

EROSION HISTORIQUE ET ACTUELLE ET ENVIRONNEMENT HUMAIN DANS LE SUD DU DESERT ARABIQUE (Yémen du Sud)

Brigitte COQUE-DELHUILLE

Laboratoire de Géographie physique, URA 141 CNRS, 1, Place A. Briand, 92195 Meudon (France).

Pierre GENTELLE

UPR 315, Archéologie de l'Asie centrale, CNRS, 27, rue Damesme, 75013 Paris (France).

Résumé

Les larges vallées yéménites qui s'ouvrent sur le désert arabe, de l'ancien Royaume de Saba à celui d'Hadramawt, offrent un exemple significatif de la variabilité de l'environnement humain sur l'érosion.

Grâce à des crues allogènes et une parfaite maîtrise des eaux, ces vallées arides ont connu, dans l'Antiquité sudarabique (8^e s. Av.-3^e s. Ap.), une irrigation de crue ou sayl. Un remarquable équilibre Homme/Milieu existait alors, avec une érosion positive, marquée par une sédimentation limoneuse contrôlée (anthrosols).

Actuellement, si l'érosion naturelle se manifeste surtout aux dépens des formations meubles des périmètres d'irrigation antiques par érosion hydrique (ravinement, suffosion) et éolienne (néostratification, yardangs), ce sont surtout les actions anthropiques qui exercent une action négative sur le milieu physique, marquée par la progression de l'ensablement et un rapide abaissement de la nappe phréatique, surexploitée pour l'irrigation.

Summary

The broad yemeni valleys wide opened towards the arabic desert, between the ancient Saba Kingdom and those of Hadramawt, give a significant example of the human impact variability upon erosion.

Owing to allogeneous flash-floods and a remarkable water control, a sayl irrigation was developed in these arid valleys, during the south-arabic Antiquity (8th century BC - 3rd century AD). There was then a noticeable equilibrium between Man activity and physical environment, with a positive erosion, characterized by silty controlled deposits (anthrosols).

At the present time, if natural erosion is working especially on the loose formations of the ancient irrigation perimeters by hydric erosion (gullying, piping) and eolian erosion (neostratification, yardangs), it's mainly Man activity that has a negative influence upon physical environment, with the progression of sanding up and a swift fall of the water-table level, due to an overexploitation for irrigation.

Mots-clés : Erosion historique, Périmètres d'irrigation antiques, Erosion anthropique actuelle, Ensablement, Désert arabe, Yémen du Sud.

Key-words : Historic erosion, Ancient irrigation perimeters, Recent human impact, Sanding up, Arabic desert, South Yemen.

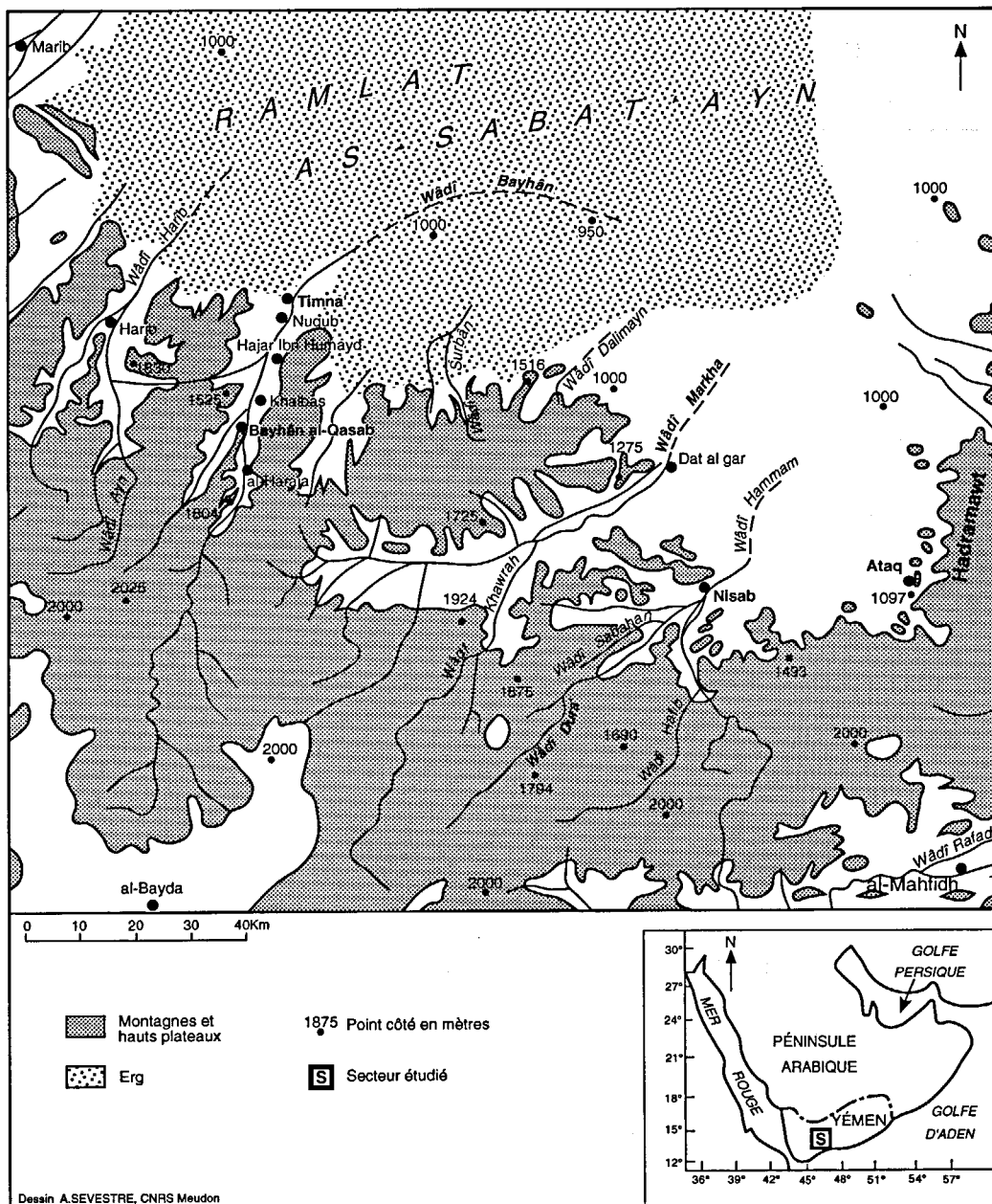


Fig.1 - Localisation et orohydrographie de la région étudiée

Au Yémen du Sud, sur la frange méridionale du désert arabe, du wâdî Harîb au wâdî Hammam, les larges vallées qui s'inscrivent dans des reliefs montagneux de socle (14°30' à 15°N. et 45°40' à 46°30'E.) illustrent clairement la variabilité de l'impact humain sur un milieu physique fragile (Fig.1). Au cours de l'Antiquité sudarabique (8è s. Av. - 3è s. ap.) marquée par l'épanouissement des royaumes de Saba, Qataban, Awsan et Hadramawt, l'érosion peut être qualifiée de positive, avec une sédimentation contrôlée par l'Homme, liée à une parfaite maîtrise des crues. A l'inverse, dans un environnement humain très différent, marqué par une forte pression démographique, l'érosion actuelle révèle des aspects négatifs de l'action anthropique.

I - CONTRAINTES ET POTENTIALITES DU MILIEU PHYSIQUE

Dans un environnement naturel contraignant, le Yémen aride présente néanmoins des potentialités, des conditions favorables dans le rapport fondamental que l'Homme entretient avec l'eau et la terre.

1 - Un milieu naturel contraignant

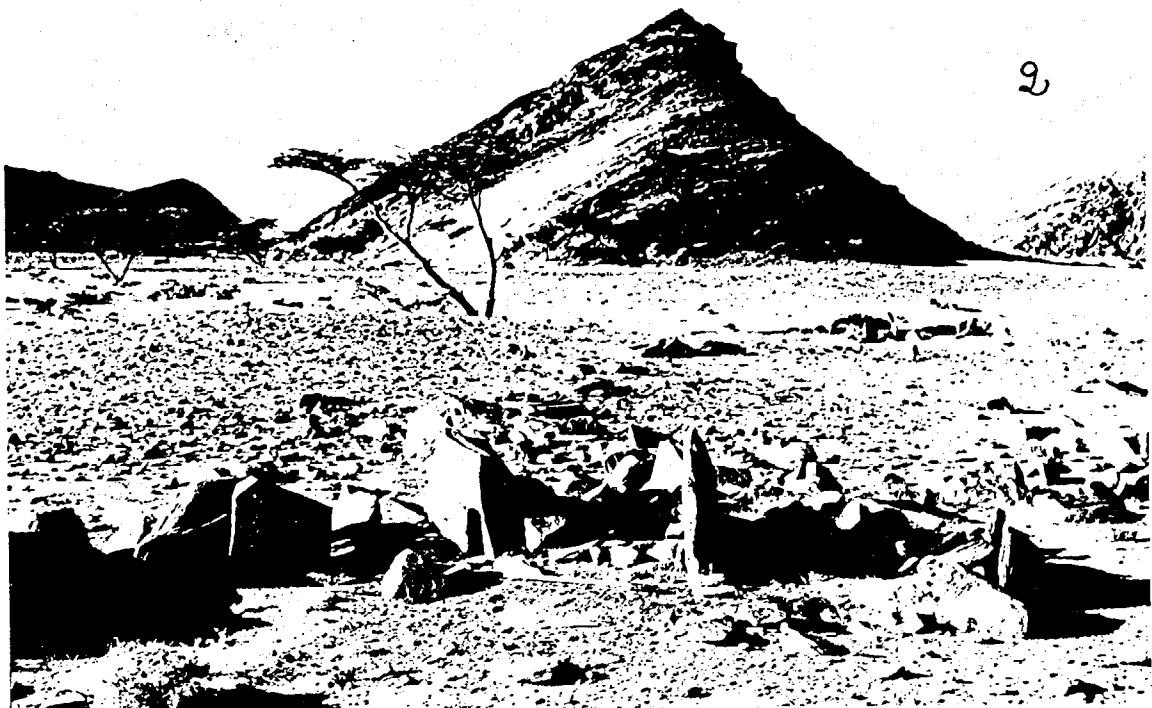
1.1 - Un bioclimat aride

Du Wâdî Bayhân au wâdî Hammam, la région d'étude appartient au domaine aride, voire hyperaride pour les marges de l'erg du Ramlat as-Sabat'ayn et la partie aval des grandes vallées (1). Les seules données précises dont nous disposons concernent les stations météorologiques de Bayhân et de Nuqub (wâdî Bayhân) pour la période 1982-1991.

En dépit de leur altitude de 1000 à 1100m, les parties aval des vallées connaissent des températures élevées toute l'année, avec des moyennes mensuelles de 18,7 à 22,3°C en hiver, et de 30,7 à 32°C en été, avec des maxima absolus de 42-43°C. La valeur moyenne des précipitations annuelles est de 64mm, mais avec une forte variabilité interannuelle allant de 20,4mm en 1985 à 144,6mm en 1990 (Fig.2). L'indice d'aridité UNESCO/FAO (P/ETP en mm) se situe vers 0,03-0,04, soit la limite de l'hyperaridité.

Ce caractère fortement aride a pour expression biologique une végétation rare, contractée aux lits des wâdîs (acacias, tamaris, *callotropis procera...*), tandis que les versants sont dénudés.

1.2 - Un relief montagneux compartimenté et la bordure du Ramlat as-Sabat'ayn



Le cadre géomorphologique oppose des reliefs montagneux très disséqués à pentes vigoureuses, dont l'altitude se situe entre 1500 et 2300m et de larges vallées NNE-SSW à NE-SW, vers 1000-1100m (Fig.1 et Ph.1). Ces reliefs se développent dans le socle arabe précambrien, constitué par un ensemble métamorphique complexe ("Aden metamorphic Group") et des granites intrusifs (Greenwood et Bleackley, 1967).

Au Nord, la région jouxte le Ramlat as-Sabat'ayn ou erg de Saba, dans lequel disparaissent les eaux de plusieurs wâdîs (Harîb, Bayhân, Surbân...). Cet erg relativement ancien, remontant au moins à la dernière phase très aride vers 17000-11000 ans BP, ou celle de 60000-28000 ans BP (données pour le Rub al Khali, d'après Andon, in Jado et Zötl, 1984; P. Sanlaville, 1992), constituait déjà une troisième unité du paysage désertique au cours de l'Antiquité sud-arabique (Coque-Delhuille, in Breton et al.). Obstacle à la circulation, il ne présente toutefois que des risques mineurs d'ensablement sur ses marges.

2 - Les éléments favorables du milieu.

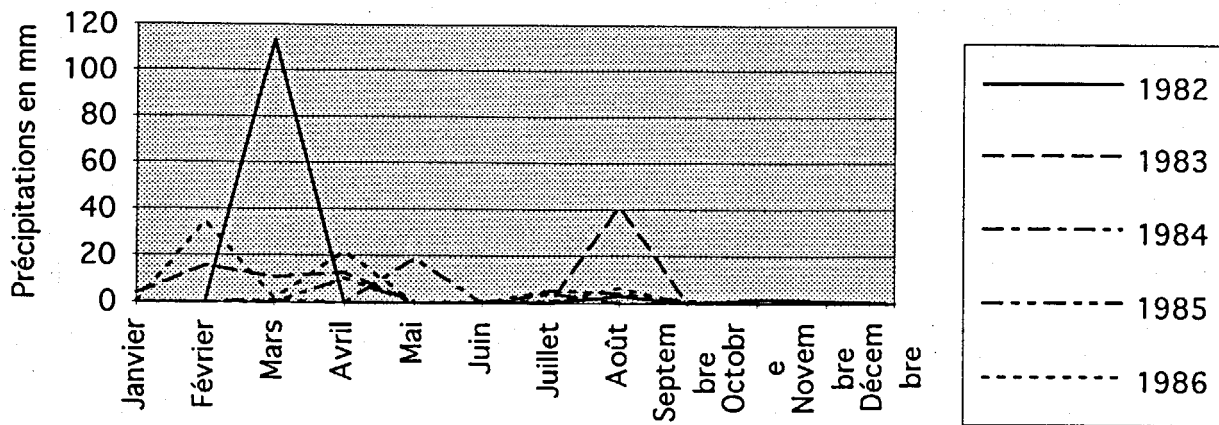
2.1 - De larges vallées à remplissage sédimentaire

D'amples vallées s'inscrivent dans cette montagne de socle, d'une largeur atteignant jusqu'à 5km dans la partie aval du wâdî Bayhân. En dépit de la présence de quelques grands cônes alluviaux à surface de regs (Bayhân) et de l'absence de dépôts naturels fins continus, ces vallées offrent des espaces agricoles favorables, correspondant à des surfaces de remblaiement. Elles sont comblées par des sédiments continentaux quaternaires (ou/et antérieurs), sables et galets alluviaux à niveaux carbonatés indurés en profondeur. Leur épaisseur excède 100m (observations à partir de puits en cours de creusement), permettant la présence de nappes phréatiques. Ces alluvions s'étendent, d'ailleurs, bien au-delà des zones extrêmes atteintes aujourd'hui par les crues, déposées lors d'épisodes quaternaires plus humides (Caton-Thompson et Gardner, 1939; Bunker, 1953; Cleuziou et al., 1992). Utilisés modestement dans l'Antiquité, ces aquifères alluviaux sont exploités actuellement de manière intensive pour l'irrigation par pompage.

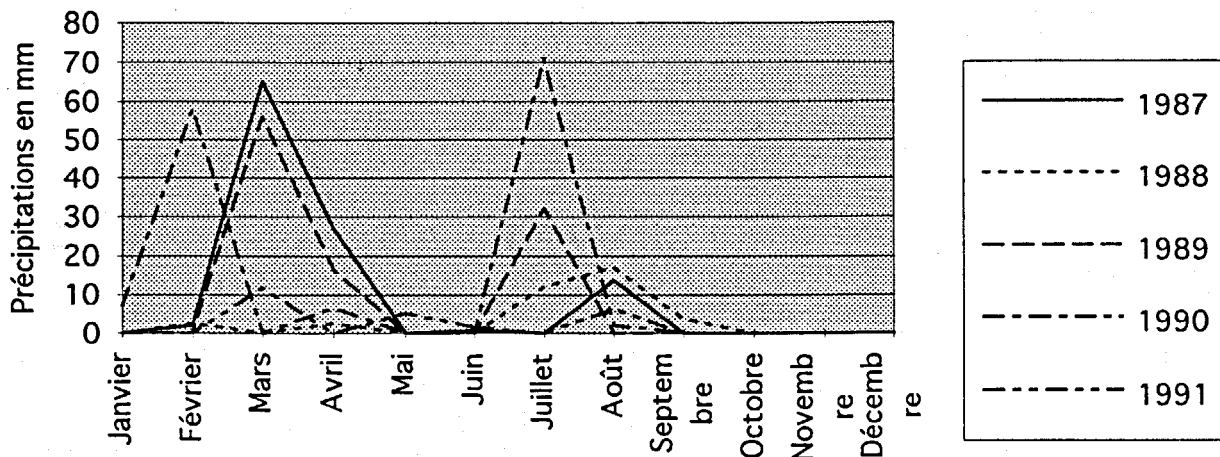
2.2 - Les crues allogènes des wâdîs

Les crues qui affectent en mars-avril et juillet-août les parties aval des vallées, très arides, ne s'expliquent que par la présence d'un impluvium montagneux puissant (>2300m au SE), semi-aride, subissant les fortes pluies de mousson (précipitations de 300-400mm/an ou plus? Les données font cruellement défaut), et des bassins-versants de grande taille (3900km² pour le

Fig. 2 - Courbes des précipitations mensuelles à Nuqub (Bayhân)



2a - Période 1982-1986



2b - Période 1987-1991

wâdî Bayhân), aux pentes fortes et dénudées, en roches cristallines imperméables, induisant de forts coefficients d'écoulement.

Ces crues brutales, de type *flash-flood*, se caractérisent aussi par leur violence, la rapidité de la montée des eaux (2,40m en deux heures le 12 avril 1990 à al-Haraja), avec un débit annuel moyen de 50 millions de m³ pour cette station. Il faut souligner, par ailleurs, la diminution rapide du nombre de crues et de leur intensité de l'amont vers l'aval. Ainsi, au débouché des gorges du wâdî Dura', se produit chaque année une crue de 6-7m de hauteur et plusieurs autres petites crues, alors que l'aval de son collecteur, le wâdî Hammam, ne connaît qu'une crue tous les dix ans environ (An Nudan, dernière crue en 1982).

II - IRRIGATION DE CRUE (SAYL) ET SEDIMENTATION CONTROLÉE AU COURS DE L'ANTIQUITE SUDARABIQUE

Au cours de l'Antiquité sudarabique, s'établit un premier type de rapports Homme/milieu dans le désert yéménite, avec une action positive des sociétés humaines sur leur environnement physique. Les eaux allogènes étaient maîtrisées et utilisées avec beaucoup d'ingéniosité, permettant le dépôt des particules les plus fines transportées par le wâdî au sein de périmètres d'irrigation préparés à l'avance pour les cultures.

1 - Maîtrise des crues et périmètres d'irrigation antiques

Maîtriser le flot de crue, en détourner une partie pour que l'eau puisse s'infiltrer et déposer les limons qu'elle transporte, s'opère au moyen de différents types d'ouvrages hydrauliques depuis le lit du wâdî jusqu'aux champs (Ph.2). Le fonctionnement de ces irrigations antiques, dont les vestiges subsistent dans tout le Sud de la péninsule arabique, a été décrit dans la vallée de Bayhân (Bowen, in Albright, 1958; P. Gentelle, in Breton et al.), à Marîb (Schmidt, 1982) et à Shabwa, dans l'Hadramawt (P. Gentelle, 1991).

A partir de petits "barrages" dans le lit du wâdî, cassant la vitesse du flot tout en élevant le plan d'eau, et de déflecteurs de crue construits à la sortie d'un méandre, l'eau est dirigée, à partir d'une berge concave, vers un aqueduc de terre ou canal d'aménée, parfois renforcé de pierres, aboutissant à un chapelet de champs. D'autres ouvrages permettent la régulation du flot dans chaque périmètre et évitent sa destruction (partiteurs, vannes, déversoirs de trop-plein... (P. Gentelle, 1991).

Les eaux ainsi détournées et guidées par ce système hydraulique arrivaient au niveau des champs avec une vitesse fortement réduite et une compétence très

affaiblie, limitée au transport de sables fins, de limons et d'argiles. Avec l'étalement du flot, puis son infiltration, ces particules fines se déposent. C'est là tout le génie du système : l'eau apporte le champ. Ainsi, dans ces larges vallées sans dépôts naturels fins étendus, l'Homme qui disposait d'eau a su constituer des "sols", des terres cultivables.

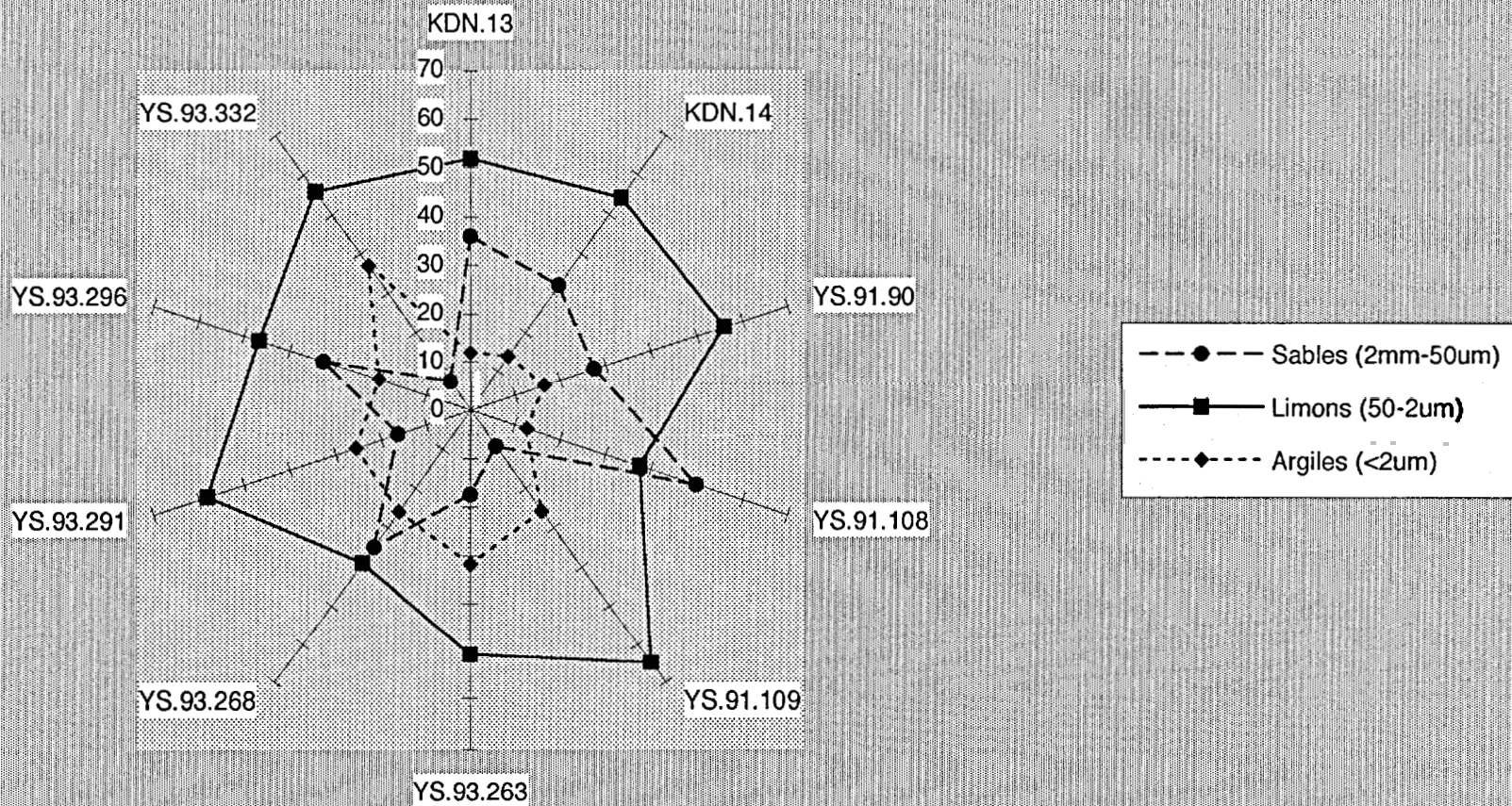
Ces périmètres d'irrigation antiques (PIA) reposent généralement sur la basse terrasse des wâdîs. Leur base se situe entre 1 et 3m au-dessus du lit actuel, un peu plus, semble-t-il, dans l'Antiquité comme en témoigne un exhaussement du lit dans la partie aval des vallées, illustré par l'enfouissement de la base de certains ouvrages hydrauliques sous des dépôts alluviaux (wâdî Dura'). Ces PIA s'identifient aisément par leur couleur claire et leur aspect en damier, calqué sur la trame orthogonale des anciens canaux de terre érodés (Ph.1). Souvent longilignes, ils prennent une forme beaucoup plus ample dans de vastes rentrants topographiques comme à Am Mukail (wâdî Dura'). Larges de 200-300m en moyenne, mais pouvant atteindre jusqu'à 3km, ils s'allongent sur quelques centaines de mètres à 6 ou 7km, leur longueur s'accroissant vers l'aval (Ph.3).

2 -La sédimentation contrôlée : les anthrosols

Au fil des siècles, à raison de quelques millimètres par an, la sédimentation contrôlée (anthrosols) au sein des PIA a édifié des terrasses limoneuses anthropiques dont la hauteur peut atteindre jusqu'à 15m (al-Haraja, wâdî Bayhân; al-Hinwa, wâdî Dura'). Aucun PIA n'a pu être calé strictement dans le temps par datations radiométriques conjointes de sa base et de son sommet. Pour le site d'al-Haraja où des anthrosols surmontent des couches archéologiques riches en charbons de bois, datés au ^{14}C de 2203 ± 123 ans BP (2), soit 352-212 Av. en datation calibrée, la vitesse de l'alluvionnement contrôlé serait de 1,30 à 2m par siècle (Coque-Delhuille et Gentelle, in Breton et al.). Cette estimation qui n'a qu'une stricte valeur locale, dans un site au débouché de la montagne bénéficiant d'une sédimentation de crue importante, est, semble-t-il, supérieure aux valeurs moyennes admises, de l'ordre de 50cm à 1m par siècle.

Les anthrosols sudarabiques présentent un certain nombre de caractéristiques sédimentologiques que nous avons précisées. La micro stratification subhorizontale originelle a été gommée par les labours successifs dont subsistent quelques microstructures perturbées. Les coupes montrent les traces d'anciens canaux de terre comblés de sables ou de sables limoneux, tandis que les champs antiques présentent une texture fine à dominante limoneuse (37 à 65% de limons de 2 à $50\mu\text{m}$ et de 12 à 38% d'argile $<2\mu\text{m}$; Fig.3) (3). L'irrigation de crue (*sayl*) opère donc une très nette sélection dimensionnelle des alluvions.

Fig.3 - Diagramme en radar de la granulométrie globale d'anthrosols du Yémen du Sud



A l'intérieur de chaque PIA s'observe une décroissance de la taille des éléments de la base vers le sommet, mais aussi de l'entrée vers la sortie, où les phénomènes de décantation l'emportent. Les discontinuités dans les anthrosols sont rares, mais quelques-unes ont été repérées dans le wâdî Dura', signalant une interruption dans l'irrigation sans valeur générale.

La richesse en carbonates de ces anthrosols (8 à 12% en moyenne) (3) sur un socle acide, très pauvre en CaCO_3 (rares amas de calcite), s'explique par le remaniement par les eaux de ruissellement et celles des wâdîs de formations carbonatées antérieures, avec origine exogène des limons, d'apport éolien (Coque-Delhuille, in Breton et al.).

3 - Une aridité marquée depuis l'Antiquité

Au Yémen, plusieurs arguments plaident en faveur d'un climat aride tout à fait comparable à l'actuel au cours de l'Antiquité sudarabique.

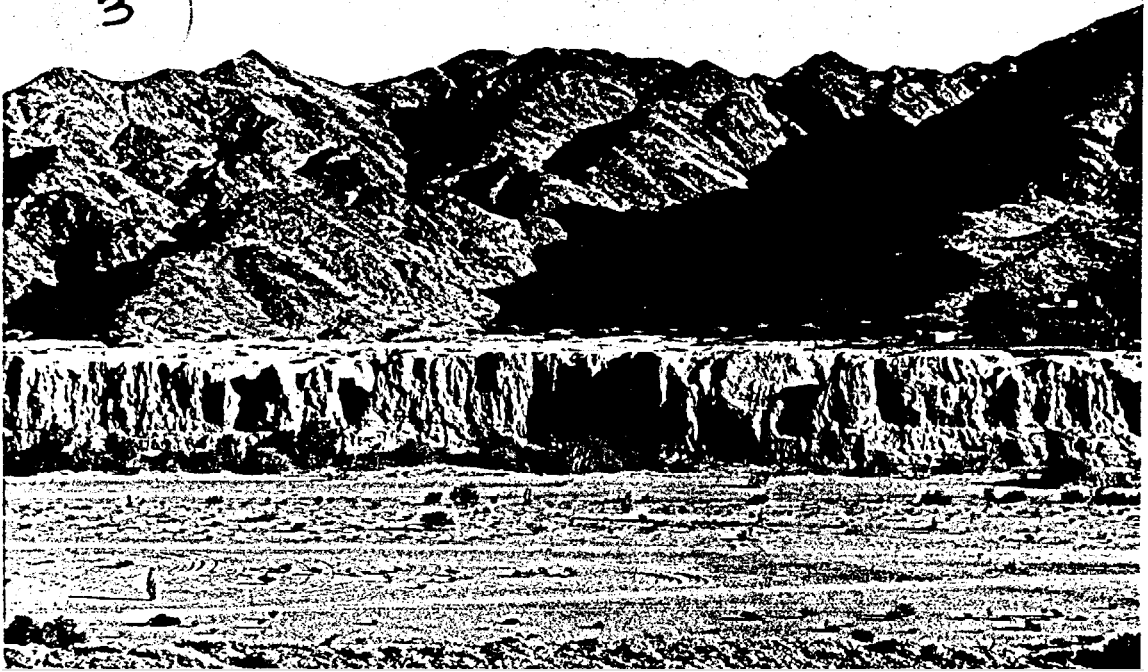
Les anthrosols indiquent l'utilisation de crues allogènes pour l'irrigation, ce qui suppose des conditions climatiques et hydrologiques analogues à l'actuel. Il faut ajouter l'absence de paléosols dans les limons antiques, mais, par contre, les traces d'une activité éolienne au sein de leur sédimentation. Les données palynologiques de mortiers, très fragmentaires, indiquent néanmoins une prédominance d'herbacées de milieux secs. Enfin, la bonne conservation des vestiges archéologiques et des inscriptions sudarabiques signalent, de même, le maintien d'une quasi paralysie des processus d'érosion. Mais, si l'aridité demeure la constante aux temps historiques, des fluctuations climatiques mineures ne sont pas à exclure, même si les preuves sédimentologiques font défaut dans la région étudiée.

Ainsi, au cours de l'Antiquité sudarabique, existait un remarquable équilibre entre ce milieu physique difficile et son aménagement par l'Homme.

III - EROSION ACTUELLE ET ACTIONS ANTHROPIQUES

Depuis la fin de l'époque sudarabique (moins de 2000 ans), si le caractère figé des versants revêtus d'un vernis noir ferro-manganique s'est maintenu (9000-6000 ans BP à titre indicatif, à partir des données paléoclimatiques du Quaternaire récent fournies, pour le Sud du Rub al Khali, par Mc Clure, 1976, 1978 et 1984; Coque-Delhuille, 1994), l'érosion naturelle s'est exercée aux dépens des formations meubles des vallées et notamment celles des PIA. Mais, depuis une vingtaine d'années, c'est surtout l'érosion d'origine anthropique qui retient

3



5



l'attention, avec les premières manifestations d'un déséquilibre Homme/milieu naturel.

1 - L'érosion naturelle hydrique et éolienne

L'érosion naturelle se manifeste surtout par le démantèlement plus ou moins poussé des PIA, les plus récents ayant été abandonnés vers la fin du V^e siècle de notre ère. Mais, leur degré d'érosion dépend d'abord de leur site géomorphologique. Limité dans des secteurs protégés, tel le périmètre d'al-Hinwa enchassé dans un véritable petit bassin hémisphérique, il apparaît plus avancé dans les wâdîs les plus vastes ou au débouché de wâdîs secondaires.

Cette destruction progressive s'opère en deux temps. Tout d'abord, l'érosion hydrique entraîne, en priorité, les sables des anciens canaux de terre plus facilement mobilisables par l'eau. Les limons compactés subissent, parallèlement, une érosion par suffosion (piping). A composante verticale dominante, l'érosion hydrique individualise des piliers limoneux qui s'effondrent par appel au vide en bordure des périmètres, tel celui d'al-Hinwa Ph.4).

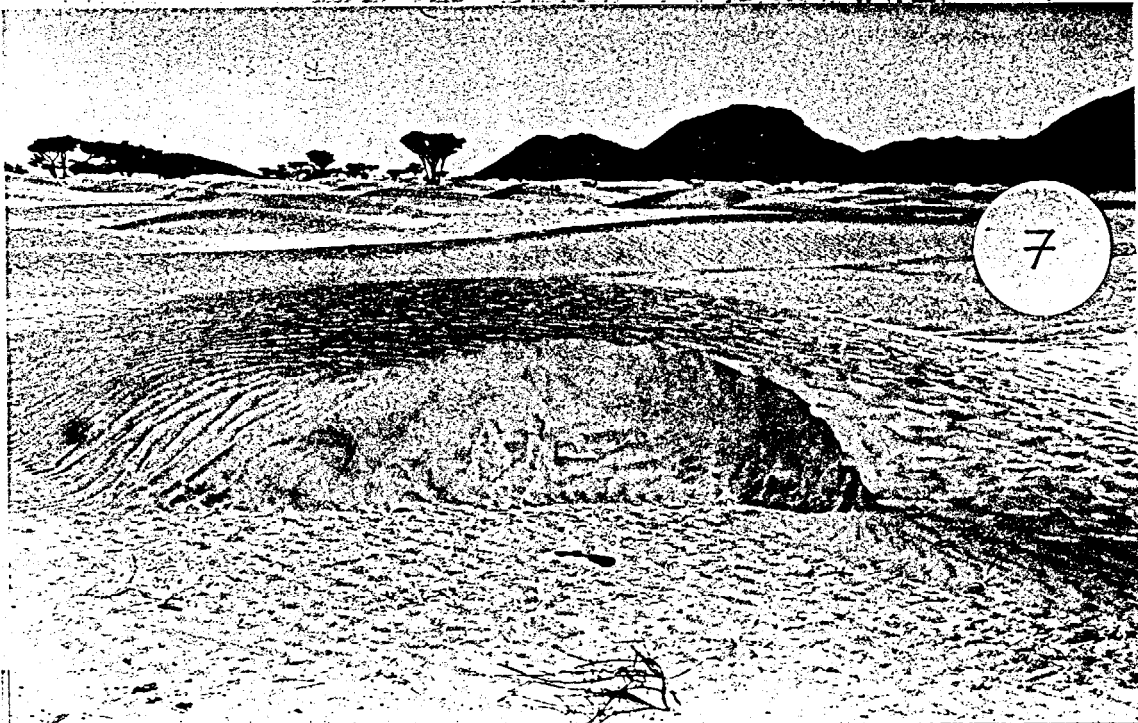
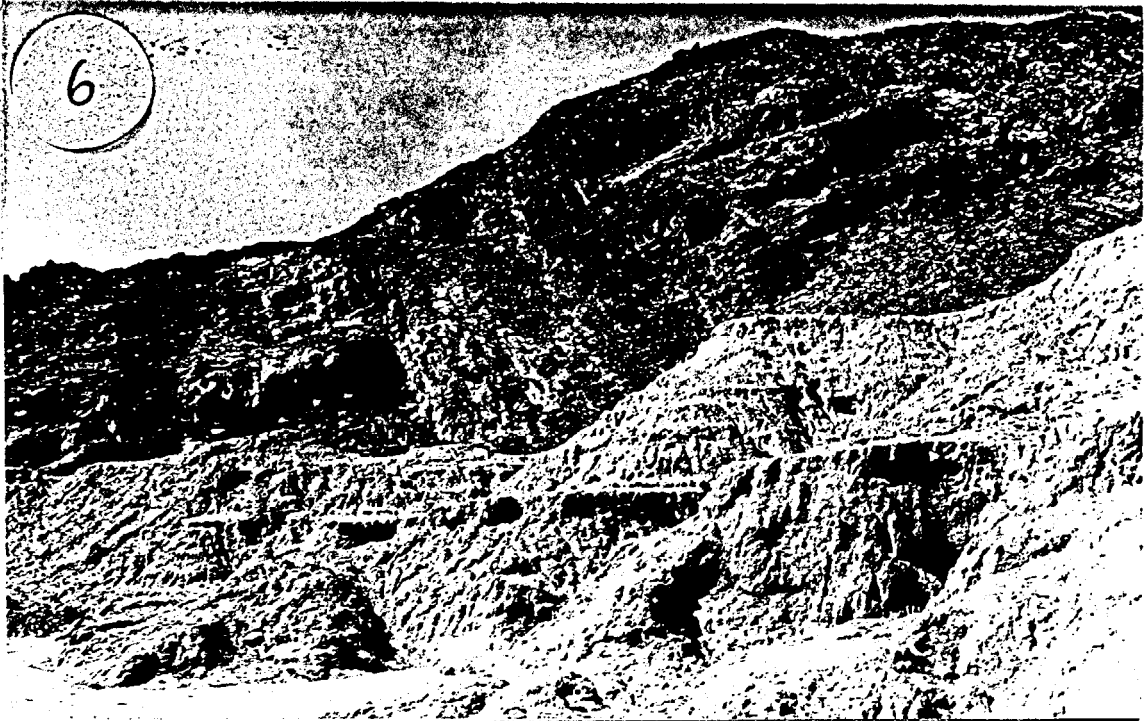
Puis, lorsque des buttes résiduelles d'anthrosols sont bien individualisées, dans les wâdîs largement ouverts aux vents dominants de NE (wâdîs Bayhân, Surbân, Markha, Am-Makhrama, Hijr...), l'érosion éolienne les façonne en yardangs (Ph.5). Le vent fait également apparaître une néostratification subhorizontale, les strates mises en relief, de quelques décimètres d'épaisseur, coïncidant avec des unités limono-argileuses, moins soumises à l'érosion que les niveaux sablo-limoneux (Ph.6). Ces variations granulométriques par strates pourraient signaler des périodes de quelques dizaines d'années de crues plus ou moins compétentes, et par voie de conséquence, des séries d'années un peu plus humides ou un peu plus sèches.

2 - Les aspects anthropiques de l'érosion

Mais actuellement, ce sont surtout les actions anthropiques qui ont un impact négatif sur le milieu physique.

2.1 - L'ensablement

L'activité éolienne n'est certes pas strictement actuelle. Elle fonctionnait aussi dans l'Antiquité, comme l'indique la présence de niveaux sableux d'origine éolienne au sein de quelques dépôts d'irrigation (wâdî Markha). Toutefois, une progression récente de l'extension des dunes mobiles apparaît, notamment dans le wâdî Bayhân, si l'on compare les photographies aériennes de 1977 et la situation observée sur le terrain en 1989 et 1991. Cet ensablement affecte les PIA, les sites archéologiques, mais aussi d'autres secteurs des fonds de vallées, correspondant aux grands couloirs éoliens NE-SW, où il menace des zones actuellement cultivées (Nord de Timna', secteur de Bayhân al-Qasab...).



Les barkhanes en boucliers et les petites chaînes barkhaniques représentent les dunes mobiles les plus fréquemment rencontrées (Ph.7). Leurs sables très fins (médianes de 0,096 à 0,13mm) et non usés diffèrent totalement par leurs caractères granulométriques, minéralogiques, morphoscopiques et exoscopiques de ceux de l'erg du Ramlat as-Sabat'ayn, plus évolués (Coque-Delhuille, in Breton et al.). Leur étude en laboratoire (3) montre qu'ils remanient à faible distance les fractions très fines des sables apportés par les crues des wâdîs, et celles des périmètres d'irrigation antiques.

L'extension des zones cultivées, ainsi que la dégradation de la végétation naturelle, consécutives à la pression démographique, expliquent une prise en charge accrue des particules sableuses fines par le vent.

2.2 - L'abaissement de la nappe phréatique

A l'irrigation de crue ou *sayl* s'est substituée aujourd'hui une irrigation par pompage de l'eau de la nappe phréatique présente dans les alluvions. Depuis une vingtaine d'années, la généralisation de l'utilisation de moto-pompes et l'extension considérable des périmètres de cultures entraînent un abaissement rapide de la nappe. Les enquêtes orales menées tant dans le wâdî Bayhân que dans le wâdî Markha, signalent toutes un abaissement moyen de l'ordre de un mètre par an, depuis environ 20 ans. De plus, les mesures que nous avons faites à partir d'un puits antique déblayé et approfondi en 1985 à al-Manqal (wâdî Dura'), démontrent que le niveau de la nappe était resté très stable depuis l'Antiquité jusqu'à une période récente.

Il s'en suit une dégradation accélérée du couvert végétal naturel susceptible d'amplifier les problèmes d'ensablement, et une augmentation de la salinité de l'eau et des terres cultivées. Ces conséquences néfastes, encore limitées, ne peuvent que s'accroître dans un avenir proche, avec le retour d'un million de Yéménites d'Arabie saoudite en 1991. Le besoin en surfaces cultivables est tel que les périmètres d'irrigation antiques sont progressivement nivelés au bulldozer et remis en culture (Ph.8).

NOTES

(1) - Les auteurs ont effectué quatre missions de recherche sur le terrain au Yémen en 1989, 1991, 1992 et 1993, dans le cadre de "La Mission Archéologique Française en République du Yémen" dirigée par Jean-François Breton (CNRS).

(2) - Datations radiométriques ^{14}C , Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie isotopique (Pr. Jean-Charles Fontes), Université de Paris-Sud - Orsay.

(3) - L'ensemble des analyses sédimentologiques (granulométrie, calcimétrie, minéralogie des sables et des argiles, exoscopie des quartz au MEB) ont été réalisées au Laboratoire de Géographie physique de Meudon, URA 141, CNRS.

Bibliographie

ALBRIGHT F. - 1958 - *Archaeological Discoveries in Southern Arabia*, Publications of the American Foundation for the Study of Man, vol. 2, Baltimore, The John Hopkins Press.

BOWEN R.L.B. - 1958 - Irrigation in Ancient Qataban (Beiham), in ALBRIGHT, op. cit., 43-88.

BRETON J.F., ARRAMOND J. Ch., BRON F., COQUE-DELHUILLE B. et GENTELLE P. - 1991 - A la recherche de Qataban, Yémen, *Archeologia*, n°271, 44-49.

BRETON J.Fr., COQUE-DELHUILLE B. et GENTELLE P., avec la collaboration d'ARRAMOND J.Ch., *Une vallée du Yémen antique. Le wâdî Bayhân*. Editions ERC, Paris (à paraître).

BRUNNER U. et HAEFNER H. - 1990 - Altsüdarabische Bewässerungsoasen, *Die Erde*, 121, 135-153.

BUNKER D.G. - 1953 - The South-West borderlands of the Rub'Al Khali. *The Geographical Journal*, 119, 420-430.

CATON-THOMPSON G. et GARDNER E.W. - 1939 - Climate, irrigation and early man in the Hadramaut. *The Geographical Journal*, XCIII, 1, 18-38.

CLEUZIQU S., INIZAN M.L. et MARCOLONGO B. - 1992 - Le peuplement pré- et protohistorique du système fluvial fossile du Jawf-Hadramawt au Yémen (d'après l'interprétation d'images satellite, de photographies aériennes et de prospections). *Paléorient*, vol. 18/2, 5-29.

COQUE-DELHUILLE B. - 1994 - Caractéristiques, genèse et signification des vernis désertiques : l'exemple du Yémen, in *Les milieux arides et semi-arides. Héritages et dynamiques actuelles*, ouvrage en l'honneur de R. COQUE (sous presse).

COQUE-DELHUILLE B., Le milieu naturel de la région de Bayhân, in BRETON et al., op. cit. (à paraître).

COQUE-DELHUILLE B. et GENTELLE P., La sédimentation contrôlée des périmètres d'irrigation antiques, in BRETON et al., op. cit. (à paraître).

GENTELLE P. - 1991 - Les irrigations antiques à Shabwa. Extrait de la revue *SYRIA*, Tome LXVIII, Fasc.1-4, Librairie orientaliste Paul Geuthner, Paris, 5-54.

GENTELLE P., La nature et l'irrigation, in BRETON et al., op. cit., (à paraître).

GREENWOOD J.E. et BLEACKLEY D. - 1967 - *Geology of the Arabian Aden Protectorate*. U.S. Geological Survey, Professional paper 560-C, Washington, 96p.

HEHMEYER I. et SCHMIDT J. - 1991 - *Antike Technologie - Die Sabäische Wasserwirtschaft von Marib*, Verlag Philipp von Zabern, Mainz-am-Rhein.

JADO A.R. et ZOTL J.G. (Ed.) - 1984 - *Quaternary Period in Saudi Arabia* , Vol.2, *Investigations in Western Saudi Arabia* , Springer-Verlag, Wien, 362p.

McCLURE H.A. - 1976 - Radiocarbon chronology of late Quaternary lakes in the Arabian desert, *Nature* , 263, 755-756.

McCLURE H.A. - 1978 - Ar Rub'al Khali, in Al-Sayari S.S. et ZOTL J.G., Ed., *Quaternary Period in Saudi Arabia* , Vol. 1, Springer-Verlag, New York, 252-253.

McCLURE H.A. - 1984 - *Late Quaternary paleoenvironments of the Rub'al Khali* . Unpublished Ph.D. Thesis, University College London, 245p.

OVERSTREET W.C. et GROLIER M.J. - 1988 - *The wâdî al-Jubah. Archaeological Project* , AFSM, Washington, Vol.4, Part 10, 155-288.

SANLAVILLE P. - 1992 - Changements climatiques dans la péninsule arabe durant le Pléistocène supérieur et l'Holocène. *Paléorient* , 18/1, 5-26.

SCHMIDT J., Ed., - 1982 et 1987 - *Archaeologische Berichte aus dem Yemen* , Band I-1982, Band IV-1987, Verlag Philipp von Zabern, Mainz am Rhein.

Légende des figures

Fig. 1 - Localisation et orohydrographie de la région étudiée.

Fig. 2 - Précipitations mensuelles à Nuqub (Bayhân)

2a - Période 1982-1986

2b - Période 1987-1991

Fig. 3 - Diagramme en radar de la granulométrie globale d'anthrosols du Yémen du Sud.

Légende des photographies

Photo 1 - Vue aérienne du secteur d'al-Haraja (wâdî Bayhân). Le relief montagneux orienté NNE-SSW et fortement disséqué, s'inscrit dans le socle métamorphique. Au Nord, le périmètre d'irrigation antique d'al-Haraja se distingue aisément par son aspect clair et en damier, contrastant avec les champs actuels de teinte sombre. La végétation très contractée souligne les chenaux d'écoulement du wâdî (*cliché Lebel, Trinquès et Rives; Toulouse*).

Photo 2 - Ouvrage d'irrigation antique (partiteur à quatre canaux) dans le wâdî Surbân. A l'arrière plan, escarpement de type monoclinal dans les métasédiments précambriens (*cliché des auteurs*).

Photo 3 - Périmètre d'irrigation antique face au tell d'Hajar Am-Dhaibiyya (wâdî Dura'). L'épaisseur des limons d'irrigation (anthrosols) est de 10,60m. Au fond, versant rocheux granitique du côté oriental de la vallée (*cliché des auteurs*).

Photo 4 - Piliers d'anthrosols isolés par l'érosion hydrique, en bordure du périmètre d'irrigation antique d'al-Hinwa (wâdî Dura'); (*cliché des auteurs*).

Photo 5 - Vestige de limons d'irrigation antiques, façonnés par le vent en yardang, dans le wâdî Sabahan. On notera la néostratification de ces anthrosols, mise en évidence par l'action éolienne (*cliché des auteurs*).

Photo 6 - Néostratifications subhorizontales mises en évidence par le vent, dans un périmètre d'irrigation antique démantelé par l'érosion naturelle (wâdî Dura'); (*cliché des auteurs*).

Photo 7 - Ensablement d'une vallée par des petites dunes mobiles, de type bouclier barkhanique, à proximité du site de Rumaha. Les fronts sont orientés N.220-230°E. Le marteau donne l'échelle (*cliché des auteurs*).

Photo 8 - Remise en culture d'anciens périmètres d'irrigation antiques aplanis au bulldozer, dans le wâdî Dura'. Les vestiges d'anthrosols apparaissent de couleur claire (*cliché des auteurs*).