

NOUVELLES DONNÉES DU ^{14}C PROVENANT DU MAROC ET DE L'ESPAGNE ET LEUR APPORT POUR LA CONNAISSANCE DU DÉVELOPPEMENT DU RELIEF ET LA PÉDOGENÈSE DANS L'HOLOCÈNE ET LE PLEISTOCÈNE RÉCENT.

HEINRICH ROHDENBURG (†), BRAUNSCHWEIG

Préface

Cet article écrit par Heinrich Rohdenburg a été publié en allemand dans la revue "CATENA", Vol. 4, 1977: "Neue ^{14}C -Daten aus Marokko und Spanien und ihre Aussagen für die Relief- und Bodenentwicklung im Holozän und Jungpleistozän". Le texte a été traduit en français pour en faciliter l'accès aux chercheurs méditerranéens.

Malheureusement cette traduction n'a pas pu être publiée avant le décès de mon mari en 1987. Bien que 15 ans aient passé depuis la première publication, les résultats restent valables -mais peu connus. Les résultats et les hypothèses concernant l'évolution du paysage et les conditions environnementales devraient inspirer les chercheurs d'aujourd'hui. C'est consciemment que j'ai renoncé à le réviser pour le rendre conforme aux exigences actuelles, afin d'en préserver l'authenticité. Je vous prie, chers lecteurs, de le considérer comme document des recherches de cette époque, la traduction est aussi littérale que possible.

Mes sincères remerciements aux éditeurs de la revue "Cuaternario y Geomorfología" pour avoir accepté cet article pour sa publication.

Margot Rohdenburg, avril 1992

Summary. During the Late Glacial a reddish-brown soil with irregular layers of calcareous induration in the C-horizon was formed in Southern Morocco. This period was followed by the Early Rharbien, during which there was little geomorphic activity on the slopes, with the accumulation of predominantly fine material in the valleys. In the Middle and Upper Rharbien there were recurring changes involving periods marked by intensive soil formation (black soils) and a significantly higher groundwater table on one hand (=periods of geomorphodynamic stability) and periods characterized by the transportation of coarse material on the slopes and along the valley floors on the other (periods of geomorphodynamic activity). Given a sufficiently dense

vegetation, the climatic conditions obtaining at present favour soil formation (=very little geomorphodynamics on the slopes). However, owing to man's disruption of the ecosystem the prevailing feature today is the transportation of predominantly fine material on the slopes and along the valley floors. The soil erosion and transportation of coarse material which occurred during the climatically induced periods of geomorphodynamic activity were much more intense than those occurring under the present man-modified morphoclimatic regime.

Resume. Lors du Rharbien tardif (tardiglaciaire) se formait en Espagne et au Maroc un sol brun-rouge avec un horizon C_{ca} de lamelles calcaires. Cette période fut suivie par le Rharbien ancien où l'activité morphodynamique sur les versants était réduite, et les vallées surtout comblées par une accumulation de matériel fin. Lors du Rharbien moyen et récent il y a eu plusieurs alternances entre d'un côté des périodes de pédogenèse (formation de chernozem) avec un niveau de nappe phréatique plus élevé (période de stabilité morphodynamique) et d'un autre côté des périodes de transport de matériel grossier sur les versants et dans les vallées (périodes d'activité morphodynamique). Si la végétation était suffisamment dense, les conditions climatiques actuelles favoriseraient la pédogenèse (avec peu de morphodynamique sur les versants). Mais à cause de l'intervention de l'homme dans l'écosystème, le plus important processus sur les versants et dans les vallées est le déplacement de matériel fin. Cependant l'érosion du sol et le transport de matériel grossier, lors des phases d'activité morphodynamiques induites par le climat, étaient beaucoup plus intenses que dans les conditions actuelles où le régime morphoclimatique est modifié par l'homme.

1. Introduction

Il y a 10 ans, l'auteur, en collaboration avec U. Sabelberg et en partie avec H. Fölster et A. Gaouar, commença ses recherches sur le développement du relief et la pédogenèse quaternaire dans les régions occidentales de la Méditerranée. En premier lieu il s'agissait de déterminer les caractéristiques géoécologiques des principaux types de paléoclimats, les sédiments et les sols qui s'y sont développés (particulièrement les croûtes calcaires), puis de tirer des conclusions sur les séries sédiment-sol, afin de donner de nouveaux renseignements sur la stratigraphie quaternaire en domaine sub-tropical. Pour cela ont été étudiés des profils de loess en Catalogne ainsi que des cônes de déjection bien subdivisés, dans le Sud-est de l'Espagne. Ces études ont été étendues à l'île de Majorque et Ibiza, aux Baléares, puisque la région côtière offrait des coupes dans de bonnes conditions et que l'alternance entre les formations continentales et marines donnait de nouveaux renseignements. Il en était de même pour d'autres recherches le long de la côte atlantique du Portugal et du Maroc. Une première synthèse des résultats a été faite par Rohdenburg & Sabelberg (1973); plus particulièrement en ce qui concerne les croûtes calcaires par Sabelberg & Rohdenburg (1975). Lors d'une deuxième période de travail, il a été procédé à une étude détaillée de profils (Espagne, Maroc) suivie par des recherches au laboratoire, dont seulement une petite partie est achevée (Fölster & Gaouar 1975), Gaouar 1976, Sabelberg 1977, 1978.

En vue de l'interprétation de la microstratigraphie des profils en Espagne et au Maroc furent prélevés des échantillons pour l'analyse au ^{14}C . Une grande partie d'entre eux a pu être étudiée par le laboratoire de ^{14}C et 3H du "Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschungen". Que M.A. Geyh en soit chaleureusement remercié, non pas seulement pour cela, mais aussi pour les passionnantes discussions sur l'interprétation des résultats obtenus, et pour sa disponibilité, nous permettant des analyses supplémentaires nécessaires pour des raisons méthodologiques. Les datations ^{14}C ont permis de résoudre quelques problèmes; d'autres apparaissent maintenant, nécessitant un nouvel travail de terrain qui, cependant, n'a pas encore été réalisé. Cet exposé doit donc être considéré comme un rapport intermédiaire ne présentant que les profils où les échantillons datés et qui ont été nécessaires pour l'interprétation de ces datations. En plus des échantillons personnels, référence a été faite à ceux que U. Sabelberg a envoyé et fait dater à Hanovre (Sabelberg 1978).

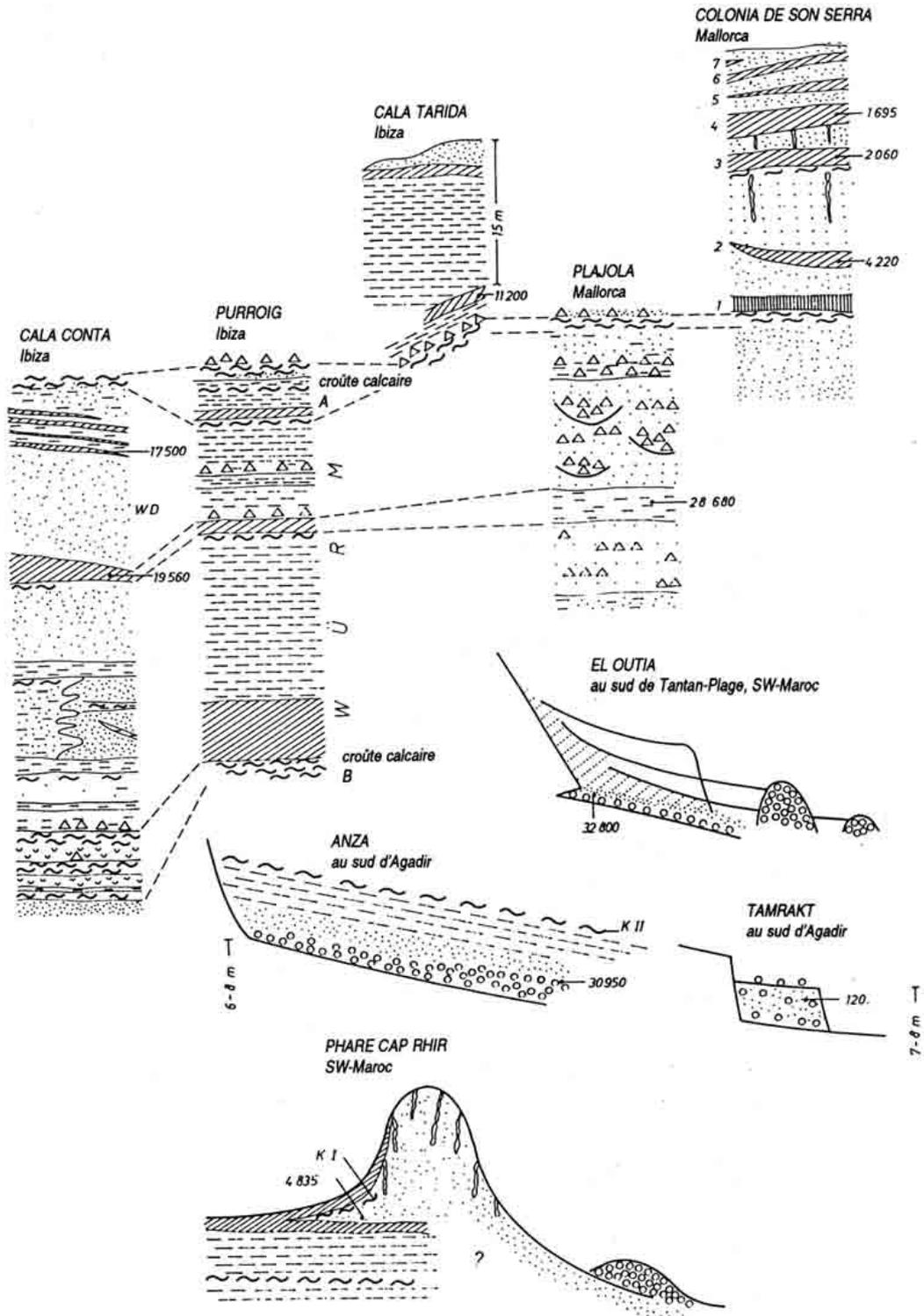


Fig. 1.a.

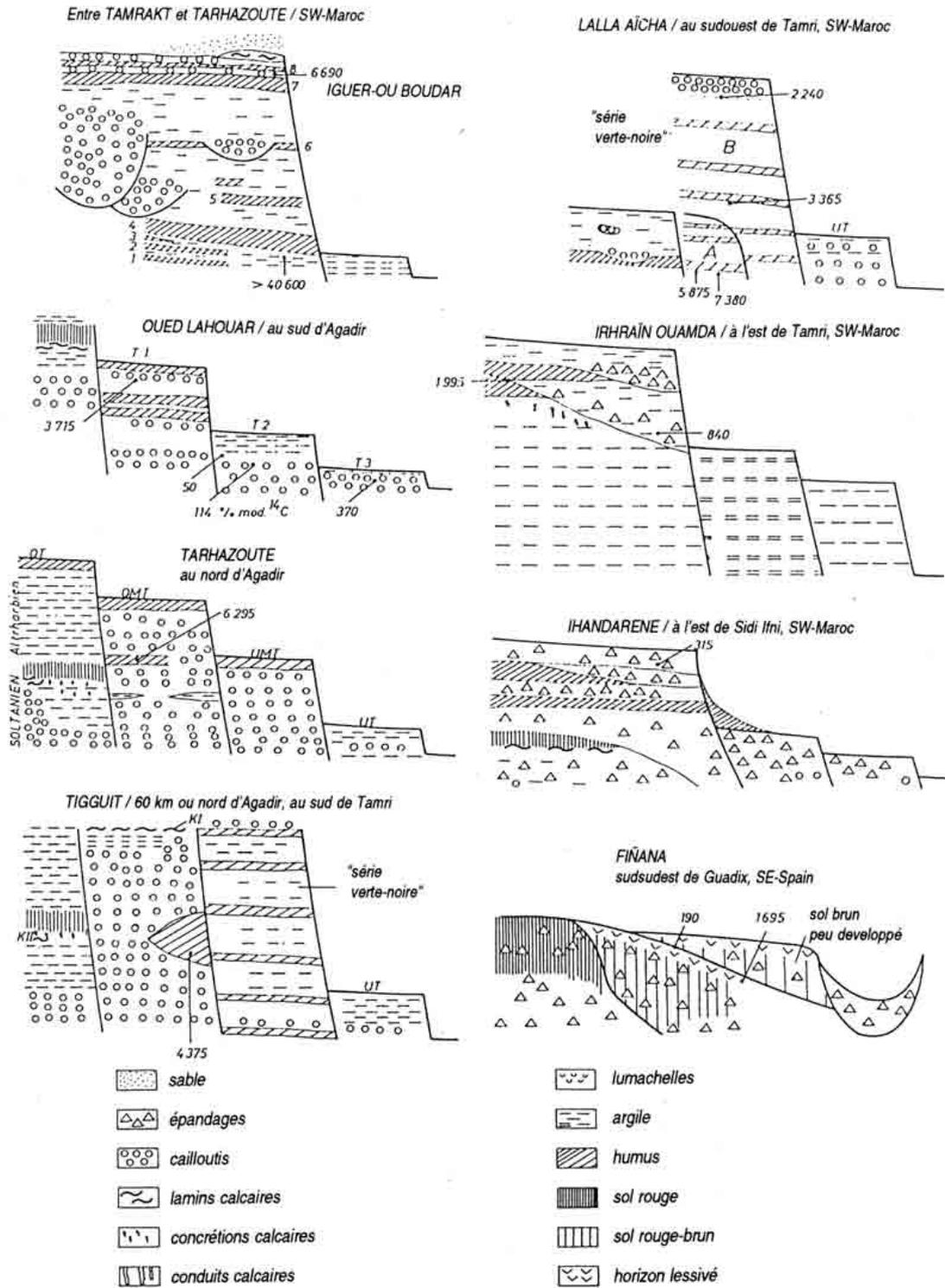


Fig. 1.b.

La représentation s'orientera sur la chronologie des datations, c.-à.-d. que chaque compartiment stratigraphique sera pris séparément.

2. Les Données du ^{14}C (table 1, fig. 1)

2.1. Ouljien (*Würm ancien - Interstadaire, Eem?*)

Il existe pour la transgression ouljienne plusieurs datations Thorium/Uranium, qui ont donné des valeurs supérieures à 75000 ans (Stearns & Thurber 1965, 1967). De ce fait, une datation au ^{14}C pour l'ouljien a été jugée inutile. Cependant pour des raisons méthodologiques, l'échantillon R74/32 de l'ouljien d'Anza a été daté, pour pouvoir évaluer si, ou dans quelle mesure un échantillon de mollusques se trouvant un temps relativement long de l'Holocène soumis à l'eau d'infiltration superficielle, peut indiquer un âge ^{14}C plus récent. Résultat: $30950 \pm 990 - 845$ ans; "das endliche Alter... weist auf scheinbare Verjüngung durch Kontamination hin, die im vorliegenden Fall 2% ausmacht, aber sicher auch größer sein kann" (commentaire M.A. Geyh, 11.11.1976).¹

2.2. Soltanien / *Würm moyen et récent (sans tardiglaciaire récent)*

Le profil Iguer-ou Boudar ("Schwarzerdegully") se situe dans des sédiments de l'avant pays de la falaise ouljien. L'échantillon de charbon de bois R74/39a provient d'un groupe basal de sols fossiles humifères.

La profondeur du profil ainsi que la datation au ^{14}C (40 600 ans) indiquent des chernozems à pédogenèse importante, qui se sont développés avant le Soltanien proprement dit. Des choses semblables - cependant sans datation - ont déjà été décrites par Tiguert (partie est de Cap Rhir) dans la même région (Rohdenburg & Sabelberg 1973, 128, fig. 8).

Dans le cadre de ce travail, l'attention a été portée sur les "Paléo-Kjökkenmöddinger" nord de Cap Rhir. Ceux-ci se trouvent entre des ensembles de dunes consolidées bien au-dessus de l'Ouljien. En plus, ces ensembles sableux ont été tronqués par une falaise (dont la base se trouve sous l'actuel niveau marin). Sabelberg (1978) préleva un échantillon (USM 72/19), dont la datation ^{14}C donna un âge de $34150 \pm 1350 - 1160$ ans. En plus, il lui a été possible de situer ces sables consolidés dans le Soltanien moyen (S 3) et de prouver l'existence d'autres Kjökkenmöddinger dans des sites stratigraphiquement voisins entre les dunes consolidées. Si dans la publication de 1973 deux alternatives étaient encore possibles (formation dunaire avec un niveau marin encore élevé, lors d'une transgression sous climat froid faisant suite à une régression), actuellement toutes les découvertes confirment la deuxième hypothèse. Des sédiments côtiers anciens, dont la cannelure de brisement se situait 1.50-2.0 m au dessus de l'actuel, ont été découverts dans la région de "El Outia" au sud de Tan Tan Plage. Une datation d'escargots (éventuellement de Kjökkenmöddinger!) donnait 32800 ± 3560 ans. Cette hauteur du niveau marin n'était pas liée à une géomorphodynamique fluviale: les dunes existant pendant la régression sont directement fixées contre la falaise haut et abrupt, sans sédiments fluviaux intermédiaires. Ce n'est que plus tard qu'il y eu d'importants apports fluviaux, formation d'accumulation de pied de versant et leur incision en plusieurs phases. Une croûte calcaire lamellaire, de faible importance montre l'existence d'une phase de stabilité intermédiaire avec pédogenèse.

Dans un profil de falaise de la partie orientale de Majorque (Plajola près d'Es Pla d'Es Calo, Artà), on a trouvé dans des sédiments du Würm moyen (sédiments fins intercalés dans des débris alluviaux ayant pour origine des sables côtiers éoliens avec des intercalations d'alluvions un foyer avec de nombreux cailloux rougeâtres. Une datation au ^{14}C effectuée sur du charbon de bois abondant, mais riche en cendres et friables, a indiqué $26680 \pm 3050-2200$ ans. Un tel foyer, pourrait-il se référer à une population paléolithique vivant à proximité du rivage et prouver en même temps la possibilité d'une transgression

¹ commentaire trad.: "L'âge limité... montre la possibilité d'un rajeunissement par contamination de 2 % dans ce cas mais elle peut être plus grande".

Designation des échantillons		14C Datation		14C contenu % actuel		Provenance des échantillons	
laboratoire	auteur	matériel					
HV 7527	R74/37	charbon de bois	(50	114,2	1,9	Oued Lahouar	
HV 7053	R74/43	charbon de bois	(120	100,1	1,5	Oued Lahouar	
HV 7059	R74/31a	charbon de bois	(120)	98,5	1,4	Tamrakt	
HV 7063	R 74/1	charbon de bois	(190	97,7	1,4	Fiñana	
HV 7526	R74/24	charbon de bois	315			Ihandarene	
HV 7054	R74/44	charbon de bois	370	95,5	1,2	Oued Lahouar	
HV 7076	USM 72/50	charbon de bois	650	92,2	0,8	"km 45" au nord d'Agadir	
HV 7522	R74/8	charbon de bois	840			Ifrain Ouamda	
HV 7521	R74/2	charbon de bois	1695			Fiñana	
HV 7548	R75/3	humus	1695			Son Serra	
HV 7061	R74/6	charbon de bois	1995			Ifrain Ouamda	
HV 7066	USM 73/2	charbon de bois	2060	77,4	0,5	"km 45" au nord d'Agadir	
HV 7177	R75/1	humus	2060			Son Serra	
HV 7057	R74/15	charbon de bois	2240			Lalla Aïcha	
HV 7024	R74/14	charbon de bois	3365			Lalla Aïcha	
HV 7052	R74/33	charbon de bois	3715			Oued Lahouar	
HV 7178	R75/2	humus	4220			Son Serra	
HV 7530	USM 72/52b	escargots terrestres	4305	58,5	1,0	"km 45" au nord d'Agadir	
HV 7525	R74/17	charbon de bois	4375			Tigguit	
HV 7060	R74/42	charbon de bois	4835			phare Cap Rhir	
HV 7065	USM 72/67	charbon de bois	5075	53,2	0,5	Jorf el Yhoudi	
HV 7056	R74/9	charbon de bois	5875			Lalla Aïcha	
HV 7055	R74/26	charbon de bois	6295			Tarhazoute	
HV 7058	R74/38	charbon de bois	6690			Iguer-ou Boudar	
HV 7523	R74/10	coquilles	7380	39,9	0,6	Lalla Aïcha	
HV 7183	R75/12	humus	11200 + 1090/-960			Cala Tarida	
HV 7549	R75/10	humus	17500 + 465			Cala Conta	
HV 7182	R75/11	humus	19560 + 1120/-940			Cala Conta	
HV 7179	R75/4	charbon de bois	28680 + 3050/-2200			Plajola	
HV 7529	R74/32	coquilles	30950 + 990/-845			Anza	
HV 7062	R74/20	escargots marins	32800 + 3560/-2460	1,7	0,6	El Outia	
HV 7064	USM 72/19	coquilles	34150 + 1350/-1160	1,4	0,2	"km 50" au nord d'Agadir	
HV 7528	R74/39a	charbon de bois	>40600			Iguer-ou Boudar	

Les descriptions des profils sont dans la Fig.1. Les échantillons pris par l'auteur ont été marqués par (R), ceux de Sabelberg par (USM), ils ont été décrits par Sabelberg (1978).

würmienne? Une fouille dans des profils de brisement de falaise stratigraphiquement comparables a permis la découverte de deux nouveaux éléments de charbon de bois, cependant sans concentration évidente comme pour le foyer précédent. Un travail de recherche archéologique serait souhaitable, puisque pour les Baléares, n'a pu être mis en évidence pour l'instant, que le Néolithique et des cultures plus récentes, mais pas de Paléolithique. Dans le cas de la datation du charbon de bois de Plajola, les réalités du terrain coïncident avec la datation. Un rapport a déjà été réalisé sur un sédiment fin rougeâtre situé sous le complexe sédimentaire alluvial près de la localité de Colonia de San Pedro (Rohdenburg & Sabelberg 1973, fig. 6, partie supérieure du sédiment fin rouge dans le profil de gauche). Il a été démontré clairement que ces sédiments sont plus récents qu'une transgression du Würm de façon certaine. Le profil de falaise de la Cala Conta dans l'île d'Ibiza a également été décrit antérieurement (Rohdenburg & Sabelberg 1973, 125). D'un foyer de ce profil à Plajola/Majorque, de position stratigraphique comparable sous le complexe sédimentaire supérieur (dune dans ce cas), on a daté la fraction humique fortement développée (chernozem). Un âge de 19560 ± 1120 -940 ans donné par le ^{14}C et proposé comme modèle paraît trop jeune puisqu'on s'attendait plutôt à trouver un équivalent avec le Stillfried-B de l'Europe Moyenne de 25-30000 ans. Une datation supplémentaire dans ce profil semble plutôt appuyer les résultats originaux du terrain. On a daté un horizon humifère d'épaisseur moyenne (Pararendzine), dans une cuvette au-dessus des "dunes blanches" WD de 17500 ± 465 ans (âge de la matière organique totale. Ceci donne en même temps un âge maximal pour la croûte calcaire A dont nous allons parler.

2.3. Rharbien tardif / Würm - tardiglaciaire (?)

Cette croûte calcaire est l'horizon C_{ca} d'un sol méditerranéen rouge-brun à rouge. Par rapport à tous les sols du quaternaire récent, ce type possède l'intensité de développement la plus élevée et peut, dans ce sens, remplir la fonction d'horizon stratigraphique témoin. Il est répandu en Espagne, ainsi qu'au Maroc! Les horizons B et C_{ca} ont été trouvés, en partie sous forme résiduelle, dans les profils suivants: Colonia de Son Serra, Oued Lahouar, Tarhazoute, Tigguit, Ihandarene, Fiñana, ainsi que dans les environs du profil d'Anza ici décrit. Naturellement le sol manque dans tous les profils de Lalla Aïcha et Irhaïn qui ont pu être clairement identifiés par rapport au profil du Tigguit assez proche. L'horizon B manque dans les profils de falaise bien exposés, de ce fait seule la croûte calcaire correspondante est conservée: Cala Conta, Plajola, Purroig (Ibiza); en plus, il est absent de plusieurs autres profils, où une phase de sédimentation a fait suite à une phase de transport: Cala Tarida (Ibiza), phare Cap Rhir. Dans la région d'El Outia on a également trouvé une croûte calcaire de faible ampleur qui probablement correspond à l'horizon B brun-rouge qui ont été complètement érodés dans le profil de Iguer-ou Boudar, ainsi que de façon partielle dans d'autres profils (Oued Lahouar, Tarhazoute, Tigguit, Ihandarene, Fiñana, Colonia de Son Serra). Peut-être sera-t-il possible avec un travail de terrain méthodique, de trouver des restes de deux formations, peut-être dans une position intermédiaire entre les chernozems 6 et 7.

Il m'associe à la proposition de U. Sabelberg, de débiter le Rharbien par le sol rouge/KII, puisque pour le travail de terrain on dispose d'un horizon témoin, alors que la limite Würm/Holocène en Europe moyenne n'a pu être déterminée exactement jusqu'à présent (malgré toutes les datations ^{14}C réalisées). L'on propose ici de diviser le Rharbien en quatre parties, avec la formation du sol rouge à croûte calcaire (A respectivement KII) débutant dans le Rharbien tardif et jusqu'à ce qu'il soit érodé ou fossilisé.

2.4 Rharbien ancien / Würm tardiglaciaire (?) jusqu'à l'Holocène ancien

Particulièrement dans les régions sèches, il est possible de constater que le décapage et la sédimentation se manifestent très tôt. Les sédiments de recouvrement sont en principe des sédiments fins, pouvant atteindre de fortes épaisseurs dans les régions d'engorgement. Contrairement aux sols mieux développés, moins répandus; ils sont, en tous cas, absents des régions de pédogenèse et où la végétation joue un rôle protecteur suffisant (surtout dans les régions plus humides); ils ne sont certainement pas présents dans les secteurs constamment décapés ou dans ceux affectés par des processus de transports

importants. Ils ont pu être déterminés avec certitude dans les profils suivants: Tarhazoute, Tigguit, Irhaïn Ouamda, phare Cap Rhir. Dans le profil Iguer-ou Boudar, les sédiments fins sont probablement situés sous le chernozem. Jusqu'à présent, on n'a pas trouvé de ces sédiments fins en Espagne. Par exemple, on a supposé qu'une couche de sédiments fins bien stratifiés pouvant atteindre jusqu'à 15 m d'épaisseur, existait dans la région de Cala Tarida; ils auraient pu être déposés par une transgression de l'Holocène moyen derrière une éventuelle barrière de dunes côtières qui auraient été décapée ultérieurement). Une datation au ^{14}C d'un horizon humifère à la base de ces sédiments fins, indiquait $11200 \pm 1090-960$ ans, ce qui permettrait de les placer dans une série de sédiments fins du Rharbien ancien. En tous cas, cette datation au ^{14}C donne un ordre de grandeur concernant la période finale de la formation du sol rouge à cet endroit (où il y eut précédemment un décapage de courte durée de l'horizon B) et ainsi une valeur pour le début du Rharbien ancien.

Dans les régions semi-humides du Maroc du Sud, les sédiments fins du Rharbien ancien sont surmontés en principe par un chernozem bien développé qui, d'après plusieurs découvertes, devait aussi exister dans les régions arides, mais largement érodé. La formation de ce chernozem antérieur au Rharbien² fut vraisemblablement achevée il y a 6-7000 ans B.P. Du charbon de bois de la partie supérieure du chernozem 6 d'Iguer-ou Boudar donne un âge de 6690 ± 115 ans; l'âge de 6295 ± 180 ans de Tarhazoute provient déjà d'un ensemble de sédiments grossiers plus récent (OMT); on obtient aussi, à partir de charbon de bois, la valeur de 5875 ± 175 ans pour un sédiment récent de la base de la "série A vert-noir" de Lalla Aïcha³. Des écailles de moules du même âge (Kjökkenmöddinger, grilles au feu de charbon de bois), ayant également été datées pour des raisons méthodologiques, ont même donné un âge de 7380 ± 120 ans. Il n'existe pas encore de datations des sédiments du Rharbien ancien proprement dit, provenant des différents secteurs étudiés, puisqu'on n'y a trouvé ni charbon de bois ni moules (distance du rivage trop grande), et que les débris de coquilles d'oeufs d'autruche trouvés jusqu'à présent ont donné trop peu de renseignements. En raison d'un doute de principe quant à leur utilisation pour une datation au ^{14}C , les escargots terrestres collectionnés en grande quantité par U. Sabelberg ont été écartés provisoirement. Deux échantillons d'escargots terrestres du Rharbien ancien seront prochainement datés par une méthode de datation en parallèle charbon de bois / escargots terrestres, largement satisfaisante.

2.5 Rharbien moyen et récent / Holocène moyen et récent

Les sédiments du Rharbien ancien recouvrent souvent ceux du Soltanien (et ne s'y incisent que par de gros systèmes fluviatiles), même lorsqu'il y a eu décapage avant l'accumulation (départ du sol rouge seulement). Les sédiments de l'Holocène moyen sont en principe intercalés dans les séries plus anciennes, c'est-à-dire qu'avant l'accumulation il y a eu, après un début de recouvrement par des sédiments, une phase de départ de matériel avec incision et partiellement d'érosion latérale. Les terrasses étagées "cut and fill" de Oued Lahouar (où il est possible de constater aussi un entrecroisement de terrasses), de Tarhazoute et de Tigguit en sont des exemples impressionnants. Il est possible que le bassin versant près d'Iguer-ou Boudar ait été trop petit, entraînant ici la superposition des sédiments récents. Mais également dans ce profil, on voit clairement que les sédiments plus récents sont plus grossiers que les précédents. Particulièrement frappant est le cas près de Tarhazoute où le Rharbien ancien n'est représenté que par des sédiments fins superposés (bien que beaucoup de matériel grossier soit présent); le Rharbien moyen par contre est représenté par du matériel très grossier, en partie par des gros blocs, ressemblant à peine au matériel

² De même, il se peut que la formation du sol rouge du Rharbien tardif ait débuté par un sol humifère. Il n'est donc pas exclu que des sols humifères locaux de cette époque aient été conservés là où une sédimentation précoce s'installait. Ce cas est évoqué par un sol humifère (avec un horizon B rougeâtre) près de Tarhazoute. On obtient également un sol rouge complet à un autre endroit près de Tarhazoute -voir croquis.

³ La couleur verte prépondérante du matériel fin tient à son origine (marnes vertes environnantes). Les innombrables inclusions noires sont les premiers stades successifs courts de sols humifères humides, dont la plupart se sont développés en peu d'années; alors que pour les plus épais d'entre eux, plusieurs dizaines d'années devaient être nécessaires à leur formation (seuls ces derniers sont représentés).

Soltanien. Des observations semblables ont pu être faites près de Tigguit; du charbon de bois a été daté dans ces deux ensembles de matériel grossier cependant les deux dates de ^{14}C différaient de 1500 ans: Tarhazoute 6295 ± 180 ans, Tigguit 4375 ± 145 ans. Dans ces deux localités, cette terrasse de matériel grossier se termine par une formation de sol; près de Tigguit n'existent plus que des lamelles calcaires de la croûte calcaire KI (comp. Sabelberg 1978), près de Tarhazoute existe aussi, associé à des désassimilations calcaires un chernozem assez épais. Finalement une terrasse de l'Holocène moyen, contenant des éléments de matériel grossier se termine près de l'Oued Lahouar par une série de trois chernozems dont celui du dessus possède un horizon C_{ca} évident. Une des couches entre les chernozems contient de charbon de bois daté au ^{14}C : 3715 ± 115 ans.

Un grand nombre de profils avec des échantillons datés contient des indices sur la proximité du rivage pendant l'holocène moyen comme cela a déjà été évoqué; on trouve ainsi dans des sédiments terrestres du profil de Lalla Aïcha, des moules (7380 ± 120) à côté du charbon de bois (5875 ± 175). Ceci, aussi près Tarhazoute où seul le charbon de bois a été daté (6295 ± 180). Au phare Cap Rhir les sédiments fins du Rharbien ancien se terminent aussi par un épais chernozem. Celui-ci est recouvert par un ensemble de dunes côtières épais de plus de 8m, également surmonté par un chernozem (décapé à des endroits exposés) avec des désassimilations calcaires (conduits calcaires apparents associés à des lamelles calcaires isolées = KI). Dans la partie basale de ces dunes se trouvent des Kjökkenmöddinger; le charbon de bois correspondant a été daté de 4835 ± 125 ans. Un échantillon de Sabelberg (1978) prélevé dans une position semblable au Jorf el Yhoudi a donné 5075 ± 80 ans. Des sables côtiers holocènes de Majorque ont également été datés. La fraction humique de la base du sol encore existant (sans horizon C_{ca}), situé au-dessus de l'ensemble sableux inférieur a donné au ^{14}C un âge de 4220 ± 115 ans. Les vieilles terrasses de l'Holocène moyen de Tarhazoute (OMZ) et de Oued Lahouar (terr. 1) déjà évoquées étaient certainement formées avant l'un des apogées de la transgression holocène, puisqu'elles sont entaillées par une falaise dont il n'est pas possible de connaître l'âge précis. Dans la région de l'embouchure de l'Oued Lahouar il existe par ailleurs un ensemble dunaire récent.

A Majorque (Colonia de Son Serra) on a aussi daté des sables côtiers plus récents: Le deuxième ensemble sableux se termine par une pararendzine (3) comprenant un horizon C_{ca} formé de lamelles calcaires faiblement développées et de conduits calcaires. La datation de la fraction humique de ce sol a donné 2060 ± 115 ans. L'ensemble sableux suivant récent, n'est pas consolidé. Il se termine par un sol (pararendzine 4) qui ne possède plus qu'un horizon C_{ca} faiblement développé sous forme de minces conduits calcaires. L'âge de la fraction humique a été évalué à 1695 ± 130 ans. D'autres données au ^{14}C , concernant la même période, ont été obtenues à part de Kjökkenmöddinger d'un échantillon de Sabelberg (1978) pris au-dessus d'un chernozem assez répandu dans la région au nord de Cap Rhir (identique au chernozem du profil phare Cap Rhir situé sur les dunes côtières de l'Holocène moyen). On a également obtenu la valeur de 1995 ± 135 ans dans un endroit situé entre deux chernozems dans le profil Irhain Ouamda à l'est de Tamri. Les innombrables Kjökkenmöddinger répandus sur le littoral n'ont pu être déterminé mais ils sont cependant beaucoup plus récents, par exemple 650 ± 65 ans (Sabelberg 1978) ou 120 ± 120 ans. Cette dernière datation provient de Tamrakt, plus particulièrement de sables de plage sub-récents qui sont actuellement érodés le long d'une falaise. Ces formations de rivage sub-récentes bien réparties, par exemple sous forme de cordons littoraux dans la région du phare Cap Rhir, sont apparemment très récentes (quelques siècles au maximum) et ne peuvent plus être datées au ^{14}C , avec exactitude.

Avant la présentation des données du ^{14}C provenant des formations côtières ou dérivées nous avons parlé de la datation des accumulations fluviatiles du Pleistocène moyen dans le domaine fluviatile. Il n'a été possible de mettre en évidence une accumulation suffisante, allant du Rharbien moyen au Rharbien récent, que dans une localité, celle de Lalla Aïcha (au sud-ouest de Tamri). Il s'agit en fait de la "série vert-noir" déjà citée qui est formée de deux accumulations, dont la plus ancienne n'est conservée qu'en partie. Les dates 3365 ± 110 ans (au milieu du profil) et 2240 ± 85 ans B.P. proviennent de l'accumulation récente. Cette accumulation de matériel fin s'est achevée il y a à peu près 2000 ans par un recouvrement de matériel grossier, puis a été incisée.

Dans plusieurs terrasses étagées, apparaissent deux terrasses inférieures. D'après les datations disponibles actuellement, en provenance de l'Oued Lahouar près d'Agadir (terr. 2: $1. 50 \pm 140$, 2. 50% de matériel ^{14}C modifié, terr.3: 370 ± 100), ces deux terrasses sont extrêmement récentes et se situent dans la période des 300 dernières années où il n'est plus possible de procéder, à l'aide du ^{14}C , pour une différenciation d'âge supplémentaire. A l'aide d'échantillons, prélevés dans deux localités, il est aussi possible de dater des terrasses Gully. Près de Ihandarene à l'est de Sidi Ifni, on a daté une couverture d'éboulis (315 ± 100) qui est plus ancienne que les deux terrasses Gully. Il en est de même du le profil Irhain Ouamda à l'est de Tamri où du charbon de bois provenant de l'avant dernier ensemble alluvionnaire a pu être daté de 840 ± 70 ans. Dans le même cas se trouve une couche sub-récente située dans un taillis clairsemé de chêne rouvre près de Fiñana sur le piedmont de la Sierra Nevada (altitude 1350 - 1500m) dans le sud-est de l'Espagne; il a été partiellement comblé par une phase d'accumulation supplémentaire. La plus récente couverture d'éboulis de versant formée antérieurement et dont l'épaisseur atteint 25 cm dans la localité a été datée de 190 ± 120 ans, dans une autre localité on a obtenu la valeur de 1695 ± 75 ans B.P. pour une couverture épaisse de 90 cm. Il est possible que dans les deux localités l'accumulation d'éboulis ait débuté à deux époques différentes. Les terrasses les plus récentes de beaucoup de systèmes fluviaux contiennent, en abondance, du matériel pouvant être daté. Pour l'instant nous avons renoncé à faire d'autres déterminations au ^{14}C étant donné que tous les échantillons ont donné d'un commun accord des valeurs d'âge très récentes au ^{14}C . En plus, les observations de terrain ont montré qu'il n'y a pas de grande différence d'âge entre les terrasses inférieures et les remparts côtiers sub-récents, pour lesquels on dispose également, comme nous l'avons déjà mentionné, d'une datation au ^{14}C récente (120 ± 120 ans), de façon qu'il n'était plus nécessaire, pour ce groupe de sédiments sableux, de procéder à d'autres datations.

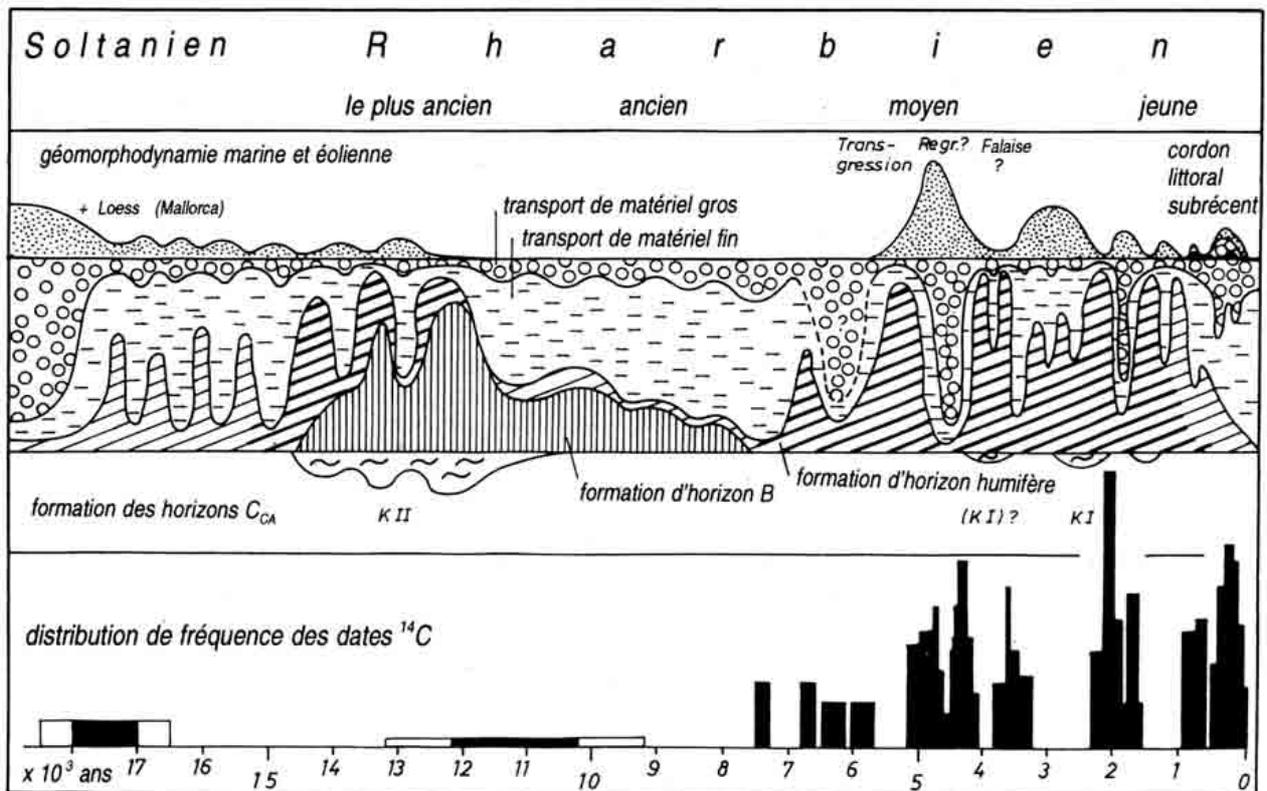


Fig. 2

3. Resultats (fig. 2)

Les données du ^{14}C du Maroc et de l'Espagne rassemblées par moi-même, par Sabelberg (1978) et par Fölster & Gaouar (1975) sont résumées dans la fig. 2. Nous avons appliqué la procédure de Geyh (1969) avec laquelle les données du ^{14}C sont représentées par des surfaces semblables compte tenu de l'écart par rapport à la moyenne (probabilité 68%). D'autre part nous avons essayé, à l'aide d'autres découvertes du terrain dont nous ne parlerons pas d'interpréter les profils déjà datés de façon que la signification variable de la pédogenèse (enrichissement en humus, formation d'horizons B) et de la géomorpho-dynamique fluviale (déplacement de matériel fin, transport de matériel grossier) puisse être représentée. Cette façon de représentation permet en même temps d'avoir une vue d'ensemble sur les processus dans les différentes situations: celles des lits de fleuves avec un transport de matériel grossier constant sont représentées dans la partie supérieure du diagramme fig. 2; les stations par contre avec une géomorphodynamique très faible et une pédogenèse dominante dans les régions plus humides sont représentées dans la partie inférieure. Bien entendu, cette interprétation ne peut pas, en rapport avec les données disponibles, être plus exacte que la valeur de base. Pour atteindre une probabilité de présence de 95,5% la représentation des valeurs ^{14}C aurait dû résulter d'un double calcul d'écart par rapport à la moyenne.

A titre d'essai, cela a été réalisé pour les deux données qui encadrent dans sa partie supérieure et inférieure, le sol rouge du Rharbien tardif (175009 ± 465 ; $11200 \pm 1090-960$). Comme on a aussi essayé de représenter tous les détails des profils relevés sur le terrain, il faut, lors d'une révision ultérieure, s'attendre à avoir des déviations qui affecteront surtout la partie ancienne.

Le croquis interprétatif a été réalisé avec des observations de l'Espagne et du Maroc. Le texte ne fera pas mention des quelques différences régionales importantes entre des régions semi-humides et semi-arides. La formation d'horizons C_{ca} et la géomorphodynamique marine et éolienne sur le littoral sont représentées dans ce croquis dans des parties séparées. Comme le Rharbien était au centre des recherches et que les données de base du Soltanien sont encore très incertaines, celui-ci n'a pas été représenté de façon plus précise. Nous nous référerons à l'interprétation de profils marocains faite par Sabelberg (1977, 1978). Pour cette raison il n'y aura pas d'autre commentaire à propos de la très importante question au sujet d'un niveau marin élevé durant le Würm, bien que les profils Il Outia, situé 6-7.5 km au nord de Cap Rhir (Rohdenburg & Sabelberg 1973, 130, Sabelberg 1978) et éventuellement Plajola /Majorque en donnent des indications nettes. Le Soltanien le plus récent est caractérisé par une forte activité fluviale intermittente et sur le littoral par une activité éolienne suivie d'un épandage de sables marins (de la présumée transgression du Würm moyen). La formation du sol rouge le plus récent est précédée d'un épisode de forte accumulation de sédiments fins et de plusieurs brèves interruptions avec formation des sols humifères.

De même la formation de sol rouge commence par une accumulation dominante d'humus; en plus cette formation est interrompue par un dépôt de sédiments fins, et par endroits, par une accumulation de sable éolien. Sur le littoral au nord d'Agadir il y a plusieurs sols rouges dont les plus récents sont formés de matériel fin rouge, c'est-à-dire de matériel d'érosion provenant de sols formés précédemment. Là, où les sédiments de transitions sont plus épais on peut aussi constater une dissociation de la croûte calcaire KII qui est d'habitude homogène. Ainsi en est-il par exemple dans le profil Purroig/Ibiza où un essai de datation n'a pu donner de résultats à cause d'une teneur trop faible en C. Pendant la période de formation de ce sol rouge la végétation a dû être très dense et l'humidité, plus importante qu'actuellement, surtout dans les régions sèches. On a retrouvé des restes de ce sol rouge en particulier dans les régions du Maroc, actuellement désertiques, avec des précipitations annuelles <50 mm; ainsi que dans la partie septentrionale de l'avant pays du Hoggar (Rohdenburg 1977). Il semble que la formation de sols rouges sur les dunes ogoliennes du Sahel (Michel 1973) et la période particulièrement humide de pédogenèse entraînant la formation des croûtes ferrugineuses ont eu lieu pendant cette même période.

Dans les régions arides et semi-arides on assista très tôt déjà sous un climat humide mais à tendance sèche à un éclaircissement de la végétation auparavant dense. Le transport de matériel grossier par les fleuves, très faible lors de la période de pédogenèse du Rharbien le plus ancien, augmenta peu d'intensité;

pendant les surfaces à activité partielle avec un déplacement de matériel fin se multipliaient. Le sol rouge a été découpé sur une grande étendue jusqu'à l'horizon C_{ca} à croûte calcaire. L'accumulation de matériel fin s'est restreinte à des stations caractérisées par un engorgement important (parties plates en aval des fleuves, rétrécissement de vallée, travertins etc.). A ces endroits, les sédiments fins du Rharbien ancien peuvent atteindre jusqu'à 30 m d'épaisseur (Mensching, Andres, Rohdenburg 1977). La structure du sédiment où sont inclus des horizons d'humus, des calcaires travertins ainsi qu'une abondante faune d'escargots indiquent un dépôt sous végétation dense. Ces sédiments sont souvent considérés comme indicateurs de climat plus humide. Ceci est certainement vrai pour les régions actuellement désertiques. Lorsque ces sédiments sont présents dans des régions actuellement forestières (forêt d'Argania au nord d'Agadir), il faut tenir compte avant tout du fait que sur les versants, à cause d'une protection insuffisante par la végétation, beaucoup de matériel fin a été enlevé et que la période a été beaucoup plus humide. Comme dit, ceci est aussi valable pour les régions actuellement désertiques. Là, les restes de sol rouge ne sont souvent conservés que localement; la croûte calcaire qui en fait partie, est par endroits plus faiblement développée que dans les régions semi-arides, ou se présente sous un faciès différent. Dans les stations à accumulation tardive de sédiments fins donc au pied du versant - ou au fond de la vallée il y a un important enrichissement latéral de calcaire dû au flux d'eau sur le versant, avec formation d'un ensemble fortement cimenté, plus particulièrement dans des situations proches de la nappe phréatique. Souvent ces dures cémentations calcaires ne sont pas encore mises en parallèle avec des sols surversants pouvant fournir ce calcaire. Et il existe toujours des auteurs qui spécifient que les accumulations calcaires sont indicatrices de climat aride. A cause de tout cela les périodes humides des régions actuellement désertiques passent souvent inaperçues ou sont à tort considérées comme des périodes sèches. L'éclaircissement de la végétation et le départ de matériel fin n'ont certainement pas affectés de la même façon toutes les stations; surtout pas dans les régions semi-humides du Maroc du nord et de l'Espagne. Là, la pédogenèse des sols rouges s'est poursuivie à maintes reprises.

Le Rharbien moyen est une période climatique très variée. Parfois il y a une ou plusieurs phases de morphodynamique fluviale intense: découpage du sol rouge également dans les régions semi-humides, formations de dépôt de pente, exportation des sédiments fins du Rharbien ancien, recouvrement des terrasses fluviales par un cailloutis grossier. Les données au ^{14}C des profils Oued Lahouar, Tigguit ainsi qu'un échantillon de Sabelberg (échantillon d'escargot USM 72/526, 4305 ± 135) et deux déterminations de Fölster & Gaouar 1975 (4480 ± 265 , 4810 ± 175) ont indiqué l'existence d'une phase de morphodynamique intense il y a 4200 ans. Le problème reste posé, de savoir si les données au ^{14}C de Tarhazoute (6295 ± 180) et de Lalla Aïcha (5875 ± 175 respectivement 7380 ± 120) plus anciennes, proviennent de la même phase d'activité, comme il a été présumé d'après les relevés de terrain. Il faudrait vérifier si l'un des deux groupes de données mentionnés indiquerait des valeurs élevées ou faibles. En tous cas, la datation en parallèle avec les coquillages indique un âge trop ancien (7380 ± 120). Mais les autres données (5875 ± 175 , 6295 ± 180) toutes les deux associées aux Kjökkenmöddingers, donnent aussi des valeurs d'âge très élevées pour la transgression marine Holocène et pourraient de ce fait être considérées comme des datations source d'erreur. D'un autre côté il ne faut pas exclure la possibilité que ces données représentent une première phase d'activité intense. Les épandages de cailloutis parfois assez épais, constatés par Sabelberg dans la partie supérieure du Rharbien, constituent un bon parallèle. D'un autre côté, le Rharbien moyen comporte plusieurs phases de stabilité avec une intense pédogenèse, d'abord avant 4800 - 5100 et après 4200. La végétation a dû être beaucoup plus dense que dans le Rharbien ancien à l'époque de l'accumulation de sédiments fins; ces chernozems indiquent par leur répartition dans les régions désertiques actuelles (Zagora, avant pays du Hoggar; voir Rohdenburg 1977) une humidité plus importante. Ceci est confirmé par le fait que dans le sud du Maroc, le toit de la nappe phréatique était situé en partie plus haut qu'actuellement.

Finalement on peut dire, qu'en plus, le Rharbien moyen correspond au premier paroxysme de la transgression marine holocène. Les dunes côtières parfois très hautes, plus récentes que 4800 ans indiquent peut-être une première régression et par là, la possibilité d'une accumulation sableuse sur le littoral (Rohdenburg & Sabelberg 1973, Kelletat 1975). Il faut aussi remarquer une coïncidence avec la

phase d'activité morphodynamique, sous végétation réduite et aridité édaphique, apparue avant 4200. Une aridité édaphique plus forte semble être pour la formation d'autres ensembles sableux, une supposition aussi importante que l'apport de sable sur le littoral. La "série vert-noir", déjà plusieurs fois citée, dépose du matériel fin entre 4000 et 2000 ans, durant une période qui est d'ordinaire caractérisée par une pédogenèse prédominante. C'est là aussi qu'il faut certainement situer la formation nette d'horizons C_{Ca} sous forme de croûte lamellaires peu développées et de gros conduits calcaires (croûte KI). Les observations de Sabelberg (1978) ont permis de mettre en évidence une pédogenèse plus ancienne avec enrichissement en calcaire. Dans le sud du Maroc, ces sols sont toujours des chernozems, alors que dans le sud de l'Espagne et plus encore en Catalogne se formèrent aussi des sols avec un horizon B brun-rougeâtre. Peu après 2000 ans il y eut à nouveau une activité géomorphodynamique avec incision des fleuves, alluvionnement etc. Les sols, au Maroc du sud, formés ultérieurement présentent aussi des caractères de chernozem, en Espagne du sud-est on a constaté la formation d'un faible horizon B par migration d'argile, ainsi qu'un blanchissement superficiel (horizon A1).

Durant les derniers 1000 ans et de façon un peu plus importante depuis 500 ans, l'intensité de la pédogenèse a diminué de façon importante, suite à la dégradation anthropogène de la végétation. Comme du point de vue du climat, on se trouve potentiellement dans une période de pédogenèse, il n'y a pas eu de déplacement de matériel grossier lié à l'éclaircissement de la végétation mais un départ de matériel fin sur les versants. Ce n'est que de façon sporadique et dans une faible mesure, que du matériel grossier a pu être transporté. Les terrasses sub-récentes se sont développées lors de ces phases.

Références

- Andres, W. (1972): Beobachtungen zur jungquartären Formungsdynamik am Südrand des Anti-Atlas (Marokko). *Zeitschr. f. Geomorph.* Suppl.-bd. 14, 66-80.
- Baudet, G., Maurer, G. & Ruellan, A. (1967): Le quaternaire marocain - observations et hypothèses nouvelles. *Rev. de Géogr. Phys. et de Géol. Dyn.*, Vol. IX, 269 -310.
- Baudet, G., Michel, P., Nahon, D., Oliva, P., Riser, J. & Ruellan, A. (1976): Formes, formations superficielles et variations climatiques récentes du Sahara occidental. *Rev. de Géogr. Phys. et de Géol. Dyn.*, Vol. XVIII, 157 -174.
- Bos, R.H.G. (1971): Quaternary Evolution of a montaneous Area in N.W. Tunisia - a geomorphological and pedological Analysis. *Publ. Fys.-Geogr. Bodemkd. Lab. Univ. Amsterdam* 19, 167 p.
- Brosche, K.U. & Molle, H.G., (1975): Morphologische Untersuchungen im nordöstlichen Matmata-Vorland (nördliche Djeffara, Südtunesien). *Eiszeitalter u. Gegenwart* 26, 218 - 240. Öhringen.
- Brosche, K.U. & Walther, M., (1977): Geomorphologische und bodengeographische Analyse holozäner, jung- und mittelpleistozäner Sedimente und Böden in Spanien und Südfrankreich. *Catena*, 3, 311 - 342. Giessen.
- Brunnacker, K. (1974): Löss und Paläoböden der letzten Kaltzeit im mediterranen Raum. *Eiszeitalter u. Gegenwart*, 25, 62 - 95. Öhringen.
- Butler, E. (1959): Periodic phenomena in landscapes as a basis for soil studies. *C.S.I.R.O. Aust. Soil Publ.* no 14.
- Diester-Haass, L. (1976): Late Quaternary Climatic Variations in North West Africa Deduced from East Atlantic Sediment Cores. *Quaternary Research* 6, 299 - 314. New York/London.
- Fölster, H. (1969): Slope Development in SW-Nigeria during Late Pleistocene and Holocene. *Giessener Geogr. Schr.* 20, 3 - 56, Giessen 1969 (= Göttinger Bodenkundl. Ber. 10).
- Fölster, H. (1971): Ferrallitische Böden aus sauren metamorphen Gesteinen in den feuchten und wechselfeuchten Tropen Afrikas. *Göttinger Bodenkundl. Ber.* 20, 231 p.
- Fölster, H. & Gaouar, A. (1975): Observations on holocene soil formation and morphodynamic activity in non-calcareous regions of the Iberian Peninsula. *Catena*, 2, 365 - 384. Giessen.

- Gaouar, A.** (1976): Fersiallitische Bodenrelikte des Iberischen Kristallins. *Göttinger Bodenkundl. Ber.* 42, 126 p.
- Geyh M.A.** (1969): Versuch einer chronologischen Gliederung des marinen Holozäns an der Nordseeküste mit Hilfe der statistischen Auswertung von ^{14}C -Daten. *Z. deutsch. geol. Ges.* 118, 351-360.
- Geyh, M.A.** (1971): Die Anwendung der ^{14}C -Methode. *Clausthaler Tekton. Hefte*, 11, 118 p.
- Geyh, M.A. & Jäckel, D.** (1974): Spätpleistozäne und holozäne Klimageschichte der Sahara aufgrund zugänglicher ^{14}C -Daten. *Z. f. Geomorph. N.F.*, 18, 82 - 98. Berlin/Stuttgart.
- Kelletat, D.** (1975): Eine eustatische Kurve für das jüngere Holozän, konstruiert nach Zeugnissen früherer Meeresspiegelstände im östlichen Mittelmeergebiet. *N. Jb. Geol. Paläont., Mh.* 6, 360 - 374.
- Mensching, H.** (1955): Das Quartär in den Gebirgen Marokkos. *Pet. Geogr. Mitt., Erg.H.* 156, Gotha.
- Michel, P.** (1973): Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude Géomorphologique. *Mém. O.R.S.T.O.M.* no. 63, 752 p.
- Pachur, H. J.** (1974): Geomorphologische Untersuchungen im Raum der Serir Tibesti (Zentralsahara). *Berliner Geogr. Abh.* 17, 62 p.
- Rognon, P.** (1967): Climatic influences on the African Hoggar during the Quaternary, based on geomorphologic observations. *Ann. of the Assoc. of American Geographers*, 57, 115 - 127.
- Rohdenburg, H.** (1969): Hangpedimentation und Klimawechsel als wichtigste Faktoren der Flächen- und Stufenbildung in den wechselfeuchten Tropen an Beispielen aus Westafrika, besonders aus dem Schichtstufenland Südost-Nigerias. *Giessener Geogr. Schr.* 20, 57 -152.
- Rohdenburg, H.** (1970): Hangpedimentation und Klimawechsel als wichtigste Faktoren der Flächen- und Stufenbildung in den wechselfeuchten Tropen. *Zeitschrift f. Geomorph. N.F.* 14, 58 - 78.
- Rohdenburg, H.** (1971): *Einführung in die klimagenetische Geomorphologie.* Giessen (Lenz-Verlag), 350 p.
- Rohdenburg, H. & Sabelberg, U.** (1973): Quartäre Klimazyklen im westlichen Mediterrangebiet und ihre Auswirkungen auf die Relief- und Bodenentwicklung. *Catena*, 1, 71 - 179. Giessen.
- Rohdenburg, H.** (1977): Beispiele für holozäne Flächenbildung in Nord- und Westafrika. *Catena*, 4, 65 - 109. Giessen.
- Rust, U. & Wieneke, F.** (1976): Geomorphologie der küstennahen Zentralen Namib (Südwestafrika). *Münchner Geogr. Abh.* 19, 74 p.
- Sabelberg, U.** (1977): The stratigraphic record of late quaternary accumulation series in South West Morocco and its consequences concerning the pluvial hypothesis. *Catena*, 4, 209 - 214. Giessen
- Sabelberg, U.** (1978): Jungquartäre Relief- und Bodenentwicklung im Küstenbereich Südwestmarokkos. *Landschaftsgenese und Landschaftsökologie* 1, 171 p. Braunschweig.
- Sabelberg, U. & Rohdenburg, H.** (1975): Stratigraphische Stellung und klimatisch-geoökologischer Aussagewert der Kalkkrusten in Spanien und Marokko. *Colloque "Types des crôutes calcaires et leur repartition régionale"* (ed. T. Vogt), 120 - 128, Strasbourg.
- Willkomm, H.** (1976): *Altersbestimmungen im Quartär.* München (Thiemig), 276 p.