

LES PROBLÈMES GEOLOGIQUES DE LA CUVETTE DE LUT.

Par A. Motamed:

Professeur à l'Université de Téhéran

Introduction:

La cuvette de Lut située au Sud-Est de l'Iran, comprise entre les longitudes 57 à 60° E et les latitudes 28 à 32° 3' N, forme une étendue de plus de 160000 Km². Fig. 1.

Cette cuvette est un grand désert chaud, à particularités morphologiques variées et frappantes et à structure géologique en blocs faillés, relativement simple à décrire, mais demandant un travail d'équipe de longue durée, dû surtout à son extension géographique et aux difficultés de parcours.

La cuvette a été sujette à une exploration récente par l'Institut Géographique de l'Université de Téhéran, sous la direction de Monsieur le Professeur Mostofi, qui dans le cadre d'étude des zones arides, a pris l'initiative grandiose d'explorer cette région désertique salée, sous ses aspects divers: géologique, géomorphologique, botanique, géographique économique, humaine et préhistorique; ce dernier a fait l'objet de brillantes découvertes d'art et de civilisation ancienne.

En effet, nos connaissances sur cette vaste étendue salée, étaient limitées aux rapports plutôt incomplets de quelques savants aventureux l'ayant parcourue à dos de chameau du Nord au Sud, sur un trajet déterminé, emprunté généralement par les "caravanes", et situé dans les bordures.

Franchir cette zone désertique salée, où les formes et les sculptures

étranges du centre. lui confèrent une surface presque lunaire; sans eau, sans paturage, vide de vie animale autant que végétale, "un désertum" *senso lato*, exigeait une mobilisation importante.

Les personnels de communication et de circulation qualifiés accompagnaient les équipes de recherches, qui comprenaient presque toutes les disciplines des sciences de la terre, de géographie et même d'hygiène.

Le Centre National de la Recherche Scientifique français a participé à cette étude et a collaboré avec l'Université de Téhéran.

Ainsi le voyage a eu lieu à pied, à chameau, en voiture, même en hélicoptère, et en avion; pour voir et parcourir ce grand océan de sable, de pierre, de poussière, de vent, monotone de couleur, dépourvu de toute végétation, sous un ciel souvent immobile et sous le regard impitoyable du soleil "Ce dieu cruel qui calcine la terre "(Th. Monod).

Cette vaste étendue est aussi souvent le champ de jeux du vent qui soulèvent les matériaux fins et meubles, arrachent les grains de sable, râpent les parois aux formes sculptées par le vent lui même, barrent et effacent les chemins des caravanes qui ne sont visibles que grâce à des piles des pierres, tous les deux ou trois cents mètres.

Nous verrons plus loin que la situation particulière des points de vue géologique et géomorphologique, accentue les caractères d'aridité de la cuvette du Lut et on peut penser avec Stratil Zauer qui a visité la bordure, que le pôle thermique du monde se trouve non seulement à la chaude "vallée de Mort" des U.S.A. mais au centre de la cuvette de Lut (Mostofi).

I) Situation géographique et climatique du Lut

Les chaînes hautes qui bordent les limites Est et Ouest individualisent la cuvette du Lut et mettent sa limite Sud du Lut à peu près au voisinage de la Zone Sub équatoriale.

La limite Sud du Lut est marquée aussi par une série de hautes montagnes

formées de roches volcaniques ou de complexe sedimento-volcanique, ou de tuf pyroclatique.

La limite nord est marquée par une vaste étendue d'épanchement volcanique.

La cuvette qui se rétrécit de plus en plus vers le sud, peut être divisée en trois parties: le Lut Nord, formé par ces épanchements volcaniques, le Lut Central et le Lut Méridional. ou Lut Zangui Ahmad.

Ces trois zones géographiques qui ont des caractères géomorphologiques différents, forment dans leur ensemble une cuvette géante où les pentes sont orientées vers le centre et forment le point le plus bas de la cuvette à une altitude de 210 m, tandis que le piedmont de Shahdad, situé à l'ouest est de 420 m, le piedmont oriental est de 1100 m, et le plateau du nord a une altitude de 600 à 700 m suivant les endroits. Ainsi la cuvette a une dissymétrie apparente qui influe sur le réseau hydrographique; les cours d'eaux, généralement en minces filets dispersés, se concentrent en contre bas de la pente principale du piedmont pour former des ravines plus importantes dirigées vers le sud ou vers le nord, pour se perdre ensuite dans la zone centrale.

Le manque de stations météorologiques, donc l'absence de données systématiques, nous oblige à recourir à des méthodes rudimentaires, telles que les observations des passagers et les mémoires des indigènes pour déduire enfin, suivant la circonstance, un état climatique quelque peu précaire pour l'ensemble du Lut.

En effet, le Lut situé entre les latitudes proches de l'équateur, présente la localisation de conditions désertiques d'ordre planétaire où un climat continental vigoureux dit de "Center asiatique" règne. Les barrières montagneuses de presque tous les côtés de cette cuvette, empêchent la pénétration de l'humidité des régions voisines et offre un développement particulièrement

démonstratif de l'aridité dans la zone central qui a tendance à un gain de désert vers les bordures et vers les basses altitudes. C'est le cas de tous les deserts qui sont situés dans la latitude dite de "Horse Latitude" des américains.

Le milieu climatique du Lut est donc caractérisé par la pauvreté des précipitations, par une sécheresse accrue, par une agitation presque continue de l'air et par une amplitude thermique assez importante.

Malgré le manque de données, on peut toujours se rendre compte de l'irrégularité des précipitations, même dans la bordure; irrégularité dans la forme et dans la périodicité, marquée par un ravinement intense, des vallées desséchées et suspendues et des terrasses perchées et emboîtées, des rigoles qui envahissent presque toute la surface de Lut;

La conséquence de la rareté des pluies intervient dans la sécheresse accrue de l'atmosphère; une évaporation intense conduit les eaux de la nappe phréatique à la surface, par effet de capillarité et par succion.

L'eau salée, monte par capillarité, s'évapore vite et les sels se déposent à la surface ou entre les grains; c'est une raison de la salinité accrue qui tend à envahir les bordures même du Lut; ces sels forment des efflorescences salinées dans les régions basses ou à faible pente faisant évoluer les sols vers le "Solontchak" terme russe pour désigner les sols où le complexe absorbant est saturé de sel et où il y a un excès de sel dans l'ensemble de la terre; la rendant presque irrémédiablement impropre à l'agriculture à l'état actuel des choses.

L'encroutement gypso-salifère rend la surface du sol particulièrement solide qui résiste même au coup de marteau; cet encroutement, dans les régions déprimées ou dans les passages des oueds, forme des boursouffures de sel sodique ou de gypse, en polygones plus ou moins réguliers.

La sécheresse est accentuée par une température moyenne élevée; nous

savons que le rapport entre ces deux facteurs climatiques, précipitation et température, sert à désigner l'état climatique de la région.

Notamment l'indice d'aridité de Hartman désigné par la formule suivante:

$$\frac{P}{T+10}$$

P = Somme des précipitations annuelles

T = Température moyenne annuelle

serait presque de 8 à 9 pour Téhéran (Précipitation annuelle 210 mm et température moyenne 12 à 13 degrés) mais moins de 1 pour les régions du centre Lut; notons que l'Arizona aux U.S.A. a un indice de 1 à 3 et pour avoir un ordre de grandeur notre équipe de recherche dans le Lut, avait noté en fin novembre une température de 36° à l'ombre; la nuit tombait à 2 degrés au même endroit.

Stratil Zauer note une température de 53° dans la bordure en été. Ceci nous fait comprendre la grande valeur de l'amplitude thermique qui règne dans le désert;

La conséquence d'un tel climat est claire, le Lut ne peut supporter une population intense; la végétation est pauvre en espèce et disséminée près des nappes d'eau salée, où quelques espèces résistantes à la salinité se trouvent clairsemées: les espèces qui ont pu s'adapter en transformant leurs feuilles en aiguilles ou à longues tiges qui puisent l'eau des profondeurs de la terre.

On peut très bien se rendre compte d'une rupture de l'équilibre biologique dans le désert de Lut, au profit d'un gain de conditions désertiques. Mais quelle en est la cause? C'est là la différence de point de vue des géologues et des biologistes; ces derniers attribuent cette rupture et ce déséquilibre à un surpâturage, et à l'effet désavantageux de sélection naturelle dans la

culture pratiquée par l'homme. Mais nous verrons que la désertification du Lut a une cause plus importante, une cause géologique qui a joué à travers le temps, en maintenant la vie de nomade et sédentaire des habitants de Lut. Car les mouvements tectoniques qui ont affecté même les sédiments récents, et l'érosion spectaculaire qui survint après chaque mouvement et qui renouvelle la surface de la terre pour effacer la moindre trace du "sol", et enfin l'exhaussement de la bordure qui isole l'intérieur du Lut, en sont les causes géologiques principales auxquelles s'ajoute un substratum gypse-salifère naturellement stéril.

LA GEOLOGIE ET LE GEOMORPHOLOGIE DE LUT

I. Considération géologique générale: structure en bloc de Lut

Les particularités géologiques et géomorphologiques de Lut ne peuvent se comprendre que si nous plaçons cette vaste zone, située aux S.E. de l'Iran, dans le contexte général du pays ou même dans la forme globale du plateau Iranien et de l'Asie de Sud Ouest.

Le plateau iranien présente des unités structurales qui individualisent au sein d'elles-mêmes des cuvettes et des surfaces déprimées à tendance désertiques.

Ces unités qui déterminent la structure tectonisée et générale du pays sont les suivantes:

1) La chaîne septentrionale, de direction presque E-O qui domine le nord de l'Iran et borde le Sud de la mer Caspienne, et relie les chaînes d'Asie Mineure aux montagnes d'Afghanistan et des Indes: caractérisée par un faciès de Tuf pyroclastique, surtout dans l'Elborz Méridional, transgressif sur les roches paléozoïque Mésozoïques, faillé et chevauché.

2) La chaîne Méridionale de Zagros, orientée N.O.-S.E. à caractère géosynclinal, sous forme des anticlinaux et synclinaux plus ou moins réguliers,

orientés dans la direction générale des chaînes, siège des pétroles de Sud d'Iran.

3) La chaîne de l'Iran Central; cette chaîne peut-être se considérer en deux séries:

a) Le complexe volcano-sédimentaire et métamorphique qui est orienté N.O.-S.E. et forme la limite Nord de la chaîne du Zagros; cette partie est marquée surtout par la présence d'un complexe dite de "Coloured Melange" et appelé le complexe Sirdjan Sanandadj par Service Géologique de l'Iran.

b) La chaîne de Kerman, Ravar sédimentaire, à structure de synclinal à Kerman; la partie septentrionale, a une direction générale de N.S. séparée par le bloc de Lut par des failles longitudinales longues de quelques centaines de Kilomètre et dans la partie méridionale prend une direction plus orientée vers E.NO. Cette chaîne qui contient dans la région de Kerman le grand bassin houiller d'Iran, fait suite au Nord, à la chaîne de Tabas.

4) La chaîne de l'Iran de l'Est, d'un style différent, orienté plutôt N.S., est formée de roches flyshoïde et longe la limite orientale du pays et raccorde les deux premières unités structurales dans leur limite vers l'Est. Elborz dans le Nord avancé quelque peu vers le N.E. à l'approche du bloc de Lut et la chaîne de l'Iran Central dans le Sud.

Ces unités tectoniques isolées à l'intérieur du plateau des cuvettes dont le Lut est un exemple.

Cette cuvette elle-même présente une unité structurale en blocs. En effet, l'allure des montagnes qui bordent cette cuvette, présente des cassures, des failles; donc la rupture nette avec la chaîne de Kerman et la chaîne de l'Est. Fig. 1

On peut aussi remarquer les déviations des chaînes du Zagros et de l'Elborz dans le Sud avec une avancée de la plateforme d'Arabie.

Cette forme donne l'idée, en accord avec Furon, que le Lut faisait le raccord entre les deux plateformes ou boucliers, celui d'Oural - Sibérie et

celui d'Arabie, et forme en lui-même un bloc au substratum volcanique, couvert par des sédiments Néogène et même récente, généralement horizontal, rarement plissé en bordure. Fig 2.

Pour nous permettre de mieux aborder le problème de la géologie de Lut, nous considérons les unités principales de Lut séparément et nous abordons successivement et brièvement;

- a) La géologie de la chaîne S.O (la chaîne de Kerman).
- b) La géologie de la partie Nord et N.O.
- c) La géologie de la chaîne orientale
- d) La géologie de Lut méridional et de piedmont oriental
- e) La géologie de piedmont occidental et,
- f) La géologie de l'intérieur de la cuvette.

Nous essayerons de présenter une synthèse de nos études sur l'origine de la forme actuelle de cette cuvette et les éléments environnant ce blocs à la fin de cet exposé.

a) La géologie de la chaîne de Sud - Ouest et de l'Ouest de Lut.

La chaîne de Kerman qui borde la cuvette de Lut dans sa partie S. contraste bien, par ses pics qui atteignent quelques milliers de mètres (les collines de Sirtches atteignant même 4000 m.) avec la cuvette de Lut; une série détritique fait le raccord entre ces deux unités morphologiques différentes.

La chaîne de Kerman, constitue un synclinorium de direction N.W.S.E. dans la partie méridionale vers Bam, et prend peu après la direction presque Nord-Sud dans sa partie septentrionale, près de Kerman, se reliant ensuite aux chaînes de Tabas et Nehbandan.

Le synclinal au N.O. de Kerman, renferme des couches à charbon exploitées à Babnizou, Apadana et Darreh Ghore; il est dissymétrique à la hauteur de Shahdad et Kerman.

La stratigraphie (brère)

Cette chaîne présente une concordance et une similitude entre les dépôts paléozoïques et les dépôts du début Mésozoïque; des discordances apparaissent dès le Dogger (jurassique moyen) et surtout au début de Crétacée.

Ces discordances montrent l'existence des mouvements amorcés en secondaire; ces mouvements ont eu comme effet de diminuer la profondeur de la mer et établir une condition paléotopographique favorable aux développements des forêts, et constituer ainsi la réserve du charbon, mais les phases d'abaissements font suite aux phases d'exhaussements surtout en jurassique; aussi en Dogger, nous assistons à une série rythmique où les couches de charbons se renouvellent plusieurs fois, accompagnées dans chaque cycle par les grès et les schistes; ceux qui pourraient déterminer l'annonce des mouvements précurseurs qui prennent une ampleur gigantesque au cénozoïque.

Le Paléozoïque

Les sédiments paléozoïques sont à dominance détritique comportant des conglomérats, de grès, de schiste et de calcaire, ou de calcaire dolomitique.

Il y a une influence nette des apports détritiques dans une mer peu profonde, de type cratonique où un faciès sidérolitique se développe vers le sommet, vers la fin du paléozoïque, au début de permian.

A la fin du permian, la sédimentation calcaire devient dominante, peut-être la fin de Hercynien est marquée par un faciès plus continental et la mer de fin de Permian est transgressive.

Le Trias

Il y a continuité de sédimentation calcaire, les bancs sont épais (1 à 2 mètres), massifs et rarement dolomités.

Le Jurassique

Les sédiments calcaires font suite à des sédiments détritiques, alternance de marnes, de grès et de schistes avec quelquefois de bancs de conglomérats, ceci montre le retrait par moment de la mer et l'amorce de premiers mouvements tectoniques; vers le milieu de jurassique, se sont déposés les grandes couches de charbon, montrant un rythme de sédimentation cyclique Fig No 3 et c'est avec calcaire Badamu (Emami S. - thèse) à grandes ammonites que la mer envahit de nouveau et recouvre les plages où les dinosaures étaient fréquents (rapport No. 23 du Service Géologique de l'Iran 1972).

A Goq, sur la route de Kerman-Shahdad, nous avons trouvé du calcaire à Blemnites massif dur qui surplombe les bancs de grès.

Le Crétacé

Le début du crétacé est marqué par l'amorce de mouvements tectoniques, et le retrait de la mer; donc l'absence des étages de fins jurassiques et le début de crétacé; puis une nouvelle transgression de la mer, dépose les sédiments calcaires, en discordance sur les sédiments sous jacents: cette discordance est beaucoup plus importante vers le Nord et le Nord-Ouest que vers le Sud-Est, c'est ce sédiment calcaire, exploité près de Kerman qui est en discordant sur les jurassiques, dont l'angle de discordance dépasse même 50° près de Darreh Ghor et à Pabedana; mais moins marqué vers le Sud-Est près de Kerman; à 10 km S.E. Kerman, sur la route de Mahan ce calcaire clair crétacé est exploité pour les travaux divers.

Description de 3 coupes:

1) Bolbloyeh

(Situé à 20 km S.E. de Kerman sur la route de Kerman-Mahan).

Le niveau le plus ancien présente des conglomérats à éléments arrondis, bien cimentés et endurcis.

Ce conglomérat est suivi par du grès, généralement rougeâtre, quelquefois quartzifère ou arkosique; on peut y trouver des silex, des roches siliceuses et dolomitiques.

Ce niveau dolomitisé pourrait être attribué, d'après Hucéride au Trias, sur lequel vient en concordance des schistes à nodules de fer, localement plissé et de calcaire, légèrement dolomitisé et de couleur sombre, suivi de couches de grès à intercalations schisteuses et quartzitiques.

Le calcaire de Badamu, qui contient des grands ammonites vient en surplombe.

Le jurassique ne contient pas des couches de charbon dans cette région mais vers le Nord-Ouest, les charbons apparaissent sous le calcaire de badamau, dans les grès et le schiste de jurassique.

Les couches de charbon exploitables sont de l'ordre de 4 à 6 dans les trois stations de synclinal de Kerman. (Fig 3).

2) **Sersio** près de Pabedana - Ravar (visite en compagnie de M. Shahrabi geologue de la compagnie Compagnie Nationale de Siderurgie de l'Iran

Le Permo-Trias est un grès sidérolitique intercalé de calcaire jaunâtre sur lequel s'est déposé les matériaux détritiques de conglomérat à éléments arrondis et à faciès peu profond voir même deltaïque. Les couches de charbon avec intercalation de grès et de schistes s'y répètent quatre fois.

Le calcaire de Badamu, qui est un faciès repère de la région, recouvre en concordance ces dépôts détritiques et continentaux.

Le crétacée calcaire, précédé d'éléments détritiques vient en discordance angulaire sur le jurassique.

3) **Au Sirtch**. Sur la partie N.E. de la chaîne de Kerman qui domine la cuvette de Lut avec une altitude de 4000 m.

Le Sirtch est situé à N.E. de Bolbouloyé, et borne le flanc N.E. de la chaîne de Kerman.

La série de Mésozaïque, chevauchée sur le Neogène par une faille de direction presque N.O.-S.E. (Nous reparlerons de la série Neogène qui fait le raccord de la chaîne et la cuvette proprement dite de Lut) commence par un schiste et grès sidérolithique, de Trias, puis la série détritique de jurassique, représentée par un schiste et un calcaire greseux à nodule de fer suit la série.

Ce schiste présente des plissements locaux juste au Nord du village montagneux de Sirtch et prend une épaisseur considérable avec quelque fois de faciès de boudinage et de Ripple Mark. Le csetacé est en discordant et on peut y déceler la trace des glaciers dans les haute vallées de sirtch (Dresh).

b) La géologie du Nord et du Nord Est de la cuvette de Lut.

Le Lut septentrional est marqué par l'abondance de volcanisme et des roches intrusives, provoquant un métamorphisme de plus en plus importante vers le Nord Est où le bloc de Lut se raccorde à la série flyschide de la chaîne orientale de l'Iran.

Le volcanisme récent est plus abondant vers le N.O. où les cratères ont percé les Néogène et les coulées basaltiques ou andésitiques, ont recouvert les sédiments Mio-Pliocène, ou se sont intercalés entre les niveaux détritiques plus récent.

Parmi ces manifestations volcaniques, notons celle de Gandom Briant, une surface basaltique de 400 m. d'altitude, formant un niveau d'érosion très marqué au Nord immédiat de Lut, près de Rudé Shour. Photo. no. 5

La coulée épaisse de 3 à 12 mètres, est un basalte poreux et diaclasé.

Dans l'ordre de montée vers le nord, deux cratères à lave moins basique, mais avec bombe et cendre apparaissent à une surface de 6 à 700 m,

Vers le Nord proprement dit, les dépôts Néogènes disparaissent et des chicots, des inselberg, des taches et des étendues recouvertes par des volcaniques prennent des aspects et des couleurs différentes.

Notons la montagne volcanique de Simorgh, de Kuhé bakhtan, de

Kalleh Zari; seul surgissent les éminences sédimentaires d'Abdollahi et Kuhé Sorkh avec le crétacé à orbitoline concava. Photo no 3,4

On peut à la première approximation penser à une différenciation magmatique dans le temps et dans l'espace.

En effet, les roches acides anciennes sont plus abondantes vers le Nord Est que vers le Nord Ouest, et les roches basiques sont plus abondantes dans le Nord Ouest que vers le Nord Est.

Vers le Nord Est, les intrusives sont plus abondantes. le Chah Kuh en est un exemple.

Le Chah Kuh est un massif granitique situé au N.E. de la cuvette de Lut qui a provoqué un métamorphisme de contact important sur les roches sédimentaires voisines.

Ce massif qui forme la montagne la plus élevée de Nord Est de Lut est un granite qui passe au diorète, au granodiorète, et même quelquefois en pegmatite. le massif est surmonté par le calcaire crétacé en partie métamorphisée.

Ce massif prend la suite vers le Sud, où quelques pointements, près de Tchah-Roui et encore le plus méridional vers le Kuhé Malek Mohammad presque au centre de Lut apparaissent accompagnés de Rhyolite et de Trachy-andésite.

De pointements des roches sédimentaires, presque inexistantes dans le Nord Ouest, deviennent plus abondantes vers le Nord Est. Notamment près de Deh Salm.

La montagne Abdollahi est un exemple curieux, surgissant au milieu des massifs ignés, où les dures barres calcaires de crétacée, de couleur clair forment une falaise importante qui surplombe les jurassiques schisto-greux et calcaire de couleur sombre ou verdâtre a Deh Salm, les roches sédimentaires sont plus ou moins influencées par le métamorphisme.

Le calcaire crétacé forme des éminences à Kuhe-Rigi, à Deh-Salm, où une métamorphose, peut-être due aux eaux hydrothermales l'a transformé, par endroits à un cornéen. ou Horn-Felse. Ces manifestations hydrothermales sont peut-être responsables de la concentration de quelques amas de cuivres, de plomb et de zinc qui étaient exploités par une technique rudimentaire et dont aujourd'hui nous trouvons le vestige de four et de scorie près de Deh Salm.

Deh Salm, qui est le premier village vers le Nord-Est, est séparé de la chaîne de l'Est par une série métamorphique à alternance de schiste, métamorphié de psammoschiste d'amphibolite et de quartzite.

Stocklin et ses collègues ont reconnu même deux séries métamorphiques de bas en haut; le métamorphisme devient plus important vers le sommet; ces roches métamorphiques, dûes peut-être à l'intrusion du massif de Chah-Kuh, sont très répandues sur la route difficilement carrossable de Gaode Neh à Deh-Salm-où des variations de couleurs sombre (dûes aux schistes) alternée aux couleurs blanches et claires de quartzite et de silicite sont visibles: l'âge de métamorphisme est considéré comme Trias. Donc les roches métamorphisées sont déposées antérieurement à cette époque.

Plus à l'Est, à Gaode Neh, et près de Tchahar-Farsak et Calleh Madan, nous avons trouvé la série schiste gréseux de jurassique et la calcaire de crétacée: ce calcaire se transforme en cornéen par les gaz minéralisateurs hydrothermaux qui ont engendré une concentration importante, mais très local de cuivre, en forme de chalcopryrite et chalcosine.

À l'OUEST de Goode Neh, le massif Chah-Kuh domine et procure des Arènes granitiques, enrichis en Mica et de cristaux blanchâtres de quartz et de Feldspath.

La surface étendue de Goode Neh, récemment approvisionnée en eaux des puits profonds, est une cuvette fermée limitée au Sud par des amas dunaires de l'Est de Lut.

Une pente orientée N.S. dirige les eaux de torrents vers les dunes, et la texture du sol, graviers à l'ébauche de la montagne devient caillouteux, recouvert par quelques plantes herbacées résistantes, et enfin se transforme en vaste étendue de sable limoneux, avant d'être recouvert par les dunes de sable du Lut Oriental.

c) La chaîne orientale

Au Nord de Goode Neh, à Maighan, nous voyons le contact de la série métamorphisée de Deh-Salm et le crétacé calcaire, avec les flyschs de la série de l'Iran orientale.

Ces facies généralement détritiques et quelque fois métamorphisés, varient de schiste, de grès, de conglomérat à élément volcanique basique, avec des intrusions volcaniques, allant de basique à ultra-basique.

L'influence de métamorphisme est moins importante vers le Sud depuis le Neh. La série commence par un grès calcaire, de tuf, de schiste multicolore, jaune grisâtre, verdâtre, et même rougeâtre, qui sont fortement plissés et quelquefois faillés avec des plis locaux généralement en genou, dont les plus typiques se trouvent sur la route de Zahédan à Zabol.

Des intrusions basiques et ultra-basiques confèrent à des séries post-crétacées de couleurs vives et variées qui a mérité le nom de "coloured mélange" dans la terminologie actuelle de géologie de l'Iran, mais plus vers le Sud, les séries prennent la forme de tuf et des schistes fortement plissés; sur la route Bam à Zahedan, la série de Tuf et de Schiste d'éocène, contient à leur cœur anticlinal, une intrusion volcanique de plus en plus basique vers l'Est à couleur rouge vif allant au vert clair, de texture grenue ou microgrenue ou avec de phénocristaux d'hornblende et d'épidote.

Des massifs andésitiques, à texture microdioritique se trouvent au Nord de la route de Bam-Zahedan, à l'Est de Nosrat-Abad, où les cristaux dorés

de pyrite en forme de cube ou les formes dérivées sont nombreuses et présentent une certaine analogie avec les mines de cuivre de Sartchehmeh.

Ces andesites sont fortement altérés et débités sous le coup de marteaux.

Sur la même route, près de Zahedan, on peut bien voir les intrusions granitiques qui sont coupées par les filons plus basiques; ces intrusions volcaniques ont métamorphisé légèrement à leur contact les tufs d'éocène, très épais, et en couches régulières et plissées près de Zahedan.

Nous avons noté quelque coupe type à l'Est du Lut, sur la côte occidentale de la chaîne et sur la route de Bam - Zahedan, où une importante série détritique de miocène repose sur les tufs eocène, ces séries rougeâtre aux éléments grossiers et arrondis ont une épaisseur considérable et présentent une phase d'érosion importante post-tectoniques.

d) La géologie de la bordure méridionale et le piedmont S.E.:

Le Lut est bordé au Sud par une chaîne volcanique, où les roches acides granite et diorite, sont en minoritaire par rapport aux roches basiques: gabbro et même dacite.

Ces intrusions volcaniques qui se manifestent aujourd'hui même par les fumées du Mont de Taftant à l'extrémité Sud de Lut sont de type très varié et le prolongement de l'activité affecte la partie Sud de Lut, la région de Bam et de Fahradj, où les roches grenues ou vitreuses généralement basique, forment des collines à l'intérieur des glacis emboîtés.

Ces massifs volcaniques à l'intérieur de Lut, notamment à Mazarab, Bam et à Fahradj, sont fortement altérés, et généralement recimentés par les produits solubles de leur altération, quelquefois on peut y observer le phénomène de desquamation.

Le calcaire et le gypse et même le sel sodique remplissent les fissures de ces roches.

A l'Ouest de Nosrat Abad, sur la route de Bam - Zahedan, à Fahradj

les intrusions volcanique montrent dans les plaques minces, une abondance des minéraux ferro-magnésiens, notamment de pyroxènes; Les plagioclases ont une forme longue, en aiguilles.

A l'Est de Nosrat Abad, près de Zahedan, se trouvent quelques intrusions acides; généralement granitiques ou grano-dioritiques, de couleur claire et de texture grenue.

L'observation en lumière polarisée des plaques minces, taillées dans les roches granitiques, montre l'existence des plagioclases à caractère Zoné, avec les labradors et les albites. Au Nord de Nasrat Abad, sur la route de Nakhilo; la masse noire du monticule de Siahdack est une andésite à texture microlitique.

Nous avons noté sur la bordure S.E. de Lut, des sédiments détriques post-Miocène, à l'intercalation des conglomérats et des sables, plissés, ou même en plis coniques allongés le long d'une faille de gravité, et tronqués par cette même faille.

Nous montrons la Carte de ces collines qui a fait l'objet d'une étude séparée. Fig 4.

e) La géologie de Piedmont S.O.

La région de Shahdad à Kechite.

Entre les hautes chaînes de Kerman et la cuvette du Lut proprement dite, s'est intercalée une zone fortement plissée et faillée, à alternance irrégulières de conglomérats, de sables et même de siltes, qui débute par une couche gypseuse. Photo: 1

Cette zone de connection présente la zone de transition, non seulement par sa morphologie de piedmont, mais aussi par changement graduel de l'intensité de tectonique des bancs fortement redressés au Sud à des couches de plus en plus subhorizontal, faisant la suite à des couches presque horizontals de l'intérieur du Lut. Fig 6.

La taille des grains diminue aussi graduellement et devient de plus en plus fin vers la cuvette, bien que dans le temps nous voyons aussi variations importantes de taille de grain, dû certainement à des variations climatiques saisonnières ou bien comme nous avons supposé, Voir la conclusion une avance de mouvements tectoniques post Eocène, qui sont effectués surtout sur la bordure S.O. de Lut.

L'épaisse série détritique qui longe la montagne orientée SE. NO. atteint son maximum d'épaisseur dans la région de Shahdad, où les failles, les cassures et les flexures deviennent de plus en plus nombreuses, une grande falaise le sépare de la cuvette par intermédiaire d'une plaine en glacis, ravinée par les oueds. Fig 5.

les multiples variations de tailles, de directions, d'épaisseurs, de compositions de conglomérats et de sables, compliquent la chronologie des dépôts; nous avons présenté en 1970 une première synthèse simplifiée de cette bordure occidentale de Lut. Revue no 7:

G & J Conrad ont fait une étude systématique de la bordure de Lut au cours de l'année 70 (C.R.S. A.S.P. 1970 T 270 p. 1421 - 23).

Ils ont considéré 7' même 8' séries qui se succèdent.

A notre avis, compte tenu de la variation et des changements latéraux des dépôts qui peuvent intervenir au cours d'une même période de sédimentation, les nombres de série sont limités à 4 ou 5 y compris les dépôts récents, remplissant les dépressions en formant des glacis autour des pentes.

Ces 4 dépôts pourraient être attribuer aux 4 phases des mouvements orogéniques qui ont affectés les bordures après la surrection principale de la chaîne lors de Paléocène. Fig 6.

C'est ainsi que nous avons distingué la série de Hachtadan comme suit :

1) La fin de Paléocène est marquée par la surrection de la chaîne

principale et par volcanism important; la bordure occidentale de Lut, étant à l'état d'une lagune, ou d'un aspect deltaïque de Lut; La cuvette actuelle de Lut étant plus élevée par rapport aux chaînes bordières lors de Paléocène, où même la forme actuelle de la cuvette n'était pas atteinte.

2) En Oligo-Miocène, une importante phase de surélévation de la chaîne principale, produit la série épaisse de conglomérat, qui se dépose sur les gypses; la fin de la série est marquée par les sédiments plus fins, sableux surtout en bordure, Vers le Hachtadan, (nom d'une localité sur la bordure S.O. de Lut, sur la route de Shahdad).

3) La phase tectonique posthum, affecte le conglomérat; les plis se forment, mais l'allure est plus atténuée vers le N.E., où l'amplitude est grande. Par opposition au N.O. les mouvements tectoniques semblent plus accentués et les terrains sont fortement affectés par des cassures et des failles diverses. Fig 6.

4) Une nouvelle phase d'érosion, marquée par des effondrements, des failles et des cassures moins importantes, provoque la propagation de nouveaux conglomérats soit sur les surfaces d'érosion d'ancien dépôt détritique.

5) Une phase récente de "surélévation de la bordure" généralisée dans l'ensemble de Lut, a provoqué des failles de bordure; Fig. 5

Cette phase de "Surélévation de la bordure" est surtout marquée par l'existence des failles de gravité, qui s'est reproduit le long des flancs des anticlinaux qui dominent la cuvette: par exemple, le flanc N. NE des anticlinaux le long de piedmont S.O., de Kechite à Shahdad, le long des flancs N.O. des anticlinaux de chaîne de Mezarac à Kahorak, sur la (Fig 4) route de Bam à Zahedan; sur les flancs occidentaux de la chaîne orientale et sur les flancs orientaux de la chaîne occidentale. Cette surrection engendra une baisse de niveau de base, reproduisant un enfoncement des cours d'eau dans les amonts et la formation des terrasses perchées dans les montagnes, visibles

même sur la route de Nosrat-Abad et un remblaiement, en forme de glacis en avale, surtout, au pied de la faille, marque l'importance de l'érosion récente.

À ce sujet il faut souligner aussi les 4 splendides terrasses de Darreh-Ghar et Jndudjerd que se sont emboîtées les unes dans les autres. Photo no 2.

f) La géologie sommaire de la depression de Lut:

(Lut central et méridional).

La cuvette de Lut, est individualisée par sa forme en bloc, séparée par de longues failles longitudinales et transversales de la zone plissée bordière.

Une première constatation de la forme de Lut montre l'effet d'un basculement de la bordure; le bloc de Lut rigide a résisté au mouvement tectonique qui s'est propagé vers la bordure; et a créé un relief inverse dont nous reparlerons séparément.

Les sédiments post Miocène se sont déposés sans changement, et sans subir l'effet des tectoniques cassantes qui affecté les bordures. Donc les dépôts à l'intérieur de la cuvette sont non plissés et sub-horizontaux.

Ces mouvements tectoniques qui ont affecté surtout la bordure ont déclanché l'érosion et la formation de grands cônes de déjection et une orientation des réseaux hydrographiques.

En effet, la surface de Lut est rajeunie constamment par une érosion inienne même à l'époque actuelle; l'érosion comprend l'effet du gravité, de l'eau, du vent et des variations de température (thermoclastique) et très peu d'influence biologique, compréhensible par la pauvreté de cette étendue en nombre et en espèces végétales et animales.

Les dépôts à l'intérieur de Lut forment une épaisseur de 500 à 700 m (suivant la prospection géophysique) et sont formés des couches de conglomérats grossiers ou fins avec une majorité absolue des grains arrondis, et

d'épaisses couches de sablee et de limons généralement entr-crasé, généralement gypsosalifère; ce qui montre l'existence d'une nappe salée, peu profonde qui a été remplie à la longue par les sédiments détritiques provenant de la bordure.

Une coupe étudiée à Godjar où les sculptures par l'érosion Hydro éolienne, Sur une épaisseur de plus de 140 m, peut nous donner une idée de la structure géologique de l'intérieur de Lut, où plusieurs niveaux de terrasse séparent les surfaces généralement emboîtées. (Fig. 7)

La surface du Lut central peut se diviser en cinq unités morphologiques d'Ouest en Est:

1) Le piedmont occidental, avec une plaine bordière large de quelques kilomètres. Le piedmont est faillé, tectonisé et raviné (Darrehe Ghar) on peut y distinguer 3 ou 4 niveaux de terrasses, qui pourraient bien se raccorder aux terrasses de la zone Sud Ouest.

La plaine, à faible pente, est parsemée de cailloutis et est traversée par un dense réseau hydrographique, qui ne sont inondés que pendant les crues et généralement secs avec efflorescence saline et avec les polygones de dessèchement des limons argileux; les tailles des blocs diminuent vers la dépression; au débouché des torrents elles atteignent même 2 à 3 mètres (N. de Shahbad) pour finir aux galets de 5 à 10 cm à la limite de la plaine.

2) Les Kaluts, les formes gigantesque d'érosion hydroéolienne, creusés à une profondeur de 50, même à 100 mètres: étendus sur une surface de 150 km de long et 50 km de large, sont régulièrement disposés du N.E. à S.E.; ils semblent à grandes échelles aux Yardang des Turkestan. Photo no 7

La morphologie est très morcelée, les parois des ravins sont presque raides, les collines, en voie de destruction, sont coiffées par une coulée boueuse que les sels rendent dure à l'état sec et présente l'aspect de confiture répendue, atténuant la pente des croupes; ces croupes sont allongées aux deux extrémités

dissymétriquement; la partie exposée au Nord Ouest, direction du vent et du cour d'eau est généralement plus érodée donc plus abrupt.

Au Nord, près de Rude - Shur, et à l'Ouest, à l'approche de la plaine bordière, les Kaluts s'amincissent et les géographes leur attribuent le nom de Mikrokalut; Vers le Nord de Rude Shur, la formation de la cuvette est identique mais l'érosion prend une forme particulière; sculptant les séries détritiques en forme de tour, de citadelle, de mur, de toit, de promontoire plus ou moins effondré d'où le nom de "Ville de Lut" donné à ce paysage par les caravanes qui les voyaient de loin (ville abandonnée). Photos 6 et 9

La morphologie générale dépend de la constitution des matériaux, traversée par les fentes et diaclases que nous avons noté dans toutes les directions, l'effondrement par gravité laisse des parois verticaux pour les matériaux limoneux argileux, mais adoucis pour les matériaux grossiers (sable-gravier-etc.) Fig 7.

L'origine des Kaluts est discutable, mais on peut déduire que le vent et les eaux salées en sont les responsables principaux.

La salinité des eaux est une cause, en flocculant les argiles, et les colloïdes forment des agrégats poreux, transportables par le vent.

Al'état actuel de la sécheresse et l'effet de l'érosion, on peut penser que la formation de ces Kaluts et le ravinement n'est pas très loin, voir même du début de quarternaire, ou même Sub récent.

En tout état de cause, le problème de ravinement est relié à la notion de niveau de base;

Les course d'eaux actuels se dirigent vers le Sud et se perd à l'extrémité SUD de Kalut, à Zanguï Ahmad, appartenant au Lut méridional.

Au même endroit, les eaux provenant de la bordure Sud de Lut, elles aussi se dirigent, ce qui prouve l'existence d'une fosse ou une région déprimée, pouvant servir de bassin terminal des eaux de Lut, où le niveau de base des

réseaux hydrographiques qui détermine à la fois le sens du courant et le niveau d'alluvionnement dans cette cuvette.

L'intérieur des ravins des Kaluts, est envahi, surtout vers le Sud par les amas sableux, en forme des Barkhan, aux bras allongés ou en forme des couvertures des bas de pentes, des chicote, qui vus de l'avion, montrent les formes des bateaux de 2 à 3 étages, flottant au large donnant sur le port, tous alignés dans la même direction. (Photos no. 7 et 9 et 10)

3) Le Lut central.

La partie centrale montre les formes de hamada aux surfaces, recouvertes par de cailloutis provenant des roches volcaniques septentrionales.

Des dépressions, avec les terrasses emboîtées, sont nombreuses, certaines sont encore mouillées au fond.

Les argiles limoneuses sont desséchés en polygones, quelques éminences rocheuses notamment le massif granitique de Malek-Mohammed et quelques jointements Rhyolitiques ou Andesitiques surgissent au milieu de ce paysage monotone du centre. Nous pouvons constaté près de la montagne de Malek-Mohammed, l'effet de la déflation hydro-éolienne, non par la formation de sillon, en forme de Kalut mais en forme de dépression fermée plus ou moins arrondis avec des niveaux de terrasses emboîtées de nombre de 5 à 6.

4) Les Dunes.

(La partie orientale du Lut central.)

La spectaculaire paysage dunaire, sur une vaste étendu de 50 km de large à 100 km de long, donne sa particularité morphologique de Lut oriental. Les formes sont très variées, des Barkhan, des gourdes, des dunes allongées, ou même superposées.

La direction générale de ce champs de Barkhan est N.S.; on peut penser que le vent dominant qui souffle de S.O. est certainement responsable

de ces amas dont la hauteur passe même 200 m dans certains endroits.

D'où vient le matériel nécessaire à la construction de cette vaste étendue dunaire? Voilà encore un point de discussion; la désagrégation des roches, des montagnes du Sud, la déflation des surfaces de Lut méridional ou même la déflation et les matériaux arrachés de la partie occidentale, les Kaluts, pourraient bien participer à la formation de ce grand erg oriental de Lut. On peut même suivre, sur les photos aériennes, la transformation de Kalut en dunes, le changement de morphologie destructive en morphologie constructive en extrémité sud de Lut central. Photo 11

5) Le piedmont oriental

Le piedmont oriental est allongé le long d'une série de failles de gravité longitudinale qui séparent la morphologie des zones de Flysh de montagnes de l'Est de la cuvette de Lut. proprement dit.

Une série de collines arrondies, surtout à Nakhilé disparue par endroit par le jeu de failles, formée par un conglomérat fortement cimenté fait le raccord entre la plaine et la chaîne; quelque pointement volcanique reconnaissable par sa couleur noire et sa structure massive fait exception.

Des glacis très réguliers et monotones sont visibles à la hauteur de Nosrat-Abad et Nakhile, où quelques nomades ont dressé leur tente et surveillent leurs chameaux, qui se nourrissent des pieds des herbes et des arbustes désertiques.

Entre le piedmont et les champs de dunes s'étend une plaine à faible pente orientée de l'Est à l'Ouest. La surface est recouverte de cailloux et de blocs de rochas, difficilement accessible par les véhicules.

Les cours d'eau venant de l'Est forment des réseaux assez dispersés et l'écoulement se fait en nappes.

Ces eaux se rassemblent en un chenal orienté N.S qui borde les dunes, et entaille quelquefois le substratum de Lut sous les sables: c'est le Koutché, le ravin profond généralement sec de l'Est de Lut.

CONCLUSION

Synthèse géologique générale.

Le Lut présente l'exemple d'un bloc résistant où la déformation tectonique a pu affecter surtout les bordures.

Ces mouvements ont engendré des cassures et des failles importantes, qui ont conféré la forme de cuvette à ce bloc isolé.

L'existence des sédiments détritiques au pied des chaînes bordières, et la relation qui existe entre les dépôts à l'intérieur de la cuvette et ceux de la bordure, montre que la surélévation de la chaîne a eu lieu pendant une période longue et dans les différentes phases de mouvements orogéniques.

L'existence des roches volcaniques et les intrusions granitiques qui ont même métamorphosé les bordures septentrionales de Lut montrent que le substratum de Lut sous sa couverture détritique fine actuelle, comprend des matériaux rigides, laissant contourner les mouvements orogéniques plutôt autour du bloc.

Le bloc est séparé par des longues failles longitudinales et transversales, des terrains sédimentaires bordiers.

Ceci pour le problème de la paléogéographie, pose quelques questions:

Que se passait-il avant la surrection des chaînes bordières? Ne s'agit-il pas d'un inversement du relief lors des temps géologiques? Voilà un point que j'ai évoqué la première fois en schématisant la disposition du bloc de Lut et les terrains sédimentaires voisins plissés.

En effet le synclinal de Kerman et les zones plissées de la bordure SW de LUT, ont continué leur évolution dès le paléozoïque jusqu'au paléocène, en forme de dépression où se sont accumulés les dépôts de types divers: cette dépression géosynclinale avait comme hédreocraton le bloc rigide et cristallin de Lut qui fournissait les matériaux détritiques ou solubles.

L'évolution du géosynclinal continue, le plissement des dépôts accumulés dans les temps géologiques débute en fin jurassique-début crétacé et se poursuit en tertiaire et même en quaternaire: la surrection des dépôts survient, le bloc rigide de Lut se couvre d'une mince couche d'eau, où les dépôts salins et détritiques s'accumulent, ainsi le relief est inversé.

Les sédiments anciens de synclinal en se plissant forment les chaînes hautes de Kerman et de Ravar, qui dominent le bloc de Lut, qui se transformant de plus en plus en forme de cuvette et prend la morphologie actuelle. Fig 9.

En même temps, et durant l'évolution morphologique de la cuvette, des épanchements volcaniques recouvrent une partie importante de la cuvette.

Ce problème qui détermine la paléogéographie de la région étudiée, ayant une importance capitale a été premièrement étudié et évoqué par nous, mérite d'y consacrer davantage d'attention dans une prochaine étude.

Je présente mes profondes reconnaissances à Monsieur le Professeur Mostofi pour sa bienveillance et à M.M Godarzi et Mahmoudi pour leurs aimables conseils et précieuses aides.

Bibliographie

Bobak, H. 1969:

Zur Kenntnis der südlichen Lut Mitt. osterr Geogr. Ges. Vol. II, I Haft II/III pp. 155-192.

Bobek 1968:

Carte géomorphologique de Lût I: 600000.

Clapp F.G. 1940:

Geology of eastern Iran: Geol. Soc. Amer. Bull., Vol. 51, No. I, pp. 1-102.

Conrad, G. et J. 1970 (a)

Le tertiaire continental des monts de Kerman et du Lout (Iran Oriental): C.R. Acad. Sc. Paris, t. 270, pp. 1421-1423.

Conrad, G. and J. 1970 (b)

L'évolution quaternaire de la dépression du Lout (Iran Oriental):
C.R. Acad. Sc. Paris, t. 270, pp. 1672-1674.

Dresch J.:

Reconnaissance dans le Lût (Iran) Communication orale Bulletin de
l'association de Géographe Française N 362-363, 1968.

Furon, R., 1941:

Géologie du plateau Iranien (Perse - Afghanistan - Béloutchistan) Mém.
Mus. Natan. Hist. Natur., n.s.t. 7, fasc. 2, pp. 177-414.

Gansser, A., 1955:

New aspects of the geology in Central Iran: Proc. 4Th world petrol
congr., Rome Sect. I/A/5, paper 2, pp. 280-300.

Huckriede R., Kursten M., Wenzlaff 1962:

Zur Géologie des Gebietes Zwischen Kerman und sagand Bech Géol.
J.b. 51.

Movahhed-Avval, M., N. Tagizadeh and M. Malaépour, 1971 b

Summary notes on preliminary Minéral reconnaissance in eastern Iran:
Geol. Suvey Iran, unpublished Rep., 25 p.

Mstofi A. - 1970:

Le Lût Zangui Ahmad: Bul. Inst. Géol. de l'université de Téhéran
en langue persane.

1973:- Shahdad

Rev. Ceogr. no 10 - 400 p. Inst. Geog. Univ. Teheran.

Ruttner, A., M.H. Nabavi and J. Hajian, 1968:

Geology of the Shirgesht area (Tabas area, East Iran): Geology Survey
of Iran, Rep. No. 4, 133 p.

Service Géograpique de l'armée de l'Empire de l'Irani carte topographique

$\frac{1}{600\,000}$ et photos aériennes $\frac{1}{50\,000}$

Stocklin, J. and all 1971:

Geology of Lut Geol. Surv. of Iran. no 22 71.

1968 - Structural history and tectonics of Iran. A Review: Amer. Assoc.
Petr Géologues Vol. 52, No. 7, pp. 1229 - 1258.

Takin, M., 1971:

Iranien geology and continental drift in the Middle East.: Nature,
Vol. 235, pp. 147 - 150.

Thiel V.O. 1967:

Bemerkungen Zur Tektonischen Karte von Iran Géologischen Bunde-
sanstalt Heft I/2.

National Iranien oil company géological Map of Iran (1959) $\frac{1}{2\,500\,000}$

Sedlack 1955 - Sande und Gesteine aus der Südlichen Lüt und Persich-
Belutschistan: Sber. Osterr. Akad. wiss., Math.-Naturvv. K I., I B
164 Hft. 9, d. pp. 607 - 658.