

IMAGINER... LA PALÉO-RIVIÈRE SOUTERRAINE DE SAINT-REMÈZE (ARDÈCHE)

En 2005, Jacques Martini a publié dans *Karstologia* (45-46) un article intitulé « Étude des paléokarsts des environs de Saint-Remèze (Ardèche) : mise en évidence d'une rivière souterraine fossilisée durant la crise de salinité messinienne. » Il s'agit d'une découverte exceptionnelle qui permet de restituer la position de l'Ardèche avant la crise messinienne (5,95 Ma). La datation relative de cette position est basée sur les restes de micromammifères présents dans les sédiments de la rivière. Certes, les grands traits du paléo-paysage sont esquissés, mais il nous a semblé qu'il était possible d'aller plus loin et d'imaginer une paléo-rivière souterraine plus proche en distance de la rivière allochtone qui l'alimente. La plaine de Malbosc matérialise le fond de la paléo-vallée de l'Ardèche et l'abrupt qui la borde au nord (altitude de 350 m) pourrait correspondre à un ancien versant affecté par des systèmes de pertes-résurgences composés de boucles multiples et successives générées par des captures karstiques.

1. Premières impressions

Lorsqu'en novembre 2004, Jacques Martini nous a montré les éléments qui l'avaient conduit à relier les différents tronçons de la paléo-rivière de Saint-Remèze (**fig. 1**), nous avons été tout de suite convaincus par sa démonstration. Nous nous sommes immergés dans les galeries décapitées comme si nous explorions un véritable conduit souterrain. Puis dans un tronçon plutôt situé vers l'aval (Marzal), nous avons remarqué une galerie sur notre gauche (lorsque l'on simule une descente de la paléo-rivière souterraine), autrement dit venant du N-E. Cette galerie correspondait-elle à un affluent venant de l'intérieur du plateau de Saint-Remèze ? Il n'a pas été possible de la suivre au-delà de quelques mètres, mais l'idée était là : le « méga-recoupement de méandre », que nous imaginions alors, devait également collecter des circulations issues du plateau... Cette observation qui ne constitue pas l'essentiel des observations de Jacques Martini (2005) pourrait bien avoir quelque intérêt, notamment pour appréhender le fonctionnement probable de la paléo-rivière souterraine dont il est clair que l'alimentation ne dépend pas seulement des eaux de l'Ardèche.

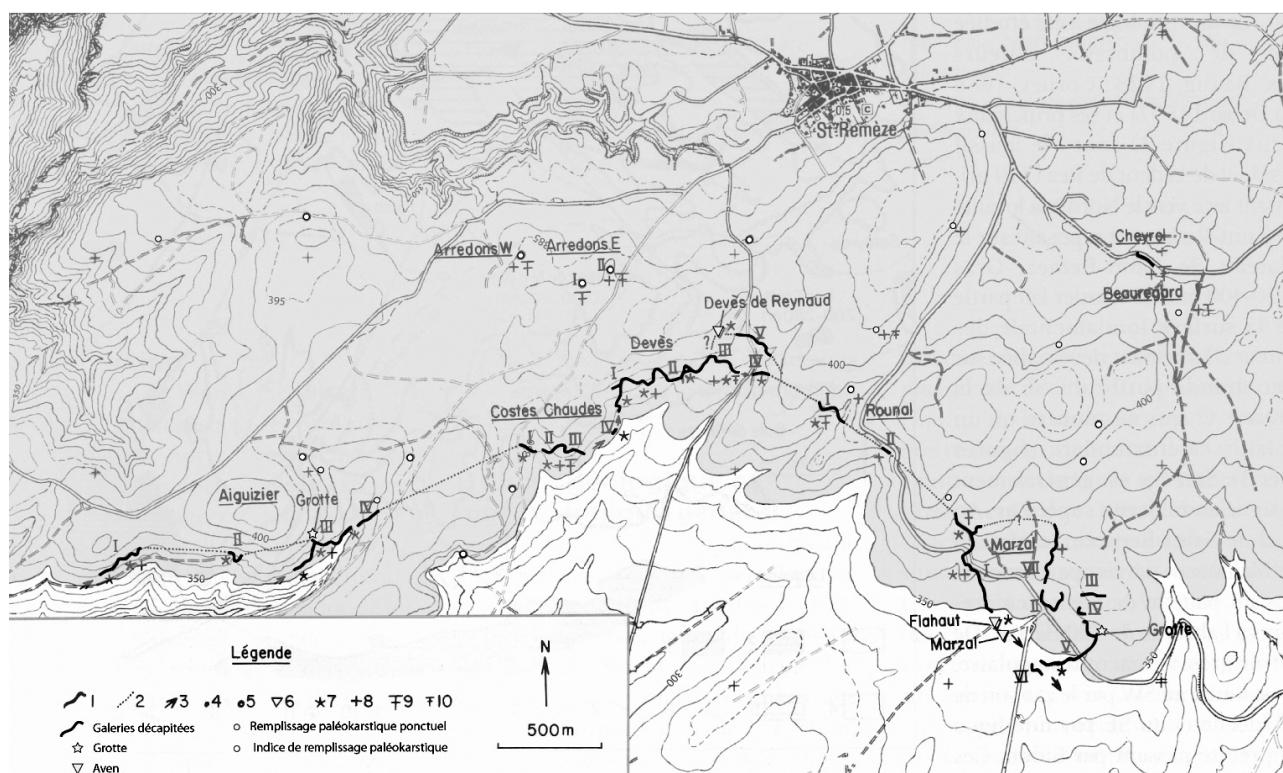
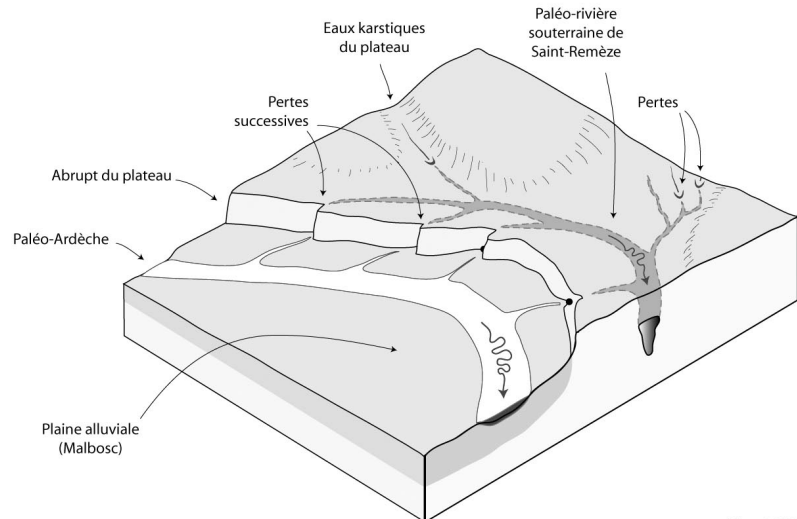


Fig. 1 : Carte des remplissages paléokarstiques (d'après Martini, 2005 modifié).
Les surfaces situées au-dessus de la cote 350 m sont en grisé. Au sud (en blanc), s'étend la plaine de Malbosc.

Une fois avoir pris connaissance de l'extraordinaire découverte de Jacques Martini, il a fallu expliquer la présence et surtout l'ampleur des phénomènes souterrains, car nous n'avions jamais rien vu de tel auparavant. Les faits étant scientifiquement établis, il ne restait plus qu'à imaginer un scénario. Toutefois, en l'absence de croquis ou de reconstitutions 3D, il était difficile de se rendre compte et de partager des idées sur ce phénomène.

Fig. 2 : La rivière souterraine de Saint-Remèze et les pertes de l'Ardèche (Bigot, 2009).



Bigot 2009

C'est la raison pour laquelle j'ai été amené à proposer un premier croquis en 2009 (**fig. 2**), capable d'étayer une histoire plausible et cohérente.

L'idée d'un « méga-recoupement de méandre » d'une longueur de 7 km ne cadrant absolument pas avec les observations que nous avons pu faire auparavant, nous avons transposé les éléments observés dans la grotte du TM 71 (Aude) (Bigot, 2004) ou encore dans la grotte de Saint Marcel (Ardèche) (Mocochain et al. 2006) afin de proposer un scénario crédible. C'est pourquoi, une des premières questions à laquelle nous nous proposons de répondre est la miraculeuse conservation d'une cavité décapitée sur une longueur d'environ 5 km.

1. Conservation du paléo-relief

Il est curieux de constater qu'une grande partie des tronçons de la paléo-rivière souterraine de Saint Remèze sont encore bien conservés. Ces tronçons se développent très près de la plaine de Malbosq (altitude moyenne de 310 m) alors que le niveau karstifié dans lequel se développe la rivière est situé entre 360 et 380 m. Si ces tronçons ont été miraculeusement conservés, c'est parce qu'il existait une épaisseur suffisante de calcaire ayant permis la préservation d'une partie de la cavité. En effet, l'évolution normale des cavités, comme celle du relief karstique, tend vers leur disparition totale. Alors que les formes de surface disparaissent plus vite, il faut généralement plusieurs millions d'années pour faire disparaître un massif calcaire, et avec lui les cavités qu'il contient. En Slovénie, on estime l'ablation karstique de 30 à 50 m par million d'années, ce qui explique que les cavités décapitées n'ont pas plus de 3,5 à 4 Ma (Mihevc et al. 2010).



Cette valeur est très importante et ne convient pas du tout au cas de l'Ardèche. Le Vivarais n'a pas un taux de soulèvement aussi soutenu que celui du Karst slovène. Avec une dynamique plus faible, l'ablation karstique est moindre. L'altitude de la rivière étant de 370 m et celle de la plaine de Malbosq de 310 m (**fig. 3**), on en déduit une érosion de 60 m (Martini, 2005).

Fig. 3 : Au premier plan, la galerie décapitée des Costes Chaudes 1 (alt. 370 m), au fond la plaine de Malbosq (alt. 310 m).

L'épaisseur du plateau situé au-dessus de la paléo-rivière souterraine devait être un peu plus grande, car plus exposé que le fond de la plaine de la paléo-Ardèche couverte d'alluvions (alt. 310 m). La rivière souterraine coulant vers 370 m d'altitude et le plateau de Saint-Remèze étant actuellement situé à 400 m, on peut restituer la surface du paléo-plateau de Saint-Remèze vers 460-470 m.

Ainsi, grâce à une faible ablation (60 m en 5,5 Ma), la dénivellation entre la paléo-plaine alluviale (Malbosc) et les reliefs qui la bordaient (Costes Chaudes) ont-ils pu être conservés dans le paysage (**fig. 4**).

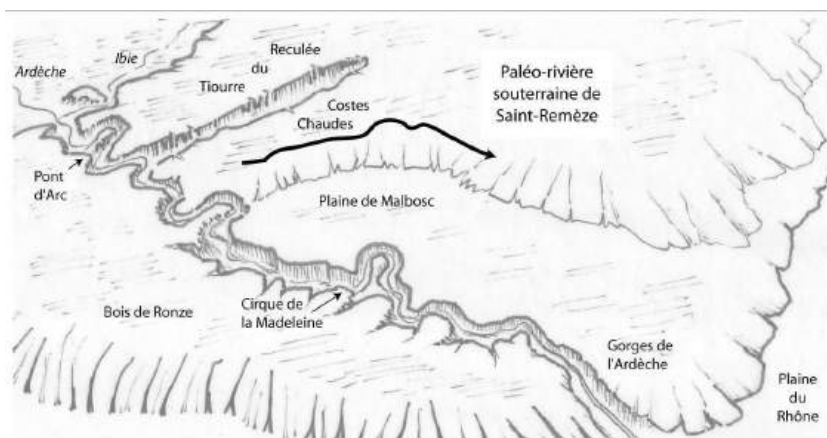


Fig. 4 : Vue 3D des gorges de l'Ardèche et du plateau de Saint-Remèze. La rivière souterraine se situe au nord d'un léger relief du plateau.

On peut interpréter la dénivellation entre le plateau de Saint-Remèze et la plaine de Malbosc comme la limite nord résiduelle bordant la vallée de la paléo-Ardèche (**fig. 5**). Le cours souterrain était très proche du versant et en permanence alimenté par les pertes de la rivière aérienne, comme c'est le cas actuellement au fond des gorges de l'Ardèche.

Ces pertes évoluent vers l'amont, tandis que les émergences évoluent plutôt vers l'aval (voir infra). Les deux ont permis d'étendre le tracé souterrain jamais très éloigné du cours aérien. Avant de proposer des exemples de cavités dont le fonctionnement est proche de celui la rivière souterraine de Saint-Remèze, il convient d'expliciter les phénomènes de captures subhorizontales à l'intérieur d'un méandre de rivière aérienne.

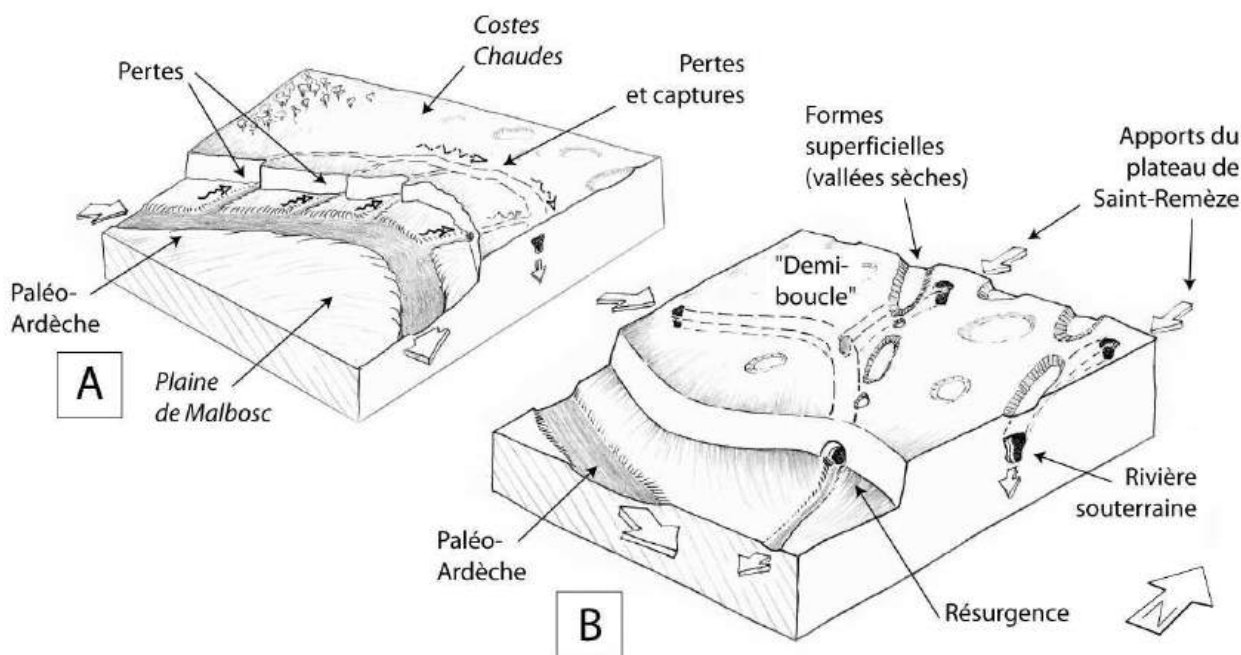


Fig. 5 : Blocs-diagrammes du plateau de Saint-Remèze.

Bloc A : Pertes de la paléo-Ardèche, avec une évolution toujours portée plus amont.

Bloc B : Capture en demi-boucle par des circulations issues du plateau. Ces captures ont pu se reproduire plusieurs fois tout au long de la vallée de la paléo-Ardèche (boucles successives).

NB : les formes de surfaces (vallées sèches, dolines) attestant d'un réseau superficiel initial n'ont pas été retrouvées car elles ont bien sûr disparues. Elles ne sont représentées ici que pour matérialiser les eaux du plateau à l'origine des demi-boucles.

Évolution des points de pertes et d'émergences dans la partie concave d'un méandre

Dans une boucle de méandre, la rivière tend à creuser la partie concave. Ainsi, les pertes, plutôt localisées dans le pédoncule du méandre, suivent l'évolution des parties concaves et évoluent avec elles vers l'amont ; tandis que les émergences évoluent vers l'aval (fig. 6).

- **À l'amont**, on assiste à un déplacement des pertes et des drains souterrains vers le fond de la partie concave, vers l'amont. Le déplacement des points de pertes de 1 vers 2, entraîne une adaptation qui se traduit par la capture du nouveau point de pertes (2) par le drain souterrain existant (1). En effet, la partie concave étant située à l'amont, donc plus haute, le gradient est plus fort et le conduit tend à se développer plus rapidement. La répétition de ces captures, de 2 vers 3, montre une évolution des points de pertes de l'aval vers l'amont (grottes de Saulges, Mayenne). Avec l'abaissement du niveau de base consécutif au creusement de la vallée, le drain existant, qui a subi maintes réadaptations, ne convient plus et on assiste à l'apparition d'un nouveau drain (4) mieux placé dans le fond de la partie concave, tandis que les conduits 1, 2 et 3 sont abandonnés.

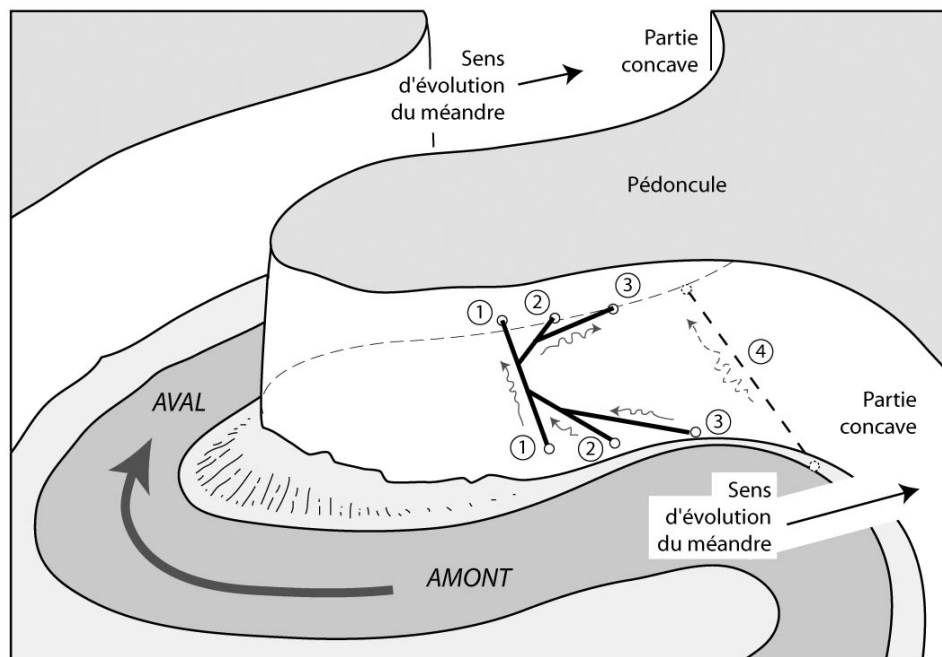


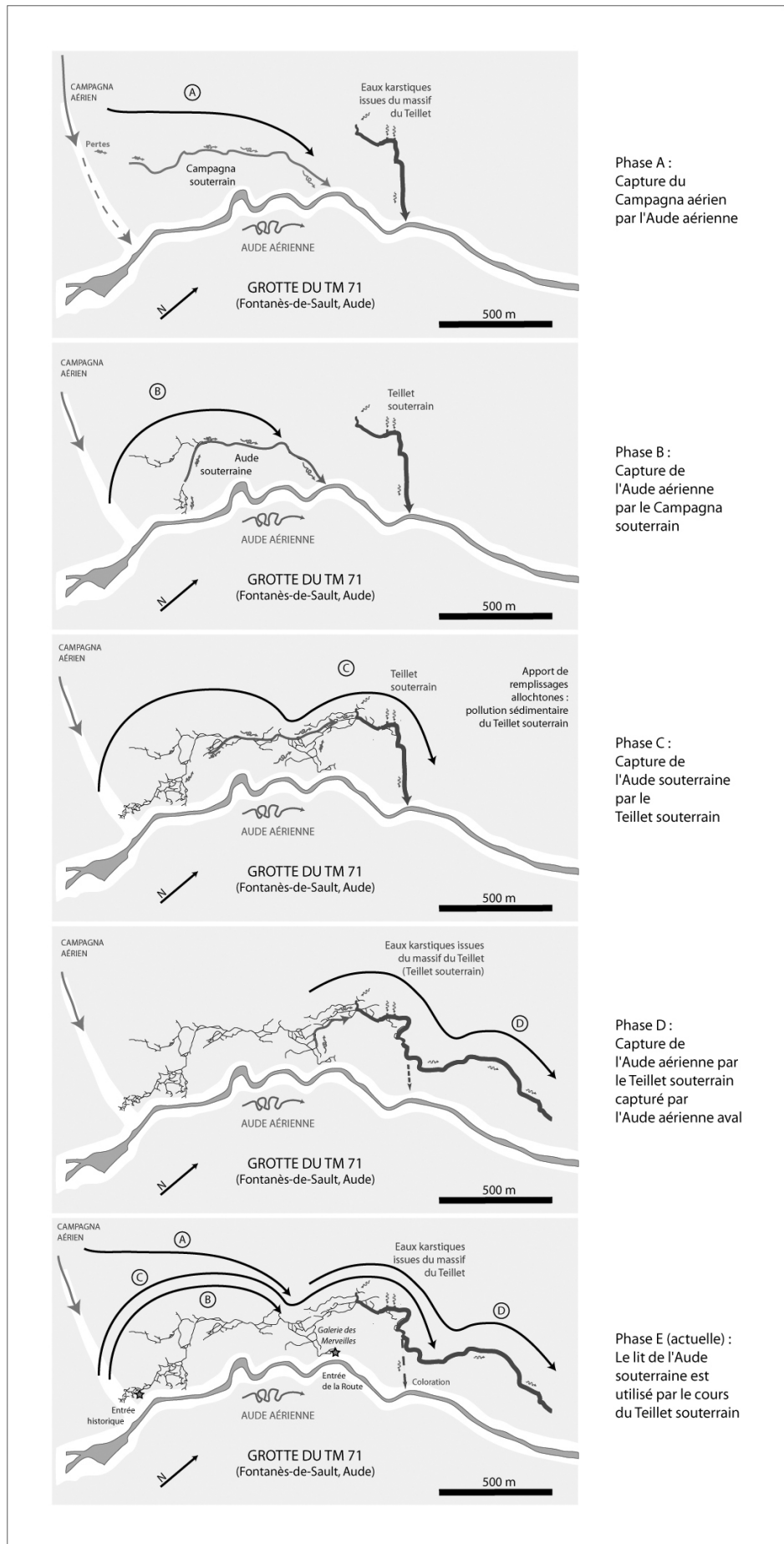
Fig. 7 : Bloc-diagramme d'un pédoncule de méandre. L'évolution des points de pertes et de résurgences est dictée par le gradient. Les points d'émergences tendent à se déplacer vers l'aval (vers les parties basses, évolution progressive), et les points de pertes vers l'amont (vers les parties hautes, évolution régressive).

- **À l'aval**, le processus est exactement le même, mais cette fois c'est la rivière aérienne qui attire les circulations souterraines. Le phénomène s'explique par le gradient, la partie concave étant située à l'aval, donc plus basse, le gradient est plus fort et le conduit 2 tend à se développer plus rapidement que le conduit 1 qui sera abandonné. La répétition des captures, de 2 vers 3, montre une évolution progressive des points d'émergences de l'amont vers l'aval (grottes d'Arcy-sur-Cure, Yonne).

Ces règles de bases du « toujours plus amont pour les pertes » et du « toujours plus aval pour les émergences » restent valables pour toutes les circulations situées en bordure des rivières, qu'il s'agisse de recoupements de méandres courts ou de parties concaves de plus grande ampleur. Il faut cependant préciser que les règles d'évolution régressive (vers l'amont) et progressive (vers l'aval) ne s'appliquent qu'en l'absence de contraintes structurales comme une fracture qui peut fortement contrôler la position des émergences ou des pertes.

Dans certains sites où les parties concaves sont beaucoup plus étendues, les phénomènes de captures peuvent atteindre des développements importants ; c'est le cas de la grotte du TM 71 qui reste l'exemple le plus démonstratif en matière de captures subhorizontales (fig. 7).

Fig. 7 : Plan de la grotte du TM 71, Aude (d'après une topographie de C. Bès & B. Ournié).
Le tracé longe une partie concave de la vallée de l'Aude. Les boucles successives ont permis à la cavité de se développer non loin du cours aérien de l'Aude.



2. Captures et boucles successives

Les boucles successives (auto-captures) comme celles que nous avons observées dans la grotte du TM 71 (Aude) peuvent fournir un modèle transposable à la paléo-Ardèche de Saint-Remèze.

En effet, la formation de boucles successives dans les parties concaves d'un méandre peut s'expliquer par l'apparition d'auto-captures subhorizontales décrivant des boucles ou tronçons formés successivement.

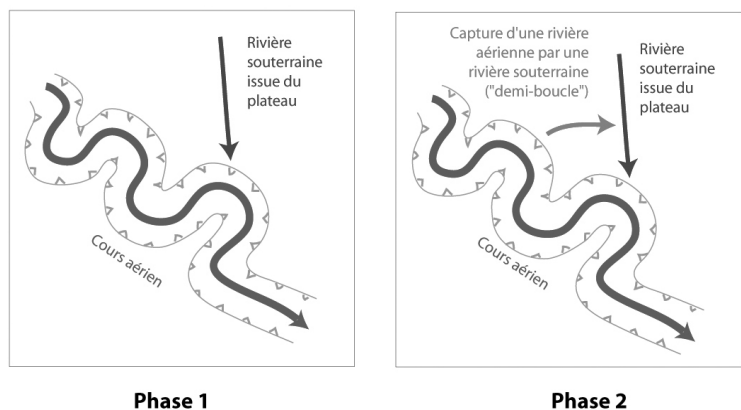
Dans la grotte du TM 71, les boucles successives évoluent vers l'aval (Bigot, 2004). Ainsi, le point d'émergence d'une boucle peut-il se transformer en perte et continuer de se développer plus aval. On peut ainsi trouver de courts tronçons de galeries situés très près du cours aérien de la rivière qui conservent la trace d'une circulation dans les deux sens. La succession de boucles, au nombre de trois dans la grotte du TM 71, permet le développement d'un réseau souterrain à seulement quelques centaines de mètres du cours aérien (fig. 7). Il suffirait d'imaginer un scénario équivalent pour expliquer la présence de la paléo-rivière souterraine de Saint-Remèze qui ne se développe jamais très loin de la limite nord de la plaine alluviale de la paléo-Ardèche.

3. Les captures en demi-boucles

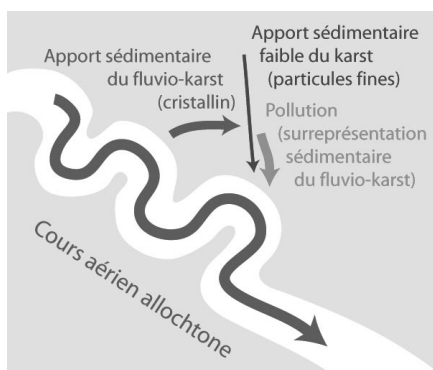
Il existe dans la partie aval de la paléo-rivière souterraine des départs de galeries venant du nord qui ont été interprétés par J. Martini comme des diffluences locales de la rivière souterraine ; ce qui est tout à fait possible. Cependant, nous proposons une autre interprétation en partant du postulat suivant : la paléo-Ardèche ne constituait pas la seule alimentation de la rivière souterraine. En effet, les eaux issues du plateau de Saint-Remèze devaient être drainées vers sa plaine alluviale (Malbosc) ; les drains venant du plateau ont donc été recoupés par le cours souterrain de la paléo-Ardèche. Or, on sait que ces eaux issues du plateau favorisent les captures des rivières aériennes (Bigot, 2004). Ce phénomène a aussi été identifié dans la grotte de Saint-Marcel avec un système de capture en « demi-boucle » (fig. 8). En effet, il suffit d'une demi-boucle pour atteindre le cours souterrain d'un drain venant du plateau et réaliser ainsi une boucle complète (Mocochain, 2007).

Le moteur des captures en demi-boucles est d'abord le gradient ; la distance à parcourir étant plus courte, le gradient est plus fort et favorise ainsi ce type de capture. Il s'agit d'une « économie » dont la nature a le secret et qui peut échapper à l'observateur.

Fig. 8 : Capture en demi-boucle d'un recoupement de méandre aérien. Les cours souterrains issus du plateau favorisent la capture partielle de rivières aériennes. Dans le cas de la demi-boucle, la distance étant plus courte le gradient est plus fort.



4. Surreprésentation des remplissages allochtones



L'importance des apports venant du plateau n'est pas quantifiable avec les seuls remplissages, car toutes les boucles de galeries (ou plutôt demi-boucles) sont « polluées » par les sédiments de la rivière aérienne. Les eaux du plateau n'apportent pratiquement pas de charge solide, alors que la rivière aérienne charrie une quantité impressionnante de galets cristallins dans son lit (fig. 9).

Dans la plupart des cas, la rivière disparaît sous terre en tapissant son cours souterrain de galets et sédiments insolubles dont le front progresse depuis les pertes vers l'intérieur de la grotte. Le rôle du remplissage dans le développement d'un profil horizontal de rivière souterraine est essentiel.

Fig. 9 : « Pollution » sédimentaire du cours du aval de la boucle (demi-boucle aval). Le cours initial des eaux karstiques est « pollué » par celui des eaux fluvio-karstiques induisant une surreprésentation des remplissages allochtones.

Le tapis de galets allochtones est responsable du nivellement du profil de la rivière souterraine, ainsi les galeries continuent de se développer au-dessus des remplissages (paragenèse).

La surreprésentation des remplissages allochtones peut être démontrée dans la grotte du TM 71 (Aude). Dans la rivière souterraine actuelle, l'eau coule sur un tapis de galets cristallins (granite, schistes, etc.) ; on pourrait en déduire qu'il s'agit des eaux de l'Aude aérienne... Or, les eaux qui coulent sur ces galets sont celles du massif du Teillet. Les remplissages allochtones sont actuellement quasi-fossiles.

Si on fait abstraction du cortège pétrographique des remplissages, on peut déduire d'une simple topographie du réseau spéléologique du TM 71 que les eaux de l'Aude ont creusé l'essentiel des conduits de la grotte...

Pour illustrer ce paradoxe de la surreprésentation du fluvio-karst (eau de la rivière aérienne) sur le karst (eaux du plateau), nous imaginerons trois « clichés instantanés » de la grotte du TM 71, le premier sera pris pendant le creusement de la grotte par l'Aude souterraine. Le deuxième cliché correspondra au fonctionnement actuel de la cavité où les eaux du massif coulent sur d'anciens remplissages allochtones de l'Aude. Enfin, le dernier sera pris dans plusieurs millions d'années, lorsque la grotte sera réduite à quelques lambeaux (paléokarsts) conservant encore des restes de remplissages allochtones. Si on reconstitue le système spéléologique à partir de la seule étude de remplissages, on ne pourra pas restituer la réalité de la photo 2 (fig. 7e).



Fig. 10a : Paléokarst à graviers cristallins du site des Costes Chaudes 1 (Saint-Remèze, Ardèche).



Fig. 10b : Le cortège pétrographique de ces graviers correspond à celui de l'Ardèche.

La situation actuelle est celle de l'apport des eaux du plateau qui circulent dans la grotte dont la présence a contribué au prolongement du réseau par les captures en « demi-boucles » et boucles successives (fig. 7c & 7d). L'analyse pétrographique ne pourra restituer que la photo 1 qui est celle du creusement initial par l'Aude aérienne attestée par les galets. Dans la grotte du TM 71, les galeries qui viennent du plateau sont peu développées. L'apport sédimentaire de ces eaux est infime (particules en suspension) et pratiquement pas perceptible dans les remplissages. Sur la simple observation sédimentaire, on conclurait qu'il n'existe aucune galerie venant du plateau puisque rien ne l'atteste. On verrait seulement, dans les galeries larges de 6 à 7 m et remplies de galets cristallins, la preuve indubitable que la grotte a été creusée par une rivière allochtone. Cette conclusion n'est pas entièrement fausse, mais au cas particulier du TM 71 minimise considérablement l'apport et le rôle des eaux du plateau dans le développement du réseau...

En Ardèche, la plupart des grandes cavités situées en bordure de rivière sont parcourues à la fois par des systèmes karstiques (eaux du plateau) et fluvio-karstiques (eaux des rivières allochtones). Il semble donc logique d'imaginer un tel dispositif pour la rivière souterraine de Saint-Remèze.

5. Érosion régressive

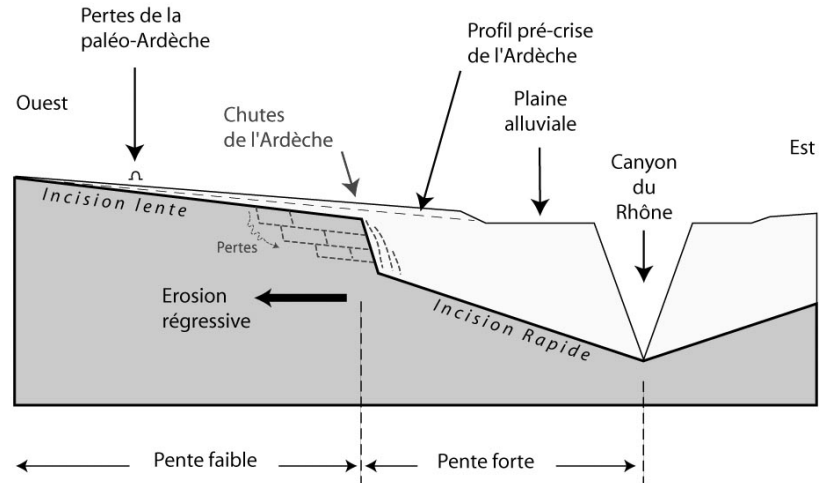
L'érosion régressive des cours d'eau se développe à la manière d'un front d'érosion qui avance plus ou moins vite selon les rivières. Ce front marque une rupture de pente entre une partie aval, franchement incisée (canyon en cours de creusement), et une partie amont dont les conditions d'écoulement ont été à peine modifiées. Avec la baisse drastique du niveau de base, les modifications dans le cours amont sont de moindre ampleur que dans le cours aval, mais certains paramètres, comme la vitesse du courant, peuvent considérablement changer les conditions initiales d'écoulement et entraîner par exemple l'arrêt de l'inondation périodique de la plaine alluviale. L'augmentation de la vitesse de l'eau dans la partie aval (canyon) a des effets immédiats à l'amont (fig. 11). Le déplacement du front de rupture de pentes (chutes d'eau ou *knickpoint* en anglais) matérialise la progression de l'érosion régressive vers l'amont. Ce front sépare en fait deux zones de pentes et de vitesses différentes.

En effet, si la vitesse de la partie amont augmente, les particules au lieu de se déposer sont évacuées par la rivière qui commence alors à s'encaisser dans ses alluvions. Les pertes de la paléo-Ardèche, qui fonctionnaient lors des épisodes saisonniers cessent d'alimenter la rivière souterraine. L'érosion régressive est différée et variable selon que l'on est ou non éloigné de la Méditerranée. Cependant, la propagation de la vitesse du courant est instantanée et affecte également la partie amont qui présente une pente différente de l'initiale.

C'est en fait, le premier changement qu'induit la crise dans le bassin méditerranéen (Clauzon, 1982). Ce changement de la vitesse du courant dans la partie aval (érosion régressive en cours) entraîne les sédiments du cours amont vers l'aval. La sédimentation dans les parties inondables de la plaine alluviale cesse et la rivière recrée son lit. Toutefois, les eaux issues du plateau s'écoulent toujours vers la plaine alluviale et continuent d'emprunter une partie du réseau de galeries avant que l'abaissement drastique du niveau de base ne les capture à leur tour.

Fig. 11 : Profil en long de l'Ardèche au début de la crise messinienne. À l'aval, la forte pente a une incidence sur le cours amont où les pertes de l'Ardèche cessent de fonctionner (cf. fig. 13b).

En revanche, d'autres pertes apparaissent dans le lit de l'Ardèche, un peu en amont des chutes.



6. Effet de la crise messinienne

L'abaissement du niveau marin en Méditerranée a pour effet d'augmenter les vitesses d'écoulement dans tous les réseaux hydrographiques de son bassin. Cette augmentation de la vitesse a pour conséquence l'érosion et le transport des matériaux de la plaine alluviale. Pour la paléo-Ardèche, les inondations périodiques qui avaient lieu dans un contexte de faible pente prennent fin ; les pertes latérales situées en bordure de la plaine alluviale sont progressivement abandonnées (fig. 12a). Le cours d'eau prend de la vitesse et remobilise ainsi ses alluvions tout en s'encaissant dans la plaine alluviale qu'il ne peut plus inonder. Le front de l'érosion régressive qui prend naissance sur les bords de la Méditerranée asséchée n'atteindra l'Ardèche que plus tard. En effet, l'incision des canyons messiniens a duré 630 000 ans : du début de la crise (5,95 Ma) à la remise en eau de la Méditerranée (5,32 Ma). On estime qu'entre le moment où la vitesse augmente (début de la crise) et le celui où le front de l'érosion régressive du Rhône atteint la confluence de l'Ardèche, il peut s'écouler moins d'une centaine de milliers d'années pendant laquelle les circulations issues du plateau continuent de s'écouler vers la plaine alluviale désormais suspendue de l'Ardèche (fig. 12b). Seules, les pertes amont de la paléo-Ardèche, c'est-à-dire le fluviokarst disparaît ; les eaux du karst continuent de s'écouler vers un niveau de base de la rivière qui n'a que peu varié (encaissement dans les alluvions).

7. Conclusion

Dans des conditions bien particulières, on peut imaginer des rivières souterraines suspendues post-crise, le temps que l'érosion régressive creuse le canyon de l'Ardèche. Mais cette période est relativement brève à l'échelle géologique et ne peut valider le scénario proposé par J.-P. Aguilar et J. Michaux (2008) qui écarte l'analyse géomorphologique et paléokarstique pour proposer des âges plus récents (micromammifères) en relation avec la transgression pliocène.

La conservation du paléo-relief, les tronçons de galeries très proches de la plaine alluviale et les différentes observations karstologiques (boucles successives et demi-boucles) liées aux phénomènes de captures karstiques sont des éléments assez cohérents qui peuvent expliquer la présence de la rivière souterraine de Saint-Remèze.

Le présent article n'avait pas d'autre but que de lever certaines interrogations sur la mise en place d'une rivière souterraine exceptionnelle par son ampleur ; le scénario proposé n'est pas très différent de celui de Jacques Martini.

Remerciements :

Philippe Audra, Christophe Bès et Jacques Martini.

Bibliographie

AGUILAR Jean-Paul & MICHAUX Jacques (2008) – La faune de rongeurs de Rounal 1 : révision et implications pour l'interprétation du système karstique de Saint-Remèze (Ardèche, France). *Karstologia*, n° 51, pp. 51-55.

BIGOT Jean-Yves (2004) – Observations karstologiques dans quelques cavités de l'Aude. *Spéléaude, bull. du S. C. Aude*, n° 13, pp. 6-19.

CLAUZON Georges (1982) – Le canyon messinien du Rhône : une preuve décisive du « Desiccated deep-basin model » (Hsu, Cita, Ryan, 1973). *Bull. Soc. Géol. France*, 24, 3, pp. 597-610.

MARTINI Jacques (2005) – Etude des paléokarsts des environs de Saint-Remèze (Ardèche) : mise en évidence d'une rivière souterraine fossilisée durant la crise de salinité messinienne. *Karstologia*, n° 45-46, pp. 1-18.

MARTINI Jacques (2008) – Réponse aux commentaires de J.-P. Aguilar et J. Michaux concernant « la faune de rongeurs de Rounal 1 : révision et implications pour l'interprétation du système karstique de Saint-Remèze (Ardèche, France). *Karstologia*, n° 52, pp. 57-59.

MIHEVC Andrej, PRELOVSEK Mitja & ZUPAN HAJNA Nadja (2010) – Introduction to the Dinaric Karst. *Institut za raziskovanje kraska edit.*, Postojna, 71 p.

MOCOCHAIN Ludovic, BIGOT Jean-Yves, CLAUZON Georges, FAVERJON Marc & BRUNET Philippe (2006) – La grotte de Saint-Marcel (Ardèche) : un référentiel pour l'évolution des endokarsts méditerranéens depuis 6 Ma. *Karstologia*, n° 48, pp. 33-50.

MOCOCHAIN Ludovic (2007) – Les manifestations géodynamiques – externes et internes – de la crise de salinité messinienne sur une plate-forme carbonatée péri-méditerranéenne : le karst de la Basse-Ardèche (Moyenne vallée du Rhône, France). Thèse, *Université de Provence*. 221 p.

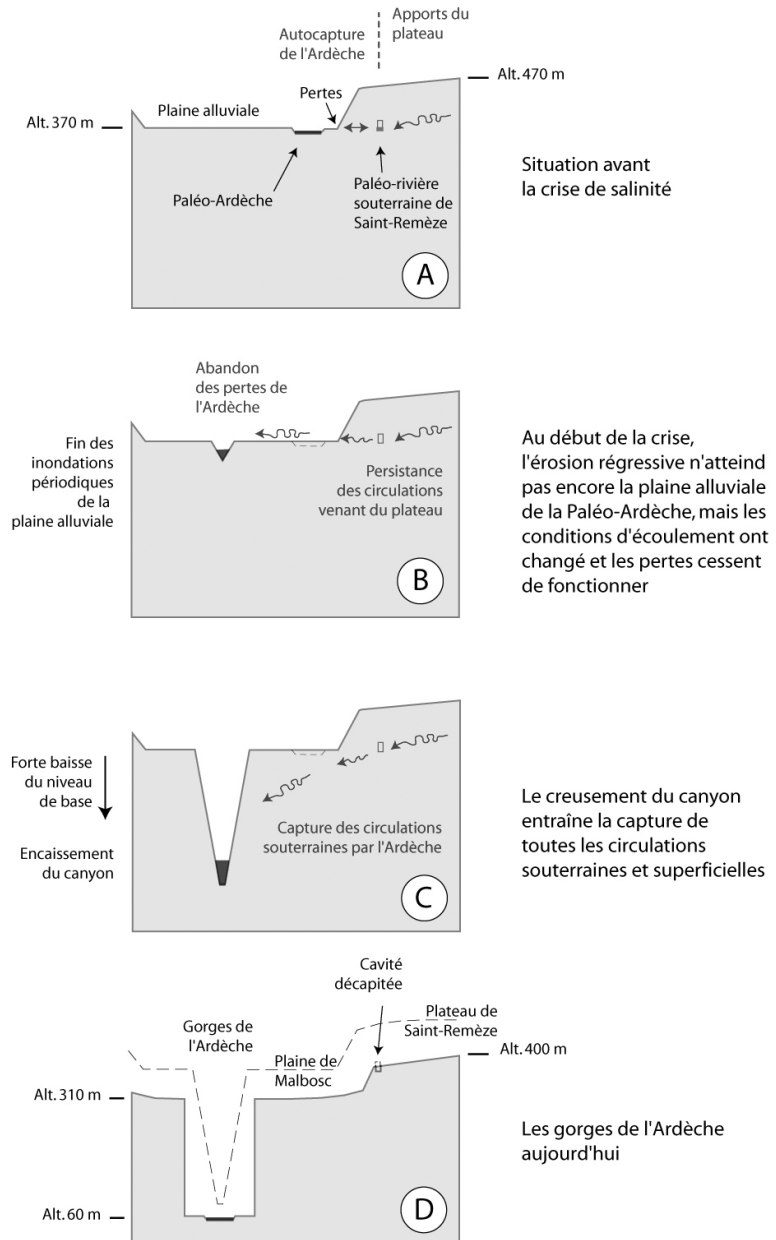


Fig. 12 : Creusement du canyon de l'Ardèche.

- a** : avant la crise de salinité, l'Ardèche coule dans une plaine alluviale ; la rivière se perd dans le massif et collecte les eaux issues du plateau de Saint-Remèze.
- b** : la crise de salinité met fin aux pertes de l'Ardèche dont le cours se concentre dans un chenal.
- c** : l'érosion régressive permet l'apparition du canyon de l'Ardèche qui abaisse considérablement le niveau de base.
- d** : l'ablation karstique d'environ 60 m de calcaire met au jour les paléo-cavités.



Jacques Martini le 5-11-2004 devant les graviers cristallins du site de Costes Chaudes.

Parois de la paléo-rivière de Saint-Remèze en cours de dégagement par l'érosion. Malgré leur grande ancienneté, les formes pariétales sont encore fraîches et lisses (13-4-2005).



Jacques Martini le 5-11-2004 indiquant des remplissages indurés adhérent à la paroi de la paléo-cavité de Saint-Remèze.