

Expédition Française de Spéléologie en Iran

# LES HAUTES MONTAGNES PERSANES

*Zagros 96*

Fédération Française de Spéléologie

***Groupe Spéléologique Minos***

***Association Spéléologique du Périgord***

**A Pierre-Yves,**

## Remerciements

Une expédition représente des moyens humains et matériels importants. Aussi, nous tenons à remercier vivement toutes les personnes qui nous ont aidées à la réalisation de ce projet:

- 👍 la **Fédération Française de Spéléologie**,
- 👍 la **Commission des Expéditions Internationales** en la personne de Mr B. Delprat,
- 👍 l'**Ecole Française de Spéléologie**,
- 👍 le **Comité Départemental de Spéléologie de Paris**,
- 👍 le **Comité Départemental de Spéléologie de l'Hérault**,
- 👍 le **Groupe Spéléologique Minos** et en particulier Mr E. Quéinnec et Mr C. Vanderbergh,
- 👍 le **Groupe Spéléologique Méandre** de Rouen,
- 👍 la société **EMS**,
- 👍 la **ville de Coignères**,
- 👍 la société **Photocom**.

Et, nous ne saurions oublier toutes les personnes qui d'un moyen ou d'un autre ont contribué au bon déroulement de cette expédition.

## Sommaire

<b>Introduction</b>	<b>6</b>
<b>Logistique</b>	<b>7</b>
<b>Etude des karsts du Zagros</b>	<b>8</b>
<b>Préambule</b>	<b>8</b>
<b>Présentation générale</b>	<b>8</b>
Le cadre géologique	9
Evolution géodynamique de l'Iran	9
La structure géologique du Zagros	11
Données sismologiques	14
Evolution générale du Zagros	14
Les karsts d'Iran	16
Le climat	18
La végétation du Zagros	20
<b>La région du Kuh-e-Garrin (Nahavand) zone charriée</b>	<b>22</b>
Le contexte géologique	23
Evolution géologique	23
Morphostructure	25
Les séries karstifiables	27
Le massif du kuh-e-Garrin et son relief karstique	28
Les versants du Kuh-e-Garrin	29
Le Karst de mi-versant et du replat intermédiaire	30
Les sommets et le plateau occidental	31
Les témoins de la surrection Mio-Pliocènes	34
L'endokarst	35
Les vallées sèches perchées	40
Les canyons	41
Les dépôts externes	44
Conclusion	46
<b>La région d'Alisadr (Hamadan)</b>	<b>46</b>
La grotte de Sarab	47
<b>Structure et fonctionnement du Qanat de Sargon (Shiraz - Iran)</b>	<b>49</b>
Technique traditionnelle pour le drainage d'une nappe karstique	49
Le Qanat : un système jadis indispensable à l'agriculture	49
La construction du qanat de Sargon	50
Le régime hydrologique du Qanat de Sargon	51
L'évolution des qanat autour du village de Kyanabad	52
Conclusion	53
<b>Les nomades lours du massif calcaire du Kuh-e-Garrin</b>	<b>54</b>
<b>Le nomadisme sur le Zagros</b>	<b>54</b>
<b>Les Lours du Kuh-e-Garrin</b>	<b>55</b>
<b>Rythme saisonnier</b>	<b>57</b>
<b>Environnement et évolution du mode de vie</b>	<b>60</b>

---

<b>Conclusion</b>	<b>62</b>
<b><i>Biospéléologie</i></b>	<b>63</b>
<b>Généralités</b>	<b>63</b>
<b>Biogéographie du massif du Zagros</b>	<b>64</b>
<b>Zoologie du Kuh-e-Garrin</b>	<b>65</b>
Premier inventaire des récoltes	65
Premiers commentaires des récoltes	66
<b>Conclusion</b>	<b>68</b>
<b><i>Topographies</i></b>	<b>70</b>
<b><i>Conclusion</i></b>	<b>75</b>
<b><i>L'équipe</i></b>	<b>77</b>

---



---

## Logistique

La délivrance des visas va sans doute rester un problème important pour une expédition en Iran. Il ne faut pas espérer les obtenir sans une invitation de la part d'Iranien. Ils peuvent être délivrés au dernier moment. Ce problème rend l'organisation d'une expédition délicate et aléatoire.

Le problème vient des autorités iraniennes mais aussi françaises qui ne soutiennent pas toujours la demande de visas. Dans notre cas, l'obtention des visas a posé quelques soucis...

La Fédération de montagne d'Iran nous a invités moyennant un stage de formation aux techniques de spéléologie. Ceci a permis de débloquer une situation alarmante. L'expédition a démarré avec un mois de retard. Ce décalage obligera Franck Vasseur à annuler sa participation pour des raisons professionnelles.

La pratique de la spéléologie est soumise à autorisation. Le djad des "eaux et forêts" doit donner son aval. Ces démarches administratives ont pu aboutir grâce à l'accord de coopération entre la France et l'Iran dans le cadre de la thèse de Dominique.

L'Institut Français de Recherche en Iran (IFRI) basé à Téhéran nous a hébergés et permis d'entreposer notre matériel. Une voiture de l'université nous a conduit de Téhéran jusqu'à la zone à explorer. Le passage de district à une autre demande des haltes administratives.

A Nahavan, le djad des "Eaux et Forêts" avait mis à notre disposition une pièce pour notre hébergement et le matériel.

Pour nos déplacements, nous utilisons les bus, les taxis et le "stop". La location de véhicules n'existe pas.

En montagne, le seul ravitaillement en eau provient des névés. Cela nécessite de prévoir un peu de réserve pour toujours disposer de quoi se désaltérer. La recherche de névé équivaut parfois à celle d'un oasis en plein désert ! Heureusement, la vallée nous attend avec ses jus de fruits ou de carottes !

---

## Etude des karsts du Zagros

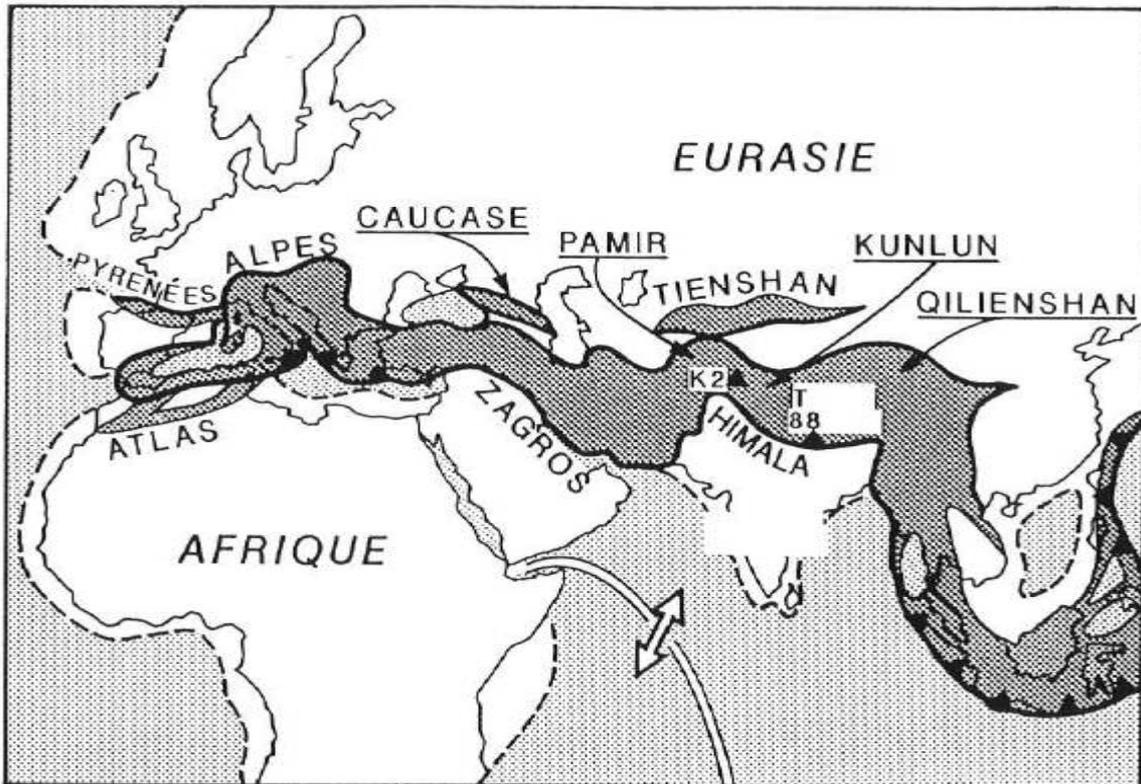
### **Préambule**

Nous présentons ici les résultats partiels d'une *thèse sur l'étude des KARSTS du ZAGROS* par Dominique DUMAS (U.F.R. de Géographie de Strasbourg).

La soutenance a eu lieu en février 1998 sous la direction de M. Mietton et R. Maire.

### **Présentation générale**

Le Zagros qui a toujours été une barrière historique entre le monde Arabe et le monde Persan est une haute chaîne parfaitement continue entre la plaine aride de Mésopotamie et les déserts du plateau iranien. Son rôle de barrière géographique est renforcé par une traversée E - W difficile. Elle se fait par des *teng* ou défilés étroits qui ont donné à ces montagnes le nom de *Tengsir* ou « Pays des Teng » (Reclus, 1884). Les voyageurs cheminent ainsi dans une multitude de cluses étroites ou de véritables canyons parfois spectaculaires qui coupent perpendiculairement cette chaîne. Certaines de ces cluses, comme le *Poul-i-Teng*, sont parfois larges de trois mètres (Blanchard, 1929). D'ailleurs, selon, Elisée Reclus (1884), le nom Zagros viendrait du mot arabe *Zaghar* signifiant *défilé étroit entre de hautes montagnes à la frontière d'un pays ennemi*. Il est en fait issu du grec, probablement pas du nom Zagros signifiant « pied nu » mais plus vraisemblablement de son substantif féminin que l'on peut traduire par « défilé » ou « gorge étroite ». L'appellation grec aurait au fil du temps prévalu sur le nom iranien *Patâq* (Dictionnaire d'Ali Akbar Dehkoda ; Univ. de Téhéran, Fac. des Lettres et des Sciences Humaines, n°144, 1968) évoquant moins directement l'idée d'une barrière naturelle puisqu'il signifie littéralement *le pied d'une voûte*. Cependant, il semblerait que le nom Zagros puisse provenir d'une racine iranienne avec *sanser çakra*, "la puissante montagne", "la grande montagne"(Brunnhofner, 1890), mais cette origine semble plus idéologique que réellement fondée.



**Figure 1 : Localisation du Zagros dans l'ensemble des chaînes périméditerranéennes et du Moyen-Orient.**

La chaîne du Zagros fait partie de la chaîne dite « alpine » qui constitue l'un des trois grands systèmes montagneux de la planète avec la chaîne des Cordillères Américaines et la chaîne du système Ouest-Pacifique (Mattauer, 1989). Dans l'ensemble des massifs périméditerranéens et du Moyen Orient, le Zagros est l'une des très grandes chaînes montagneuses par son étendue et ses altitudes importantes (Figure 1). Il s'étend sur plus de 1800 km de long, de la région du Lac Van en Turquie à la région de Bandar Abbas dans le Golfe Persique et sur une largeur d'environ 200 à 400 km. Il fait suite à la chaîne du Taurus et se poursuit au Sud par les massifs plissés du Makran. De très nombreux sommets y dépassent 3000 m, avec le Zard Kuh à 4548 m point culminant de la chaîne, le Kuh-e-Garbos à 4294 m, le Kuh-e-Garrin à 3638m..., ces hauts sommets donnent au Zagros un véritable caractère de haute montagne.

## **Le cadre géologique**

### ***Evolution géodynamique de l'Iran***

Nous présentons les grandes lignes de l'évolution de la chaîne en prenant comme fil directeur la tectonique des plaques. La genèse du Zagros et des différents massifs iraniens ainsi que les hauts plateaux s'explique par la rotation du bloc arabe. Le Zagros appartient au rameau dinarique lié à l'écrasement de domaines orogènes entre le continent africain et

eurasien, il en va de même pour les Dinarides, les Hellénides, les Taurides. Cette conception évolutive de la chaîne du Zagros fait suite aux travaux de Ricou (1974) et de Braud (1987) confirmant le modèle de reconstitution globale des chaînes périméditerranéennes ou de la chaîne « alpine » proposé par Brunn (1967).

La plupart des auteurs (Partiat *et al.*, 1982) sont maintenant d'accord pour interpréter l'ouverture téthysienne au cours du Trias (mer entre l'Afrique et l'Eurasie qui correspond approximativement à la mer méditerranéenne). Le mouvement sénestre de l'Afrique par rapport à l'Eurasie provoque la migration en direction du NE d'une série de blocs détachés du Gondwana à partir de fractures. En même temps que cette ouverture, par contre coup, commence la fermeture d'un très vaste domaine océanique paléozoïque entre les blocs de l'Iran, de l'Afghanistan, du Tibet et la marge orientale européenne (plate-forme de Turan). Cette croûte océanique correspond à la "Paléotéthys". Cette dynamique générale entraîne, par endroit, un amincissement de la croûte continentale engendrant un ensemble de rifts. C'est la naissance du sillon à radiolarites du Zagros (Braud, 1987).

La période allant du Trias au Jurassique supérieur (245-135 Ma) correspond ainsi à la migration en direction du NE de blocs repoussés par l'expansion de la Téthys ou entraînés par la subduction de la Paléotéthys et dont la collision forme les grands massifs de l'Iran. Braud (1987) distingue ainsi trois séries de blocs ou de bandes gondwaniennes.

La bande septentrionale va d'abord se trouver suturée avec le continent eurasiatique puis plus tardivement les bandes océaniques qui séparent les blocs gondwaniens intermédiaires et méridionaux vont disparaître.

Dès le Crétacé (135 Ma), l'ouverture de l'océan indien, avec le départ de l'Inde en direction du NE, amorce une inversion de la dynamique. Le domaine téthysien oriental est soumis à un rétrécissement important. « *L'exemple du Zagros montre bien qu'extension et compression peuvent coexister sur une même transversale* » (Ricou, 1974). Il apparaît alors au cours du Crétacé des zones de subductions intra-océaniques attestées par du métamorphisme (amphiboles datées entre 105 et 95 Ma). Ces plans de subductions océaniques se transforment peu à peu en rampes de charriages. Vers la fin du Crétacé, le front de ces nappes touche les continents arabe et indien ce qui entraîne l'empilement des unités de bordure : radiolarites et dorsales calcaires. Cependant dans ce contexte de fermeture du domaine océanique s'ouvre un certain nombre de petits rifts ophiolitiques, autour du bloc de l'Iran Central, avec par exemple la suture de Naïn et autour de celui du Lut. Ces ouvertures sont le résultat d'un mouvement de rotation de ces deux blocs (Lensch *et al.*, 1984).

L'évolution au cours du Cénozoïque va ensuite définitivement suturer par le mouvement de l'Afrique et de l'Inde, le domaine océanique non cicatrisé à la fin du Crétacé et les petits bassins océaniques néoformés. L'évolution de ces domaines océaniques entraîne une sédimentation de flyschs d'origine continentale, une activité magmatique et la naissance des massifs volcaniques de type Urmiah Dokhtar. La fin de l'Eocène marque la fin de la cicatrisation des domaines océaniques et le début du régime de collision qui entraîne des cassures dans la croûte continentale et amène des recouvrements importants de nappes sur les zones de sutures, par exemples les nappes de Kuh-e-Garrun et du Kuh-e-Garrin pour le Zagros.

## ***La structure géologique du Zagros***

Différents auteurs ont donné des analyses générales de la géologie du Zagros. Suivants les auteurs, on retrouve une définition et des appellations distinctes du Zagros qui ne facilitent pas les synthèses. Nous avons replacé les principales appellations que l'on identifie selon les époques et les auteurs dans la littérature.

Nous reprenons dans ce travail la définition du Zagros donnée par Braud (1987) qui permet de faire correspondre une définition géologique à une réalité géographique. En effet, le domaine « métamorphique du Zagros », dont les sommets culminent parfois à plus de 3000 m d'altitude, apparaît pour le géographe comme faisant partie intégrante de cette chaîne. De plus, si l'on adopte une conception globale de la chaîne et que l'on considère qu'elle est issue d'une orogénèse formée au dépend du domaine téthysien et de ses marges, il semble logique de rattacher la zone de Sanandaj-Sirjan à la chaîne du Zagros (Braud, 1987).

Cette chaîne est composée de trois grands domaines ou de zones structurales de direction SE-NW. Ces domaines ont été reconnus par tous les auteurs, mais ont été nommés et interprétés de différentes manières. Ils ont été charriés, écrasés les uns sur les autres lors de deux phases tectoniques majeures : l'une à la fin du Crétacé et l'autre après le Miocène.

### La zone plissée ou zone externe

C'est la zone la mieux connue en raison des recherches pétrolifères qui ont été effectuées. L'extraction du pétrole remonterait d'ailleurs au 5<sup>ème</sup> ou 6<sup>ème</sup> millénaire avant notre ère. D'après Hérodote l'exploitation des gisements pétrolifères du sud-ouest de l'Iran était déjà en cours au 5<sup>ème</sup> siècle avant J.-C. (Mohebbi, 1996). Cette zone représente le Zagros autochtone qui est une épaisse couverture sédimentaire sur la plate-forme arabe. Ces séries ont ensuite été plissée après le Miocène excepté dans sa partie septentrionale qui est affectée dès le début du Sénonien par des cassures tectoniques (Berthier *et al.*, 1974). Cette partie est caractérisée par des séries sédimentaires continues et concordantes depuis l'Infracambrien jusqu'au Plio-Quaternaire, d'une épaisseur variant entre 10 et 20 km. Cependant le Paléozoïque n'affleure pas, mais a été atteint par des forages. Le relief est d'une manière remarquable conforme à la structure, les monts et les vallées correspondent à des anticlinaux et des synclinaux. Divers auteurs ont d'ailleurs souvent montré l'analogie structurale de ce domaine avec les massifs des Appalaches (Oberlinder, 1965) ou du Jura. Cette région comprend deux sous-ensembles différents. Le premier se distingue par des plis larges marquant peu la topographie et affectant essentiellement les couches sédimentaires du Néogène avec les marnes du Miocène et les conglomérats du Pliocène. Le second correspond à la série de chaînes montagneuses parallèles, de direction NW-SE, qui s'expriment par des anticlinaux bien armés dans des séries calcaires du Crétacé supérieur dans le Louristan et de l'Oligo-Miocène (calcaires d'Asmari) dans le Fars.



**Figure 2 : Structure générale du Zagros (Ricou, 1974)**

1 : Zagros externe et mobile ; 2 : Zagros métamorphique ; 3 : Zone ophiolitique ; 4 : Paléozoïque ; 5 : Cicatrice volcanique Urmiah - Dokhtar ; 6 : Dépression correspondant à la zone de suture de Naïn  
 A.Z. : Accident du Zagros (Main Thrust) ; F.M. : Front montagneux

## La Crushed Zone

Cette partie s'individualise par une topographie beaucoup plus accidentée. Nettement plus complexe que la précédente, elle a été interprétée différemment par les auteurs. Ce domaine est constitué de séries à radiolarites, de puissantes séries calcaires de plate-forme allant de la fin du Trias au Cénomaniens, plus localement d'un complexe ophiolitique ainsi que par endroit de lambeaux calcaires métamorphisés provenant de la zone interne.

Les unités à radiolarites ainsi que le cortège ophiolitique ont été interprétés différemment quant à leur autochtonie ou leur allochtonie. Pour les uns, ces unités seraient un faciès particulier de la fin du Crétacé ; "elles représenteraient un épisode pélagique du Crétacé supérieur dans une dépression marginale par rapport à la plate-forme arabe" (Schroeder, 1944 ; James et Wynd, 1965 ; Falcon, 1967 ; Stöcklin 1968). Les interprétations allochtonistes plus récentes s'appuient sur l'observation de coupes géologiques et sur des datations qui prouvent que ces unités couvrent l'ensemble du Mésozoïque. Néanmoins, ces interprétations nouvelles restent encore peu citées dans la littérature et dans les articles actuels qui s'appuient généralement sur les travaux de Stöcklin en 1968. Il est donc maintenant certain qu'il s'agit bien d'une nappe allochtone mis en place à la fin du Crétacé (Ricou, 1974, 1976, 1977). Cette controverse portait aussi sur les ophiolites qui auraient été de la même façon pour les uns des épanchements autochtones d'âge fin crétacé et pour les autres des nappes du Mésozoïque.

Cette divergence dans l'interprétation de l'âge de ces séries à radiolarites et ces unités ophiolitiques induit une interprétation et des conclusions structurales totalement différentes et très importantes pour la compréhension générale de la genèse du Zagros ; pour les uns le Zagros serait lié à une orogénèse unique située au Plio-Quaternaire, voire au Quaternaire, pour les autres la mise en place de ces nappes à la fin du Mésozoïque en fait une chaîne polyphasée avec deux phases tectoniques majeures.

## La zone métamorphique

Elle est constituée essentiellement de séries métamorphisées avec parfois une couverture sédimentaire. Ce domaine a été longtemps interprété comme faisant partie de l'Iran Central. En effet, les séries calcaires du Mésozoïque présentent une forte analogie avec celles de l'Iran Central. Ainsi, comme en Iran Central, le Crétacé à Orbitolines recouvre en discordance les séries mésozoïques et paléozoïques. De même les séries tertiaires sont discordantes. Ce domaine a subi de nombreuses phases tectoniques accompagnées d'un métamorphisme important dès la fin du Trias. Les études plus récentes (Ricou, Braud et Brunn, 1977) le rattache au Zagros. En effet, les directions structurales sont parallèles à celles du Zagros et son histoire géologique montre des différences avec celle de l'Iran Central.

## L'accident du Zagros (Main Thrust Line)

Il est l'accident majeur de la chaîne du Zagros par sa régularité et sa longueur et il se prolonge probablement jusqu'au niveau de la faille nord-anatolienne. Selon sa définition classique, il est considéré comme la limite du charriage entre l'Iran Central et le Zagros. Une

étude plus approfondie (Braud et Ricou, 1971) a montré que cette limite correspondait à deux accidents, parfois confondus au même endroit, l'un chevauchant et l'autre coulissant. Cette limite géologique marque le charriage vers le SW du domaine métamorphique du Zagros sur au moins 40 km et un coulisement dextre, à peu près superposé et de rejet inconnu. Ce double accident est récent, ou du moins son rejet, car il affecte par endroits des séries quaternaires.

### *Données sismologiques*

Sur le Zagros de très nombreuses mesures géophysiques sont disponibles et de nombreux travaux concernent cette problématique (Berberian, 1976 ; Niazi *et al.*, 1978 ; Snyder et Barazangi, 1986). Ces travaux sismiques confirment bien l'épaississement de la croûte au niveau de la suture du Zagros et l'existence de blocs orogéniques entre le domaine externe et le domaine métamorphique. La distribution spatiale (figure 5) des tremblements de terre, enregistrés entre 1961 et 1983 (Ni et Barazangi, 1986), est remarquablement similaire à celle des destructions historiques, depuis la période Pré-islamique (600 après J.-C.), que l'on peut lire dans la monographie de Ambraseys et Melville (1982).

Si l'on considère l'activité sismique sur l'ensemble de la chaîne du Zagros (Berberian, 1976 ; Ni et Barazangi, 1986), on constate qu'elle est concentrée dans le Zagros externe. Le Grand Accident du Zagros est lui surtout actif dans le Kurdistan et l'Azerbaïdjan occidentale.

La profondeur mesurée des foyers se répartie dans un domaine superficiel (0 à 30 km) et dans un domaine de moyenne profondeur (40 à 60 km) où l'on retrouve le maximum de séismes (Nowroozi, 1976 ; Snyder et Barazangi, 1986). Ce serait pour Nowroozi la conséquence d'une plaque arabique de 60 km d'épaisseur plongeant à 10-20° en direction du bloc d'Iran central. Mais, pour d'autres auteurs (Berberian, 1976 ; Niazi *et al.*, 1978, Braud, 1987), il n'existe pas de gradient de profondeur des séismes. L'activité sismiques se retrouve essentiellement sur les grands accidents : le Grand Accident du Zagros et ses accidents transversaux.

### *Evolution générale du Zagros*

La partie orientale du domaine sédimentaire de la marge arabique va être perturbée à la fin du Crétacé par l'arrivée des nappes à séries radiolaritiques associées à des nappes d'ophiolites. La régularité des dépôts sédimentaires autochtones de cette marge traduit bien sa stabilité pendant tout le Mésozoïque et jusqu'à l'arrivée des nappes. Le charriage se développe sur des séries peu déformées ou plissées. Aussi, jusqu'au Crétacé supérieur, il n'existe probablement pas de phase d'émersion permettant d'entrevoir la possibilité d'une karstification des séries carbonatées.

Si à la fin du Jurassique la marge arabique n'est pas perturbée, il n'en va pas de même pour la marge septentrionale du domaine thétysien. En effet, le domaine métamorphique du Zagros est le siège d'une première phase orogénique importante reconnue par la plupart des auteurs qui se traduit par des déformations et une émersion temporaire du domaine (phase néo-cimérienne). Seules les séries jurassiques vont être affectées par un métamorphisme (schistosité, recristallisation des calcaires...). Le domaine est soumis à

l'érosion qui produit un dépôt détritique rouge. Sur le massif du Kuh-e-Khan Gurmaz, Braud (1987) remarque des poches conglomératiques rouges dans les calcaires jurassiques, traces probables d'une première karstification. Le domaine Zagros externe et interne n'ont donc pas connu les mêmes étapes dans leur karstogenèse à partir du Crétacé. Le domaine métamorphique devient ensuite rapidement une plate-forme carbonatée relativement stable ; les conglomérats vont être recouverts jusqu'au Cénomaniens par des calcaires transgressifs à Orbitolines du Crétacé.

A la fin du Cénomaniens (91 Ma) se produit une modification générale sur le domaine thétysien qui annonce la phase tectonique majeure de la fin du Crétacé. Dans le sillon radiolaritique, la sédimentation siliceuse fait place à une sédimentation détritique. Sur la plate-forme carbonatée, on constate aussi un arrêt de la sédimentation. Au Sénonien la situation s'inverse ; redémarre alors une sédimentation carbonatée avec des calcaires à *Globotruncana* sur le domaine externe et métamorphique. Ce qui est sans doute la trace du début d'émergence du sillon et de la plate-forme carbonatée. La sédimentation devient ensuite plus détritique et comporte du matériel radiolaritique indiquant l'amorce du charriage des nappes (phase laramienne). A la fin du Crétacé, le domaine métamorphique subit une nouvelle orogénèse importante avec l'apparition de schistosité en relation avec des dômes thermiques qui précèdent l'apparition des corps granitiques et grano-dioritiques (Iranpanah et Esfandiari 1979). C'est cette orogénèse, créant une véritable chaîne de subduction de type andin sur le domaine métamorphique, qui entraîne la mise en place des nappes à radiolarites et ophiolites associées aux calcaires fins du ride continental. En effet, l'arrivée de ces nappes est probablement gravitaire (Ricou, 1971).

C'est les flyschs et les conglomérats *d'Amiran*, formations détritiques à radiolarites du Maestrichtien et début du Paléocène, qui sont « *anté-nappe, syn-nappe et poste-nappe* » (Braud 1987) qui permettent de dater précisément cette mise en place gravitaire de la fin du Crétacé. Ces nappes forment une chaîne importante qui reste émergée au cours de l'Eocène et jusqu'à l'Oligo-miocène. Elle va produire des séries détritiques paléocènes et éocènes conglomératiques sur le pourtour et la partie frontale de ces nappes. Le faciès détritique du bord des nappes passe en allant vers le sillon bordier à un faciès pélagique avec les marnes de Pabdeh ou de Sachum visibles dans la région de Shiraz.

La majeure partie du domaine métamorphique reste émergée au cours de l'Eocène. Ainsi en position basse sédimentent des formations continentales éocènes qui reposent en discordance sur les marbres jurassiques ou les schistes jurassiques.

Entre la chaîne du domaine métamorphique et la chaîne issue du charriage se place une zone où, au cours de l'Eocène, sédimentent des flyschs sur l'ancien domaine océanique considérablement réduit après la phase fin crétacée. L'étude de l'extension transversale de cette zone de flyschs montre de nombreuses variations de faciès de ces dépôts. A la fin de l'Eocène ce bassin est soumis à une phase tectonique compressive qui va cicatrifier les deux domaines du Zagros et les faire émerger jusqu'à l'arrivée de la transgression oligo-miocène. C'est la phase fin-éocène ou éo-oligocène qui marque la fin du domaine océanique. Le phénomène lié à cette phase tectonique sur le domaine métamorphique est l'apparition de la grande chaîne volcanique *d'Urmiah-Dukhtar* (Schroder, 1944 ; Stöcklin, 1968), parallèle à l'accident du Zagros et longue de plus de 1500 km de long. Cette chaîne a aussi été nommée ; chaîne des Karkas (Reyre et Mohafez, 1970).

Au début du Néogène, les nappes crétacées ont été fortement aplanies et abaissées par la tectogenèse éo-oligocène ; le domaine de la Téthys est cicatrifié. Les premières séries

transgressives et discordantes sont de l'Oligocène et le plus souvent de l'Aquitainien. Elles recouvrent l'ensemble des formations et présentent un caractère épicontinental sur l'ensemble de ces domaines. Ces séries débutent généralement par un conglomérat surmonté par des séries marneuses. Mais c'est essentiellement les calcaires oligo-miocènes ou calcaires *d'Asmari* qui vont caractériser ces séries transgressives. Le faciès des calcaires est toujours néritique. Ces calcaires oligo-miocènes recouvrent bien la totalité des nappes crétacées à l'inverse de ce qui avait été dit, puisque nous avons retrouvé cette série à 3400 m d'altitude sur le Kuh-e-Garrin. Mais dans l'ensemble, cette série est bien développée sur la bordure NW des nappes, elle est absente sur la partie orientale de l'autochtone et sur l'avant de la nappe crétacée de Kermanshah où devait exister un ride intermédiaire qui va perdurer au Miocène.

Cette épisode est ensuite interrompu par l'arrivée de produits détritiques qui vont former les flyschs ou molasses du Miocène. Ils accompagnent l'orogénèse du Zagros et constituent le « Fars groups » qui recouvrent les calcaires d'Asmari. Cependant lorsque la transgression oligo-miocène n'a pas eu lieu, comme à Kermanshah, ces flyschs se retrouvent directement en discordance angulaire sur les calcaires éocènes. Ces flyschs sont à la base constitués principalement d'argiles et d'évaporites (formation de *Rasak*) et sont surmontés localement par un ensemble détritique varié du Miocène supérieur (formation de *Agha Jari*). Le sillon interne entre les nappes crétacées et le domaine métamorphique voit sédimenter les flyschs avec un effet de subsidence. L'alimentation est alors double et provient du domaine métamorphique qui, de même que les nappes, commence à émerger. Au sommet de ces flyschs les apports conglomératiques deviennent de plus en plus importants en raison de l'émersion des reliefs. Cette formation de *Bakhtyari* est difficile à dater avec précision puisqu'elle est dépourvue de faune. Elle se place entre le Miocène supérieur et le Quaternaire. Il existe encore peu d'informations paléogéographique et géologique sur cette série qui peut localement largement dépasser 1000 m d'épaisseur (Stöcklin, 1968).

## Les karsts d'Iran

Une carte des karsts d'Iran a été dessinée avec l'appui de la carte de géologie de l'Iran au 1/2 500 000ème, des cartes des Ressources en Eaux de l'Iran au 1/1 000 000ème, du lexique des séries géologiques de l'Iran (Stöcklin et Setudehnia, 1991), et d'observations personnelles recueillies au cours de mes différents déplacements dans ce pays. La structure géologique, l'énergie du relief, la puissance des séries carbonatés et le potentiel spéléogénique ont permis de distinguer six zones différentes.

Les karsts des moyennes montagnes du Zagros se développent essentiellement dans des séries calcaires tertiaires notamment dans la formation *d'Asmari*. Dans la partie septentrionale du Zagros les karsts apparaissent dans des séries calcaires crétacées. C'est à la fois le dénivelé modéré et la structure plissée de ces massifs qui les caractérisent et les individualisent des autres régions iraniennes. Sur cette zone la karstification est peu évoluée en raison, entre autre, d'un décapage tardif de la couche imperméable du Miocène. Néanmoins, quelques grottes de faibles développement sont signalées ; la plus célèbre étant la grotte de Chapour situées au Sud de Shiraz (nous n'avons malheureusement pas pu la visiter). Ces massifs ont aussi un grand intérêt hydrologique avec des zones noyées très importantes dans des régions parfois subarides.

Les karsts des hautes montagnes du Zagros se placent dans des séries calcaires très puissantes généralement du Jurassique. Ils correspondent à la zone dont le potentiel spéléogénique est le plus important d'Iran. Le massif du Kuh-e-Garrin sur lequel nous avons porté notre attention possède ainsi plus de 1500 m de potentiel vertical. Notons aussi que c'est dans ces montagnes que le *Gahr Parau*, gouffre le plus profond du Moyen-Orient avec une profondeur de -751m, a été découvert en 1972 par une expédition anglaise. Les formes exokarstiques y sont aussi les plus avancées.

Les karsts des hautes plaines et des buttes du domaine interne se développent dans des calcaires peu épais et marbres du Jurassique qui reposent sur des schistes imperméables. La faiblesse du dénivelé associée à un niveau étanche non carbonaté favorisent un développement horizontal des cavités qui caractérisent ces régions. Les grottes *d'Ali Sadr* et de *Sarab* au nord d'Hamadan, dont le développement avoisine la dizaine de kilomètres, se rattachent à cette zone (Tableau 1p18).

Les karsts d'altitudes du massif de l'Alborz ne peuvent pas être assimilés à ceux des hauts massifs du Zagros. En effet, il s'agit ici de séries carbonatées jurassiques et surtout crétacées présentes sous forme de lambeaux de calcaires peu épais parfois pincés ou posés directement sur des terrains métamorphiques. Le potentiel spéléogénique reste faible mais le développement de petits réseaux verticaux y est possible. Des cavités ont été signalées au Nord de Téhéran ; nous avons observé des entrées de grottes vers Firuzkuh (à 100 km de Téhéran sur la route allant vers Machad).

Les karsts du massif de Koppe-Dag se développent dans une série calcaire crétacée d'épaisseur de plus de 400 m. A l'inverse des karsts de l'Alborz, ces karsts se caractérisent par une formation carbonatée recouvrant un espace très large et continu. Et, malgré l'altitude moyenne de ces massifs (2500 à 2600 m), l'épaisseur des terrains calcaires permet un potentiel spéléogénique important. Les cavités y sont nombreuses d'après les spéléologues de Machad (communiqué oral de spéléologues de Machad et d'un bureau d'étude implanté Machad travaillant sur des problèmes hydrologiques) ; la grotte de Bolhuq aurait un développement très important.

Les karsts des hautes montagnes de l'Iran Central se développent dans des séries calcaires du Crétacé, pouvant à l'Est du pays devenir très puissantes. Mais l'on retrouve fréquemment dans ces séries carbonatées des intercalations de niveaux marneux (Hushang, 1972). Cette caractéristique, mais aussi l'importance du dénivelé puisque certains massifs culminent presque à 4000 m d'altitude, confère à ces régions carbonatées une place à part.

<b>Cavité</b>	<b>Dénivel.</b>	<b>Développ.</b>	<b>Historique</b>
<b>Région de Kermanshah (crushed zone ; massifs du Kuh-e-Parau, du Kuh-e-Ravansar et du Kuh-e-Sha</b>			
Ghar Parau	-751 m	1364 m	1971, expédition britannique (D. Judson puis J. Middleton)
Ghar Shahbanhu	-315 m	650 m environ	1977, expédition britannique (R.G. Lewis et al.)
Ghar Cyrus	-308 m	plus de 400 m	1974, Spéléo-Club de Nice (J.P. Farcy)
Ghar Morghan	-240 m		1974, expédition polonaise (B. Koisar)
Ogof Ben Dwir	-184 m	280 m environ	1977, expédition britannique (Lewis et al.)
Ghar Mariz	-132 m	500 m environ	1977, expédition britannique (Lewis et al.)
Ghar Boland	-120 m		1974, expédition polonaise (B. Koisar)
Ghar Acker	-110 m		1971, expédition britannique (J. Middleton)
Ghar Shahu	-110 m		1977, expédition britannique (R.G. Lewis et al.)
grotte de Shaban Qaleh	+11 m	650 m	topographie Spéléo-Club de Lyon (Maire, 1978)
grotte de Naukhan		250 m	topographie Spéléo-Club de Lyon (Maire, 1978)
<b>Région de Nahavand (crushed zone ; massif du Kuh-e-Garrin)</b>			
Ghar Pataq (KG14)	-61 m		1996, expédition française
Ghar Darius (KG06)	-44 m		1996, expédition française
Ghar Lur (KG04)	-41 m		1996, expédition française
Grotte de Gamasiab		80 m	1996, expédition française
<b>Région de Mahabad (domaine métamorphique du Zagros)</b>			
Cavernes d'Issakent	-20 m	plus de 600 m	1905, (J. de Morgan)
<b>Région de Hamadan (domaine métamorphique du Zagros ; Monts de Sarighayeh)</b>			
grotte d'Alisadr		plus de 5 km	topographie de l'office touristique d'Alisadr
grotte de Sarab		plus de 500 m	1996, expédition française
<b>Région de Shiraz (zone plissée du Zagros)</b>			
Grotte de Chapour		plus d'1 km	décrite par des spéléologues iraniens
<b>Région de Machad (Massif de l'Alborz)</b>			
grotte de Bolhuq			décrite par des spéléologues iraniens

**Tableau 1 : Liste des principales cavités explorées d'Iran (d'après Middleton, 1971 ; Judson, 1973 ; Waltham et Ede, 1973 ; Farcy, 1974 ; Lewis, 1979 ; Courbon et Chabert, 1986 ; Maire, 1990)**

Cette étude typologique des karsts d'Iran pourra naturellement être par la suite complétée notamment par une typologie plus fine tenant compte des différences climatiques et notamment du taux de dissolution des massifs, mais aussi des conditions lithologiques (la pureté des calcaires). Cette carte a néanmoins le mérite de bien montrer l'importance des phénomènes karstiques en Iran. Les affleurements de roche carbonatée sont très fréquents. Au total, les zones karstiques ou « karstifiables » recouvrent environ le sixième du pays, soit près de 300 000 km<sup>2</sup>. Le karst n'est donc pas dans le paysage iranien un phénomène mineur, mais il demeure pourtant peu étudié. Selon des spéléologues iraniens (groupe Spéléo de Machad), il existerait plus de mille grottes en Iran (?). Elles ne sont malheureusement pas encore topographiées et même recensées précisément. Nous avons replacé dans le Tableau 1, les principales cavités connues d'Iran.

## **Le climat**

La dynamique des masses d'airs détermine les caractéristiques climatiques de tout l'Iran. Exception faite de la côte Caspienne, les précipitations se placent sur la période hivernale et débordent légèrement sur le printemps. L'opposition climatique saisonnière que subit l'Iran répond aux grands changements de la circulation atmosphérique. Ce contraste se matérialise d'ailleurs très bien avec les variations latitudinales des courants jets, souvent assimilés « aux système nerveux » de l'atmosphère des basses couches (Péguy, 1970), qui entraînent un glissement vers le nord ou vers le sud de l'ensemble de l'atmosphère. Cependant, il faut dans le détail nuancer ce schéma général car le Zagros tout comme le

Caucase, le Taurus et l'Alborz est une barrière orographique importante responsable d'une déflexion majeure des circulations atmosphériques au-dessus du Moyen-Orient (Mainguet, 1995).

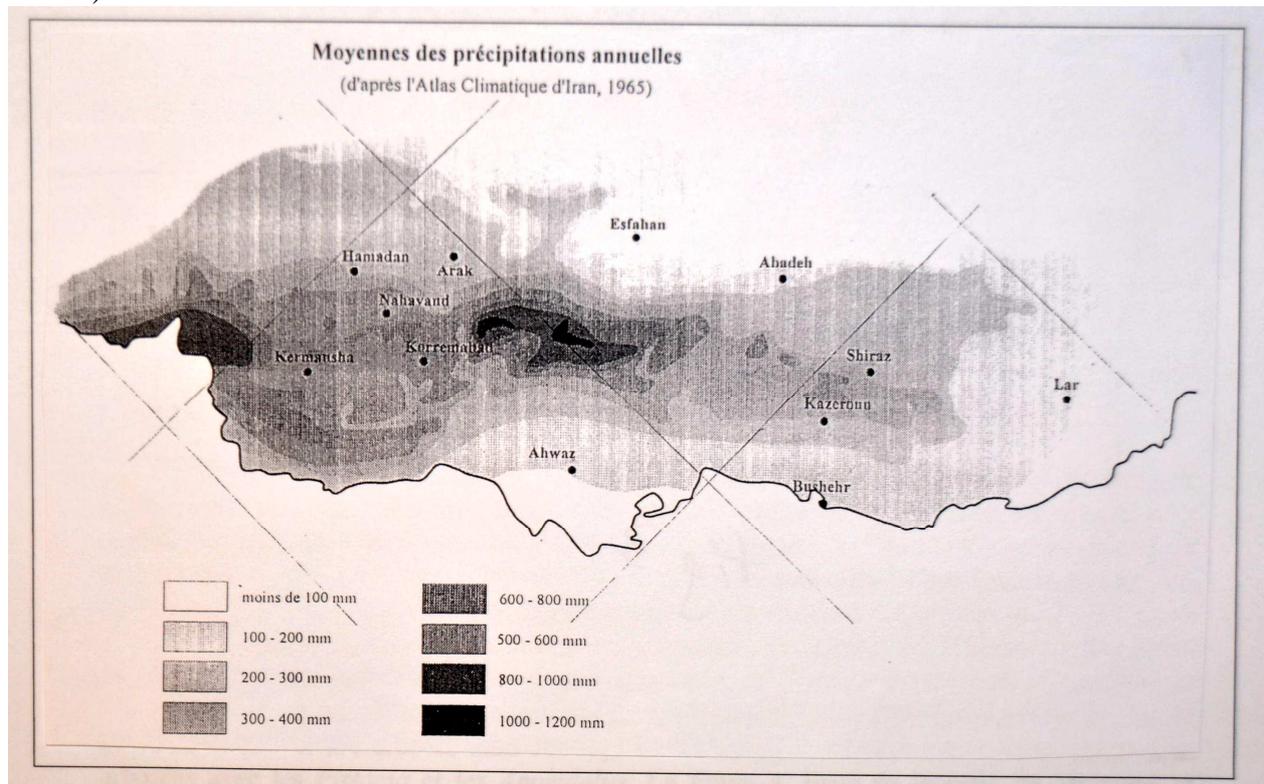


Figure 3 : *moyenne des précipitations annuelles*

### En hiver

Le flux d'W est alors bien établi en altitude et les vents d'E sont alors fortement réduit. Le jet polaire se trouve repoussé vers les 25-30° de latitude nord à la fois par l'Anticyclone sibérien et par les dépressions de secteur Ouest venues de la Méditerranée (Alijani et Harman, 1985). Le climat est donc caractérisé par des masses d'airs humides et froides. Cependant les précipitations diminuent très rapidement vers l'intérieur du pays car l'obstacle du relief (Zagros et Alborz) entraîne une occlusion rapide des dépressions cycloniques (Planhol et Rognon, 1970). Ainsi, sur le massif du Zagros, la majeure partie des précipitations se répartie entre novembre et avril (Atlas Climatique d'Iran, 1965). Cette abondance des précipitations de saison froide donne une importance prédominante aux chutes de neige dans le Zagros qui demeurent encore de nos jours très mal appréciées.

### En été

La circulation zonale d'ouest est affaiblie, le jet remonte en latitude et dépasse le nord de l'Iran. L'anticyclone sibérien perd de sa puissance et se déplace vers le nord. Des dépressions tropicales envahissent le pays avec de l'air chaud et sec. L'air chaud et humide du sud du Zagros qui pourrait s'élever et donner des pluies de convection en est empêché par la transgression de ces masses d'airs tropicales.

Le massif du Zagros est donc caractérisé par un hiver humide et froid et un été sec et chaud. Sur l'ensemble de la chaîne les précipitations sont supérieures à 500 mm par an hormis pour la partie la plus méridionale de la chaîne (figure 10). Ainsi à la latitude de Shiraz les précipitations annuelles oscillent entre 300 et 400 mm. Les précipitations sont sur l'ensemble de la chaîne sous l'influence directe de l'altitude des massifs puis secondairement de la latitude. La région la plus humide avec près de 2000 mm par an se place sur les points culminants de la chaîne du Zard Kuh (*infra*). Pour les hauts sommets du Zagros situés essentiellement dans le Kurdistan et le Louristan les précipitations seraient de l'ordre de 1000 mm/an. Une étude plus précise des précipitations sera abordée dans la seconde partie de la thèse.

## La végétation du Zagros

Nous ne possédons que très peu de données sur la végétation du Zagros. La carte de la végétation de l'Iran (Mobayen, Tregubov, 1970), nous permet néanmoins d'avoir une idée générale de la répartition du couvert végétal. Si la végétation de l'Iran n'est composée que de 15% d'espèces méditerranéennes, ce n'est pas le cas de la chaîne du Zagros qui est un domaine véritablement méditerranéen. Cette répartition méditerranéenne a été arrêtée, ou du moins sa pénétration vers l'Est, par cette barrière orographique. La région du Zagros est largement dominée dans son ensemble par le Chêne (notamment le *Quercus persica*) ce qui lui vaut le nom de forêt à chênes. Selon Djanvanchir-Khoie (1967), le genre *Quercus* représente plus de 80 % de la couverture arborée dans ces régions. Néanmoins, on retrouve d'autres formations arborées avec les *Pistacia* et les *Amygdalus*. La figure 4, issue de la carte de Mobayen et Tregubov et de celle des chênes d'Iran dressée par Djanvanchir-Khoie, permet d'ordonner la végétation en étages.

Le piedmont mésopotamien (0 à 1000 m) est largement dominé par le *Ziziphus spinachristi*. L'étage des hautes plaines intérieures de l'Iran (1300 à 1700 m) est caractérisé par une végétation steppique avec les *Artemisia* et les *Astragalus*. L'étage montagnard inférieur (1700 - 2200 m) est constitué par des *Berberis* et des *Crataegus* puis des *Amygdalus reuteri* qui peuvent monter localement jusqu'à 2400 m d'altitude. Dans les vallées des différents massifs du Zagros, on trouve les *Amygdalus scoparia* et les *Acer cinerascens*. L'étage montagnard moyen (2000 à 2800 m) est essentiellement colonisé par le *Quercus persica*, l'arbre du Zagros par excellence, capable de résister au froid et aux sécheresses prolongées. Au niveau d'Esfahan le *Quercus persica* s'associe avec le *Quercus saii* tandis que vers le nord de Kermansha il s'associe avec le *Quercus vesca* (Djavanvanchir-Khoie, 1967). Enfin dans les parties les plus élevées, l'étage montagnard d'altitude est constitué essentiellement par des genévriers en raison de leur grande résistance au froid hivernal et au gel. On rencontre notamment les *Juniperus excelsa*. Au-dessus, l'étage alpin est constitué de pelouse xérophyte très dégradée par le pâturage, les "pelouses écorchées", accrues ces dernières années par l'augmentation du cheptel des nomades.

Mais la carte de Mobayen et Tregubov (figure 4) n'est que théorique selon Planhol (1969), car la chênaie du Zagros aurait été très fortement dégradée ; il estime que plus de 90 % du couvert végétal a été détruit ces derniers siècles. En effet, il semble que dans l'Antiquité le Zagros était encore densément boisé et presque intacte. La traversée du Zagros par l'expédition d'Alexandre est décrite par Quinte-Curce comme un passage dans des montagnes extrêmement boisées ; "Il y avait des sentiers de forêt à peine accessibles... des arbres formaient d'épaisses forêts...". Hérodote parle de la région située au nord d'Ecbatane (Hamadan) comme d'un pays élevé et couvert de forêts. La description par les géographes

arabes de forêts à lions dans le Fars permet à Planhol (1969) de conclure qu'au Moyen Age la forêt du Zagros avait déjà disparu ou s'était fortement ouverte puisque le biotope du lion est caractérisé par une forêt claire. En recoupant cette analyse avec les observations des voyageurs traversant la Perse, on peut imaginer que le déboisement du Zagros a fortement progressé entre la période achéménide et le Moyen Age. Le développement de la vie urbaine s'est accéléré et a entraîné une demande importante des villes en bois de chauffe et de construction. Ainsi l'époque sassanide est probablement une phase majeure dans le déboisement de l'Iran. Les invasions qui vont suivre vont ralentir cette déforestation. Il est vraisemblable que le paysage végétal des forêts au XIXème est sensiblement le même qu'au Moyen Age (Planhol, 1969). A la fin XIXème et au XXème siècle le déboisement s'accélère au profit des centres urbains et des ateliers de fonte du fer. D'ailleurs dès que l'on s'éloigne des villes les formations végétales réapparaissent, il faudrait pour cela nuancer le rôle de la dégradation engendrée par les nomades. En 1950, les chênaies peu denses du Zagros s'étendait sur plus 10 millions d'hectares, elles recouvreraient aujourd'hui moins de 6 millions d'hectares (Djavanchir-Khoie, 1967). Mais la dégradation a été freinée ces dernières décennies par la prohibition de la fabrication du charbon de bois en 1958 et la nationalisation des forêts puisqu'elles sont presque toutes devenues domaniales (Schéma d'aménagement du territoire - 3ème partie, 1976). Même si la formation végétale a été très fortement dégradée on peut encore distinguer, lorsque l'on s'éloigne des centres urbains importants, un étagement de la végétation.

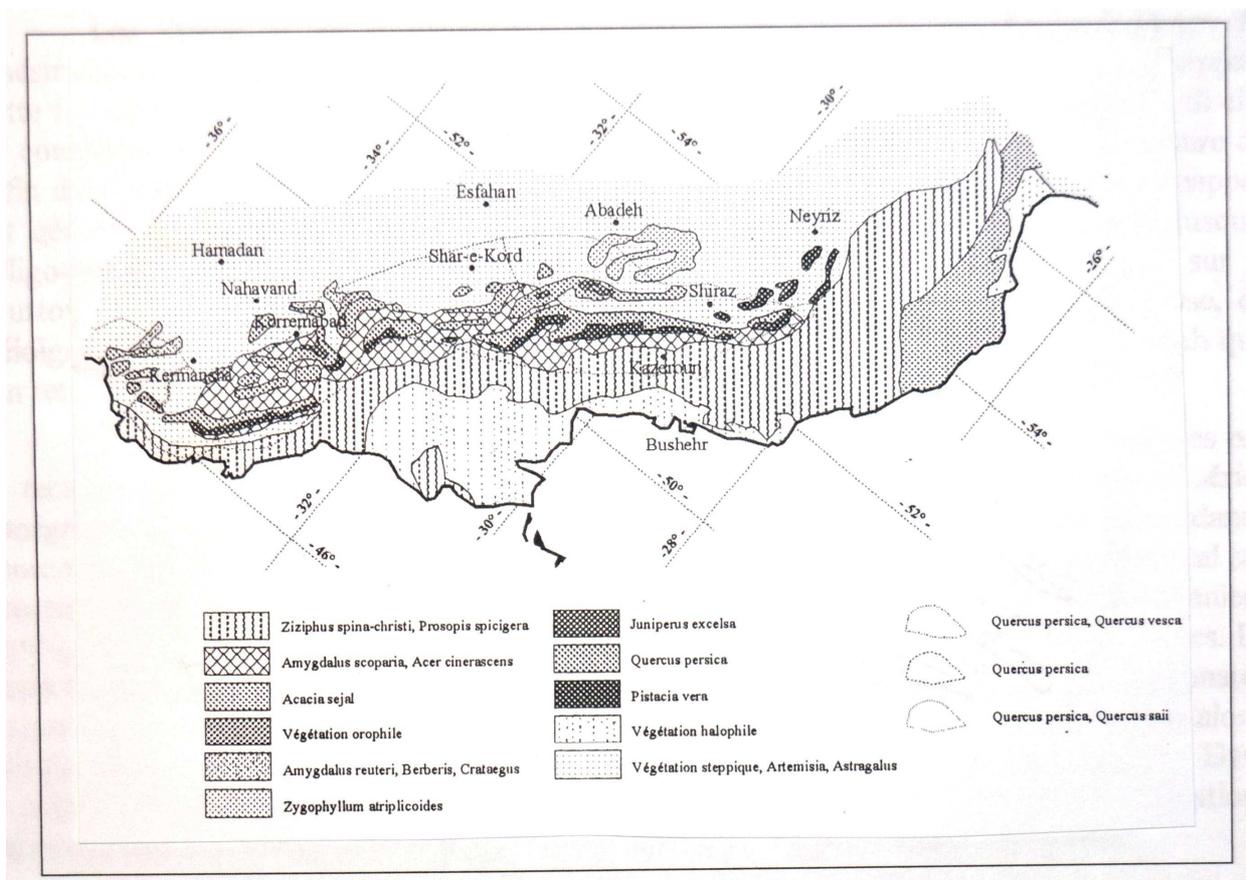


Figure 4: *Etagement schématique de la végétation sur la chaîne du Zagros d'après la carte Mobayen et Tregubov*

### ***La région du Kuh-e-Garrin (Nahavand) zone charriée***

Situé dans le Zagros central, dans la région du Luristan, entre le domaine métamorphique et le domaine externe de la marge arabe, le massif du Kuh-e-Garrin est un vaste massif qui culmine à plus de 3600 m d'altitude. Sa crête principale subhorizontale se place à environ 3400 m avec une direction E-W dans sa partie occidentale ; dans sa partie orientale la crête prend une direction plus méridienne (figure 12). Le Kuh-e-Garrin se rattache par son histoire géologique aux massifs situés au nord de Kermanshah, étudiés dans le détail par Braud (1987) et dont les karsts ont été décrits par Maire (1990). Ils étaient jusqu'alors les seuls massifs de la chaîne du Zagros à avoir été reconnus sur un plan spéléologique. Ils ont fait l'objet de plusieurs expéditions spéléologiques anglaises (en 1971 et 1972) et françaises (Farcy, 1974 ; Spéléo-Club de Lyon, 1977) ; le gouffre le plus profond de l'Asie du SW - le Ghar Parau (-751 m) - a ainsi été découvert (Middleton, 1971 ; Judson 1973) . L'endokarst du Kuh-e-Garrin a été reconnu durant l'expédition Zagros - Iran 1996.

Ce vaste massif du Kuh-e-Garrin, de plus de 300 km<sup>2</sup>, est coïncé entre le massif du Kuh-e-Garrun au nord et par celui du Misparvar au sud. Il possède de nombreuses formes karstiques remarquables qui s'échelonnent sur ses versants jusqu'aux plateaux sommitaux.

De nombreux auteurs considèrent la tectonique plio-quadernaire comme la phase principale du soulèvement des massifs de la Crush Zone (ou zone mobile) et dont découlerait la morphologie générale de ces montagnes (Stoklin, 1968 ; Ricou, 1974, 1977). Ce soulèvement plio-quadernaire a été probablement exagéré par les auteurs. Braud (1987) nuance cette conception en décrivant les nappes crétacées émergées depuis leur mise en place, et donc, en attribuant un rôle plus modeste à la surrection plio-quadernaire. Mais la série carbonatée transgressive oligo-miocène n'avait pas été observée jusqu'à présent dans les parties sommitales des nappes (Berthier *et al.*, 1974 ; Braud, 1987). Le problème est donc de mesurer le rôle de la tectonique néogène sur la morphologie d'ensemble de ces massifs. Cette problématique peut être abordée à travers une lecture à différentes échelles, des arguments géologiques et surtout géomorphologiques bien conservés par ce système karstique et jusqu'à présent peu exploités. En effet, les versants et les plateaux du Kuh-e-Garrin révèlent de nombreux indices géologiques et géomorphologiques permettant de préciser l'évolution de cette chaîne.



**Photo 1: *Le massif du Kuh-e-Garrin et son piémont.***

## Le contexte géologique

La région du Kuh-e-Garrin comporte les trois grandes unités sédimentaires de la *Crushed Zone* du Zagros : la série autochtone, les nappes crétacées et les nappes du domaine métamorphique. Dans le cadre de cette étude nous avons principalement axé nos observations sur le massif du Kuh-e-Garrin qui représente un lambeau des nappes charriées au Crétacé.

### *Evolution géologique*

La zone est complexe et a été interprétée différemment selon les auteurs. L'interprétation allochtone des radiolarites par L.E. Ricou (1974) est fondamentale. Elle permet de faire apparaître une chronologie différente de ce qui avait été proposé jusqu'alors. Ce modèle fait apparaître deux grands ensembles de nappes superposées l'une sur l'autre.

A la fin du Jurassique, l'orogénèse du domaine métamorphique crée une véritable chaîne de subduction de type andin et amorce la mise en place gravitaire des nappes à radiolarites associées aux calcaires et aux ophiolites de la Téthys. La régularité des dépôts sédimentaires autochtones de la marge arabique traduit bien sa stabilité pendant tout le Mésozoïque, jusqu'à l'arrivée des nappes. A la fin du Crétacé, le charriage se développe sur des séries peu déformées ou plissées.

Les flyschs et les conglomérats *d'Amiran*, formation détritique à radiolarites du Maestrichtien et du début du Paléocène, permettent de préciser la mise en place des nappes. Cette formation peut être considérée comme « anté-nappe, syn-nappe et poste-nappe ». Si elle est complexe dans le détail, elle permet de dater précisément cette mise en place gravitaire de la fin du Crétacé. De plus, la formation *d'Amiran* est bien la preuve indirecte que ces nappes ont généré l'existence de massifs importants. Une chaîne importante reste émergée jusqu'à l'Oligo-miocène. Elle va produire des séries paléocènes et éocènes conglomératiques sur le pourtour des nappes crétacées. Ce faciès détritique paléogène du bord de nappes passe, en s'éloignant de la chaîne, à un faciès beaucoup plus pélagique avec les marnes de Pabdeh que l'on retrouve dans la région de Shiraz.

Au début du Néogène, les nappes crétacées ont été fortement aplanies et abaissées par la tectogenèse paléogène, le domaine de la Téthys est cicatrisé. Les premières séries transgressives sur ces nappes sont datées de l'Oligocène. Elles recouvrent en discordance l'ensemble des formations existantes et présentent généralement un caractère épicontinental sur l'ensemble de ces domaines. C'est essentiellement les calcaires oligo-miocènes de l'Aquitainien-Burdigalien (23-16 Ma) - les calcaires *d'Asmari* - qui caractérisent ces séries transgressives. Le faciès de ces calcaires est toujours néritique (Berthier *et al.*, 1974). Cette formation carbonatée recouvre bien la totalité des nappes crétacées à l'inverse de ce qui avait été décrit jusqu'alors, puisque nous avons retrouvé ces calcaires à plus 3400 m d'altitude sur le Kuh-e-Garrin. Dans la région de Kermanshah, où il devait exister une ride intermédiaire, ces formations transgressives sont absentes sur l'autochtone et sur le pourtour des nappes crétacées.

Cette épisode transgressif précède l'arrivée de produits détritiques qui vont former les marnes ou les flyschs du Miocène et constituent le « Fars groups » (Ricou, 1976). Cette

série a une appellation assez large, qui fait suite à des variations longitudinales et latitudinales de faciès importantes. Elle est d'ailleurs nommée indifféremment marnes, flyschs ou encore molasses (Braud, 1987). Au niveau de Kermanshah, l'existence d'une ride entraîne une distinction entre un sillon externe (Louristan, Kousistan) et un sillon interne (entre le domaine métamorphique et la *Crushed zone*) où sédimentent ces séries. Ces deux sillons deviennent coalescent au niveau de notre zone d'étude. Ces flyschs accompagnent l'orogénèse du Zagros métamorphique qui commence dès le Miocène inférieur. L'alimentation de cette formation est double ; à la fois et surtout du domaine métamorphique qui commence à émerger et dans une moindre mesure des nappes crétacées de la *Crushed zone*. L'ensemble recouvre les calcaires aquitano-burdigaliens d'*Asmari*. Lorsque la transgression oligo-miocène n'a pas eu lieu - par exemple dans la région de Kermanshah - ils se retrouvent directement posés sur les calcaires éocènes avec une discordance angulaire plus ou moins marquée. A la base, ces flyschs sont constitués principalement d'argiles et d'évaporites (formation de *Gachasaran*) puis sont surmontés par un ensemble marneux détritique très varié du Miocène supérieur (formation de *Agha Jari*). Dans le synclinal de Darbit - Firouzabad, au N de Korremabad, cette formation prend un grand développement ; elle surmonte en concordance la barre des calcaires aquitano-burdigaliens.

Au-dessus des marnes miocènes les apports conglomératiques deviennent de plus en plus importants en raison de l'émersion des reliefs. Ils forment les conglomérats continentaux de Bakhtyari, caractéristiques sur l'ensemble du Zagros. Il s'agit d'une formation syntectonique avec des bassins d'alimentation relativement proches (Ricou, 1976). Cette formation est difficile à dater avec précision puisqu'elle est dépourvue de faune (James, Wynd, 1965). De plus, ils sont probablement diachroniques avec des variations longitudinales importantes. Cette formation est décrite en liaison avec une tectonique plio-quadernaire (Ricou, 1977 ; Braud, 1987). C'est en fait une commodité de langage sans aucunes preuves paléontologiques. Ces conglomérats très probablement diachrones (Ricou, 1977) n'indiquent donc pas forcément au départ une tectonique plio-quadernaire mais peuvent tout autant marquer une orogénèse plus ancienne de la fin du Miocène. Les différents dépôts de piémont ne permettent pas de placer précisément cet événement dans le temps. Si les flyschs miocènes traduisent un soulèvement progressif, les conglomérats de Bakhtyari suggèrent un changement soudain de régime morphotectonique avec une surrection importante et relativement rapide.

Cependant cette formation est complexe puisqu'on peut la retrouver localement en continuité de la série miocène par exemple sur le Kuh-e-Garrin ou plus généralement en discordance après déformation de la série miocène (par exemple dans la coupe du synclinal de Darbit - Firouzabad). Cette discontinuité importante fait donc suite à des événements tectoniques lors de la sédimentation des conglomérats. Ainsi au niveau de Korremabad, on distingue une évolution pétrographique importante dans les apports détritiques, où de la base vers le sommet les calcaires crétacés à Orbitolines des nappes du domaine métamorphique augmentent (de 36 à 64%), de même pour les métamorphites (de 2 à 15%), tandis que diminue la part des éléments tertiaires (de 43 à 15%) et disparaissent les radiolarites et les vulcanites paléocènes (Berthier *et al.*, 1974). Il semble donc que cette formation conglomératique soit consécutive aux premiers épisodes d'orogénèses. A l'inverse des conglomérats éocènes principalement alimentés par les radiolarites des nappes crétacées, les conglomérats de Bakhtyari sont principalement alimentés par le domaine métamorphique et essentiellement avec le produit de démantèlement de ses nappes charriées.

Cette tectonique néogène, souvent qualifiée de Plio-quadernaire, va être responsable du charriage des nappes du domaine métamorphique et du plissement du Zagros autochtone. Ainsi au cours de cette phase compressive, les nappes crétacées sont chevauchées par l'arrivée d'une nappe de grande amplitude appartenant au domaine métamorphique ; la nappe du Kuh-e-Garrun à l'W de Nahavand et celle du Kuh-e-Faranghi au niveau de Korremabad. Elles entraînent à leur base une semelle paléogène appartenant au sillon interne, situé entre le domaine métamorphique et les nappes crétacées (les écailles de la Gaveh Rud définies par Braud en 1987). Ce chevauchement oblitère une grande partie des flyschs miocènes. C'est d'ailleurs grâce à cette couverture miocène chevauchée que l'on peut reconnaître cette tectonique.

Si le Kuh-e-Garrun repose sur les flyschs miocènes, la nappe du Kuh-e-Faranghi repose sur des conglomérats Bakhtyari. Cette arrivée dans le bassin de sédimentation des conglomérats Bakhtyari est sans doute la trace d'un déplacement gravitaire. Mais le caractère diachronique des conglomérats Bakhtyari ne permet pas de dire pour autant que cette phase tectorogénique est postérieure à leur sédimentation (Braud, 1987). En effet, cette phase peut être aussi bien contemporaine de ces dépôts et l'âge de la mise en place de ces nappes serait indiqué par l'interstratification dans les conglomérats bakhtyari, encore non datés précisément.

### *Morphostructure*

La nappe du Kuh-e-Garrin chevauche au sud l'anticlinal du Misparvar et disparaît au nord sous la nappe du Kuh-e-Garrun. Cette nappe réapparaît dans la région de Kermanshah avec le massif du Kuh-e-Shirez et les massifs du Parrow et du Shahu dont l'endokarst a été reconnu par plusieurs expéditions spéléologiques.

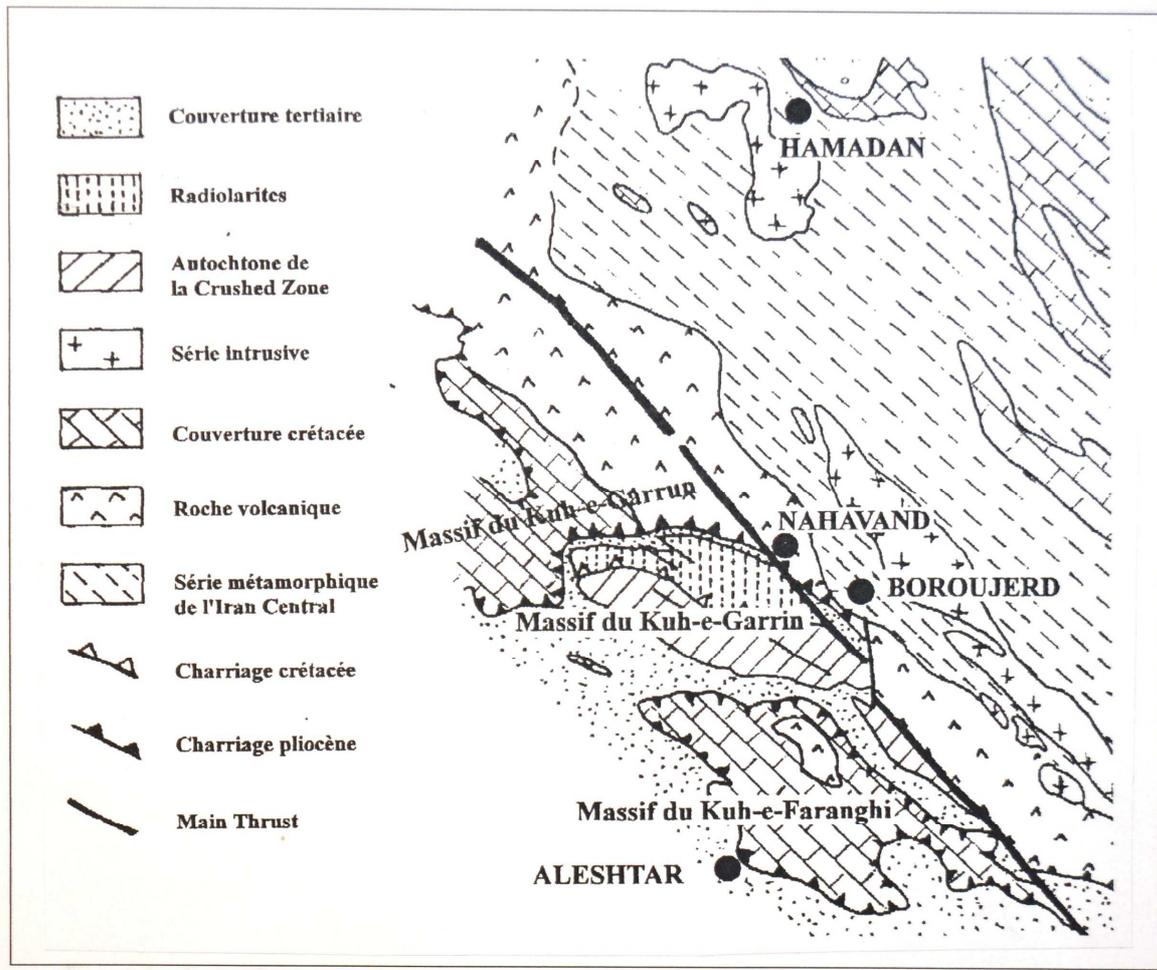


Figure 5: *Position structurale du Kuh-e-Garrin et de sa région (d'après Braud, 1987)*

Le Kuh-e-Garrin se présente comme un large volet anticlinal à grand rayon de courbure qui ne comporte pas d'accident tectonique majeur. Il est armé par des calcaires jurassiques très puissants. Dans le détail on observe une série de petits plis et des cassures (Figure 6 p26). L'axe du pli est de direction générale E-W et devient NW-SE dans sa partie orientale, l'ensemble étant tranché par le Grand Décrochement du Zagros. La falaise qui limite la partie méridionale du massif est un escarpement de chevauchement dont la hauteur est de l'ordre du millier de mètres et fait suite à la rupture de la charnière anticlinale liée à la difficulté qu'ont eu les couches sédimentaires à se plisser.

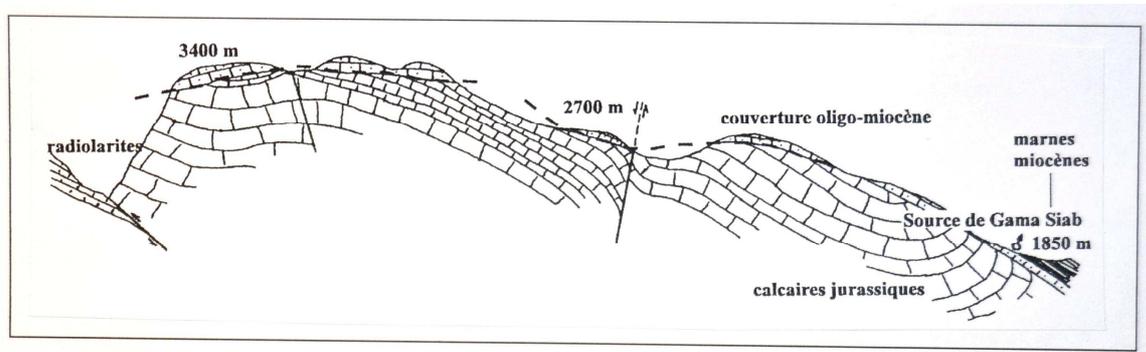


Figure 6: *Coupe géologique S-N du massif du Kuh-e-Garrin*

La mise en place des calcaires du Kuh-e-Garrin a entraîné à sa base l'ensemble des unités à radiolarites qui sont fortement tectonisées et plissées. Le faciès marneux de ces unités siliceuses a favorisé une érosion différentielle dégageant au coeur de ces séries de larges dépressions topographiques. Les radiolarites sont armées dans la partie méridionale du massif par des calcaires bréchiques dont la genèse est liée à une sédimentation plus détritique dans les marges du sillon à radiolarites. Au sud, le Kuh-e-Misparvar est formé par un ensemble d'anticlinaux avec des plis isopaques dont les axes ont une direction grossièrement E-W. On retrouve un relief parfaitement conforme à la structure. Les couches marneuses du Campanien ont probablement été décapées après le plissement des séries calcaires puisque le charriage des nappes au Crétacé s'est effectué par gravité (Ricou, 1977). Suite au décapage de cette couverture sédimentaire marneuse, les calcaires bioclastiques autochtones du Crétacé affleurent sur l'ensemble du massif. On retrouve ces anticlinaux développés dans ces calcaires crétacés, dans le domaine plissé du Zagros, jusque dans la région de Shiraz où ils apparaissent à l'E du lac de Maharlou.

### *Les séries karstifiables*

On retrouve quatre grands ensembles carbonatés associés à des zones morphostructurales différentes. La grande variété des roches carbonatées et des faciès rencontrée dans cette zone permet de faire ressortir les sensibilités différentes aux processus d'érosion et d'expliquer, en partie, les morphologies karstiques qui en résultent. Car de façon générale les formes karstiques les plus nombreuses et les plus typiques sont caractéristiques des calcaires les plus purs. De même les bancs massifs résultent le plus souvent d'une accumulation régulière d'une microfaune et de vase carbonatées marines formant des calcaires compacts très purs.

	échantillons (n°)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Insolubles (%)	Porosité (%)
<b>Autochtone</b>	95-58	91.23	8.77	5%
<b>Nappe crétacée</b>	94-66	87.28	12.72	1%
	95-42a	98.67	1.33	
	95-48b	97.83	2.17	
	<b>Moyenne</b>	<b>94.59</b>	<b>5.41</b>	
<b>Calc. oligo-miocène</b>	94-79	86.54	13.46	5%
	95-55a	72.06	27.94	
	<b>Moyenne</b>	<b>81.30</b>	<b>20.70</b>	
<b>Nappe du Kuh-e-Garrin</b>	95-56b	95.56	4.44	2%

**Tableau 2: Caractéristiques des calcaires rencontrés dans la région du Kuh-e-Garrin**

- **Les calcaires de l'autochtone** de la Crushed Zone affleurent très largement sur l'anticlinal du Misparvar situé au sud du Kuh-e-Garrin. On retrouve, au sein de ce massif, différents étages carbonatés allant du Permien au Crétacé supérieur. Au coeur de l'anticlinal, à l'ouest de Boroujerd, de vastes combes se développent dans les séries marneuses du Permo-Trias. C'est la série à calcaire dolomitique du Jurassique - Crétacé, d'une épaisseur totale d'environ 2500 m, qui est la plus apte à offrir une karstification. De la base au sommet, on peut y distinguer trois ensembles différents. A la base on trouve des calcaires massifs

dolomitisés mais peu épais du Jurassique moyen à supérieur. Ils sont surmontés par des calcaires bioturbés finement lités avec localement des niveaux biodétritiques. Au sommet, la série se termine par une formation bien litée et laissant à l'affleurement des calcaires bioclastiques en plaquettes. Cette partie haute de la série fournit une microfaune abondante caractéristique de l'Albien-Cénomaniens avec notamment des *Globotruncana* et des *Globigérines*. Le litage important de toutes ces séries et surtout le faciès en plaquette des formations affleurantes sur les anticlinaux du Misparvar limitent fortement la karstification de l'ensemble de ces massifs malgré une relative pureté de ces calcaires (moins de 9% d'insolubles). Ces calcaires crétacés sont recouverts par des niveaux marneux du Campanien-Maestrichien (83 - 65 Ma).

- **Les calcaires des nappes crétacées** du Kuh-e-Garrin ont une puissance de plus de 3000 m (Braud, 1987). Mais la masse calcaire a été réduite sur le massif de moitié par les érosions successives lors de son émergence et de sa mise en place au Crétacé supérieur. Les séries carbonatées qui composent cette nappe sont séparées des unités autochtones par un niveau très puissant de radiolarites. Les séries carbonatées allant du Trias au Jurassique supérieur sont issues d'une vaste plate-forme calcaire située entre le domaine externe et le domaine métamorphique. Elles sont formées d'un calcaire très pur et très compact (porosité d'environ 1% observée sur lame mince, avec généralement 1 à 3 % d'insolubles) avec un faciès fin micritique typique d'une puissante accumulation de vases carbonatées avec des traces de bioturbation. C'est dans ces calcaires que sont établis les drains du système karstique débouchant notamment à la source de Gama Siab.

- **Les calcaires tertiaire de l'Oligo-miocène.** Cette série présente des variations de faciès très importantes puisque selon leur position elle passe de calcaire récifaux massifs d'une épaisseur de 500 m à des calcaires plus marneux et d'épaisseur plus variable. Cette formation repose soit en relative continuité sur les séries éocènes soit en totale discordance sédimentaire sur une surface d'érosion de la fin du Paléogène établie dans les formations mésozoïques.

### **Le massif du kuh-e-Garrin et son relief karstique**

Les massifs du Kuh-e-Garrin, du Kuh-e-Garrin et du Misparvar ont chacun un paysage karstique particulier. C'est sans conteste sur celui du Kuh-e-Garrin que l'on retrouve les formes karstiques les plus développées. C'est le massif que nous avons le plus étudié. Ce vaste massif présente de nombreuses formes exokarstiques : lapiés, dolines, ouvalas... L'ensemble du modelé résulte d'une érosion liée à la présence d'une couverture neigeuse. Une évolution nivale a façonné et retouché les versants durant tout le Pléistocène, sans interruption glaciaire. Ce développement du modelé nivo-karstique, accru au cours du Quaternaire, a été plus ou moins accentué selon l'altitude et a entraîné une grande variété de morphologies karstiques. Dans les parties sommitales du massif, ce modelé n'est cependant jamais passé à un modelé glacio-karstique.

Les formes nivo-karstiques continuent aujourd'hui à évoluer au moment de la fonte de manteau neigeux. Les formes en creux sont, de plus, entretenues par un effet "d'autocatalyse" classique en haute montagne. Mais l'ensemble de la morphologie karstique et de ses formes majeures découle pour l'essentiel des conditions climatiques antérieures au

Pléistocène, avec une évolution s'étalant sur plusieurs millions d'années depuis la fin du Miocène pour l'essentiel du massif.

### *Les versants du Kuh-e-Garrin*

On observe sur les versants la marque d'une évolution nivo-karstique. Des lapiés et de nombreux ravins en V à écoulement temporaire griffent les versants septentrionaux du massif.

#### Les lapiés

L'évolution karstique du massif au Quaternaire est directement liée aux précipitations et plus encore aux précipitations solides. La manifestation la plus courante de cette corrosion de surface sont les lapiés. Sur les versants du Kuh-e-Garrin différents types de lapiés apparaissent de façon discontinue et sont souvent couverts par un manteau de terra rossa. Cependant il n'existe pas à proprement parlé de champs de lapiés. Contrairement aux karsts alpins ces microformes sont localisées sur de petites plages de versants. Cette relative carence trouve probablement son explication dans le caractère assez évolué de ce karst de haute montagne mais aussi par des précipitations relativement faibles, de l'ordre de 1500 mm par an (*infra*) et des conditions lithostructurales en générale peu favorables sur l'ensemble du massif (litage important des séries carbonatées jurassique et tertiaire, porosité et fraction des insolubles importantes dans les calcaires oligo-miocènes).

#### La morphologie des versants

Le massif du Kuh-e-Garrin est nettement caractérisé par une opposition des formes contrainte par une différence structurale majeure puisqu'il forme un grand volet anticlinal d'axe E-W qui plonge vers le N. L'évolution morphoclimatique de type nival s'exprime alors différemment entre les versants sud régularisés et les versants nord découpés en altitude par un ensemble de cirques nivaux et une grande variété de formes exokarstiques.

#### *Allure générale*

La façade septentrionale du massif est sillonnée par de nombreux ravins en V liés à une évolution typiquement nivale. A la fonte des neiges les névés mieux préservés dans ces petits talwegs favorisent l'évolution de ces ravins par un écoulement temporaire. A la base du massif, ces ravins se rejoignent.

Les versants sont peu tapissés de gélifracsts et de dépôts cryoclastiques, hormis ponctuellement au pied de petits escarpements avec des talus d'éboulis peu volumineux. D'ailleurs, les ravins de même que les canyons présentent des cônes de déjections extrêmement réduits. On retrouve des lambeaux de ces cônes cimentés à 2500 m qui laissent suggérer un ancien dépôt volumineux. Leur incision traduit un contexte climatique plus

humide et froid alors que les processus de consolidation de ces dépôts sont liés à une phase plus chaude.

### *Des versants régularisés*

On observe sur le massif du Kuh-e-Garrin, essentiellement dans sa partie méridionale, de longs versants régularisés avec une pente d'environ 25°. Ces versants sont la conséquence d'une longue évolution sous climat périglaciaire durant laquelle se produit un gommage des escarpement.

### *Le Karst de mi-versant et du replat intermédiaire*

Entre 2500 m et 2800 m, une karstification particulière modèle cette zone. On y observe soit une vaste étendue d'ondulation topographique que l'on peut rattacher à un "karst en vagues" soit dans des topographies plus horizontales un développement important de puits à neige. Le karst en vagues apparaît directement sur les calcaires jurassiques alors que les formes karstiques spectaculaires du type puits à neige se développent généralement dans la série carbonatée oligo-miocène, qui est mieux conservée dans des zones structurellement peu redressée.

#### Le karst en vagues entre 2500 - 2700 m

Dans la partie N du massif essentiellement, entre 2500 et 2700 m, se développe une morphologie karstique caractéristique d'une évolution nivale appelée "karst en vague". Ce modèle a été décrit sur le Haut Atlas Central du Maroc par Couvreur (1975, 1988) et plus récemment par Perritaz (1995). Sur le Kuh-e-Garrin, il ne prend pas l'ampleur de celui décrit sur ces karsts marocains. On observe par endroit une succession de petits replats avec une légère contre pente associée à une corniche d'une dizaine de mètres tout au plus tournée vers le N - NE. Ces corniches sont parallèles les unes aux autres et régulièrement espacées.

#### Le large replat entre 2500 et 2800 m

A mi-versant, le massif possède un large replat fortement karstifié. Il n'est pas d'un seul tenant mais se présente comme une série de larges gradins passant progressivement de 2500 m à 2800 m d'altitude. La karstification y présente l'aspect le plus spectaculaire du massif. On trouve notamment de profonds puits à neige dont les dimensions verticales dépassent parfois 40 m (photo 2). La profondeur de ces puits s'accroît par un phénomène d'autocatalyse classique. La conservation de la neige est entretenue d'une année sur l'autre par un effet de piège à froid. Un culot de neige se trouve ainsi en permanence au bas de ces puits.

échelle

**Photo 2 : puits à neige**

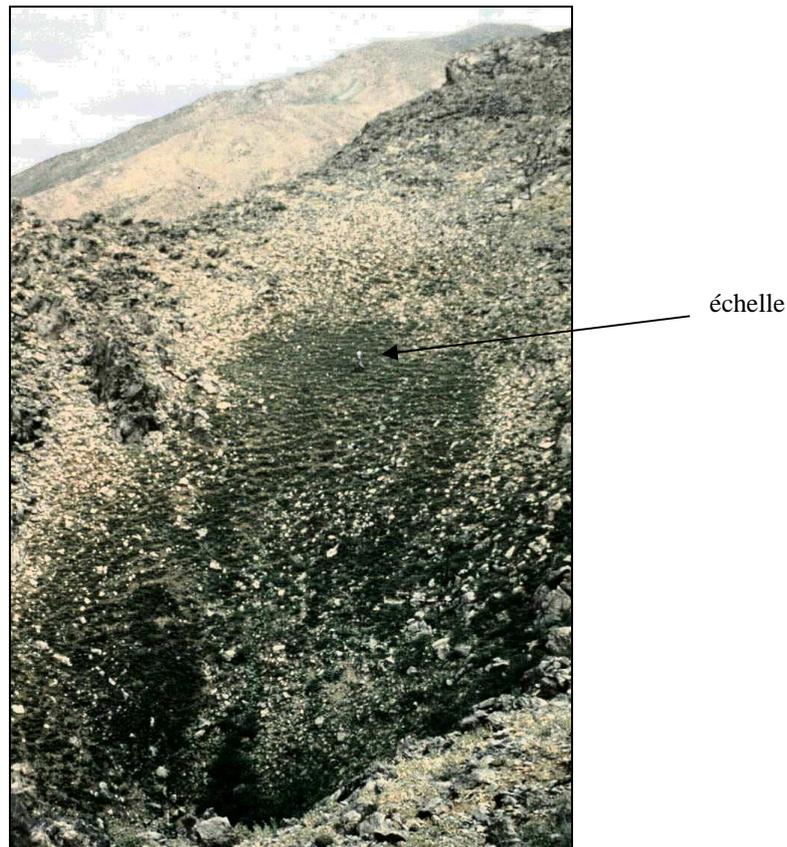
### *Les sommets et le plateau occidental*

#### Une morphologie dolinaire

C'est la zone du massif qui reçoit la plus grande quantité de précipitations (environ 1500 mm par an) et qui a subi l'évolution la plus longue, c'est pourquoi elle présente la plus grande variété de formes et de paysages karstiques. Le modelé se développe dans deux séries géologiques. Le plissement de la série oligo-miocène est peu perceptible ; cette surface forme une sorte de large anticlinal empâté et porté en altitude par la surrection fin-miocène. Les strates des calcaires jurassiques, bien visibles dans le paysage, ont un pendage de l'ordre de 50° et localement de plus de 70°. Le modelé exokarstique du haut plateau du Kuh-e-Garrin est spectaculaire. Il offre à perte de vue des dolines développées pour la plupart directement dans la couverture d'altérites.

Ces dolines représentent un phénomène karstique majeur du haut plateau par leur très grand nombre. Elles forment de véritables champs de dolines situés dans des positions structurales variées. Leur localisation et l'organisation générale de ces modelés dépendent de zones favorables à l'infiltration : failles, cassures, microdiaclasses, fentes de décompression, joints de stratification... L'eau s'y infiltre puis les élargit progressivement par dissolution. Dans la partie sommitale du massif, la genèse des dolines est de plus favorisée par le

développement vertical de l'endokarst et donc par un soutirage karstique plus important. De même les conditions structurales de ces hauts plateaux et la décompression des calcaires favorisent une fissuration verticale dense dans la masse calcaire. Les dolines ont des diamètres oscillant généralement entre 5 et 10 m mais pouvant atteindre plus de 30 m, voire dans la partie W des dimensions de plusieurs centaines de mètres. A l'W du plateau on trouve de véritables mégadolines en entonnoir dont la profondeur atteint 100 m et le diamètre plusieurs centaines de mètres (photo 3). L'ensemble de ces morphologies montrent bien l'intensité de la karstification.



**Photo 3: Mégadoline de dimension pluridécamétrique (la personne donne l'échelle) que l'on peut observer à l'W du plateau sommital.**

Les dolines se développent et s'organisent dans deux types de formes majeures distinctes :

1 - des vallées dolinaires : de nombreuses dolines se développent dans des grandes dépressions longilignes, qui sont pour la plupart d'anciennes vallées fluviales et dont l'ancien réseau hydrographique a été désorganisé par le défonçage karstique. Ces dépressions sont parcourues par de nombreux petits talwegs transversaux directement incisés dans la couverture d'altérites. Les ravins peuvent parfois dépasser 10 m de profondeur ; ils débouchent toujours sur une ou plusieurs dolines. Ces talwegs ne sont plus fonctionnels aujourd'hui même à la fonte des neiges ;

2 - des ouvalas : les dolines se retrouvent aussi dans de grandes cuvettes de 100 à 300 m de diamètre dont la profondeur peut atteindre la centaine de mètre. A l'inverse des grandes

dépressions longilignes, elles ont le fond rarement incisé par un réseau de ravines. C'est la coalescence des dolines qui a engendré ces ouvalas.



**Photo 4: Paléovallée criblée de dolines (vallée dolinaire). Ces dolines sont généralement reliées à de petits talwegs transversaux**

Le fond de ces formes de première grandeur est toujours défoncé par une série de dolines reliées ou non à un ravin. La plupart des dolines sont du type entonnoir et évoluent directement dans le manteau d'altérites. D'ailleurs, pour passer à des formes dolinaires, il est nécessaire d'avoir une couverture meuble sur les calcaires (Nicod, 1967). La dissolution des eaux attaque les calcaires au-dessous de cette couverture d'altérites.

#### Les ouvalas

Ces grandes dépressions sont extrêmement fréquentes dans la partie sommitale. Elles présentent dans le détail des formes relativement irrégulières. Leur fond est généralement accidenté et percé d'une multitude de dolines. Leur évolution est due à la coalescence de plusieurs dolines.

Ces ouvalas sont parfois ouverts vers le nord. L'évolution de ces grandes cuvettes est favorisée par un phénomène "d'autocatalyse" à l'échelle de chaque ouvala. En effet, elles servent de réceptacle à de grandes masses de neige qui favorisent et participent à leur élargissement.

### Poljés intramontagnards

On trouve dans la zone sommitale de grandes cuvettes plus ou moins fermées au fond plat parfois hérissé de chicos calcaires. Il s'agit de poljés intramontagnards de petites dimensions. Les eaux de fonte se perdent dans un ponor et leur fond est parfois envahi par un petit lac temporaire lié ou non à la présence d'un barrage en pierres sèches construit par les nomades. Certes ces poljés ne présentent pas toutes les caractéristiques d'un poljé classique notamment par l'absence d'une source d'altitude. Mais sans être très vaste, ils se distinguent des grandes dolines en baquets par des écoulements superficiels au moment de la fonte des neiges alors que l'eau s'infiltré de façon diffuse dans les autres morphologies.

Ces poljés sont installés dans des bassins et des zones de confluence d'un ancien réseau hydrographique. Certains doivent aussi leur existence à la rencontre de plusieurs cassures qui a favorisé leur genèse par la coalescence de dolines. L'évolution verticale est bloquée en faveur d'une corrosion essentiellement latérale.

Ces dépressions ont ainsi piégé des dépôts divers et d'épaisseurs variables. Le remplissage de ces poljés d'altitude est pour cela très intéressant et apporte des arguments supplémentaires pour retracer l'évolution géomorphologique des massifs.

### Les cirques de nivation

Ils sont surtout présents sur les flancs N du massif où on les retrouve dès 3300 m d'altitude. Les plus grands cirques abritent des névés permanents dont la disparition au cours de l'été n'a sans doute pas été fréquente puisqu'ils sont accompagnés d'une faune nivicole ne pouvant pas vivre longtemps hors de cette niche écologique. Il ne s'agit pas de cirques glacio-karstiques car aucune trace de moraine glaciaire n'a été observée. Ces cirques sont parfois larges d'une cinquantaine de mètres et sont ouverts au nord avec une légère contre pente dont la base est toujours pourvue au minimum d'une ou deux dolines.

L'ensemble de ces formes donne à la partie sommitale un caractère nettement plus évolué que celui de la zone située entre 2500 et 2800 m. En revanche, cette partie du massif a subi un rajeunissement pléistocène évident : puits à neige, lapiés aiguisés... Néanmoins cette retouche quaternaire n'a pas eu le temps de modifier les grandes formes du massif acquises dès la fin du Miocène. D'ailleurs les éboulis sur les versants sont toujours très réduits, il s'agit plus d'un voile de gélifracas que de véritables "clapiers". La retouche pléistocène est moins nette dans les zones sommitales, si ce n'est la présence de nombreux cirques nivaux et le décapage partiel des colmatages bréchiqes. Cette différence s'explique probablement par la présence continue durant cette période d'une couverture neigeuse protectrice. La corrosion était ainsi fortement limitée à l'inverse de la partie avale où la fonte saisonnière du manteau neigeux a favorisé la genèse des formes exokarstiques.

### Les témoins de la surrection Mio-Pliocènes

Les morphologies externes et internes sont des témoins très précieux pour la reconstitution orogénique d'un massif. On retrouve sur le Kuh-e-Garrin un ensemble de

formes topographiques rattaché à ces deux morphologies dont la genèse est en étroite interrelation. Leur analyse permet de bâtir des hypothèses sur l'évolution morphologique de ce massif. Les formes exokarstiques majeures portent la trace d'anciens réseaux hydrographiques, aujourd'hui totalement désorganisés par la karstification. Selon l'altitude du niveau de base auquel était relié le système karstique du massif, ces anciens réseaux ont laissé des empreintes différentes dans le paysage actuel avec soit des paléovallées perchées, soit des canyons entaillant verticalement les versants. A ces deux topographies sont aussi associés des dépôts corrélatifs différents. "La quatrième dimension" des karsts, c'est-à-dire toutes les formes reliées à l'endokarst actuel ou passé, permet de préciser l'orogénèse et les étapes géomorphologiques du massif. Car l'endokarst s'est creusé en même temps que le massif se soulevait, que les vallées s'asséchaient et que les canyons s'enfonçaient. Dans ce karst souterrain, on peut distinguer différents ensembles qui sont de manière différente en relation avec l'exokarst et l'orogène du Zagros.

### ***L'endokarst***

Le modelé endokarstique actuel ou révélé traduit l'existence d'une longue évolution géomorphologique avec la disparition d'une épaisse masse calcaire et le décapage d'une couverture d'altérites. L'étude de l'endokarst va nous permettre de préciser les étapes de l'évolution de la chaîne du Zagros. Contrairement aux massifs karstiques situés au Nord de Kermanshah où ont été découvertes de grandes cavités verticales avec le *Ghar Parau* (-751 m) et le *Ghar Cyrus* (-265 m), le Kuh-e-Garrin n'a malheureusement pas révélé, lors de cette expédition, de grands gouffres. Mais il est certain que le nombre et le développement des cavités reconnus ne représentent qu'une partie infime de l'endokarst, compte tenu des potentialités du massif.

En effet, l'exokarst dans un milieu de haute montagne ne représente qu'une partie limitée du volume karstifié. Il faut en effet prendre en compte ces réseaux souterrains qui constituent la quatrième dimension du karst (Maire, 1990). Le massif du Kuh-e-Garrin possède de nombreuses cavités souvent décapitées portant des lambeaux de veilles concrétions mises à jour. Ces dépôts chimiques n'ont pu se former que dans d'anciens réseaux souterrains, aujourd'hui totalement érodés. Ils datent pour la plupart de la fin du Tertiaire, à une époque où le climat plus chaud (Chaline, 1985) et une altitude plus faible rendait possible ce concrétionnement (Bini *et al.*, 1989). Cet endokarst a commencé à évoluer verticalement lorsque le massif a été porté en altitude. Aussi retrouve-t-on différents types de générations de cavités.

### **Les cavités anciennes mise à jour**

On retrouve sur tout le massif de nombreux témoins de cavités décapitées par l'érosion ; quelques porches, des grottes dont certaines présentent des anciennes coulées de calcite, d'anciens tronçons de conduits (verticaux ou subhorizontaux) recouverts ou non par des gélifrats et tapissés de coulées stalagmitiques et enfin, des couloirs "à ciel ouvert" correspondant à d'anciens réseaux souterrains décapités. L'amputation de ces réseaux

karstiques est un argument important dans la reconstitution géomorphologique de ces massifs car ces paléocavités présentent différentes générations.

### *La grotte de Gamasiab*

Elle occupe une place à part dans ces cavités décapités par son altitude - 1790 m - et son étroite relation morphogénétique avec la source karstique de Gamasiab. Cette grotte, dont l'ouverture est située à 12 m au-dessus du niveau de l'émergence actuelle, présente une morphologie caractéristique d'un écoulement noyé notamment avec de nombreuses coupoles de plafond et la présence d'une conduite forcée au plafond ayant évolué en "trou de serrure". Elle possède au fond de sa galerie une série d'anciennes coulées stalagmitiques de teinte jaunâtre à orangée, présentant un aspect toujours très corrodé. Par dessus, on observe un colmatage volumineux d'argile noirâtre qui peut provenir d'un soutirage de sols holocènes favorisé par le déboisement du Zagros à partir notamment du XIX<sup>ème</sup> siècle.

### *La trace d'anciens réseaux cutanés*

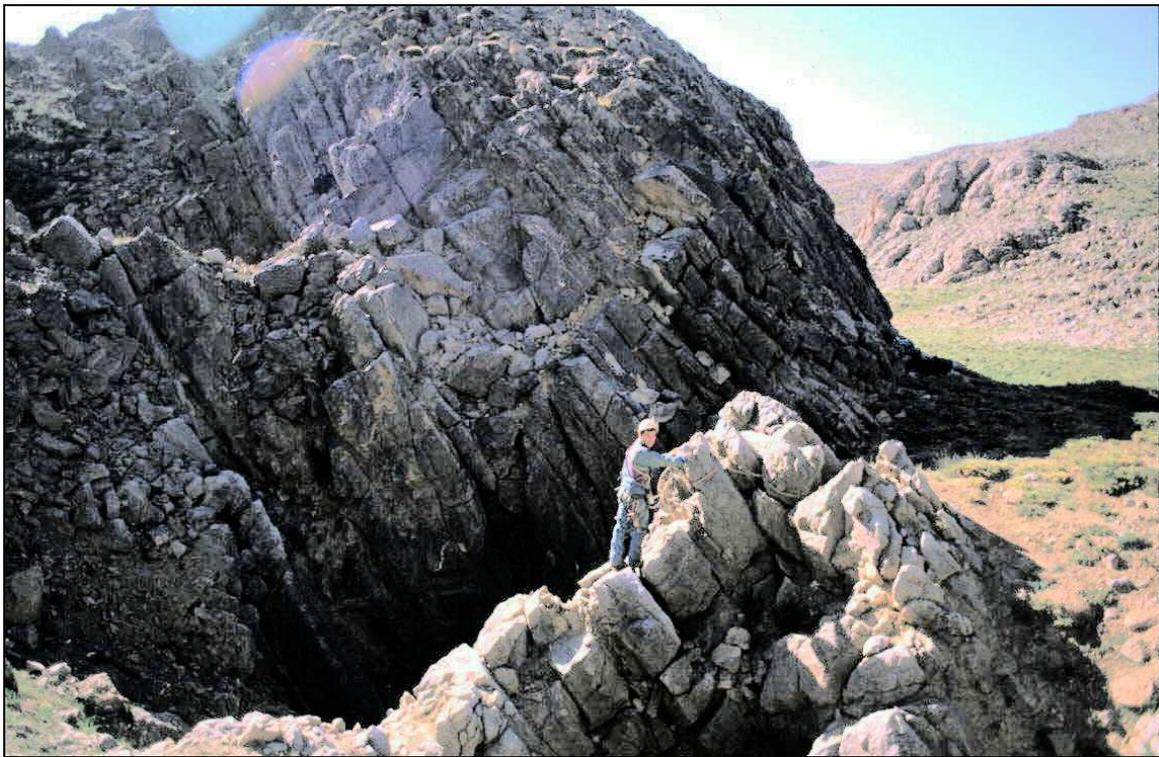
Dans la zone sommitale on retrouve des traces d'anciens conduits horizontaux et subcirculaires, avec des dimensions variant d'1 à 5 m de diamètre. Ils sont perchés aujourd'hui au-dessus du fond des paléovallées ou placés en pleine parois. On retrouve aussi ces anciennes conduites forcées sur le grand escarpement sud du Kuh-e-Garrin. Ces anciennes sections de galerie sont généralement plus ou moins détruites et souvent ne sont plus reconnaissables. Ce sont les traces d'anciens réseaux souterrains cutanés développés lorsque le niveau de base était proche et donc avant la surrection du massif. Ces galeries ont été ensuite tronçonnées par l'évolution karstique et sont aujourd'hui totalement déconnectées du réseau hydrologique fonctionnel. Ils témoignent d'un creusement typique en régime noyé et donc d'une époque où le massif était moins haut. Le massif était alors dominé par une érosion fluviale. Ces tronçons d'anciennes galeries nombreux sur le haut du plateau laissent penser qu'il a existé un réseau souterrain relativement dense et ramifié. Ce réseau est de nos jours totalement éventré et recoupé par la surface topographique.

### *Les cavités verticales décapitées*

La mise à jour des réseaux souterrains par l'érosion a été souvent décrites dans les karsts de hautes montagnes (Maire, 1977, 1990). Sur le Kuh-e-Garrin, les puits décapités ne s'ouvrent généralement pas au creux des talwegs mais sur les versants des dépressions. Cette position perchée vis-à-vis de ces fonds de vallées leur a assuré une relative protection vis à vis de dépôts bréchiqes ou de colmatage argileux. Contrairement aux avens où dans leur zone d'entrée le concrétionnement n'existe pas, ces puits anciens décapités laissent apparaître des parois tapissées de vieilles coulées de calcite. De plus, on observe souvent à proximité des puits d'entrée d'anciennes coulées séniles nappant les parois. Ces puits sont d'anciennes cavités verticales qui ont été recoupées par l'abaissement de la surface topographique. Ils témoignent qu'une phase de karstification ancienne a précédé la genèse de gouffres plus "jeunes".

## Les avens

L'expédition spéléologique de l'été 1996 nous a permis de reconnaître et de topographier une série d'avens. Malgré la présence d'un réseau probablement important, il n'a pas été possible de trouver de grands gouffres du fait d'un colmatage très fréquent par des blocs et des argiles des réseaux souterrains. Ces colmatages cachent très probablement le plus souvent de grands réseaux souterrains mais certains d'entre eux peuvent marquer la fin de la cavité qui s'approfondit peu à peu par une digestion chimique des calcaires et soutirage dépôts argileux. L'existence de grands réseaux souterrains dépassant plus de 1000 m de profondeur est envisageable puisque le potentiel hydraulique, entre la zone sommitale à 3300 m - voire plus - et la source de Gamasiab à 1780 m, dépasse 1500 m.



**Photo 5: Aven de la zone sommitale avec de nombreux puits d'entrée**

A la différence des puits décapités, on n'observe pas de coulées stalagmitiques séniles aux entrées de ces avens mais uniquement et très ponctuellement de petites stalagmites à leur base et parfois en profondeur des restes de coulées. Nous avons pu découvrir une dizaine d'avens avec des puits atteignant parfois près de 40 m de verticale absolue. Ces puits d'entrée présentent souvent des parois entaillées par des lapiés verticaux larges de plusieurs centimètres. Le développement vertical de ces zones d'entrée sans l'arrivée de réseaux latéraux exprime un creusement relativement rapide avec un gradient hydraulique élevé (Delannoy, 1992). De plus, en raison de la grande pureté des calcaires jurassiques, les gouffres tendent à se développer tout de suite verticalement. Cependant, le rôle de la stratification des séries jurassiques impose une direction privilégiée des conduits souterrains à la base de ces puits qui suit les joints de stratification. Les séries jurassiques sont en effet très redressées et le pendage

dépasse parfois plus de 60°. Tous ces gouffres n'évoluent jamais en monopuits mais en un ensemble de plusieurs puits qui se rejoignent vers -40 m ou -50 m de profondeur. Ils ont toujours des dimensions importantes avec des sections relativement circulaires de 5 à 10 m de diamètre. La multitude de dolines et des puits verticaux accolés les uns aux autres, et parfois sur des parties très restreintes, suggère qu'une évolution a eu lieu directement dans le manteau d'altérites par cryptocorrosion. Ces vallées dolinaires s'inscrivent dans des paléovallées fluviales où l'écoulement permanent est passé peu à peu à un écoulement temporaire. Dans un premier temps, par soutirage et autocatalyse, les dolines s'approfondissent. Il est certain que tous ces points d'absorption engendrent par corrosion un abaissement généralisé du plateau. Lorsqu'un réseau hydrographique temporaire s'organise, au cœur d'un poljé ou d'une paléovallée, les eaux se concentrent pour se perdre dans une perte (ou un ponor) entraînant, par corrosion, la genèse de conduits verticaux de grandes dimensions.



**Photo 6: Puits de 35 m dans le Ghar Pataq (KG-14)**

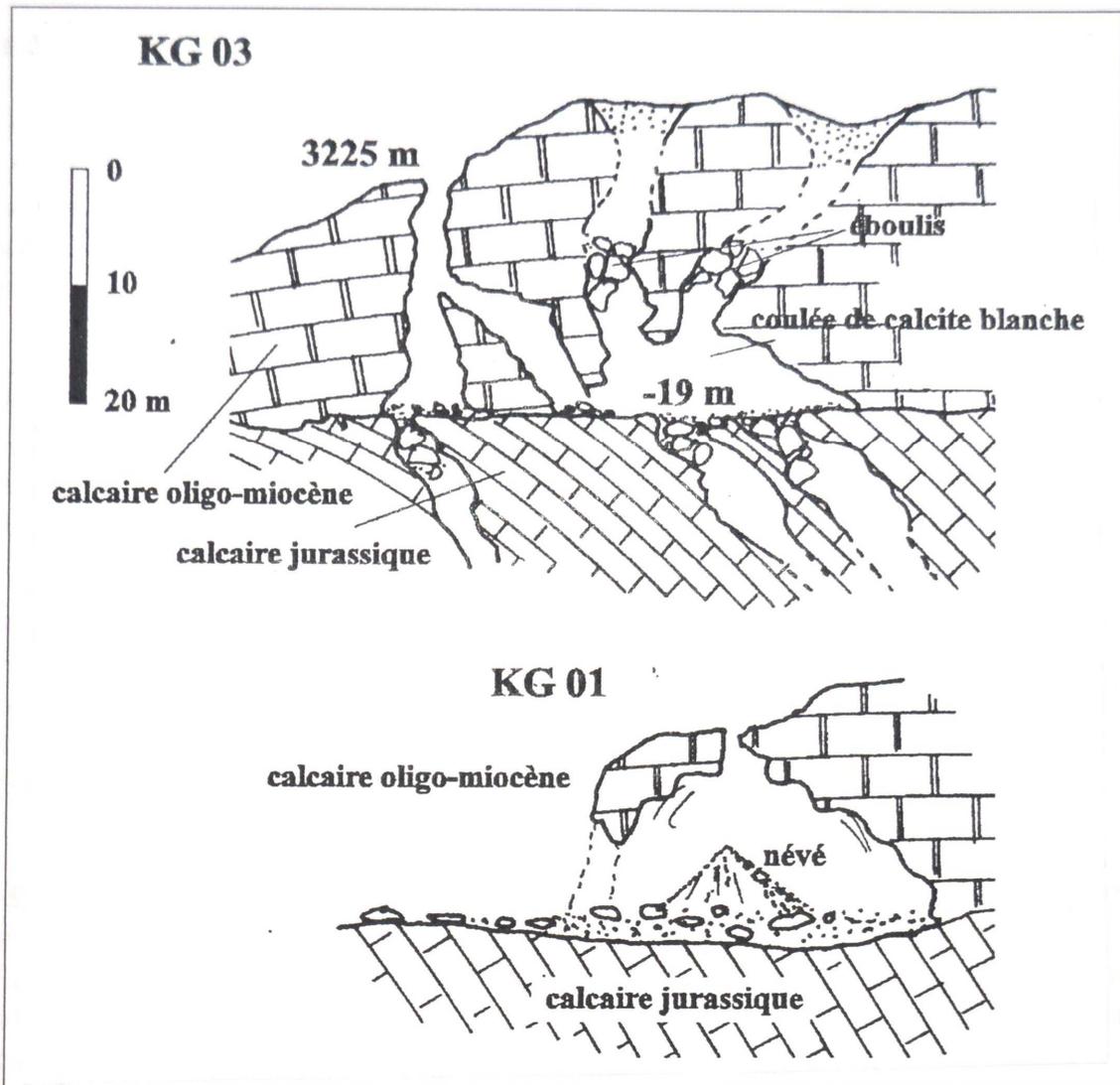


Figure 7 : Endokarst développé au contact des séries mésozoïque et tertiaire (Topographie : expédition Zagros 1996)

La majeure partie de l'endokarst se développe dans les séries carbonatées jurassiques. Néanmoins on retrouve de petites cavités développées au sein des séries tertiaires. Cette couverture de calcaires tertiaires ne semble pas avoir jouée un rôle d'immunisation karstique notable vis-à-vis des unités mésozoïques puisqu'elle a été largement karstifiée comme en témoignent les cavités KG 03 et KG 01 (Figure 7). La karstification lors de l'orogénèse du massif apparaît sur ces deux coupes comme concomitante au sein des deux séries carbonatées, lors de l'abaissement du niveau de base une karstification verticale les a affecté sans aucune distinction lithologique. Cependant, la plus grande sensibilité à la gélifraction et la position structurale transgressive des calcaires oligo-miocènes ont facilité leur démantèlement par rapport aux séries sous-jacentes. Une érosion différentielle est manifeste avec la petite grotte d'altitude KG 01 dont l'entrée est liée au recul progressive de petits cirques de névé au sein de la couverture tertiaire.

## Les puits à neige

C'est entre 2500 et 2800 m d'altitude que ces formes karstiques sont les mieux développées mais on en retrouve quelques-unes à plus de 3200 m. Les puits à neige apportent des indices supplémentaires dans une reconstitution de l'évolution géomorphologique du massif. En effet, ils ont une genèse récente, probablement quaternaire tandis que les grands gouffres, décapités ou non, ont une spéléogenèse qui remonte plus loin dans le temps. A la différence des avens décrits précédemment, ces formes karstiques se caractérisent par un puits vertical de grande dimension dès son entrée (photo 2). Il n'existe pas de méandre souterrain préalable à son développement. De plus, ces puits présentent sur leur parois de grands lapiés verticaux parfois extrêmement coupants et rappelant des lames de rasoirs. Ils conservent en leur fond, pendant tout l'été, un névé qui obture l'accès à un réseau possible.

Aujourd'hui, en raison du fort enneigement du massif, d'anciens gouffres sont rajeunis et évoluent en puits à neige. En effet, certains puits à neige sont en fait d'anciens puits souterrains décapités fonctionnant en névières et sont préquaternaires. Seul le recoupement et l'abaissement de la surface karstique est quaternaire. Les névières au fond des dolines-puits ou de dolines glacières sont abondantes à la fin de l'été. Cette présence tout au long de l'été milite bien en faveur d'une évolution actuelle purement nivale.

Par sa grande aptitude à enregistrer, le milieu souterrain peut être utilisé, en plus des arguments classiques, pour expliquer l'évolution géologique et géomorphologique d'une région. La détermination des différentes phases de creusement de l'endokarst permet de mieux comprendre la genèse du massif. Mais l'origine du réseau souterrain est complexe dans la mesure où certains anciens puits décapités par l'érosion des calcaires ont été rajeunis par la suite et peuvent évoluer encore actuellement en névières. Les puits à neige sont issus d'une genèse récente. A l'opposé, les lambeaux de conduits circulaires perchés en parois sont la trace d'une karstification ancienne et d'une évolution plus longue puisqu'ils remontent à une période où le massif était moins haut.

### *Les vallées sèches perchées*

Sur les hauteurs du Kuh-e-Garrin, on observe de nombreuses vallées sèches qui correspondent à d'anciennes vallées fluviales qui ne sont plus fonctionnelles aujourd'hui. Ces vallées étaient actives lorsque le niveau de base était proche et se sont asséchées par l'enfoncement corrélatif à l'orogénèse du réseau hydrographique. Elles sont le témoignage d'une période où les processus de karstification n'étaient pas dominants. Néanmoins, une karstification endokarstique se développait alors par un ensemble de réseaux cutanés subhorizontaux que l'on peut retrouver aujourd'hui à travers des conduits subcirculaires mis au jour par l'érosion. Ces paléovallées sont donc héritées d'une époque où le massif était moins haut et pendant laquelle les processus dominants étaient largement représentés par une érosion fluviale. L'agencement d'ensemble de ces morphologies fluviales est libéré des conditions structurales. Ces morphologies sont des indicateurs précieux dans le cadre d'une reconstitution morphologique de la chaîne. Elles sont bien la marque d'une surrection d'ensemble du massif. Ces anciennes topographies fluviales, aujourd'hui fossilisées par l'abaissement du niveau de base, sont conservées par l'effet d'immunisation karstique. Il semble exister sur le Kuh-e-

Garrin deux grandes générations de paléovallées : les hautes vallées perchées et les paléovallées intermédiaires.

### Les hautes vallées perchées

C'est sur le haut plateau oriental du massif que l'on observe les exemples les plus remarquables. On observe plusieurs paléovallées plus ou moins sinueuses, d'orientation générale NW-SE. Certaines d'entre elles découpent le plateau de part en part. Ces hautes topographies ont été défoncées et largement désorganisées par la karstification. En effet, le fond de ces vallées est criblé de dolines et leurs versants comportent des cirques-dolines. Ces vallées dolinaires ont une morphologie caractéristique d'anciennes vallées fluviales dont l'écoulement est devenu temporaire.

### La paléovallée à 2400 m

C'est une vallée très peu défoncée par la karstification, de direction générale E-W, présentant probablement un ancien écoulement vers l'ouest. Elle demeure encore relativement continue et présente un beau profil en berceau. Dans sa partie sud, elle est limitée par un ensemble de petites failles et de cassures. Un peu plus haut sur le massif sont associés, à cette grande vallée, des restes d'une vallée perchée relativement peu évoluée. Elle a été découpée en plusieurs tronçons par de petits canyons. On retrouve ces lambeaux vers 2500 m d'altitude. Il demeure difficile de retrouver un sens d'écoulement si ce n'est une direction générale E-W, parallèle à la vallée perchée juste en contrebas.

Ces vallées perchées sont donc de précieux témoins d'anciennes vallées fluviales néogènes qui ont été portées en altitude et immunisées par la karstification du massif. Elles sont, tant par leur caractère propre que par leur étagement altitudinal, des arguments militant à la faveur d'une orogénèse ayant connue deux grandes phases. La surrection du massif s'est opérée avec des phases stadiques pendant lesquelles se développent des topographies fluviales à la base du massif et des phases épirogéniques avec un enfoncement concomitant du réseau hydrographique et un assèchement progressif des vallées par le développement des circulations endokarstiques. Ces deux générations de paléovallées immunisées par le karst sembleraient donc être le legs de deux anciennes phases orogéniques majeures. Le raccordement de ces topographies fluviales héritées avec le niveau de base actuel se fait par une série de canyons.

### *Les canyons*

Sur les versants du Kuh-e-Garrin se développe une morphologie fluvio-karstique spectaculaire constituée par des gorges plus ou moins profondes. Elles ne sont plus actives excepté à la fin de l'été lors de fortes averses orageuses. Ces gorges se mettent alors en charge

et des crues violentes nettoient leur fond comme l'atteste la présence de graviers et de gros blocs bien roulés.

Sur les versants du Kuh-e-Garrin, on retrouve des canyons sur deux tranches altitudinales différentes ; certains, les plus imposants, se placent à la base et sur le pourtour du massif, d'autres, de dimensions plus modestes, sont observés essentiellement entre 2400 et 2600 m d'altitude. Mais malgré une différence morphologique, il demeure difficile d'en conclure sur l'allochtonie ou non de ces deux générations de canyons.

#### *Les canyons entre 2400 - 2600 m d'altitude*

Cette tranche altitudinale rassemble une série de petits canyons d'une vingtaine de mètres de large, voire d'une dizaine de mètres par endroit, et d'une centaine de mètres - tout au plus - de profondeur. Ils peuvent localement, par la présence de petits ressauts verticaux, contraindre le "promeneur" curieux de les découvrir à revenir sur ses pas. Dans la partie méridionale du massif, les canyons prennent des dimensions plus conséquentes tant par leur largeur que par leur profondeur. Les parois ne sont plus alors subverticales, on retrouve un profil ayant une allure en "V". De plus ils se développent sur une tranche altitudinale plus étendue, jusqu'à 2800 m d'altitude. Ce sont d'anciennes vallées qui ont été surcreusées lors d'une surrection du massif.

Les canyons les plus importants de cette plage altitudinale présentent à leur débouché des lambeaux de cônes de déjections très indurés et immunisés par le karst. Sur la base des versants opposés, on observe les traces de ces brèches éluviales. Ces dépôts sont essentiellement constitués de fragments rocheux anguleux d'une dizaine de centimètres. Nous n'avons pas observé de trace d'emboîtement de cônes ou même de stratification dans ces dépôts. Il est probable que cette formation indurée soit un dépôt monophasé faisant suite à une phase importante de surrection responsable de l'incision de ces canyons.

#### *Les canyons à la base du massif*

Les flancs NE et E du Kuh-e-Garrin sont entaillés par une série de grands canyons spectaculaires d'une profondeur d'environ 200 m et d'une trentaine de mètres de large. Ils sont relativement continus et tous présentent de grands ressauts infranchissables nécessitant parfois la pose d'une corde, une escalade délicate voire un demi-tour pénible. On les retrouve de 1750 m à 2300 m d'altitude. Il n'existe pas aux débouchés de tous ces canyons des dépôts importants si ce n'est de petits cônes de blocs roulés relativement récents. Ces canyons sont plus nombreux que ceux de mi-versant.

#### Les canyons et les vallées perchées

Les canyons et les vallées perchées sont tous deux liés à l'orogénèse du massif. Mais la genèse des canyons découle de processus fluviaux antagonistes aux processus d'enfoncement du réseau hydrographique dans le karst et donc au concept de l'immunisation

karstique dont découlent les vallées perchées. La présence de ces deux morphologies sur le Kuh-e-Garrin, comme sur bien d'autres massifs, se comprend à travers la prise en compte du facteur temps. A ces deux types de morphologies correspondent deux échelles de temps différentes dans leur genèse ; l'enfoncement du réseau hydrographique se produit sur une échelle plus longue que la création des canyons qui fait suite directement à un rajeunissement du relief.

Sur le Kuh-e-Garrin, un retard de la karstification profonde par rapport à la surrection semble seul capable d'expliquer la genèse de ces canyons. En Papouasie Nouvelle-Guinée et en Nouvelle Bretagne, on observe aussi ce retard de la karstification profonde sur le creusement des canyons (sources perchées dans les canyons) à cause d'une forte surrection quaternaire (Maire, communiqué oral). On pourrait en effet, à l'inverse, envisager un retard du creusement linéaire sur l'orogénèse, qui engendre en premier lieu l'enfoncement du réseau hydrographique dans l'endokarst comme cela a été décrit en Péloponnèse (Maire, 1990). Mais les canyons du Kuh-e-Garrin qui ne possèdent pas toujours un bassin versant amont important n'auraient pu se développer faute de cours d'eau autochtone suffisamment puissant et en grande partie capturé par des pertes karstiques. En effet, les canyons étaient forcément alimentés par un réseau hydrographique perché et dont les bassins étaient plus étendus. Il marque ainsi une phase "brutale" de surrection. Ensuite la karstification a rattrapé son retard et les canyons se sont asséchés par la "dolarisation" des vallées. De plus, on peut penser qu'une partie importante des bassins versants des réseaux hydrographiques sillonnant les versants du Kuh-e-Garrin était implantée au sein des radiolarites lors du creusement épigénétique de ces canyons. L'élévation du massif et de ses unités carbonatées s'est ainsi effectuée concomitamment avec les séries radiolaritiques. Ce bassin versant a néanmoins disparu rapidement par un affouillement relativement aisé de ces unités siliceuses. Ainsi, cette érosion différentielle a coupé la partie haute du massif et a isolé les calcaires jurassiques d'un amont hydrologique. Alors commence véritablement l'enfoncement du réseau dans l'endokarst et la karstification du massif.

L'existence d'une couche imperméable à l'aval du massif, corroborée par différents indices dans les sols et dans les formes, oblige à nuancer ce schéma valable pour les canyons de mi-versant. En effet, pour les canyons de la base du massif des phénomènes de surimposition liés à la présence de marnes miocènes se joignent aux phénomènes d'antécédence.

La trace d'anciennes vallées fluviales dans la topographie du haut plateau, prouve qu'un lien hydrologique important a existé avec un amont aujourd'hui disparu lorsque le niveau de base régional était proche. Les canyons de mi-versant sont probablement des canyons allogènes formés à partir de la couche siliceuse imperméable à radiolaires qui a donc accompagné la surrection du massif. Les canyons de la base du massif font suite à une seconde poussée épirogénique. L'érosion fluviale linéaire est alors favorisée par la série marneuse miocène qui permet l'expression des phénomènes de surimposition simultanément à des antécédences. Depuis le Pliocène, cette érosion linéaire a été fortement réduite par une absorption karstique beaucoup plus active. Cependant, nous pouvons préciser ce schéma par l'étude des dépôts corrélatifs à la genèse de ces canyons. Il faut néanmoins prendre en compte dans l'étude de ces dépôts externes l'existence d'une surrection plio-quaternaire.

### *Les dépôts externes*

Les dépôts sont relativement modestes sur l'ensemble du massif en raison d'une action périglaciaire durant le Quaternaire restée modérée. Néanmoins, on observe des dépôts généralement anciens qui apportent de nombreux indices paléoenvironnementaux. On retrouve ainsi sur les versants ou sur les plateaux des lambeaux de conglomérats souvent bréchiques et des dépôts endokarstiques décapités par l'érosion. L'étude des dépôts consolidés apporte des indices précieux sur l'évolution morphologique du massif. Leur observation à différentes échelles, micromorphologique ou géomorphologique, permet de retracer en partie l'évolution de la chaîne et les événements paléoclimatiques. Ces formations détritiques ont pu être conservées en partie sur le Zagros car la chaîne n'a pas connu d'action glaciaire.

#### Les brèches aux débouchés des canyons

Vers 2400 m d'altitude, aux débouchés des canyons de mi-versant, on observe des lambeaux d'anciens cônes de déjections fortement indurés. Ces dépôts corrélatifs ont subi après leur sédimentation et leur cimentation une érosion linéaire les décapant localement. Aujourd'hui seuls de petits fragments placés sur les côtés des débouchés des canyons subsistent immunisés par le karst. Il n'existe pas dans ces dépôts de trace d'emboîtement de cônes ou même de stratification. La localisation, la sédimentation et le contexte géomorphologique semblent indiquer que ces dépôts sont directement liés à l'incision des canyons faisant suite à une surrection importante. Un échantillon de ces brèches est prélevé et observé en lame mince.

Ces dépôts sont les témoins de la genèse des canyons par épigénie. Si rien dans la topographie générale ne permet de préjuger de l'ancienneté de ces formes, en revanche, le paysage micromorphologique complexe de ces brèches semble montrer une évolution géomorphologique plus vraisemblablement antéquatenaire.

#### Les dépôts consolidés d'altitude

##### *Remplissage conglomératique dans un poljé*

Les remplissages des dépressions ou des poljés renferment généralement de nombreux indices et renseignements paléoenvironnementaux. Sur le Kuh-e-Garrin, nous avons observé dans un petit poljé intramontagnard, placé à 3200 m, un remplissage conglomératique remarquable. Malgré l'absence de source karstique d'altitude, il s'agit bien d'un petit poljé.

Cette grande cuvette d'altitude possède en effet un écoulement temporaire lié à la fonte des neiges qui va se perdre dans un ponor impénétrable. Ce poljé est installé à la confluence d'anciennes vallées fluvio-karstiques, dont l'une au moins est allochtone. Son origine remonte donc à une période où le massif était à basse altitude, on retrouve d'ailleurs la trace d'un ancien réseau cutané subhorizontal témoin de cette période. Au niveau du ponor,

nous pouvons observer une coupe naturelle du remplissage. Ce remplissage est constitué d'une série stratifiée conglomératique de plus de 5 m d'épaisseur, et recouvert d'un voile d'altérites. Nous avons étudié trois échantillons prélevés de haut en bas de cette coupe.

Il est difficile de détecter à partir de ces trois échantillons une évolution verticale cohérente dans la coupe. En revanche, l'observation de ces échantillons nous apporte une connaissance plus précise sur l'ancien bassin versant amont que nous pensions jusqu'à présent inscrit uniquement dans les radiolarites. Nous l'avions cependant pressentie avec l'observation d'une ancienne vallée perchée dans l'anticlinal du Misparvar. En effet, la trace d'un élément carbonaté appartenant aux séries autochtones montre que ce poljé était alimenté par un bassin versant inscrit en partie dans l'autochtone. Il est la marque d'un décapage, au moins localement, de la couche marneuse campanienne qui immunisait de la karstification les séries autochtones.

L'histoire complexe de ces conglomérats attestait par la nature du ciment et la grande variété des éléments constitutifs de ces dépôts dont des fragments d'anciennes cuirasses et des paléaltérites sont des indices d'une sédimentation et d'une évolution probablement mio-pliocène. C'est au cours de la surrection néogène que ce poljé a piégé ces différents dépôts qui remanient d'anciennes altérites et conservent des témoins de la destruction de la couverture oligo-miocène. Les fragments allochtones montrent de plus que cette surrection a été de grande ampleur puisque les unités sous-jacentes à la nappe crétacée ont été prises dans ce mouvement épigénétique.

#### *Les brèches climatiques colmatant l'endokarst*

On peut observer ces brèches aux entrées de certaines cavités situées au fond de cuvette ou de vallées et des placages de ces dépôts sur les parois de quelques puits d'entrée. Les entrées plus ou moins colmatées par ces brèches sont toujours reliées à un ravin important. A la différence du conglomérat du poljé, ces brèches sont constituées d'éléments anguleux de dimension centimétrique pouvant parfois atteindre 20 à 30 cm résultant d'un déplacement relativement faible des débris.

Le contexte géomorphologique de ces brèches suggère que ces dépôts indurés sont relativement jeunes. En effet, on les retrouve soit aux abords de dolines reliées par des ravins soit plaquées sur les parois des puits des cavités souterraines (*supra* ; KG.14 et KG.06).

Le rôle de ces brèches dans la karstification du massif n'a sans doute pas été négligeable. En effet, les colmatages importants aux entrées de dolines puits ou aux niveaux des conduits souterrains entraînent probablement une désorganisation de l'hydrologie de surface des hauts plateaux car ces dépôts ont par endroit totalement noyé l'endokarst et ses entrées. Ce colmatage bréchique est sans doute à mettre en relation avec des phénomènes de chasse d'eau liés à des fontes nivales au Quaternaire. En revanche l'induration de ces sédiments détritiques est issue d'un contexte climatique plus chaud, sans doute des phases interglaciaire.

## Conclusion

Ces massifs karstiques du Zagros présentent de nombreux arguments paléoenvironnementaux qui permettent de retracer son évolution depuis le Néogène. De plus, ils présentent l'avantage de ne pas avoir subi de gommage glaciaire. Dans la région du Kuh-e-Garrin, la position du niveau de base s'est graduellement abaissée depuis le Néogène et a laissé des empruntes différentes selon l'altitude sur le modelé karstique du massif. Le paysage karstique et la mise en place des systèmes hydrokarstiques du Kuh-e-Garrin se sont élaborés au cours du soulèvement de la fin du Miocène avec un abaissement corrélatif de la surface karstique.

L'ensemble du Tertiaire est caractérisé par un climat chaud avec des phases humides et sèches plus ou moins accentuées. Ces différentes phases ont conduit à l'érosion des séries calcaires sur une échelle de temps s'étalant sur plusieurs dizaines de millions d'années. Car si la durée de la mise en place d'un réseau souterrain actif est de l'ordre de la dizaine de milliers d'années (Bakalowicz, 1979, 1992) voire d'une centaine de milliers d'années, tout au plus, de milliers d'années (Maire, 1990), l'élaboration d'une surface d'aplanissement dans un milieu karstique est de l'ordre au minimum du million d'année. Et "bien qu'il s'agisse là de tranches du passé (Tertiaire) moins bien connues..., le géomorphologue ne serait se retrancher derrière le trop commode alibi des lacunes de son information pour négliger l'étude du legs géomorphologique des deux cents millions d'années correspondantes" (Klein, 1993).

### **La région d'Alisadr (Hamadan)**

La grotte d'Alisadr est après les ruines de *Persépolis* un des hauts lieux touristiques d'Iran. Il n'est d'ailleurs pas impossible qu'en nombre d'entrées elle représente le première site touristique iranien. Le total des visiteurs serait de plusieurs centaines de milliers annuellement, avec des pointes de 10 000 par jour durant les fins de semaine grâce à une flottille de 80 barques (mais cette valeur semble surestimée, elle est probablement plus proche de 3 000 visiteurs).

Les premières reconnaissances de la grotte d'Alisadr ont eu lieu au début des années soixante par un groupe d'alpinistes d'Hamadan puis poursuivies en 1966-67 par un second groupe de la capitale provinciale. Après avoir aménagé une plus grande entrée, la nouvelle de l'existence d'une cavité s'est rapidement répandue dans le pays par la presse iranienne. Suite à l'exploration d'un plan d'eau très important en surface et de nombreuses galeries labyrinthiques, un équipement touristique a été installé pour le public avec la participation d'une entreprise anglaise. La visite propose plus de 1000 m de navigation en barque dans des galeries semi-noyées par une eau froide et pure, dont la profondeur peut atteindre 14 m. L'existence de pseudo-gours de plafond se développant sur l'ensemble de la cavité donne à cette grotte un aspect exceptionnel.

Elle est situé à 60 km au NNW d'Hamadan (75 km par la route) dans le domaine métamorphique du Zagros, en bordure septentrionale de la chaîne du Zagros. Elle s'ouvre à environ 2000 m d'altitude à l'extrémité nord d'une série de buttes calcaires culminant à 2500 m et alignée grossièrement selon un axe NS qui forme les monts de *Sarighayeh* (altitude maximale de 2579 m) qui se poursuivent par les monts *Subashi* plus au sud (Figure 8). Un endokarst important doit exister sur ce petit massif. Mais la présence d'installations militaires

rend sa reconnaissance délicate. Néanmoins nous avons pu topographier une seconde grotte - la grotte de Sarab - bien connue des populations locales et située à environ 15 km plus au sud de la cavité d'Alisadr et reconnaître plusieurs petites sources karstiques.

Il est important de comprendre la relation de la genèse de ce grand réseau souterrain avec les fluctuations du niveau de la nappe phréatique et plus largement encore avec l'évolution du paysage régional. La genèse est probablement ancienne avec différentes phases morphogéniques sont importante à reconnaître puis à définir dans le cadre d'une reconstitution paléoenvironnementale. L'intérêt qu'offre l'étude de la grotte d'Alisadr pour les recherches sur l'évolution de la chaîne du Zagros est double. A la fois sa position géographique sur le domaine métamorphique du Zagros permet de compléter le schéma d'évolution générale de la chaîne. Et la capacité de conservation des sédiments par l'endokarst permet ainsi d'étudier des tranches du passées peu connues et généralement difficiles d'accès par le biais d'indices le plus souvent disparus en surface. Nous avons donc tenté de retracer la genèse de cette grande cavité depuis sa formation, en caractérisant les étapes successives de son évolution. De plus, la relation de l'endokarst avec l'exokarst permet de décrire la mise en place du relief.

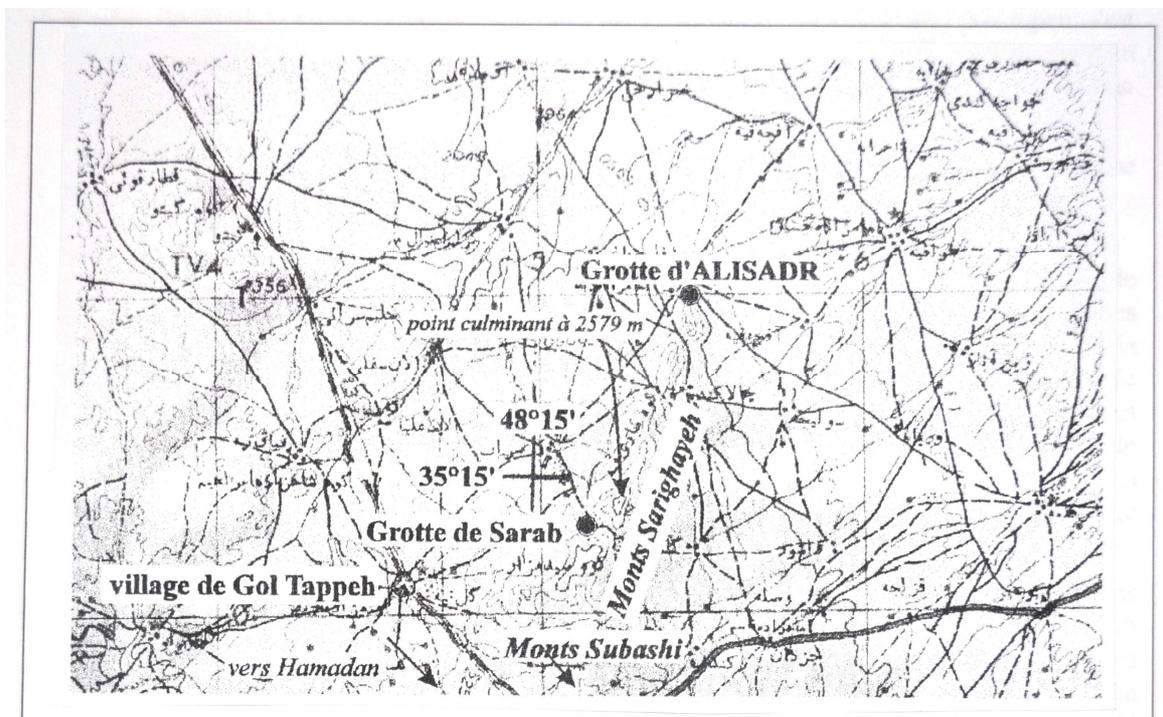


Figure 8: *Situation de la cavité d'Alisadr au coeur de la haute plaine d'Hamadan (extrait d'une carte topographique au 1/250.000ème)*

### La grotte de Sarab

Située à 10 km plus au sud de la cavité d'Alisadr, la grotte de Sarab présente aussi un développement important avec plus de 500 m de galeries reconnues (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Tout comme sa "soeur jumelle", la grotte d'Alisadr, on visite cette cavité dans une ambiance aquatique, dans une eau froide à 12.0°C pour une température ambiante de 12.2°C (mesures effectuées au début du mois de septembre 1996). La majorité des conduits est semi-noyée avec une profondeur dépassant parfois 2 m. Son entrée, placée à 2310 m d'altitude, correspond presque à l'altitude de la nappe située 1 m environ au-dessous.

A coté de cette entrée, légèrement en contre bas et à une trentaine de mètre, on trouve une petite source karstique ( $Q = 2 \text{ l/s}$ ) qui se jette, par l'intermédiaire d'une petite retenue d'eau, dans un canal d'irrigation (un *djoubé*) alimentant le village de Sarab.

La cavité se développe au contact des marbres et des schistes. Elle ne prend pas une morphologie de delta souterrain puisque l'on suit facilement, sans trop pouvoir s'égarer, une galerie principale. Quelques galeries latérales existent néanmoins. Cette galerie principale prend une direction subméridienne et comporte des sections relativement étroites. Les galeries présentent généralement une largeur d'environ un mètre et une hauteur de 3-4 m qui rendent la plupart du temps impossible le passage avec une petite barque. Aussi le projet de son aménagement (dont les responsables de la grotte touristique d'Alisadr nous avez parlé) dans un but touristique apparaît comme peu envisageable ou nécessiterait de très gros travaux.

Certaines portions de ces galeries présentent un surcreusement caractéristique soit avec des profils en "trou de serrure" soit avec un ancien réseau supérieur qui, peu à peu, s'est enfoncé latéralement. Ainsi, il semble exister deux étages de galeries, le principale se place au niveau de la nappe, le second, avec des sections subcirculaires largement moins étendues, est placé à 6 m, voire 8 m, au-dessus de l'eau.

Vers la partie méridionale du réseau souterrain, la galerie principale débouche sur une vaste salle d'effondrement d'une trentaine de mètres et peu concrétionnée.

Sur les parois de ces galeries semi-noyées, on retrouve deux niveaux de concrétionnement liés à la stagnation de la nappe. Ces niveaux forment à partir des parois des collerettes et des bourrelets de calcite qui se placent pour les uns à 1 m de la surface de la nappe et pour les autres moins marqués à 30 cm. On ne retrouve pas les pseudo-gours de plafond développés dans la grotte d'Alisadr. L'altitude de la nappe phréatique est remontée ces dernières décennies puisque la base de certaines stalagmites est sous l'eau d'une vingtaine de centimètres. Il se peut que cette remontée phréatique soit liée à des travaux de terrassements importants, au niveau du col situé au sud de la colline de Sarab, qui auraient bloqué le drainage souterrain de cette nappe.

La genèse de la cavité n'est certainement pas uniquement liée aux variations piézométriques de la nappe phréatique, car de nombreux conduits portent la trace d'un creusement fluvial en régime noyé avec des conduits circulaires parfois tapissés de cupules d'érosion ou de "vagues d'érosion". Ces dernières sont la marque caractéristique d'un écoulement en régime noyé : plus la vague est grande, plus l'écoulement était lent (Goodchild *et al.*, 1971 ; Lismonde *et al.*, 1987). La morphologie d'ensemble de la grotte de Sarab semble montrer qu'elle a été un chânon hydrologique au coeur de l'endokarst des Monts Sarighayeh. L'eau circulait dans les conduits karstiques de la grotte de Sarab, collectée en amont par les collines situées plus au sud et sans doute même par l'endokarst des Monts Subashi, pour aboutir dans le delta souterrain d'Alisadr et sortir par sa source vaclusienne aujourd'hui sénile. Nous pouvons préciser la spéléogenèse de cet endokarst avec l'étude des remplissages et des sédiments souterrains de la grotte d'Alisadr.

## **Structure et fonctionnement du Qanat de Sargon (Shiraz - Iran)**

### **Technique traditionnelle pour le drainage d'une nappe karstique**

*avec la collaboration de M. Mietton (professeur de Géographie à l'UFR de Strasbourg)*

La région de Shiraz au sud du Zagros possède de nombreuses « galeries drainantes souterraines » encore fonctionnelles de nos jours. Connus depuis 800 ans av. J.-C. sur le piedmont sud du Zagros d'où elles seraient originaires (Cressey, 1958 ; Planhol, 1970 et 1992), elles auraient été construites initialement pour extraire l'eau des galeries minières (Goblot, 1979 ; Planhol 1992). Ces aménagements traditionnels portent en Iran le nom de « qanat », mais on les retrouve dans de nombreux pays sous des appellations différentes (Cressey, 1958) ; karez, kariz, kakoriz... (Moyen-Orient et Asie) ; foggara, mayon, iffeli, rhattara (Afrique du Nord) ; falaj, aflaj, felledj (Arabie). Il n'en reste pas moins que c'est en Iran que l'on retrouve la plus grande densité de galeries drainantes avec plus de 40 000 qanat. Elles assureraient l'alimentation en eau de 20 à 25 % des superficies irriguées du pays (Balland, 1992), soit plus d'un million d'hectares. Selon Goblot (1979), ces aménagements seraient même à l'origine de la fondation de nombreuses villes comme Téhéran, Hamadan, Kerman, Qazvin, Yazd, Shiraz.

Dans la région de Shiraz, la plupart de ces galeries ont été creusées au sud du lac de Maharlou. Cependant, quelques-unes subsistent sur le piedmont Est du massif de Sabz Poshan. L'étude porte sur le qanat de Sargon situé au nord-est de ce massif, à une dizaine de kilomètres de Shiraz, et a été menée à une échelle très locale, en nous appuyant sur des données morphométriques et hydrologiques.

### ***Le Qanat : un système jadis indispensable à l'agriculture***

Le principe de fonctionnement de ces systèmes d'irrigation est aujourd'hui bien connu et décrit dans de nombreux ouvrages (Cressey, 1958 ; Planhol, Rognon, 1970 ; Beaumont, 1971 et 1974 ; Goblot, 1962 et 1979 ; Hartl, 1979 ; Ehlers, 1980 ; Safi-Nezad, 1992 ; Balland, 1992 ; Bisson, 1992 ; Planhol, 1992). Il s'agit d'une galerie subhorizontale, qui par une pente très faible, d'environ 1% sur le qanat de Sargon, draine l'eau d'une nappe perchée située dans une roche aquifère. La construction de ce système par des *moqanni*, spécialistes des qanat, nécessite la création de loin en loin de conduits verticaux pour accéder au conduit souterrain lors du creusement afin d'évacuer les déblais et plus tard pour le curer. Ils permettraient aussi de « ventiler le conduit souterrain et d'éviter ainsi des effondrements » (Bisson, 1992). Ces événements sont la seule partie visible de cette construction. L'ensemble des déblais étant déposé directement sur le pourtour de l'orifice, il joue ainsi le rôle de signalisation des puits et de garde-fou, mais aussi et surtout protège la partie des événements la plus sensible à l'effondrement. En effet, sur certains événements, les orifices sont renforcés par un petit muret circulaire en pierres ; le cône de déblais étant alors nettement moins volumineux, voire inexistant, ce qui les rend alors plus difficilement repérables sur des photographies aériennes.

L'eau est amenée par gravité d'une zone de piedmont à une zone plus basse, domaine des cultures maraîchères. L'intérêt de ce système est donc double : non seulement les utilisateurs

suppriment ainsi l'opération longue et physiquement difficile du puisage - on qualifie d'ailleurs pour cela les qanat « d'irrigation paresseuse » - mais aussi le transport de l'eau entre une zone d'extraction où l'eau est accessible (le piedmont d'un massif) et une zone de culture (la plaine). Dans une région comme celle de Shiraz, recevant en moyenne 400 mm de pluie par an, dont plus de 60% en hiver (Atlas Climatique d'Iran 1965), la pluie utile à l'agriculture est d'environ 160 mm et l'irrigation est donc indispensable à la mise en culture de ces espaces.

### ***La construction du qanat de Sargon***

La littérature est abondante pour décrire la mise en oeuvre et les modalités précises de construction et de fonctionnement des qanat (Safi-Nezad, 1992). Mais les nuances et les diversités régionales, voire locales, sont encore loin d'avoir été recueillies dans des monographies traitant ce sujet, il est vrai très vaste. Le qanat de Sargon est très probablement représentatif de ces aménagements dans le Zagros, du moins dans sa partie plissée.

Il se situe sur le piedmont, entre le massif calcaire de Sabz Poshan et la plaine de Shiraz. Il comporte une vingtaine d'événements et sa longueur totale est proche d'un kilomètre. Sa partie la plus en aval a été détruite par un ravinement important. On y observe encore cependant les traces des anciens puits.

La coupe du qanat de Sargon permet de replacer ce système dans son milieu naturel et de dégager des hypothèses sur sa construction. La section captante est sur cet aménagement extrêmement réduite. Elle représente en quelque sorte une ouverture artificielle sur le contact d'une roche perméable, jouant le rôle d'aquifère, et d'une roche imperméable. Sur le qanat de Sargon, et probablement dans toute cette région de piémont du Zagros, ce n'est pas plusieurs conduits verticaux qui recoupent la nappe, à l'inverse de ce qui est généralement décrit dans d'autres régions (Planhol, 1970 ; Bisson, 1992 ; Safi-Nezad, 1992...). Ici, seul le puits de tête est susceptible d'atteindre la nappe. Les différences entre les qanat seraient simplement d'ordre structural et lithologique. Le qanat de Sargon draine une nappe d'eau karstique alors que les systèmes décrits drainent le plus souvent un aquifère piégé dans un milieu poreux (type grès) où alors, les parois du drain « apparaissent constellées de gouttelettes qui sortent de la roche et s'égouttent dans une rigole centrale... » (Bisson, 1992).

Les différentes mesures morphométriques du qanat de montrent que la distance entre les événements est étroitement liée au substratum traversé. Ainsi, lorsque ces événements sont creusés dans les marnes miocènes de la formation dite de « Razac », la distance varie entre 25 et 30 mètres. Ces puits sont creusés à environ 10-15 mètres d'intervalle lorsqu'ils traversent à la fois les alluvions lacustres et les marnes. Enfin, juste en amont du village, lorsqu'ils sont franchement creusés dans les alluvions lacustres, la distance entre les puits oscille alors entre 4 et 5 mètres.

Dans cette partie aval du système, la distance séparant les puits les uns des autres n'est sans doute pas le fruit du hasard mais la conséquence de modalités de constructions différentes. L'observation dans la ravine, en aval du système, de traces circulaires d'anciens puits recoupant la galerie conduit à faire l'hypothèse de l'existence de « vasques » à la base de ces puits. Ainsi, ce surcreusement permettait, lors des travaux, de dégager un espace suffisant pour que le maçon puisse creuser le conduit souterrain à partir de la base du puits. Le risque d'effondrement de la galerie souterraine sur le maçon, nettement plus élevé dans cette partie

aval puisque l'épaisseur traversée y était plus faible, était ainsi limité. De plus, l'évacuation des déblais était du même coup facilitée. Le creusement de la galerie subhorizontale pourrait alors avoir été fait avec l'aide d'un outil en forme de pic long de 2 à 3 mètres. On peut aussi imaginer que ces vasques étaient aussi, voire uniquement, prévues afin de piéger les sédiments transportés par l'eau. Les *moqanni* créaient un chapelet de vasques où l'eau pouvait se décanter ; ils diminuaient ainsi la fréquence des curages et surtout localisaient ce travail de curage exclusivement en bas des puits.

On peut donc imaginer à la lumière de la coupe du qanat et de ces différentes observations que la construction du qanat de Sargon - et peut-être des qanats situés dans la zone plissée du Zagros - a été conduite en plusieurs étapes. En premier lieu, il est clair que les *moqanni*, avant d'entreprendre le creusement d'un qanat comme celui de Sargon, tiraient parti d'observations du milieu naturel et notamment relevaient l'existence de sources karstiques vaclusiennes, comme celle de Pirbanou, située à une dizaine de kilomètres plus au Sud. La présence d'un puits dont la profondeur dépasse 50 m illustrerait les aléas de la recherche d'un aquifère. Ce dernier ayant été creusé trop loin de la couche calcaire pour atteindre la nappe, les maçons auraient alors creusé, avec succès, un second puits de tête plus proche du massif.

Dans un second temps, sur une année ou plus, les maçons pouvaient suivre les variations du toit de la nappe et repérer l'altitude minimale atteinte par celle-ci. Ensuite seulement, connaissant la position la plus basse de la nappe, les maçons étaient amenés à caler précisément l'altitude de la galerie souterraine et placer, en aval, la sortie du système. La construction du système s'effectuait ensuite dans le sens aval-amont jusqu'à rejoindre le puits de tête.

### ***Le régime hydrologique du Qanat de Sargon***

Les variations au cours du temps du débit du qanat de Sargon ont été étudiées à partir d'un graphique communément appelée graphique en « boîtes à moustaches » et sur lequel nous avons placé la courbe des débits moyens mensuels (*données du Ministère de l'Energie : Centre de Recherche sur le Karst à Shiraz*). Le graphique synthétise trois années de mesures ; de novembre 1987 à octobre 1990, un jaugeage a été fait chaque mois. Le débit moyen calculé sur ces trois années est de 118,6 litres/seconde. Sur cette période, la médiane est de 114,9 l/s. Le débit est au plus bas en octobre et culmine en février ; le minimum enregistré étant de 69 l/s (le 21/10/89), le maximum de 221 l/s (le 06/02/88).

Le graphique en « boîtes à moustaches » montre les trois quartiles : 25, 50 et 75%. On visualise rapidement une année moyenne ainsi que la variabilité interannuelle des débits ; cette dernière devant être considérée avec prudence du fait du petit nombre d'années de mesures. Il apparaît une plus grande stabilité des débits en juin-juillet-août, pour lesquels les quartiles supérieurs et inférieurs sont alors très proches. Cette plus grande régularité des débits pouvait compenser leur diminution durant cette période estivale cruciale pour l'agriculture.

Avec un débit moyen annuel de 118 l/s, soit plus de 7 m<sup>3</sup>/min, le qanat de Sargon offre un débit moyen deux fois plus faible que celui de la source karstique de Pirbanou (230 l/s) située à une dizaine de kilomètres plus au sud. Cependant, pour ce type d'aménagement, le qanat de Sargon offre un rendement très au-dessus de la moyenne des qanats iraniens. Ainsi, d'après Goblot (1979), le débit moyen des qanats en Iran serait de l'ordre de 15 l/s et d'après Cressey de 30 l/s.

Les variations de la nappe sont appréciées tous les 30 jours sur un piézomètre placé dans les calcaires d'Asmari près de la source de Pirbanou (*données du Ministère de l'Energie : Centre de Recherche sur le Karst à Shiraz*). Ces données, au nombre de 33, s'échelonnent du 5/10/87 au 9/9/90. Nous avons tenté de mettre en relation les variations de débit avec les fluctuations de la nappe à Pirbanou ainsi qu'avec les précipitations journalières mesurées à l'aéroport de Shiraz (situé à 15 km environ). Ces relations sont évidemment à considérer avec beaucoup de prudence du fait des distances entre les sites de mesures et du fait que les précipitations journalières sont confrontées à des données hydrométriques mensuelles, basées en fait sur une seule mesure dans le mois. Avec ces trois mesures, on constate une très bonne similitude entre la courbe du débit du qanat de Sargon et celle du toit de la nappe. Néanmoins, il apparaît une variabilité plus importante des débits avec la présence de petites crues totalement absentes dans les fluctuations de la nappe. Les débits ont un coefficient de variation nettement plus élevé (C.V. = 0,296) que les hauteurs piézométriques (C.V. = 0,0001). Ces variations brutales et courtes s'expliquent probablement par une relation, avec un effet retard plus ou moins marqué, entre les précipitations et ces débits.

### *L'évolution des qanat autour du village de Kyanabad*

Avec une saison sèche aussi longue et des précipitations très faibles, on comprend pourquoi certains de ces aménagements existent encore de nos jours dans ces régions subarides. Cependant, de nombreux qanat ont aujourd'hui disparu. Ainsi, autour du village de Kyanabad, des observations à trois dates différentes (1956, 1964 et 1995) montrent clairement cette évolution :

- D'une part, les événements ont été repérés sur des prises de vues aériennes réalisées en 1956. Toutefois, il n'a pas été possible de distinguer, à partir de ce type de document, les événements fonctionnels à cette date de ceux qui ne l'étaient déjà plus. On peut cependant remarquer qu'un qanat détruit est très rapidement gommé du paysage probablement par les paysans qui épandent la terre relativement fertile des cônes de déblais.

- D'autre part, le Ministère de l'Energie a, au début des années soixante, entamé une grande campagne de mesures hydrologiques et une carte des qanat a été dressée en 1964 dans la région de Shiraz.

- Enfin, nos observations de terrains en 1994 puis en 1995 ont permis le recensement précis des derniers événements fonctionnels ou non.

Nous avons recensé (Tableau 3), pour ces trois dates, le nombre d'événements et la somme des longueurs de drains associés.

	Nombres d'événements	Longueur totale des drains
<b>1956</b>	141	2,55 km
<b>1964</b>	101	1,81 km
<b>1995</b>	17	0,91 km

**Tableau 3 : Recensement des événements**

La disparition des qanat de cette région semble donc relativement récente. On passe ainsi en quarante ans d'environ 2,55 km de drains souterrains à 910 m avec le qanat de Sargon, seul « survivant ». On remarque néanmoins sur cet aménagement, aux abords de la route, de

---

nombreux puits en voie d'effondrement et dont les paysans ont souvent doublé l'évent afin de pouvoir de nouveau accéder au drain souterrain.

## **Conclusion**

Le maintien de ces systèmes hydrauliques ne passe pas forcément par un intérêt de préservation d'anciennes techniques mais surtout par un souci économique ; l'eau arrive gratuitement et l'on évite un forage toujours très coûteux. Une relative adaptation de ces anciens systèmes aux techniques modernes de pompage permet de les pérenniser. Ainsi, au nord du village de Kyanabad, tous les événements des qanat ont certes disparu mais une moto pompe a été placée sur un puits de tête de qanat. On a associé à cette pompe un ensemble de tuyaux en « p.v.c. » flexibles qui permettent de diriger facilement l'eau d'une parcelle à une autre. De même en aval du qanat de Sargon où un système de puisage à balancier donnant sur le drain souterrain et permettant un premier partage de l'eau a été remplacé aujourd'hui par une pompe motorisée qui a facilité le puisage et probablement permis de pérenniser cette ancien aménagement.

## Les nomades *lours* du massif calcaire du Kuh-e-Garrin

Les massifs du Zagros, comme la plupart des montagnes du pourtour méditerranéen, ont offert aux populations locales de vastes espaces de pâturages. Ces pâturages y sont favorisés par des précipitations nettement plus abondantes que dans les plaines avoisinantes généralement très sèches en été. Dans ces régions, si le manque ou l'absence d'eau limite l'occupation humaine, elle peut tout autant stimuler son ingéniosité à travers des aménagements hydrauliques, mais aussi tout simplement à travers un mode de vie adapté à ces conditions naturelles. L'homme subit une situation naturelle ou bien il réagit (Mainguet, 1995); le nomadisme parfaitement adapté aux conditions écologiques locales et régionales en est un exemple.

A partir d'observations et d'enquêtes auprès de familles nomades *lours*, au cours des été 94, 95 et 1996, nous présentons les grands traits de leur migration saisonnière qui les conduit sur un imposant massif calcaire : le Kuh-e-Garrin qui culmine à plus de 3600 m d'altitude. Aujourd'hui dans un contexte socio-économique différent, la quasi totalité des massifs karstiques du Zagros subissent une très forte pression pastorale entraînant le plus souvent une disparition irréversible des pelouses et des sols.

### Le nomadisme sur le Zagros

L'arrivée du nomadisme en région méditerranéenne est généralement reconnue avec la révolution néolithique. En effet, elle marque l'amorce d'une domestication du bétail, et avec elle un début de migration ou de transhumance saisonnière afin de tirer profit au mieux d'un milieu naturel variable dans le temps et dans l'espace. Dans le Zagros, si la révolution néolithique marque bien tournant important de le mode de vie de ces sociétés, le nomadisme pastorale aurait pris son ampleur plus vraisemblablement légèrement après, au Chalcolithique, au environ de 6.000 BP (en datation  $^{14}\text{C}$  non calibrée), après qu'une agriculture intensive se soit véritablement installée dans les vallées (Henrickson, 1985). Mais les données archéologiques sont encore trop peu nombreuses pour situer spatialement l'arrivée du pastoralisme sur le Zagros, d'autant que la révolution néolithique ne marque pas un changement brutal d'économie dans un délai court mais exprime une lente évolution poursuivie sur plusieurs millénaires (Cauvin, 1978).

La migration d'une population nomade indo-européenne, à la fin du II<sup>ème</sup> millénaire av. J.-C., venue essentiellement de Russie méridionale, du Caucase septentrional et de Transcaucasie, va par la suite amorcer le peuplement des massifs du Zagros (Encyclopédie de l'Islam). Cette population montagnarde reste néanmoins essentiellement sédentaire jusqu'à l'arrivée des premières invasions. Ainsi 400 ans avant J.C., les hauts massifs septentrionaux sont alors habités par des *Carduques*, population nombreuse et sédentaire, comme l'attestent les descriptions dans l'Anabase de leur habitat ; « Les carduques abandonnèrent leurs maisons et s'enfuirent sur les hauteurs... les maisons étaient garnies d'une foule d'ustensiles. » (Anabase, livre III, chap. I).

Il faudra attendre le XI<sup>ème</sup> siècle, avec les invasions arabes seldjoukides et surtout le XIII<sup>ème</sup> siècle avec celles turco-mongoles pour que le nomadisme prenne véritablement son ampleur (Planhol ; 1970, 1975, 1979) ; la sédentarisation recula alors au profit du nomadisme. Il

faudrait néanmoins nuancer le rôle des invasions mongoles, car selon J.P. Roux (1993) les sociétés nomades et sédentaires dans l'empire mongol n'étaient pas aussi antagonistes qu'on le croyait ; une symbiose et une complémentarité socio-économique se manifestaient presque partout entre ces deux mondes.

Aujourd'hui, on recense sur les massifs du Zagros de grandes confédérations nomades ; les Kurdes résidant en Azerbaïdjan et au Kurdistan, les Lours au sud du Kurdistan et au Louristan, les Baxtyari à l'ouest d'Esfahan, dans le Fars les Qashqai, les Khamseh et les Kouh Guilouyé.

### **Les Lours du Kuh-e-Garrin**

Le massif étudié du Kuh-e-Garrin se situe dans la partie NW de la haute chaîne du Zagros iranien, à 100 km au sud de Hamadan.

A l'époque mongole, les tribus loures s'étendaient sur un espace beaucoup plus important qu'aujourd'hui, sur le « Grand Lour » recouvrant la région actuelle du Fars et sur le « Petit Lour ». C'est seulement depuis le XVI<sup>ème</sup> siècle que le *Lour-e-Koutchik* (le Petit Lour) a été nommé par le terme géographique du Louristan. D'après le géographe arabe du XIII<sup>ème</sup> siècle, Yakut, le terme viendrait d'une appellation populaire *lir* ; « montagne boisée » (Encyclopédie de l'Islam).



**Photo 7 : Camp nomades à 3400 m**

### *La population*

Un recensement précis des nomades, voire même du nombre de familles, estivant sur le massif est difficile, ce dernier étant à la fois vaste et complexe. De plus, le dénombrement des sites de campements caractérisés par un ensemble de petites constructions en pierres, plus aisé car alors envisageable sur des périodes où les nomades ne sont pas forcément présents, ne permet plus aujourd'hui d'avoir une appréciation certaine du nombre de familles campant sur les hauteurs du massif. En effet, on constate qu'un peu plus de la moitié de ces sites sont aujourd'hui utilisés, preuve et conséquence de la sédentarisation des nomades lors ces dernières années ; depuis les années 70 très probablement. Au total, l'estive sur la partie septentrionale du massif doit concerner aujourd'hui une centaine de familles, généralement composées de cinq à huit individus, dont les campements s'échelonnent de 2400 à 3400 m d'altitude. On retrouve aussi sur toute la périphérie du massif de nombreux campements, excepté sur la partie orientale donnant directement sur la plaine où l'existence d'un réseau très dense de petits villages a dû empêcher leur installation.

### *Leur migration*

Les groupes nomades lors de la partie septentrionale du massif du Kuh-e-Garrin, sur lesquels nous avons enquêté, suivent tous les ans un itinéraire très précis qui les mène de leur quartier d'hiver à leur quartier d'été (figure 10). Cette migration a été aussi décrite (Digard, 1977) comme un passage entre « deux mondes différents » ; entre une zone fraîche (*sardsir*) et une zone chaude (*garmsir*). Ainsi de leur estive (*yeylâq*) établi sur le massif calcaire du Kuh-e-Garrin, ces nomades lors vont rejoindre leur quartier d'hiver (*qechlâq*) à Zafaran, village situé à 10 km environ de Pol-e-Dortar. Cet itinéraire, de plus de 200 km, est le fruit d'accords traditionnels avec les villages traversés et surtout avec ceux où s'effectueront les haltes d'une à trois journées.

Au cours d'une année, les groupes nomades lors estivant sur le massif du Kuh-e-Garrin pratiquent deux types de migrations ; l'une cherchant dans une migration de longue distance à utiliser des zones climatiques différentes, et l'autre cherchant à utiliser les contrastes locaux du milieu naturel liés à l'altitude. L'une se déroule à des moments relativement précis dans l'année car elle est dépendante du rythme saisonnier général. Ceci permet d'ailleurs aux nomades de respecter, avec une plus grande facilité, les dates de campement imposées par les villages traversés. En revanche, l'autre est plus soumise aux aléas climatiques et donc plus variable d'une année sur l'autre puisque les migrations sur le massif sont régies par le recul et la disparition plus ou moins rapide du manteau neigeux. Le passage de l'une à l'autre est toutefois régulé par une attente plus ou plus longue au pied du massif soit lors de leur arrivée si le massif n'est pas suffisamment déneigé soit lors de leur départ si les névés ont disparu trop tôt ; comme cela s'est produit en 1996.

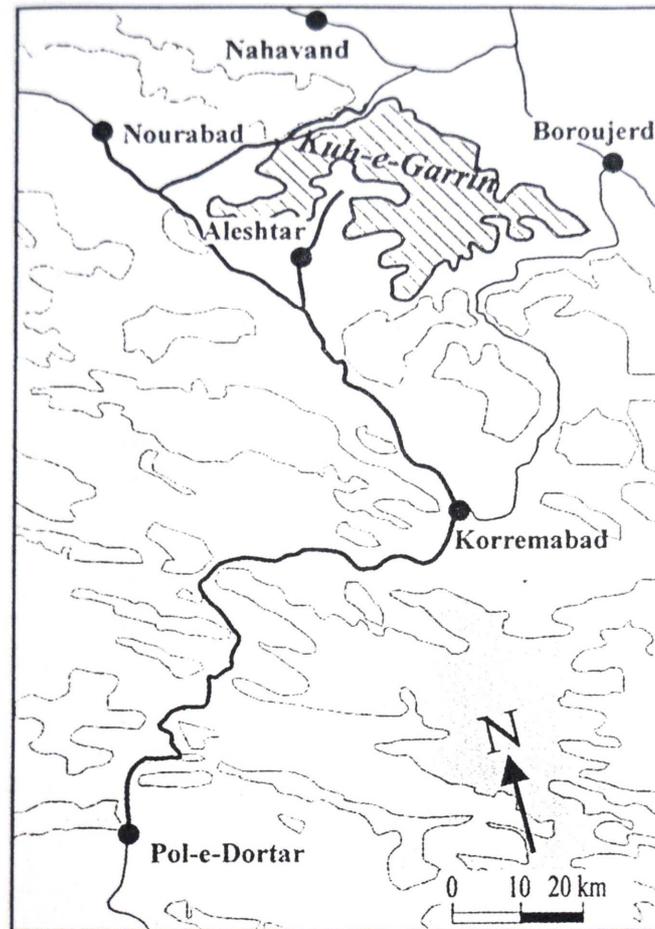


Figure 9 : itinéraire des nomades Lours estivant au sud du Kuh-e-Garrin

### ***Rythme saisonnier***

Si le calendrier de ces migrations est imposé en grande partie par les saisons, il l'est aussi par le cheptel des nomades. Nous pouvons décrire la migration et les principales activités des groupes de nomades rencontrés au nord de ce massif pour une année climatique « normale ».

### ***L'estivage***

Dès la première quinzaine du mois de mai, la majorité des nomades place leur campement dans la petite plaine située juste en aval du col de la piste menant de Nahavand à Nourabad. Le massif est alors en grande partie enneigé, généralement au delà de 2500 m d'altitude le pâturage demeure encore inaccessible. Cette période est aussi pour la majorité des nomades l'occasion de vendre une partie de leur cheptel, essentiellement les jeunes mâles et les « vieilles femelles », c'est à dire les bêtes ayant entre 6 et 10 ans. La reproduction d'un troupeau ne nécessite qu'un nombre limité de mâles. Les nomades conservent ainsi dans leurs troupeaux un rapport proche d'un bélier pour cinq à huit brebis et d'un bouc pour quatre à six chèvres.

Le cheptel varie bien évidemment d'une famille à une autre mais il semble qu'en moyenne une famille possède environ 250 brebis avec une quarantaine de mâles toujours associé à un petit nombre de chèvres, environ une cinquantaine dont une dizaine de mâles. Ils ont ainsi

tous les ans environ 200 naissances dont au moins 150 seront vendues pour une somme de 12.000 tomans par bête. Cette vente leur rapporte donc près de 1,8 millions de tomans soit environ 30.000 F (en 1994). Ceci constitue la rentrée d'argent la plus importante pour ces sociétés nomades. Une partie de la vente a lieu directement au col, le reste sera vendu à Nahavand, à Boroujerd voire même à Hamadan.

L'ensemble de ces ventes apporte une somme qui peut paraître importante à un citadin ayant généralement un salaire proche de 500 F par mois mais elle servira souvent tout juste à rembourser l'emprunt de l'année passée nécessaire pour l'achat du fourrage et dans une moindre mesure pour la location des pâturages. Papoli-Yazdi (1991) décrit aussi chez les nomades du Khorassan cette pratique d'achat anticipé ; « les éleveurs sont totalement prisonniers de ces commerçants à qui ils doivent des sommes considérables... ». Le nombre de têtes nécessaire à la survie d'une famille a considérablement augmenté depuis les années 70 et ce malgré l'augmentation du prix de la viande.

L'arrivée sur le lieu d'estivage marque aussi le début de la traite, jusque là, tout le lait de la mère était tété par les petits. La traite se poursuivra ensuite pendant environ un mois sur les campements d'altitude. Elle est effectuée à midi et dure environ 1 heure, l'équivalent d'un verre d'eau est prélevé sur chaque brebis. Les jeunes nomades tiennent les brebis pendant que les femmes effectuent la traite. Sur les camps d'altitude, un espace est prévu pour la traite ; deux petits murets en pierres sèches disposés en « V » permettent de guider les bêtes et facilitent ainsi cette opération.

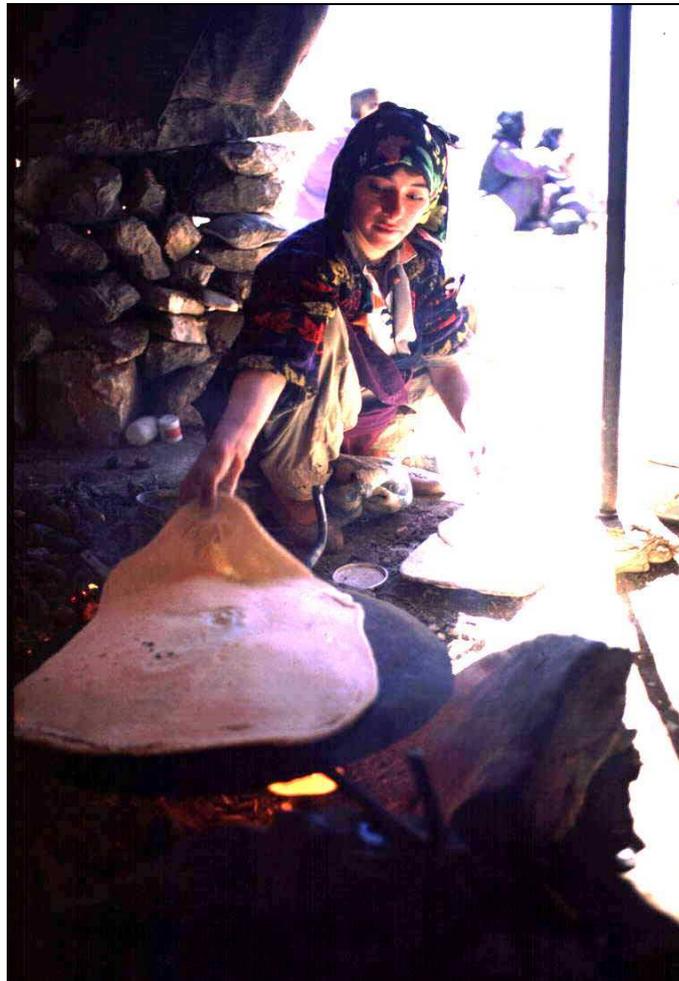
Le lait servira à la fabrication de tous les dérivés du lait ; yaourt (*mâst*), beurre (*kare*), fromage (*panir*) qui constituent avec le pain la base de la nourriture des nomades lours. Les femmes utilisent pour cela une baratte dite *kurdi* composée d'une outre en peau de chèvre suspendue sur un trépied en bois. Cependant, tous ces produits laitiers seront consommés par les membres de la famille exceptée pour le *kachk*, fromage se présentant sous forme de boulettes très dures, qui sera vendu à la fin de l'été. Les familles vendent un peu moins de 100 kg par an, ce qui leur apporte un petit complément financier d'environ 12.000 tomans.

Vers la fin du mois de juin, le massif est alors suffisamment déneigé pour que les nomades puissent déplacer leur campement en altitude. Cette migration altitudinale est variable d'une famille à l'autre, elle est entre autres fonction de la position de leur camp d'été sur le massif. Ainsi les familles dont le campement d'altitude est proche du col montent directement le rejoindre, et ce même s'il est placé dans les zones sommitales. En revanche, mais ceci semble néanmoins concerner moins de familles, lorsque le camp est situé plus à l'intérieur du Kuh-e-Garrin, la montée se fait en deux temps avec une halte de deux à quatre semaines à 2500-2600 m. Ces familles quittent alors le col de Gama Siab généralement dès la première semaine du mois de juin.

L'estivage se prolonge environ deux mois sur le massif à proprement parlé. Peu de temps après leur arrivée, les nomades vont placer les mâles dans les troupeaux qui étaient jusqu'à présent séparés et gardés à part. Ils contrôlent ainsi dans le temps la reproduction du troupeau; les naissances sont regroupées sur une période courte et souhaitée. Sur le massif les plus jeunes de la famille vont conduire l'ensemble des bêtes sur les hauteurs. La conduite du troupeau se fait généralement avec l'aide d'un ou deux vieux boucs ou béliers castrés.

Pendant tout l'été, les chèvres sont séparées des brebis. Les zones de pâtures attribuées à chaque famille sont très précisément connues, le massif est grosso modo découpé de la crête à la vallée, et sous une apparence de totale liberté, les gardiens mènent leurs troupeaux sur des lieux très précis. Cependant il n'est pas rare que des conflits éclatent notamment pour des

problèmes de limites de pâturages. D'un jour sur l'autre, les bergers conduisent le troupeau sur des zones différentes afin de ne pas trop endommager le tapis herbacé, qu'ils reconnaissent eux même comme très dégradés.



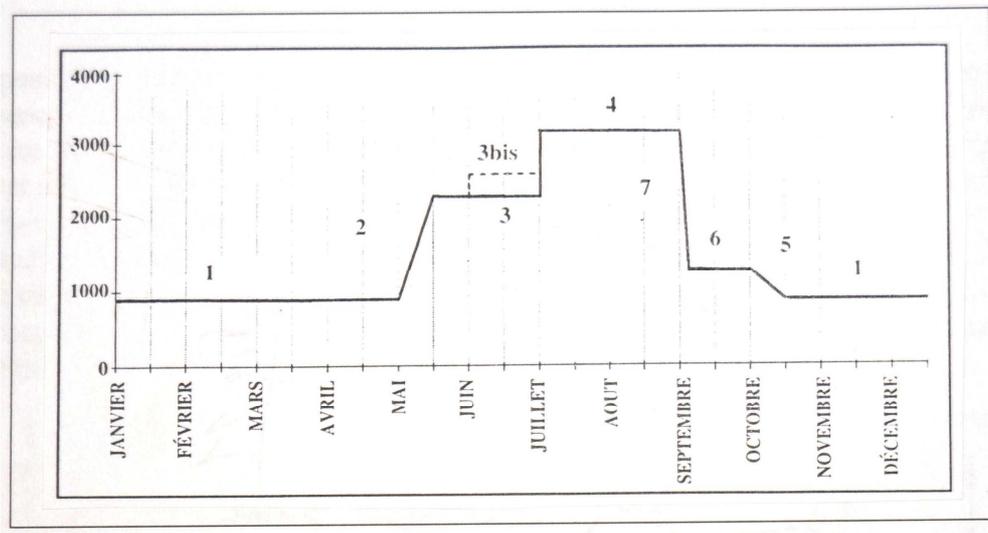
**Photo 8 : fabrication du pain**

### *L'hivernage.*

Dès le début du mois de septembre, les familles nomades entament leur retour sur leur quartier d'hiver (figure 11). Les derniers petits névés, unique source d'approvisionnement en eau, ont alors le plus souvent disparus et il devient extrêmement difficile de s'alimenter en eau en raison de l'infiltration karstique en altitude. Ainsi à la différence des nomades du Khorassan où la descente des massifs est provoquée par l'apparition « à partir du 15 juillet » de vents violents (Papoli-Yazdi, 1991), c'est la disparition plus ou moins rapide des derniers névés, conséquence directe des précipitations de l'hiver dernier, qui va régler la période de départ du massif.

Une halte d'un jour à une semaine au niveau du col de Gama Siab fait généralement suite à la descente du massif. Ils partent ensuite vers les plaines plus vastes d'Aleshtar ou vers celles situées juste à l'ouest du massif dont l'emplacement est généralement loué entre 100 et 150.000 tomans. Ils profiteront de cette halte pour acheter le fourrage nécessaire à leur bétail pour l'hiver. Il faut environ 150 kg de fourrage par tête pour passer l'hiver, il est vendu au prix de 50 tomans par kilogramme. Avec un troupeau de 300 têtes, la famille devra supporter une dépense de plus de 2 millions de tomans. A la lumière de cette somme, on comprend

mieux pourquoi le budget d'une famille est aussi précaire à l'échelle d'une année, les gains apportés par la vente des bêtes et du fromage suffisent tout juste à payer le fourrage et la location des pâtures !



**Figure 10 : Migration altitudinale selon les saisons : 1/Quartier d'hiver à 900m. 2/Retour vers leur quartier d'été. 3/Campements dans la plaine proche du col. 3bis/Pour les nomades ayant un campement à l'intérieur du massif, ils déplacent leur campement à mi-distance. 4/Campement d'altitude. 5/Descente vers la plaine d'Aleshtar. 6/Attente dans la plaine. 7/Retour vers leur quartier d'hiver**

En décembre, l'agelage commence et occupe l'ensemble de la famille jusqu'à la fin du mois de janvier. Le nombre de naissances est très variable ; un, deux ou trois agneaux par brebis. D'après les nomades interrogés, le nombre de naissances est directement lié à la plus ou moins bonne qualité des pâtures de l'été passé. La tonte des moutons a aussi lieu pendant leur hivernage juste avant leur départ vers leur quartier d'été. Chaque mouton fournit entre 2 et 3 kg de laine, dont le prix varie selon sa qualité autour de 200 tomans par kilogramme pour de la laine rouge ou noire et un peu plus de 400 tomans par kilogramme pour de la laine blanche. Les nomades arrivent ainsi à obtenir plus de 200.000 tomans pour un cheptel de 300 têtes.

Au début du mois de mai, ils partent rejoindre le massif du Kuh-e-Garrin. Jadis, cette migration prenait plus d'un mois, ils sont obligés aujourd'hui de réduire le plus possible suite à la diminution des pâtures la durée de ce trajet. Pour cela il leur arrive de louer un ou deux camions (30 000 tomans pour la location d'un camion une journée) pour transporter les jeunes agneaux ou les bêtes les plus fragiles.

### ***Environnement et évolution du mode de vie***

Le nomadisme est l'une des réponses de l'homme aux climats de ces régions et à l'existence de hautes montagnes karstiques jouant le rôle de milieu d'accueil (sources, pâtures) par rapport aux piedmonts semi-arides. L'eau impose donc sa géographie aux campements nomades que ce soit sur le piedmont du massif ou sur les hauteurs de celui-ci. .

En outre la surfréquentation de ces massifs calcaires depuis des siècles n'est pas sans conséquence sur le milieu naturel (surpâturage, érosion et soutirage des sols dans l'endokarst).

### Ressources en eau

La position des campements nomades sur le pourtour du Kuh-e-Garrin est totalement liée à la présence ou non d'une source karstique (figure 12). Le nombre de campements est très important sur la partie méridionale du Kuh-e-Garrin ; notons qu'il s'agit alors de nomades qui resteront tout l'été sur le pied du massif et qui en complément de l'élevage, cultivent le blé sur de petites parcelles. Nous avons recensé au Nord d'Aleshtar au moins vingt-trois tentes, à Darvishabad une quinzaine de tentes, sur la piste qui relie Boroujerd à Korremabad, deux gros sites de campements regroupent une vingtaine de tentes. Les lieux des campements sont choisis avant tout par la proximité d'un point d'eau ; une source karstique pour les campements situés au pied du massif, un petit névés pour les camps d'altitude.

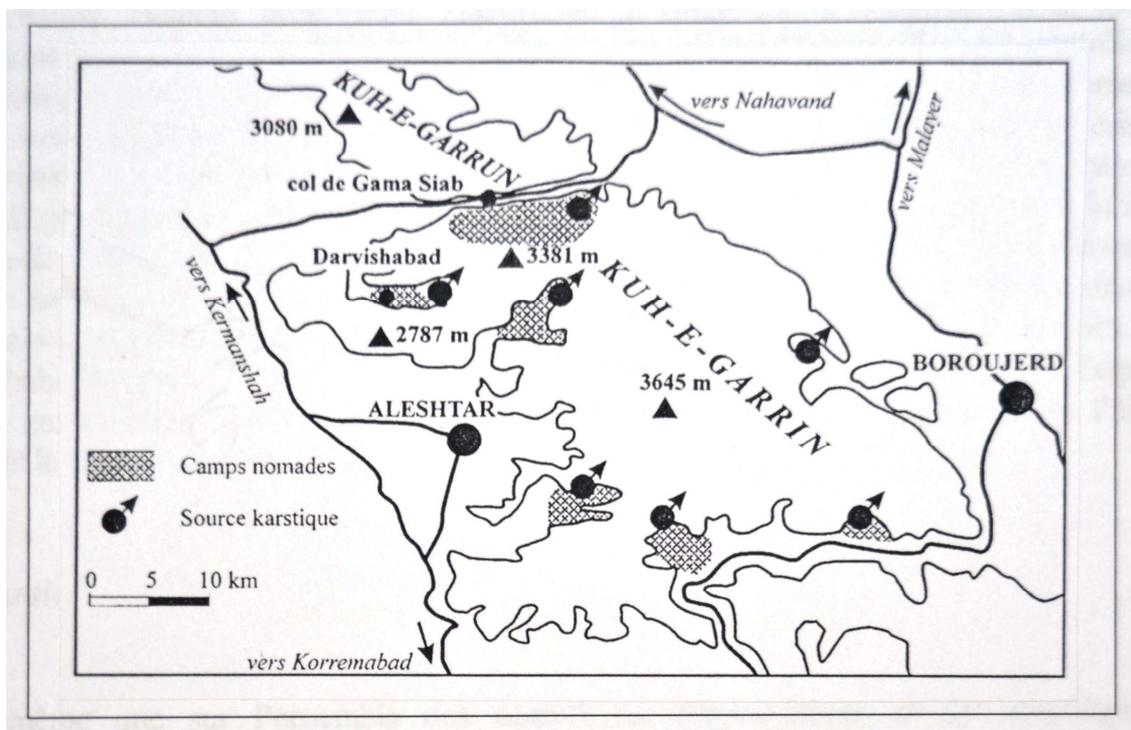


Figure 11 : Le massif du Kuh-e-Garrin et les camps nomades (reconnaitances 1994 et 1995)

L'emplacement des campements d'altitude est dicté par la présence d'un névé suffisamment important ou à défaut bien orienté pour perdurer pendant l'été. La collecte de l'eau a lieu généralement en fin de journée car l'eau de fonte est perçue de meilleure qualité que la neige ramassée puis fondue ultérieurement. A la fin de l'été, les nomades vont souvent chercher l'eau assez loin de leur campement bien qu'il reste toujours un peu de neige sur les versants car la majorité des névés sont très fortement contaminés par les déjections animales des troupeaux, les rendant impropres à l'alimentation. Néanmoins pour remédier à ce problème de pollution animale, nous avons observé que sur le pourtour de certains névés, proches de camps nomades, a été placée une couronne de chardons et de branches d'épineux. Les moutons et les chèvres n'ont pu, durant tout l'été, approcher et donc contaminer ces

névés. Mais cette technique semble peu utilisée par les nomades du massif. Les nomades, avec fierté, mettent en avant le fait que leur troupeau pâture exactement là où ils le désirent. Cependant force est de constater que les névés où ces derniers iront au cours de l'été s'alimenter en eau seront au fil des jours de plus en plus pollués par les moutons. Cette technique tire peut-être ses origines de l'époque où l'on vendait de la neige dans les villes du Zagros, pour les boissons ou la fabrication de sorbets comme il était d'usage dans le Kurdistan [Planhol, 1995], cette neige devait donc être extrêmement propre. Les nomades pratiquant cette technique de protection de leurs névés, nous ont dit qu'autrefois ils vendaient de la neige à Nahavand.

### *Sédentarisation*

La sédentarisation forcée dans les années 30 (Durand-Dastès et Mutin, 1995) par la politique de Reza Châh, puis la nationalisation des pâturages en 1963 et enfin la multiplication des routes depuis la révolution pour accéder aux campements ont transformé les migrations. De nombreux facteurs concourent aujourd'hui à amplifier la sédentarisation de ces populations nomades. Les politiques ont de tout temps cherché à surveiller et à contrôler ces populations, ainsi le responsable des Ressources Naturelles de Nahavand (un département du Djihad) nous a confié qu'un plan d'aménagement était en préparation pour favoriser la sédentarisation de ces populations par la construction de petites maisons au pied du massif qui leur seraient données. Cette volonté découle officiellement du souci d'améliorer à la fois la scolarisation des jeunes nomades, les conditions sanitaires de ces sociétés et de diminuer la pression démographique du monde rural ; les nomades ayant une natalité de 7 à 8 enfants par femme alors qu'une famille citadine est plus proche de 3 enfants par femme. La société loure est probablement tout comme les nomades baxtyari « en situation permanente d'équilibre instable entre nomadisme et sédentarité, équilibre dont les variations constituent l'histoire même de la tribu » (Digard, 1977).

### **Conclusion**

De même que sur l'ensemble des massifs du Moyen-Orient et des montagnes de Méditerranée le milieu naturel a joué un rôle fondamentale dans l'évolution du peuplement des montagnes [Maire, 1990]. Par une pluviométrie plus abondante les massifs montagneux du Zagros échappent à l'aridité des zones environnantes arides et désertiques. De surcroît par la nature karstique de ces massifs, les nombreuses sources permettent l'emplacement d'une multitude de tentes nomades sur les piedmonts. Le nomadisme des lours de par sa grande adaptation aux conditions écologiques locales et régionales permet certainement une des meilleures gestions possibles du milieu naturel. Cependant dans un contexte socio-économique différent aujourd'hui, ces milieux montagnards karstiques subissent une pression anthropique plus forte qu'auparavant. Le surpâturage nettement visible sur les massifs du Zagros entraîne des dommages qui seront bientôt irréversible. En effet dans ce climat méditerranéen d'altitude, lorsque disparaissent le tapis végétal et plus encore les sols, qui sont issus d'une longue évolution morphopédologique, ils ne peuvent plus ensuite se reconstituer à l'échelle d'une génération de vie humaine.

## Biospéléologie

### **Généralités**

Les études de biospéléologie ont été menées par le Groupe Spéléologique Minos (FFS et Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris) qui collabore avec différents muséums (Paris, Genève, Londres, Turin,...) et universités. L'un des buts scientifiques de l'expédition était de ramener un large échantillonnage de la faune cavernicole, endogée, nivicole et épigée afin de disposer de données zoologique sur ce massif: répartition, inventaire,... Ces études se réalisant sur la durée et elles nécessiteront d'autres expéditions dans les montagnes Perses.

### **Méthodes d'investigation:**

Les récoltes s'opèrent soit directement à vue soit aux pièges. Pour la chasse à vue nous utilisons un aspirateur à bouche (modèle "Vanderbergh" adapté à la spéléologie sportive) pour les animaux de petites tailles. Pour les plus gros, il suffit d'un flacon de large ouverture rempli au tiers de sciure humectée d'acétate d'éthyle (puissant anesthésiant...).

Les pièges se composent d'un gobelet en plastique rempli avec 1/3 d'un liquide aux fonctions d'appât et de conservateur (vinaigre, bière...). Le gobelet est enfoncé au ras du sol et recouvert partiellement de cailloux pour le protéger d'éventuelles remplissages indésirables: cailloux, pluies (dilution du liquide)... Il est important de noter précisément leur emplacement pour les retrouver !

En cavité, les pièges sont installés en des lieux sélectionnés selon des critères biologiques: apports en nourriture importants (guano, bois), présence de suintements d'eau,...

A l'extérieur, au niveau des névés, on les place au pied de ceux-ci, là où un écoulement d'eau à lieu. Dans les autres cas, on favorise la pose dans les lieux humides, boisés...

Les récoltes peuvent avoir lieu toutes les semaines avec un renouvellement du liquide. Une fréquence plus élevée donne des informations générales supplémentaires: fréquentation, efficacité du piège...

La conservation des récoltes se fait en flacon avec de la sciure et de l'acétate d'éthyle ou dans de l'alcool à 30% ou encore dans du formol à 20%. Une seringue permet des injections de formol qui s'avèrent utiles pour certaines captures: poissons, reptiles, dragons...

### **Premier bilan:**

Un premier inventaire du matériel récolté a été dressé. Certaines captures nécessitent des déterminations approfondies voire des descriptions qui feront l'objet d'articles ultérieurs.

Le colmatage rencontré dans les différentes cavités explorées n'a pas permis d'accéder réellement à la faune cavernicole du massif. Néanmoins, la récolte aux pièges a donné des résultats intéressants mettant en évidence l'existence d'animaux endémiques au massif et inféodés au milieu souterrain (troglophiles). Cependant, l'utilisation de pièges suppose de disposer de temps pour retourner dans les cavités. Ce travail n'est pas toujours compatible avec la spéléologie d'exploration conditionnant l'expédition.

## **Biogéographie du massif du Zagros**

Les montagnes du Zagros appartiennent à la région biogéographique Proche-Orientale. Leurs altitudes élevées, souvent supérieures à 3000 m, marquent non seulement la frontière d'état entre l'Iran et l'Irak, la marge tectonique entre la plaque Arabique et la plaque Eurasienne, mais également la limite biogéographique entre la faune et la flore des Hauts plateaux Irano-Afghans et la plaine Mésopotamienne.

Ces hautes montagnes calcaires offrent une solution de continuité entre la région paléarctique occidentale (chaîne Pontique et Taurus) et le grand arc Himalayen. Ainsi, si l'on se réfère à son histoire géologique, le peuplement zoologique du massif, tant épigé que cavernicole, peut présenter deux origines distinctes ou non. L'une serait liée à l'influence occidentale, *via* les montagnes du Caucase et de Turquie, l'autre serait de type oriental, central-asiatique, par le biais des chaînes de Sulaménie.

Malgré sa position clé, ce massif est encore largement méconnu et le nombre d'études biologiques qui y ont été menées trop restreintes. Ainsi, en dépit de plusieurs investigations successives au siècle dernier de la part des voyageurs-naturalistes (De Chaudoir, Motschulsky,...), les expéditions sont restées peu nombreuses au cours du 20<sup>ème</sup> siècle. On peut citer, parmi les principales : l'expédition zoologique du Muséum de Prague en 1970 et celle du Muséum d'histoire naturelle de Genève en 1973.

De ces investigations, il résulte la présence d'un faible nombre d'espèces endémiques eualpines (localisées à des altitudes supérieures à 1800 m). Parmi celles-ci, on peut souligner la présence d'insectes coléoptères carabiques du genre *Trechus* qui sont souvent d'excellents indicateurs biogéographiques : *Trechus melanocephalus* et *Trechus liopleurus*.

Beaucoup de données restant fragmentaires, l'un des buts de l'expédition "Iran 96" était de réunir des informations biologiques concernant la zone étudiée et d'en estimer les potentialités. En dépit d'une prospection tardive dans l'année (la diversité des faune et flore de surface déclinant en période de sécheresse), les résultats obtenus sont marquants.

Parmi les données les plus intéressantes, il convient de noter la capture d'une espèce de coléoptère eutroglophile dans la résurgence vaclusienne de Gama Siab (Nahavan). Cette espèce, en cours de description au Muséum de Turin (Italie): *Laemostenus (Antisphodrus) deconincki nova species* Casale A. et Quéinnec E.<sup>1</sup>, appartient aux coléoptères carabiques *Sphodrini* du groupe du "*Laemostenus glasunowi*".

Ces animaux d'altitude, sublapidicoles ou cavernicoles, plus ou moins dépigmentés, ont peuplé les hautes montagnes d'Iran septentrional (Elbrurz et Zagros). Ce petit groupe d'insectes est géographiquement et zoologiquement très isolé mais dérive d'une lignée primitive Irano-anatolienne. En effet, les espèces les plus proches peuplent les massifs karstiques du Taurus et du Liban (groupe de *Antisphodrus bodemeyeri*). Ce cavernicole, isolé dans la grotte de Gamasiab, a donc une origine biogéographique typiquement Nord-Egédienne, c'est à dire Méditerranéenne. Ce résultat est intéressant à plus d'un titre puisqu'il conforte l'hypothèse d'un peuplement du massif par des groupes espèces clairement issues du bassin méditerranéen.

---

<sup>1</sup> Un sphodride nouveau des karts des hautes montagnes du Zagros - Casale A. et Quéinnec E.- Revue Française d'Entomologie (à paraître)

D'autres animaux appartenant à des groupes zoologiques différents, tels les myriapodes (capture d'un exemplaire de *Lithobius inquirendus*<sup>1</sup>) permettent d'inférer les mêmes conclusions. Cependant, on ne peut exclure d'autres types d'influences biogéographiques, car il faut souligner l'absence totale de données concernant les montagnes Irakiennes orientales toutes proches et, en dépit de nos propres prospections, la faiblesse des informations recueillies sur la zone Eualpine du Zagros. En raison de la présence de réserves estivales d'eau sous forme de névés et de précipitations atmosphériques importantes (800 mm/an à Esfahan) liées au climat continental, on ne peut exclure l'existence d'espèces endémiques de hautes montagnes et d'une faune cavernicole spécialisée inféodée au Zagros.

## ***Zoologie du Kuh-e-Garrin***

### **Premier inventaire des récoltes**

Nous présentons ci-dessous la liste succincte du matériel zoologique récolté énuméré selon la nomenclature classique:

#### **ARTHROPODES**

##### **- CHELICERATES**

###### **- ARACHNIDES**

- Solifuges
- Opilionides
- Aranéides
- Acariens

##### **- ANTENNATES (ou Mandibulates)**

###### **- MYRIAPODES**

- \* Chilopodes: Lithobiomorphes

###### **- HEXAPODES:**

- Collemboles

###### **- INSECTES**

- Dictyoptères: Mantès
- Orthoptères: Pamphagidés
- Dermaptères: Forficules
- Trichoptères: Phryganes
- Diptères: Nématocères et Brachycères
- Hyménoptères: Polistes (vespidés)
- Hémiptères: Pentatomidés
  
- Coléoptères:

---

<sup>1</sup> - Nous tenons ici à remercier le Pr Demange du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris pour la détermination des Myriapodes récoltés.

- Carabides: Trechidae, Sphodrides et Harpalides
- Staphylinidés: *Quedius sp.*
- Hydrophilides: *Helophorus sp.*
- Tenebrionides: *Blaps*, *Pimelia* et *Tentyria*
- Melyrids: *Dasytes sp.*
- Coccinellidae: *sp.*
- Elaterides: *sp.*
- Chrysonelides: *Altica sp.* et *Chalcoïdes sp.*
- Curculionides: *Otiorhynchus sp.* et Branchyderines

### Premiers commentaires des récoltes

Parmi le matériel rapporté, on dénombre cinq espèces fréquentant occasionnellement les grottes, il s'agit de troglaphiles.

Parmi celles-ci un acarien (en cours d'étude) de la famille des Gamasides et qui semble appartenir au genre *Cyrtolaelaps*. Les espèces de ce genre connues de France vivent dans les mousses des forêts et quelques unes sont spéciales aux régions de montagnes. Leur capture au piège à proximité de guano, produit par une colonie d'une centaine de chauves-souris, provient de la grotte de Gama Siab.

Une autre espèce prise aux pièges dans cette cavité s'avère être un véritable troglobie. Il s'agit d'un Sphodride (photo 9), appartenant à l'ordre des Coléoptères et de la famille des Carabidés. De nombreuses espèces de ce groupe peuplent les grottes de divers pays. Ils vivent sur le guano de chauves-souris où ils chassent de petites proies.

L'espèce, actuellement à l'étude, présente une forte dépigmentation des téguments qui lui confère la teinte ferrugineuse caractéristique de ce groupe. Elle présente par ailleurs une microphthalmie qui semble démontrer une très ancienne adaptation au milieu souterrain.



Photo 9 : Sphodride *Laemostenus deconincki* de la grotte de Gama Siab

Dans la grotte de Gama Siab quelques exemplaires de Phryganes (Trichoptères) ont pu être capturés. Ce sont des insectes typiquement troglodites qui colonisent fréquemment les parois. Une partie de leur cycle vital se déroule hors des cavités. Leurs larves bien connues des pêcheurs qui les appellent "traine-buche" ou "porte-bois", peuplent le domaine aquatique extérieur: mares, lacs, rivières...

Une Lithobie microphtalme *Lithobius inquirendus* (Myriapode, Chilopode) a été capturée aux pièges à 3100 m au pied d'un névé. Elle n'était connue à ce jour que par l'exemplaire typique capturé au début du siècle probablement sur le "Kuh-räng-Gebirge" à 2400 m d'altitude. Présentant des traces de régression oculaire, on peut probablement la considérer comme une espèce nivicole.

Cette remarque s'applique aussi à un collembole (*sp.*) pris à vue dans le gouffre KG14. Sa taille réduite (le millimètre) et une mauvaise conservation ne permettent pas de préciser son développement oculaire.

On note une intéressante récolte d'espèces nivicoles de Bembidions (Ordre des Coléoptères, famille des Carabidés) prise à 3100 m aux pieds de névés. Leurs caractéristiques les rendent proches de groupes qui possèdent des genres cavernicoles stricts (*Trechidae*).

Ces petits carabiques lapidicoles vivent en général au bord des eaux, surtout stagnantes, et pour les espèces d'altitude au bord des névés. Ces prédateurs se nourrissent de petits invertébrés et en particulier les minuscules larves et vers peuplant ces lieux humides.

Parmi ces Bembidions, on peut dénombrer cinq espèces<sup>2</sup>:

- *Nepha laevisimum*
- *Peryphus praeustus*
- *Tesdediolum kokandicum incipiens*
- *Peryphanes viduum*
- *Testedium tectimundi*

Le matériel récolté comprend également un grand Arachnide de l'ordre des Solifuges (photo 10) dont l'identité exacte n'est pas encore établie. Cependant, la niche écologique qu'il occupe à 3100 m d'altitude auprès d'un névé permet de soupçonner une espèce nouvelle ou proche de l'*Anoplogylyptus rickmersi sp* qui vit plus au nord dans les montagnes du Turkestan.

Les Solifuges se trouvent surtout dans les régions chaudes et désertiques (Sahara). On notera qu'il en est de même pour beaucoup d'autres groupes d'Arthropodes que nous avons signalé.

Le reste du matériel est constitué d'espèces terricoles épigées, avec quelques phytophages volants, à affinités méditerranéennes plutôt qu'orientales. On remarque encore pour les Tenebrionides (*sp*) et les Mantes (*sp*) qu'ils appartiennent à des groupes mieux représentés dans les régions chaudes et désertiques du globe et en particulier d'Afrique du Nord.

Au sein des Vertébrés, un petit Batracien Anoure de la famille des Bufonidés (?) a été observé en nombre (plusieurs centaines) dans une petite mare à 3100 m.

---

<sup>2</sup> Déterminés par Mr D. Echaroux (ACOREP)



Photo 10 : Solifuge

### **Conclusion**

Le fait de n'avoir pas trouvé de véritables troglobies (en particulier chez les coléoptères) ne prouve pas leur absence dans les cavités du massif. D'autres visites avec un piègeage systématique permettraient de confirmer ou d'infirmer leur existence dans ces hautes montagnes.

Un travail important reste à fournir. D'autres expéditions sur d'autres massifs permettront de mieux connaître la zoologie du Zagros. Une visite du Gahr Parau (-751 m) et de ses environs donneraient de bonnes indications sur la faune cavernicole.

A l'heure actuelle, trop peu d'expédition biologique ont eu lieu dans cette chaîne de montagnes ce qui laisse augurer d'importantes découvertes à venir. Le monde cavernicole Persan n'a pas livré tous ses secrets.

### **Lexique sommaire**

- **cavernicole**: qui vit dans les grottes, les cavernes.
- **troglobie**: qualifie les espèces qui vivent uniquement dans les grottes et dont la morphologie est profondément différente de celle de leurs proches parents épigées: disparition

---

des yeux, dépigmentation, allongements de certains appendices (pattes, antennes...), modification du métabolisme (ralentissement...)...

- **troglophile**: qui passe une partie de son existence en cavités et une autre dans le milieu épigée.

- **épigée**: c'est le milieu extérieur par opposition au monde des cavernes.

- **endogé**: qui vit dans le sol. On peut les trouver après de fortes pluies dans les grottes.

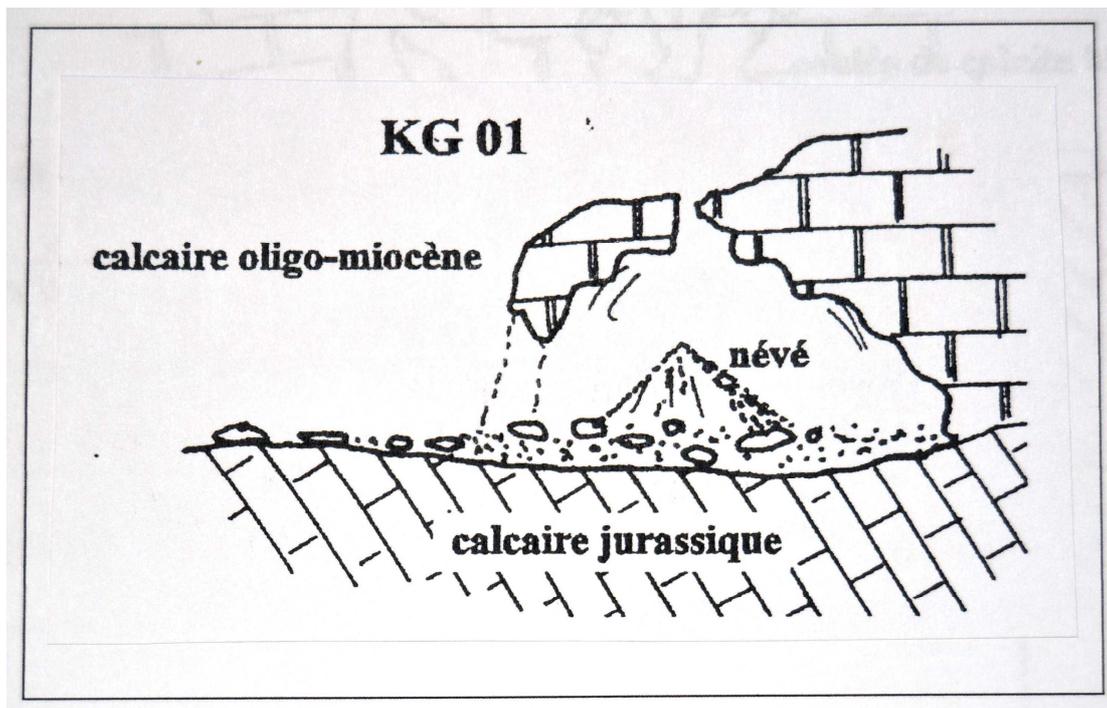
- **nivicole**: qui vit près des névés.

- **ACOREP**: Association des Coléptoristes de la Région Parisienne.

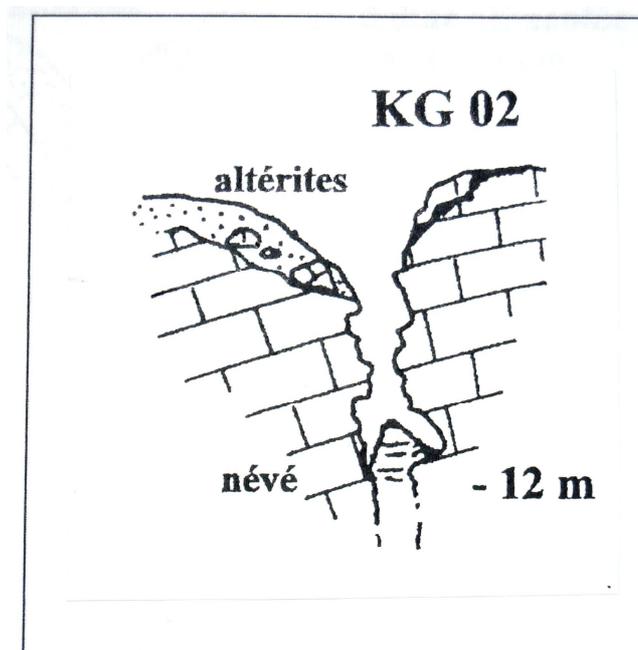
## Topographies

Une vingtaine de cavités a été trouvée et référencée par les initiales du massif et un chiffre. Ce nom est reporté à l'entrée des cavités.

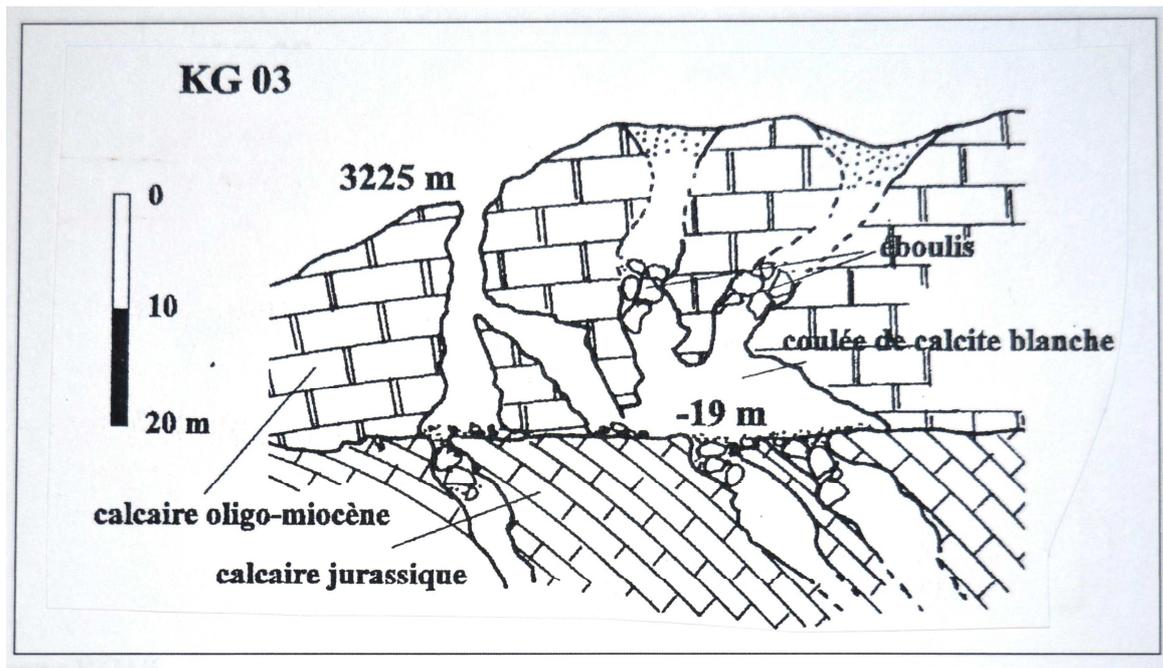
Grotte KG01



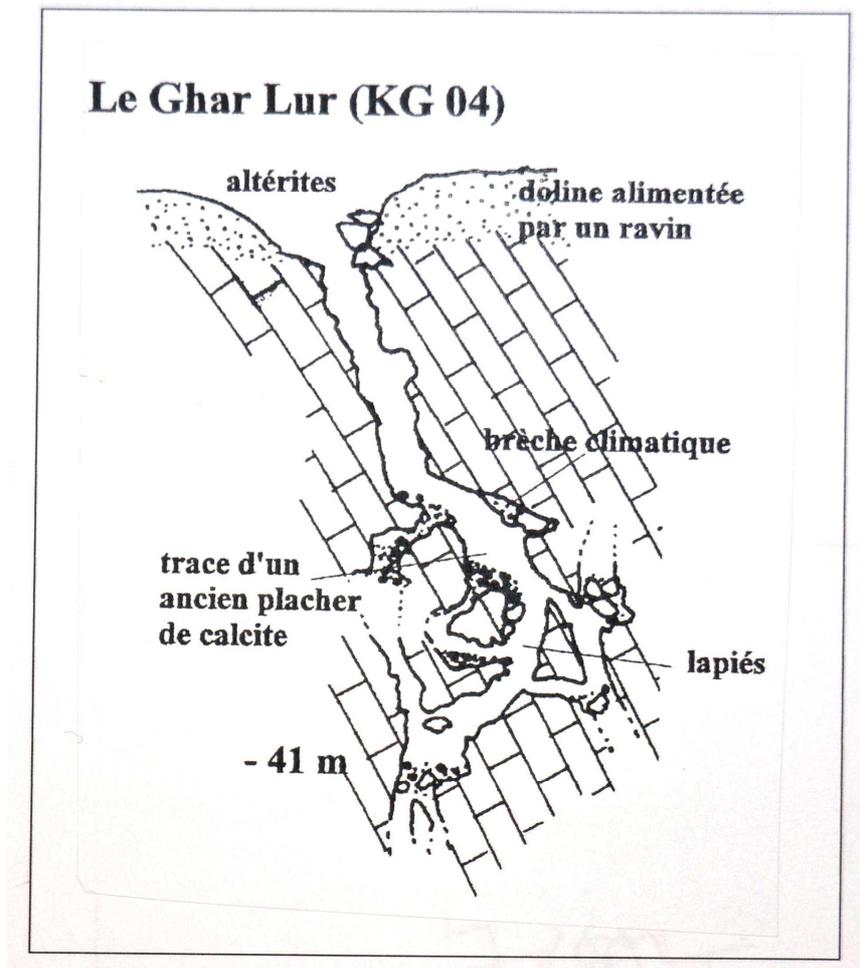
Grotte KG02



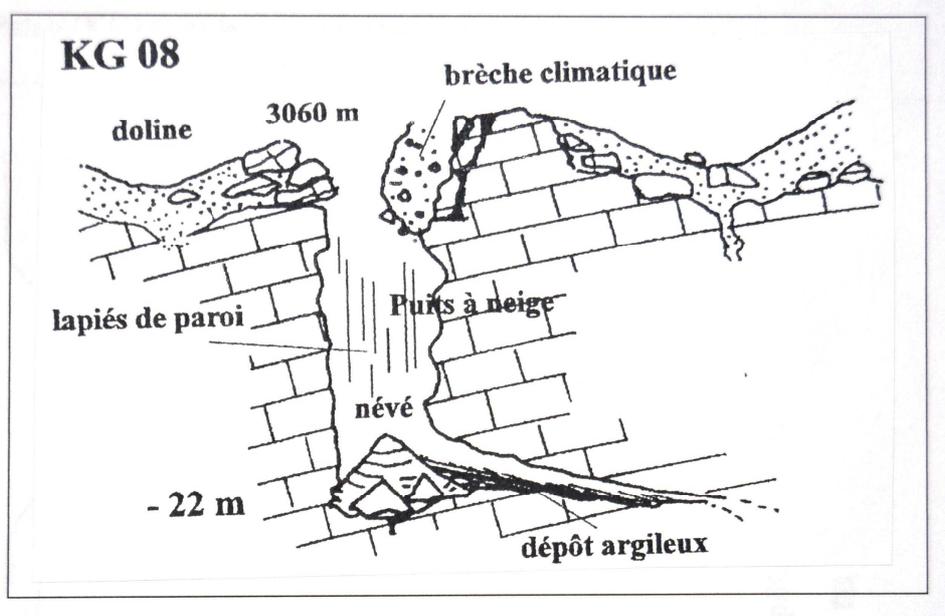
Grotte KG03



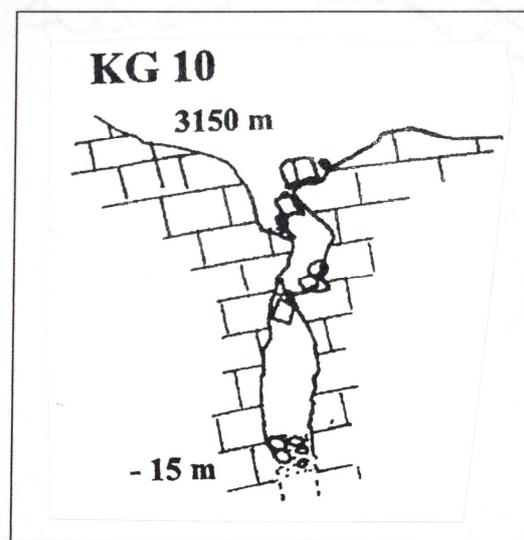
Le Ghar Lur (KG04)



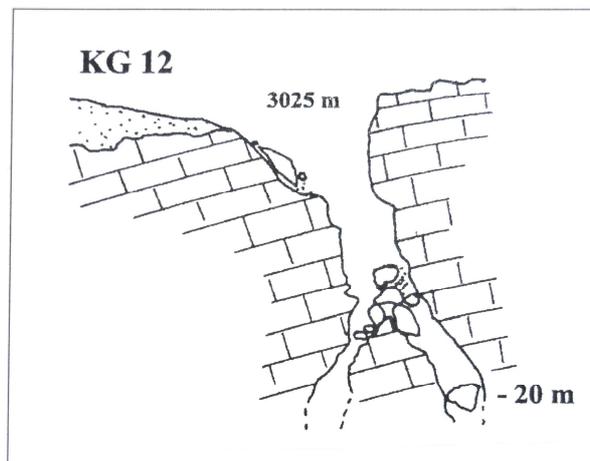
Grotte KG08



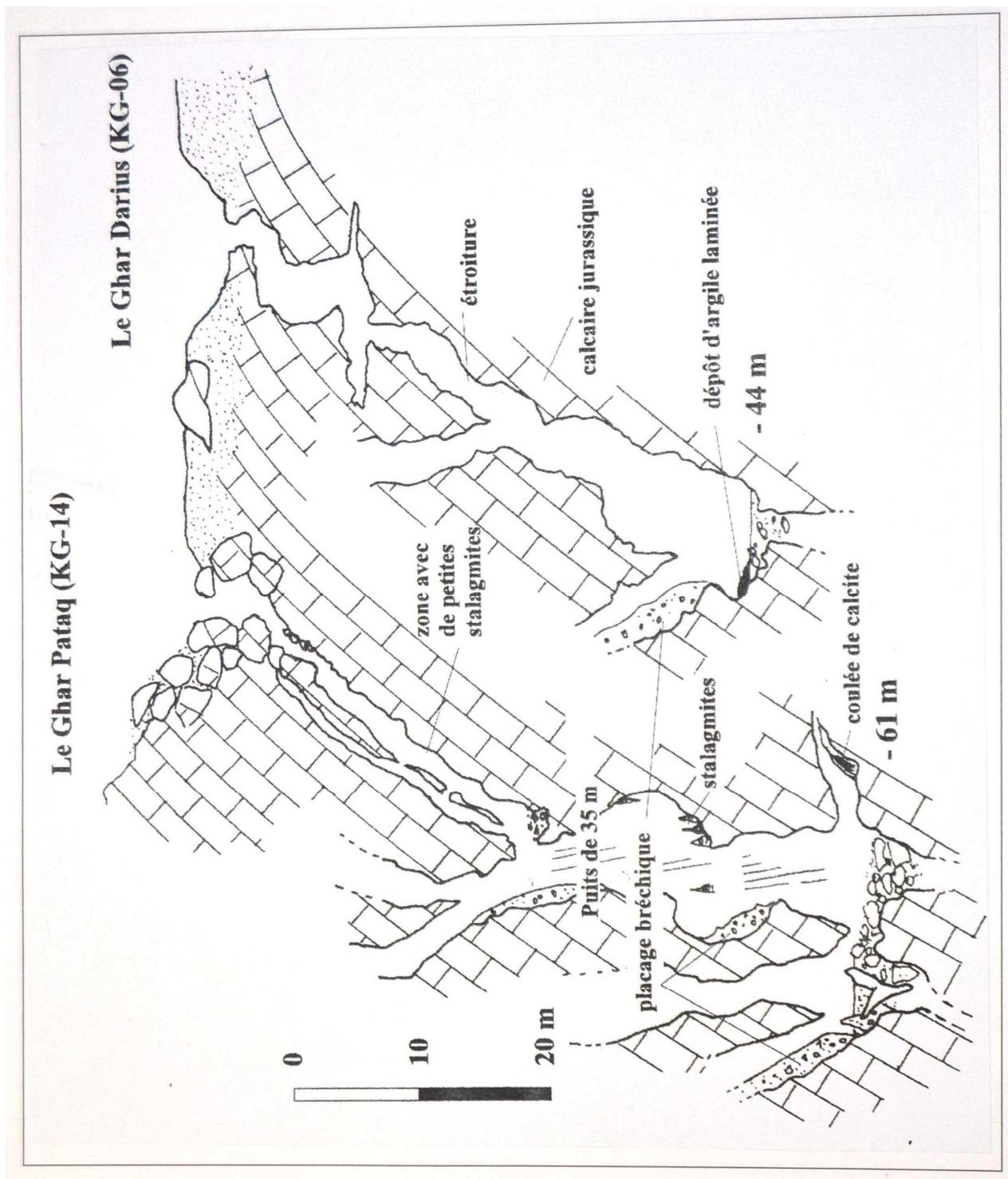
Grotte KG10



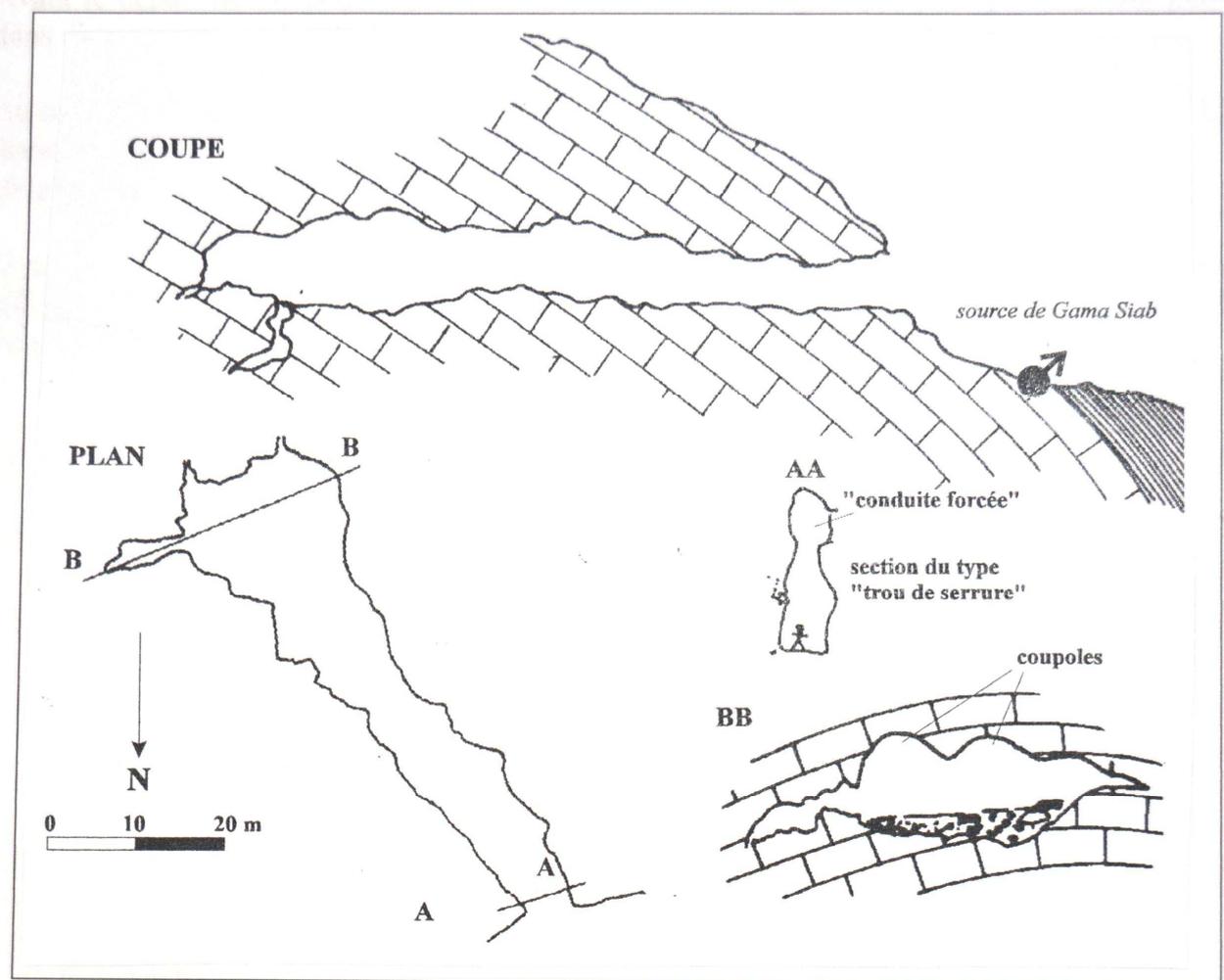
Grotte KG12



Le Ghar Pataq (KG14) et le Le Ghar Darius (KG06)



Grotte de Gama Siab



## Conclusion

Les objectifs que nous nous étions fixés ont été atteints. Malheureusement, le colmatage des cavités ne nous a pas permis de révéler de grande découverte spéléologique ou biospéléologique et ce malgré un terrain favorable.

Le contact avec les iraniens fut excellent. A la fin de l'expédition nous avons organisé pour la fédération de montagne iranienne un stage d'initiation à la spéléologie alpine. Durant trois jours, les 20 stagiaires, habitués de la haute montagne, ont pu apprendre à progresser sur corde, voir les techniques d'équipement et de secours.

Tous très motivés, ils ont fait preuve d'une grande assiduité : comme exemple, ils ont décalqué nos descendeurs pour s'en fabriquer ! Certains d'entre eux ont visité le Ghar Parrau avec le matériel et les techniques montagnes.

Les adieux furent émouvants et nous donnent une raison supplémentaire de vouloir retourner dans ce splendide pays.

Le stage :



Les stagiaires :



Avant le départ de l'expédition, des articles, présentant l'expédition avec photos, sont parus dans divers journaux: Le Parisien, Sud-Ouest, Les Nouvelles de Versailles.

Au retour de l'expédition, un article sur les nomades Lours est paru dans Karstologia n°29. Un diaporama a été réalisé et présenté à la ville de Coignères au mois de Novembre 97.

De plus, un article dans "Iran News" est paru.

Nous avons consacré 4 jours intenses à la visite du pays soit 2000 km en bus et la visite Isfahan, Persepolis, Shiraz,... Juste le temps de découvrir une partie de la riche histoire de la Perse pour augmenter notre envie de revenir !

Article paru dans Iran News :

**Whiplash Road to 'Riches' at Rodeo Championship**

LAS VEGAS, NEVADA (AFP) - Cowboys are mounting America's meanest Bulls and Broncos for the National Finals Rodeo's (NFR) richest purse yet: \$3.2 million. World champion is the most coveted title in professional rodeo, and only those cowboys willing to spend 200 days a year on the road competing in 80 to 125 rodeos can hope for the title. The 10-day NFR's seven events have sold out a 16,500-seat arena and will be aired across the United States on the ESPN2 Network. The burgeoning media coverage has fueled the rise in prize money from \$59,000 in 1959 to this year's \$3.2 million.

# IRAN NEWS

**Hendry Crast**  
OSNABRUCK, GERMANY (AP) - shock 5-2 defeat to Scotland's Ste a best-of-eleven frame semi-final Bond. Bond, the world number-five Davis by the same scoreline. O'S century of his career, was the high He also added a run of 82 plus three and 67 in the seventh.

**Sports Highlights**



**TEHRAN:** French mountain-climbing instructors Thierry Baritaud (R), Dominique Dumas (middle) and Pierre de Coninck, conducting special cave climbing classes at Bande-Yakhchal north of Tehran late September.

**SPORTS**

VOL. III. No. 628 T  
Sunday December 15, 1996, A

their first two games, drawing 2-2 against newcomers Indonesia and squandering a 2-0 lead to go down 2-3 against the U.A.E.

But they dominated the Koreans and their East European coach Milan Macala promised that the Kuwaiti "Football Show" had just begun with their surprise victory.

The Japanese players must cope with the strength of striker Jassem al Houwaidi and contain inspirational captain Wail al-Habashi for the favorites to go through.

The two teams meet in Al-Ain. Hosts the U.A.E. have been probably the surprise team of the 12-nation tournament. They held South Korea in the opening match to a 1-1 draw then went on to come from behind and beat Kuwait and recorded a 2-0 victory against Indonesia.

Their veteran captain Adnan Al-Talyani is in fine form and in Zuhair Bkhait they have a superb on the bench who made things happen when he came on in each

least prepared of all finalists, thanks to the fine performances of veteran striker Laith Shihab and his striking partner Hayder Majeed.

Iraq have not played an international fixture in Baghdad since U.N. sanctions were imposed for its 1990 invasion of Kuwait.

The Asian Football Confederation (AFC) will have a problem if Kuwait upset Japan and Iraq beat the U.A.E. as they will have to meet in the semis. Kuwait have said that they would pull out of the tournament rather than play Iraq.

Iran play South Korea in Dubai and Saudi Arabia take on China in Abu Dhabi in the other two-quarter finals on Monday.

**SPORT ASIAN CUP**

Quarterfinal Draw

UAE vs. Iraq

Japan vs. Kuwait

South Korea vs. Iran

Saudi Arabia vs. China

## L'équipe



### **BARITAUD Thierry**

34 ans. Ingénieur du patrimoine

A commencé la spéléologie en 1980 et la plongée spéléo en 1993. Explore les réseaux de Dordogne, du Lot et des Pyrénées Atlantiques. Auteur du livre: " L'aventure souterraine du Périgord " Fanlac 1990.

#### **Expéditions:**

- Espagne 1987.
- Tunisie 1982, 1992, 1993, 1993, 1994, 1996.
- Pérou 1994.
- Papouasie Nouvelle Guinée 1995, 1998.
- Slovénie 1997

### **DUMAS Dominique**

29 ans. Etudiant-chercheur en Géographie.

Spéleologue depuis 1984. A participé à des explorations sur de nombreux massifs français et des découvertes sur les massifs des Bauges et de la Chartreuse.

Thèse en géographie sur la chaîne du Zagros

**DE CONINCK Pierre**

32 ans. Ingénieur

Début en spéléologie en 1992. Spécialisé dans l'étude de la faune cavernicole. Photographe.

Exploration dans les Pyrénées.

**Expéditions:**

- Chine 1995
- Maroc 1997
- Papouasie Nouvelle Guinée 1998
- Slovénie 1998

**Darius**

Etudiant de l'université de Téhéran

Notre interprète...