De la difficulté de dater les réseaux karstiques étagés

Marc Calvet, Regis Braucher, Patrick Sorriaux, Gabriel Hez, Yanni Gunnell

▶ **To cite this version:**

Marc Calvet, Regis Braucher, Patrick Sorriaux, Gabriel Hez, Yanni Gunnell. De la difficulté de dater les réseaux karstiques étagés. 25th International Karstological School "Classical Karst", Jun 2017, Postojna, Slovenia. hal-03994028

HAL Id: hal-03994028
https://hal.science/hal-03994028

Submitted on 20 Feb 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

De la difficulté de dater les réseaux karstiques étagés

M. Calvet (1), R. Braucher (2), P. Sorriaux (3), G. Hez (4), Y. Gunnell (5)

(1) Université de Perpignan, UMR 7194, (2) UMR 34 CEREGE, (3) Géologue, 2 rue de la Rouvière, F-64160 Morlaas, France, (4) Spéléo Club de Villefranche-de-Conflent, (5) Université Lumière Lyon 2, UMR 5600

KARST 2018 - Colloque international de Karstologie. 40 ans de l'Association Française de Karstologie, hommage à Richard Maire - Chambéry – 27 juin / 1 juillet 2018

1- Introduction

Les réseaux de galeries karstiques étagées contenant des alluvions fluviatiles quartzeuses peuvent enregistrer les taux d'incision des vallées. Selon un schéma conceptuel simple d'évolution des cavités souterraines, dans lequel on suppose une mise en charge alluviale des galeries suivie de leur abandon définitif par la rivière, la détermination de la durée d'enfouissement du sédiment piégé est possible par une mesure des concentrations de deux nucléides cosmogéniques radioactifs de périodes différentes (communément ^{26}Al et ^{10}Be). L'approche permet une datation valable pour une plage de temps variant de ~0.1 à ~5 Ma.

2- Un préalable fondamental : quel objet précis date-t-on ?

Le réseau ? L'étage ? Le conduit ? Une phase spéléogénétique dans le conduit ?

Une séquence sédimentaire dans le conduit ?

Plus précisément ce sont les grains du sédiment quartzeux (galet isolé, ou amalgame)

…mais les grains du sédiment peuvent avoir une longue histoire exo- et endo-karstique, et l' « âge » des grains n'est pas synonyme de l'âge du niveau karstique recherché

3- Les prérequis de la méthode de datation

La méthode est fondée sur la comparaison entre le rapport $^{26}Al/^{10}Be$ (R) mesuré dans le sédiment et le R initial acquis sur les versants avant érosion et transport du sédiment. Ce rapport décroît après enfouissement en fonction des demi-vies des deux isotopes (~0.7 et 1.37 Ma respectivement). Cela permet de calculer en théorie la durée d'enfouissement. On admet pour cela :

*Un enfouissement rapide avec écrantage total (≥30 m) pour éviter la postproduction muonique (corrections possibles).

*Une histoire simple du sédiment : érosion d'un bassin-versant en équilibre séculaire, transport quasi instantané et enfouissement immédiat, sans étape d'enfouissement antérieure dans le bassin versant (stockage/déstockage) ou remaniements internes au karst.

***Le problème majeur est l'inconnue du R initial**, proche du rapport de production (~6.6) pour des vitesses d'érosion fortes (>10 m/Ma), mais qui décroît très vite ensuite jusqu'à 3.5, ou bien qui peut avoir été réduit par un enfouissement préalable dans le BV (Dunai, 2010 ; Granger & Muzikar, 2001).

4- Une revue des travaux existants

Le tableau ci-contre recense 17 publications en une vingtaine d'années ; y sont inclus deux sites sans étagement. On constate que :

*Seuls 9 sites ont fait l'objet de plus de 10 datations.

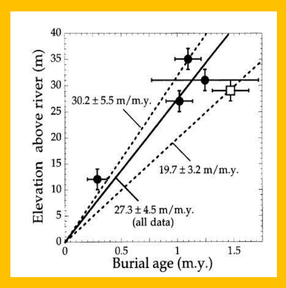
*Les **réplicats** sont rares par niveau karstique, a fortiori par coupe (sauf Sierra Nevada, Têt, Brésil, Afrique du Sud).

*Une **tendance âge/altitude** claire n'apparaît que dans 4 cas, mais un seul (Sierra Nevada) comporte plus de 10 âges et plus de 3 niveaux.

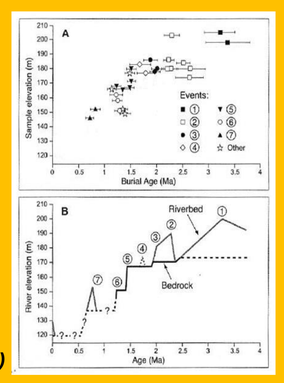
*Le test de **pré-enfouissement** est inexistant (5 cas) ou limité à 1 ou 2 échantillons (6 cas). Il est positif dans 5 cas, mitigé dans 3 cas, négatif (R normal) dans 4 cas (mais 1 seul échantillon). Dans le cas brésilien, le pré-enfouissement n'a pas perturbé l'alluvionnement en cavité, qui s'avère contemporain de celui du canyon subaérien.

*Le croisement de méthodes pose plus de problèmes qu'il n'en résout.

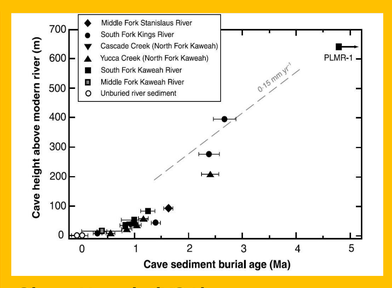
Région/Auteurs	Contexte géodynamique et géomorphologique	Échelle de l'étude	Type de karst	Lien avec incision vallée principale	Étagement/phase spéléogénétique Nombre/nature	Ampleur étagem. (m)	Nombre de cavités testées	Nombre d'étages testés	Nombre de dates obtenues en grotte	Réplicats par niveau (ou cavités ≠)	Réplicat par site ou coupe	Trend âge/altitude	Type de sédiment	Test pré-enfouissement (le ratio R de surface de référence varie selon les travaux et la date de publication de 6.04 à 6.8)	Croisement de méthodes (nbre éch)
Appalaches ***New River*** (Granger et al., 1997)	Orogène hercynien Relief plissé appalachien-bas plateaux calcaires /barres de grès	Segment de vallée (15 km) Cavités isolées	Binaire	Oui	2 fossiles (sup. subdivisable) 1 actif	~50	5	2	**5**	**aucun**	**aucun**	**Médiocre** Inexistant sur les 4 cavités sup. étagées ~10 m	Graviers-galets quartz	4 (rivière) R : 5.02, 5.04, 4.06, 4.28 2 (terrasse +55m) R : 2.6, 2.03 (R réf. : 6.04)	-
Appalaches ***Mammoth Cave-Green River*** (Granger et al., 2001)	Table sédimentaire paléozoïque Bas plateaux	Un grand système	Binaire	Oui autocaptures ?	5 fossiles, 1 actif (transition vadose-phréatique pour les 4 niveaux sup)	~80 max. 200	-	5 **(7 events)**	**29**	2 à 10 par niveau **test statistique correct** (niv. moy. et inf.)	**1, correct** (sable-galets : galets un peu plus jeunes)	**Médiocre** Dans niv. moyens, cause aggradation sédimentaire	7 sables 21 graviers qz	1 (colluvions surface) R : 5.19 (R réf. : 6.0)	-
Appalaches ***Cumberland plateau*** (Anthony & Granger, 2004, 2007)	Table sédimentaire paléozoïque Bas plateaux	Régionale (270 km) 7 vallées Cavités isolées	Binaire	Oui	3 fossiles minimum 1 actif	91	12	4 (tous)	**15**	**8, négatifs et 4, corrects** sur les 2 niveaux médians	**1, correct** (deux points sur 1 cavité)	**Non** entre +13 et +50, causes aggradation séd. et recul knick point)	7 sables 9 galets qz	1 (cavité active) R : 6.6 (R réf. : 6.0)	-
Sierra Nevada (Stock & al., 2004, 2005a, 2005b)	Orogène mésozoïque/ Horst néogène Hauts plateaux	Régionale (350 km) 6 vallées Cavités isolées	Binaire	Oui autocaptures	8 à 9 fossiles 1 actif	685	14	8 à 9 (tous)	**18**	Plusieurs pour chaque bas niveau **Test correct**	**11 (5 cavités) 4 test bons, 1 négatif)**	**Oui** Parfait par BV, rares inversions mais concernant BV différents	Galets « granitic sediment »	2 (rivière) R : 6.26, 5.97 4 (bedrock) R : 5.28, 5.08, 5.66, 5.17 (R réf. : 6.0)	U-Th (18) **Non significatif** Paléomag. (44) **Non conclusif**
Préalpes bernoises ***Siebenhengste*** (Häuselmann, 2002, 2007 ; Häuselmann & Granger, 2005 ; Häuselman & al., 2007)	Orogène alpin cénozoïque Haute montagne plissée et charriée et très englacée au Quaternaire	Un grand système, 3 réseaux	Unaire ?	Oui	14 phases spéléogénétiques (transition vadose-phréatique) 1 actif	~1400	-	8 (surtout étages sup.)	**19**	**Test négatif** (2 à 7 éch. pour les 3 niveaux sup)	**Test négatif** (2 coupes, ordre stratigraphique)	**Médiocre** Trend en considérant l'enveloppe supérieure des âges. Pollutions par crues postérieures.	Sables, galets grès & granites (non spécifiés par éch.)	1 (surface, non spécifié) R : 6.67 (R réf. : 6.8)	U-Th (2, bas niveau) **Cohérent**
Rocheuses ***Sangre de Cristo-Marble Mountain*** (Refsnider, 2010)	Orogène alpin cénozoïque/horst récent et actif (rift du Rio Grande) Haute montagne englacée au Quaternaire (pas le site étudié)	Vallon, 2 cavités	Binaire	Non Talwegs locaux	2 fossiles 1 actif	~200 max. >300	2	2	**3**	**1, bon**	**Aucun**	**Oui** mais deux niveaux étagés de 100 m seulement	Sables	1 (rivière) R : 6.34 1 (bedrock) R : 5.39 (R réf. : 6.75)	-
Alpes styriennes ***Vallée de la Mur*** (Wagner & al., 2010, 2011)	Orogène alpin méso-cénozoïque, horsts récents Moyenne montagne non englacée au Quaternaire	Segment de vallée (30 km) Deux massifs Plusieurs systèmes	Binaire	Oui	6 fossiles 1 actif	~800 max. > 1000	13	5 (sauf étage sup.)	**22**	**Test négatif** (2 à 6 éch. par niveau)	**Non précisé**	**Non** Pollutions extérieures, ou étagements sur petits BV affluents, ou remaniements internes	Sables & galets (non spécifiés par éch.)	1 (colluvions) R : 5.93 (R réf. : 6.79)	U-Th (3) **Non significatif**
Préalpes de Savoie ***Mt Granier*** (Hobléa & al., 2011)	Orogène alpin cénozoïque, Moyenne montagne plissée englacée au Quaternaire	Un grand système	Unaire	Oui	5 fossiles (subdivisés en sous-étages) 1 actif	~1000	-	2 (dans le 2ème niv., sous le sup.)	**2**	**Aucun** (2 sous-étages ≠ ont été testés)	**Aucun**	**Sans objet** car un seul très haut niveau testé Trend cohérent pour les deux sous étages (1705 et 1648 m). Âge ancien, cohérent avec le contexte	Sables	Non fait	-
Afrique du Sud ***Wonderwerk Cave*** (Matmon & al., 2012)	Bouclier précambrien Pédiplaine à inselbergs	Une cavité isolée	?	Non Pédiplaine non incisée	Aucun (sup. possibles ; non rens.) 1 fossile	0	1	1	**13**	**Sans objet**	**Bon** (7 & 6 éch., 2 coupes, conf. à stratigraphie)	**Sans objet** car pas d'insision	Sables fins	2 (sables éoliens) R : 4.08, 3.98 (R réf. : 6.75)	Paléomag. **Cohérent**
Chine du sud ***Guizhou plateau-Liuchong River*** (Liu & al., 2013)	Couverture sédimentaire ondulée du socle pré-sinien Moyennes montagnes et hauts plateaux	Segment de vallée (30 km) et affluents Cavités isolées	?	Oui Souvent indirect (poljés actifs perchés)	5 fossiles 1 actif	~400 max. 600	4	3	**5**	**Aucun**	**1, bon** (sable-galets : galets un peu plus vieux)	**Non** Trend inverse, non expliqué. Les A. conservent l'âge du haut niveau seul en raison du contexte géomorph. et néotectonique	Sables, galets grès (non spécifiés par éch.)	3 (rivières) R : 6.64, 5.95, 5.69 (R réf. : 6.76)	-
Bas Vivarais ***Canyon de l'Ardèche*** (Tassy & al., 2013)	Couverture sédimentaire mésozoïque ondulée Plateau	Segment de vallée (20 km) Cavités ou réseaux isolés	Binaire	Oui autocaptures	8 à 10 fossiles 1 actif	~300	9	6	**13**	**Test négatif** (2 à 4 sur 3 niveaux)	**Test négatif** (3 & 2 éch. sur 2 cavités)	**Non** Explication par corrélation avec l'eustatisme messino-pliocène	Sables quartzeux 1-5 mm	Non fait	Paléomag. **Non conclusif (choix multiples)**
Alpes Slovènes ***Snežna Jama*** (Häuselmann & al., 2015)	Orogène alpin cénozoïque Haute montagne plissée englacée au Quaternaire	Une cavité isolée	Unaire ?	Oui	Non spécifié Multiples niveaux	~1000 max. >1500	1	1	**1**	**Aucun**	**Aucun**	**Sans objet** car un seul très haut niveau testé Âge ancien, cohérent avec le contexte	Sables et galets quartzeux (amalgame)	Non fait	Rongeurs : **cohérent** U-Th (6) : **cohérent >>300 ka (>1.2 Ma ?)** Paléomag. : **cohérent**
Pyrénées orientales **Vallée moy. de la Têt** (Calvet & al., 2015)	Orogène alpin cénozoïque, horst et graben néogène Moyenne montagne et plateaux non englacés au Quaternaire	Segment de vallée (6 km) Cavités ou réseaux isolés	Binaire	Oui autocaptures	11 fossiles 1 actif	~850 max. > 1300	2	2	**8**	**Aucun**	**4, bon** (4 éch. par cavité)	**Oui** mais deux niveaux testés seulement, étagés de 160 m	Sables et galets (qz, gneiss…) traités à part	Non fait	-
Sud Tibet **First Bend Yangtze** (McPhillips & al., 2015)	Orogène alpin cénozoïque montagne et hauts plateaux non englacés au Quaternaire	Segment de vallée (15 km) et affluents Cavités isolées	Binaire	Oui	Non spécifié 3 fossiles au minimum 1 actif	~1500 max. ~ 2000	4	3	**3**	**Aucun**	**1, correct 1, négatif**	**Oui** mais trois niveaux testés seulement	Galets qz, sables pour actif	1 (cavité active) R : 6.2 (R réf. : 6.85)	-Néon : pour corriger post burial production. -Méthode alternative sans Ne, résultats estimés plus cohérents
Brésil **Irecê basin** ***Lapa Doce-Torrinha caves*** (Laureano & al., 2016)	Bouclier précambrien Bas plateaux	Un grand système 2 réseaux	Binaire	Oui autocaptures	1 fossile 1 actif phréatique	30 max. 60	-	1	**14**	**Sans objet**	**Bon** (6 séquences, âges conformes à stratigraphie)	**Sans objet** Un seul niveau fossile existe, incision très faible	Sables, graviers (non spécifiés par éch.)	3 (rivière) R : 4.72, 4.87, 5.61 2 (séd. enfouis) R : 4.51, 2.43 (R réf. : 6.7) Mais remblaiements grotte et vallée sont contemporains : âges des grottes bons	U-Th (11) **Cohérent avec stratigraphie et TCN**
Pyrénées basques ***Isturitz*** (Audra & al., 2017)	Orogène alpin cénozoïque Bas plateaux de piémont non englacés au Quaternaire	Un grand système	Binaire	Oui autocaptures	3 fossiles 1 actif	90	-	3	**4**	**Aucun**	1, **correct**	**Non** Pas d'explications fournies	Non spécifié	Non fait	-
Pyrénées orientales **Vallée moy. de la Têt** (Sartégou & al., 2018)	Orogène alpin cénozoïque, horst et graben néogène Moyenne montagne et plateaux non englacés au Quaternaire	Segment de vallée (6 km) Cavités ou réseaux isolés	Binaire	Oui autocaptures	11 fossiles 1 actif	~850 max. > 1300	13	10	**30+12** (Al/Be & Ne/Be)	**-1, bon**, hts niveaux -systématique dans bas niveaux : **Test négatif**	-systématique dans bas niveaux : **Test négatif**	**Non** dans les bas niveaux : eustatisme messino-pliocène ? Trend possible sur hauts niveaux par rares âges Néon	Sables et galets (qz, gneiss…) traités à part, galets individuels	12 (rivière) R : 1.42, 4.76, 5.65, 2.01, 2.8, 2.89, 5.51, 5.2, 6.0, 4.97, 2.41, 0.80 6 (séd. enfouis) R : 2.91, 1.84, 1.30, 8.84, 1.26, 2.05 (R réf. : 6.61)	Ne/Be **Peu cohérent avec Al/Be** 4 éch. bcp +vieux 2 éch. équivalents



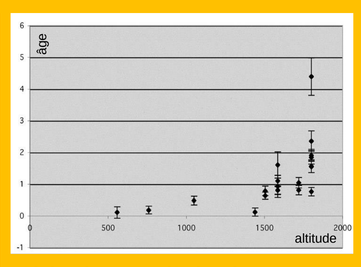
New River (USA)



Mammoth Cave (USA)



Sierra Nevada (USA)



Siebenhengste (Suisse)

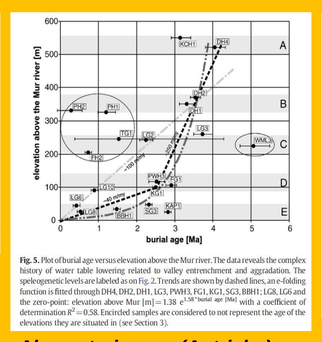
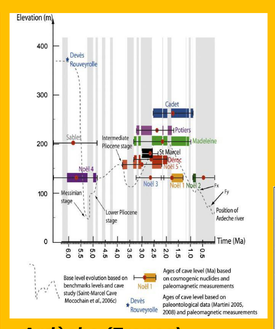


Fig. 5. Plot of burial age versus elevation above the Mur river. The data reveals the complex history of water table lowering related to valley entrenchment and aggradation. The speleogenetic levels are labeled as on Fig. 2. Trends are shown by dashed lines, an e-folding function is fitted through DH4, DH2, DH1, LG3, PWH3, FG1, KG1, SG3, BBH1: LG8, LG6 and the zero-point: elevation above Mur [m] = 1.38 $e^{1.58 * \text{burial age [Ma]}}$ with a coefficient of determination $R^2 = 0.58$. Encircled samples are considered to not represent the age of the elevations they are situated in (see Section 3).

Alpes styriennes (Autriche)



Ardèche (France)

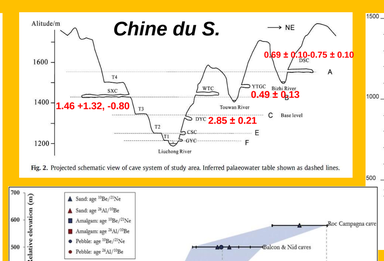
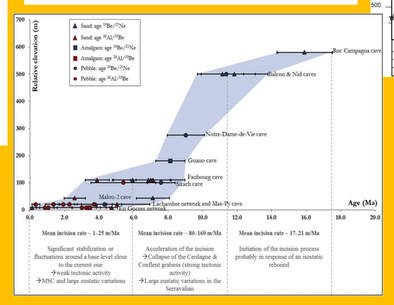
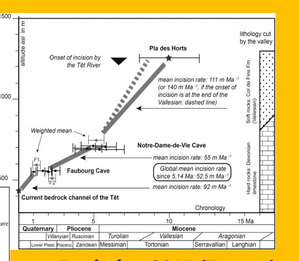


Fig. 2. Projected schematic view of cave system of study area. Inferred palaeowater table shown as dashed lines.



Pyrénées 2018 (France)



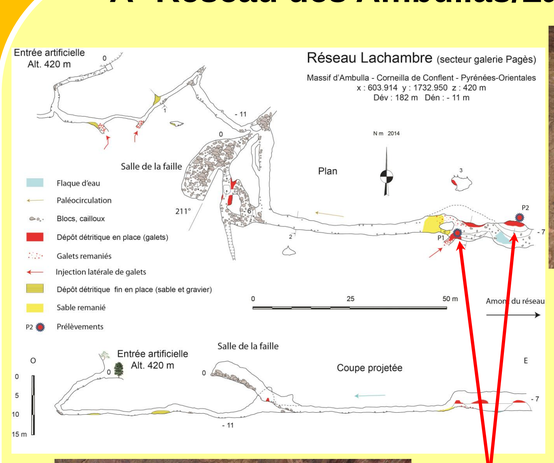
Pyrénées 2015 (France)

Tendances âge/altitude des principaux sites avec étagement

5- Un retour d'expérience dans les Pyrénées

Plus d'une centaine de données sur 3 régions des Pyrénées orientales (Calvet et al., 2015 ; Sartégou, 2017 ; Sartégou et al., 2018) posent le problème de l'hétérogénéité des dates obtenues sur un même site. Trois cas de figure peuvent être individualisés et les paramètres explicatifs mis en évidence peuvent se cumuler.

A- Réseau des Ambullas/Lachambre (Têt)



Encoche fossilisée entre P1 et P2

Une même séquence de dépôts, fossilisant une encoche suivie sur 1 km, livre 7 âges disparates, sur des galets des sites P1 et P2 (dont 5 dans la même coupe P1).

Les **lois de la stratigraphie** (principe d'inclusion) impliquent de considérer l'âge le plus jeune comme âge maximum du dépôt.

Explications : (i) les âges anciens résultent d'un pré-enfouissement dans le bassin versant, démontré par le rapport R des sédiments actuels des rivières ; (ii) possibles remaniements internes depuis les réseaux supérieurs, prouvés au Puits des Racines-En Gorner.

Point P1

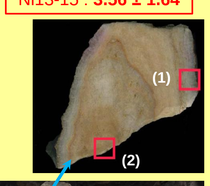
>5 Ma (plus d'Al dosable)
1.82 ± 0.43
1.05 ± 0.47
2.97 ± 0.34
0.34 ± 0.23
3.59 ± 0.73
0.26 ± 0.18

B- Réseau de Niaux-Lombrives (Ariège)

Plancher F4, Ni 13-21 : **96 ± 0.6 ka (h) 106 ± 1.4 ka (b) U-Th**

Même site, autres planchers F4 (ka, U-Th)
-ND16b : **126,0 ± 9**
-ND8 : **91.4 ± 2.4 et 185,2 ± 10**
-Ni13-22 : **136.6 ± 1.5, 129.8 ± 1.7, 143.8 ± 0.8, 147.6 ± 0.6, 148.8 ± 0.5, 161 ± 1.14**

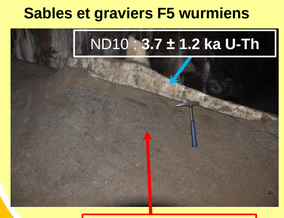
Grès F3 (Ma)
Ni13-20 : **1.38 ± 0.92**
Ni13-23 : **2.76 ± 1.01**
Ni13-15 : **3.56 ± 1.64**



Concrétion du toit du complexe de la Calcite F2 c (ka), Ni13-18 : **336.1 ± 2.4 (1) et 399.5 ± 8.5 (2) U-Th**

Topographie du réseau, entre Vicdessos et Ariège (par P. Sorriaux et SCHS)

Sables et graviers F5 wurmiens



Ni12-02 : **5.58 ± 1.90**
Lo1 : **2.77 ± 2.27 (Ma)**

Les sédiments allogènes donnent des âges TCN très vieux, sans rapport avec la stratigraphie des dépôts et la chronologie des spéléothèmes datés par U-Th (Sorriaux, 1981, 1982 ; Bakalowicz & al., 1984 ; Sorriaux et al., 2018).

Explications : (i) remaniement de vieux dépôts karstiques, en contexte de karst polyphasé et à étages interconnectés, par remise en charge en période glaciaire (0.6 à 0.8 km de glace dans la vallée), avec débourrage très tardif des remplissages généralisés anciens, après le MIS 6 ; (ii) matériaux pré-enfouis dans le bassin versant (indices inédits dans les terrasses de l'Ariège, avec R<<6.6).

C- Réseau du Chtuliu Démoniaque (Agly-Boulzane)

Un énorme stock de sables et graviers quartzeux remaniés à chaque crue dans les siphons (mise en charge considérable estimée : 180 m). Alluvions mobiles ou affleurements légèrement cimentés ont livré 4 âges entre **1.62 ± 0.31 et 1.26 ± 0.26 Ma.**

Explications : le réseau (2 niveaux visibles +110 et +200 m par rapport à la Boulzane) s'est creusé sous la vallée morte du Col St Louis (Ournié, 1987), qui l'alimentait en allogènes. Captures et incision des vallées ont transformé ce karst en un système barré (entre Trias et marnes albiennes) , à alimentation autochtone. Le drainage actuel, peu mature, se fait vers l'Est dans la barre calcaire (résurgence de la Tirounère, Galamus), et les vieilles galeries NW-SE de grande taille ont piégé les dépôts allogènes anciens, remaniés in situ à chaque mise en charge.

6- Conclusions : choix et précautions

*Mesurer le risque de pré-enfouissement dans le BV (ex. : déstockage de dépôts néogènes épais), et donc tester systématiquement les alluvions actuelles : rivières, karst fonctionnel.

*Éviter les karsts polyphasés, sauf à disposer d'une étude stratigraphique exhaustive, comme celle disponible sur Niaux-Lombrives. Croiser si possible les méthodes de datation.

*Dans le cas des autocaptures, prélever près des sites de pertes pour limiter le risque de remaniements internes.

*Prélever de préférence, plutôt que des sables, des galets altérés (donc altérables : granites calco-alcalins grossiers, granodiorites) pour limiter le risque de remaniement de matériaux porteurs d'une histoire complexe (enfouissement pré-dépôt ; ou désagrégation granulaire intrakarstique de galets anciens dont les débris sont ensuite redistribués verticalement dans le réseau, etc.).

*…Et avoir de la chance ?

Références

Anthony, D.M., Granger, D.E., 2004. A Late Tertiary origin for multilevel caves along the western escarpment of the Cumberland Plateau, Tennessee and Kentucky, established by cosmogenic 26Al and 10Be. *Journal of Cave and Karst Studies* **66**, 46–55. **Anthony, D.M., Granger, D.E.**, 2007. A new chronology for the age of Appalachian erosional surfaces determined by cosmogenic nuclides in cave sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* **32**, 874–887. **Audra, Ph., Vanara, N., Caillaut, H., Camus, H., Bigot, J.L., Bourlès, D., Braucher, R.**, 2017. Datations cosmogéniques des niveaux étagés du réseau d'Isturitz-Oxocelhaya (Pays-Basque). *16e Rik-Rak - Saint-Christol*. **Bakalowicz M., Sorriaux P. & Ford D.C.**, 1984. Quaternary glacial events in the Pyrenees from U–series dating of speleothems in the Niaux–Lombrives–Sabart caves, Ariège, France. *Norsk Geografisk Tidsskrift*, **38**, 193-197.**Calvet M., Gunnell Y., Braucher R., Hez G., Bourles D., Guillou V., Delmas M., ASTER Team**, 2015. Cave levels as proxies for measuring post-orogenic uplift: evidence from cosmogenic dating of alluvium-filled-cave in the French Pyrenees. *Geomorphology* **246**, 617-633. **Dunai, T. J.** 2010. *Cosmogenic Nuclides, Principles, Concepts and Applications in the Earth Surface Sciences*. Cambridge University Press, 198 p. **Granger D.E., Muzikar P.F.** 2001. Dating sediment burial with in situ-produced cosmogenic nuclides: theory, techniques, and limitations, *Earth and Planetary Science Letters* **188**, 269-281. **Granger, D.E., Kirchner, J.W., Finkel, R.C.**. 1997. Quaternary downcutting rate of the New River, Virginia, measured from differential decay of cosmogenic 26Al and 10Be in cave-deposited alluvium. *Geology* **25**, 107–110. **Granger, D.E., Fabel, D., Palmer, A.N.**, 2001. Pliocene–Pleistocene incision of the Green River, Kentucky, determined from radioactive decay of cosmogenic 26Al and 10Be in Mammoth Cave sediments. *Geological Society America Bulletin* **113**, 825–836. **Häuselmann P.**, 2002. *Cave genesis and its relationship to surface processes : investigations in the Siebenhengste region (BE, Switzerland)*. Phd, Université de Fribourg, 170 p. **Häuselmann P., Granger D.E.**, 2005. Dating of caves by cosmogenic nuclides: method, possibilities, and the Siebenhengste example (Switzerland). *Acta Carsologica* 34-1, 93-100. **Häuselmann, P., Granger, D.E., Jeannin, P.-Y., Lauritzen, S.-E.**, 2007a. Abrupt glacial valley incision at 0.8 Ma dated from cave deposits in Switzerland. *Geology* **35**, 143–146. **Häuselmann P.**, 2007b. How to date nothing with cosmogenic nuclides. *Acta Carsologica* **36**-1, 93-100. **Häuselmann, P., Mihevc, A., Pruner, P., Horáček, I., Čermák, S., Hercman, H., Sahy, D., Fiebig, M., Hajna, N.Z., Bosák, P.**, 2015. Snežna jama (Slovenia): interdisciplinary dating of cave sediments and implication for landscape evolution. *Geomorphology* **247**, 10-24. **Hobléa F., Häuselmann P., Kubik P.**, 2011. Cosmogenic nuclide dating of cave deposits of Mount Granier (Hauts de Chartreuse Nature Reserve, France): morphogenic and paleogeographical implications. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 4, 395-406. **Laureano, F.V., Karmann, I., Granger, D.E., Auler, A.S., Almeida, R.P., Cruz, F.W., Stricks, N.M., Novello, V.F.** 2016. Two million years of river and cave aggradation in NE Brazil: Implications for speleogenesis and landscape evolution. *Geomorphology*, **273**, 66-77. **Liu Y., Wang S., Xu S., Liu X., Fabel D., Zhang X., Luo W., Cheng A.**, 2013. New evidence for the incision history of the Liuchong River, Southwest China, from cosmogenic 26Al/10Be burial ages in cave sediments, *Journal of Asian Earth Sciences* **73**, 274–283. **Matmon, A., Ron, H., Chazan, M., Porat, N., Horwitz, L.K.** 2012. Reconstructing the history of sediment deposition in caves: the case study from Wonderwerk Cave, South Africa. *Geological Society of America Bulletin* **124**, 611-625. **McPhillips, D., Hoke, G.D., Liu-Zeng, J., Bierman, P.R., Rood, D.H., and Niedermann, S.** 2016. Dating the incision of the Yantze River gorge at the First Bend using three-nuclide burial ages. *Geophysical Research Letters* **43**(1), 101-110. **Ournié, B.**. 1987. Présentation spéléologique du massif des Fanges et du chaînon du Roc Paradet (Fenouillèdes, Aude et Pyrénées Orientales). *Karstologia* **10**, 1-6. **Refsnider, K.A.**, 2010. Dramatic increase in late Cenozoic alpine erosion rates recorded by cave sediment in the southern Rocky Mountains. *Earth and Planetary Science Letters* **297**, 505–511. **Sartégou A.**, 2017. *Evolution morphogénique des Pyrénées orientales : apports des datations de systèmes karstiques étagés par les nucléides cosmogéniques et la RPE*. Thèse de Doctorat, Université de Perpignan-Via Domitia, 418 p. **Sartégou A., Bourlès D.L., Blard P.H., Braucher R., Tibari B., Zimmermann L., Leanni L., Aumaître G., Keddadouche K.**, 2018. Deciphering landscape evolution with karstic networks: a Pyrenean case study. *Quaternary Geochronology* **43**, 12-29. **Sorriaux P.**, 1981. Etude et datation de remplissages karstiques : nouvelles données sur la paléogéographie quaternaire de la région de Tarascon (Pyrénées ariégeoises). *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences*, série II 293, 703-706. **Sorriaux P.**, 1982. *Contribution à l'étude de la sédimentation en milieu karstique. Le système de Niaux-Lombrives-Sabart (Pyrénées Ariégeoises). Thèse de doctorat de 3e cycle, Univ Toulouse et Laboratoire Souterrain de Moulis CNRS*, 255 p. **Sorriaux P., Delmas M., Calvet M., Gunnell Y., Durand N., Pons-Branchu E.** (sous presse). Relations entre karst et glaciers depuis 450 ka dans les grottes de Niaux-Lombrives-Sabart (Pyrénées ariégeoises). Nouvelles datations U/Th dans la grotte de Niaux. *Karstologia*. **Stock, G.M., Anderson, R.S., Finkel, R.C.**, 2004. Cave sediments reveal pace of landscape evolution in the Sierra Nevada, California. *Geology* **32**, 193–196. **Stock, G.M., Granger, D.E., Sasowsky, I.D., Anderson, R.S., Finkel, R.C.**, 2005a. Comparison of U/Th, paleomagnetism, and cosmogenic burial methods for dating caves: implications for landscape evolution studies. *Earth and Planetary Science Letters* **236**, 388–403. **Stock G.M., Anderson R., Finkel R.C.**, 2005b. Rates of erosion and topographic evolution of the Sierra Nevada, California, inferred from cosmogenic 26Al and 10Be concentrations. *Earth Surface Processes and Landforms, Special Issue: Quantifying Rates and Timescales of Geomorphic Processes*: Part 1. **30**, 8, 985–1006. **Tassy A., Mocochain L., Bellier O., Braucher R., Gattacceca J., Bourlès D.**, 2013. Coupling cosmogenic dating and magnetostratigraphy to constrain the chronological evolution of peri-Mediterranean karsts during the Messinian and the Pliocene: Example of Ardèche Valley, Southern France, *Geomorphology* **189**, 81–92. **Wagner, T., Fabel, D., Fiebig, M., Häuselmann, P., Sahy, D., Xu, S., Stüwe, K.**, 2010. Young uplift in the non-glaciated parts of the Eastern Alps. *Earth and Planetary Science Letters* **295**, 159–169. **Wagner T., Fritz H., Stüwe K., Nestroy O., Rodnight H., Hellstrom J., Benischke R.**, 2011. Correlations of cave levels, stream terraces and planation surfaces along the River Mur—Timing of landscape evolution along the eastern margin of the Alps. *Geomorphology* **134**, 62–78.