

Effets probables sur le lac Tchad d'une "ouverture" de la Grande Barrière, qui faciliterait les écoulements entre ses cuvettes sud et nord.

Jean-Claude Bader

IRD / G-Eau

Le 26/04/2013

Résumé

Par simulation numérique, on analyse les modifications de régime hydrologique que pourrait entraîner sur le lac Tchad une ouverture de la Grande Barrière séparant ses cuvettes sud et nord. Pour différentes largeurs comprises entre 100 m et 40 km, les ouvertures envisagées ici correspondent à une suppression de la végétation, associée ou non à un surcreusement du fond (abaissement du niveau de seuil de la cote 279 m à la cote 277.80 m). Les impacts de l'ouverture augmentent avec l'importance de celle-ci et sont beaucoup plus conséquents en période de faibles apports en eau dans le lac (petit lac Tchad observé) qu'en période de forts apports (lac Tchad normal observé). Ils sont caractérisés par une augmentation du niveau de plan d'eau dans la cuvette nord et une diminution dans la cuvette sud et l'archipel. En période de faibles apports, les plus grandes ouvertures envisagées –très théoriques- conduisent à un assèchement quasi-permanent de l'archipel et produisent dans la cuvette nord un niveau de plan d'eau fréquemment égal à celui de la cuvette sud. Ces impacts extrêmes ne sont toutefois pas produits par des ouvertures pratiquées sur des largeurs réalistes ne dépassant pas 500 m : l'archipel peut s'assécher temporairement en étiage mais redevient inondé chaque année en crue ; le niveau dans la cuvette nord reste inférieur en permanence à celui de la cuvette sud. En période de faibles (respectivement forts) apports, un chenal surcreusé de 500 m de large entraîne une augmentation de 27% (resp. diminution de 13%) de la surface moyenne de terres exondées chaque année par l'évolution cyclique du lac.

Notations

- D_{sn} nivelée positive entre les niveaux de plan d'eau des cuvettes sud et nord
- HC0 cote moyenne (m) du fond du chenal creusé dans la Grande Barrière
- HC0_{sn} cote moyenne (m) du seuil de la Grande Barrière
- H_n niveau du plan d'eau dans la cuvette nord
- H_s niveau du plan d'eau dans la cuvette sud
- K_c coefficient de Strickler ($m^{1/3} s^{-1}$) du chenal traversant la Grande Barrière
- K_{sn} coefficient de Strickler ($m^{1/3} s^{-1}$) de l'écoulement au travers de la Grande Barrière
- LC largeur du chenal traversant la Grande Barrière (perpendiculaire à l'écoulement)
- LC_{sn} longueur de la Grande Barrière (perpendiculaire à l'écoulement, ≈ 40 km)
- Q_{1sn} valeur absolue ($hm^3 j^{-1}$) du débit échangé entre cuvettes sud et nord

- XC largeur de la Grande Barrière (parallèle à l'écoulement, ≈ 15 km) = longueur du chenal
 ZC_c épaisseur moyenne de lame d'eau dans le chenal traversant la Grande Barrière
 ZC_{sn} épaisseur moyenne de lame d'eau sur la Grande barrière

Objectif et méthode

Le faucardage de la végétation ou l'abaissement du seuil sur la Grande Barrière pourraient faciliter les transferts d'eau entre les cuvettes sud et nord du lac Tchad. On évalue ici les effets de ces opérations sur le fonctionnement hydrologique du lac, en comparant pour un même scénario d'apports (régime observé de 1956 à 2010) les niveaux de plans d'eau modélisés pour les configurations suivantes de la Grande Barrière : 1) état actuel ; 2) aménagement d'un chenal par suppression de la végétation ; 3) aménagement d'un chenal par suppression de la végétation et surcreusement du fond.

La première configuration est représentée par le modèle hydrologique du Lac Tchad développé par Bader, Lemoalle et Leblanc (2011), dont les paramètres sont calés sur les données observées entre 1970 et 1996. Ce modèle est également utilisé pour représenter les deux autres configurations, avec des modifications concernant le débit échangé entre cuvette sud et cuvette nord.

Caractérisation des transferts d'eau entre cuvette sud et cuvette nord dans l'état actuel de la Grande Barrière

Dans le modèle, le débit $Q_{1_{sn}}$ échangé entre les cuvettes sud et nord est calculé par la formule de Manning-Strickler à partir du coefficient de Strickler K_{sn} , de la longueur LC_{sn} et de la largeur XC de la Grande Barrière, de l'épaisseur moyenne de lame d'eau ZC_{sn} et de la dénivelée D_{sn} entre plans d'eau :

$$Q_{1_{sn}} = 0.0864 \times K_{sn} \times LC_{sn} \times XC^{-0.5} \times ZC_{sn}^{5/3} \times D_{sn}^{0.5} \quad (1)$$

Dans cette relation, l'épaisseur moyenne de lame d'eau ZC_{sn} au dessus de la Grande Barrière est évaluée ainsi en fonction du niveau du seuil $HC0_{sn}$ et des niveaux de plan d'eau H_s dans la cuvette sud et H_n dans la cuvette nord :

$$ZC_{sn} = \max(H_s; H_n; HC0_{sn}) - HC0_{sn} \quad (2)$$

Le coefficient de Strickler K_{sn} de l'écoulement est considéré comme variable en fonction de cette épaisseur moyenne de lame d'eau :

$$K_{sn} = K0_{sn} + K1_{sn} \times ZC_{sn} \quad (3)$$

Dans cette relation, $K0_{sn}$ et $K1_{sn}$ sont des constantes reliées comme suit aux constantes $A0_{sn}$ et $A1_{sn}$:

$$K0_{sn} = A0_{sn} \times XC^{0.5} / LC_{sn} \quad (4)$$

$$K1_{sn} = A1_{sn} \times XC^{0.5} / LC_{sn} \quad (5)$$

Avec les valeurs optimisées des paramètres $A0_{sn}$ ($241.88 \text{ m}^{5/6} \text{ s}^{-1}$) et $A1_{sn}$ ($-9.81 \text{ m}^{-1/6} \text{ s}^{-1}$), et pour une longueur de la Grande Barrière estimée à 40 km, les constantes $K0_{sn}$ et $K1_{sn}$ prennent les valeurs suivantes d'après les relations 4 et 5 :

$$K0_{sn} = 0.6047 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$$

$$K1_{sn} = -0.02454 \text{ m}^{-2/3} \text{ s}^{-1}$$

L'épaisseur d'eau modélisée ZC_{sn} variant par ailleurs entre 0 et 4.58 m sur la période 1956-2011, ces valeurs montrent d'après la relation 3 que le modèle représente l'écoulement à travers la Grande Barrière avec un coefficient de Strickler K_{sn} variant entre 0.4924 et 0.6047. Ces valeurs sont très faibles, en comparaison avec celles qui sont publiées pour d'autres types d'écoulement, par exemple :

- $K = 57$ pour le canal usinier de la centrale hydroélectrique de Kembs, sur le Rhin
- $K = 35$ pour le Rhône dans le tiers central de sa vallée
- $K = 3$ pour un écoulement d'épaisseur infra-décimétrique dans une prairie irriguée de pente 0.3% (plaine de Crau, dans le sud de la France)

D'après le modèle, la Grande Barrière se caractérise donc par une très forte rugosité hydraulique, qui freine énormément les échanges d'eau entre cuvettes.

Modélisation du débit traversant la Grande Barrière après réalisation d'un chenal

Avec un chenal de largeur LC traversant la Grande Barrière entre les cuvettes sud et nord, le débit total échangé entre ces cuvettes correspond à la somme des débits passant respectivement en dehors du chenal sur une largeur $LC_{sn}-LC$ et dans le chenal sur une largeur LC. Proportionnellement à la largeur de l'écoulement, le premier terme de la somme s'exprime encore par la relation 1, avec le coefficient de Strickler K_{sn} toujours variable en fonction de l'épaisseur d'eau moyenne au dessus du seuil de la Grande Barrière. Le débit total s'exprime alors ainsi, pour un coefficient de Strickler K_c et une épaisseur d'eau moyenne ZC_c dans le chenal :

$$Q_{1sn} = 0.0864 \times XC^{-0.5} \times D_{sn}^{0.5} \times (K_{sn} \times (LC_{sn} - LC) \times ZC_{sn}^{5/3} + K_c \times LC \times ZC_c^{5/3}) \quad (6)$$

Dans cette relation, ZC_c représente la profondeur d'eau moyenne dans le chenal. Suivant le même principe que pour ZC_{sn} (profondeur d'eau moyenne au dessus de la Grande Barrière, en dehors du chenal), cette profondeur s'exprime ainsi en fonction du niveau HC0 du fond du chenal:

$$ZC_c = \max(H_s; H_n; HC0) - HC0$$

La suppression de la végétation dans le chenal est représentée par un coefficient de Strickler K_c très supérieur à K_{sn} . Quant à lui, le surcreusement du fond du chenal est représenté par un niveau de fond HC0 inférieur à $HC0_{sn}$.

Simulations effectuées

Le modèle est appliqué sur la période du 01/01/1956 au 31/12/2010, avec un niveau de plan d'eau uniforme initialisé à 282.66 m (valeur observée). En adoptant un coefficient de Strickler K_c constant et égal à 30 dans le chenal, on considère plusieurs configurations –réalistes ou non- pour la Grande Barrière, qui diffèrent selon les valeurs retenues pour la largeur LC et le niveau de fond HC0 du chenal :

- Etat "actuel": $HC0 = 279$ m ; $LC = 0$
- Absence de végétation sur toute la Grande Barrière: $HC0 = 279$ m ; $LC = 40$ km
- Absence de végétation et surcreusement de toute la Grande Barrière: $HC0 = 277.80$ m ; $LC = 40$ km

- Présence d'un chenal non surcreusé : $HC0 = 279 \text{ m}$; $LC = 500 \text{ m}$
- Présence d'un chenal surcreusé : $HC0 = 277.80 \text{ m}$; $LC = 100 \text{ m}, 200 \text{ m}$ ou 500 m

Résultats obtenus

L'analyse des résultats concerne les variables suivantes pour chaque cuvette :

- Niveau minimal H_{min} du plan d'eau, obtenu à la date $D_{min}(a)$ entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre de chaque année a .
- Niveau maximal H_{max} , obtenu à la date $D_{max}(a)$ entre les dates $D_{min}(a-1)$ et $D_{min}(a)$.
- Somme des superficies découvertes chaque année a par les eaux sur les trois cuvettes, obtenues chacune par différence des superficies de plan d'eau de la cuvette aux dates $D_{max}(a)$ et $D_{min}(a)$.

Les résultats suivants sont obtenus pour les niveaux de plan d'eau :

- En période d'apports en eau importants dans le lac (années 1956 à 1972, "Lac Tchad normal" observé), le niveau de plan d'eau évolue de façon quasi-uniforme sur l'ensemble du lac (fig. 1 et 2), presque indépendamment de la configuration envisagée pour la Grande Barrière (fig. 3 et 4). L'ouverture de celle-ci ne provoque qu'un faible abaissement du niveau dans la cuvette sud et l'archipel, associé à un faible rehaussement dans la cuvette nord.
- En période de faibles apports (depuis l'hivernage de 1972, "petit lac Tchad" observé), le niveau de plan d'eau évolue de façon distincte dans les trois cuvettes (fig. 1 et 2) et très différemment selon la configuration de la Grande Barrière (fig. 3 et 4). Fort logiquement, le cas théorique d'une absence de végétation et d'un seuil abaissé à la cote 277.80 m est celui qui modifie le plus le régime du lac par rapport à la configuration actuelle, avec les effets suivants :
 - Abaissement important du niveau dans la cuvette sud et l'archipel (fig. 3(b) et 4), surtout pour la cote maximale annuelle H_{max} (en moyenne, 160 cm dans la cuvette sud et 198 cm dans l'archipel).
 - Rehaussement très important du niveau dans la cuvette nord (fig.3(a)), surtout pour la cote maximale annuelle H_{max} (en moyenne, 240 cm pour la cote maximale annuelle H_{max}).
 - Alors que cette situation n'est jamais observée avec la configuration actuelle (fig. 1(a)), le niveau dans la cuvette nord est identique la plupart du temps à celui de la cuvette sud (fig.2(c)). Il reste inférieur seulement pendant les années d'apports les plus faibles (1985 à 1995).
 - L'assèchement de l'archipel, quasiment jamais observé avec la configuration actuelle (fig.1(a)), devient quasi-permanent (fig.2(c) et 4).
- Les résultats obtenus dans le cas -également théorique- d'une simple absence de végétation sur la Grande Barrière sont assez proches des précédents, avec toutefois des modifications de régime légèrement moins importantes par rapport à la configuration actuelle. Ainsi, toujours en période de faibles apports, le niveau maximal annuel est abaissé en moyenne de 118 cm dans la cuvette sud et rehaussé en moyenne de 184 cm dans la cuvette nord. Malgré ce rehaussement important, le niveau dans la cuvette nord

reste la plupart du temps inférieur à celui de la cuvette sud (fig.2(b)). Dans l'archipel, cette configuration donne des résultats très semblables à la configuration précédente, avec un abaissement moyen de 201 cm du niveau maximal annuel et un assèchement quasi-permanent (fig.2(b)).

- Les autres configurations envisagées, qui correspondent à l'aménagement d'un chenal surcreusé ou non sur une largeur réaliste à travers la Grande Barrière, modifient le régime hydrologique du lac comme les configurations théoriques précédentes, mais de façon moins intense (fig.3 et 4). Les résultats suivants sont observés :
 - Manifestement, le surcreusement du chenal produit plus d'impacts que son élargissement. Ainsi, les modifications de régime produites par un chenal non surcreusé de 500 m de large sont intermédiaires entre celles d'un chenal surcreusé de 100 m et de 200 m de large (tab. 1).
 - Contrairement au cas théorique d'une absence de végétation sur l'ensemble de la Grande Barrière, aucune des configurations de chenal réaliste envisagées ne provoque d'assèchement quasi-permanent de l'archipel. Dans le pire des cas (chenal surcreusé de 500 m de large), l'archipel s'assèche fréquemment pendant l'étiage en période de faibles apports mais se retrouve inondé quasiment chaque année pendant la crue (fig. 2(a) et 4).
 - En période de faibles apports, le niveau de plan d'eau de la cuvette nord reste en permanence inférieur à celui de la cuvette sud, même avec un chenal surcreusé de 500 m de large (fig.2(a))

Les résultats suivants sont obtenus pour les superficies exondées chaque année :

- En période de hautes eaux, l'impact modéré d'une ouverture de la Grande Barrière sur les niveaux de plan d'eau se traduit par un impact non négligeable sur les superficies exondées qui, déjà faibles, diminuent d'autant plus que l'ouverture est importante (fig. 5). Par rapport à la configuration actuelle, la superficie exondée moyenne diminue de 16% dans le cas d'une absence de végétation sur l'ensemble de la Grande Barrière, et de 13% dans le cas d'un chenal surcreusé de 500 m de large.
- En période de faibles apports, l'ouverture de la Grande Barrière sur toute sa longueur par suppression de la végétation fait diminuer la superficie exondée presque chaque année par rapport à la configuration actuelle. Cette diminution est amplifiée et devient systématique si un abaissement du seuil est ajouté au faucardage (fig. 5(a)). Cette diminution, qui atteint respectivement 5% et 26% en moyenne pour ces deux configurations théoriques (tab.2), s'explique en partie par l'assèchement quasi-permanent de l'archipel qu'on observe dans ces cas.
- Toujours en période de faibles apports, l'aménagement d'un chenal de taille réaliste à travers la Grande Barrière provoque, contrairement aux configurations théoriques précédentes, une augmentation systématique de la superficie exondée annuelle. Cette augmentation, qui concerne principalement les cuvettes sud et nord, est d'autant plus forte que l'ouverture de la Grande Barrière est importante. Elle atteint 27% en moyenne par rapport à la configuration actuelle, dans le cas d'un chenal surcreusé de 500 m de large (tab.2). Avec un tel chenal, la superficie exondée annuelle dépasse 5000 km² presque chaque année en période de faibles apports (fig. 5(c)).

configuration	cuvette		
	sud	archipel	nord
chenal de largeur 500 m, non surcreusé	-0.17	-0.39	0.34
chenal de largeur 100 m, surcreusé	-0.14	-0.33	0.30
chenal de largeur 200 m, surcreusé	-0.26	-0.59	0.59
chenal de largeur 500 m, surcreusé	-0.52	-1.13	1.22
Grande Barrière sans végétation	-1.18	-2.01	1.84
Grande Barrière sans végétation et seuil abaissé	-1.60	-1.98	2.40

Tableau 1 : modification moyenne sur la période 1973-2010 du niveau maximal annuel de chaque plan d'eau, entraînée par chaque configuration envisagée pour la Grande Barrière, par rapport à la configuration actuelle.

		cuvette			
		sud	archipel	nord	total
Grande Barrière actuelle	moyenne (km ²)	2610	833	1782	5226
	C.V.	0.206	0.267	0.486	0.177
chenal de largeur 500 m, non surcreusé	moyenne (km ²)	3026	865	1990	5882
	C.V.	0.159	0.280	0.429	0.184
chenal de largeur 100 m, surcreusé	moyenne (km ²)	3318	857	1832	6007
	C.V.	0.160	0.294	0.412	0.187
chenal de largeur 200 m, surcreusé	moyenne (km ²)	3800	826	1806	6433
	C.V.	0.122	0.342	0.400	0.171
chenal de largeur 500 m, surcreusé	moyenne (km ²)	4177	617	1829	6622
	C.V.	0.115	0.588	0.349	0.125
Grande Barrière sans végétation	moyenne (km ²)	2604	113	2234	4951
	C.V.	0.153	2.478	0.386	0.219
Grande Barrière sans végétation et seuil abaissé	moyenne (km ²)	2116	133	1607	3856
	C.V.	0.504	2.219	0.283	0.229

Tableau 2 : superficie découverte annuellement par les eaux du lac Tchad avec les différentes configurations envisagées pour la Grande Barrière (valeur moyenne et coefficient de variation C.V. sur la période 1973-2010)

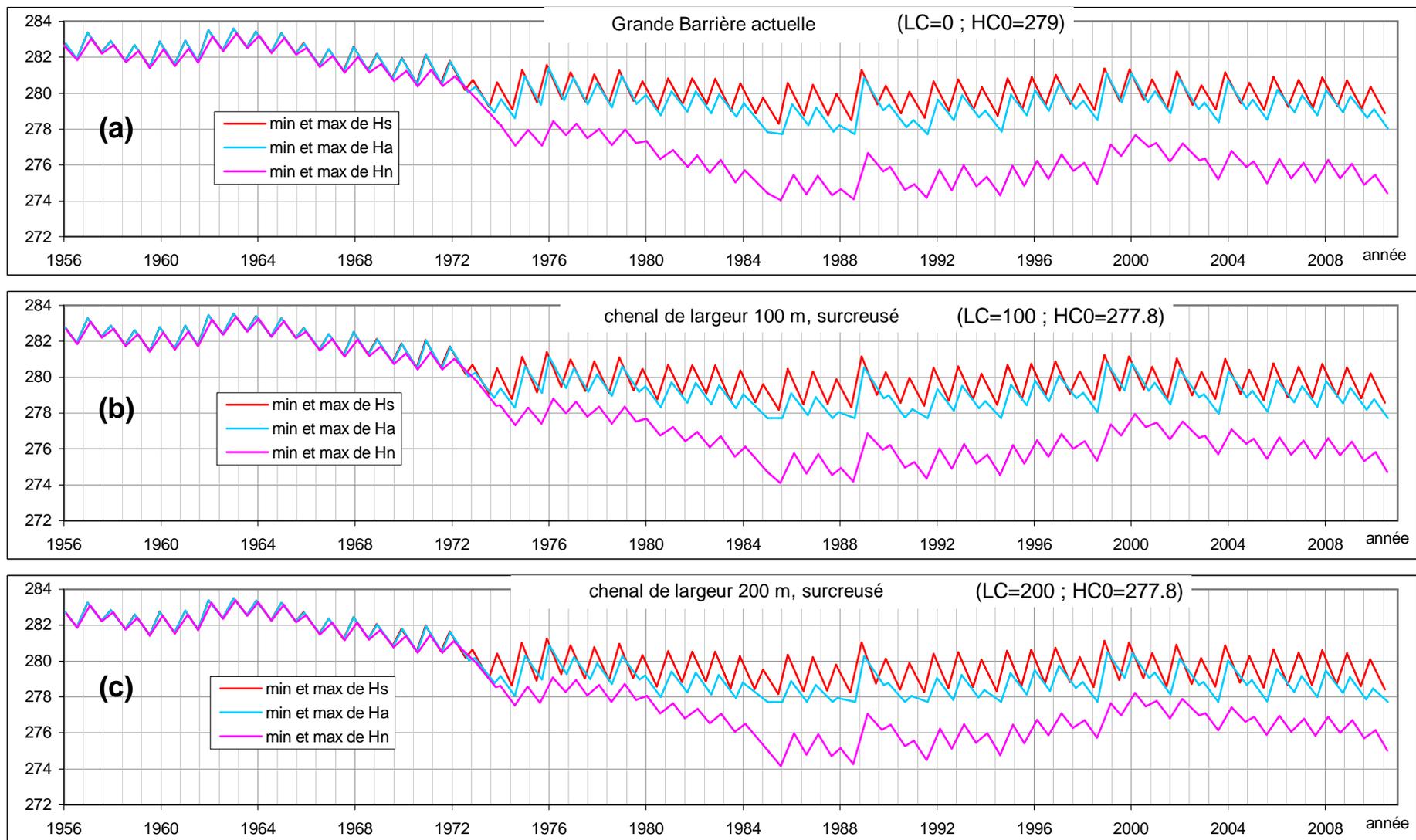


Figure 1 : évolution chronologique du niveau de plan d'eau dans les trois cuvettes (succession de Hmin et Hmax), pour les configurations suivantes de la Grande Barrière : état actuel ; chenal surcreusé de 100 m et 200 m de large

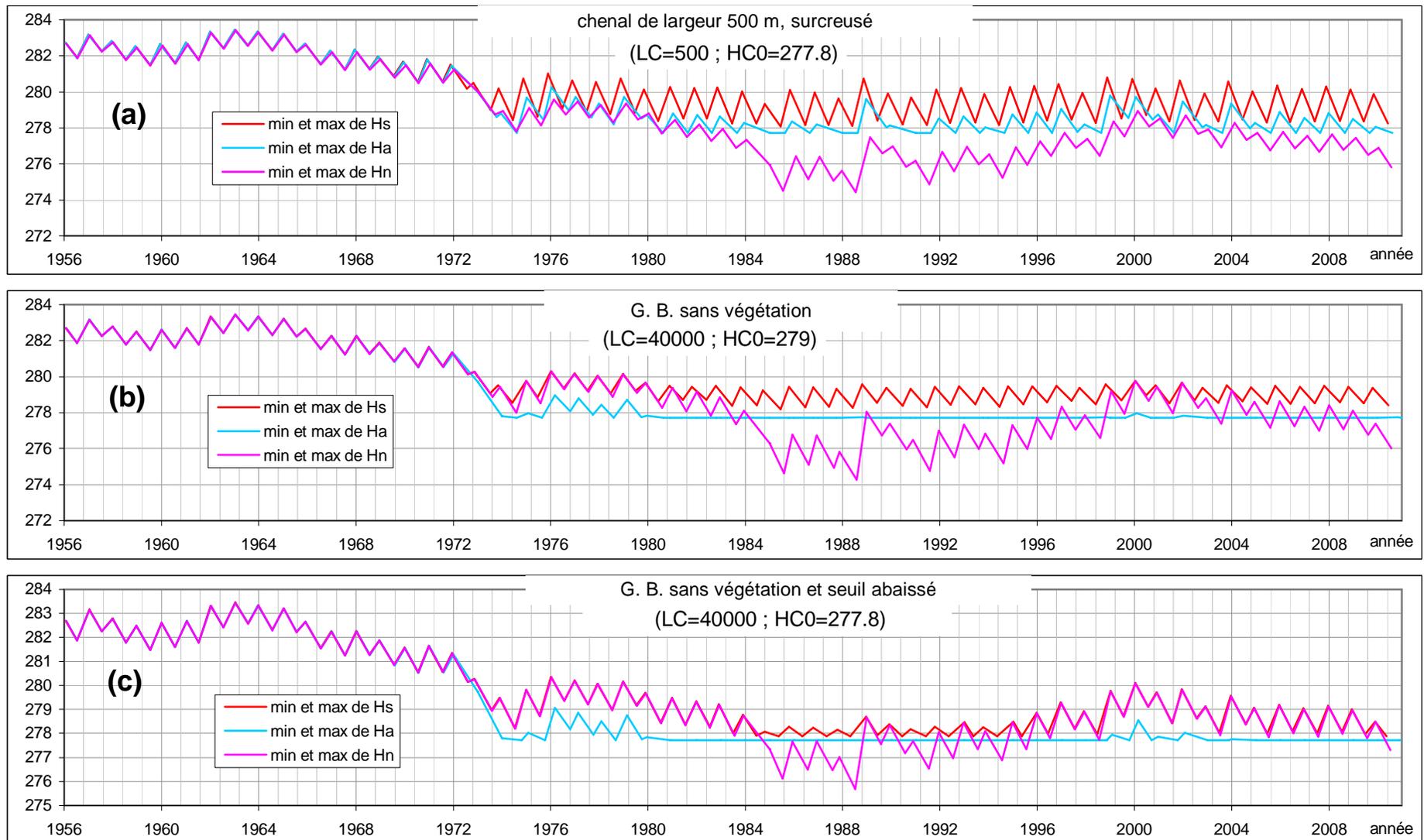


Figure 2 : évolution chronologique du niveau de plan d'eau dans les trois cuvettes (succession de Hmin et Hmax), pour les configurations suivantes de la Grande Barrière : chenal surcreusé de 500 m de large (a) ; absence de végétation (b) ; absence de végétation et seuil abaissé (c)

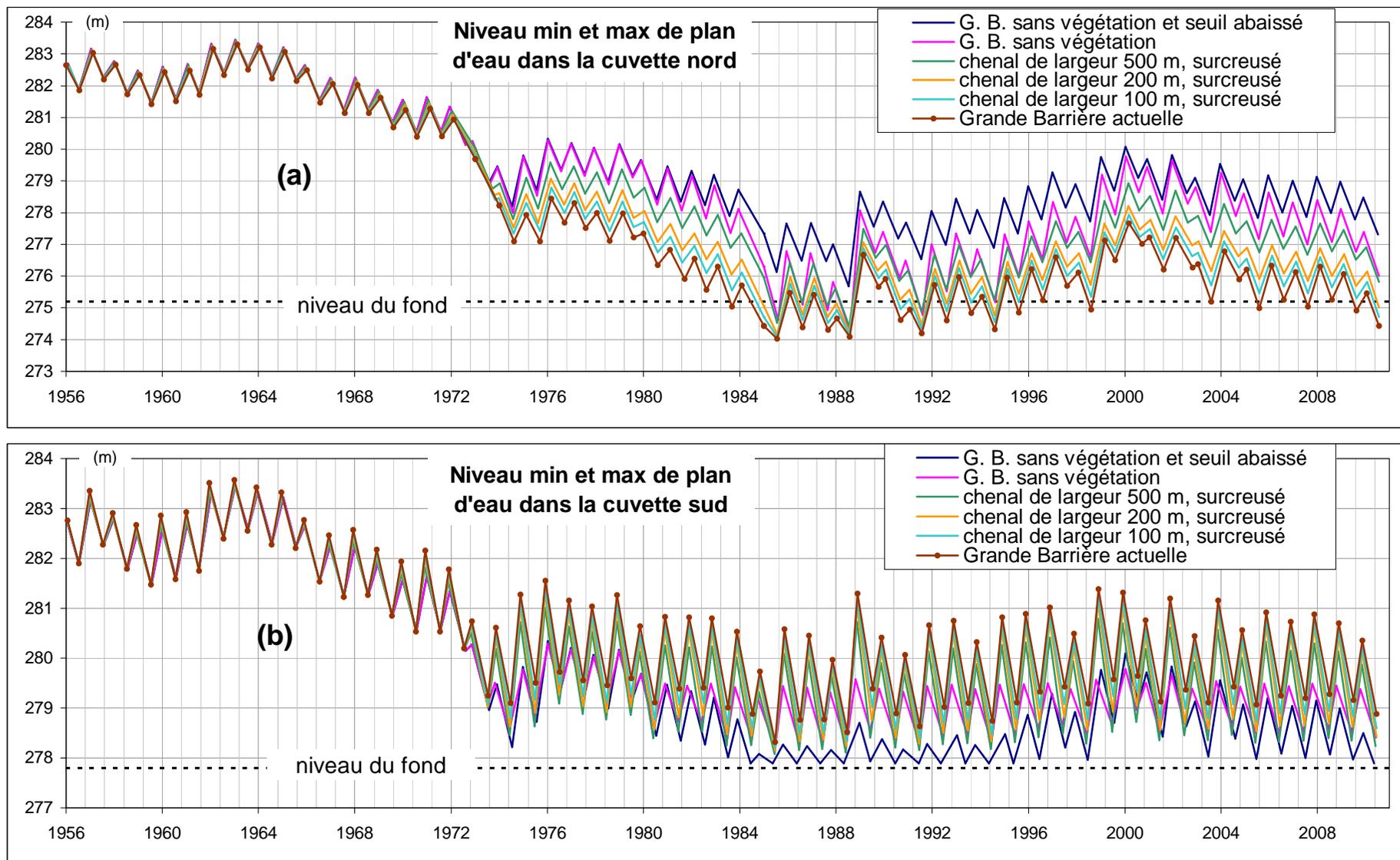


Figure 3 : niveaux de plan d'eau Hmin et Hmax produits par les six configurations de la Grande Barrière, pour les cuvettes nord (a) et sud (b)

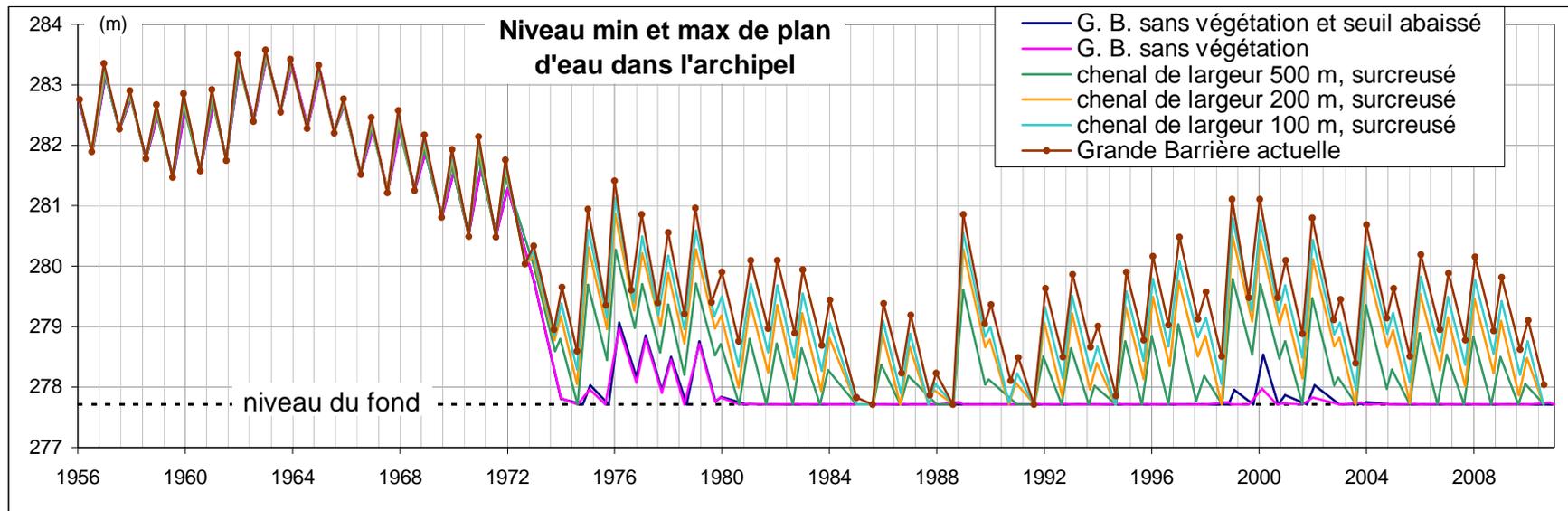


Figure 4 : niveaux de plan d'eau Hmin et Hmax produits par les six configurations de la Grande Barrière, pour l'archipel

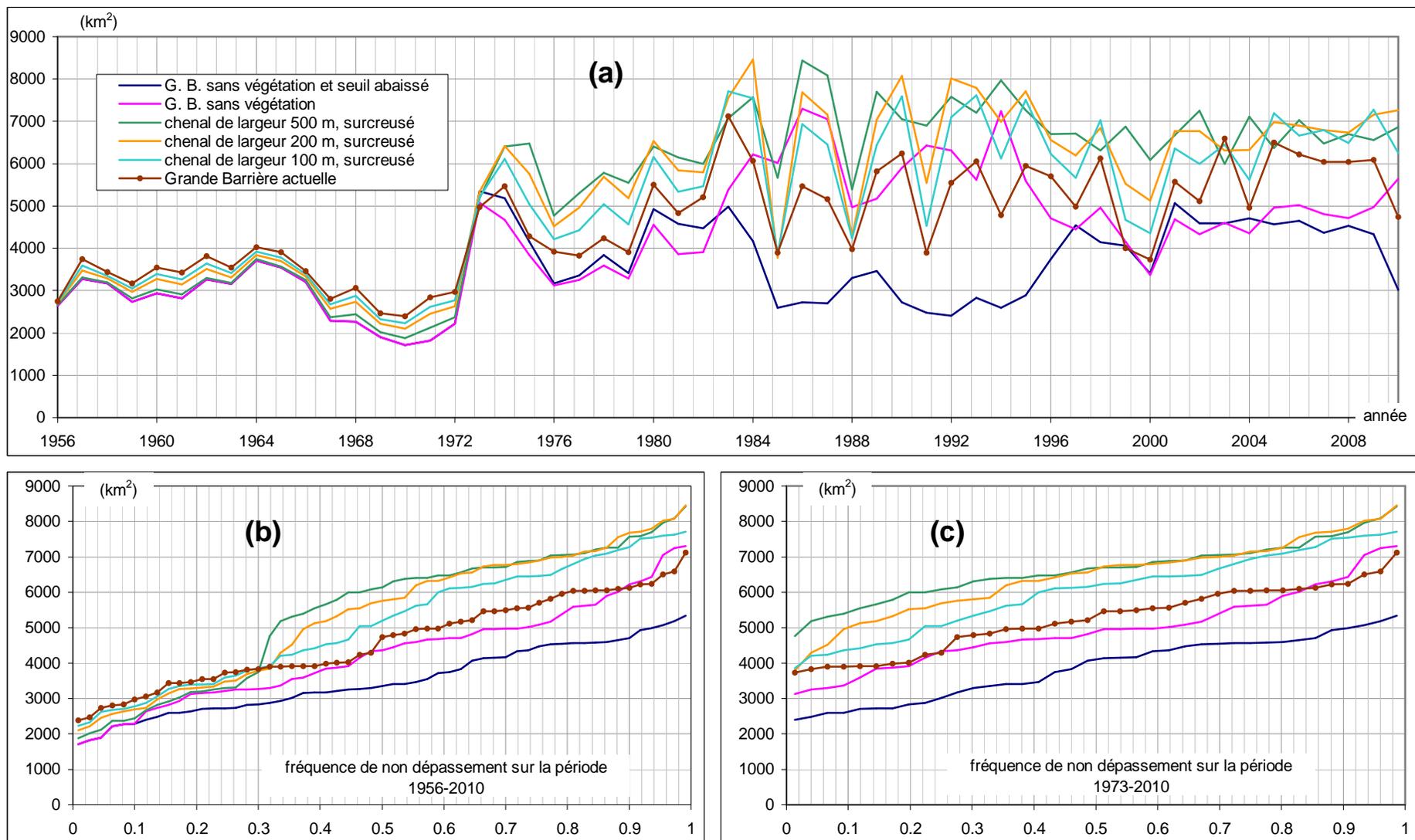


Figure 5 : superficie découverte annuellement par les eaux du lac Tchad, pour les six configurations de la Grande Barrière. Evolution chronologique (a) et fonction de répartition (périodes 1956-2010 (b) et 1973-2010 (c))