

Activités anthropiques et risques d'eutrophisation et de comblement des petites retenues d'eau du Burkina Faso : analyse à partir d'études de cas

Amadou Hama MAIGA, Yacouba KONATE, K. DENYIGBA, H. KARAMBIRI et J.WETHE
Groupe EIER-ETISHER, Ouagadougou (Burkina Faso)

RESUMÉ

De nombreux petits barrages ont été construits en Afrique de l'Ouest durant les années 1970 et 1980 pour les besoins de l'approvisionnement en eau des populations et des activités agropastorales. Dans bien des cas, les retenues d'eau ainsi créées présentent des signes d'eutrophisation et de comblement précoce du fait de l'érosion et de la sédimentation résultant de la dégradation (d'origine anthropique surtout) des sols et du couvert végétal. C'est particulièrement le cas au Burkina Faso.

Afin d'évaluer les risques d'eutrophisation et de comblement, une étude a été menée sur une dizaine de retenues d'eau choisies dans les trois principales zones climatiques du pays : la zone soudanienne au Sud-Ouest caractérisée par une végétation de savane boisée, la zone soudano-sahélienne au Centre du pays, marquée par une végétation de savane à graminées annuelles arbustives et arborées et la zone sahélienne au Nord, caractérisée par une végétation de steppe arbustive épineuse très clairsemée.

Le niveau d'eutrophie a été mesuré sur la base des indicateurs de référence, le niveau de comblement a été évalué par des mesures bathymétriques.

Les résultats conduisent aux constats suivants :

1. Le comblement par transport de solides représente la menace prépondérante pour les plans d'eau dans les zones sahéliennes très marquées par des phénomènes d'érosion intensive dans leur bassin versant.
2. L'eutrophisation de grande envergure des plans d'eau semble faible en zone soudanienne et soudano-sahélienne et quasi-inexistante en zone sahélienne à cause des suspensions solides dans l'eau qui ne favorisent pas la pénétration de la lumière solaire et par conséquent, limite le développement d'activité photosynthétique.

L'étude montre ainsi des risques de pénurie d'eau et de dégradation de leurs qualités. Ce qui, dans bien des cas, constitue des facteurs d'exode rural, de conflits d'usage et de persistance des maladies hydriques liées à une insuffisance qualitative et quantitative de l'eau

Mots clés : Eutrophisation, comblement, transport solide, barrages, petites retenues d'eau, Burkina Faso.

CONTEXTE

La dégradation des sols résultant de l'intensification des activités anthropiques sur les bassins versants des retenues d'eau a pour effet d'accélérer dans certaines régions du Burkina Faso leur comblement progressif par érosion et sédimentation, hypothéquant ainsi les capacités de stockage et les activités socio-économiques qui se sont développées autour des plans d'eau. Le ruissellement et l'érosion hydrique constituent une des causes essentielles de transport des solides en suspension vers les retenues d'eau. L'ampleur de ces phénomènes dépend de l'état de surface et de la nature du couvert végétal (Leprun, 1994).

Dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne et particulièrement au Burkina Faso, la pression démographique a entraîné une forte augmentation des surfaces cultivées (Floret & Pontanier, 1993) au détriment du couvert végétal. Au Burkina Faso, on estime qu'entre 1950 et 1990, 40% du couvert boisé naturel a été détruit (Parkan, 1986). Les études de Somé (1992) ont montré que jusqu'à 75% du couvert végétal souffrait déjà d'une dégradation importante.

D'autres études menées dans ce sens soulignent une augmentation de la dégradation et de l'érosion des sols comme décrit par de nombreux auteurs. À l'état actuel, les sols des régions semi-arides de l'Afrique de l'Ouest présentent des caractéristiques physiques et chimiques très fragilisées (Mulders, 2001 ; Breman, 1992 ; Leisinger & Schmitt, 1995), ce qui les rend plus vulnérables à la formation des croûtes d'induration (Span, 2004) avec des pertes en sols et l'enrichissement des plans d'eau en nutriment et leur eutrophisation suite aux ruissellements intensifs favorisés par l'agressivité des pluies torrentielles. Roose & Briot (1970) cités par IWACO (1990), ont évalué en zone soudano-sahélienne des pertes en terre entre 0.05 et à 0.15t/ha/an sous végétation et jusqu'à 2.7t/ha/an sur sol nu. Marchal (1983) a obtenu des valeurs de 1.86t/ha/an en zone sahélienne sous couvert herbacé et arbustif dégradé, et 3t/ha/an sur des glacis avec des sols argileux cultivés.

Yacouba et al (2002) rapportent des pertes en terre moyenne de 5.35t/ha/an sur les glacis dénudés de la zone soudano-sahélienne et sahélienne du Burkina Faso. Selon les données du ministère de l'agriculture cité par Sidibé (2004), on observe au Burkina Faso une évolution croissante des pertes en sol par l'érosion du sud vers le nord, avec une perte estimée à 3-9t/ha/an au sud-ouest, 8-15t/ha/an dans le plateau central et 28t/ha/an au nord. L'intérêt des chercheurs d'évaluer les risques d'eutrophisation et de comblement inhérents à ces processus est de plus en plus grand.

Dans ce contexte, on citera les travaux de Lhote (2000) relatifs à l'évaluation restreinte de la qualité des retenues d'eau en milieu tropical ivoirien et les travaux de Maiga & Denyigba (2002), qui ont permis d'établir sur une échelle spatiale globale, les risques éventuels d'eutrophisation et de comblement selon les grandes zones climatiques de la Côte d'Ivoire vers le Burkina Faso. La présente étude tente d'évaluer l'importance de la dégradation et du comblement des retenues d'eau par eutrophisation ou transport de solides et les risques liés à ces phénomènes selon les zones climatiques du Burkina Faso.

PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

L'étude est menée sur un échantillon de 10 retenues d'eau choisies pour obtenir une bonne représentativité des zones climatiques du pays. (Tableau 1 et Fig. 1), à savoir:

- la zone soudanienne au sud-ouest du pays avec une pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 900 et 1200 mm concentrée sur environ 6 mois de l'année (mai-octobre) et une végétation constituée majoritairement de savane boisée ;
- la zone soudano-sahélienne au centre du pays avec une pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 600 et 900 mm sur une période de 4-5 mois par an, avec une végétation de savane à graminées arbustives et arborées et des sols sous fortes pressions d'activités agricoles et pastorales;
- la zone sahélienne dans le nord du pays, la plus aride avec une pluviométrie annuelle moyenne de 600 mm, s'étalant sur 3 mois environ et caractérisée par des averses brèves et de fortes intensités. Les ruissellements qui en découlent constituent un facteur important d'érosion des sols abritant une végétation de type steppe arbustive épineuse clairsemée.

Tableau 1 : Les 10 retenues d'eau étudiées au Burkina Faso

Retenues	Coordonnées géographiques		Année de construction	Capacité (10 ⁶ m ³)	Superficie Bassin Versant (km ²)	Vocation	Domaine Climatique
	Longitude	Latitude					
Douna	05/05/45-O	10/40/48-N	1987	37,5	680	AG	Soudanien
Toussiana	04/37/11-O	10/52/06-N	1982	6,1	130	IN	
Moussodougou	04/56/50-O	10/46/47-N	1991	38	560	AG	
kanazoé	02/04/50-O	13/01/05-N	1994	75	-	HU, AG, AP	Soudano-Sahélien
Yitenga	00/23/00-O	12/11/26-N	1987	3,35	100	HU, AP	
Dakiri	00/16/35-O	13/18/03-N	1960	10,5	2300	AG,	
Titao	02/03/50-O	13/46/31-N	1951	3,7	400	HU, AP	Sahélien
Thiou	02/39/29-O	13/49/13N	1981	4,3	328	HU, AG, AP	
Djibo	01/36/57-O	14/06/53-N	1970	2,2	610	HU, AG, AP	
Yalgo	00/16/46-O	13/34/46-N	1954	10	8175	HU, AG, AP	

AG= Agricole, IN= Industriel, HU= Humaine, AP= Agro-Pastorale

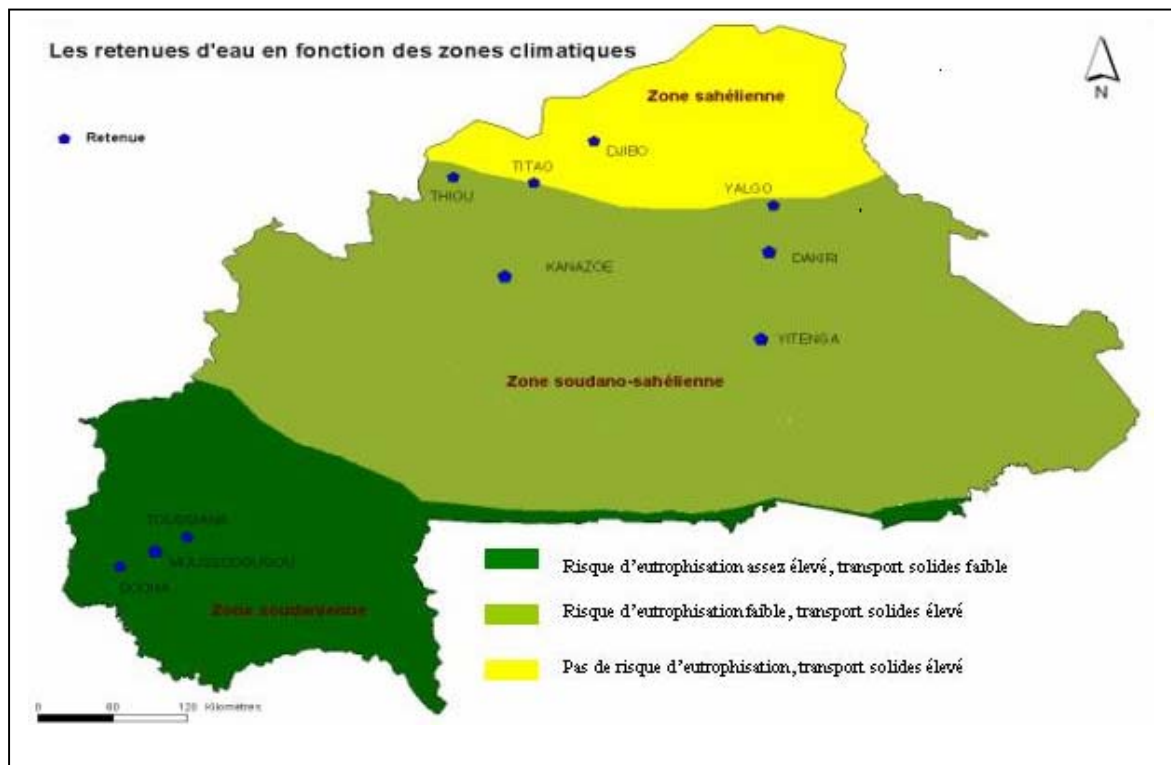


Fig. 1 Carte du Burkina Faso: localisation des retenues d'eau étudiées.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Plusieurs scientifiques proposent des méthodes de classification du niveau d'eutrophie des plans d'eau. Dans la présente étude, l'analyse de l'état d'eutrophie est faite sur la base des indicateurs et de la méthode de classement des lacs selon l'OCDE (1982). Cette classification est basée sur les mesures des indicateurs tels que la chlorophylle « a », l'oxygène dissous, la transparence au disque de Secchi, la concentration en azote et en phosphore etc.

La transparence a été mesurée au disque de Secchi et la turbidité à l'aide du spectrophotomètre d'absorption moléculaire de type DR 2000 sur l'échelle de Formazine.

L'oxygène dissous, la température, le pH et la conductivité électrique ont été mesurés in situ à l'aide d'un multimètre (Multiline P4) muni de sonde spécifique pour chaque paramètre.

La chlorophylle « a » a été mesurée en laboratoire par spectrométrie d'absorption moléculaire après filtration et extraction à l'acétone 90%. Après centrifugation, la densité optique de l'extrait d'acétone a été mesurée aux longueurs d'onde de 665 nm et 750 nm. Les concentrations en chlorophylle « a » (C_a) ont été déterminées selon l'équation (1) de Lorenzen:

$$C_a = \left[(A_{o,665} - A_{o,750}) - (A_{a,665} - A_{a,750}) \right] / VK \left[(vKR) / (R - 1) \right] \quad (1)$$

$A_{o,665}$ et $A_{o,750}$ respectivement l'absorbance à 665 nm et à 750 nm avant acidification

$A_{a,665}$ et $A_{a,750}$ respectivement l'absorbance à 665 nm et 750 nm après acidification

v est le volume d'extrait en millilitres

V est le volume d'eau filtrée en litres

L est le parcours optique de la cuve utilisée en centimètre

$(vKR) / (R - 1)$ Un facteur déterminé expérimentalement pris égal à 27.3

La biomasse végétale de macrophytes a été évaluée par observation du niveau d'envahissement des plans d'eau. Le phosphore et l'azote ont été mesurés à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption moléculaire de type DR2000.

Le niveau de comblement des retenues d'eau a été évalué pour les retenues d'eau pour lesquelles les profondeurs initiales sont connues, par calcul différentiel des tirants d'eau entre la mise en eau et la période de la campagne d'échantillonnage et pour les autres, à partir du jaugeage de l'épaisseur de la densité des boues au moyen d'une barre rigide.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le comblement des plans d'eau

Le comblement (réduction de la capacité de stockage des retenues d'eau) peut être dû à des processus endogènes (la production primaire à l'intérieur de la retenue) et exogènes (les apports du bassin versant). Ce phénomène présente des vitesses variables selon les caractéristiques climatiques, les couvertures végétales et les activités menées dans des bassins versants (Duarte, 1995).

Sur les retenues d'eau des trois zones climatiques étudiées, les mesures des tirants d'eau révèlent une tendance au comblement croissante du sud vers le nord, c'est-à-dire de la zone soudanienne vers la zone sahélienne. L'ampleur du phénomène n'a pas encore été quantifiée en raison de l'insuffisance des données disponibles sur les tirants d'eau à la mise en eau de certains barrages. Il apparaît une corrélation assez forte entre le niveau de comblement et la vulnérabilité des sols à l'érosion, elle-même favorisée par

la dégradation du couvert végétal. Ce phénomène est bien illustré par des remontées de boues spectaculaires constatées lors des opérations de jaugeage des vases effectuées dans les plans d'eau de Thiou et de Yalgo.

A titre indicatif, la capacité de la retenue d'eau de Yitenga (en zone soudano sahélienne) est passée de 3,1 millions de m³ à la mise en eau en 1987 à 2 millions de m³ en 2001, soit un comblement de 1/3, d'où une perte en volume de stockage de 35% en 14 ans environ, 2,5% par an. C'est à ce même taux de 2,5% par an que la Direction Générale des Inventaires des Ressources Hydrauliques du Burkina (2001) évalue le comblement de la retenue d'eau de Yalgo. Des résultats similaires sont observés dans les régions sémi arides du Maghreb (Algérie, Maroc) où les retenues d'eau perdent annuellement 2% à 3% de leur capacité (<http://www.planbleu.org>).

La déclaration des agriculteurs et des pêcheurs des retenues d'eau de Yalgo et de Yitenga, va aussi dans le sens de retrait des plans d'eau par rapport à leurs limites initiales, pour cause de comblement progressif. Des études antérieures suggèrent un niveau d'envasement des barrages, rapporté à la superficie du bassin versant variant annuellement de 4 à 8.4t/ha dans les zones soudano sahélienne et sahélienne. Les matières en suspension représentent la forme dominante (plus de 90%) des produits de comblement (Karambiri & Ribolzi 2003)

En zone soudanienne de savane boisée, le développement de la végétation sur des sols peu favorables à l'érosion, s'avère être un facteur déterminant dans la limitation des apports de matériaux terreux vers les plans d'eau.

Turbidité, transparence et matières en suspension

Dans la méthode de classification du niveau d'eutrophisation proposée par l'OCDE (1982), seule la transparence est prise en compte comme indicateur de qualité organoleptique. Mais, pour une meilleure compréhension du phénomène, nous avons associé à la mesure de la transparence, celle des matières en suspension et celle de la turbidité (**tableau 2**).

Les valeurs obtenues pour la transparence sont inférieures à 1.5 m pour toutes les retenues d'eau (**tableau.2 et fig.2**). Sur la base de ce paramètre, toutes les 10 retenues d'eau seraient classées dans la catégorie des lacs **eutrophes** (OCDE, 1982).

Les résultats des mesures montrent un lien de causalité assez fort entre la transparence, la turbidité et les matières en suspension. La tendance est à la diminution de la transparence de la zone soudanienne vers la zone sahélienne, et conséquemment, une augmentation de la turbidité des eaux (**fig.3**), et plus modestement une augmentation des MES dans le même ordre (**fig.4**).

De même, la mesure de la conductivité montre une minéralisation relativement faible des eaux en zone soudanienne et de plus en plus élevée à mesure que l'on va vers le nord sahélien (**fig.5**)

Si les faibles valeurs de transparence observées en zone soudanienne sont probablement dues aux micro algues (représentant la fraction organique des matières en suspension), les valeurs élevées de la turbidité mesurées en zones soudano- sahélienne et sahélienne montrent que ce sont plutôt les fines particules colloïdales (matière minérale) qui sont responsables des faibles valeurs de transparence. Ces faibles transparences mesurées ne traduisent pas donc une eutrophie des retenues d'eau puisque aucun signe d'eutrophisation par prolifération algale ni de macrophytes n'est perceptible. Du reste, les autres paramètres d'évaluation ne confirment pas une situation d'eutrophie de ces plans d'eau.

Ceci nous conduit à déclarer que la transparence n'est pas vraiment un indicateur pertinent pour caractériser le niveau d'eutrophie des plans d'eau dans les zones où le transport de solides est prépondérant.

Tableau 2 : transparence, turbidité et matières en suspension mesurées dans les 10 retenues d'eau en mars 2004

Retenues d'eau	Douna	Toussiana	Moussodougou	Kanazoé	Yitenga	Dakiri	Titao	Thiou	Djibo	Yalgo
Transparence(m)	0,75	0,75	0,75	0,55	0,15	0,25	0,3	0,1	0,2	0,12
Turbidité (FTU)										
Surface	8	13	5	17,3	98	62	40	212	67	143
Fond		10		17	96	53	30			169
Conductivité ($\mu\text{s cm}^{-1}$)										
	28	19	40	82	201	95,5	105,5	80	109	123
MES (mg l^{-1})										
Surface	7	6	60	10	33,5	12	10	70	40	33,5
Fond		10		10	29,5	20	10			34,5

FTU = Formazine Turbidity Unit

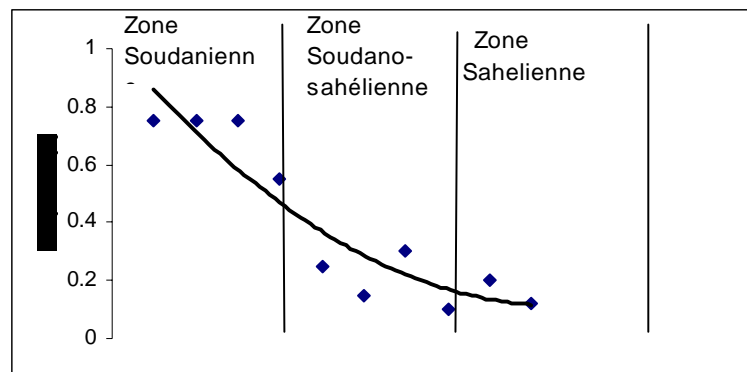


Fig. 2 Tendence évolutive de la transparence en fonction des zones climatiques

La Chlorophylle "a"

La mesure de la chlorophylle "a" a pour but d'évaluer l'activité de la photosynthèse dans les plans d'eau. Dans les retenues d'eau de la zone soudanienn, la production primaire est peu perceptible. Dans le cas particulier de la retenue d'eau de Moussodougou, on a observé un faible développement des microalgues sur les berges comme (*Ceratophyllum* sp, *Oryza* sp, *Azolla* sp). Les analyses de chlorophylle "a" réalisées ont révélé des valeurs relativement faibles de l'ordre de $73 \mu\text{g l}^{-1}$ à Toussiana (zone soudanienn), et très faible ($0,01 \mu\text{g l}^{-1}$) à Yalgo en zone sahélienn (Maiga et al. 2001). La quasi-absence d'activité photosynthétique dans les retenues d'eau en zone sahélienn est due en partie à la charge trop élevée en particules en suspension qui réduisent la pénétration de la lumière. En effet, selon plusieurs auteurs, même lorsque des facteurs limitant de la productivité primaire (azote, phosphore) sont satisfaits, la production primaire reste limitée lorsque l'intensité lumineuse est faible (Vogel & Angenmann (1970) cités par Lhote, 2000). La charge colloïdale et particulaire élevée des retenues d'eau de la zone sahélienn semble être donc le facteur limitant et inhibiteur de la photosynthèse comme l'ont montré les travaux de Dussart (1966) effectués sur des eaux continentales.

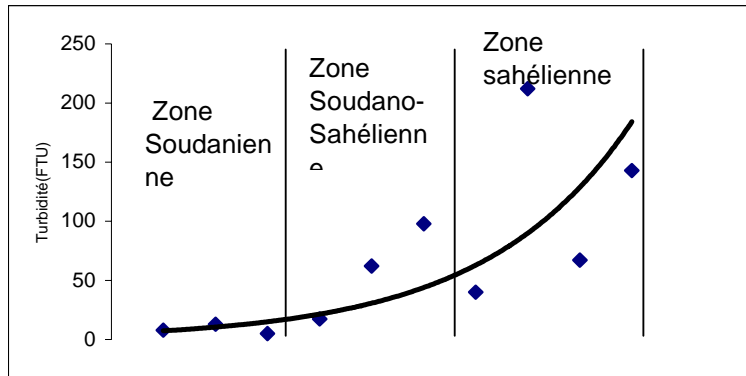


Fig. 3 Tendance évolutive de la turbidité en fonction des zones climatiques.

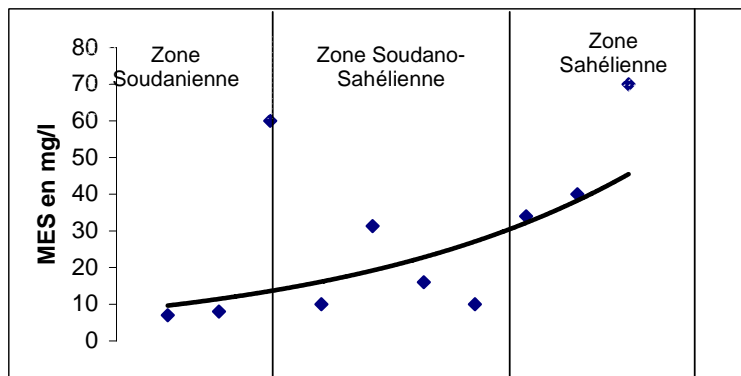


Fig. 4 Tendance évolutive des MES en fonction des zones climatiques.

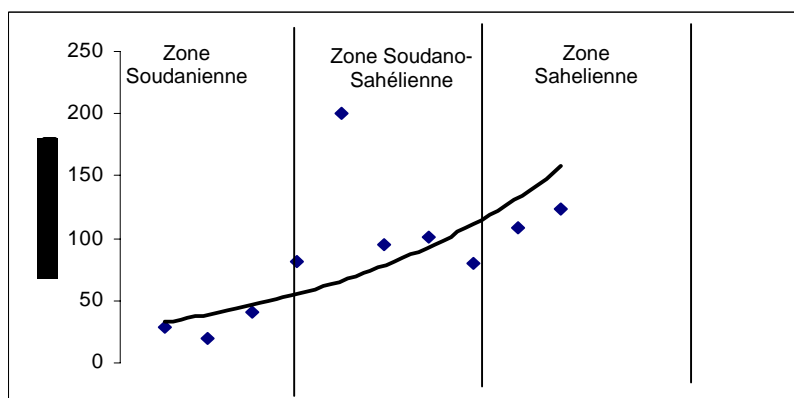


Fig. 5 Tendance évolutive de la conductivité en fonction des zones climatiques.

L'oxygène dissous

Les 10 retenues d'eau sont en sursaturation d'oxygène avec des concentrations supérieures à 8 mg l⁻¹ (tableau 3). Les mesures effectuées en profils verticaux n'ont pas montré de stratification significative. Les retenues d'eau étant de faibles profondeurs, leur brassage par effet de vent a pu homogénéiser leur milieu et empêcher leur stratification. En effet, les profondeurs moyennes des plans d'eau vont de 0,73 m pour la retenue d'eau de Djibo à 5,6 m pour la retenue d'eau de Douna. En se référant à l'échelle de classification de l'OCDE (1982), qui qualifie d'**eutrophe** un plan d'eau ayant moins de 5 mg l⁻¹ d'oxygène dissous, les 10 retenues d'eau seront classées dans la catégorie des plans d'eau **oligotrophes**.

Tableau 3 : Oxygène dissous mesuré dans les 10 retenues d'eau en mars 2004

O2 dissous	Douna	Toussiana	Moussodougou	Kanazoé	Yitenga	Dakiri	Titao	Thiou	Djibo	Yalgo
Surface (mg l ⁻¹)	11,3	10,5	11,3	10,3	7,75	8,29	13	11,3	9,4	10,6
Fond (mg l ⁻¹)	11	11	11	10,3	7,54	8,4	12			10,39

Phosphore et azote

Dans la présente étude, le phosphore est mesuré en phosphates assimilables (orthophosphates P-PO₄³⁻) et l'azote en azote nitrique (N-NO₃⁻) et en azote ammoniacal (N-NH₄⁺) (**tableau 4**). Les valeurs mesurées bien quelles soient variables d'une retenue à une autre, ne semblent pas présenter de grande disparité entre elles, ni présenter une tendance particulière par rapport à une zone climatique. Les valeurs pour le phosphore ne paraissent pas de nature à limiter le développement algal et végétatif, car il suffit de quelques µg l⁻¹ de phosphore pour assurer une intense activité photosynthétique.

Les teneurs en azote mesurées (ammoniacal et nitrique) ne sont pas particulièrement élevées non plus, mais elles sont suffisantes pour ne pas être limitatives dans les activités de photosynthèse. Il semble que contrairement au milieu tempéré où le phosphore est fréquemment limitant, une tendance claire ne puisse pas être dégagée à la réponse trophique des retenues d'eau des milieux tropicaux (Lhote, 2000). Les plans d'eau de la zone sahélienne toléreraient des teneurs en phosphores et en azotes plus élevées que les eaux de la zone guinéenne et pré guinéenne (zone de forêt) en Côte d'Ivoire. L'hypothèse d'une apparition tardive et difficile de l'eutrophisation en zone sahélienne semble être vraisemblable avec des teneurs relativement élevées en phosphore et en azote. Une tendance claire de prédiction de l'eutrophisation en milieu sahélien ne saurait être dégagée à partir des mesures des indicateurs habituels d'eutrophisation couramment utilisés.

Tableau 4 : Phosphore et azote mesurés dans les 10 retenues d'eau en mars 2004

Retenues	Douna	Toussiana	Moussodougou	Kanazoé	Yitenga	Dakiri	Titao	Thiou	Djibo	Yalgo
P-PO₄³⁻ (mg l⁻¹)										
Surface (S)	0,05	0,01	0,18	0,29	0,29	0,16	0,11	0,2	0,3	0,16
Fond (F)	NM	0,04	NM	0,34	0,18	0,16	0,12	NM	NM	0,22
N-NO₃⁻ (mg l⁻¹)										
Surface (S)	0	0	2,2	2,2	0,44	0	1,22	NM	2,2	1,32
Fond (F)	NM	0	NM	1,32	0,44	0	1,46	NM	NM	0,88
N-NH₄⁺ (mg l⁻¹)										
Surface (S)	0,06	0,01	0,13	0,41	0,23	0,27	0,7	0,19	1,35	0,11
Fond (F)	NM	0,04	NM	0,38	0,24	0,21	0,9	NM	NM	0,28

NM = non mesuré

CONCLUSION

Le risque de comblement des retenues d'eau au Burkina Faso est réel à des degrés variables suivant le phénomène en cause et la sensibilité des zones climatiques. Le comblement par transport de solides représente la menace première surtout dans les zones sahéliennes, marquées par une érosion intense, conséquence de la dégradation des terres et de celle du couvert végétal des bassins versants. Le risque de comblement est plutôt faible pour les retenues d'eau des zones soudaniennes dont les bassins versants comportent un couvert végétal de protection anti-érosive et dont les sols sont de nature à résister à cette érosion.

Le risque d'une eutrophisation de grande envergure est plutôt faible pour les plans d'eau en zone soudanienne. Ce risque semble inexistant en zone sahélienne car la forte turbidité des eaux paraît être un facteur limitant les activités de photosynthèse.

RÉFÉRENCES

- Breman, H.** (1992) Agro-ecological zones in the sahel : potentials and constraints. In Blakland, A., Van der Staaiji, F (Eds), Sustainable Development in semi arid Sub-saharan Africa. Poverty and Development, Analysis and Policy. Ministry of foreign Affairs, the Hague, the Netherlands, pp. 19-36.
- Direction Générale des Inventaire des Ressources Hydrauliques du Burkina Faso.** (2001) Projet de réhabilitation du barrage de Yitenga. Ouagadougou, septembre 2001.
- Dussart, B.** (1966) Limnologie. L'étude des eaux continentales. Gauthier-Villars, Paris, 619p.
- Duarte C.M.** (1995) Submerged aquatic vegetation in relation to different nutrient regimes. *Ophelia* 41: 87-112.
- Floret, C., Pontanier, R.** (1993) Recherches sur la jachère en Afrique tropicale. In: Floret, C., Pontanier, R., Serpantié, G. (Eds.), La jachère en Afrique tropicale, vol. 16. Dossier MAB, UNESCO, Paris.
- IWACO.** (1990) Étude du bilan d'eau au Burkina Faso, les aspects environnementaux du projet bilan d'eau. Ouagadougou 1990 pp 23-24.
- Karambiri, H & Ribolzi, O** (2003) caractérisation des événements averses-crues et de l'érosion hydrique à l'échelle d'un petit bassin versant pastoral sahélien (nord du Burkina faso) In : Rev. Sud Sciences et Technologies. 11 (2003) ; pp 35-45.
- Leisinger, K.M., Schmitt, K.** (1995). Survival in the Sahel. An ecological and development challenge. International Service for National Agricultural Research (ISNAR), The Hague, The Netherlands, 211 pp.
- Leprun, J.C.** (1999) The influences of ecological factors on tiger bush and dotted bush patterns along a gradient from Mali to northern Burkina Faso. *In Catena* 37 (1999) pp 25-44.
- Lhote, A.** (2000) Critères d'évaluation de la qualité de l'eau d'un système lacustre tropical . Approches statistiques. Thèse de Doctorat, Université de POITIERS, POITIERS, FRANCE 154 p.
- Maiga A.H & Denyigba K** (2001) Eutrophication of small dams in West Africa. The case of Lobo dam (Côte d'Ivoire) In: 4th Inter-regional Conference on Environment and Water. Fortalega (Brasil) August 27-31, 2001.
- Maiga A.H. & Denyigba K.** (2002) Le comblement précoce des petites retenues d'eau par eutrophisation et par transport de solides: une menace réelle de disparition des plans d'eau en Afrique de l'Ouest .In 2^{ème} Journée scientifique du Groupe EIER-ETSHER. Ouagadougou, mai 2002.
- Marchal, J.Y.** (1983) Yatenga. Nord Haute Volta. La dynamique d'un espace rural soudano- sahélien. Trav. Doc. ORSTOM 167, 872 (ORSTOM, Paris, France).

- Mulders, M** (2001) Soil resources in Sahelian villages. In: Stroosnijder, L., Van Rheenen, T. (Eds.), *Agro-silvo-pastoral land use in sahelian villages*. 33. pp. 101-131.
- OCDE** (Organisation de Coopération et Développement Economiques). (1982) *Eutrophisation des eaux : Méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte*.
Document OCDE. Paris : 1-65.
- Parkan J.** (1986) Bilan et évolution des disponibilités en bois-Alternatives de productions forestières et d'actions sur la consommation, 1986 - 1995. *Rapport de synthèse. FO: DP/UPV/78/004. FAO, Rome*. 99 p.
- Sidibé, A.** (2005) farm –level adoption of soil land water conservation techniques in northern Burkina Faso. *In Agriculture Water Management* 71 221-224.
- Spaan, W. P.** Sikking, A.F.S. (2004). Vegetation barrier and tillage effects on runoff and sediment in an alley crop system on a Luvisol in Burkina Faso. *In Soil & Tillage Research paper*. July 2004.
- Somé, L** (1992) Le milieu physique du Burkina Faso et ses contraintes. Comité technique national de la recherche agronomique. 16p.
- Yacouba, H., Da D. E. C., Yonkeu S., Zombré P. & Soulé M.** (2002) Caractérisation du ruissellement et de l'érosion hydrique dans le bassin supérieur du Nakambé (Burkina Faso). In: *Envirowater 2002* (ed. A. H. Maïga, L. S. Pereira & A. Musy), 318–325. SOGIF, Ouagadougou, Burkina faso.