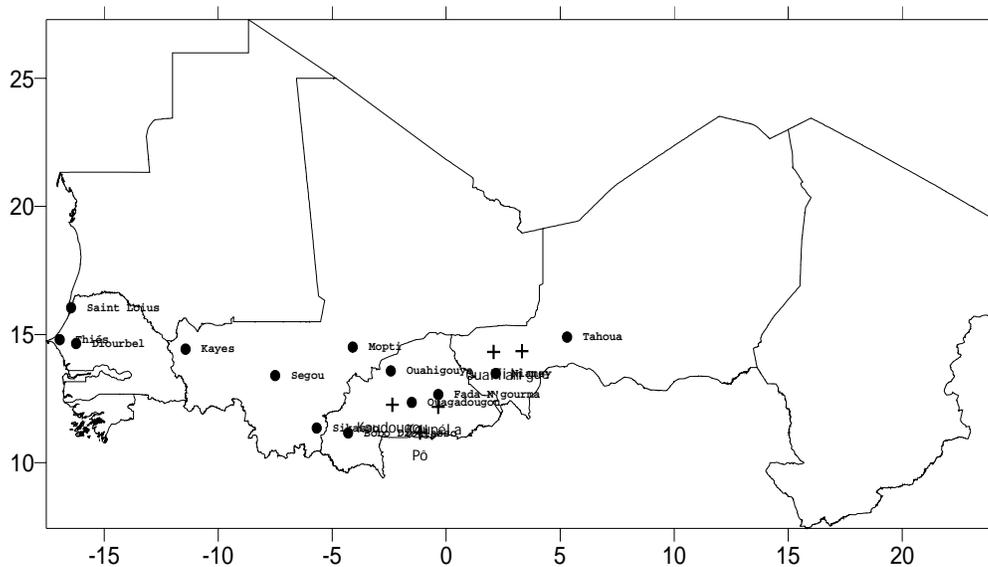
L'objectif de cette étude est :

- d'analyser le caractère extrêmes des pluies enregistrées dans les pays du CILSS en 2007 et qui ont occasionné des inondations et des dégâts socioéconomiques importants ;
- de chercher à comprendre pourquoi les dégâts sont particulièrement importants au Burkina Faso (pour la cas des pays du CILSS) ;
- de tenter de répondre à la question : est-ce des phénomènes climatiques extrêmes amplifiés par le changement climatique ?

## III. Matériels et méthodes

### - Données météorologiques

Les données météorologiques proviennent du Système Régional de Gestion des - Bases de Données (*sous Oracle*) du Centre Régional Agrhymet qui centralise les données de 9 pays du CILSS. Les pluies journalières de 1950-2007 de 18 stations localisées dans les zones où des fortes pluies ont été enregistrées ont été collectées (figure 1)



**Figure 1** : Localisation des stations météorologiques étudiées synoptique (●) et pluviométriques (+)

L'analyse des analyses des extrêmes pluviométriques a été réalisée à l'aide du logiciel Instat+ version 3.36 (Stern *et al.*, 2006).

Les analyses statistiques suivantes ont été effectuées :

- Calcul des précipitations maximales cumulées en 3 jours consécutifs en 2007 et de 1951 à 2006
- Ajustement à une loi de distribution *Gumbel* (Djeboua *et al.* 2004) et estimation des paramètres  $K1$  ou le mode = paramètre de position qui correspond à l'ordonnée à l'origine et  $K2$ , paramètre d'échelle ou de forme).

La *Loi de Gumbel* est une loi de décroissance exponentielle. Elle a l'avantage d'étirer l'échelle de distribution au-delà de la probabilité 0,90 (90ème percentile des pluies maximales). En outre, elle peut être ajustée pour des pluies journalières maximales de durée de 1 heure à quelques jours. Sa fonction est une double exponentielle de type :

$$F(x) = \exp(-\exp(-(x-K1)/K2))$$

$K2$  (ou  $a$ ) : paramètre d'échelle

$K1$  (ou  $x_0$ ) : paramètre de position ou mode

La distribution d'une variable de *Gumbel* avec  $u$  en abscisse et  $x$  en ordonnées est une droite de pente  $K2$

$$U = -\ln(-\ln(F(x))) = (x-K1)/K2$$

est dite variable réduite de *Gumbel*.

On obtient ces 2 paramètres par la méthode des moments

- Estimation 90<sup>ème</sup> percentile des précipitations maximales cumulées en 3 jours consécutifs
- Calcul de la durée de retour pluies maximales cumulées en 3 jours consécutifs en 2007
- Pluies maximales cumulées en 3 jours consécutifs > au 90ème percentile
- Comptage nombre de jour où les pluies maximales cumulées en 3 jours en 2007 > 50 mm
- *Test de Student* de comparaison de la moyenne observée sur la période 1951-2006 du nombre de jours de pluies > 50 mm avec la valeur de référence qu'ent l'année 2007 pour une station donnée

#### IV. RESULTATS

##### - Cumuls pluviométriques

Les cumuls pluviométriques du mois d'août ont varié entre 100 mm et plus de 500 mm dans la zone agricole (figure 2).

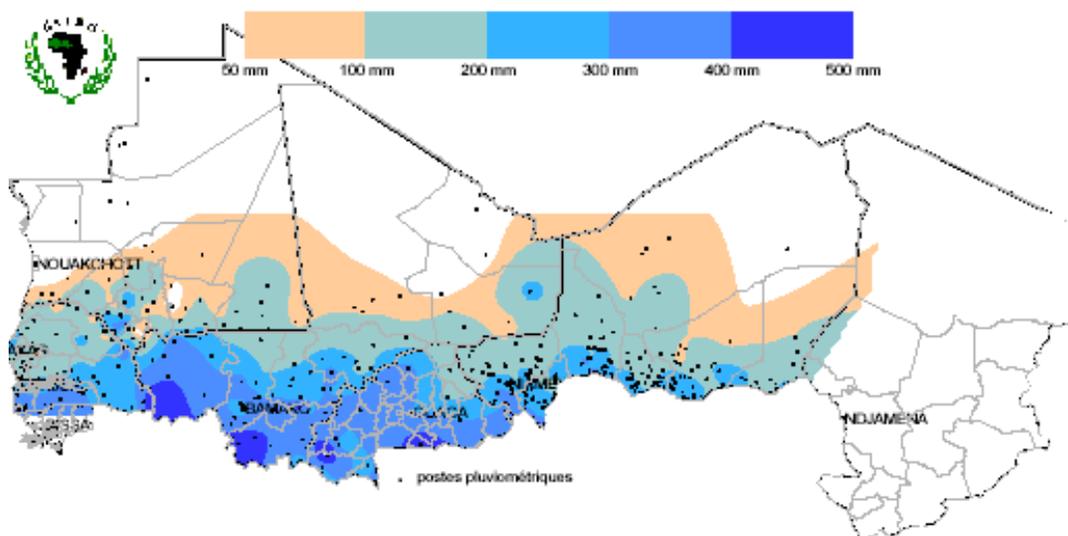


Figure 1.A : Hauteurs pluviométriques du mois d'août 2007 au Sahel

**Figure 2 :** Hauteurs pluviométriques cumulées du mois d'août 2007, (Source Agrhymet, 2007)

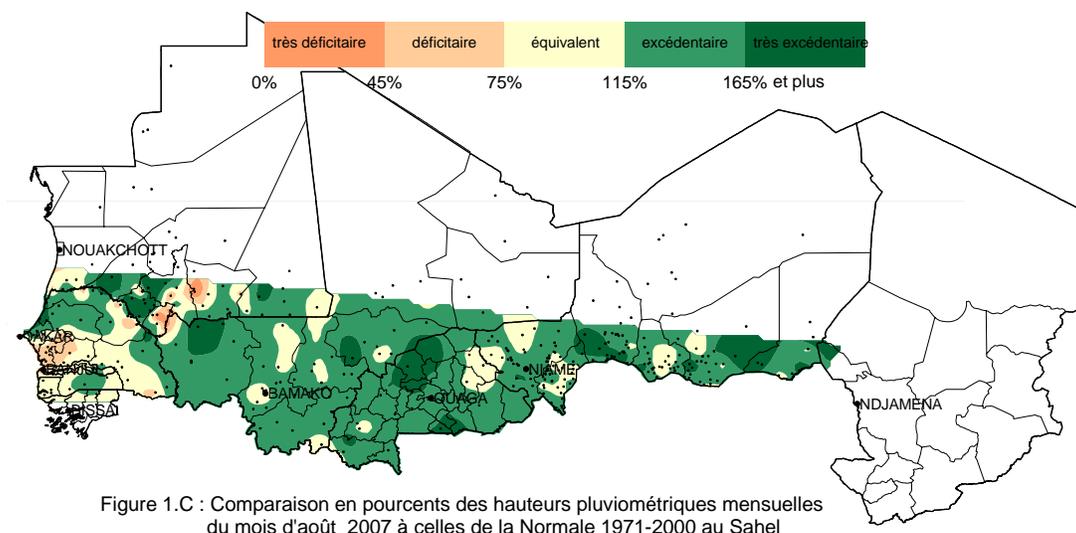
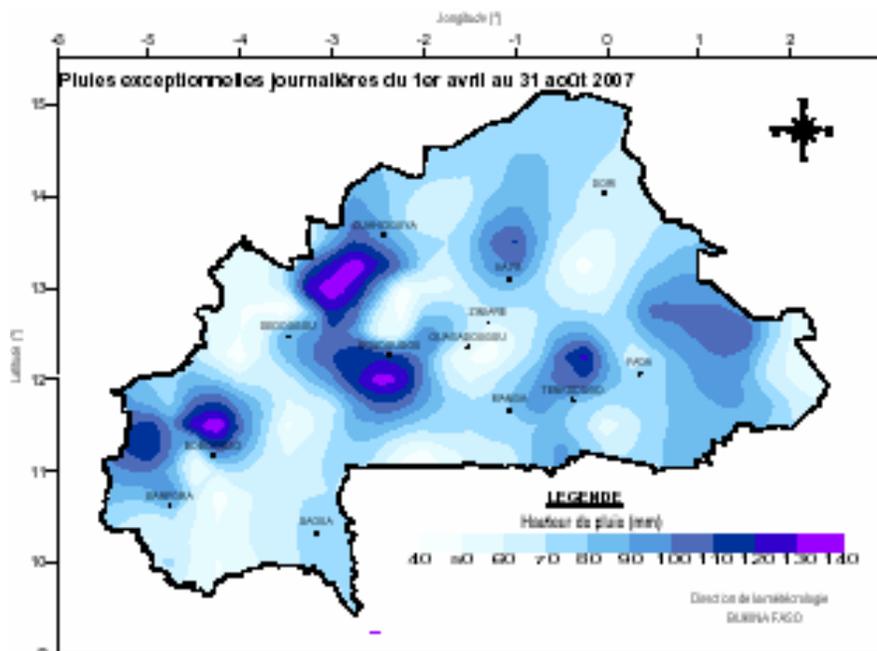


Figure 1.C : Comparaison en pourcents des hauteurs pluviométriques mensuelles du mois d'août 2007 à celles de la Normale 1971-2000 au Sahel

**Figure 3 :** Comparaison en (%) des hauteurs pluviométriques cumulées du mois d'août 2007 par rapport à la normale 1971-2000 au Sahel.

Hormis, quelques poches matérialisant une situation normale, notamment dans le Centre et le Sud du Sénégal, l'ensemble des pays du Sahel a enregistré des excédents compris entre 15 et plus de 65 % (figure 3).

Du 1<sup>er</sup> avril au 31 août, de nombreuses localités au Burkina Faso ont enregistré des pluies allant de 40 mm à plus de 140 mm en un jour (figure 4).



**Figure 4:** Pluies journalières supérieures à 40 mm du 1<sup>er</sup> au 31 août 2007 au Burkina Faso (source DMN, Burkina Faso, 2007)

**- Pluies maximales journalières de juillet et août**

Suivant l'ajustement à la loi de *Gumbel*, les pluies maximales journalières cumulées en 3 jours consécutifs les plus fréquentes (le mode ou le k1) sont comprises entre 74 et 89. Tandis que K2 varie entre 17 et 26 (tableau 1).

**Tableau 1 : Paramètre de la loi de Gumbel appliquée à la méthode des moments**

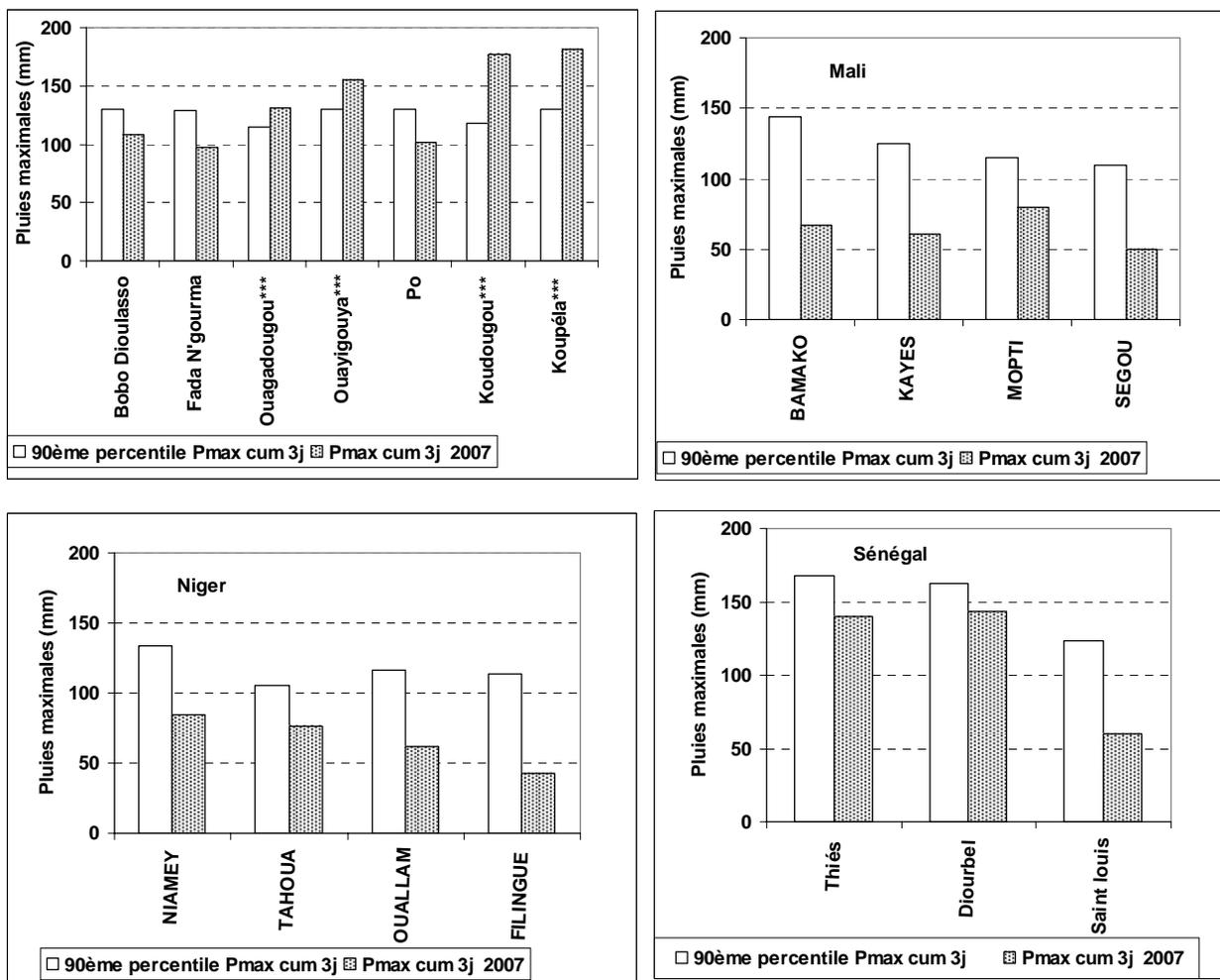
	Bobo Dioulasso	Ouagadougou	Koudougou	Fada N'gourma	Po	Koupela	Ouahigouya
Paramètre de position ou mode (k1)	89.03	75.59	76.84	84.38	79.77	73.86	74.47
Paramètre d'échelle ou de forme (K2)	26.31	17.32	18.41	20.91	22.55	19.84	24.7

**Tableau 2 : Pluies maximales cumulées en 3 jours consécutifs et leur durée de retour**

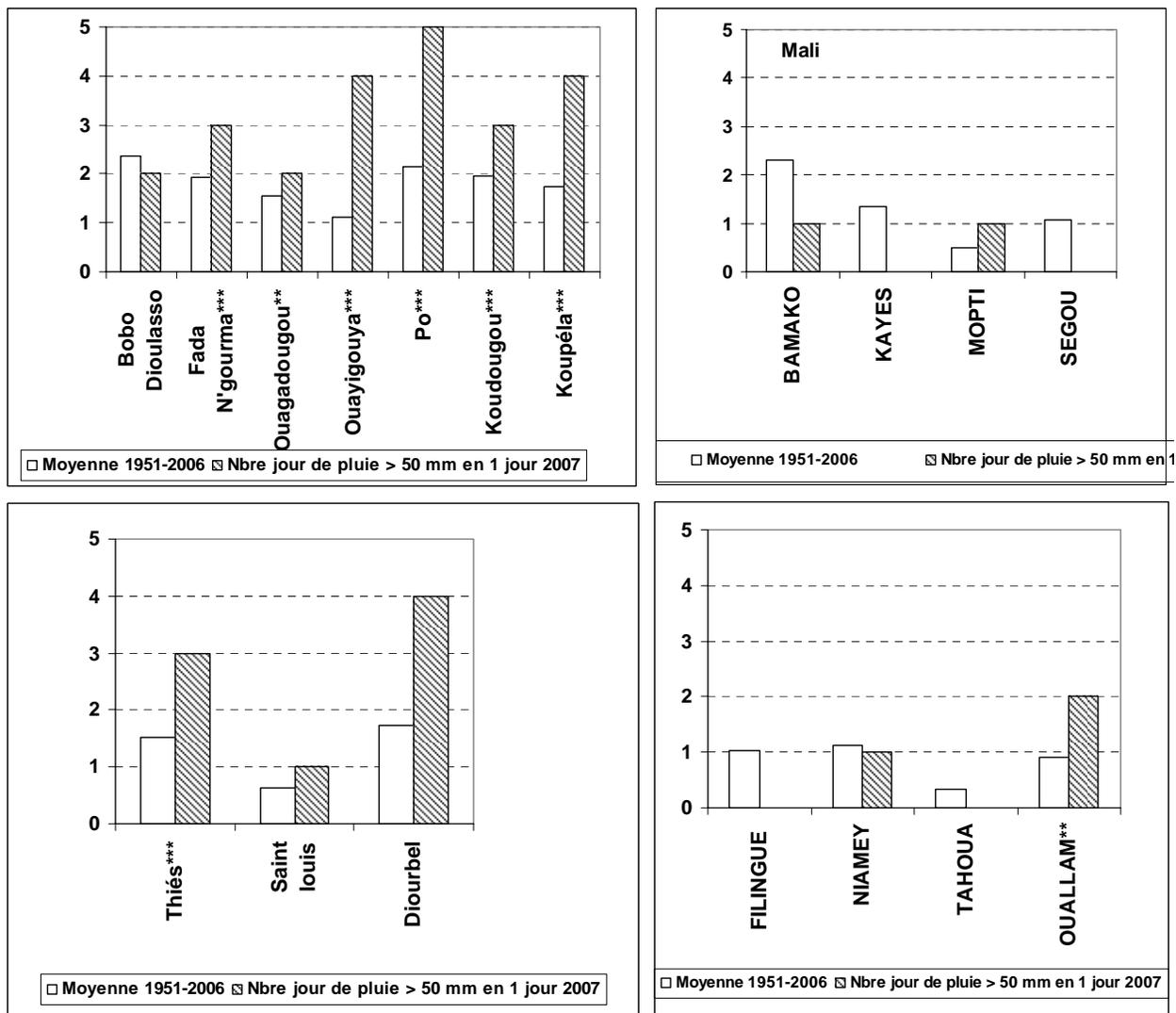
	Bobo Dioulasso	Ouagadougou	Koudougou	Fada N'gourma	Po	Koupela	Ouahigouya
Pluies maximales cumulées en 3 jours consécutifs	108.1	131.6	177	96.8	102	181	154.9
Durée de retour (ans)	3	28	220	3	3	208	22

Les pluies maximales cumulées en 3 jours consécutifs sont comprises entre 177 mm à Koudougou pour une durée de retour de 220 ans contre 96.8 mm et 3ans de durée de retour à Fada N’Gourma (tableau 2). Ces pluies maximales ne peuvent être qualifiées de pluies extrêmes que lorsqu’elles dépassent le 90<sup>ème</sup> percentile. C’est ainsi qu’au Sénégal, Mali et au Niger, aucune station n’a enregistré des pluies maximales supérieures au 90<sup>ème</sup> percentile en dépit de l’importance de certaines valeurs. À Thiès et Diourbel, ces pluies maximales cumulées en 3 jours ont atteint plus de 130 mm.

En revanche, au Burkina Faso, 4 stations sur 7 ont enregistré des pluies cumulées en 3 jours > 90<sup>ème</sup> percentile. Les quantités de pluies recueillies en 3 jours consécutifs sont de 131,6 mm du 24 au 26 août à savoir Ouagadougou, 154,9 mm du 4 au 6 août à Ouayigouya ; 177 mm du 18 au 20 août à Koudougou et enfin, 181 mm du 31 mai au 1<sup>er</sup> juin à Koupéla. Aux fortes pluies précoces de Koupéla, se sont rajoutées des pluies cumulées de 117 mm entre le 29 août et le 2 septembre. A Koupéla et à Koudougou les pluies maximales cumulées en 3 jours en 2007 correspondent respectivement à des excédents de 39 et 49,5 % comparativement à leur valeur respective du 90<sup>ème</sup> percentile.



**Figure 5** : Pluies maximales cumulées en 3 jours en 2007 et 90<sup>ème</sup> percentile des pluies maximales cumulées en 3 jours pour la période 1951-2006 au Burkina Faso, Mali, Niger et Sénégal



**Figure 6** : Comparaison du nombre de jours de pluie > 50 mm en 2007 avec la moyenne 1951-2006. \*\*\* différence statistiquement significative avec un risque d'erreur  $\alpha$  de 5%.

#### - Nombre de jours de pluies supérieures à 50 mm.

Au Niger et au Mali, le nombre de jours de pluies journalières supérieures à 50 mm en 2007 n'est pas significativement différent avec la moyenne 1951-2006, sauf à Ouallam (Niger)

2 stations du Sénégal et 6 stations sur 7 au Burkina Faso ont toutefois enregistré un nombre de jours de pluie journalière supérieure à 50 mm en 2007 significativement différents selon le test de Student (risque d'erreur de 5%) avec la moyenne 1951-2006. En revanche, on a dénombré jusqu'à 6 événements à Po en 2007. Ces événements ont été pour la plupart des cas enregistrés en juillet et août (non montré). Ces pluies supérieures à 50 mm ont été considérées comme pouvant engendrer des inondations et des dégâts.

## V. Discussion et conclusion

Le caractère extrême des fortes pluies de 2007 peut se résumer comme suit, particulièrement au Burkina Faso :

- ✓ Sur 7 stations étudiées dans les zones inondées, 4 ont des pluies maximales cumulées en 3 jours consécutifs supérieures au 90<sup>ème</sup> percentile. Ce sont ces pluies qui sont qualifiées de pluies extrêmes
- ✓ Une augmentation significative du nombre de jours de pluie journalière > 50 mm par rapport à la moyenne 1951-2006 a été observée, principalement au Burkina Faso pour 6 stations sur 7.

Ces fortes pluies ont engendré pour le cas du Burkina Faso 33 morts, 17 689 ha de cultures inondées, des pertes de production de l'ordre de 13 500 tonnes, 55 barrages dont les digues ont cédé. Les aides aux populations du gouvernement et ses partenaires ont été estimées à environ 500 millions de francs CFA (DGPSA *et al.*, 2008).

A titre d'exemple, de juillet à août 2007, le volume d'eau stocké dans le barrage de Bagré à une cinquantaine de kilomètres de Koupéla est passé de 876 millions de m<sup>3</sup> à 1750 millions m<sup>3</sup>, le premier déversement du barrage a eu lieu le 27 août et s'est poursuivi sans arrêt jusqu'au 31 août. Comparativement à l'année 2006 à la même période, on a enregistré un excédent de 740 millions de m<sup>3</sup> (DGRE, 2007).

Ces phénomènes peuvent-ils être reliés à la variabilité climatique ou bien à la variabilité conjuguée au changement climatique. Des études du CRED/ UNISDR (2006) ont montré une évolution croissante et rapide du nombre de catastrophes naturelles à travers le monde qui n'épargne pas l'Afrique de l'Ouest. Ce nombre est passé de 50 en 1975, à 200 en 2000 à plus de 350 en 2005. Ainsi, selon un communiqué de la FAO (2007,) "*la possibilité que les récentes inondations soient la conséquence du changement climatique* » doit être prise au sérieux ».

Selon Omar Baddour (2007) ces inondations sont probablement la conséquence du phénomène climatique "La Nina" et du refroidissement des eaux de l'océan Pacifique. Les changements de température de la surface des eaux du nord et du sud de l'Océan atlantique et de l'Océan indien ou parfois les anomalies de température de surface de l'Océan Pacifique associées au phénomène d'El Nino (Folland, 1986), seraient une des causes fondamentales des changements dans l'activité de la mousson ouest-africaine.

Le réchauffement de l'ordre de 0,5 à 0,7 °C de l'Afrique de l'Ouest observé au cours du 20<sup>ème</sup> siècle (CSAO/CEDEAO/CILSS/FAO 2008, 2007), pourrait constituer un effet amplificateur du phénomène.

Même s'il est difficile de répondre à cette question, des changements sont tout de même détectés par endroits. Une hausse statistiquement significative du nombre de jours de pluie > 50 mm par rapport à la moyenne 1951-2006 et des cas plus ou moins nombreux de pluies extrêmes > 90<sup>ème</sup> percentile, notamment au Burkina Faso ont été enregistrés<sup>1</sup>.

Il est clair que si l'on enregistre des séries d'années ayant des caractéristiques plus ou moins similaires à 2007, on pourrait attribuer ces phénomènes au changement climatique.

En outre, ces phénomènes, bien qu'aléatoires et de répartition très variable dans l'espace, présentent généralement une certaine structuration sous forme d'amas nuageux bien visibles par l'imagerie satellitale. Il est alors nécessaire de promouvoir les études sur la caractérisation de ces phénomènes extrêmes et de suivi rapproché par télédétection et leur large diffusion auprès des usagers.

---

<sup>1</sup> Ouagadougou et ses environs ont enregistré en 2009 dans la nuit du 1<sup>er</sup> septembre à 4 heures du matin au lendemain à 16h, une pluie cumulée de 263 mm causant plus de 150 000 sinistrés et 8 morts. Ces pluies est 130 % supérieur au 90<sup>ème</sup> percentile.

## **Bibliographie :**

- A. Djerboua ; D. Duband, P. Bois, 2004. Estimations des lois des précipitations extrêmes à partir des données journalières complètes. *La Houille Blanche*, n° 3, pp 65-74.
- CRED/UNISDR. 2007 disasters in numbers. Poster, 1 p.
- CSAO/CEDEAO/CILSS/FAO, 2007. Le climat et les changements climatiques. Atlas de l'intégration régionale en Afrique de l'Ouest. Publié par Club du Sahel, FAO et CILSS, 24 p.
- DGPSA et al. 2008. Rapport de synthèse des missions conjointes des effets des inondations et de l'impact des interventions dans les régions du Nord, des hauts bassins, des Cascades, du Centre Sud et du Centre Est du Burkina Faso. 16-25 janvier, 34 p.
- DGRE, 2007. Situation de remplissage des barrages au 31 août 2007. Septembre 2007, 17 p.
- E.Sauquet, P. Bois, B. Renard, 2006. Observations d'événements extrêmes historiques dans le monde selon les climats et les réseaux de mesure. *La Houille Blanche*, n° 5, pp 60-65.
- Folland, C.K., T.N. Palmer and D.E. Parker, 1986. Sahel rainfall and worldwide sea temperature 1901-1985. *Nature*, 320, 602-607.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp
- Janicot, S., S. Trzaska and I. Pocard, 2001. Summer Sahel-ENSO teleconnection and decadal time scale SST variations. *Climate Dyn.*, 18, 303-320.
- Le Barbé, L., and T. Lebel, 1997. Rainfall climatology of the HAPEX-Sahel region during the years 1950-1990. *J. Hydrol.*, 188-189, 43-73.
- Nicholson S.E. 2001. Climatic and environmental change in Africa during the last two centuries. *Climate Research* 17, 123-144.
- Stern R, Knock J, Rijks D, Dal I, 2006. *Instat + for windows*. Version 3.30. An interactive Statistics Package. Reading : University of Reading UK, 2006, 40 p.
- United Nations, Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, 2007. Special update on floods in West Africa. 12 September, OCHA, West Africa Regional Office, 4 pages.