

# Analyse terminologique des adjectifs dans le domaine du karst

---

**Pintar, Kristian**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zadar / Sveučilište u Zadru**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:137337>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-10**



**Sveučilište u Zadru**  
Universitas Studiorum  
Jadertina | 1396 | 2002 |

*Repository / Repozitorij:*

[University of Zadar Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



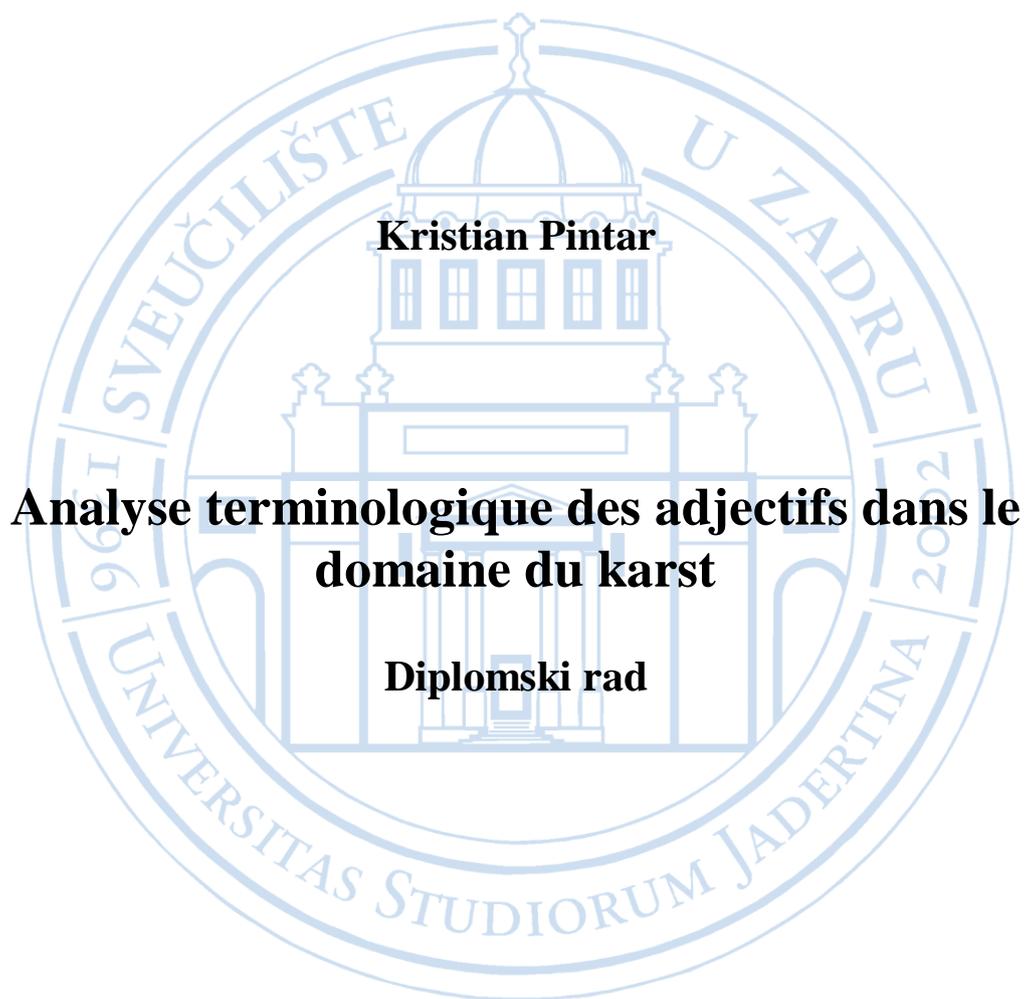
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Sveučilište u Zadru

Odjel za francuske i frankofonske studije

Sveučilišni diplomski studij

Francuski jezik i književnost; smjer: prevoditeljski



**Kristian Pintar**

**Analyse terminologique des adjectifs dans le  
domaine du karst**

**Diplomski rad**

Zadar, 2024.

Sveučilište u Zadru  
Odjel za francuske i frankofonske studije  
Sveučilišni diplomski studij  
Francuski jezik i književnost; smjer: prevoditeljski

Analyse terminologique des adjectifs dans le domaine du karst

Diplomski rad

Student:

Kristian Pintar

Mentorica:

izv. prof. dr. sc. Larisa Grčić

Zadar, 2024.



## Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Kristian Pintar**, ovime izjavljujem da je moj diplomski rad pod naslovom **Analyse terminologique des adjectifs dans le domaine du karst** rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, 11. listopada 2024.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>2</b>
<b>2. MÉTHODOLOGIE</b> .....	<b>5</b>
2.1. Cadre théorique et approches fondamentales .....	5
2.2. Introduction générale au karst et à son importance géologique et écologique.....	6
2.3. Domaine du karst.....	7
2.4. Explication de l'importance de la terminologie dans les sciences du karst .....	9
2.5. Pourquoi l'étude d'adjectifs spécifiques dans ce domaine ?.....	10
2.6. Analyse des adjectifs.....	11
2.7. Compilation de corpus .....	11
2.8. Extraction et identification des termes.....	12
2.9. Visualisation des résultats .....	13
2.10. Projet TermFrame .....	14
<b>3. ÉTAT DE L'ART</b> .....	<b>16</b>
3.1. « Terminologie orientée concept » .....	17
3.2. Terminologie sociocognitive .....	18
3.3. Terminologie des corpus.....	20
3.4. Terminologie des Cadres.....	21
<b>4. ANALYSE DES RÉSULTATS</b> .....	<b>24</b>
4.1. Adjectifs ayant pour racine <i>glacijalan – glaciaire – glacial</i> .....	24
4.2. Collocations [ pukotinski + N ] – [ N + de fissure ] – [ fissure + N ].....	34
4.3. L'adjectif <b>fosilan – fossile – fossil</b> .....	38
4.4. L'adjectif <b>aktivan – actif – active</b> .....	42
<b>5. TRADUCTION</b> .....	<b>46</b>
<b>6. CONCLUSION</b> .....	<b>74</b>

<b>7. BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>76</b>
Liste des tableaux et des figures.....	82
7.1. Exemple de document de données au format CSV créé pour générer des visualisations.	84
7.2. Glossaire trilingue.....	86
7.3. Texte source dans son intégralité.....	94

## RÉSUMÉ

Ce mémoire de master étudie les adjectifs liés aux phénomènes karstiques en trois langues : anglais, français et croate. Cette recherche souligne l'importance d'une terminologie précise et claire dans la communication scientifique, en particulier dans le domaine de la géomorphologie, sachant que l'échange de terminologie géologique et géographique entre langues implique la prise en compte de différentes configurations de terrain et de processus cognitifs qui ont un impact sur la perception et compréhension de l'espace et de l'environnement. Dans ce mémoire nous explorons les variations sémantiques, collocationnelles et morphologiques des adjectifs au sein du domaine du karst et nous identifions les défis associés à leur traduction et à leur conceptualisation. L'approche méthodologique est basée sur l'analyse de corpus spécialisés et sur l'application de l'approche théorique Terminologie des Cadres (*Frame-based Terminology*), qui permet une analyse systématique de la terminologie karstique. Les corpus croate et anglais font partie du projet TermFrame, tandis que le corpus français est issu de recherches antérieures sur l'analyse comparative trilingue de termes multi-mots du domaine du karst. Les résultats obtenus ont été visualisés à l'aide de l'outil de visualisation en ligne NetViz. Cette analyse terminologique contribue à une meilleure compréhension des structures conceptuelles de la terminologie du karst et, en général, de la terminologie géomorphologique. Les résultats intéressent les traducteurs, les scientifiques et les chercheurs en géologie et en géographie, dans le but ultime de normaliser la terminologie dans toutes les langues afin de garantir la clarté dans le domaine du karst.

Mots-clés : géomorphologie, terminologie du karst, analyse des adjectifs, cadre terminologique, comparaison trilingue

# 1. INTRODUCTION

La terminologie se distingue par son rôle clé dans la communication car elle nous permet d'échanger des concepts et des idées de manière très précise et claire. En créant des langages communs, c'est-à-dire des bases d'une communication commune, la terminologie permet aux professionnels et aux étudiants d'être mieux équipés pour contribuer aux discussions scientifiques et pour partager plus efficacement leurs connaissances et leurs idées. Qu'il s'agisse de géologie, d'informatique, de chimie ou de tout autre domaine, la terminologie est cruciale pour faciliter la communication. Au centre de la terminologie se trouvent les concepts et leur désignations, c'est-à-dire les unités terminologiques avec une signification spécialisée à l'intérieur d'un domaine. Prenons l'exemple de la chimie, où des termes comme « molécule », « atome » et « isotope » ont chacun une signification spécifique et sont donc essentiels pour décrire différentes substances. Ou, par exemple en informatique, où des termes comme « algorithme », « processeur » et « logiciel » constituent la base lorsqu'on parle de technologie. Ces termes spécifiques permettent à ceux qui travaillent dans ces domaines de se comprendre plus facilement et d'approfondir leurs sujets sans confusion. En utilisant une terminologie précise, il est possible d'éviter les malentendus, d'améliorer la qualité générale des discussions et de combler les lacunes des connaissances.

L'objet de ce mémoire est l'analyse terminologique des adjectifs dans le domaine du karst. Tout d'abord, nous nous concentrerons sur l'analyse morphologique et sémantique des adjectifs et des termes avec lesquels ils sont en combinaison. L'objectif de ce travail est donc de déterminer et de catégoriser les adjectifs utilisés pour décrire différents phénomènes karstiques. De la même manière, nous nous concentrerons sur les différences de termes entre les langues observées, sur le plan conceptuel et linguistique, et enfin nous examinerons les défis rencontrés lors de la traduction de ces termes adjectifs. Ce mémoire de master, considérant qu'il s'agit d'une analyse terminologique des adjectifs utilisés dans le domaine du karst, se situe en quelque sorte à l'intersection de deux sciences : d'une part, il est profondément géomorphologique, et d'autre part, il aborde les sciences de la linguistique appliquée. Cette recherche se concentre ainsi sur l'analyse des adjectifs en comparant les résultats en trois langues : anglais, français et croate.

Le domaine étudié, la karstologie, une sous-discipline de la géomorphologie, utilise une terminologie spécifique qui peut poser un grand défi aux traducteurs. L'un des problèmes observés est la complexité des adjectifs utilisés pour décrire les formes et les processus du

relief karstique. De tels adjectifs ont fréquemment des racines linguistiques complexes et modifient leur sens avec des préfixes, ou changent de sens en fonction du contexte et du nom qu'ils décrivent. Une telle variabilité morphologique et sémantique peut alors présenter de grands obstacles aux traducteurs dans la création d'une traduction cohérente et précise.

Dans cette recherche, nous avons été guidés par une question clé, une sorte d'hypothèse-question :

- Comment les adjectifs dans le domaine du karst changent-ils en fonction du contexte dans lequel on les retrouve ?

De cette question clé, nous pouvons déduire plusieurs sous-questions, c'est-à-dire d'idées directrices :

- Comment les adjectifs changent-ils de sens selon le nom auquel ils sont associés dans le contexte du domaine observé ?
- Comment les préfixes changent-ils le sens des adjectifs ?
- Quels sont les défis liés à la traduction de ces adjectifs ?

Nous avons choisi de nous pencher sur ce sujet parce que la terminologie est essentielle pour bien communiquer dans les sciences géologiques et géomorphologiques, particulièrement lorsqu'il s'agit de phénomènes liés au karst. Étudier le karst, c'est utiliser un langage précis, non seulement pour les scientifiques, mais aussi pour les ingénieurs et les professionnels de l'environnement qui doivent échanger efficacement. En tant que géographes, nous avons remarqué qu'il y a peu de recherches approfondies sur la terminologie spécifique à ce domaine, en particulier sur les adjectifs liés au karst. C'est ce manque qui a suscité notre envie d'explorer davantage cette question.

Pour que les traductions dans les publications scientifiques soient à la fois justes et claires, il faut bien comprendre les subtilités linguistiques. Notre travail se concentre donc sur l'étude des adjectifs utilisés dans les textes spécialisés sur la géomorphologie karstique, en examinant leur forme et leur sens. Les adjectifs sont souvent cruciaux pour décrire des caractéristiques géomorphologiques, mais leur sens peut varier selon le préfixe ou le nom qu'ils accompagnent. C'est pourquoi nous nous intéressons aux nuances linguistiques des adjectifs – synonymes, antonymes, multiples significations, et variations de forme – pour mieux voir comment tout cela influence la communication et la traduction. Alors, notre étude

s'adresse surtout aux traducteurs qui travaillent dans les domaines de la géologie et de la géographie, mais aussi aux chercheurs et aux scientifiques, en particulier ceux qui étudient le karst. En analysant les adjectifs dans ce domaine, nous espérons offrir une meilleure compréhension de leur utilisation et ainsi contribuer à rendre la communication plus fluide et plus précise dans les études géomorphologiques et à faciliter la traduction des textes spécialisés. Enfin, nous espérons que nos résultats aideront à uniformiser la terminologie scientifique, un point clé pour assurer une bonne compréhension et une cohérence dans les échanges scientifiques. À la fin de ce mémoire, nous incluons un glossaire trilingue (anglais-français-croate). Toutes les photographies dans ce mémoire et toutes les autres pièces jointes graphiques sont la propriété de l'auteur.

## 2. MÉTHODOLOGIE

Dans ce chapitre, nous allons présenter la méthodologie de cette recherche. Tout d'abord, nous allons examiner le cadre théorique qui représente les fondements de cette recherche et également les approches fondamentales de cette étude. Un bref aperçu des caractéristiques essentielles du relief karstique et de son importance dans le contexte scientifique plus large, mais aussi dans notre vie quotidienne, sera donné. Nous présenterons ensuite le domaine étudié et le corpus utilisé. Nous ferons également référence à la procédure d'extraction des termes et à leur analyse. Ensuite, nous présenterons les méthodes et outils utilisés pour la visualisation des résultats, qui est l'une des parties clés de ce travail, et enfin, nous présenterons également le projet TermFrame, qui a servi d'inspiration à cette recherche.

### 2.1. Cadre théorique et approches fondamentales

Nous avons basé cette recherche principalement sur l'approche théorique Terminologique des Cadres ((*Frame-based Terminology*) Faber *et al.*, 2005 ; Faber *et al.*, 2006 ; Faber *et al.*, 2007), qui se distingue par sa contribution à l'analyse du langage spécialisé dans des domaines spécifiques. Cette théorie nous permet d'avoir une compréhension plus approfondie de la terminologie dans des contextes spécifiques, notamment dans un domaine hautement spécialisé comme la géomorphologie du karst. Le point de départ de cette théorie est que ce qu'on appelle les « cadres », ou concepts d'un domaine particulier, sont bien mieux compris s'ils sont observés au sein de structures conceptuelles. Ces cadres sont en réalité des concepts au sein desquels s'organise la connaissance d'un domaine particulier. Nous avons également analysé d'autres approches et théories terminologiques contemporaines qui, avec la terminologie des cadres, seront analysées plus en détail dans le chapitre État de l'art.

Dans ce mémoire, en utilisant les postulats de la théorie des cadres, nous analyserons la terminologie de la karstologie en trois langues : anglais, français et croate. Guidés principalement par cette théorie, les adjectifs du corpus seront identifiés et catégorisés, en tenant compte de la manière dont les adjectifs sont intégrés dans le cadre conceptuel de l'ensemble du domaine de la géomorphologie du karst. Cette étude vise à découvrir des relations systématiques entre les termes et les concepts, offrant ainsi une compréhension plus claire de la manière dont les adjectifs sont utilisés au sein du domaine karstique dans les différentes langues.

Quant à l'approche analytique, dans ce travail nous utiliserons principalement une approche inductive et empirique avec un accent particulier sur un examen détaillé des données de l'environnement réel afin d'en tirer des conclusions générales. L'analyse peut donc être divisée en deux niveaux :

- a) Analyse au niveau macro : cela implique d'examiner la structure globale du système terminologique au sein du domaine du karst, d'identifier les principaux cadres conceptuels et la manière dont ils sont linguistiquement réalisés dans les trois langues.
- b) Analyse au niveau micro : nous donnerons un aperçu détaillé des adjectifs individuels au sein des corpus étudiés. Nous ferons également une analyse approfondie de leurs nuances sémantiques et de leurs variantes morphologiques.

Nous avons opté pour une approche inductive afin de pouvoir analyser quelques exemples spécifiques d'usage du langage spécialisé dans le corpus et en tirer ensuite des conclusions sur un usage plus large, c'est-à-dire sur un usage terminologique général. Cela garantit que l'analyse est basée sur l'utilisation réelle de la langue, ce qui rend les résultats applicables et actuels.

## 2.2. Introduction générale au karst et à son importance géologique et écologique

Selon Monroe (1970 : 11), Milanović (2005 : 2) et Ford et Williams (2007 : 1-4) par le terme karst, nous entendons un paysage géomorphologique spécifique dans la formation duquel la dissolution de roches solubles, le plus souvent du calcaire, de la dolomie et du gypse, joue un rôle fondamental. Au cours de tels processus de formation du relief, des phénomènes géologiques spécifiques du relief, tels que des grottes, des fosses, des cours d'eau souterrains, des dolines, etc., apparaissent souvent. Nous les appelons topographie karstique. Les modes de formation de la topographie karstique constituent un aspect important des sciences géologiques et géomorphologiques car ils nous donnent un aperçu de la manière dont les écoulements d'eau souterrains se développent, ils nous donnent aussi un aperçu des manières et des résultats de l'altération des roches et enfin ils nous permettent d'avoir un aperçu de l'évolution générale des eaux souterraines et des formes de relief de surface. En outre, les paysages karstiques ont une grande importance écologique car ils abritent de nombreux écosystèmes complexes d'une grande biodiversité, et en même temps, étant donné

qu'ils représentent d'immenses aquifères, ils représentent d'énormes sources d'eau potable pour une grande population. Nous aborderons plus en détail l'aspect géologique du karst dans le prochain sous-chapitre.

### 2.3. Domaine du karst

Le domaine de la géomorphologie du karst, ou karstologie, appartient essentiellement à la géologie. La géologie étant par définition une science qui étudie la planète Terre, son champ d'intérêt recoupe largement celui de la géographie. La karstologie est donc partagée à parts égales par la géologie et la géographie. Ces deux sciences sont elles-mêmes divisées en de nombreuses sous-disciplines, parmi lesquelles la géomorphologie, dont l'intérêt fondamental est le relief et tous ses aspects. La géomorphologie est divisée en de nombreuses sous-disciplines, parmi lesquelles la géomorphologie karstique, c'est-à-dire la karstologie. Quant à l'origine du terme karst, il se trouve dans le nom d'une région de Slovénie et d'Italie – Kras en Slovénie et Carso en Italie, mais en réalité il tire son origine de la langue allemande – *der Karst*. Les reliefs karstiques constituent un type spécifique de relief structuré. Leur formation, comme mentionné précédemment, est liée à la dissolution de roches solubles (calcaire, dolomite, gypse et autres). Par processus de formation du karst, c'est-à-dire karstification, nous comprenons la pénétration d'eau acide (enrichie en carbone, qui en combinaison avec carbone forme de l'acide carbonique  $H_2CO_3$ ) à la surface de la roche, ce qui entraîne l'érosion de cette roche et la création de phénomènes de relief spécifiques. Un tel relief se retrouve par exemple sur environ la moitié du territoire de la Croatie et sur près d'un tiers de la France.

Si l'on s'intéresse de plus près au domaine de la géomorphologie karstique, on peut mettre en évidence plusieurs groupes clés de phénomènes de relief qui représentent son intérêt. Ce sont surtout les formes du relief de surface qui se distinguent ici, comme les dolines, les lapiés et les poljés. En outre, l'un des principaux intérêts de l'étude de la géomorphologie du karst est représenté par les grottes et les systèmes spéléologiques, et généralement par les formes de reliefs souterrains. Les grottes, par exemple, sont très fréquentes dans la topographie karstique et représentent une source de données importante en paléoclimatologie, en biologie et zoologie, mais aussi en anthropologie. Lors de l'étude des grottes, les concrétions spéléologiques sont particulièrement importantes, en particulier les

stalactites, stalagmites et autres spéléothèmes, qui constituent une source d'informations très importante sur les changements climatiques au cours du passé géologique.

En outre, au sein de la karstologie, il convient également de souligner l'étude des systèmes hydrologiques karstiques, qui constituent l'un des systèmes hydrologiques les plus complexes en général. Ces systèmes comprennent des structures complexes de cours d'eau souterrains, de conduits et de cavités. Ce sont des systèmes très complexes, imprévisibles, mais aussi très sensibles. De tels systèmes, dans leur ensemble avec des espèces végétales et animales uniques, représentent une ressource naturelle vaste et importante, qui est malheureusement très sensible aux influences anthropologiques négatives et court donc un grand risque de pollution et de destruction. Outre toute son importance scientifique, la karstologie revêt également une grande importance pratique pour l'aménagement du territoire, la construction et surtout pour la gestion des ressources naturelles. Son importance dans l'utilisation agricole des terres est également significative, et donc aussi dans la répartition spatiale de la population.

Nous pouvons conclure que la karstologie est un domaine multidisciplinaire complexe qui étudie les reliefs karstiques, les processus qui ont provoqué leur formation et leurs caractéristiques hydrologiques ainsi que les écosystèmes karstiques spécifiques. La karstologie de par sa complexité, combine des connaissances géologiques, hydrogéologiques et écologiques. Nous utilisons ses connaissances sur la complexité des systèmes de relief karstiques dans l'étude de la dynamique du relief terrestre, dans l'exploitation de l'eau potable et d'autres ressources naturelles, et enfin dans la préservation de la diversité écologique.

Pour les besoins de cette recherche, nous avons utilisé le système conceptuel divisé en cinq catégories et 14 sous-catégories (cf. figure 1) qui incluent les reliefs, les processus, les environnements karstiques typiques ou géomes, les propriétés et les méthodes et instruments typiques en karstologie. Ce cadre hiérarchique sémantique était établie au sein du projet EcoLexicon<sup>1</sup> (Faber *et al.*, 2011), qui a ensuite été adaptée au domaine du karst conformément à Ford et Williams (2007) et Jennings (1985). Nous avons aussi utilisé la catégorisation sémantique qui implique des catégories spécifiques et des relations conceptuelles pour les descriptions de différents reliefs géomorphologiques. Selon Pavlopoulos *et al.* (2009) 16 relations conceptuelles sont incluses dans la hiérarchie conceptuelle. Ils décrivent les caractéristiques dénotationnelles spécifiques des termes liés à la

---

<sup>1</sup> Cf. <https://ecolexicon.ugr.es/en/index.htm>

POSITION, à la morphométrie (FORME), à la morphostructure (COMPOSTION), à la morphogenèse (CAUSE), à la morphodynamique (RÉSULTAT et FONCTION) et à la morphochronologie (AGE). Ces catégories taxonomiques sont souvent considérées comme des termes d'attribut, elles seront donc appelées attributs dans le reste de ce mémoire.

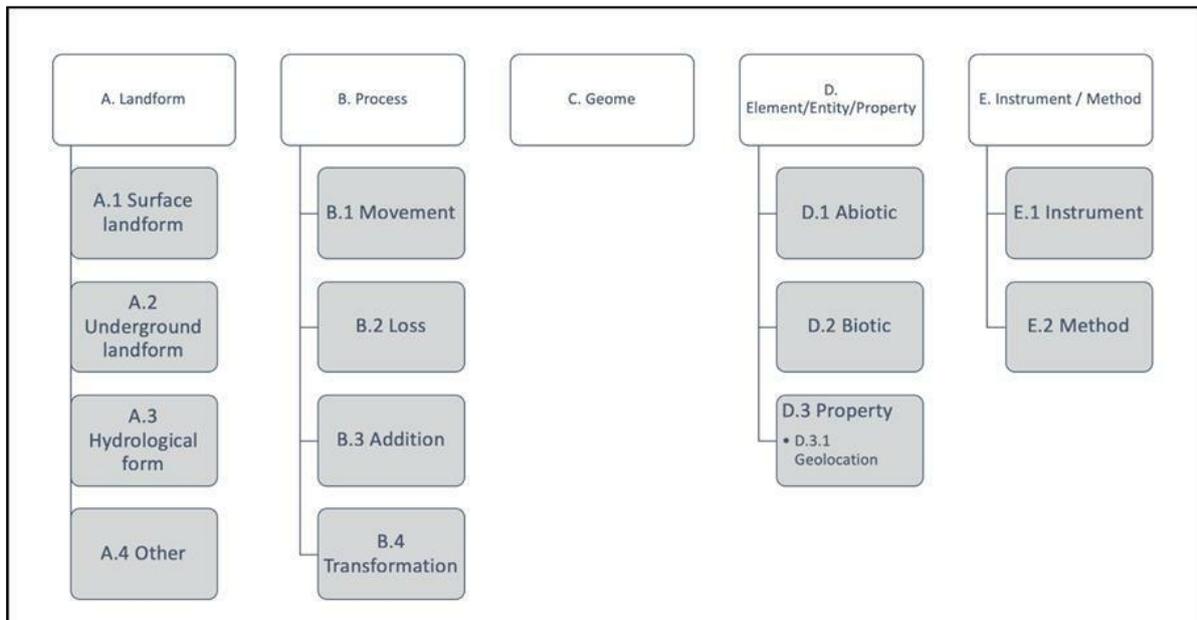


Figure 1. Catégorisation sémantique des termes en karstologie.

#### 2.4. Explication de l'importance de la terminologie dans les sciences du karst

Une terminologie précise et exacte est essentielle pour une communication claire et simple entre scientifiques. La précision du langage permet un échange simple de résultats et de connaissances, favorise la coopération interdisciplinaire et garantit finalement l'exactitude dans la transmission de nouvelles connaissances sur les phénomènes karstiques. Certes, l'échange de terminologie géologique et géographique entre langues implique aussi la prise en compte des différentes configurations de terrain, et bien sûr des processus cognitifs qui ont un impact sur la perception et la compréhension de l'espace et de l'environnement. Selon Burenhult (2008) et Levinson (2008), les différences dans la catégorisation et la sélection des caractéristiques dénotationnelles spécifiques des concepts géographiques dépendent en grande partie des différences entre les langues et du rôle de la culture. Selon eux, même des concepts comme rivière, lac et montagne, même s'ils semblent universels, peuvent être compris

différemment. D'après Mark et Turk (2004), les glossaires multilingues sont souvent considérés comme une source crédible de connaissances pour établir des équivalences entre les termes d'un domaine donné. La consultation de tels glossaires donne un sentiment d'harmonie de la terminologie et des concepts dans les différentes langues. Cependant, les différences conceptuelles entre les langues ou l'absence de dénnotations spécifiques doivent être prises en compte lors de la comparaison des terminologies entre les langues. Compte tenu de la littérature existante sur la conceptualisation et la catégorisation des termes géographiques, il est important de reconnaître l'importance d'une approche cognitive de la géographie et la nécessité d'introduire l'ethnophysiographie.

## 2.5. Pourquoi l'étude d'adjectifs spécifiques dans ce domaine ?

Dans la terminologie de la géomorphologie du karst, l'importance de l'étude des adjectifs est particulièrement soulignée, étant donné qu'ils ont un impact significatif sur la transmission de nuances spécifiques dans la description des caractéristiques des phénomènes karstiques. Des adjectifs tels que « soluble », « fossile », « souterrain », etc. donnent des informations spécifiques qui nous permettent de mieux comprendre les reliefs karstiques individuels, les processus et autres phénomènes. En analysant ces adjectifs, il est possible de comprendre comment certains phénomènes karstiques sont compris et catégorisés, et comment leur perception affecte potentiellement la recherche et la communication en général. De plus, l'analyse des adjectifs et de leur potentiel combinatoire peut améliorer la compréhension et la précision des échanges scientifiques et, à terme, une meilleure compréhension des systèmes karstiques.

Plus précisément, dans ce mémoire, nous analyserons en quatre sous-chapitres comment la signification des adjectifs change en fonction du nom avec lequel l'adjectifs apparaissent, mais aussi comment le sens de l'adjectif et les significations changent avec les variations morphologiques des adjectifs. Les résultats analysés (langues croate, française et anglaise) sont obtenus de trois corpus comparables – il est donc important de noter qu'il existe des exemples en dehors des textes traités, qui ne sont pas montrées dans ce travail. La première partie de l'analyse montrera comment l'attribut sémantique (ce qui est le résultat de l'association d'adjectifs avec les noms, autrement dit, la relation lexico-sémantique entre le sens de l'adjectif et la propriété du nom déterminée par l'adjectif) change en fonction du changement du préfixe de l'adjectif (racine) *glacijalan* – *glaciaire* - *glacial*. Puis, il sera

montrée comment changent les attributs sémantiques des syntagmes [ pukotinski + N ] – [ N + de fissure ] – [ fissure + N ]. Enfin, il sera analysé comment change l’attribut sémantique dans les syntagmes adjectivo-nominaux contenant l’adjectif *fosilan* – *fossile* – *fossil* et *aktivan* – *actif* – *active*.

## 2.6. Analyse des adjectifs

Selon les recherches précédentes (Sager, 1990 ; L’Homme, 2002), les adjectifs ont été étudiés au prisme de leur influence sur les nuances de sens dans des domaines spécialisés. De même, le rôle des adjectifs dans la précision et l’explication du sens des termes a été souligné. Cabré Castellví (1999a) a mis en avant leur rôle dans la modification des noms en fonction de la clarification du sens et d’établissement des distinctions conceptuelles.

Notre analyse des adjectifs a été effectuée sur trois axes :

a) analyse sémantique : ici, nous nous concentrerons sur les nuances sémantiques que chaque adjectif peut prendre en fonction des noms auxquels il est associé et des contextes plus larges où il est employé.

b) analyse collocationnelle : dans cette étape, nous examinerons les modèles collocationnels des adjectifs, en comparant les différences de collocations entre l’anglais, le français et le croate.

c) analyse morphologique : comprend un aperçu des variations morphologiques des adjectifs, c’est-à-dire les schémas de dérivation et l’influence des préfixes sur leur signification.

Ces trois niveaux d’analyses tentent de déterminer les relations sémantiques entre les adjectifs et leurs concepts, mais en même temps, elles tentent de donner un aperçu plus large de la structure de la terminologie karstique. L’objectif est que les résultats de cette recherche contribuent à une meilleure compréhension de la terminologie spécialisée en communication scientifique avec un focus sur le domaine de la géomorphologie karstique.

## 2.7. Compilation de corpus

La constitution d’un corpus est une étape clé dans ce type de recherche. Les corpus nous fournissent les informations nécessaires à l’analyse.

Pour les besoins de cette recherche, nous avons utilisé les parties anglaise et croate du corpus TermFrame (le projet TermFrame sera analysé dans les chapitres suivants). Quant à la partie française, nous avons utilisé le corpus constitué pour les besoins des recherches menées précédemment avec Mme Grčić et Mme Mamut (Grčić *et al.*, 2024) sur l'analyse comparative trilingue de termes multi-mots dans la karstologie. Il s'agit de corpus comparables spécialisés constitués de textes scientifiques (articles scientifiques, actes de conférences et thèses de doctorat) et de textes didactiques (manuels et notes de cours). Les trois corpus sont comparables en termes de domaines et de types de textes inclus (tableau 1).

Tab. 1. Informations de comparaison sur les différents corpus.

	<b>anglais</b>	<b>français</b>	<b>croate</b>
<b>Tokens</b>	2.721,042	1.343,670	1.229,368
<b>Mots</b>	2.195,982	1.109,530	969,735
<b>Phrases</b>	97,187	73,525	53,017
<b>Documents</b>	57	49	43

## 2.8. Extraction et identification des termes

Nous évoquerons ici brièvement les procédures d'extraction et d'identification des termes dans le corpus. Après avoir constitué un ou plusieurs corpus, nous abordons le processus d'extraction des unités terminologiques. Ceci est réalisé en utilisant des techniques et des outils manuels et automatiques spécialisés. Dans cette recherche, nous avons utilisé l'outil de gestion de corpus Sketch Engine. Avec son aide, des syntagmes candidats adjectif-nom (ou complément de nom-nom) ont été identifiées. De plus, grâce aux logiciels de concordance qui permettent la représentation mots-clés en contexte (KWIC en anglais), des modèles récurrents ont été identifiés et une analyse contextuelle des termes individuels a été effectuée. Quant à l'outil Sketch Engine, il s'agit d'un outil d'analyse de corpus très puissant et utile qui permet aux utilisateurs d'analyser les fréquences et les distributions de termes individuels, mais il offre aussi la possibilité d'identifier des modèles de collocation et un aperçu du contexte linguistique de chaque terme individuel. Son avantage réside particulièrement dans la capacité d'examiner les modèles terminologiques et les relations entre les cadres conceptuels individuels d'un domaine particulier. Une vérification manuelle a été ensuite effectuée pour valider des termes extraits. De cette manière, les erreurs potentielles lors de l'extraction automatique ont été évitées et la pertinence des termes karstologiques a été

confirmée. De plus, après la validation manuelle, certains termes moins fréquemment utilisés ont été ignorés.

En plus de Sketch Engine, nous avons aussi utilisé la base de données terminologique du karst multilingue en ligne TermFrame<sup>2</sup>. TermFrame est le produit d'un projet scientifique, dont nous discuterons en détail dans la suite de cette recherche.

## 2.9. Visualisation des résultats

Selon Faber *et al.* (2007), l'un des aspects clés de la Terminologie des Cadres est l'importance des représentations visuelles de concepts spécialisés. Les visualisations sont utilisées pour structurer et organiser la description linguistique et les représentations graphiques des entités afin de clarifier la multidimensionnalité des concepts et des relations conceptuelles au sein du domaine observé. La visualisation des connaissances terminologiques est spécialement adaptée à la théorie Terminologique des Cadres, dont l'objectif fondamental est de simplifier l'acquisition de connaissances provenant de différentes sources, de différentes formes d'information. D'après Gil-Berrozpe *et al.* (2017) la visualisation des réseaux revêt également une importance clé pour la représentation de domaines spécialisés et joue un rôle clé dans l'interprétation des structures de données. De cette manière, il est possible d'apprendre facilement de nouvelles informations et de tirer des hypothèses et des conclusions.

Pour les besoins de cette recherche, nous avons utilisé l'outil de visualisation NetViz<sup>3</sup> développé par des chercheurs de l'institut Jožef Stefan, en Slovénie. Il s'agit d'un outil Web *open source* avec une interface relativement simple (cf. figure 2). Les fonctionnalités de visualisation et d'édition sont au format de données CSV<sup>4</sup>. Selon Pollak *et al.* (2020) NetViz permet une visualisation de réseau en ligne haute performance où l'utilisateur peut télécharger les données terminologiques dans un format CSV simple, définir les nœuds (termes, catégories), les bords (relations) et leurs propriétés (en attribuant différentes couleurs de nœud), puis éditer et explorer de manière interactive les connaissances du domaine sous la forme d'un réseau. En annexe, nous joindrons un exemple de document de données au format CSV créées pour l'une des visualisations générée dans ce mémoire.

---

<sup>2</sup> Cf. <https://termframe.ff.uni-lj.si/>

<sup>3</sup> Outil disponible sur : <https://biomine.ijs.si/netviz/>

<sup>4</sup> Valeurs séparées par des virgules.

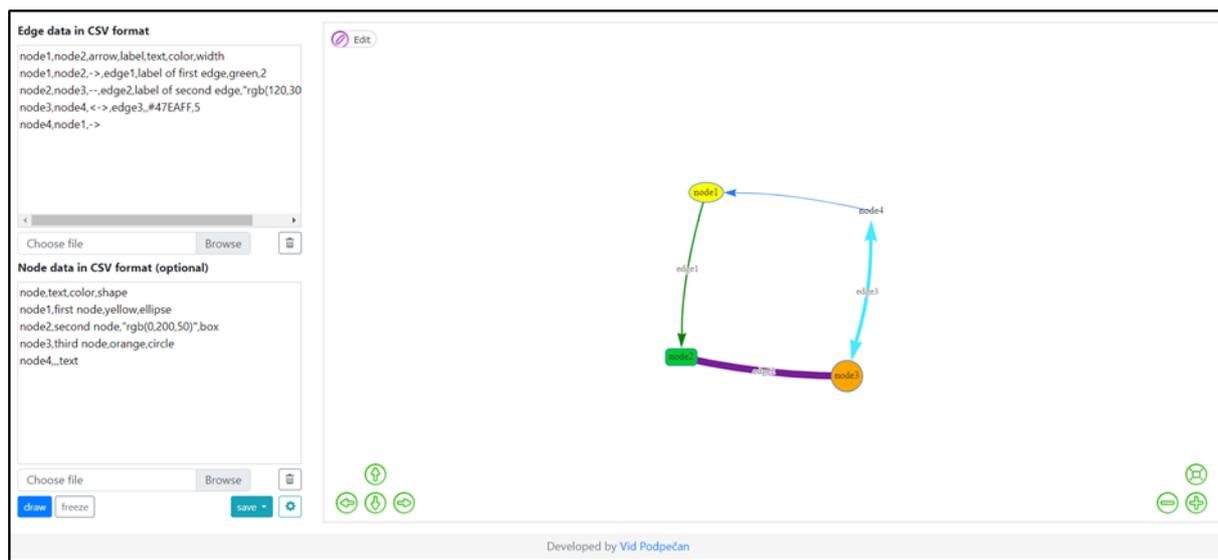


Figure 2. Interface de l’outil de visualisation NetViz.

## 2.10. Projet TermFrame

Le projet TermFrame, dirigé par un groupe d’experts de l’Université de Ljubljana, est une initiative de recherche innovante visant à améliorer la compréhension et la gestion des cadres terminologiques dans divers domaines spécialisés. Ce projet est ancré dans la linguistique appliquée et la lexicographie, et se concentre sur le développement de nouvelles méthodes et outils pour la gestion de la terminologie, en mettant particulièrement l’accent sur l’interopérabilité des données et l’intégration des ressources lexicales (Vintar *et al.*, 2021). Il s’agit d’une nouvelle ressource pour la karstologie qui présente des connaissances structurées de manière captivante et innovante. L’objectif d’une telle approche est de rendre les connaissances d’un domaine hautement spécialisé accessibles et visuellement attrayantes.

À l’issue du projet plusieurs ensembles de données étaient mis à disposition via le référentiel Clarin.si pour l’anglais, le slovène et le croate : les corpus TermFrame, les définitions extraites et annotées sémantiquement, et les annotations analysées sous forme de tableau. Cette base de données est disponible en ligne sans inscription<sup>5</sup>(*ibid*).

La base terminologique est constituée des définitions des termes effectuées conformément au modèle d’annotation (Vintar et Stepišnik, 2020 ; Vintar et Martinc, 2022).

<sup>5</sup> Cf. Vintar *et al.* (2021). *TermFrame : Terms, definitions and semantic annotations for karstology* [Base de données]. Disponible sur : <https://www.clarin.si/repository/xmlui/handle/11356/1463>.

Outre les définitions des termes, la base terminologique est également fournie avec des visualisations qui affichent les relations hiérarchiques, partitives et associatives dans le système conceptuel du domaine du karst (Vintar *et al.*, 2019, Pollak *et al.*, 2020).

D'après Vintar *et al.* (2021) le projet TermFrame vise à produire plusieurs résultats tangibles qui auront un impact significatif sur la gestion de la terminologie spécialisée. Grâce à l'utilisation de techniques d'analyse conceptuelle et de modélisation, le projet enrichira les bases de données existantes avec des informations détaillées sur les relations sémantiques entre les termes. De plus, TermFrame développera des cadres méthodologiques standardisés pour l'analyse et la gestion des terminologies, qui pourront être appliqués dans divers domaines spécialisés. Et enfin, des outils logiciels et des plateformes en ligne qui permettront aux experts de collaborer plus efficacement dans la gestion et la mise à jour des ressources terminologiques.

On peut en conclure que TermFrame est une initiative ambitieuse et innovante qui répond à un besoin croissant de gestion efficace des terminologies spécialisées dans un monde de plus en plus complexe et interconnecté. Grâce à ses approches méthodologiques rigoureuses et à l'utilisation de technologies avancées, le projet promet de fournir des solutions durables et évolutives pour la gestion des connaissances terminologiques.

### 3. ÉTAT DE L'ART

Lors de l'étude de la terminologie du domaine du karst, c'est-à-dire des adjectifs de ce domaine, il est crucial de commencer par des théories terminologiques axées sur les concepts spécifiques au domaine, leurs caractéristiques et la manière dont ils sont exprimés dans le langage. Si nous examinons la terminologie de la géomorphologie karstique, en tant que partie de la géologie et de la géographie, l'accent est mis sur les descriptions précises des caractéristiques karstiques, principalement les caractéristiques du relief karstique et les processus karstiques. Dans la suite de ce mémoire, nous tenterons de décrire certaines des approches et théories de base de la terminologie moderne :

Nous commencerons par l'approche traditionnelle en terminologie qui se concentre sur les concepts comme centre d'analyse, par opposition aux termes eux-mêmes. En bref, cette approche onomasiologique veut que, dans le domaine observé, un concept soit déterminé par ses caractéristiques et ses relations avec d'autres concepts. D'autre part, l'approche sociocognitive combine les dimensions cognitives et sociales dans le cadre de la terminologie. Cette approche sémasiologique repose sur l'idée que la manière dont les experts d'un domaine particulier utilisent les termes dépend du contexte social et communicationnel. Ainsi, la théorie sociocognitive se concentre sur la compréhension de l'utilisation de la terminologie par différents groupes. Nous consacrerons également quelques mots à la terminologie des corpus : il s'agit d'une approche empirique qui implique la création de vastes corpus spécialisés qui servent à identifier et à définir les termes et les modèles de leur utilisation. Une telle méthode permet l'identification de termes adjectifs dans le contexte et leur co-occurrence avec d'autres termes dans le domaine spécialisé. C'est la méthode largement utilisée dans cette recherche. En outre, nous analyserons avec une attention particulière la Terminologie des Cadres : c'est une approche cognitive qui unit des unités terminologiques individuelles dans des cadres conceptuels. Ce faisant, une attention particulière est accordée à la manière dont les connaissances sont organisées et interconnectées. Dans cette recherche, les adjectifs sont analysés dans des cadres spécifiques qui identifient les formes du relief karstique, les processus, les phénomènes karstiques typiques, etc. comme détaillé dans le chapitre Méthodologie.

Dans le reste de ce chapitre, nous décrirons chacune des théories mentionnées en détail et énumérerons les auteurs clés importants pour leur développement.

### 3.1. « Terminologie orientée concept »

Selon Bakken *et al.* (2000), l'expression « terminologie orientée concept » est utilisée pour désigner une terminologie dans laquelle les concepts sont formellement définis (par exemple, en utilisant une logique de description) d'une manière qui les rend adaptés au traitement informatique. En bref, terminologie qui se concentre sur les concepts repose sur le principe de se concentrer sur le sens des termes plutôt que sur les termes eux-mêmes. Autrement dit, au lieu de traiter des listes de termes complexes, l'approche consiste à comprendre les concepts que ces termes représentent. En d'autres termes, on essaie de comprendre les idées fondamentales derrière ces termes. Une telle approche s'est avérée très utile dans les domaines où il existe des termes dont les significations varient en fonction du contexte dans lequel ils se trouvent. Ces paramètres créent la base d'une communication claire et précise.

C'était Eugen Wüster qui a posé les bases de cette approche dans ses travaux fondateurs de 1968 et 1979. Il est souvent considéré comme le père de la théorie terminologique moderne. Dans son approche, il s'est concentré sur la création d'une méthode claire et structurée pour gérer et normaliser les termes, en mettant l'accent sur domaines spécialisés. Selon Wüster, la terminologie devrait donc s'orienter principalement sur les concepts (les idées ou les objets que les termes régissent) plutôt que sur les termes (mots) eux-mêmes. Selon lui, les termes peuvent être définis comme une sorte d'étiquette qui représente un certain concept, et donc le but de la terminologie est de clarifier ces concepts et leurs relations mutuelles. Pour Wüster, l'objectif principal de l'approche orientée concepts est d'assurer la clarté et la précision de la communication, en particulier dans les contextes techniques et scientifiques. En atteignant cet objectif, en définissant les concepts de manière claire et cohérente, il est possible de minimiser les malentendus et de standardiser la communication scientifique.

Par ailleurs, Felber, dans son livre (1984 : 100) s'appuie en partie sur les idées de Wüster, mais apporte sa contribution dans la manière d'appliquer ces idées à un niveau pratique. À savoir, le point de départ de Felber est l'idée de définir d'abord un concept en tant que tel puis de déterminer le terme qui représente le mieux ce concept. Felber, comme Wüster, souligne l'importance de l'exactitude dans le choix des termes en fonction du concept dans le but de préserver la cohérence de la communication scientifique. Felber (1984 : 135),

similaire à Wüster, a établi l'idée de systèmes conceptuels. Ils sont décrits comme une hiérarchie de concepts interdépendants liés en un tout unifié. Une telle systématisation et hiérarchisation des concepts a été également préconisée par Sager (1990, 1994). En même temps, il a établi qu'une telle systématisation des concepts permet d'illustrer les relations mutuelles entre les concepts.

En outre, dans ses recherches, Cabré Castellví (1999b, 2003) s'intéresse davantage à l'importance du contexte dans la détermination de l'usage des termes. Elle souligne que les définitions seules ne suffisent pas, mais qu'il faut prêter attention au contexte d'usage et à l'évolution du langage. Selon l'auteure, si l'on se concentrait uniquement sur les définitions, on risque d'ignorer le caractère dynamique du langage spécialisé. À savoir, dans ses travaux, elle traite en détail de l'idée de multidimensionnalité en terminologie, introduite plus tôt par Lynne Bowker (1997). La multidimensionnalité en terminologie implique un sens différent du terme selon le contexte ou l'usage. Roche (2015 : 137) s'appuie également sur l'idée de la nécessité de faire preuve de flexibilité en intégrant le caractère multidimensionnel du terme. Il estime notamment qu'il est nécessaire d'inclure différentes significations des termes qui dépendent des contextes, de l'origine culturelle et des connaissances des utilisateurs. Temmerman (2006 : 329), dont on citera souvent le nom pour décrire la théorie sociocognitive, écrit également sur ce besoin. Elle critique notamment la négligence de la multidimensionnalité et du dynamisme et recommande l'introduction de la dimension sociocognitive dans l'analyse.

### 3.2. Terminologie sociocognitive

Selon Temmerman (2007), le point de départ de la terminologie sociocognitive est l'opposition au cadre théorique des méthodes et principes de la théorie terminologique traditionnelle, fermement ancrés dans l'objectivisme. D'après Temmerman *et al.* (2005), contrairement à la terminologie qui se concentre sur les concepts, la terminologie sociocognitive ne met pas les concepts au centre de l'analyse terminologique, mais les termes. Selon la théorie sociocognitive, notre compréhension des termes est à la fois un processus social (façonné par les interactions avec les autres) et un processus cognitif (façonné par la façon dont nous traitons mentalement l'information). La terminologie sociocognitive examine la façon dont se produit cette interaction. Il s'agit moins de définitions rigides que de la manière dont les gens comprennent et utilisent le langage dans des situations réelles. Cette

approche nous aide à voir comment les termes évoluent, comment les malentendus se produisent et comment nous pouvons communiquer plus efficacement en tenant compte à la fois du contexte social et des modèles mentaux que les gens portent en eux.

Temmerman (2007) affirme que, selon la terminologie sociocognitive, les termes contenus dans les textes représente le point de départ d'une analyse terminologique, mais il est toujours important de rechercher comment les termes et concepts (qui font partie intégrante du langage humain) sont liés aux objets (en tant que parties de la réalité). En terminologie sociocognitive, le triangle sémiotique traditionnel est étendu (Temmerman, 2000 : 58-59). Alors, selon Temmerman (2007), notre connaissance du monde est basée sur l'expérience, y compris les connaissances sur des sujets scientifiques et technologiques. De plus, Temmerman souligne qu'une grande partie de ce que nous connaissons et comprenons du monde est incarné, autrement dit, c'est perçu à travers nos sens. De plus, l'autre partie de nos connaissances est né de nos capacités de raisonnement. Ainsi, Temmerman conclut :

« Le langage a une fonction cognitive, ainsi qu'une fonction textuelle et communicative. La langue est un moyen de catégorisation et de communication sur la catégorisation. »  
(Temmerman, 2007 : 31)

La contribution de Tanja Collet (2004) est également importante pour l'approche sociocognitive. Elle a revisité le terme et est arrivé à la conclusion que les termes présents dans les textes exposent un comportement contraire aux exigences prescriptives de la terminologie traditionnelle. Les termes présentent une variabilité tant au niveau de leur contenu qu'au niveau de leur structure linéaire. Examinée dans le cadre de la linguistique des textes, cette variabilité contribue à la cohérence et à la cohésion des textes. Collet tente de formuler une nouvelle définition du terme, une définition qui souligne le rôle que joue le terme dans la texture des textes destinés à des fins spécifiques. La définition du terme proposée par Collet englobera à la fois sa fonction de dénomination ainsi que sa fonction de production de cohérence. Elle préconise donc une approche de la terminologie comme dynamique, dépendante du contexte et influencée par des facteurs cognitifs, sociaux et discursifs. Son travail souligne l'importance de considérer l'interaction entre ces dimensions pour développer des pratiques et des outils terminologiques plus efficaces qui reflètent l'utilisation réelle des langues dans des domaines spécialisés.

### 3.3. Terminologie des corpus

La linguistique de corpus, ainsi que la terminologie de corpus, est une forme de méthodologie qui comprend une analyse empirique informatisée (à la fois quantitative et qualitative) de l'utilisation de la terminologie. Cette méthodologie comprend l'utilisation de grandes collections de données électroniques à partir de textes collectés, ces collections de données sont appelées corpus. La terminologie du corpus est donc un moyen de comprendre les termes en fonction de la manière dont ils sont réellement utilisés dans les textes. Cette approche donne donc un aperçu de l'utilisation réelle de la terminologie, plutôt que de s'appuyer uniquement sur les avis d'experts et les définitions disponibles dans les dictionnaires (Condamines, 2005). L'analyse d'énormes collections de données, telles que les corpus, offre un aperçu de l'évolution des termes à un niveau temporel ; il est aussi possible de voir la fréquence à laquelle les termes sont utilisés et dans quel contexte. Cette approche est également très utile en linguistique et en traduction car elle permet une compréhension claire et donne une image réaliste de l'utilisation de la langue. La terminologie des corpus s'appuie donc sur l'analyse de l'usage réel du langage dans les grands corpus. Elle permet l'extraction de termes, l'analyse de leur signification, des modèles d'utilisation, l'analyse de la fréquence d'utilisation de termes individuels, mais donne également un aperçu des collocations et des variations (Jassim & Joshi, 2023). De telles méthodes ont permis la création de bases de données terminologiques précises et sensibles au contexte.

Lorsqu'on parle d'approche basée sur les corpus, il faut d'abord mentionner le travail de Bowker (2002). Elle pose les bases de cette approche en fournissant un cadre méthodologique précis pour l'exploitation du corpus en terminologie. Bowker préconise une approche basée sur les données et donne un aperçu de la manière dont les outils de corpus peuvent faciliter la création de ressources terminologiques. Bowker (2003) examine également spécifiquement le rôle de cette approche dans la traduction en mettant l'accent sur une gestion compréhensible et basée sur des données des terminologies. En outre, il convient de souligner la contribution d'Ellen Wright et Budin (2001 : 725-809), qui proposent une revue de différentes méthodes terminologiques, y compris la terminologie des corpus. Ils soulignent que dans la terminologie des corpus, contrairement aux méthodes traditionnelles, l'accent se déplace des points de vue subjectifs des experts vers l'analyse de vastes textes. Ils soulignent aussi l'importance d'étudier les termes dans leur contexte, dans le but de mieux

comprendre le sens et les modèles d'utilisation de la terminologie. Enfin, ils soulignent également la pertinence des données obtenues grâce à l'analyse de corpus et la possibilité d'analyses comparatives entre différentes langues. Cabré *et al.* (2001) soulignent le rôle central des corpus dans la terminologie moderne. Ils affirment que les corpus spécialisés fournissent la base empirique pour identifier les termes, comprendre leur utilisation dans leur contexte et reconnaître les unités multi-mots qui sont clés pour le travail terminologique. Ils se concentrent sur l'importance des méthodes basées sur des corpus pour gérer les complexités du langage spécialisé. Ces contributions jettent les bases de la compréhension des implications théoriques et pratiques de l'utilisation des corpus dans les études terminologiques. D'après Sager (1990) et Bowker (1996) la terminologie des corpus est une approche permettant d'appréhender l'usage réel des termes et leur validation. Ils soulignent la possibilité de créer une terminologie dynamique et respectueuse de l'environnement contextuel.

#### 3.4. Terminologie des Cadres

La Terminologie des Cadres (*Frame-based Terminology*) Faber *et al.*, 2005 ; Faber *et al.*, 2006 ; Faber *et al.*, 2007), est une approche cognitive qui partage beaucoup d'idées avec la théorie sociocognitive décrite précédemment. Le transfert de connaissances étant considéré comme une fonction clé des textes d'un langage spécialisée, il a été constaté que ce type de textes est souvent structuré selon des modèles visant à améliorer la compréhension. Aussi, ces textes se caractérisent souvent par la répétition fréquente de termes et d'expressions, parfois même de phrases entières. Selon Faber *et al.* (2005), ce sont ces configurations qui constituent le sens conceptuel auquel sont soumis les textes spécialisés et qui facilitent la transmission des connaissances spécialisées. Les cadres sont donc en réalité un moyen de structuration cognitive. Et ils sont basés sur l'expérience. Selon la Terminologie des Cadres, ces cadres fournissent les connaissances de base et la motivation nécessaires pour que les mots de la langue existent. De même, ils déterminent la manière dont nous utiliserons ces mots. Si nous observons un langage spécialisé, nous rencontrerons le plus souvent des formes nominales complexes caractéristiques d'un certain groupe scientifique. De telles formes impliquent une signification spécifique pour le domaine spécialisé de ce groupe. De même, ces formes ont aussi leur propre valence syntaxique, c'est-à-dire leur valeur combinatoire. Par conséquent, pour comprendre une telle terminologie, il est nécessaire de

connaître le domaine observé, c'est-à-dire les concepts et les relations conceptuelles qui le composent (Faber *et al.*, 2009).

Le problème de la structuration des catégories conceptuelles spécialisées est constamment d'actualité en terminologie. Faber *et al.* (2009) affirme que la terminologie des cadres utilise certaines idées de la sémantique des cadres (cf. Fillmore & Atkins, 1992) pour répondre à la question de la structuration des domaines spécialisés. Faber mentionne principalement l'organisation conceptuelle comme l'intérêt clé de la terminologie-cadre, par laquelle il entend les réseaux conceptuels basés sur l'événement fondamental du domaine. Elle souligne ensuite la multidimensionnalité de l'unité terminologique comme également une composante importante, et enfin l'extraction d'informations sémantico-syntaxiques à l'aide de corpus multilingues. En outre, Faber affirme que la méthodologie de la terminologie des cadres, qui implique des approches *top-down* et *bottom-up*, dérive le système conceptuel du domaine demandé. Par approche *bottom-up*, Faber entend l'extraction d'informations du corpus, tandis que d'autre part, l'approche *top-down* signifie l'analyse des informations collectées à partir de dictionnaires spécialisés et de documents similaires. Elle souligne également ici l'importance de consulter des experts dans le domaine.

Concernant la structuration des domaines, Faber *et al.* (2005) affirme que la description du domaine spécialisé repose principalement sur l'événement qui s'y déroule. Chaque domaine possède donc son propre cadre. Des concepts plus spécifiques peuvent ensuite être organisés à partir de l'événement de base du domaine, qui sont ensuite structurés en un réseau de relations hiérarchiques et non hiérarchiques. Par conséquent, selon Faber, chaque sous-domaine possède son propre cadre de relations conceptuelles prototypiques. Tout cela souligne l'importance des définitions terminologiques, qui sont considérées comme des représentations du cadre, car elles contiennent de petites bases de connaissances.

La terminologie des cadres se démarque notamment car elle accorde une grande importance à la visualisation, c'est-à-dire la représentation visuelle de concepts spécialisés. Selon Faber *et al.* (2007), il existe un lien entre description linguistique et description graphique. Ensemble, ils peuvent mettre en évidence la multidimensionnalité des concepts et des relations conceptuelles dans le domaine observé. Ainsi, une approche multimodale est préconisée dans la description des concepts, ce qui implique de fusionner la visualisation avec les informations structurées issues de la définition terminologique. Le but d'une telle

combinaison est une meilleure compréhension des systèmes conceptuels complexes et dynamiques.

## 4. ANALYSE DES RÉSULTATS

Comme nous l'avons indiqué plus tôt dans ce mémoire, les adjectifs sont un élément clé du discours scientifique en fournissant des descriptions détaillées et des caractéristiques distinctives de certains phénomènes. Dans ce mémoire, nous avons choisi des groupes d'adjectifs pour lesquels nous avons remarqué lors des travaux sur le projet TermFrame qu'il existe un potentiel pour une analyse terminologique plus approfondie. En effet, lors de l'annotation des définitions terminologiques, et généralement en travaillant sur des corpus, il a été remarqué que certains groupes d'adjectifs dans le domaine du karst montrent une complexité dans la détermination de leur significations. Des difficultés dans la détermination de leurs attributs sémantiques et un manque général de systématisation de la terminologie karstique en ce qui concerne les termes adjectivaux ont également été constatés. D'après Grčić Simeunović *et al.* (2020), dans les dictionnaires professionnels, l'adjectif n'est pas présenté de manière indépendante, ce qui ne permet pas d'en percevoir l'ambiguïté ou la multidimensionnalité. L'absence d'entrées d'adjectifs rend le travail particulièrement difficile pour un traducteur qui n'est pas nécessairement un expert en la matière.

Dans cette analyse, nous avons essayé de résoudre ces problèmes et de systématiser au moins une partie de la terminologie des adjectifs dans le domaine du karst. De plus, nous avons essayé de prouver que les adjectifs eux-mêmes sont porteurs de sens terminologique et, en tant que tels, fonctionnent de manière indépendante et influencent les attributs sémantiques du nom avec lequel ils sont en collocation. Alors, nous partons de l'hypothèse que les adjectifs (et compléments de nom) participent à la catégorisation des termes et qu'il est alors important de prendre en considération leur ambiguïté et multidimensionnalité. Dans ce qui suit, nous analyserons quatre groupes d'adjectifs et leurs collocations. Nous commencerons par le groupe ayant pour racine *glacijalan* – *glaciaire* – *glacial*, et leurs variations morphologiques. Nous analyserons ensuite les collocations [ pukotinski + N ] – [ N + de fissure ] – [ fissure + N ], et les adjectifs fosilan – fossile – fossil et aktivan – actif – active.

### 4.1. Adjectifs ayant pour racine *glacijalan* – *glaciaire* – *glacial*

Nous commencerons d'abord l'analyse par l'adjectif **glacijalan** – **glaciaire** – **glacial**. Cet adjectif définit un type de relief constitué de formation de glace, plus précisément de glaciers. Il fait également référence à la période géologique au cours de laquelle de vastes étendues de terre étaient recouvertes de glace. Cet adjectif pourrait donc faire référence à deux

attributs sémantiques possibles : CAUSE et ÂGE. En combinaison avec des noms désignant des catégories de temps, son attribut sémantique est : ÂGE. Les collocations suivantes sont trouvées dans les trois langues: *glacijalno razdoblje – période glaciaire – glacial period*, *glacijalni maksimum – maximum glaciaire – glacial maximum*. Dans la langue anglaise, on trouve aussi *glacial epoch* et *glacial stage*, dans la langue française *phase glaciaire*, *cycle glaciaire* et *stade glaciaire*, et en croate *glacijalni interval*.

Dans le cas où cet adjectif vient en combinaison avec des termes désignant les formes de relief, des processus ou des éléments abiotiques géomorphologiques, son attribut sémantique est CAUSE (cf. tableau 2 pour la répartition des attributs selon les catégories sémantiques des noms). En croate, dans ce cas-là, l'adjectif **glacijalan** est synonyme de l'adjectif **ledenjački**. On retrouve les collocations suivantes pour cette catégorie : *glacijalni/ledenjački sediment – sédiment glaciaire – glacial sediment*, *glacijalna/ledenjačka erozija – érosion glaciaire – glacial erosion*, *glacijalna/ledenjačka dolina – vallée glaciaire – glacial valley*, *glacijalni/ledenjački oblik – forme glaciaire – glacial form*, *glacijalni/ledenjački reljef – relief glaciaire – glacial relief*, *glacijalna/ledenjačka strija – strie glaciaire – glacial striation*, *glacijalna/ledenjačka naslaga – dépôt glaciaire – glacial deposit*. En anglais et en français on trouve aussi : *cirque glaciaire – glacial cirque*, *torrent glaciaire – glacial stream*, *till glaciaire – glacial till*, *eau glaciaire – glacial water*, et seulement en français : *cavité glaciaire*, *drainage glaciaire*, *remplissage glaciaire*, *débris glaciaire*, *formation glaciaire*, et *surcreusement glaciaire*. En anglais on trouve aussi *glacial pothole* et *glacial exaration*.

Tab. 2. Répartition des collocations *glaciaire + N* selon les catégories sémantiques.

attribut	propriété		
	HR	FR	EN
ÂGE	glacijalno razdoblje	période glaciaire	glacial period
	glacijalni maksimum	maximum glaciaire	glacial maximum
	glacijalni interval		
		stade glaciaire	glacial stage
			glacial epoch
		phase glaciaire	
	<b>forme de relief</b>	<b>processus</b>	

	<i>HR</i>	<i>FR</i>	<i>EN</i>	<i>HR</i>	<i>FR</i>	<i>EN</i>
<b>CAUSE</b>	glacijalni/ ledenjački reljef	relief glaciaire	glacial relief	glacijalna/ ledenjačka erozija	érosion glaciaire	glacial erosion
	glacijalna/ ledenjačka dolina	vallée glaciaire	glacial valley	drainage glaciaire		
	glacijalni/ ledenjački oblik	forme glaciaire	glacial form	remplissage glaciaire		
	glacijalna/ ledenjačka strija	strie glaciaire	glacial striation	surcreusement glaciaire		
		cirque glaciaire	glacial cirque	glacial exaration		
		cavité glaciaire				
		formation glaciaire				
			glacial pothole			
	<b>élément abiotique</b>					
	<i>HR</i>		<i>FR</i>		<i>EN</i>	
<b>CAUSE</b>	glacijalni/ledenjački sediment		sédiment glaciaire		glacial sediment	
	glacijalna/ledenjačka naslaga		dépôt glaciaire		glacial deposit	
			torrent glaciaire		glacial stream	
			till glaciaire		glacial till	
			eau glaciaire		glacial water	
			débris glaciaire			

Dans la suite, nous analyserons les variations morphologiques de l'adjectif **glacijalan – glaciaire – glacial**. À savoir, en combinaison avec des préfixes, tels que pro-, pré-, péri-, supra-, sub-, etc. le sens change. Ce qui suit montrera comment la signification change selon le préfixe. Nous allons analyser les adjectifs suivants :

Tab. 3. Adjectifs formés par combinaison : racine *glacijalan – glaciaire – glacial* + préfixe.

**proglacijalan – proglaciaire – proglacial**

**predglacijalan – préglaciaire – preglacial**

**interglacijalan – interglaciaire – interglacial**

**postglacijalan – postglaciaire – postglacial**

**periglacijalan – périglaciaire – periglacial**

**subglacijalan – subglaciaire/sous-glaciaire – subglacial**

---

**supraglacial – supraglaciale – supraglacial**

**inraglacial – inraglaciale – englacial**

---

et trois adjectifs ayant pour racine *-glacio-* :

Tab. 4. Adjectifs ayant pour racine *-glacio-*.

---

**glaciolakustrinski/glaciojezerski – glacio-lacustre – glaciolacustrine**

**fluvioglacialni – fluvio-glaciale – fluvioglacial**

**glaciokrški – glaciokarstique – glaciokarst**

---

L'adjectif **proglacial – proglaciale – proglacial** par sa définition désigne quelque chose qui se trouve devant, sur ou immédiatement derrière le bord d'un glacier ou d'une calotte glaciaire, et donc son attribut sémantique est : POSITION. Les collocations suivantes apparaissent dans les trois langues : *proglacialno jezero – lac proglaciale – proglacial lake, proglacialni sediment – sédiment proglaciale – proglacial sediment*. En français aussi *marge proglaciale, eau proglaciale, dépôt de type proglaciale* et *karst proglaciale*, en croate *proglacialna zona*, et en anglais *proglacial material* et *proglacial deposit*.

L'adjectif **periglacialni – périglaciale – periglacial** fait référence à quelque chose qui se produit ou opère à proximité de la marge d'un glacier, et son attribut sémantique est : POSITION. On retrouve les collocations suivantes : *periglacialni reljef – relief périglaciale – periglacial relief, periglacialna zona – zone périglaciale – periglacial zone*. En français et en anglais nous trouvons aussi : *climat périglaciale – periglacial climate*, et en anglais et en croate : *periglacialna naslaga – periglacial deposit, periglacialni sediment – periglacial sediment*. Seulement en anglais : *periglacial cave, periglacial sinkhole* et *periglacial weathering*. En croate nous trouvons aussi : *periglacialna rastrožba, periglacialno trošenje* et *periglacialni vapnenac*.

L'adjectif **subglacial – subglaciale/sous-glaciale – subglacial** décrit quelque chose qui se trouve ou se produit sous un glacier ou une calotte glaciaire. Son attribut sémantique est aussi : POSITION. Les collocations suivantes apparaissent dans les trois

langues : *subglacijalno jezero* – lac *subglaciaire* – *subglacial lake*, *subglacijalni til* – *till subglaciaire* – *subglacial till*, *subglacijalni sediment* – *sédiment sous-glaciaire* – *subglacial sediment*, *subglacijalne vode* – *eaux sous-glaciaires* – *subglacial meltwaters*. En anglais et en français nous trouvons : *drainage sous-glaciaire* – *subglacial drainage* et *écoulement sous-glaciaire* – *subglacial runoff*. Seulement en français nous trouvons les collocations suivantes : *océan subglaciaire*, *érosion sous-glaciaire*, *karst sous-glaciaires*, *position sous-glaciaire*, *débris sous-glaciaire* et *perte sous-glaciaire*, en anglais : *subglacial aquifer* et *subglacial process*, et en croate : *subglacijalni transport*.

L'attribut sémantique de l'adjectif **supraglacijalan** – **supraglaciaire** – **supraglacial** est aussi POSITION. Cet adjectif désigne quelque chose lié à, situé ou se produisant à la surface d'un glacier. La position est indiquée dans les exemples suivants dans les trois langues : *supraglacijalni til* – *till supraglaciaire* – *supraglacial till*, *supraglacijalno jezero* – *lac supraglaciaire* – *supraglacial lake*, *supraglacijalni kanal* – *chenal supraglaciaire* – *supraglacial canal*. En anglais nous trouvons aussi : *supraglacial stream* et *supraglacial drainage*, en français : *grotte supraglaciaire* et *écoulement supraglaciaire*, et en croate : *supraglacijalni transport*.

Enfin, l'adjectif **intraglacijalan** – **intraglaciaire** – **englacial** désigne quelque chose situé, se produisant ou formé à l'intérieur d'un glacier. Son attribut sémantique est donc aussi POSITION. Une seule collocation est trouvée dans toutes les trois langues : *intraglacijalni kanal* – *conduit intraglaciaire* – *englacial conduit*. En anglais on trouve : *englacial attenuation*, *englacial debris* et *englacial water drainage*. En français : *vidange intraglaciaire*, *hydrologie intraglaciaire*, *galerie intraglaciaire*, *cavité intraglaciaire*, *lac intraglaciaire*, *réseau intraglaciaire*. En croate : *intraglacijalni sediment* et *englacijalni transport*.

Nous pouvons conclure que les collocations avec ces cinq adjectifs indiquent la POSITION par rapport au glacier (voir figure 3).

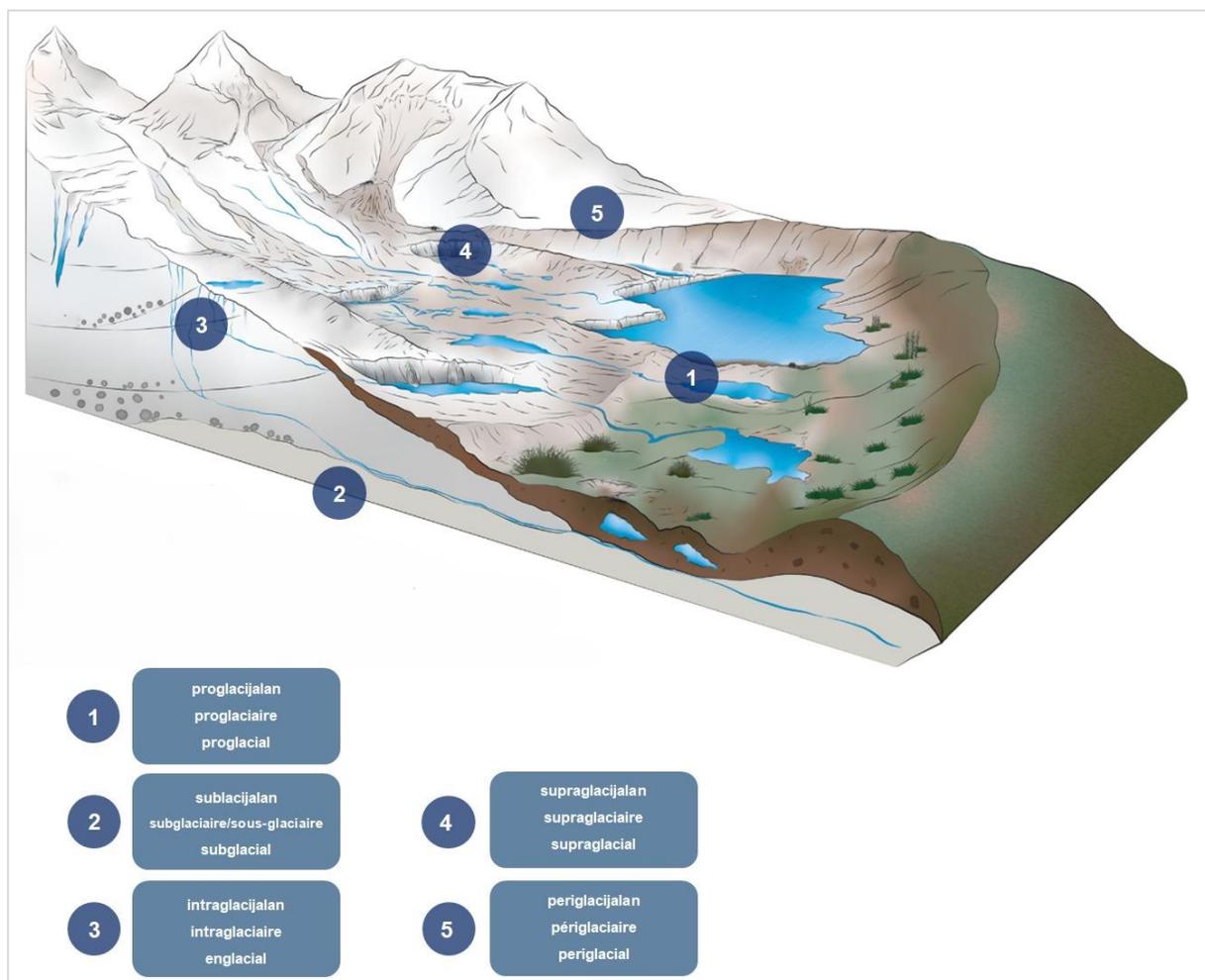


Figure 3. Représentation schématique de la disposition spatiale des adjectifs ayant pour racine glacijalan – glaciaire – glacial, dont l’attribut sémantique est POSITION.

Nous poursuivons l’analyse des variantes préfixales de l’adjectif glacijalan – glaciaire – glacial. L’adjectif **predglacijalan** – **préglaciaire** – **preglacial** fait référence à quelque chose qui date d’avant une période de glaciation, spécifiquement avant le Pléistocène. Son attribut sémantique est : ÂGE. Une seule collocation est trouvée dans toutes les trois langues : *predglacijalno doba* – *époque préglaciaire* – *preglacial period*. En anglais on trouve aussi : *preglacial erosion*, *preglacial sediment*, *preglacial cavity* et *preglacial valley*. En français : *karstification préglaciaire*, et en croate : *predglacijalni reljef*, *predglacijalna tektonika*.

Puis, l’adjectif **interglacijalan** – **interglaciaire** – **interglacial** désigne quelque chose lié à, ou se produisant pendant une période de climat plus chaud entre deux périodes glaciaires; son attribut sémantique est : ÂGE. On le retrouve dans les trois langues dans les collocations suivantes: *interglacijalno razdoblje* – *période interglaciaire* – *interglacial*

*period, interglacijalni ciklus – cycle interglaciaire – interglacial cycle et interglacijalni interval – intervalle interglaciaire – interglacial interval. En anglais et en français nous trouvons: phase interglaciaire – interglacial phase. En français on trouve aussi : vallée interglaciaire, karst interglaciaire, épisode interglaciaire et surcreusement interglaciaire. En anglais : interglacial maximum, interglacial deposit, interglacial stage, interglacial origin, interglacial condition, et interglacial speleothem.*

Il convient de noter que l'adjectif interglacijalan – interglaciaire – interglacial a le sens inverse de glacijalan – glaciaire – glacial (lorsque son attribut sémantique désigne l'âge) : *période interglaciaire ≠ période glaciaire.*

Ensuite, l'adjectif **postglacijalan – postglaciaire – postglacial** fait référence à la période qui s'est écoulée depuis la dernière glaciation, depuis l'augmentation soudaine de la température il y a environ 10 000 ans. Son attribut sémantique est aussi : ÂGE. Les collocations suivantes apparaissent dans les trois langues : *postglacijalna erozija – érosion postglaciaire – postglacial erosion, postglacijalni odboj – décompression postglaciaire – postglacial rebound. En anglais et en croate nous trouvons: postglacijalno razdoblje – postglacial age, en français et en croate : karstification postglaciaire – postglacijalna karstifikacija. Nous trouvons seulement en français : detritisme postglaciaire et réajustement postglaciaire, en croate : postglacijalna zona et postglacijalni uvjeti, et en anglais : postglacial expansion, postglacial warming.*

Ainsi, ces trois adjectifs précédemment analysés et leurs collocations représentent le déterminant temporel des phénomènes en relation avec les intervalles glaciaires du passé géologique (voir figure 4).

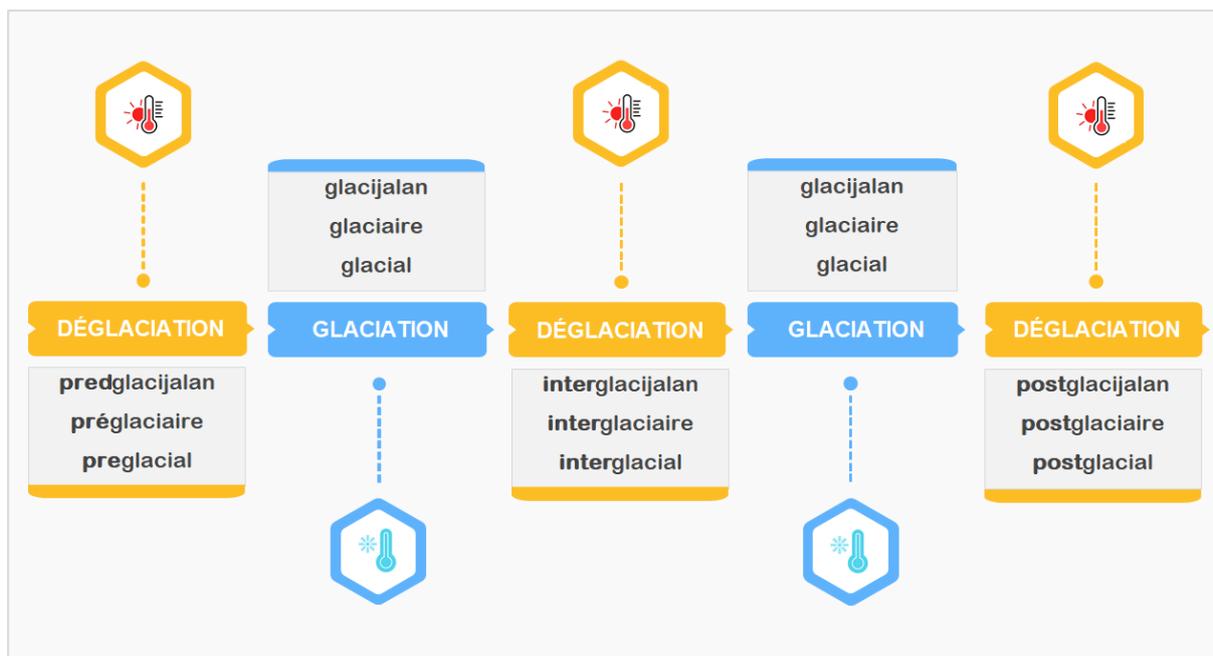


Figure 4. Représentation schématique de la disposition temporelle des adjectifs ayant pour racine *glacijalan – glaciaire - glacial*, dont l’attribut sémantique est ÂGE.

De plus, en plus des variations morphologiques préfixales, dans un but de systématisation, nous avons également inclus dans l’analyse des adjectifs ayant pour racine - *glacio-*. Nous avons détecté trois de ces variantes d’adjectifs dans les corpus.

L’adjectif **fluvioglacijalni – fluvio-glaciaire – fluvioglacial** se rapporte à ou désigne quelque chose qui est causé par l’écoulement de l’eau de fonte des glaciers ou des calottes glaciaires (voir figure 5). Son attribut sémantique est CAUSE. Nous trouvons les collocations suivantes en croate et en anglais : *fluvioglacijalni materijal – fluvioglacial material*, en français : *origine fluvio-glaciaire, remplissage fluvio-glaciaire*, et seulement en anglais : *fluvioglacial terrace, fluvioglacial sediment, fluvioglacial conglomerate, et fluvioglacial deposit*.



Figure 5. Exemple de relief fluvio-glaciaire. Gorge de Vintgar (ou gorge de Bled), Slovénie, a été créée par le retrait et la fonte des glaciers. L'eau glaciaire a creusé le lit de la rivière dans la roche. Photographié en septembre 2023.

L'adjectif **glaciolakustrinski/glaciojezerski** – **glacio-lacustre** – **glaciolacustrine** fait référence à quelque chose qui se rapporte à, ou provient de lacs dont la majeure partie ou la totalité de leur eau provient de la fonte d'un glacier. Son attribut sémantique est POSITION. En français nous trouvons les collocations suivantes : *dépôt glacio-lacustre*, *varve glacio-lacustre*, *barrage glacio-lacustre*, *système glacio-lacustre*, en anglais : *glaciolacustrine sedimentation*, et en croate: *glaciolakustrinski/glaciojezerski sediment*, *glaciolakustrinski okoliš*.

L'adjectif **glaciokrški** – **glaciokarstique** – **glaciokarst** fait référence à quelque chose qui est situé dans un type spécifique de paysage karstique qui a été considérablement influencé par l'activité glaciaire passée. Son attribut est POSITION. Nous trouvons les

collocations suivantes en croate : *glaciokrški reljef*, *glaciokrški reljefni oblici*, en français : *lac glaciokarstique*, *morphologie glaciokarstique*, *dépression glaciokarstique*, et en anglais: *glaciokarst terrain* et *glaciokarst processes*.

Tab. 5. Adjectifs ayant pour racine *-glacio-* et ses attributs sémantiques.

<b>GLACIOLAKUSTRINSKI – GLACIO-LACUSTRE – GLACIOLACUSTRINE</b>	POSITION
<b>GLACIOKRŠKI – GLACIOKARSTIQUE – GLACIOKARST</b>	POSITION
<b>FLUVIOGLACIJALNI – FLUVIO-GLACIAIRE – FLUVIOGLACIAL</b>	CAUSE

En analysant ces trois adjectifs, on peut conclure que l’attribut sémantique change selon que la racine *-glacio-* sert de préfixoïde, auquel cas on enregistre l’attribut POSITION, tandis que dans le cas où le préfixoïde est autre chose, comme dans l’exemple de fluvio-glaciaire (où *fluvio* sert de préfixoïde), l’attribut sémantique est CAUSE (cf. tableau 5).

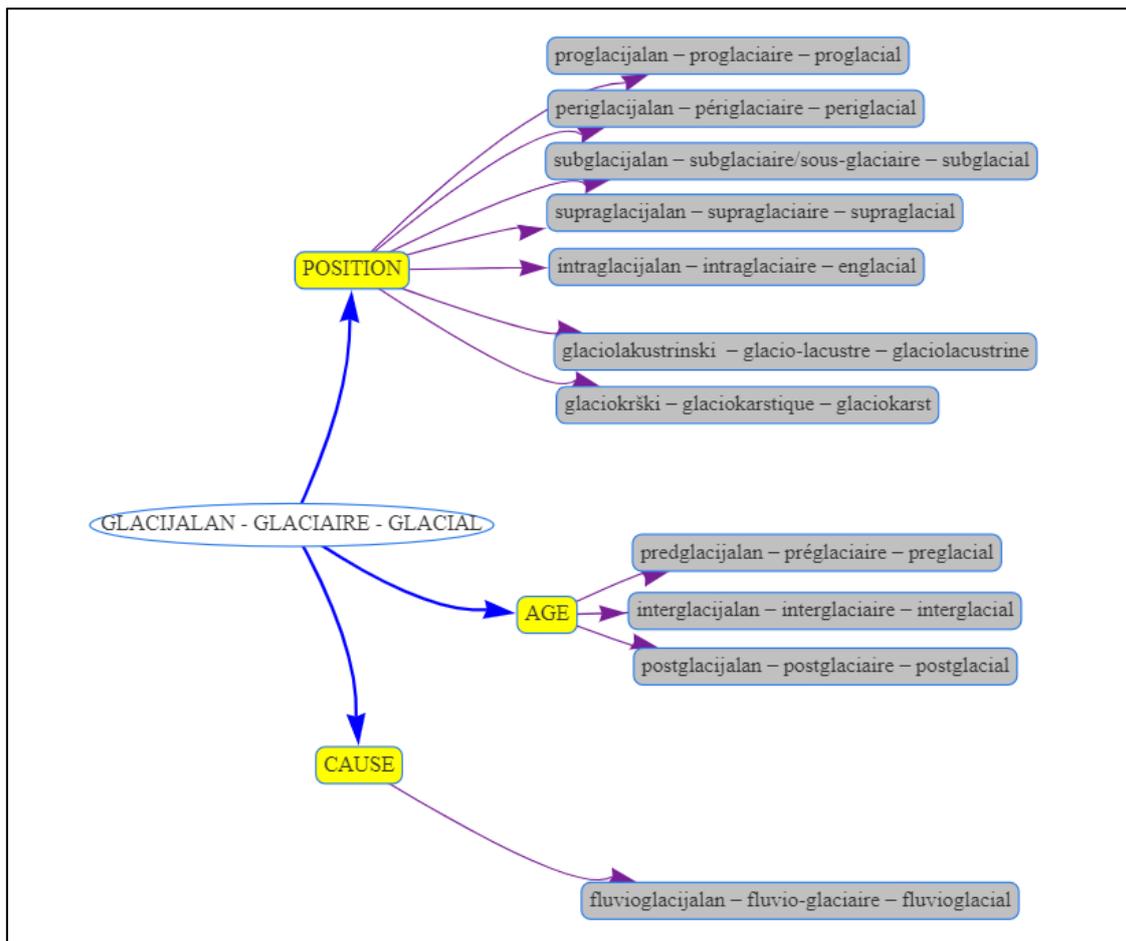


Figure 6. Répartition des attributs sémantiques des adjectifs ayant pour racine glacijalan – glaciaire – glacial.

#### 4.2. Collocations [ pukotinski + N ] – [ N + de fissure ] – [ fissure + N ]

En croate, l'adjectif *pukotinski* est dérivé du nom *pukotina* (fissure), alors qu'en français son équivalent est complément de nom « fissure ». Alors, le schéma est : *pukotinski* + N en croate ; N + *de fissure* en français ; et *fissure* + N en anglais. Selon les données enregistrées dans les corpus, ces combinaisons peuvent indiquer la POSITION (lorsqu'elles désignent des phénomènes dont la cause n'est pas définie par le processus provoqué par les fissures, mais lorsque la fissure représente le lieu d'origine du phénomène), mais elles peuvent également indiquer la CAUSE – si l'existence de fissures est déterminante dans leur formation (cf. figure 7, pour un exemple de forme relief dont la cause est l'existence de fissure).



Figure 7. Un exemple de forme en relief dont la cause est l'existence d'une fissure. Il s'agit d'une source de fissure près de Planinsko polje, en Slovénie centrale. Photographié en octobre 2020.

On trouve l'attribut POSITION dans les trois langues dans les collocations suivantes : *pukotinska voda* – *eau de fissure* – *fissure/crevice water*. En anglais et en croate on trouve aussi : *pukotinska temeljnica* – *fissure/crevice groundwater*, et *pukotinski krš* – *crevice karst*. L'attribut CAUSE est enregistré dans les collocations suivantes : *pukotinska špilja* – *grotte de fissure* – *fissure cave*, *pukotinska škrapa* – *lapiés de fissure* – *fissure karren*. Seulement en anglais et en croate on trouve : *pukotinska ponikva* – *crevice sinkhole*, *pukotinski kanal* – *fissure conduit*, *pukotinski izvor/vrelo* – *fissure spring*, et en croate et en français : *pukotinska šupljina* – *cavité de fissure*. En croate on trouve aussi *pukotinski ponor*.

Quant aux collocations suivantes, il est impossible d'attribuer un seul attribut, car elles désignent simultanément la POSITION et la CAUSE. Le processus se déroule simultanément dans la fissure, mais il est également provoqué par son existence : *pukotinska*

*cirkulacija – circulation de fissure – fissure circulation, pukotinska erozija – érosion de fissure – fissure erosion, pukotinska korozija – fissure corrosion, pukotinska poroznost – porosité de fissure – fissure/crevice porosity, en croate et en anglais: pukotinsko protjecanje – fissure flow, et en français perméabilité de fissure, en croate pukotinska šupljikavost.*

Tab. 6. Répartition des collocations [ pukotinski + N ] – [ N + de fissure ] – [ fissure + N ] selon catégories sémantiques des noms.

attribut	processus			propriété					
	HR	FR	EN	HR	FR	EN			
POSITION + CAUSE	pukotinska cirkulacija	circulation de fissure	fissure circulation	pukotinska poroznost					
	pukotinska erozija	érosion de fissure	fissure erosion	perméabilité de fissure					
	pukotinska korozija		fissure corrosion	pukotinska šupljikavost					
	pukotinsko protjecanje		fissure flow						
	élément abiotique			geome					
	HR	FR	EN	HR	FR	EN			
POSITION	pukotinska voda	eau de fissure	fissure water	pukotinski krš			fissure karst		
	pukotinska temeljnica		fissure groundwater						
	forme de relief								
	de surface			souterrain			hydrologique		
	HR	FR	EN	HR	FR	EN	HR	FR	EN
CAUSE	pukotinska škrapa	lapiés de fissure	fissure karren	pukotinska špilja	grotte de fissure	fissure cave	pukotinski kanal		fissure conduit
	pukotinska ponikva	fissure sinkhole	pukotinska šupljina	cavité de fissure			pukotinski izvor		fissure spring
							pukotinski ponor		

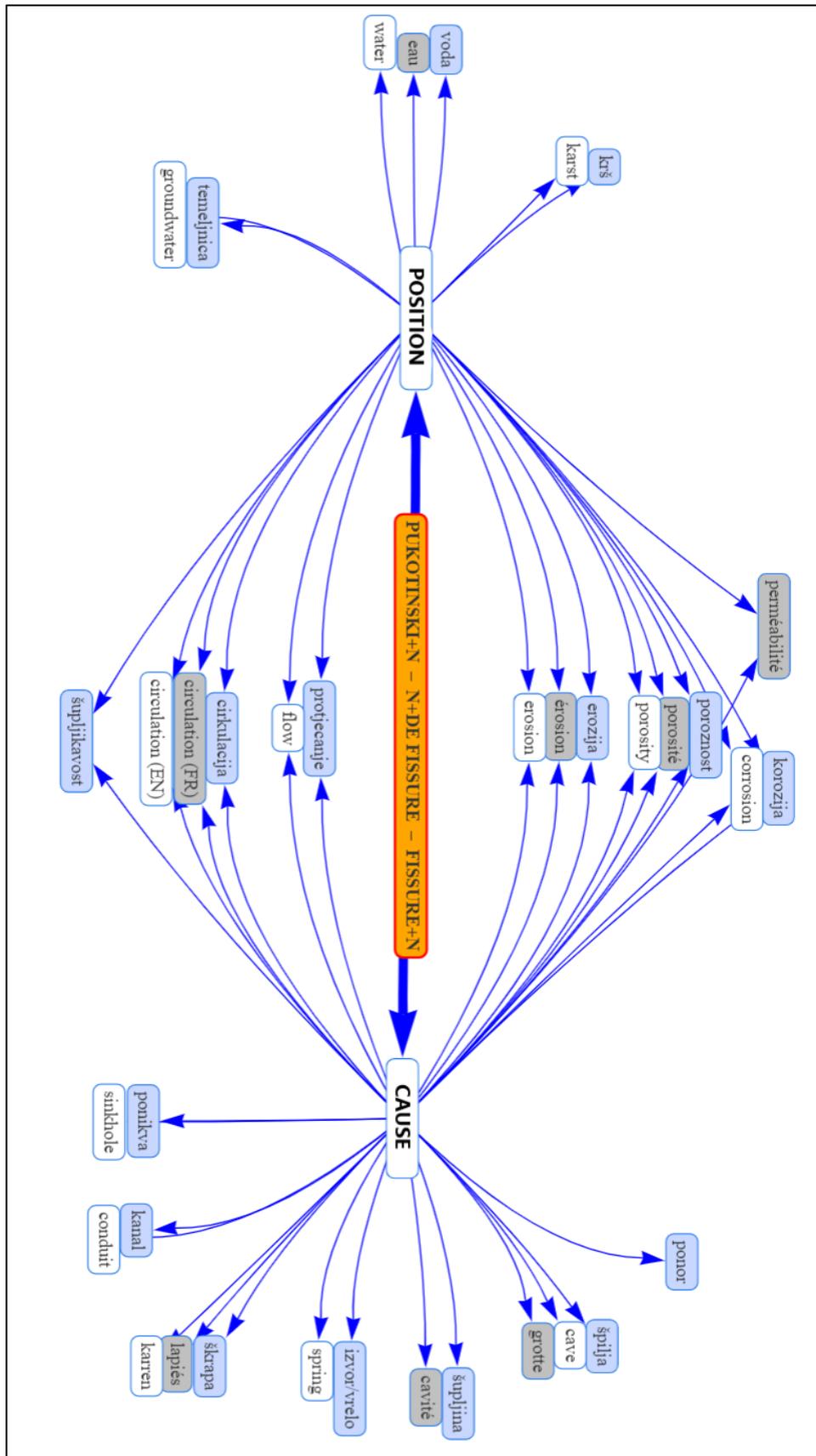


Figure 8. Répartition des collocations trouvées selon l'attribut sémantique pour [ pukotinski + N ] - [ N + de fissure ] - [ fissure + N ]

#### 4.3. L'adjectif **fosilan** – **fossile** – **fossil**

Pour l'adjectif **fosilan** – **fossile** – **fossil** trois attributs sémantiques différents ont été enregistrés. Tout d'abord, il peut désigner un attribut sémantique de FONCTION. Sa signification est dans ce cas-là définie par **l'absence d'eau**. Il a été noté que cet adjectif apparaît en collocation avec des termes désignant les reliefs souterrains dont l'origine est généralement causée par la présence d'eau, mais qui sont désormais définis par son absence (cf. figure 8, pour un exemple de forme de relief fossile).



Figure 9. Exemple d'un conduit fossile. Son origine est définie par la présence d'eau, mais aujourd'hui il est complètement sec. Photographié dans la grotte de Petnica, en Serbie, en avril 2023.

De même, il a été enregistré dans des collocations avec des reliefs hydrologiques qui sont définis par le fait qu'ils sont restés entre-temps sans cours d'eau. Dans ce cas-là, sa signification est inverse à celle de l'adjectif *actif*, (qui sera analysé dans le chapitre suivant) comme dans les collocations suivantes: *fossilni ponor – ponor fossile – fossil ponor, fossilni tok – torrent fossile – fossil watercourse, fossilni izvor – source fossile – fossil source* et *fossilni kanal – conduit fossile – fossil conduit*, en français: *cavité fossile*, et en croate : *fossilno vrelo*.

Puis, son attribut sémantique peut être aussi COMPOSITION, comme dans les exemples suivants : *fossilna špilja – grotte fossile – fossil cave, fossilne naslage – dépôts fossiles – fossil deposits*, et en anglais: *fossil carbonate*.

Enfin, il peut également désigner l'ÂGE : *fossilna voda (paleovoda) – eau fossile – fossil water, fossilna fauna – faune fossile – fossil fauna, fossilni ostatci – restes fossiles – fossil remains*, et en anglais: *fossil groundwater*.

Tab. 7. Répartition des collocations de l'adjectif *fossilni – fossile – fossil* selon les catégories sémantiques des noms.

attribut	forme hydrologique					
	HR		FR		EN	
FONCTION	fossil ponor		ponor fossile		fossil ponor	
	fossilni tok		torrent fossile		fossil watercourse	
	fossilni izvor		source fossile		fossil source	
	fossilni kanal		conduit fossile		fossil conduit	
	fossilno vrelo					
			cavité fossile			
	élément abiotique					
	HR		FR		EN	
AGE	fossilna voda		eau fossile		fossil water	
	fossilna fauna		faune fossile		fossil fauna	
	fossilni ostatci		restes fossile		fossil remains	
					fossil groundwater	
	élément abiotique			relief souterrain		
	HR	FR	EN	HR	FR	EN
COMPOSITION	fossilne naslage	dépôts fossiles	fossil deposits	fossilna špilja	grotte fossile	fossil cave

Les collocations *fossilna dolina – vallée fossile – fossil valley* impliquent une vallée fluviale recouverte de sédiments, c'est-à-dire la zone où coulait autrefois le cours d'eau. De ce point de vue, on peut dire qu'il s'agit à la fois de l'attribut de composition et de fonction. La même analogie peut être appliquée pour *fossilna terasa – fossil terrace*.

*Fossil karst – karst fossile* est un terme général désignant les formations karstiques formées dans un passé géologique lointain et maintenant préservées sous des sédiments plus jeunes, et donc l'attribut sémantique est à la fois ÂGE et POSITON.

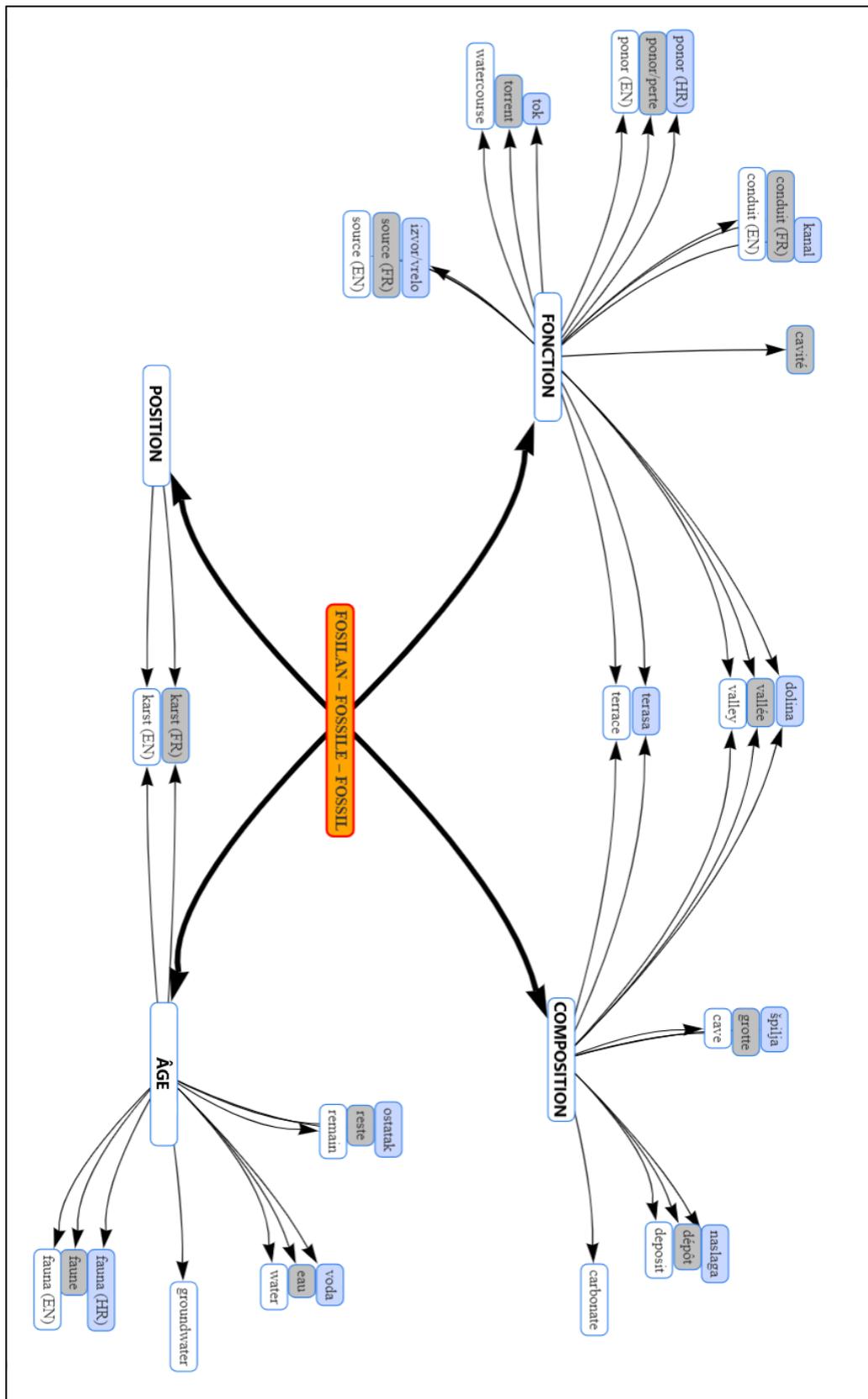


Figure 10. Répartition des collocations trouvées selon l'attribut sémantique (adjectif *fosilan - fossile - fossil*)

#### 4.4. L'adjectif **aktivan** – **actif** – **active**

L'adjectif **aktivni** – **actif** – **active** peut désigner l'attribut FONCTION : *aktivni ponor* – *perte active* – *active ponor*, en croate et en anglais : *aktivna špilja* – *active cave*, *aktivni kanal* – *active conduit*, en anglais et en français : *altération active* – *active weathering*, en français : *cavité active* et *faille active*, en anglais : *active valley*, et en croate : *aktivna poroznost* et *aktivni sipar*. Dans ce cas-là, sa signification est définie par la présence d'eau (voir figure 11, pour un exemple de forme de relief active, dont la fonction est définie par la présence d'eau).



Figure 11. Exemple d'une grotte active. Elle est définie comme active par la présence d'eau. Photographié dans la grotte de Baredine, Croatie, en septembre 2024.

Dans le cas des collocations : *karst actif* – *active karst* (un terrain ayant des reliefs et une hydrologie distinctifs créés principalement à partir de la dissolution de roches solubles) l'attribut sémantique est à la fois COMPOSITION et FONCTION.

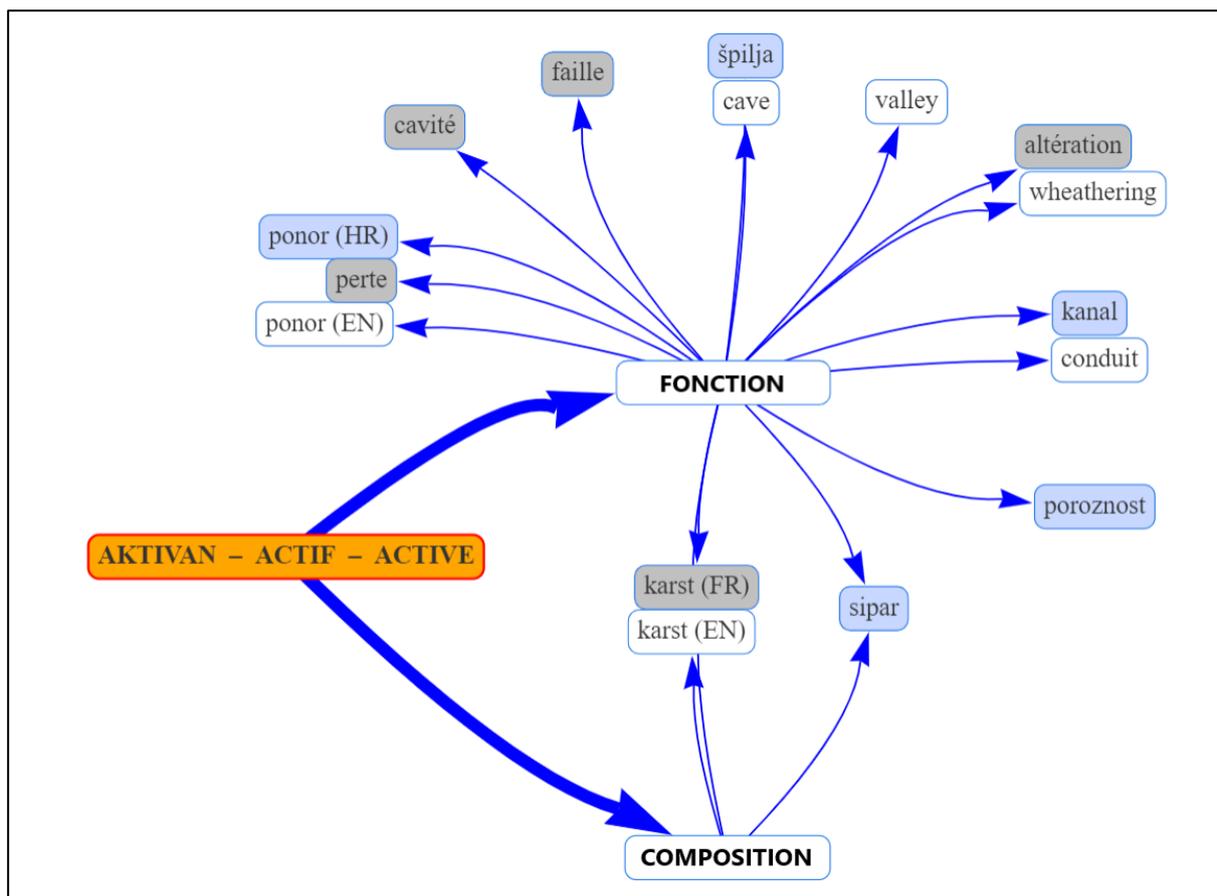


Figure 12. Répartition des collocations trouvées selon l'attribut sémantique (adjectif *aktivan – actif – active*)

Un certain nombre de collocations avec l'adjectif *fossile*, qui ont une signification antonymique par rapport aux adjectifs *actif*, ont été relevées (voir figure 13). L'antonymie est notée dans le cas où les collocations avec les deux adjectifs désignent l'attribut de FONCTION et sont colloquées avec des termes qui désignent les formes de relief. Dans ce cas-là, les deux adjectifs sont définis par la présence ou l'absence de l'eau.

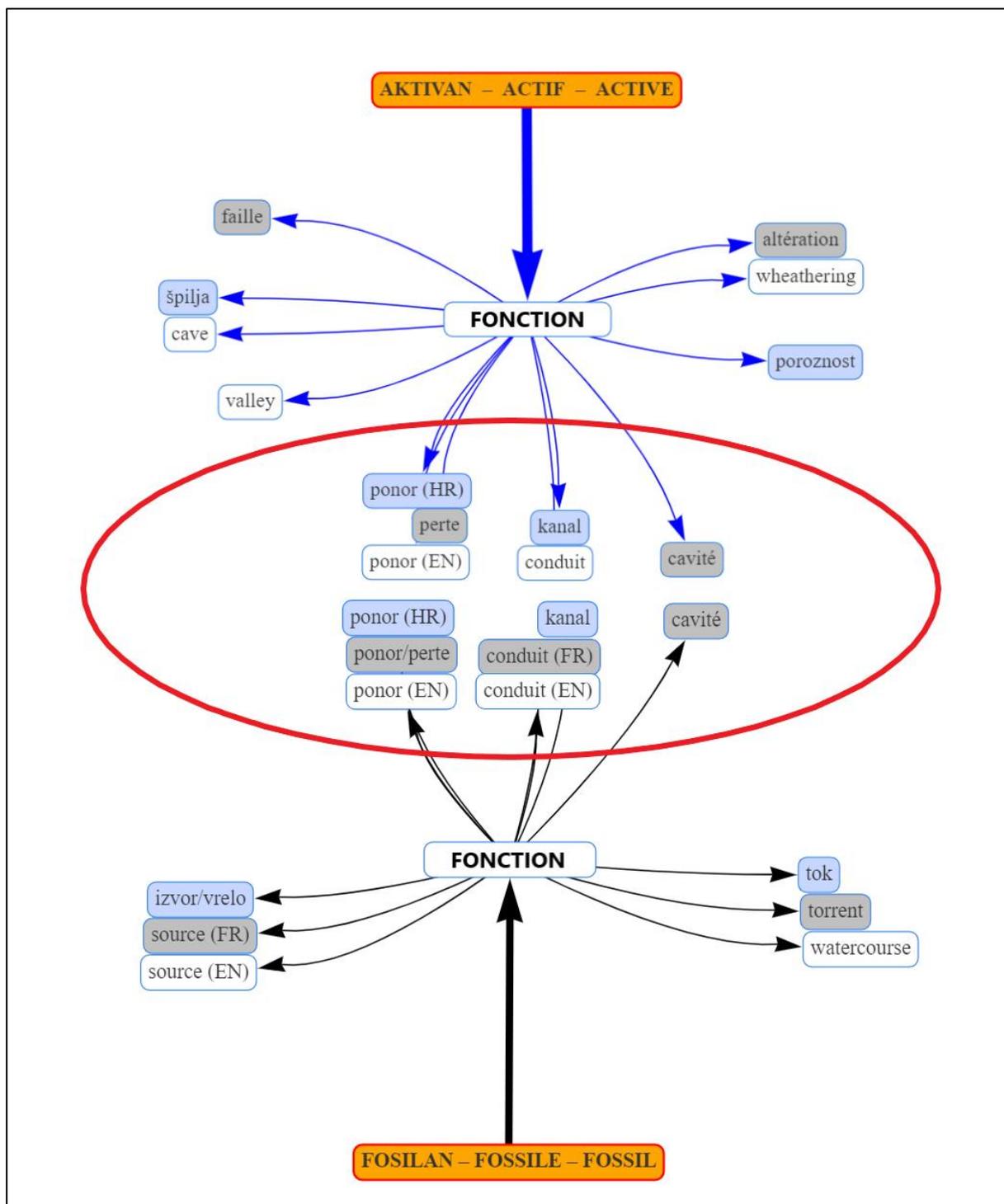


Figure 13. Antonymie des adjectives *fossile* et *actif*.

Afin de définir les adjectifs comme des termes indépendants dans la terminologie, il a fallu montrer qu'ils, tout comme les noms, sont porteurs de connaissances spécifiques. Les adjectifs ont une signification spécifique dans une discipline spécifique. Prenons l'exemple des adjectifs « actif » ou « fossile » : ce ne sont pas de simples descripteurs généraux. Ils déterminent exactement si, par exemple, il y a de l'eau dans la grotte ou non. Ce ne sont donc

pas de simples adjectifs, mais ils communiquent des informations spécialisées importantes. Cet exemple est un parfait indicateur de la manière dont les adjectifs présentent des caractéristiques distinctives parmi les concepts individuels. On peut également prendre l'exemple des adjectifs « glaciaire » et « interglaciaire », qui par leur contraste sont non seulement descriptifs, mais essentiels à la compréhension de la terminologie géomorphologique. Ainsi, si nous convenons que les adjectifs sont porteurs de sens ou sont des éléments clés de termes complexes, et répondent donc aux normes de la terminologie, nous pouvons conclure que les adjectifs fonctionnent effectivement comme des termes. Bien entendu, tout dépend du contexte dans lequel ils se trouvent.

## 5. TRADUCTION

### Texte source :

Sorriaux, P., Delmas, M., Calvet, M., Gunnell, Y., Durand, N., Pons-Branchu, E. (2016). 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*, 3-16.

<p><b>Relations entre karst et glaciers depuis 450 ka dans les grottes de Niaux-Lombrives-Sabart (Pyrénées ariégeoises) :</b></p> <p><b>Nouvelles datations U/Th dans la grotte de Niaux</b></p> <p><b>Introduction</b></p> <p>Le karst de Niaux-Lombrives-Sabart est un karst ancien réactivé à plusieurs reprises au cours des glaciations pléistocènes [Sorriaux, 1981 et 1982 ; Bakalowicz <i>et al.</i>, 1984]. L'objet de cet article est de revisiter les relations entre les glaciers et le système karstique durant les derniers 450 000 ans grâce à une vision renouvelée de l'englacement ariégeois et de nouvelles datations U/Th réalisées dans la grotte de Niaux.</p> <p>Le bassin de Tarascon est un bassin nord-pyrénéen constitué d'une série secondaire (Trias au Cénomanién) étroitement resserrée entre les massifs hercyniens des Trois-Seigneurs à l'ouest, du</p>	<p><b>Odnosi između krša i ledenjaka u posljednjih 450 ka u špiljama Niaux-Lombrives-Sabarta (ariješki Pireneji):</b></p> <p><b>Novo datiranje uran-torijem u špilji Niaux</b></p> <p><b>Uvod</b></p> <p>Krš Niaux-Lombrives-Sabarta je paleokrš reaktiviran nekoliko puta tijekom pleistocenskih glacijacija [Sorriaux, 1981. i 1982.; Bakalowicz i dr., 1984.]. Svrha ovog članka preispitivanje je odnosa između ledenjaka i krškog sustava u posljednjih 450 000 godina s pomoću novog razumijevanja ariješkog zaleđivanja i novih datiranja uran-torijem provedenih u špilji Niaux.</p> <p>Tarasconski bazen je sjeverno-pirenejski bazen sastavljen od sekundarne serije (trijas do cenoman) koja je tijesno zbijena između hercinskih masiva Trois-Seigneursa na zapadu,</p>
---	---

Saint-Barthélémy à l'est, de l'Arize au nord, et de l'Aston au sud. Les ensembles structuraux, constitués de plis anticlinaux et synclinaux, s'empilent vers le nord en une succession d'écaillés relativement étroites. Les calcaires qui soulignent l'ossature de ces structures y sont intensément plissés, fracturés, et de plus en plus bréchifiés et recristallisés à l'approche de la zone axiale. Sans préjuger de probables phases de karstification paléogène, lors de l'orogénèse pyrénéenne, les cavités et réseaux étagés de ces massifs se mettent en place en phase avec le soulèvement néogène de la surface d'aplanissement qui tronque conjointement les plis carbonatés et le socle gneissique de l'Aston, et qui s'incline de ~2200 m au sud jusque vers 1 400 m sur le Quié de Lujat au nord [Calvet, 1996 ; Calvet & Gunnell, 2008 ; Gunnell *et al.*, 2009]. Au cours du Quaternaire, ces massifs ont été à plusieurs reprises entièrement recouverts par les glaciers de l'Ariège et du Vicdessos [figure 1 ; Calvet *et al.*, 2011 ; Delmas *et al.*, 2011 et 2012 ; Delmas, 2009 et 2015].

Dans le massif du Cap de la Lesse, la série karstifiée du Crétacé inférieur affleure au cœur d'un anticlinal recoupé par la vallée du Vicdessos à Sabart. La base de la série est constituée de formations calcaires et gréseuses du Néocomien, bien stratifiées, de 120 m d'épaisseur environ. Le sommet montre des calcaires compacts, longtemps

Saint-Barthélémyja na istoku, Arizea na sjeveru, i Astona na jugu. Strukturne cjeline, sastavljene od antiklinalnih i sinklinalnih bora, gomilaju se prema sjeveru u nizu relativno uskih ljuskavih struktura. Vapnenci koji naglašavaju građu tih struktura intenzivno su nabrani, izlomljeni i, s približavanjem osnovj zoni, sve više brečirani te rekristalizirani. Neovisno o vjerojatnim fazama paleogenske karstifikacije, šupljine i stubaste mreže tih masiva tijekom pirenejske orogeneze položene su u skladu s neogenskim izdizanjem zaravni koja istovremeno okrnjuje karbonatne nabore i gnajsku podlogu Astona, i koja pada s oko 2 200 m na jugu do oko 1 400 m na vrhu Quié de Lujat na sjeveru [Calvet, 1996.; Calvet i Gunnell, 2008.; Gunnell i dr., 2009.]. Tijekom kvartara ti su masivi u nekoliko navrata bili potpuno prekriveni ledenjacima Ariège i Vicdessos [slika 1; Calvet i dr., 2011.; Delmas i dr., 2011. i 2012.; Delmas, 2009. i 2015.].

U masivu Cap de la Lesse karstificirana serija donje krede izbija u središtu antiklinale koju presijeca dolina Vicdessosa u Sabartu. Osnovu serije čine dobro uslojene neokomske formacije vapnenca i pješčenjaka, debljine približno 120 m. Na vrhu se vide kompaktni vapnenci, dugo smatrani vapnencima urgonskog

assimilés aux calcaires à faciès urgonien. Ces calcaires, dont l'âge s'étend du Néocomien à l'Aptien, atteignent près de 400 m d'épaisseur et sont recouverts par une série marneuse qui affleure dans la dépression d'Arbiech. Une quarantaine de cavités sont connues dans le massif du Cap de la Lesse. Elles s'étagent entre 1 000 m et quasiment le cours actuel de l'Ariège. Les trois principales sont les grottes de Niaux (680 m) et de Sabart (560 m), qui s'ouvrent sur la vallée du Vicdessos, et la grotte de Lombrives (600 m) sur la vallée de l'Ariège. L'ensemble constitue un réseau de 14 km de développement (figure 2). Il comprend trois étages bien distincts (figure 3) : un étage supérieur entre 650 et 700 m composé de la galerie principale reliant les grottes de Niaux et de Lombrives et les galeries supérieures de la grotte de Sabart ; un étage intermédiaire autour de 600 m, plus discontinu mais repérable dans les trois grottes ; et un étage inférieur autour de 550 m, constitué des galeries inférieures de Lombrives et de la grotte de Sabart. Le puits Garrigou de 42 m et un puits de 30 m dans la grotte de Lombrives permettent de relier le niveau 650-700 m à celui à 550 m. Deux grandes cheminées situées dans la grotte de Niaux remontent vers la surface : l'abîme Martel jusqu'à 967 m d'altitude, et les cheminées au-dessus du Salon Noir jusqu'à 780 m. La dénivellation totale du système est de 417 m.

facijesa. Ti vapnenci, čija se starost proteže od neokoma do apta, dosežu debljinu od gotovo 400 m i prekriveni su laporastom serijom koja izbija na površinu u depresiji Arbiech. U masivu Cap de la Lesse poznato je četrdesetak šupljina. One se kreću između visine od 1000 m gotovo do razine sadašnjeg toka Ariègea. Tri glavne su špilja Niaux (680 m) i špilja Sabart (560 m), koje izlaze na dolinu Vicdessosa, te špilja Lombrives (600 m) s izlazom na dolinu Ariègea. Ukupno čine 14 km razvojne mreže (slika 2). Uključuju tri vrlo različite razine (slika 3): gornju razinu između 650 i 700 m koja se sastoji od glavne galerije koja povezuje špilje Niaux i Lombrives te gornjih galerija špilje Sabart; srednju razinu na oko 600 m, više isprekidanu, ali lako prepoznatljivu u trima špiljama; te donju razinu na oko 550 m, koju čine donje galerije špilja Lombrives i Sabart. Okomiti kanal Garrigou od 42 m i jedan okomiti kanal od 30 m u špilji Lombrives povezuju razinu od 650-700 m s onom na 550 m. Dva velika dimnjaka koja se nalaze u špilji Niaux izbijaju na površinu: bezdan Martel do 967 m nadmorske visine, a dimnjaci iznad Salona Noira do 780 m. Ukupna visinska razlika sustava je 417 m.

## **I. Le remplissage karstique du réseau**

Les premiers visiteurs scientifiques du XVIIIe siècle [Marcorelle, 1773], puis ceux de la fin du XIXe siècle (Lucante, Garrigou, Noulet, Regnault), avaient remarqué la présence de dépôts variés dans les cavités, sans toutefois faire le lien avec l'histoire du karst, sa mise en place, ni son fonctionnement. De même, E.-A. Martel [1908] a établi l'unité hydrologique des trois cavités et envisagé un modèle de fonctionnement du karst essentiellement fondé sur les données topographiques (altitude des porches d'entrée), sans référence explicite à la stratigraphie du remplissage. Il faut attendre les années 1970 pour que les dépôts contenus dans les galeries soient clairement perçus comme des marqueurs fondamentaux de la mise en place et du fonctionnement du karst. C'est dans ce contexte que Ph. Renault propose, à l'occasion d'une excursion de l'Association des sédimentologues français, une première analyse de la séquence sédimentaire de Niaux-Lombrives-Sabart et, sur ces bases, un modèle d'évolution de ce karst en trois phases : (i) une période chaude ancienne (Villafranchien au Pléistocène, voire plus ancienne encore, jusqu'au Pliocène), caractérisée par un colmatage fin de couleur rouge ou jaune et se terminant par une phase sèche avec dépôts de calcite ; (ii) une période

## **I. Krška ispuna mreže**

Prvi znanstveni posjetitelji u 18. stoljeću [Marcorelle, 1773.], zatim oni s kraja 19. stoljeća (Lucante, Garrigou, Noulet, Regnault), primijetili su prisutnost različitih naslaga u šupljinama, međutim, nisu ih povezivali s poviješću krša, s njegovim nastankom ni s njegovim funkcioniranjem. Isto tako, E.-A. Martel [1908.] je utvrdio hidrološko jedinstvo triju šupljina i razmatrao model funkcioniranja krša koji se temeljio uglavnom na topografskim podacima (nadmorska visina ulaznog prostora), bez izričitog pozivanja na stratigrafiju ispune. Tek su 70-ih godina prošlog stoljeća naslage sadržane u galerijama jasno percipirane kao temeljni markeri nastanka i funkcioniranja krša. U tom kontekstu Ph. Renault, prigodom ekskurzije Udruge francuskih sedimentologa, predlaže prvu analizu sedimentne sekvencije Niaux-Lombrives-Sabarta i, na tim osnovama, model evolucije toga krša u tri faze: 1) davno toplo razdoblje (od vilafranka do pleistocena, ili još starije, do pliocena), obilježeno finim zapunjivanjem crvene ili žute boje koje završava suhom fazom s naslagama kalcita; 2) mlađe hladno razdoblje obilježeno grubim naslagama nastalim nakon crvenih naslaga (breče, šljunak, veliki egzogeni blokovi) i valovima erozije na zidovima šupljina ili na crvenim naslagama ranije faze; 3) konačno, kasno isušivanje

froide plus récente caractérisée par des dépôts grossiers postérieurs aux dépôts rouges (brèches, galets, gros blocs exogènes) et par des vagues d'érosion sur les parois des cavités ou sur les dépôts rouges de la phase antérieure ; (iii) enfin, un assèchement tardif du réseau, depuis 10 à 15 ka, associé à du concrétionnement depuis 5 à 6 ka [Renault, 1970].

Dans les années 1980, la thèse de P. Sorriaux permet de faire progresser significativement la connaissance du remplissage karstique et le fonctionnement du réseau [Sorriaux, 1981 et 1982 ; Bakalowicz *et al.*, 1984]. L'étude sédimentologique réalisée à l'échelle du système karstique s'appuie sur des analyses pétrographiques et minéralogiques fines des sédiments ainsi que sur des datations U/Th sur planchers stalagmitiques réalisées dans le laboratoire de D.C. Ford à l'Université Mc Master (Hamilton, Canada). L'équipe de D.C. Ford était en pointe sur cette méthode [Ford *et al.*, 1971 ; Thompson *et al.*, 1974 ; Schwarcz, 1980]. Elle disposait déjà d'une solide base de données sur le continent américain et en Grande Bretagne et lors d'une visite en Europe, D.C. Ford avait noté l'intérêt des remplissages karstiques dans la grotte de Niaux. Trois séquences principales associant plusieurs formations sont alors décrites (figure 4). Les formations ont reçu le nom du site où elles étaient les plus caractéristiques

mreže, u posljednjih 10 do 15 ka, povezano sa stvaranjem konkrecija u posljednjih 5 do 6 ka [Renault, 1970.].

Tijekom 1980-ih godina, disertacija P. Sorriauxa omogućila je značajno unaprjeđenje znanja o krškoj ispuni i funkcioniranju mreže [Sorriaux, 1981. i 1982.; Bakalowicz i dr., 1984.]. Sedimentološka studija provedena na razini krškog sustava temelji se na finim petrografskim i mineraloškim analizama sedimenata kao i na datiranju sigovine uran-torijem provedenim u laboratoriju D. C. Forda na Sveučilištu McMaster (Hamilton, Kanada). Tim D.C. Forda bio je u vrhu kad je riječ o toj metodi [Ford i dr., 1971.; Thompson i dr., 1974.; Schwarcz, 1980.]. Već su imali solidnu bazu podataka na američkom kontinentu i u Velikoj Britaniji, a tijekom posjeta Europi D. C. Ford je primijetio zanimanje za krške ispune u špilji Niaux. Tada su opisane tri glavne sekvencije koje povezuju nekoliko formacija (slika 4). Formacije su dobile naziv po lokalitetu gdje su bile najkarakterističnije (Aluvijalna formacija Lombrives) ili prema svojoj specifičnosti (Kalcitni kompleks). Svaka

(Formation Alluviale de Lombrives) ou suivant leur spécificité (Complexe de la Calcite). Chaque séquence représente un cycle complet dans lequel se succèdent : (i) une phase de sédimentation détritique exogène dans un **karst actif** et (ii) une phase de sédimentation endogène argileuse, détritique, carbonatée ou calcitique, dans un karst en voie d'assèchement.

Dans la séquence inférieure, les termes allogènes sont représentés par la Formation Alluviale de Lombrives (F1, figure 5 photo D). Cette dernière montre un faciès très hétérométrique à sa base, constituée de blocs et galets (pour l'essentiel granite et gneiss) très cimentés passant progressivement à des grès et des argilites à galets. La partie supérieure de la séquence correspond à la Formation Rouge (F2), précédemment mentionnée par Ph. Renault. Elle est essentiellement composée d'argilites très cimentées (figure 5 photo C), localement associées à des grès à graviers quartzeux et ferrugineux ou à des nodules carbonatés. Vers le haut, la sédimentation devient franchement lacustre avec des argilites jaunes litées, des niveaux à mondmlch indurés, et des niveaux carbonatés constitués de feuillets de calcite flottante compactée. Plusieurs niveaux de brèches d'effondrement s'intercalent aussi localement. Ces deux formations détritiques (F1 et F2) se caractérisent par des phénomènes d'altération

sekvencija predstavlja potpuni ciklus u kojem se nastavljaju jedna na drugu: 1) faza egzogene sedimentacije detritusa u **aktivnom kršu** i 2) faza endogene sedimentacije gline, detritusa, karbonata ili kalcita u kršu koji se isušuje.

U donjoj sekvenciji, alogeni termini predstavljeni su Aluvijalnom formacijom Lombrives (F1, slika 5, fotografija D). Potonja pokazuje vrlo heterometrijski facijes u svojoj osnovi, sastavljen od vrlo cementiranih blokova i šljunaka (uglavnom granita i gnajsa) koji postupno prelaze u pješčenjake i šljunčane glinence. Gornji dio sekvencije odgovara Crvenoj formaciji (F2), koju je ranije spomenuo Ph. Renault. U osnovi se sastoji od vrlo cementiranih glinenaca (slika 5, fotografija C), lokalno povezanih s pješčenjacima s kvarcnim i željeznim šljunkom ili s karbonatnim nodulama. Prema vrhu, sedimentacija postaje izrazito jezerska s uslojenim žutim glinencima, otvrdnutim razinama špiljskog mlijeka i karbonatnim razinama koje čine ploče kompaktnog plutajućeg kalcita. Lokalno je isprepleteno i nekoliko razina kolapsnih breča. Te dvije detritusne formacije (F1 i F2) obilježavaju vrlo razvijeni fenomeni trošenja i karbonatne dijagenoze. Pješčenjaci su pocrvenjeni i uočava se kalcitna epigeneza

<p>et de diagenèse carbonatée très développés. Les grès sont rubéfiés et on y observe une épigenèse calcitique des minéraux silicatés. Les fractions argileuses sont caractérisées par des associations de kaolinite et d'interstratifiés provenant de l'altération <i>in situ</i> des illites et chlorites. Des mesures paléomagnétiques sur la Formation Rouge indiquent un âge antérieur à 780 ka [Bakalowicz <i>et al.</i>, 1984]. Le Complexe de la Calcite (figure 5, photo B) représente le dernier terme de la séquence inférieure : il est constitué de planchers de plusieurs mètres d'épaisseur et de piliers stalagmitiques très imposants, qui traduisent une très longue période d'assèchement du karst, pour l'essentiel antérieure à 350 ka. La séquence moyenne est constituée de la Formation de la galerie des comtes de Foix (F3, figure 5 photo A), une formation détritique allogène composée de blocs et galets de granites et de gneiss, de taille décimétrique, pris dans une matrice sableuse grossière peu altérée. Cette formation allogène est scellée par une série de planchers stalagmitiques regroupés dans la formation F4. La séquence supérieure regroupe deux formations. La Formation Alluviale de Niaux (F5) est constituée de <b>sédiments fluvi-glaciaires</b> (sables, sables à graviers, blocs) non cimentés se terminant par des silts et des argiles caractéristiques d'un ennoisement généralisé du système ; la Formation F6 regroupe une grande variété de</p>	<p>silikatnih minerala. Glinene frakcije obilježene su asocijacijama kaolinita i međuslojeva koji potječu od <i>in situ</i> trošenja ilita i klorita. Paleomagnetska mjerenja na Crvenoj formaciji ukazuju na starost od preko 780 ka [Bakalowicz i dr., 1984.]. Kalcitni kompleks (slika 5, fotografija B) predstavlja posljednji termin donje sekvencije: čine ga sigovine debljine nekoliko metara i vrlo imponantni stalagmitski stupovi, koji odražavaju vrlo dugo razdoblje isušivanja krša, uglavnom starije od 350 ka. Srednja sekvencija sastoji se od Formacije galerija grofova Foix (F3, slika 5, fotografija A), alogene detritusne formacije sastavljene od blokova i oblutaka granita i gnajsa, decimetarske veličine, uhvaćenih u malo izmijenjenu grubu pješčanu matricu. Ta alogena formacija zatvorena je nizom sigovina grupiranih u formaciji F4. Gornja sekvencija spaja dvije formacije. Aluvijalna formacija Niaux (F5) sastoji se od necementiranih <b>fluvioglacialnih sedimenata</b> (pijesak, pijesak sa šljunkom, blokovi) koji završavaju s muljevima i glinama karakterističnim za opće plavljenje sustava; Formacija F6 okuplja veliki izbor recentnih endogenih naslaga (decalcificirane gline, konkrecije, krioklastični sipari, kolapsne breče).</p>
--	---

dépôts endogènes récents (argiles de décalcification, concrétions, éboulis cryoclastiques, brèches d'effondrement).

L'opportunité de dater par U/Th (figure 4) les planchers stalagmitiques associés à ces trois séquences sédimentaires a permis de situer entre 250 et 200 ka la Formation de la galerie des comtes de Foix (F3), et entre 90 et 20 ka la Formation Alluviale de Niaux (F5). Ceci a aussi permis de faire le lien entre la mise en place de ces formations allogènes et une réactivation pléistocène. Cette remise en charge des cavités est directement liée à une remontée du niveau de base local déclenchée par l'englacement des vallées voisines et du Vicdessos. La multiplication des données U/Th a, par ailleurs, permis de mettre en évidence deux lacunes stratigraphiques : l'une située entre 350 et 290 ka au toit du Complexe de la Calcite (F2c), l'autre entre 175 et 130 ka au sein des planchers de génération F4. Ces deux événements ont également été reliés à des phases d'englacement dans les vallées voisines au cours desquelles la réactivation du système karstique n'a pas été suffisamment puissante pour se traduire par une érosion des dépôts antérieurs et une sédimentation détritique comparable à celle observée dans les séquences détritiques moyennes et supérieures.

Au total, ces premiers travaux

Prilika za datiranje sigovina uran-torijem (slika 4) povezanih s tim trima sedimentnim sekvencijama omogućila je da se Formacija galerije grofova Foix (F3) smjesti između 250 i 200 ka, a Aluvijalna formacija Niaux (F5) između 90 i 20 ka. Time je također omogućeno uspostavljanje veze između nastanka tih alogenih formacija i pleistocenske reaktivacije. To ponovno aktiviranje šupljina izravno je povezano s porastom lokalne osnovne razine izazvanim zaleđivanjem susjednih dolina i doline Vicdessosa. Umnožavanje uran-torij podataka omogućilo je, štoviše, isticanje dviju stratigrafskih praznina: jedna se nalazi između 350 i 290 ka na krovu Kalcitnog kompleksa (F2c), a druga između 175 i 130 ka unutar sigovina generacije F4. Ta dva događaja također su bila povezana s fazama zaleđivanja u susjednim dolinama tijekom kojih reaktivacija krškog sustava nije bila dovoljno snažna da rezultira erozijom ranijih naslaga i detritusnom sedimentacijom usporedivom s onom koja je opažena u srednjim i gornjim detritusnim sekvencijama.

Sve u svemu, ti prvi radovi [Sorriaux,

[Sorriaux, 1981 et 1982 ; Bakalowicz *et al.*, 1984] ont permis de mettre en évidence la complexité de l'évolution du karst avec (i) une mise en place ancienne du réseau, probablement en contexte fluvial (Formation Alluviale de Lombrives) et en phase avec le creusement des vallées, les écoulements karstiques se faisant du Videssos vers l'Ariège ; (ii) une longue phase de fossilisation du réseau, associée à la Formation Rouge (qui se termine par un épisode de sédimentation lacustre) et au Complexe de la Calcite (qui correspond à une longue phase sèche) ; (iii) une remise en charge du karst à plusieurs reprises durant les derniers 350 ka, en phase avec les glaciations pléistocènes. Les sédiments sont alors **d'origine fluvioglaciale**. Les glaciers de vallée qui ont occupé à plusieurs reprises le Videssos et l'Ariège étaient des glaciers à base tempérée associés à de très gros volumes d'eau de fonte et transportant des volumes assez importants de sédiments. Ce sont ces flux liquides (eaux de fonte) et flux solides (sédiments **d'origine fluvioglaciales**) qui se sont engouffrés puis déposés dans les galeries du réseau.

## II. Chronologie des glaciations pléistocènes dans les Pyrénées ariégeoises

Le **bassin glaciaire** ariégeois est le plus oriental des grands glaciers de vallée composites nord-pyrénéens (figure 1). Le

1981. i 1982.; i dr., 1984.] omogućili su da se istakne složenost evolucije krša 1) davnom uspostavom mreže, vjerojatno u fluvijalnom kontekstu (Aluvijalna formacija Lombrives) i istovremeno s formiranjem dolina krškim tokovima od Videssos prema Ariègeu; 2) dugom fazom fosilizacije mreže, povezanom s Crvenom formacijom (koja završava epizodom jezerske sedimentacije) i Kalcitnim kompleksom (što odgovara dugoj suhoj fazi); 3) ponovnim aktiviranjem krša u nekoliko navrata tijekom posljednjih 350 ka, istovremeno s pleistocenskim glacijacijama. Tadašnji sedimenti su **fluvioglacijalnog podrijetla**. Dolinski ledenjaci koji su opetovano zauzimali Videssos i Ariège bili su umjereni ledenjaci povezani s vrlo velikim količinama otopljene vode i prijenosom prilično velikih količina sedimenta. Upravo su ti tekući tokovi (otopljena voda) i čvrsti tokovi (sedimenti **fluvioglacijalnog podrijetla**) ponirali i potom se taložili u galerijama mreže.

## II. Kronologija pleistocenskih glacijacija u ariješkim Pirenejima

Ariješki **ledenjački bazen** najistočniji je od velikih kompozitnih dolinskih ledenjaka u Sjevernim Pirenejima (slika 1). Pirenejski

<p>glaciaire pyrénéen a fait l'objet dans le courant du XXe siècle d'un débat qui a opposé une conception polyglacialiste, largement inspirée du modèle alpin [Faucher, 1937 ; Goron, 1941], à une conception monoglaciale. Selon cette dernière, les Pyrénées n'auraient connu qu'une seule et unique phase d'englacement, localisée à la fin du Quaternaire après un épisode majeur d'aération du relief situé du Villafranchien au Quaternaire moyen et caractérisé par l'édification de « glacis alluviaux » étagés [Viers, 1960 et 1962 ; Taillefer, 1960, 1961 et 1963]. Les hautes et moyennes terrasses du piémont sont alors assimilées à cette longue période de glacioplation plutôt qu'à des <b>nappes fluvioglaciaires</b>. L'existence même de moraines anciennes est remise en cause, et la présence d'éléments altérés dans certains cordons morainiques est interprétée comme des remaniements de matériaux altérés avant leur prise en charge par le glacier en progression [Viers, 1963]. Il faut attendre le milieu des années 1980 et la datation par U/Th du remplissage de Niaux pour que la pluralité des glaciations soit définitivement reconnue, en bon accord avec les données paléoclimatiques globales [Emiliani, 1954]. Ainsi, F. Taillefer [1982 et 1985] distingue deux stades d'englacement, qu'il assimile respectivement au Riss et au Würm, mais les attributions chronologiques demeurent calquées sur le modèle alpin (les dépôts de</p>	<p>glacial bio je predmet rasprave tijekom 20. stoljeća u kojoj se suprotstavljala poliglacialistička koncepcija, uglavnom inspirirana alpskim modelom [Faucher, 1937.; Goron, 1941.], monoglacialističkoj koncepciji. Prema potonjoj, Pireneji bi doživjeli jednu jedinu fazu zaleđivanja, koncem kvartara, nakon velike epizode prozračivanja reljefa od vilafranka do srednjeg kvartara, karakteriziranu stvaranjem stubastih „aluvijalnih glasija“ [Viers, 1960. i 1962.; Taillefer, 1960., 1961. i 1963.]. Visoke i srednje terase podnožja tada su povezivane s tim dugim razdobljem glacioplanacije, a ne s <b>fluvioglacialnim navlakama</b>. Dovedeno je u pitanje samo postojanje starih morena, a prisutnost promijenjenih elemenata u određenim morenskim nizovima tumači se preraspodjelom promijenjenih materijala prije nego što ih je preuzeo napredujući ledenjak [Viers, 1963.]. Tek sredinom 1980-ih s datiranjem ispune Niauxa uran-torijem definitivno je prepoznata pluralnost glacijacija, u skladu s globalnim paleoklimatskim podacima [Emiliani, 1954.]. Tako F. Taillefer [1982. i 1985.] razlikuje dva stupnja zaleđivanja, koje svrstava u Riss i Würm, no kronološke atribucije ostaju temeljene na alpskom modelu (naslage <b>ledenjačkog ruba</b> na vanjskom položaju pripisuju se Rissu, a one u unutarnjem položaju pripisuju se Würmu), bez analize stanja trošenja naslaga. Uzimanjem u obzir</p>
---	--

**marge glaciaire** en position externe sont attribués au Riss et ceux en position interne sont attribués au Würm), sans analyse de l'état d'altération des dépôts. Une prise en compte du critère d'altération a permis de mettre en évidence que les moraines en position externes – le « stade d'expansion maximale » de Taillefer – renfermaient en fait des « moraines anciennes », suffisamment altérées pour être antérieures à l'Éémien, et des « moraines récentes », contemporaines de la dernière glaciation. L'ensemble des constructions morainiques en position interne, localisées entre le bassin de Tarascon et les hautes vallées, jalonnent les étapes de la déglaciation immédiatement postérieure au dernier maximum d'englacement [Delmas, 2009 ; Delmas *et al.*, 2012].

Une cartographie détaillée des **dépôts de marge glaciaire** à l'échelle du bassin versant a également permis d'identifier les relations géométriques entre la dernière réactivation des anciens conduits karstiques du réseau de Niaux Lombrives-Sabart et l'emprise spatiale des paléo-englacements localisés dans les vallées voisines de l'Ariège et du Vicdessos. Plusieurs stades d'englacement ont ainsi été identifiés en amont de l'emprise würmienne maximale (figure 1). Le stade Garrabet correspond à une emprise glaciaire encore très étendue, très proche de l'emprise würmienne

kriterija trošenja može se utvrditi da su morene na vanjskim položajima – Tailleferov „stadij najvećeg širenja“ – zapravo sadržavale „stare morene“, dovoljno potrošene da prethode posljednjem interglacijalu, i „mlade morene“, suvremene s posljednjom glacijacijom. Sve morenske konstrukcije u unutarnjem položaju, smještene između Tarasconskog bazena i visokih dolina, označavaju stupnjeve deglacijacije koja je uslijedila neposredno nakon posljednjeg maksimalnog zaleđivanja [Delmas, 2009.; Delmas i dr., 2012.].

Detaljno kartiranje **ledenjačkih rubnih naslaga** na razini sliva također je omogućilo identificiranje geometrijskih odnosa između posljednje reaktivacije paleokrških kanala mreže Niaux-Lombrives-Sabart i prostornog dosega paleozaleđivanja u susjednim dolinama Ariègea i Vicdessosa. Tako je identificirano nekoliko stadija zaleđivanja uzvodno od maksimalnog würmskog dosega (slika 1). Stadij Garrabet odgovara još uvijek vrlo raširenom glacijalnom dosegu, vrlo blizu maksimalnog würmskog dosega uzvodno od Tarascona, unatoč završnom položaju koji se

maximale en amont de Tarascon, en dépit d'une position terminale localisée 7 km en amont des moraines terminales de l'emprise würmienne maximale. À ce stade, la glace recouvre l'essentiel du massif du Cap de la Lesse jusque vers 1 150 m d'altitude. Au stade Bompas-Arignac, les langues de glace de l'Ariège et du Videssos sont considérablement amaigries et cantonnées au fond des auges. Grâce à une configuration topographique de la zone d'alimentation favorable aux accumulations neigeuses, le glacier de l'Ariège atteint encore le bassin de Tarascon où il construit la moraine frontale de Bompas-Arignac, 3,5 km en amont de celle de Garrabet. Par contre, dans la vallée du Videssos comme dans celle de la Courbière, les conditions d'alimentation sont moins favorables en raison de l'orientation est-ouest de ces vallées peu ouvertes aux perturbations d'origine océanique. De ce fait, dès le stade Bompas-Arignac, les glaciers du Videssos et de la Courbière ne confluent plus avec le glacier de l'Ariège, sur les marges duquel s'installent **des lacs de barrage glacio-lacustres** : lac de la basse vallée de la Courbière et lac de Niaux, dont le toit se situe vers 580 m d'altitude, soit sensiblement en contrebas du porche d'entrée de la grotte de Niaux (680 m). Sur ces bases, il apparaît que c'est entre le stade Garrabet et le stade Bompas-Arignac que la dernière mise en charge du système karstique a été

nalazi 7 km uzvodno od završnih morena najvećeg würmskog dosega. U tom stadiju, led prekriva veći dio masiva Cap de la Lesse do oko 1 150 m nadmorske visine. U stadiju Bompas-Arignac, jezici leda Ariègea i Videssososa znatno su tanji i ograničeni na dno dolina. Zahvaljujući konfiguraciji terena zone prihrane koja je pogodna za nakupljanje snijega, ledenjak Ariège još uvijek dopire do Tarasconskog bazena gdje stvara čeonu morenu Bompas-Arignac, 3,5 km uzvodno od čeone morene u stadiju Garrabet. S druge strane, u dolini Videssososa kao i Courbièrea, uvjeti prihrane su manje povoljni zbog orijentacije tih dolina na istok-zapad. Te doline nisu previše otvorene za poremećaje oceanskog podrijetla. Kao rezultat toga, od stadija Bompas-Arignac, ledenjaci Videssos i Courbière više se ne sjedinjuju s ledenjakom Ariège, na čijim su se rubovima smjestili **glaciolakustrinski rezervoari**: donje dolinsko jezero Courbièrea i jezero Niaux, čija se gornja granica nalazi na oko 580 m nadmorske visine, tj. znatno ispod ulaznog prostora u špilju Niaux (680 m). Na temelju toga, doima se da je između stadija Garrabet i stadija Bompas-Arignac prekinuto posljednje aktiviranje krškog sustava.

interrompue.

Les différents stades d'englacement de la vallée de l'Ariège ont fait l'objet de 37 datations par le nucléide cosmogénique  $^{10}\text{Be}$  produit *in situ* [Delmas *et al.*, 2011 et 2012]. Ces données ont permis de proposer une chronologie relativement détaillée des fluctuations des **marges glaciaires** au cours de la dernière glaciation. Il ressort que (i) l'emprise würmienne maximale du glacier de l'Ariège, comme de l'ensemble des glaciers de vallée composites de la façade nord-pyrénéenne, sont contemporains du stade isotopique marin MIS 4 ; (ii) que le front du glacier de l'Ariège a subi au cours du MIS 3 des fluctuations longitudinales de l'ordre d'une dizaine de kilomètres au minimum ; (iii) que la dernière avancée majeure du front est contemporaine du dernier maximum du froid à l'échelle globale [Global LGM : 24-19 ka, MARGO project members, 2009] et correspond à l'emprise du stade Garrabet ; (iv) enfin que les moraines frontales de Bompas-Arignac et Bernière, toutes deux localisées dans le bassin de Tarascon, se mettent en place vers 19-20 ka. Ce serait donc à la fin du Global LGM que le niveau de la glace dans la vallée du Vicdessos et de l'Ariège est devenu trop bas pour continuer à alimenter en eaux de fonte le système karstique de Niaux-Lombrives-Sabart.

Različiti stadiji zaleđivanja u dolini Ariègea bili su predmet 37 datiranja s pomoću kozmogenog radionuklida  $^{10}\text{Be}$  proizvedenog *in situ* [Delmas i dr., 2011. i 2012.]. Ti su podatci omogućili uspostavljanje relativno detaljne kronologije fluktuacija **ledenjačkih rubova** tijekom posljednje glacijacije. Čini se da je 1) najveći würmski doseg ledenjaka Ariège, kao i svih kompozitnih dolinskih ledenjaka sjevernog pročelja Pireneja, suvremen s marinskim izotopskim stadijem MIS 4; 2) čelo ledenjaka Ariège doživjelo uzdužne fluktuacije od oko najmanje deset kilometara tijekom MIS 3; 3) posljednje veliko napredovanje čela istovremeno je s posljednjim ledenim maksimumom na globalnoj razini [globalni posljednji **glacijalni maksimum** – Global LGM: 24-19 ka, članovi projekta MARGO, 2009.] i odgovara dosegu stadija Garrabet; 4) i konačno, da su čeine morene Bompas-Arignac i Bernière, obje smještene u Tarasconskom bazenu, formirane prije oko 19-20 ka. Dakle, na kraju globalnog LGM-a razina leda u dolini Vicdessosa i Ariègea postala je preniska da nastavi opskrbljivati otopljenom vodom krški sustav Niaux-Lombrives-Sabart.

### III. Une nouvelle série de datations U/Th

En 2013, une nouvelle campagne d'échantillonnage a été entreprise dans la grotte de Niaux dans le cadre d'une autorisation de prospection-inventaire [Sorriaux, 2014]. L'objectif était de préciser et compléter la chronostratigraphie du remplissage grâce à l'acquisition de deux séries de données : (i) des datations par enfouissement via la mesure de deux nucléides cosmogéniques ( $^{26}\text{Al}$  et  $^{10}\text{Be}$ ) produits dans le quartz des formations alluviales siliceuses avant leur entrée dans le système karstique ; (ii) des datations U/Th sur les spéléothèmes des trois séquences sédimentaires qui caractérisent le remplissage. L'essentiel des datations par enfouissement est encore en cours d'étude.

Concernant les datations U/Th, 11 échantillons ont été prélevés dans Niaux, entre l'entrée et le lac terminal (figure 6) en essayant dans la mesure du possible de faire des carottes de 25 mm de diamètre pour préserver les sites. Pour certains prélèvements, ce sont les fragments de planchers laissés en 1980 qui ont été prélevés. 7 échantillons correspondent à des niveaux déjà datés en 1980 : Ni13-01, Ni13-21, Ni13-22, Ni13-07, Ni13-11, Ni13-06 et Ni13-04 respectivement ND1, ND16, ND8, ND2, ND7, ND6 et ND5. L'analyse par la méthode U/Pb n'a pas été réalisable du fait de teneurs faibles en uranium et de la présence de

### III. Nova serija datiranja uran-torijem

Godine 2013. poduzeto je novo uzorkovanje u špilji Niaux u okviru odobrenja za istraživanje i popisivanje [Sorriaux, 2014.]. Cilj je bio precizirati i dovršiti kronostratigrafiju ispune prikupljanjem dviju serija podataka: 1) datiranja ukapanjem mjereno dvama kozmogenim radionuklidima ( $^{26}\text{Al}$  i  $^{10}\text{Be}$ ) proizvedenim u kvarcu silikatnih aluvijalnih formacija prije njihova ulaska u krški sustav; 2) datiranja uran-torijem na speleotemima triju sedimentnih sekvencija koje karakteriziraju ispunu. Većina podataka datiranja ukapanjem još se proučava.

Što se tiče datiranja uran-torijem, 11 uzoraka uzeto je u Niauxu, između ulaza i završnog jezera (slika 6), pokušavajući koliko god je to moguće napraviti jezgre promjera 25 mm kako bi se sačuvala nalazišta. Za pojedine uzorke uzeti su upravo ulomci sigovina preostali iz 1980. godine. 7 uzoraka odgovara razinama već datiranim 1980.: Ni13-01, Ni13-21, Ni13-22, Ni13-07, Ni13-11, Ni13-06 i Ni13-04 redom ND1, ND16, ND8, ND2, ND7, ND6 i ND5. Analiza uran-olovo metodom nije bila moguća zbog niskog sadržaja urana i prisutnosti olova, uobičajenog u tim uzorcima (usmena komunikacija, P. Deschamps,

<p>plomb, commune dans ces échantillons (comm. orale, P. Deschamps, CEREGE).</p> <p><b>A. Méthode de datation U/Th</b></p> <p>En laboratoire, des ré-échantillonnages sur des zones ciblées (sommets ou bases des planchers en particulier, profils axiaux sur les carottes) ont conduit à la réalisation de 27 datations. Pour certains échantillons, des indices de dissolution/recristallisation en certains endroits ont guidé l'échantillonnage sur les zones plus saines. Des échantillons de 0,1 à 0,5 g ont été utilisés pour les datations. Les analyses ont été effectuées au Laboratoire des Sciences du climat et l'Environnement (LSCE, UMR 8212). Après dissolution et ajout d'un traceur <math>^{229}\text{Th}</math>-<math>^{233}\text{U}</math> et <math>^{236}\text{U}</math>, les fractions uranium et thorium ont été purifiées sur résine U-TEVA (Eichrom) en milieu nitrique. Le protocole détaillé est décrit dans Pons-Branchu <i>et al.</i> [2014]. L'analyse a été effectuée par spectrométrie de masse, pour partie par ICPQ-MS (thermo-Fisher série X2), et pour le restant des échantillons par MC-ICPMS (Neptune+) équipé d'un désolvateur de type Aridus 2. Les procédures d'analyses sur ces appareils sont décrites dans Douville <i>et al.</i> [2010] (pour l'ICPQMS) et Pons-Branchu <i>et al.</i> [2014] (pour le MC-ICPMS).</p>	<p>CEREGE).</p> <p><b>A. Méthode de datation uran-torijem</b></p> <p>Ponovnim laboratorijskim uzorkovanjem ciljanih područja (posebno vrha ili baze sigovine, osnih profila na jezgrama) došlo se do 27 datiranja. Za pojedine se uzorke pri uzorkovanju vodilo indikatorima otapanja/rekristalizacije kako bi se došlo do zona koja su u boljem stanju. Za datiranje su korišteni uzorci od 0,1 do 0,5 g. Analize su provedene u Laboratoriju za klimatologiju i okoliš (LSCE, UMR 8212). Nakon otapanja i dodavanja <math>^{229}\text{Th}</math>-<math>^{233}\text{U}</math> i <math>^{236}\text{U}</math> <i>tracera</i>, frakcije urana i torija su pročišćene na UTEVA smoli (Eichrom) u dušičnom mediju. Detaljan protokol je opisan u Pons-Branchu i dr. [2014.]. Analiza je provedena masenom spektrometrijom, dijelom ICPQ-MS-om (thermo-Fisher serija X2), a za ostale uzorke MC-ICPMS-om (Neptune+) opremljenom <i>desolvatorom</i> tipa Aridus 2. Procedura analize na ovim uređajima opisana je u Douville i dr. [2010.] (za ICPQMS) i Pons-Branchu i dr. [2014.] (za MC-ICPMS).</p>
--	---

<b>B. Résultats</b>	<b>B. Rezultati</b>
<p>Le tableau 1 reporte les résultats des analyses (concentrations et âges) récemment acquises. Les concentrations en uranium montrent une grande variabilité (entre <math>0,178 \pm 0,0001</math> et <math>0,834 \pm 0,0001</math> ppm). Pour certains niveaux présentant des rapports <math>^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}</math> faibles, une correction d'âge a été effectuée, basée sur un rapport <math>^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}</math> de <math>1,5 \pm 50\%</math> pour la phase détritique. Les erreurs sur cette correction ont été propagées, augmentant ainsi la barre d'erreur de l'âge corrigé par rapport à l'âge brut. Les échantillons sont, par ordre stratigraphique descendant : 4 mesures concernent les planchers récents (F6) qui scellent la Formation Alluviale de Niaux (F5), 10 mesures les planchers intermédiaires (F4) et 13 le Complexe de la Calcite (F2c) et des concrétions présumées plus anciennes (F2b) intercalées dans la Formation Rouge. La nouvelle série de datations U/Th montre une bonne conformité avec la stratigraphie déjà établie, et une excellente précision des âges avec des incertitudes réduites par rapport aux résultats produits en 1980.</p> <p>La majorité des mesures (8 sur 13) réalisées dans les échantillons prélevés dans les niveaux calcitiques de la partie supérieure de la Formation Rouge ou dans le Complexe de la Calcite donnent des âges <math>&gt; 450</math> ka. Deux échantillons (Ni13-18 et Ni13-07) apportent cependant des informations</p>	<p>Tablica 1 prikazuje rezultate nedavno izvršenih analiza (koncentracija i starosti). Koncentracije urana pokazuju veliku varijabilnost (između <math>0,178 \pm 0,0001</math> i <math>0,834 \pm 0,0001</math> ppm). Za određene razine s niskim omjerima <math>^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}</math>, provedena je korekcija starosti na temelju omjera <math>^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}</math> od <math>1,5 \pm 50\%</math> za detritusnu fazu. Pogreške u ovoj korekciji su proširene, čime je povećana margina pogreške korigirane starosti u odnosu na bruto starost. Uzorci su prema silaznom stratigrafskom redoslijedu: 4 mjerenja odnose se na recentne sigovine (F6) koje zatvaraju Aluvijalnu formaciju Niaux (F5), 10 mjerenja na sigovinama srednje starosti (F4) i 13 na Kalcitnom kompleksu (F2c) i na konkrecijama za koje se pretpostavlja da su starije (F2b) uklopljenim u Crvenu formaciju. Nova serija datiranja uran-torijem pokazuje dobru usklađenost s već utvrđenom stratigrafijom i izvrsnu preciznost starosti uz smanjene nesigurnosti u usporedbi s rezultatima dobivenim 1980. godine</p>
<p>La majorité des mesures (8 sur 13) réalisées dans les échantillons prélevés dans les niveaux calcitiques de la partie supérieure de la Formation Rouge ou dans le Complexe de la Calcite donnent des âges <math>&gt; 450</math> ka. Deux échantillons (Ni13-18 et Ni13-07) apportent cependant des informations</p>	<p>Većina mjerenja (8 od 13) provedenih na uzorcima izuzetim iz kalcitnih razina gornjeg dijela Crvene formacije ili iz Kalcitnog kompleksa daju starost <math>&gt; 450</math> ka. Dva uzorka (Ni13-18 i Ni13-07), međutim, pružaju važne informacije o završetku Kalcitnog kompleksa i uklopljenim</p>

importantes sur la fin du Complexe de la Calcite et les planchers intercalés au sommet de la Formation Rouge. La stalagmite Ni13 18 (figure 7) permet de préciser l'âge de la partie supérieure du Complexe de la Calcite dans le secteur de la coupe de référence (figure 4). Elle donne un âge à  $336,1 \pm 2,4$  ka dans sa partie la plus externe, et  $399,5 \pm 8,5$  ka au centre. Le plancher Ni13-07 (figure 8) est daté dans sa partie supérieure à  $311,5 \pm 1,32$  ka. Il est intéressant de noter que ce plancher avait été daté en 1980 (ND2) à 318,5 ka mais avec une fourchette d'incertitude beaucoup plus large (60-70 ka). Sa position au sein de la Formation Rouge suggère le caractère diachrone de cette dernière, qui pourrait réapparaître vers le toit du Complexe de la Calcite. Tous les autres échantillons (Ni13-06, 11 et 14) prélevés dans le Complexe de la Calcite donnent des âges  $> 450$  ka. Les rapports  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  proches de l'équilibre dans les échantillons Ni13-14 (figure 9, photo A) et Ni13-06 (figure 9, photo B) attesteraient un âge très ancien, car pour atteindre cet équilibre il faut 2 millions d'années. L'échantillon Ni13-04 (figure 8 photo A) non analysé est une reprise de l'échantillon ND5 daté de façon assez sûre  $> 350$  ka en 1980. Ces concrétions pariétales de couleur blanche, souvent très érodées et fossilisées par la Formation Rouge et le Complexe de la Calcite, représentent

sigovinama na vrhu Crvene formacije. Stalagmit Ni13 18 (slika 7) omogućuje određivanje starosti gornjeg dijela Kalcitnog kompleksa u sektoru referentnog presjeka (slika 4). On daje starost od  $336,1 \pm 2,4$  ka u krajnjem vanjskom dijelu i  $399,5 \pm 8,5$  ka u središtu. Sigovina Ni13-07 (slika 8) datirana je u gornjem dijelu na  $311,5 \pm 1,32$  ka. Zanimljivo je primijetiti da je ta sigovina datirana 1980. godine (ND2) na 318,5 ka, ali s mnogo širim rasponom nesigurnosti (60-70 ka). Njezin položaj unutar Crvene formacije sugerira dijakroni karakter potonje, koja bi se mogla ponovno pojaviti prema krovu Kalcitnog kompleksa. Svi ostali uzorci (Ni13-06, 11 i 14) izuzeti iz Kalcitnog kompleksa daju starosti  $> 450$  ka. Omjeri  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  blizu ravnoteže u uzorcima Ni13-14 (slika 9, fotografija A) i Ni13-06 (slika 9, fotografija B) potvrđuju vrlo veliku starost, budući da je za postizanje te ravnoteže potrebno 2 milijuna godina. Neanalizirani uzorak Ni13-04 (slika 8, fotografija A) ponavljanje je uzorka ND5 datiranog prilično pouzdano na  $> 350$  ka 1980. godine. Te bijele zidne konkrecije, često vrlo erodirane i fosilizirane Crvenom formacijom i Kalcitnim kompleksom, danas predstavljaju najstarije kalcitne naslage u mreži.

aujourd'hui les plus vieux dépôts calcitiques du réseau.

Une nouvelle série d'âges a été obtenue pour caractériser les planchers intermédiaires (F4). Le plancher Ni13-09 (figure 10 photos C et D) est le plus intéressant car la base et le sommet donnent respectivement des âges à  $124,6 \pm 6,9$  ka et  $121,4 \pm 9,4$  ka qui encadrent parfaitement le pic MIS 5e défini à 123 ka, soit l'**Éémien** [Lisiecki et Raymo, 2005 ; Vanssteenberge *et al.*, 2016]. Le plancher Ni13-22, qui est une reprise du ND8 (figure 11), donne une série de 6 âges compris entre  $160,7 \pm 1,14$  ka et  $129,8 \pm 1,7$  ka. Ces nouvelles datations viennent compléter les âges du plancher ND8, dont la base et le sommet avaient été respectivement datés à  $185,2 + 10,4 / - 9,6$  ka et  $91,4 \pm 2,4$  ka. Les nouveaux âges ne retrouvent pas exactement les anciens, au toit et à la base, et posent un problème d'interprétation paléoclimatique qui sera discuté plus loin : en effet, plusieurs âges tombent en plein glaciaire MIS 6. Le sommet du plancher Ni13-21 (figure 10, photos A et B) à  $96,2 \pm 0,6$  ka complète l'âge de 1980 à  $91,4 \pm 2,4$  ka qui avait permis de définir indirectement l'entrée dans la dernière glaciation.

En ce qui concerne la fin de la dernière glaciation et le passage à l'Holocène, les nouvelles datations n'apportent pas de nouveaux éléments mais viennent compléter

Dobivena je nova serija starosti za karakterizaciju srednjih sigovina (F4). Sigovina Ni13-09 (slika 10, fotografije C i D) najzanimljivija je jer baza i vrh daju starosti od  $124,6 \pm 6,9$  ka odnosno  $121,4 \pm 9,4$  ka, što se savršeno uokviruje u vrhunac MIS 5e definiranog na 123 ka, tj. **posljednji interglacijalni period** [Lisiecki i Raymo, 2005.; Vanssteenberge i dr., 2016.]. Sigovina Ni13-22, koja je ponavljanje ND8 (slika 11), daje seriju od 6 starosti između  $160,7 \pm 1,14$  ka i  $129,8 \pm 1,7$  ka. Ta nova datiranja upotpunjuju starosti sigovine ND8, čija su baza i vrh datirani na  $185,2 + 10,4 / - 9,6$  ka i na  $91,4 \pm 2,4$  ka. Nove starosti se ne poklapaju u potpunosti s prijašnjima, na krovu i u bazi, i predstavljaju problem paleoklimatske interpretacije o kojoj će biti riječi kasnije: zapravo, nekoliko starosti se poklapa s MIS 6 glacijalom. Vrh sigovine Ni13-21 (slika 10, fotografije A i B) na  $96,2 \pm 0,6$  ka nadopunjuje starost iz 1980. godine na  $91,4 \pm 2,4$  ka što je omogućilo neizravno definiranje ulaska u posljednju glacijaciju.

Kad je riječ o kraju posljednje glacijacije i prijelazu u holocen, nova datiranja ne daju nove elemente, ali dovršavaju starosne serije već dostupne

la série d'âges déjà disponibles entre 19 ka et 3,7 ka, âges des planchers stalagmitiques les plus récents datés. La carotte Ni13-1, prélevée sur le même site que celui daté en 1980 à  $19,1 \pm 1,6$  ka, donne, pour la base, un âge légèrement plus jeune ( $12,2 \pm 4$  ka). Ce dernier point analysé étant relativement contaminé en matériel détritique ( $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th} = 3,42$ ), l'âge de 1980 qui a été obtenu sur un échantillon très pauvre en éléments détritiques ( $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th} = 30,5$ ) garde toute sa validité pour marquer la fin de la dernière glaciation.

### C. Synthèse

Avec les nouvelles datations U/Th, on dispose aujourd'hui d'une cinquantaine d'âges. L'ensemble des deux séries est repris dans le tableau 2. Elles ont été mises en parallèle avec la courbe de variation du  $\delta^{18}\text{O}$  globale de Lisiecki et Raymo [2005], sur laquelle ont été reportés les repères MIS des stades isotopiques jusqu'à 475 ka (figure 12).

Les formations calcitiques les plus récentes (F6), qui correspondent au post-glaciaire, débutent vers  $19 \pm 1,6$  ka, mais les concrétions postérieures à 12 ka sont les mieux représentées. Par rapport à l'évolution climatique globale, cela veut dire que le réseau présentait dès la fin du Global LGM des conditions paléo-climatiques favorables au concrétionnement. La glaciation du Würm (F5), quant à elle, est bien caractérisée par

između 19 i 3,7 ka, odnosno starosti najnovije datiranih sigovina. Jezgra Ni13-1, uzeta s istog mjesta kao i ona datirana 1980. godine na  $19,1 \pm 1,6$  ka, daje, za bazu, nešto manju starost ( $12,2 \pm 4$  ka). Ova posljednja analizirana točka je relativno kontaminirana detritusnim materijalom ( $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th} = 3,42$ ), starost iz 1980. godine koja je dobivena na uzorku vrlo siromašnom detritusnim elementima ( $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th} = 30,5$ ) zadržava svoju valjanost za označavanje kraja posljednje glacijacije.

### C. Sinteza

Danas s novim datiranjem uran-torijem raspoložemo pedesetak godina. Obje serije prikazane su u tablici 2. Uspoređene su s krivuljom globalne varijacije  $\delta^{18}\text{O}$  Lisieckog i Rayma [2005.], na kojoj su prikazane MIS referentne vrijednosti izotopskih stadija do 475 ka (slika 12).

Najmlađe calcitne tvorevine (F6), koje odgovaraju postglacijalu, počinju oko  $19 \pm 1,6$  ka, ali su konkrecije mlađe od 12 ka najbolje zastupljene. U odnosu na globalnu klimatsku evoluciju, to znači da je mreža predstavljala paleoklimatske uvjete pogodne za stvaranje konkrecija na kraju Globalnog LGM-a. Würmska glacijacija (F5) je pak obilježena potpunom odsutnošću stvaranja konkrecija između  $91,4 \pm 2,4$  ka i  $19 \pm 1,6$  ka.

une absence totale de concrétionnement entre  $91,4 \pm 2,4$  ka et  $19 \pm 1,6$  ka.

Le plancher ND8/Ni13-22 (figure 6 encadré A et figure 11) avec les 6 nouveaux âges obtenus posent un problème d'interprétation. Deux hypothèses contradictoires peuvent être suggérées : (i) ou bien il faut en inférer une grande stabilité des conditions paléoclimatiques entre 160 ka et l'**Éémien** proprement dit (MIS 5e), lequel est très bien caractérisé par les planchers Ni13-09, ND14 et ND16b, stabilité prolongée jusque vers 90 ka. Les nouvelles datations (Ni13-21 et Ni13-22), en effet, montrent que le réchauffement a pu être progressif et que les zones de transition antérieures et postérieures au cœur de l'interglaciaire auraient été relativement longues. On ne dispose pas de données suffisamment complètes dans les Pyrénées pour confirmer cette observation, mais c'est un phénomène mis en évidence dans le NW de l'Europe [Vansteenberghe *et al.*, 2016 ; Kicinska *et al.*, 2017]. Cette stabilité, qui aurait permis sur ce site la poursuite du concrétionnement pendant tout le cœur du MIS 6, ne manque cependant pas de surprendre, d'autant qu'un glaciaire MIS 6 sensiblement plus étendu que le Würm a été cartographié (figure 1) et daté dans la vallée de l'Ariège [Delmas *et al.*, 2011]. (ii) Ou bien il faut admettre un hiatus sur ce plancher, donc une lacune de **dépôt fluvioglaciaire** exogène au cours du Riss/MIS6,

Sigovina ND8/Ni13-22 (slika 6, okvir A i slika 11) s dobivenih 6 novih starosti predstavlja problem u tumačenju. Mogu se predložiti dvije kontradiktorne hipoteze: 1) ili moramo zaključiti da je postojala velika stabilnost paleoklimatskih uvjeta između 160 ka i pravog **posljednjeg interglacijalnog perioda** (MIS 5e), koji je vrlo dobro karakteriziran sigovinama Ni13-09, ND14 i ND16b, produljene stabilnosti do oko 90 ka. Nova datiranja (Ni13-21 i Ni13-22), zapravo, pokazuju da je zatopljenje moglo biti progresivno i da bi prednja i stražnja prijelazna zona usred interglacijala mogle biti relativno duge. Nemamo dovoljno potpune podatke u Pirenejima koji bi potvrdili ovo opažanje, ali to je fenomen koji je naglašen u SZ Europi [Vansteenberghe i dr., 2016.; Kicinska i dr., 2017.]. Ta stabilnost, koja bi omogućila nastavak stvaranja konkrecija na ovom mjestu usred MIS 6, ne prestaje iznenađivati, pogotovo jer je kartirani glacijal MIS 6 znatno veći od Würma (slika 1) i datiran u dolini Ariège [Delmas i dr., 2011.]. 2) ili moramo priznati da postoji hijatus na ovoj sigovini, dakle, praznina u egzogenoj **fluvioglacijalnoj naslazi** tijekom Riss/MIS6, hipoteza koju je predložio Sorriaux [1982.] i koja se temelji na dvjema starostima dobivenim u bazi i na krovu ND8. Ta se druga hipoteza čini vjerojatnijom, potvrđena

hypothèse proposée par Sorriaux [1982] et fondée sur les deux âges obtenus à la base et au toit de ND8. Cette seconde hypothèse semble plus vraisemblable, confirmée par l'orientation discordante des lamines de calcite successives mais aussi par la présence d'un micro-ravinement séparant la calcite de grès fins cimentés formant une partie du plancher (figure 11). On ajoutera que deux séries de mesures ont donné pour la même séquence calcitique des âges sensiblement discordants, au surplus avec une inversion, qui peuvent les rendre suspects (biais dû à un comportement en système ouvert de l'échantillon). Rappelons enfin qu'une séquence détritique sablo-graveleuse, représentant potentiellement le MIS 6, est scellée par le plancher clairement **éémien** Ni 13-09 (figure 6 encadré B et figure 10 photos C et D).

Entre le MIS 6 et le MIS 12, la réinterprétation des âges de la série de 1980 est plus difficile compte tenu des âges moins précis. Pour cet intervalle, on peut juste dire qu'il existe plusieurs planchers intercalés dans des formations détritiques dont la plus caractéristique serait la Formation des conglomérats de la galerie des comtes de Foix (F3). Celle-ci semble bien se caler sur l'épisode froid MIS 8 (figure 6, encadré A ; figure 12), entre au toit un plancher donnant 180 ka à sa base (figure 11A) et au plancher une stalagmite datée à 336 ka (figure 7).

neskladnom orijentacijom uzastopnih kalcitnih lamina, ali i prisutnošću mikro-jaruge koja odvaja kalcit od fino cementiranog pješčenjaka koji čini dio sigovine (slika 11). Dodat ćemo da su dvije serije mjerenja dale značajno neskladne starosti za istu kalcitnu sekvenciju, štoviše s inverzijom, što ih može učiniti sumnjivim (pristranost zbog ponašanja otvorenog sustava uzorka). Na koncu se prisjetimo da je pješčano-šljunčana detritusna sekvencija, koja potencijalno predstavlja MIS 6, zatvorena sigovinom očito iz **posljednjeg interglacijalnog perioda** Ni 13-09 (slika 6, okvir B i slika 10, fotografije C i D).

Između MIS 6 i MIS 12, reinterpretacija starosti serije iz 1980. godine je teža s obzirom na manje precizne starosti. Za ovaj interval možemo samo reći da postoji nekoliko sigovina uklopljenih u detritusnim formacijama, od kojih bi najkarakterističnija bila Konglomeratna formacija galerije grofova Foix (F3). Čini se da se ona dobro uklapa u hladnu epizodu MIS 8 (slika 6, okvir A; slika 12), između sigovine koja daje 180 ka u bazi (slika 11A) i stalagmita datiranog u 336 ka (slika 7). Čini se da je interglacijal MIS 9 potvrđen u nekoliko

L'interglaciaire MIS 9 semble attesté par plusieurs âges. Il pourrait être caractérisé par la nouvelle datation du plancher ND2 (331 ka) / Ni13-07 (311,5 ka) ; mais sa base et son cœur à > 450 ka ne sont pas très cohérents avec cette attribution, d'autant qu'il ne montre aucune discordance interne (figure 8 photos B et C), sinon des variations de taille des cristaux et des lamines. La position de ce plancher, au sein d'une séquence lacustre détritique argileuse rouge, pose la question d'une pluralité des formations lacustres de ce type, dont la récurrence la plus récente se placerait clairement dans le Pléistocène moyen. Le MIS 9 est aussi potentiellement documenté par la concrétion Ni13-18, qui marque le sommet du Complexe de la Calcite (figure 7). La discontinuité entre le sommet de Ni13-18, daté du MIS 9, et son cœur, calé sur le MIS 11, marque probablement le refroidissement MIS 10, mais sans dépôts ni érosions identifiables sur la stalagmite échantillonnée. Il y a continuité ici entre ce niveau daté à 400 ka et tous les échantillons du Complexe de la Calcite sous-jacent, datés à > 450 ka. Il ne semble donc pas y avoir eu d'englacement majeur enregistré par la cavité pendant la phase de refroidissement MIS 12. Le ND7, initialement daté entre 265 et 331 ka pour le toit et la base et pouvant donc correspondre au MIS 9, est rejeté avec les nouvelles analyses (Ni13-11) à un âge > 450 ka dans le Complexe de la Calcite. Ce

starosti. Mogao bi se karakterizirati novim datiranjem sigovine ND2 (331 ka) / Ni13-07 (311,5 ka); ali njegova baza i jezgra na > 450 ka nisu baš u skladu s tom atribucijom, pogotovo jer ne pokazuje nikakve unutarnje nesukladnosti (slika 8, fotografije B i C), osim varijacija u veličini kristala i lamina. Položaj ove sigovine, unutar crvene glinaste detritusne jezerske sekvencije, postavlja pitanje o mnoštvu jezerskih formacija ovog tipa, čije bi najnovije pojavljivanje bilo jasno smješteno u srednji pleistocen. MIS 9 je također potencijalno dokumentiran konkrecijom Ni13-18, koja označava vrh Kalcitnog kompleksa (slika 7). Prekid između vrha Ni13-18, datiranog u MIS 9, i njegove jezgre, smještene na MIS 11, vjerojatno označava zahlađenje MIS 10, ali bez naslaga ili erozija koje se mogu identificirati na uzorkovanom stalagmitu. Ovdje postoji kontinuitet između ove razine datirane na 400 ka i svih uzoraka iz Kalcitnog kompleksa, datiranih na > 450 ka. Stoga se čini da nije bilo većeg zaleđivanja zabilježenog u šupljini tijekom faze zahlađenja MIS 12. ND7, prvobitno datiran između 265 i 331 ka za krov i bazu i stoga pretpostavljeno da odgovara MIS 9, odbacuje se novim analizama (Ni13-11) starošću > 450 ka u Kalcitnom kompleksu. Ta sigovina fosilizira žuti alogeni pijesak koji može odražavati davni glacijal MIS 14 ili MIS 16 (slika 6, okvir B i slika 12).

plancher fossilise des sables allogènes jaunes qui peuvent traduire un glaciaire ancien MIS 14 ou MIS 16 (figure 6 encadré B et figure 12).

#### **IV. Discussion : rapports entre karst et glaciers depuis 450 ka**

##### **A. Des modèles théoriques au cas du système Niaux-Sabart-Lombrives**

À partir de l'analyse de karst de moyenne montagne dans les vallées du sud des Alpes, Bini *et al.* [1998] ont proposé un modèle qui rend compte de trois états du système karstique, ou d'une partie du système durant la phase d'expansion maximale du glacier. Le système peut ainsi (i) se trouver isolé, donc exempt de circulation **d'eau glaciaire** ; (ii) être complètement noyé ; ou (iii) absorber des eaux par une entrée haute située sous le glacier ou sur sa bordure. Dans ce cas, soit le torrent rejoint la zone noyée du système, soit le système n'est pas noyé et le torrent peut parcourir toute la cavité et résurger en **position sous-glaciaire** plus en aval.

Dans le cas du système de Niaux, les relations entre les différentes phases de remplissage, la morphologie des galeries et les formes de parois montrent que, jusqu'à la glaciation würmienne, le réseau était encore entièrement colmaté sur certains tronçons de

#### **V. Rasprava: odnosi između krša i ledenjaka u posljednjih 450 ka**

##### **A. Teorijski modeli u slučaju sustava Niaux-Sabart-Lombrives**

Na temelju analize srednjeplaninskog krša u dolinama južnih Alpa, Bini i dr. [1998.] predložili su model koji objašnjava tri stanja krškog sustava, odnosno dijela sustava tijekom faze najvećeg širenja ledenjaka. Sustav se stoga može 1) izolirati, dakle isključiti iz cirkulacije **ledenjačke vode**; 2) biti potpuno potopljen; ili 3) apsorbirati vodu kroz visoki ulaz koji se nalazi ispod ledenjaka ili na njegovu rubu. U tom slučaju, ili se tok pridružuje potopljenoj zoni sustava ili sustav nije potopljen i tok može prolaziti cijelom šupljinom i ponovno izroniti u **subglacijalnom položaju** nizvodno.

U slučaju sustava Niaux, odnosi između različitih faza ispune, morfologije galerija i zidnih oblika pokazuju da je, sve do würmske glacijacije, mreža još uvijek bila potpuno blokirana na određenim dijelovima galerija. Deblokiranje je bilo moguće samo

galeries. Le décolmatage n'a été possible que parce qu'il y a eu possibilité de capture des eaux **d'origine glaciaire** par le karst. Les eaux associées au glacier n'ont fait que réutiliser le système karstique préexistant, mais suivant la position des captures, le fonctionnement du système a pu prendre des configurations différentes.

Il n'est pas possible de situer précisément dans le temps chacun des stades de décolmatage, mais la réactivation ne peut s'expliquer que parce que les entrées du karst se trouvaient en position favorable par rapport aux glaciers pour capter les **torrents glaciaires** au niveau d'entrées déjà existantes sur les vallées [Häuselmann *et al.*, 2008 ; Lauritzen *et al.* 2013]. Outre les grands porches que l'on connaît, il a dû exister des points de captures aujourd'hui comblés. Les puits verticaux remontants vers la surface ont aussi joué ce rôle. C'est souvent à l'aplomb de ces grands puits (abîme Martel à Niaux, et Cathédrale à Lombrives), en effet, que l'on peut observer les plus gros blocs exogènes constitués de granite et de gneiss (figure 13 photo D). Certains blocs à Lombrives comme dans la grande salle de l'entrée de Niaux sont suffisamment altérés et friables dans leurs écaillés superficielles pour être attribuables à une glaciation pré-würmienne. Leur position au plancher des galeries implique un débouillage déjà bien avancé de ces sites, mais pas nécessairement une interconnexion

zato što je postojala mogućnost zahvaćanja vode **ledenjačkog podrijetla** kršem. Vode povezane s ledenjakom samo su ponovno koristile već postojeći krški sustav, ali ovisno o položaju gdje je voda ponirala, funkcioniranje sustava moglo je poprimiti različite konfiguracije.

Nije moguće precizno vremenski smjestiti svaku od faza deblokiranja, ali se reaktivacija može objasniti samo time da su ulazi u krš bili, u odnosu na ledenjake, u povoljnom položaju koji je omogućavao zahvaćanje **ledenjačkih tokova** na razini već postojećih ulaza u doline [Häuselmann i dr., 2008.; Lauritzen i dr. 2013.]. Osim velikih ulaznih prostora koje poznajemo, sigurno su postojale točke poniranja koje su sada ispunjene. Okomiti kanali koji su dopirali do površine također su imali tu ulogu. Često iznad tih velikih kanala (bezdani Martel u Niauxu i Katedrala u Lombrivesu), zapravo, možemo promatrati najveće egzogene blokove sastavljene od granita i gnajsa (slika 13, fotografija D). Određeni blokovi u Lombrivesu, kao što je velika dvorana na ulazu u Niaux, dovoljno su istrošeni i krhki u svojim površinskim ljuskama da se mogu pripisati glacijaciji prije Würma. Njihov položaj na dnu galerija implicira da su ti lokaliteti već dulje deblokirani, ali ne nužno i da je postojala učinkovita međusobna povezanost cijele mreže, za što se ne čini da

effective de l'ensemble du réseau, qui ne semble pas intervenir avant le Würm. C'est probablement lorsque que le karst était totalement recouvert par le glacier que l'ensemble du réseau a été totalement noyé. Les sédiments argileux associés à l'enneigement scellent les dépôts détritiques de type torrentiel. Ils sont particulièrement bien conservés dans des réseaux de galeries en position latérale par rapport aux drains principaux. Ils recouvrent les concrétions anciennes du Complexe de la Calcite (figure 13 photo B), et les figures sédimentaires de décantation attestent aussi ces phases d'enneigement généralisé.

#### **B. Le fonctionnement du karst pendant le dernier cycle glaciaire**

Pendant le **cycle glaciaire** würmien, la circulation des eaux dans le karst se faisait tantôt depuis l'Ariège vers le Videssos, tantôt dans l'autre sens, selon la position relative de la glace dans ces deux vallées [Sorriaux, 1981 et 1982]. La reconstitution des paléo-courants a été essentiellement établie à partir des figures d'érosion et des structures sédimentaires. Lors de l'avancée maximale du glacier de l'Ariège et jusqu'au MEG (MIS 4), mais probablement aussi au cours du Global LGM [24-19 ka, MARGO project members, 2009], les circulations souterraines se sont produites de la vallée de l'Ariège vers la vallée du Videssos en

se dogodilo prije Würma. Vjerojatno je cijela mreža potpuno potopljena u vrijeme kad je krš bio potpuno prekriven ledenjakom. Glinasti sedimenti povezani s plavljenjem zatvaraju detritusne naslage bujičnog tipa. Posebno su dobro očuvani u mrežama galerija u bočnom položaju u odnosu na glavne odvođe. Oni prekrivaju stare konkrecije Kalcitnog kompleksa (slika 13, fotografija B), a podatci o dekantaciji sedimenta također potvrđuju te faze općeg plavljenja.

#### **B. Funkcioniranje krša tijekom posljednjeg glacijalnog ciklusa**

Tijekom würmskog **glacijalnog ciklusa**, kruženje vode u kršu odvijalo se ponekad od Ariègea prema Videssosu, a ponekad u drugom smjeru, ovisno o relativnom položaju leda u te dvije doline [Sorriaux, 1981. i 1982.]. Rekonstrukcija paleostruja je u biti utvrđena na temelju podataka o eroziji i sedimentnih struktura. Tijekom maksimalnog napredovanja ledenjaka Ariège i do MEG (MIS 4), ali vjerojatno i tijekom Global LGM [24-19 ka, članovi projekta MARGO, 2009.], podzemne cirkulacije odvijale su se od doline Ariègea prema dolini Videssosa koristeći gornju razinu (slika 13, fotografija A). Razlog je u

empruntant l'étage supérieur (figure 13 photo A). La raison en est que le glacier de l'Ariège était nettement mieux alimenté et plus épais que celui du Videssos, comme le montre sa diffluence vers l'ouest au col de Larnat, en direction de la vallée de Miglos, où la langue du Videssos était située nettement en contrebas. L'enoisement est présumé se produire entre 91 et 19 ka. Faute de discontinuités visibles dans la sédimentation de la séquence F5 et/ou de spéléothèmes intercalés, on ne peut mettre en évidence de probables interruptions. Mais celles-ci se sont certainement produites, en particulier pendant le MIS 3 où l'on démontre la disparition du glacier dans le secteur de Tarascon et d'amples fluctuations de son front de plus de 10 km [Delmas, 2009 ; Delmas *et al.*, 2011]. Ces fluctuations ont certainement joué un rôle dans le décolmatage, voire le recolmatage ponctuel de certaines entrées, en modifiant à plusieurs reprises le sens des écoulements et les points de pertes. La déglaciation, qui s'est amorcée après le stade de Garrabet (Global LGM), a abaissé à nouveau le niveau de base et les captures ont probablement été encore modifiées. Les vagues d'érosion présentes dans le niveau inférieur de Lombrives montrent qu'il y avait probablement une capture de **torrents glaciaires** par une entrée aujourd'hui colmatée sur la vallée du Videssos. Les courants souterrains dans l'étage supérieur de Lombrives ne se

tomu što je ledenjak Ariège bio znatno bolje prihranjen i deblji od ledenjaka Videssos, što pokazuje njegovo zakretanje prema zapadu kod prijevoja Larnat, prema dolini Miglos, gdje se jezik ledenjaka Videssos nalazio točno ispod. Pretpostavlja se da se plavljenje dogodilo između 91 i 19 ka. U nedostatku vidljivih diskontinuiteta u sedimentaciji sekvencije F5 i/ili uklopljenih speleotema, ne možemo razaznati vjerojatne prekide. Ali to se svakako dogodilo, posebno tijekom MIS 3 gdje se dokazalo nestajanje ledenjaka u sektoru Tarascon i velike fluktuacije njegova čela od preko 10 km [Delmas, 2009; Delmas i dr., 2011.]. Te su fluktuacije sigurno imale ulogu u deblokiranju ili čak povremenom ponovnom blokiranju određenih ulaza, opetovano mijenjajući smjer protoka i točke poniranja. Deglacijacija, koja je započela nakon stadija Garrabet (Global LGM), ponovno je snizila osnovnu razinu i vjerojatno dodatno modificirala točke poniranja. Valovi erozije prisutni u nižoj razini Lombrivesa pokazuju da je vjerojatno došlo do poniranja **ledenjačkih tokova** putem ulaza u dolini Videssos koji je sada blokiran. Podzemne struje u gornjoj razini Lombrivesa više nisu išle prema Niauxu, već u potpunosti prema Sabartu preko okomitih kanala Lombrivesa. Zbog nedostatka pouzdanih markera, nije moguće korelirati ove promjene u orijentaciji krških tokova sa subaerskim **glacijalnim**

dirigeaient plus vers Niaux mais entièrement vers Sabart par les puits de Lombrives. Faute de marqueurs fiables, il n'est pas possible de corrélérer ces changements d'orientation des écoulements karstiques avec les **stades glaciaires** subaériens.

Le retour progressif à un régime vadose est étroitement corrélé à la déglaciation des vallées voisines. Le stade Bompas-Arignac se caractérise par un amaigrissement généralisé des glaciers (~100 m au droit de Tarascon). Les reconstitutions paléogéographiques montrent qu'au moment où le glacier de l'Ariège construit les vallums de Bompas-Arignac, la basse vallée du Vicdessos est déglacée et un lac de **barrage glaciaire** occupe alors l'ombilic de Niaux jusqu'à 580 m d'altitude, 100 m en contrebas du porche de la grotte de Niaux (figures 1 et 2). Une partie des changements de sens des écoulements souterrains signalés plus haut sont peut-être attribuables à la mise en charge du réseau inférieur imposée par le paléo-lac de Niaux. Au stade de Bompas-Arignac, le toit de la glace était donc bien trop bas pour encore favoriser des captures vers le niveau 650-700 m du karst : les conditions étaient désormais favorables à la reprise du concrétionnement. L'événement est précisément daté par l'âge U/Th à  $19,1 \pm 1,6$  ka (ND1-1) à la base du plancher stalagmitique qui scelle la Formation

**stadijima.**

Postupni povratak na vadozni režim usko je povezan s deglacijacijom susjednih dolina. Stadij Bompas-Arignac karakteriziran je općim stanjivanjem ledenjaka (~100 m desno od Tarascona). Paleogeografske rekonstrukcije pokazuju da je u vrijeme kada je ledenjak Ariège formirao morenske bedeme Bompas-Arignaca, donja dolina Vicdessosa bila je deglacirana, a jezero uz **ledenjačku branu** tada je zauzimalo šupljine Niauxa do 580 m nadmorske visine, 100 m ispod prostora ulaza u špilju Niaux (slike 1 i 2). Dio gore navedenih promjena smjera podzemnih tokova možda se može pripisati aktiviranju donje mreže koje se nametnulo prisutnošću paleojezera Niaux. U stadiju Bompas-Arignac, ledeni krov je bio prenizak da još uvijek pogoduje poniranju na razini oko 650-700 m: sada su bili povoljni uvjeti za nastavak stvaranja speleotema. Događaj je precizno datiran starošću uran-torija od  $19,1 \pm 1,6$  ka (ND1-1) u podnožju sigovine koja zatvara Aluvijalnu formaciju Niaux, a koja se može povezati s podacima  $^{10}\text{Be}$  prikupljenim na čeonj moreni Bernière, u Tarasconskom bazenu [površina I1 datirana u  $18,8 \pm 1,3$  ka i površina I2 datirana u  $17,5 \pm 1,1$  ka; starosti

<p>Alluviale de Niaux, et que l'on peut corrélér à des données <math>^{10}\text{Be}</math> acquises sur le front morainique de Bernière, dans le bassin de Tarascon [surface I1 datée à <math>18,8 \pm 1,3</math> ka et surface I2 datée à <math>17,5 \pm 1,1</math> ka ; âges à vieillir un peu en fonction des taux de production actuellement admis pour le <math>^{10}\text{Be}</math> : Delmas <i>et al.</i>, 2011]. Ces âges indiquent qu'à la fin du Global LGM, la vallée était libre de glace au niveau de la grotte de Niaux. Cette rapide amélioration climatique, enregistrée localement dans le karst comme dans le glaciaire, aurait même une signification plus globale [GS 2-1b, Rasmussen <i>et al.</i>, 2014].</p>	<p>koje valja korigirati ovisno o stopama proizvodnje trenutno prihvaćenim za <math>^{10}\text{Be}</math>: [Delmas i dr., 2011.]. Ove starosti pokazuju da je na kraju Globalnog LGM-a dolina bila bez leda na razini špilje Niaux. To brzo poboljšanje klime, zabilježeno lokalno u kršu kao i u ledenjaku, imalo bi čak i globalniji značaj [GS 2-1b, Rasmussen i dr., 2014.].</p>
--	--

## 6. CONCLUSION

Dans ce mémoire, nous avons effectué une analyse terminologique des adjectifs dans le domaine du karst en trois langues : anglais, français et croate. L'objectif principal de cette recherche était d'analyser les variations sémantiques, collocationnelles et morphologiques des adjectifs dans le domaine du karst et de pointer les défis et les obstacles dans leur traduction. L'importance d'une terminologie précise dans la collaboration et la communication spécialisée est également soulignée. Une approche méthodologique basée sur l'application de l'approche théorique Terminologiques des Cadres et l'analyse des corpus comparables a permis une analyse systématique de la terminologie karstique. L'analyse du corpus a été basée sur des parties du corpus du projet TermFrame et sur le corpus français d'une recherche antérieure sur l'analyse comparative trilingue de termes multi-mots dans le domaine de la karstologie. Les résultats ont été visualisés à l'aide de l'outil de visualisation en ligne NetViz. L'analyse a montré comment les adjectifs changent de sens dans différents contextes, c'est-à-dire il a été montré que le sens change en fonction des collocations. Il a également été présenté comment les variations morphologiques affectent la signification des adjectifs, ce qui représente un défi significatif en traduction. Ces analyses tentent de déterminer les relations sémantiques entre les adjectifs et leurs concepts, mais en même temps, elles tentent de donner un aperçu plus large de la structure de la terminologie karstique. De cette manière, nous avons contribué à une meilleure compréhension des structures conceptuelles de la terminologie karstique et, en général, de la terminologie des textes scientifiques. Les résultats ont montré de nombreuses implications pour les traducteurs professionnels, en mettant l'accent sur ceux dont l'intérêt est la traduction de textes scientifiques dans les domaines de la géologie et de la géographie. À partir des résultats, il est possible de conclure qu'il existe un besoin pour une systématisation précise et cohérente de la terminologie du domaine du karst, dans le but d'obtenir une meilleure qualité et précision de traduction. On peut également conclure qu'il est nécessaire de poursuivre les recherches terminologiques dans ce domaine. La porte s'ouvre sur un espace permettant d'étendre l'analyse à d'autres parties de la terminologie du karst. Cela laisse également place à l'expansion des analyses dans plusieurs langues afin d'atteindre une uniformité interlinguistique dans la terminologie karstique. Enfin, nous pouvons conclure que ces recherches portent sur le rôle clé de la terminologie dans la communication scientifique et dans la traduction des textes scientifiques. Une terminologie

précise et claire peut faciliter et améliorer la coopération interdisciplinaire et l'échange de connaissances.

## 7. BIBLIOGRAPHIE

Bakken, S., Cashen, M. S., Mendonca, E. A., O'Brien, A., & Zieniewicz, J. (2000). Representing Nursing Activities within a Concept-oriented Terminological System : Evaluation of a Type Definition. *Journal Of The American Medical Informatics Association*, 7(1), 81-90. <https://doi.org/10.1136/jamia.2000.0070081>

Bowker, L. (1996). Towards a corpus-based approach to terminography. *Terminology International Journal Of Theoretical And Applied Issues In Specialized Communication*, 3(1), 27-52. <https://doi.org/10.1075/term.3.1.03bow>

Bowker, L. (1997). Multidimensional Classification of Concepts and Terms. Dans *Handbook of Terminology Management : Volume 1 : Basic Aspects of Terminology Management*, 133-143.

Bowker, L. (2002). Towards a Methodology for a Corpus-Based Approach to Translation Evaluation. *Meta Journal des Traducteurs*, 46(2), 345-364. <https://doi.org/10.7202/002135ar>

Bowker, L. (2003). 4. Terminology tools for translators. Dans *Benjamins translation library* (p. 49-65). Amsterdam, Pays-Bas : John Benjamins. <https://doi.org/10.1075/btl.35.07bow>

Burenhult, N., & Levinson, S. C. (2008). Language and landscape : a cross-linguistic perspective. *Language Sciences*, 30(2-3), 135-150. <https://doi.org/10.1016/j.langsci.2006.12.028>

Cabré Castellví, M. T. (1999a). Terminology : Theory, methods and applications. *Terminology and lexicography research and practice*. John Benjamins Publishing Company. <https://doi.org/10.1075/tlrp.1>

Cabré Castellví, M. T. (1999b). Terminology. *Terminology and lexicography research and practice*. John Benjamins Publishing Company. <https://doi.org/10.1075/tlrp.1>

Cabré Castellví, M. T., Bagot, R. E., & Palatresi, J. V. (2001). Automatic term detection. Dans *Natural language processing* (p. 53-87). <https://doi.org/10.1075/nlp.2.04cab>

- Cabré Castellví, M. T. (2003). Theories of terminology. *Terminology International Journal Of Theoretical And Applied Issues In Specialized Communication*, 9(2), 163-199. <https://doi.org/10.1075/term.9.2.03cab>
- Collet, T. (2004). What is a term? Dans Temmerman, R et Knops, U. (Éd.), *The Translation of Domain Specific Languages and Multilingual Terminology Management [Special issue of Linguistica Antverpiensia]*. 99-112.
- Condamines, A. (2005). Linguistique de corpus et terminologie. *Langages*, 39(157), 36-47. <https://doi.org/10.3406/lgge.2005.973>
- Faber, P. , Linares, C. M., & Expósito, M. V. (2005). Framing Terminology : a Process-Oriented approach. *Meta Journal des Traducteurs*, 50(4). <https://doi.org/10.7202/019916ar>
- Faber, P. F. (2009). The cognitive shift in terminology and specialized translation. *MonTi Monografías de Traducción E Interpretación*, (1), 107-134. <https://doi.org/10.6035/monti.2009.1.5>
- Faber, P., León-Araúz, P., Velasco, J. A. P., & Reimerink, A. (2006). Linking Images and Words : the Description of Specialized Concepts. *International Journal Of Lexicography*, 20(1), 39-65. <https://doi.org/10.1093/ijl/ecl038>
- Faber, P., Martínez, S. M., Prieto, M. R. C., Ruiz, J. S., Velasco, J. A. P., León-Araúz, P., Expósito, M. V. (2007). Process-oriented terminology management in the domain of Coastal Engineering. *Terminology International Journal Of Theoretical And Applied Issues In Specialized Communication*, 12(2), 189-213. <https://doi.org/10.1075/term.12.2.03fab>
- Faber P., León-Araúz P., Reimerink A. (2011). Knowledge representation in EcoLexicon. Technological innovation in the teaching and processing of LSPs. *Proceedings of TISLID 10*, 367-386.
- Felber, H. (1984). *Terminology manual*. Paris : UNESCO.
- Fillmore, C. J., & Atkins, B. T. (1992). Toward a Frame-Based Lexicon : The Semantics of RISK and its Neighbors. Dans A. Lehrer & E. F. Kittay (Éd.), *Frames, Fields and Contrasts* (p. 75-102). Hillsdale, New Jersey : Lawrence Erlbaum Assoc.
- Ford D., Williams P. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. New York : Wiley, 2007.

- Gil-Berrozpe, J. C., León-Araúz, P., Faber, P. (2017). Specifying hyponymy subtypes and knowledge patterns: A corpus-based study. *Proceedings of the Fifth International Conference on Electronic Lexicography in the 21st Century (eLex 2017)*, 63-92.
- Grčić Simeunović, L., Stepišnik, U., & Vintar, Š. (2020). Klasifikacijska uloga pridjeva u području geomorfologije krša. *Rasprave Instituta za hrvatski jezik i jezikoslovlje*, 46(2), 619-633. <https://doi.org/10.31724/rihjj.46.2.9>
- Grčić, L., Mamut, M., Pintar, K. (2024). Trilingual comparative analysis of multi-word terms in karstology: English, French and Croatian, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 30, (1), 67-79.
- Jassim, H. J., & Joshi, J. (2019). Corpus Linguistics : Analyzing Language through Large-Scale Textual Data. *International Journal Of Advanced Research In Science, Communication And Technology (IJARSCT)*, 3(3), 529-531.
- Jennings, J. N. (1985). *Karst Geomorphology*. Oxford, New York: Basil Blackwell.
- Levinson, S. C. (2008). Landscape, seascape and the ontology of places on Rossel Island, Papua New Guinea. *Language Sciences*, 30(2-3), 256-290. <https://doi.org/10.1016/j.langsci.2006.12.032>
- L'Homme, M.-C. (2002). What can verbs and adjectives tell us about terms. *Terminology And Knowledge Engineering*, 65-70.
- Mark, D. M., Turk, A. G. (2004). Ethnophysiography and the ontology of landscape. *Proceedings of GIScience*, 152-155.
- Milanović, P. (2004). *Water Resources Engineering in Karst*. Boca Raton, Florida : CRC Press.
- Monroe, W. H. (1970, janvier). A glossary of Karst Terminology. *Geological Survey Water-Supply Paper 1899-K*. U.S. Geological Survey. Washington, DC : U.S. Government Printing Office. <https://doi.org/10.3133/wsp1899k>
- Pavlopoulos, K., Evelpidou, N., & Vassilopoulos, A. (2009). Mapping geomorphological environments. Berlin – Heidelberg : Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-01950-0>

- Pollak, S., Podpečan, V., Miljković, D., Stepišnik, U., Vintar, Š. (2020). The NetViz terminology visualization tool and the use cases in karstology domain modeling. *Proceedings of the 6th International Workshop on Computational Terminology*, 55-61.
- Roche, C. (2015). Ontological definition. Dans H. J. Kockaert & F. Steurs (Éd.), *Handbook of terminology online/Handbook of terminology* (p. 128-152). Amsterdam, Pays-Bas : John Benjamins Publishing Company. <https://doi.org/10.1075/hot.1.08ont1>
- Sager, J. C. (1990). *A Practical Course in Terminology Processing*. Amsterdam – Philadelphia : John Benjamins Publishing Company.
- Sager, J. C. (1994). *Language Engineering and Translation : Consequences of Automation*. John Benjamins.
- Temmerman, R. (2000). *Towards New Ways of Terminology Description : The sociocognitive approach*. Amsterdam – Philadelphia : John Benjamins.
- Temmerman, R., Kerremans, K., & Vandervoort, V. (2008). La termontographie en contexte(s). Dans D. Blampain, T. Thorion, & M. Van Campenhoudt (Éd.), *Mots, Termes et Contextes. Actes des septièmes Journées scientifiques du réseade chercheurs Lexicologie Terminologie Traduction*. Paris : Éditions des Archives Contemporaines.
- Temmerman, R. (2006). Sociocultural situatedness of terminology in the life sciences : The history of splicing. Dans J. Z. Zlatev, T. Z. Ziemke, R. F. Frank, & R. D. Dirven (Éd.), *Body, Language and Mind. Interrelations between Biology, Linguistics and Culture* (Vol. 2, p. 327-362). Berlin : Mouton de Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110199116.3.327>
- Temmerman, R. (2007). Approaches to terminology. Now that the dust has settled... *SYNAPS - A Journal Of Professional Communication*, (20), 27-36. Consulté à l'adresse <http://hdl.handle.net/11250/2401136>
- Vintar, Š., Saksida, A., Stepišnik, U., Vrtovec, K. (2019). Modelling specialised knowledge with conceptual frames: the TermFrame approach to a structured visual domain representation. *Electronic lexicography in the 21st century. Proceedings of the eLex 2019 conference*, 305-318.

Vintar, Š., & Martinc, M. (2022). Framing karstology. *Terminology International Journal Of Theoretical And Applied Issues In Specialized Communication*, 28(1), 129-156. <https://doi.org/10.1075/term.21005.vin>

Vintar, Š., Podpečan, V., Ribič, V. (2021) Frame-based terminography: a multi-modal knowledge base for karstology. *Electronic lexicography in the 21st century. Proceedings of the eLex 2021 conference*, 164-176.

Vintar, Š., Pollak, S., Saksida, A., Stepišnik, U., Pintar, K., Simeunović, L. G., Vrtovec, K. (2021). *TermFrame : Terms, definitions and semantic annotations for karstology* [Base de données]. Consulté à l'adresse <https://www.clarin.si/repository/xmlui/handle/11356/1463>

Vintar, Š., & Stepišnik, U. (2021). TermFrame : A Systematic Approach to Karst Terminology. *Dela*, (54), 149-167. <https://doi.org/10.4312/dela.54.149-167>

Wright, S. E., & Budin, G. (2001). *Handbook of Terminology Management* (Vol. 2). John Benjamins Publishing Company.

Wüster, E. (1968). *The Machine Tool : An Interlingual Dictionary of Basic Concepts, comprising an Alphabetical Dictionary and a Classified Vocabulary, with Definitions and Illustrations*. London : Technical Press.

Wüster, E. (1979). *Einführung in die Allgemeine Terminologielehre und Terminologische Lexikographie (Schriftenreihe der Technischen Universität Wien)*. Kopenhagen : Springer.

### **Sources internet :**

Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales (CNRTL), URL : <https://www.cnrtl.fr/>

HAL archives-ouvertes, URL : <https://hal.science/hal-02154823>

Hrvatska enciklopedija LZMK, URL : <https://www.enciklopedija.hr/>

Hrvatski jezični portal, URL : <https://hjp.znanje.hr/>

Hrvatsko strukovno nazivlje, URL : <http://struna.ihjj.hr/>

Larousse, dictionnaire français, URL : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais>

NetViz visualization tool, URL : <https://biomine.ijs.si/netviz/>

SketchEngine, URL : <https://www.sketchengine.eu/>

Termframe - Karst Terminology and Knowledge Frames Across Languages, URL : <https://termframe.ff.uni-lj.si/>

## Liste des tableaux et des figures

Tab. 1. Informations de comparaison sur les différents corpus. ....	12
Tab. 2. Répartition des collocations <i>glaciaire</i> + <i>N</i> selon les catégories sémantiques. ....	25
Tab. 3. Adjectifs formés par combinaison : racine <i>glacijalan</i> – <i>glaciaire</i> – <i>glacial</i> + préfixe. ....	26
Tab. 4. Adjectifs ayant pour racine <i>-glacio-</i> . ....	27
Tab. 5. Adjectifs ayant pour racine <i>-glacio-</i> et ses attributs sémantiques. ....	33
Tab. 6. Répartition des collocations [ pukotinski + N ] – [ N + de fissure ] – [ fissure + N ] selon catégories sémantiques des noms. ....	36
Tab. 7. Répartition des collocations de l’adjectif <i>fossilni</i> – <i>fossile</i> – <i>fossil</i> selon les catégories sémantiques des noms. ....	39
Figure 1. Catégorisation sémantique des termes en karstologie. ....	9
Figure 2. Interface de l’outil de visualisation NetViz. ....	14
Figure 3. Représentation schématique de la disposition spatiale des adjectifs ayant pour racine <i>glacijalan</i> – <i>glaciaire</i> – <i>glacial</i> , dont l’attribut sémantique est POSITION. ....	29
Figure 4. Représentation schématique de la disposition temporelle des adjectifs ayant pour racine <i>glacijalan</i> – <i>glaciaire</i> – <i>glacial</i> , dont l’attribut sémantique est ÂGE. ....	31
Figure 5. Exemple de relief fluvio-glaciaire. Gorge de Vintgar (ou gorge de Bled), Slovénie, a été créée par le retrait et la fonte des glaciers. L’eau glaciaire a creusé le lit de la rivière dans la roche. Photographié en septembre 2023. ....	32
Figure 6. Répartition des attributs sémantiques des adjectifs ayant pour racine <i>glacijalan</i> – <i>glaciaire</i> – <i>glacial</i> . ....	34
Figure 7. Un exemple de forme en relief dont la cause est l’existence d’une fissure. Il s’agit d’une source de fissure près de Planinsko polje, en Slovénie centrale. Photographié en octobre 2020. ....	35
Figure 8. Répartition des collocations trouvées selon l’attribut sémantique pour [ pukotinski + N ] – [ N + de fissure ] – [ fissure + N ] ....	37
Figure 9. Exemple d’un conduit fossile. Son origine est définie par la présence d’eau, mais aujourd’hui il est complètement sec. Photographié dans la grotte de Petnica, en Serbie, en avril 2023. ....	38
Figure 10. Répartition des collocations trouvées selon l’attribut sémantique (adjectif <i>fossilan</i> – <i>fossile</i> – <i>fossil</i> ). ....	41

Figure 11. Exemple d'une grotte active. Elle est définie comme active par la présence d'eau. Photographié dans la grotte de Baredine, Croatie, en septembre 2024. ....	42
Figure 12. Répartition des collocations trouvées selon l'attribut sémantique (adjectif <i>aktivan</i> – <i>actif</i> – <i>active</i> ).....	43
Figure 13. Antonymie des adjectives <i>fossile</i> et <i>actif</i> .....	44

## ANNEXES

### 7.1. Exemple de document de données au format CSV créé pour générer des visualisations

Document MS Excel créé afin de générer la visualisation de la répartition des collocations trouvées selon l'attribut sémantique pour l'adjectif *fosilan* – *fossile* – *fossil*.

	A1												
1	node1,node2,arrow,label,text,color,width												
2	FOSILAN â€" FOSSILE â€" FOSSIL,HAS_FUNCTION,->,,label of first edge,black,2												
3	HAS_FUNCTION,ponor (HR),->,,blue,2,1												
4	HAS_FUNCTION,ponor/perte,->,,blue,2,1												
5	HAS_FUNCTION,ponor (EN),->,,blue,2,1												
6	HAS_FUNCTION,tok,->,,blue,2,1												
7	HAS_FUNCTION,torrent,->,,blue,2,1												
8	HAS_FUNCTION,izvor/vrelo,->,,blue,2,1												
9	HAS_FUNCTION,watercourse,->,,blue,2,1												
10	HAS_FUNCTION,source (FR),->,,blue,2,1												
11	HAS_FUNCTION,source (EN),->,,blue,2,1												
12	HAS_FUNCTION,kanal,->,,blue,2,1												
13	HAS_FUNCTION,conduit (FR),->,,blue,2,1												
14	HAS_FUNCTION,conduit (EN),->,,blue,2,1												
15	HAS_FUNCTION,cavitÃ©,->,,blue,2,1												
16	FOSILAN â€" FOSSILE â€" FOSSIL,COMPOSED_OF,->,,label of first edge,black,2												
17	COMPOSED_OF,naslaga,->,,blue,2,1												
18	COMPOSED_OF,Ìˆpilja,->,,blue,2,1												
19	COMPOSED_OF,deposit,->,,blue,2,1												
20	COMPOSED_OF,carbonate,->,,blue,2,1												
21	COMPOSED_OF,cave,->,,blue,2,1												
22	COMPOSED_OF,dÃ¡pÃ¡t,->,,blue,2,1												
23	COMPOSED_OF,grotte,->,,blue,2,1												
24	FOSILAN â€" FOSSILE â€" FOSSIL,OCCURS_IN_TIME,->,,label of first edge,black,2												
25	OCCURS_IN_TIME,voda,->,,blue,2,1												
26	OCCURS_IN_TIME,eau,->,,blue,2,1												
27	OCCURS_IN_TIME,water,->,,blue,2,1												
28	OCCURS_IN_TIME,fauna (HR),->,,blue,2,1												
29	OCCURS_IN_TIME,faune,->,,blue,2,1												
30	OCCURS_IN_TIME,fauna (EN),->,,blue,2,1												
31	OCCURS_IN_TIME,groundwater,->,,blue,2,1												
32	OCCURS_IN_TIME,ostatak,->,,blue,2,1												
33	OCCURS_IN_TIME,reste,->,,blue,2,1												
34	OCCURS_IN_TIME,remain,->,,blue,2,1												
35	COMPOSED_OF,dolina,->,,blue,2,1												
36	COMPOSED_OF,vallÃ©e,->,,blue,2,1												
37	COMPOSED_OF,valley,->,,blue,2,1												
38	COMPOSED_OF,terasa,->,,blue,2,1												
39	COMPOSED_OF,terrace,->,,blue,2,1												
40	HAS_FUNCTION,dolina,->,,blue,2,1												
41	HAS_FUNCTION,vallÃ©e,->,,blue,2,1												
42	HAS_FUNCTION,valley,->,,blue,2,1												
43	HAS_FUNCTION,terasa,->,,blue,2,1												
44	HAS_FUNCTION,terrace,->,,blue,2,1												
45	FOSILAN â€" FOSSILE â€" FOSSIL,HAS_POSITION,->,,label of first edge,black,2												
46	HAS_POSITION,karst (FR),->,,blue,2,1												
47	HAS_POSITION,karst (EN),->,,blue,2,1												
48	OCCURS_IN_TIME,karst (FR),->,,blue,2,1												
49	OCCURS_IN_TIME,karst (EN),->,,blue,2,1												
50													
51													
52													
53													
54													

A1		fx node,text,color,shape						
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	node,text,color,shape							
2	FOSILAN " FOSSILE " FOSSIL,third node,white,box							
3	HAS_FUNCTION,,white,box							
4	ponor (HR),,,box							
5	ponor/perte,,silver,box							
6	ponor (EN),,,white,box							
7	tok,,,,box							
8	torrent,,silver,box							
9	izvor/vrelo,,,,box							
10	watercourse,,white,box							
11	source (FR),,,silver,box							
12	source (EN),,,white,box							
13	kanal,,,,box							
14	conduit (FR),,,silver,box							
15	conduit (EN),,,white,box							
16	cavit@,,silver,box							
17	COMPOSED_OF,,white,box							
18	naslaga,,,,box							
19	Ĺpilja,,,,box							
20	deposit,,white,box							
21	carbonate,,white,box							
22	cave,,white,box							
23	d@p@t,,silver,box							
24	grotte,,silver,box							
25	OCCURS_IN_TIME,,white,box							
26	voda,,,,box							
27	eau,,silver,box							
28	water,,white,box							
29	fauna (HR),,,box							
30	faune,,silver,box							
31	fauna (EN),,,white,box							
32	groundwater,,white,box							
33	ostatak,,,,box							
34	reste,,silver,box							
35	remain,,white,box							
36	dolina,,,,box							
37	vall@e,,silver,box							
38	valley,,white,box							
39	terasa,,,,box							
40	terrace,,white,box							
41	HAS_POSITION,,white,box							
42	karst (FR),,,silver,box							
43	karst (EN),,,white,box							
44								
45								

## 7.2. Glossaire trilingue

<b>AKTIVAN – ACTIF – ACTIVE</b>			
<b>Attribut</b>	<b>croate</b>	<b>français</b>	<b>anglais</b>
FONCTION	aktivni ponor	perte active	active ponor
	aktivna špilja		active cave
	aktivni kanal		active conduit
		altération active	active weathering
		cavité active	
		faille active	
			active valley
	aktivna poroznost		
	aktivni sipar		
FONCTION + COMPOSITION		karst actif	active karst

<b>FLUVIOGLACIJALAN – FLUVIO-GLACIAIRE - FLUVIOGLACIAL</b>			
<b>Attribut</b>	<b>croate</b>	<b>français</b>	<b>anglais</b>
CAUSE	fluvioglacijalni materijal		fluvioglacial material
		origine fluvio-glaciaire	
		remplissage fluvio-glaciaire	
			fluvioglacial terrace
			fluvioglacial sediment
			fluvioglacial conglomerate
			fluvioglacial deposit

<b>FOSILAN – FOSSILE – FOSSIL</b>			
<b>Attribut</b>	<b>croate</b>	<b>français</b>	<b>anglais</b>
AGE	fosilna voda (paleovoda)	eau fossile	fossil water
	fosilna fauna	faune fossile	fossil fauna

	fosilni ostatci	restes fossiles	fossil remains
			fossil groundwater
COMPOSITION	fosilna špilja	grotte fossile	fossil cave
	fosilna naslaga	dépôt fossile	fossil deposit
			fossil carbonate
FONCTION	fosilni ponor	ponor fossile	fossil ponor
	fosilni tok	torrent fossile	fossil watercourse
	fosilni izvor	source fossile	fossil source
	fosilni kanal	conduit fossile	fossil conduit
		cavité fossile	
	fosilno vrelo		
AGE + POSITION		karst fossile	fossil karst
COMPOSITION + FONCTION	fosilna dolina	vallée fossile	fossil valley
	fosilna terasa		fossil terrace

<b>GLACIJALAN – GLACIAIRE – GLACIAL</b>			
<b>Attribut</b>	<b>croate</b>	<b>français</b>	<b>anglais</b>
AGE	glacijalno razdoblje	période glaciaire	glacial period
	glacijalni maksimum	maximum glaciaire	glacial maximum
	glacijalni interval		
		stade glaciaire	glacial stage
			glacial epoch
		phase glaciaire	
		cycle glaciaire	
CAUSE	glacijalni/ledenjački sediment	sédiment glaciaire	glacial sediment
	glacijalna/ledenjačka erozija	érosion glaciaire	glacial erosion
	glacijalna/ledenjačka dolina	vallée glaciaire	glacial valley
	glacijalni/ledenjački oblik	forme glaciaire	glacial form
	glacijalni/ledenjački reljef	relief glaciaire	glacial relief
	glacijalna/ledenjačka strija	strie glaciaire	glacial striation

	glacijalna/ledenjačka naslaga	dépôt glaciaire	glacial deposit
		cirque glaciaire	glacial cirque
		torrent glaciaire	glacial stream
		till glaciaire	glacial till
		eau glaciaire	glacial water
		cavité glaciaire	
		drainage glaciaire	
		remplissage glaciaire	
		débris glaciaire	
		formation glaciaire	
		surcreusement glaciaire	
			glacial pothole
			glacial exaration

**GLACIOKRŠKI – GLACIOKARSTIQUE - GLACIOKARST**

<b>Attribut</b>	<b>croate</b>	<b>français</b>	<b>anglais</b>
POSITION	glaciokrški reljef		
	glaciokrški reljefni oblik		
		lac glaciokarstique	
		morphologie glaciokarstique	
		dépression glaciokarstique	
			glaciokarst terrain
			glaciokarst process

**GLACIOLAKUSTRINSKI – GLACIO-LACUSTRE - GLACIOLACUSTRINE**

<b>Attribut</b>	<b>croate</b>	<b>français</b>	<b>anglais</b>
POSITION		dépôt glacio-lacustre	
		varve glacio-lacustre	

		barrage glacio-lacustre	
		système glacio-lacustre	
			glaciolacustrine sedimentation
	glaciolakustrinski/ glaciojezerski sediment		
	glaciolakustrinski okoliš		

**INTERGLACIJALAN – INTERGLACIAIRE - INTERGLACIAL**

<b>Attribut</b>	<b>croate</b>	<b>français</b>	<b>anglais</b>
AGE	interglacijalno razdoblje	période interglaciaire	interglacial period
	interglacijalni ciklus	cycle interglaciaire	interglacial cycle
	interglacijalni interval	intervalle interglaciaire	interglacial interval
		vallée interglaciaire	
		karst interglaciaire	
		épisode interglaciaire	
		surcreusement interglaciaire	
			interglacial maximum
			interglacial deposit
			interglacial stage
			interglacial origin
			interglacial condition
			interglacial speleothem

**INTRAGLACIJALAN – INTRAGLACIAIRE - ENGLACIAL**

<b>Attribut</b>	<b>croate</b>	<b>français</b>	<b>anglais</b>
POSITION	intraglacijalni kanal	conduit intraglaciaire	englacial conduit
			englacial attenuation

			englacial debris
			englacial water drainage
		vidange intraglaciale	
		hydrologie intraglaciale	
		galerie intraglaciale	
		cavité intraglaciale	
		lac intraglaciale	
		réseau intraglaciale	

**PERIGLACIJALAN – PÉRIGLACIAIRE – PERIGLACIAL**

<b>Attribut</b>	<b>croate</b>	<b>français</b>	<b>anglais</b>
POSITION	periglacialni reljef	relief périglaciaire	periglacial relief
	periglacialna zona	zone périglaciaire	periglacial zone
		climat périglaciaire	periglacial climate
	periglacialna naslaga		periglacial deposit
	periglacialni sediment		periglacial sediment
			periglacial cave
			periglacial sinkhole
	periglacialno trošenje		periglacial weathering
	periglacialna rastrožba		
	periglacialni vapnenac		

**POSTGLACIJALAN – POSTGLACIAIRE - POSTGLACIAL**

<b>Attribut</b>	<b>croate</b>	<b>français</b>	<b>anglais</b>
AGE	postglacialna erozija	érosion postglaciaire	postglacial erosion
	postglacialni odboj	décompression postglaciaire	postglacial rebound

	postglacijalno razdoblje		postglacial age
	postglacijalna karstifikacija	karstification postglaciaire	
		detritisme postglaciaire	
		réajustement postglaciaire	
	postglacijalna zona		
	postglacijalni uvjeti		
			postglacial expansion
			postglacial warming

<b>PREGLACIJALAN – PRÉGLACIAIRE - PREGLACIAL</b>			
<b>Attribut</b>	<b>croate</b>	<b>français</b>	<b>anglais</b>
AGE	preglacijalno doba	époque préglaciaire	preglacial period
			preglacial erosion
			preglacial sediment
			preglacial cavity
			preglacial valley
		karstification préglaciaire	
	predglacijalni reljef		
	predglacijalna tektonika		

<b>PROGLACIJALAN – PROGLACIAIRE - PROGLACIAL</b>			
<b>Attribut</b>	<b>croate</b>	<b>français</b>	<b>anglais</b>
POSITION	proglacijalno jezero	lac proglaciaire	proglacial lake
	proglacijalni sediment	sédiment proglaciaire	proglacial sediment
		marge proglaciaire	
		eau proglaciaire	
		dépôt de type proglaciaire	proglacial deposit
	proglacijalna zona		

			proglacial material
--	--	--	---------------------

<b>SUBGLACIJALAN – SOUS-GLACIAIRE - SUBGLACIAL</b>			
<b>Attribut</b>	<b>croate</b>	<b>français</b>	<b>anglais</b>
POSITION	subglacijalno jezero	lac subglaciaire	subglacial lake
	subglacijalni til	till subglaciaire	subglacial till
	subglacijalni sediment	sédiment sous-glaciaire	subglacial sediment
	subglacijalna voda	eau sous-glaciaire	subglacial meltwater
		drainage sous-glaciaire	subglacial drainage
		écoulement sous-glaciaire	subglacial runoff
		océan subglaciaire	
		érosion sous-glaciaire	
		karst sous-glaciaire	
		position sous- glaciaire	
		débris sous-glaciaire	
		perte sous-glaciaire	
			subglacial aquifer
			subglacial process
		subglacijalni transport	

<b>SUPRAGLACIJALAN – SUPRAGLACIAIRE - SUPRAGLACIAL</b>			
<b>Attribut</b>	<b>croate</b>	<b>français</b>	<b>anglais</b>
POSITION	supraglacijalni til	till supraglaciaire	supraglacial till
	supraglacijalno jezero	lac supraglaciaire	supraglacial lake
	supraglacijalni kanal	chenal supraglaciaire	supraglacial canal
			supraglacial stream
			supraglacial drainage
			grotte supraglaciaire

		écoulement supraglaciaire	
	supraglacialni transport		
	intraglacialni sediment		
	englacialni transport		

Patrick SORRIAUX<sup>1</sup>,  
Magali DELMAS<sup>2</sup>,  
Marc CALVET<sup>2</sup>,  
Yanni GUNNELL<sup>3</sup>,  
Nicolas DURAND<sup>4</sup> et  
Edwige PONS-BRANCHU<sup>5</sup>

(1) Géologue, 2, rue de la Rouvière  
F-64160 Morlaas

(2) Université de Perpignan-Via Domitia,  
CNRS UMR 7194 Histoire Naturelle  
de l'Homme Préhistorique, 52 avenue  
Paul Alduy, F-66860 Perpignan Cedex

(3) Université de Lyon, CNRS UMR 5600  
Environnement-ville-société, 69365  
Lyon Cedex 07

(4) MINES-ParisTech, PSL Research  
University, Centre de Géosciences,  
35 rue St-Honoré  
77305 Fontainebleau Cedex

(5) Laboratoire des Sciences du Climat  
et de l'Environnement, LSCE/IPSIL,  
CEA-CNRS-UVSQ, Université Paris-  
Saclay, F-91191 Gif-sur-Yvette.

# 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

**RÉSUMÉ :** Les grottes de Niaux (680 m), Lombrives (600 m) et Sabart (560 m) se développent sur 14 km dans le massif du Cap de la Lesse (1 189 m), au confluent de l'Ariège et du Vicdessos, au sud du bassin de Tarascon-sur-Ariège. Le massif est constitué de calcaires du Crétacé inférieur, karstifiés probablement dès le Tertiaire, puis plusieurs fois recouverts par les glaciers de l'Ariège et du Vicdessos au cours du Quaternaire. Dans les années 1980, l'analyse stratigraphique et sédimentologique des remplissages karstiques, ainsi que des datations U/Th dans des planchers stalagmitiques, avaient fourni un cadre chronostratigraphique pour les derniers 350 ka. Plus récemment, la cartographie et la datation des dépôts de marges glaciaires dans les vallées de l'Ariège et du Vicdessos (37 datations par le nucléide cosmogénique <sup>10</sup>Be produit in situ) ont permis de fixer la chronologie des fluctuations glaciaires pléistocènes dans le bassin de Tarascon et aux abords du massif de Cap de la Lesse.

Ces données, ainsi qu'une série inédite de 27 datations U/Th obtenues dans la grotte de Niaux, permettent de préciser ici la chronologie des périodes de réactivation du karst en phase avec les fluctuations des paléo-englacements dans les vallées voisines.

**MOTS-CLÉS :** Pyrénées, Ariège, karst, grottes, Niaux, Lombrives, Sabart, Pléistocène, glaciations, Würm, Émien, MIS 5e, concrétions, U/Th dating, spéléogénèse.

**ABSTRACT:** THE RESPONSE OF KARST TO GLACIATION IN THE PYRENEES DURING THE LAST 450 KA, NEW U/TH AGE CONSTRAINTS FROM THE PREHISTORIC CAVE OF NIAUX (ARIÈGE - PYRÉNÉES). The caves of Niaux (680 m), Lombrives (600 m), and Sabart (560 m) form a 14 km underground network in the Cap de la Lesse massif (1 189 m), which is situated in the French Pyrenees on the south side of the Tarascon-sur-Ariège basin, at the junction between the Ariège and Vicdessos valleys. The Lower Cretaceous

*limestone underwent underground karst development probably during the Cenozoic, and was covered by the Ariège icefield on several occasions during the Quaternary. In the 1980s, a detailed stratigraphic and facies analysis of the cave sediment fills, complemented by U/Th dating of successive generations of stalagmitic flowstone units, produced a preliminary chronostratigraphic frame for understanding the palaeoclimatic history of the last 350 ka. More recent work has also produced a chronology of glacier fluctuations based on 37 terrestrial cosmogenic nuclide exposure ages of moraines in the Tarascon basin. An additional 27 U/Th ages from the Niaux cave system presented in this study provide new constraints on the chronology of Quaternary karst reactivation in response to ice-mass fluctuations in the adjacent valleys.*  
**KEYWORDS:** Pyrenees, Ariège, karst, caves, Niaux, Lombrives, Sabart, Pleistocene, glaciation, Würm, Eemian, MIS 5e, speleothem, U/Th dating, speleogenesis.

## Introduction

Le karst de Niaux-Lombrives-Sabart est un karst ancien réactivé à plusieurs reprises au cours des glaciations pléistocènes [Sorriaux, 1981 et 1982; Bakalowicz et al., 1984]. L'objet de cet article est de revisiter les relations entre les glaciers et le système karstique durant les derniers 450 000 ans grâce à une vision renouvelée de l'englacement ariégeois et de nouvelles datations U/Th réalisées dans la grotte de Niaux.

Le bassin de Tarascon est un bassin nord-pyrénéen constitué d'une série secondaire (Trias au Cénomani) étroitement resserrée entre les massifs hercyniens des Trois-Seigneurs à l'ouest, du Saint-Barthélémy à l'est, de l'Arize au nord, et de l'Aston au sud. Les ensembles structuraux, constitués de plis anticlinaux et synclinaux, s'empilent vers le nord en une succession d'écaillés relativement étroites. Les calcaires qui soulignent l'ossature de ces structures y sont intensé-

ment plissés, fracturés, et de plus en plus bréchifiés et recristallisés à l'approche de la zone axiale. Sans préjuger de probables phases de karstification paléogène, lors de l'orogénèse pyrénéenne, les cavités et réseaux étagés de ces massifs se mettent en place en phase avec le soulèvement néogène de la surface d'aplanissement qui tronque conjointement les plis carbonatés et le socle gneissique de l'Aston, et qui s'incline de ~2200 m au sud jusque vers 1 400 m sur le Quié de Lujat au

nord [Calvet, 1996; Calvet & Gunnell, 2008; Gunnell et al., 2009]. Au cours du Quaternaire, ces massifs ont été à plusieurs reprises entièrement recouverts par les glaciers de l'Ariège et du Vicdessos [figure 1; Calvet et al., 2011; Delmas et al., 2011 et 2012; Delmas, 2009 et 2015].

Dans le massif du Cap de la Lesse, la série karstifiée du Crétacé inférieur affleure au cœur d'un anticlinal recouvert par la vallée du Vicdessos à Sabart. La base de la série est constituée de formations calcaires et gréseuses du Néocomien, bien stratifiées, de 120 m d'épaisseur environ. Le sommet montre des calcaires compacts, longtemps assimilés aux calcaires à faciès urgonien. Ces calcaires, dont l'âge s'étend du Néocomien à l'Aptien, atteignent près de 400 m d'épaisseur et sont recouverts par une série marneuse qui affleure dans la dépression d'Arbiech. Une quarantaine de cavités sont connues dans le massif du Cap de la Lesse. Elles s'étagent entre 1 000 m et quasiment le cours actuel de l'Ariège. Les trois principales sont les grottes de Niaux (680 m) et de Sabart (560 m), qui s'ouvrent sur la vallée du Vicdessos, et la grotte de Lombrives (600 m) sur la vallée de l'Ariège. L'ensemble constitue un réseau de 14 km de développement (figure 2). Il comprend trois étages bien distincts (figure 3) : un étage supérieur

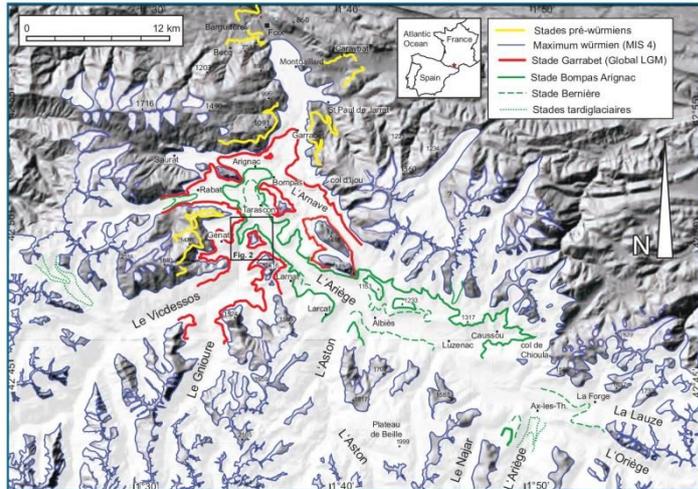


Figure 1 : Étendue des paléoenclavements pléistocènes de la vallée de l'Ariège et localisation du site étudié [Delmas et al., 2012].

*Extent of Pleistocene glaciation in the Ariège catchment and location of the studied area.*

entre 650 et 700 m composé de la galerie principale reliant les grottes de Niaux et de Lombrives et les galeries supérieures de la grotte de Sabart ; un étage intermédiaire autour de 600 m, plus discontinu mais repérable dans les trois grottes ; et un étage inférieur autour de 550 m, constitué des galeries inférieures de Lombrives et de la grotte de Sabart. Le puits Garrigou de

42 m et un puits de 30 m dans la grotte de Lombrives permettent de relier le niveau 650-700 m à celui à 550 m. Deux grandes cheminées situées dans la grotte de Niaux remontent vers la surface : l'abîme Martel jusqu'à 967 m d'altitude, et les cheminées au-dessus du Salon Noir jusqu'à 780 m. La dénivellation totale du système est de 417 m.

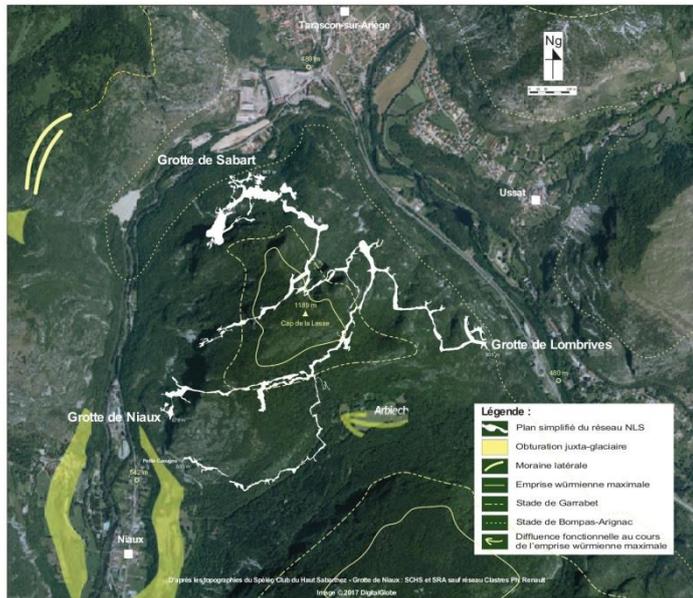


Figure 2 : Topographie du système karstique de Niaux-Lombrives-Sabart et morphologies glaciaires. *Plan view of the studied cave system of Niaux-Lombrives-Sabart with glacial landforms.*

## I. Le remplissage karstique du réseau

Les premiers visiteurs scientifiques du XVIII<sup>e</sup> siècle [Marcorelle, 1773], puis ceux de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle (Lucante, Garrigou, Noulet, Regnault), avaient remarqué la présence de dépôts variés dans les cavités, sans toutefois faire le lien avec l'histoire du karst, sa mise en place, ni son fonctionnement. De même, E-A. Martel [1908] a établi l'unité hydrologique des trois cavités et envisagé un modèle de fonctionnement du karst essentiellement fondé sur les données topographiques (altitude des porches d'entrée), sans référence explicite à la stratigraphie du remplissage. Il faut attendre les années 1970 pour que les dépôts contenus dans les galeries soient clairement perçus comme des marqueurs fondamentaux de la mise en place et du fonctionnement du karst. C'est dans ce contexte que Ph. Renault propose, à l'occasion d'une excursion de l'Association des sédimentologues français, une première analyse de la séquence sédimentaire

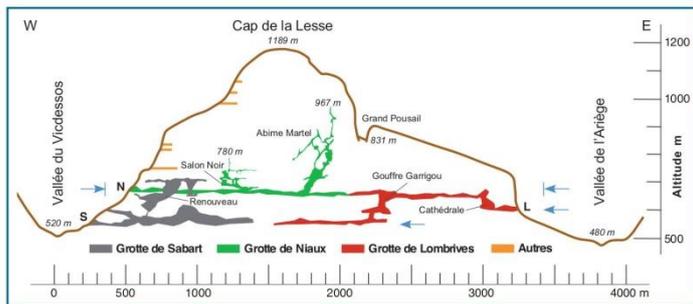


Figure 3: Coupe schématique W-E du système karstique de Niaux-Lombrives-Sabart. Niveaux étudiés indiqués par les flèches bleues. E-W schematic cross section of the Niaux-Lombrives-Sabart cave system. Studied levels indicated by blue arrows.

de Niaux-Lombrives-Sabart et, sur ces bases, un modèle d'évolution de ce karst en trois phases: (i) une période chaude ancienne (Villafranchien au Pléistocène, voire plus ancienne encore, jusqu'au Pliocène), caractérisée par un colmatage fin de couleur rouge ou jaune et se terminant par une phase sèche avec dépôts de calcite; (ii) une période froide plus récente caractérisée par des dépôts grossiers postérieurs aux dépôts rouges (brèches, galets, gros blocs exogènes) et par des vagues d'érosion sur les parois des cavités ou sur les dépôts rouges de la phase antérieure; (iii) enfin, un assèchement tardif du réseau, depuis 10 à 15 ka, associé à du concrétionnement depuis 5 à 6 ka [Renault, 1970].

Dans les années 1980, la thèse de P. Sorriaux permet de faire progresser significativement la connaissance du remplissage karstique et le fonctionnement du réseau [Sorriaux, 1981 et 1982; Bakalowicz et al., 1984]. L'étude sédimentologique réalisée à l'échelle du système karstique s'appuie sur des analyses pétrographiques et minéralogiques fines des sédiments ainsi que sur des datations U/Th sur planchers stalagmitiques réalisés dans le laboratoire de D.C. Ford à l'Université Mc Master (Hamilton, Canada). L'équipe de D.C. Ford était en pointe sur cette méthode [Ford et al, 1971; Thompson et al, 1974; Schwarcz, 1980]. Elle disposait déjà d'une solide base de données sur le continent américain et en Grande Bretagne et lors d'une visite en Europe, D.C. Ford avait noté l'intérêt des remplissages karstiques dans la grotte de Niaux. Trois séquences principales associant plusieurs formations sont alors décrites (figure 4). Les formations ont reçu le nom du site où elles étaient les plus caractéristiques (Formation Alluviale de Lombrives) ou

suivant leur spécificité (Complexe de la Calcite). Chaque séquence représente un cycle complet dans lequel se succèdent: (i) une phase de sédimentation détritique

exogène dans un karst actif et (ii) une phase de sédimentation endogène argileuse, détritique, carbonatée ou calcitique, dans un karst en voie d'assèchement.

Dans la séquence inférieure, les termes allogènes sont représentés par la Formation Alluviale de Lombrives (F1, figure 5 photo D). Cette dernière montre un faciès très hétérométrique à sa base, constituée de blocs et galets (pour l'essentiel granite et gneiss) très cimentés passant progressivement à des grès et des argilites à galets. La partie supérieure de la séquence correspond à la Formation Rouge (F2), précédemment mentionnée par Ph. Renault. Elle est essentiellement composée d'argilites très cimentées (figure 5 photo C), localement associées à des grès à graviers quartziteux et ferrugineux ou à des nodules

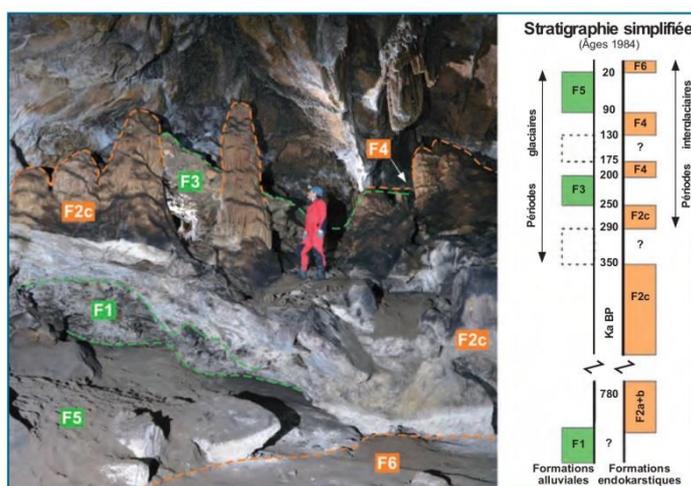


Figure 4: Coupe stratigraphique de référence située dans la grotte de Niaux (galerie des Comtes de Foix), à quelques centaines de mètres de l'entrée et environ 670 m d'altitude. On peut y observer le complexe de la calcite (F2c), dont les parties les plus anciennes ont plus de 350 ka. Il peut atteindre plusieurs mètres d'épaisseur et constitue un marqueur majeur dans le réseau. Le haut des piliers stalagmitiques est repris dans un conglomérat (F3), qui est scellé derrière le pilier de droite par un plancher stalagmitique (F4), non visible sur la photo, dont la formation s'échelonne entre 200 et 90 ka. Ce conglomérat correspond à une phase glaciaire pré-würmienne. Les sables (F5), en bas de la photo, sont d'origine fluvio-glaciaire et correspondent à la phase glaciaire majeure du Würm, qui a réactivé le karst entre 90 et 20 ka. Sur ce site, ces sables sont recouverts par des sédiments argilo-calcaires (F6) correspondant à la période d'assèchement holocène. Sous le complexe de la calcite apparaît une formation alluviale plus ancienne (F1). À droite, stratigraphie simplifiée extrait de P. Sorriaux, 1981 et 1982; M. Bakalowicz et al., 1984.

*Underground outcrop in Niaux (Comtes de Foix gallery), a few hundred meters from the cave entrance and at about 670 m a.s.l. The exposure shows the "Complexe de la Calcite" (F2c), the base of which is > 350 ka. It can attain thicknesses of several meters and constitutes a major stratigraphic marker in the underground network. The top of its stalagmites is surmounted by a conglomerate bed (F3), which itself is capped by a younger stalagmitic flowstone unit (F4) - with ages ranging from 200 to 90 ka. The conglomerate unit was deposited during a pre-Würmian glacial stage. The sand formation (F5) is of glaciofluvial origin and of Würmian age (between 90 and 20 ka) when the underground karst network was flooded. The sand level here is covered by calcite-rich clay (F6), which was deposited when the cave dried out during the Holocene. An older alluvial formation (F1) occurs beneath the Complexe de la Calcite. To the right, stratigraphic column after P. Sorriaux 1981 and 1982.*

carbonatés. Vers le haut, la sédimentation devient franchement lacustre avec des argilites jaunes litées, des niveaux à mondmilch indurés, et des niveaux carbonatés constitués de feuillets de calcite flottante compactée. Plusieurs niveaux de brèches d'effondrement s'intercalent aussi localement. Ces deux formations détritiques (F1 et F2) se caractérisent par des phénomènes d'altération et de diagenèse carbonatée très développés. Les grès sont rubéfiés et on y observe une épigenèse calcitique des minéraux silicatés. Les fractions argileuses sont caractérisées par des associations de kaolinite et d'interstratifiés provenant de l'altération *in situ* des illites et chlorites. Des mesures paléomagnétiques sur la Formation Rouge indiquent un âge antérieur à 780 ka [Bakalowicz et al., 1984]. Le Complexe de la Calcite (figure 5, photo B) représente le dernier terme de la séquence inférieure: il est constitué de planchers de plusieurs mètres d'épaisseur et de piliers stalagmitiques très imposants, qui traduisent une très longue période d'assèchement du karst, pour l'essentiel antérieure à 350 ka. La séquence moyenne est constituée de la Formation de la galerie des comtes de Foix (F3, figure 5 photo A), une formation détritique allogène composée de blocs et galets de granites et de gneiss, de taille décimétrique, pris dans une matrice sableuse grossière peu altérée. Cette formation allogène est scellée par une série

de planchers stalagmitiques regroupés dans la formation F4. La séquence supérieure regroupe deux formations. La Formation Alluviale de Niaux (F5) est constituée de sédiments fluvio-glaciaires (sables, sables à graviers, blocs) non cimentés se terminant par des silts et des argiles caractéristiques d'un ennoiment généralisé du système; la Formation F6 regroupe une grande variété de dépôts endogènes récents (argiles de décalcification, concrétions, éboulis cryoclastiques, brèches d'effondrement).

L'opportunité de dater par U/Th (figure 4) les planchers stalagmitiques associés à ces trois séquences sédimentaires a permis de situer entre 250 et 200 ka la Formation de la galerie des comtes de Foix (F3), et entre 90 et 20 ka la Formation Alluviale de Niaux (F5). Ceci a aussi permis de faire le lien entre la mise en place de ces formations allogènes et une réactivation pléistocène. Cette remise en charge des cavités est directement liée à une remontée du niveau de base local déclenchée par l'englacement des vallées voisines et du Vicdessos. La multiplication des données U/Th a, par ailleurs, permis de mettre en évidence deux lacunes stratigraphiques: l'une située entre 350 et 290 ka au toit du Complexe de la Calcite (F2c), l'autre entre 175 et 130 ka au sein des planchers de génération F4. Ces deux événements ont également été reliés à des phases d'englacement dans les vallées voisines

au cours desquelles la réactivation du système karstique n'a pas été suffisamment puissante pour se traduire par une érosion des dépôts antérieurs et une sédimentation détritique comparable à celle observée dans les séquences détritiques moyennes et supérieures.

Au total, ces premiers travaux [Sorriaux, 1981 et 1982; Bakalowicz et al., 1984] ont permis de mettre en évidence la complexité de l'évolution du karst avec (i) une mise en place ancienne du réseau, probablement en contexte fluviale (Formation Alluviale de Lombrives) et en phase avec le creusement des vallées, les écoulements karstiques se faisant du Vicdessos vers l'Ariège; (ii) une longue phase de fossilisation du réseau, associée à la Formation Rouge (qui se termine par un épisode de sédimentation lacustre) et au Complexe de la Calcite (qui correspond à une longue phase sèche); (iii) une remise en charge du karst à plusieurs reprises durant les derniers 350 ka, en phase avec les glaciations pléistocènes. Les sédiments sont alors d'origine fluvio-glaciaire. Les glaciers de vallée qui ont occupé à plusieurs reprises le Vicdessos et l'Ariège étaient des glaciers à base tempérée associés à de très gros volumes d'eau de fonte et transportant des volumes assez importants de sédiments. Ce sont ces flux liquides (eaux de fonte) et flux solides (sédiments d'origine fluvio-glaciaires) qui se sont engouffrés puis déposés dans les galeries du réseau.

Figure 5: Les formations pré-würmiennes du système karstique de Niaux-Lombrives-Sabart. A: Formation de la galerie des Comtes de Foix (F3). B: Complexe de la Calcite (F2c). C: Formation Rouge (F2b). D: Formation Alluviale de Lombrives (F1).  
Pre-Würmian deposits in the Niaux-Lombrives-Sabart karst system. A: Formation de la galerie des Comtes de Foix (F3). B: Complexe de la Calcite (F2c). C: Formation Rouge (F2b). D: Formation Alluviale de Lombrives (F1).



## II. Chronologie des glaciations pléistocènes dans les Pyrénées ariégeoises

Le bassin glaciaire ariégeois est le plus oriental des grands glaciers de vallée composites nord-pyrénéennes (figure 1). Le glaciaire pyrénéen a fait l'objet dans le courant du XX<sup>e</sup> siècle d'un débat qui a opposé une conception polyglacialiste, largement inspirée du modèle alpin [Faucher, 1937; Goron, 1941], à une conception monoglacialiste. Selon cette dernière, les Pyrénées n'auraient connu qu'une seule et unique phase d'englacement, localisée à la fin du Quaternaire après un épisode majeur d'aération du relief situé du Villafranchien au Quaternaire moyen et caractérisé par l'édification de « glaciaires alluviaux » étagés [Viers, 1960 et 1962; Taillefer, 1960, 1961 et 1963]. Les hautes et moyennes terrasses du piémont sont alors assimilées à cette longue période de glacioplaniation plutôt qu'à des nappes fluvioglaciaires. L'existence même de moraines anciennes est remise en cause, et la présence d'éléments altérés dans certains cordons morainiques est interprétée comme des remaniements de matériaux altérés avant leur prise en charge par le glacier en progression [Viers, 1963]. Il faut attendre le milieu des années 1980 et la datation par U/Th du remplissage de Niaux pour que la pluralité des glaciations soit définitivement reconnue, en bon accord avec les données paléoclimatiques globales [Emiliani, 1954]. Ainsi, F. Taillefer [1982 et 1985] distingue deux stades d'englacement, qu'il assimile respectivement au Riss et au Würm, mais les attributions chronologiques demeurent calquées sur le modèle alpin (les dépôts de marge glaciaire en position externe sont attribués au Riss et ceux en position interne sont attribués au Würm), sans analyse de l'état d'altération des dépôts. Une prise en compte du critère d'altération a permis de mettre en évidence que les moraines en position externes – le « stade d'expansion maximale » de Taillefer – renfermaient en fait des « moraines anciennes », suffisamment altérées pour être antérieures à l'Émien, et des « moraines récentes », contemporaines de la dernière glaciation. L'ensemble des constructions morainiques en position interne, localisées entre le bassin de Tarascon et les hautes vallées, jalonnent les étapes de la déglaciation immédiatement postérieure au dernier

maximum d'englacement [Delmas, 2009; Delmas et al., 2012].

Une cartographie détaillée des dépôts de marge glaciaire à l'échelle du bassin versant a également permis d'identifier les relations géométriques entre la dernière réactivation des anciens conduits karstiques du réseau de Niaux-Lombrives-Sabart et l'emprise spatiale des paléo-englacements localisés dans les vallées voisines de l'Ariège et du Vicdessos. Plusieurs stades d'englacement ont ainsi été identifiés en amont de l'emprise würmienne maximale (figure 1). Le stade Garrabet correspond à une emprise glaciaire encore très étendue, très proche de l'emprise würmienne maximale en amont de Tarascon, en dépit d'une position terminale localisée 7 km en amont des moraines terminales de l'emprise würmienne maximale. À ce stade, la glace recouvre l'essentiel du massif du Cap de la Lesse jusque vers 1 150 m d'altitude. Au stade Bompas-Arignac, les langues de glace de l'Ariège et du Vicdessos sont considérablement amaigrées et cantonnées au fond des auges. Grâce à une configuration topographique de la zone d'alimentation favorable aux accumulations neigeuses, le glacier de l'Ariège atteint encore le bassin de Tarascon où il construit la moraine frontale de Bompas-Arignac, 3,5 km en amont de celle de Garrabet. Par contre, dans la vallée du Vicdessos comme dans celle de la Courbière, les conditions d'alimentation sont moins favorables en raison de l'orientation est-ouest de ces vallées peu ouvertes aux perturbations d'origine océanique. De ce fait, dès le stade Bompas-Arignac, les glaciers du Vicdessos et de la Courbière ne confluent plus avec le glacier de l'Ariège, sur les marges duquel s'installent des lacs de barrage glacio-lacustres : lac de la basse vallée de la Courbière et lac de Niaux, dont le toit se situe vers 580 m d'altitude, soit sensiblement en contrebas du porche d'entrée de la grotte de Niaux (680 m). Sur ces bases, il apparaît que c'est entre le stade Garrabet et le stade Bompas-Arignac que la dernière mise en charge du système karstique a été interrompue.

Les différents stades d'englacement de la vallée de l'Ariège ont fait l'objet de 37 datations par le nucléide cosmogénique <sup>10</sup>Be produit *in situ* [Delmas et al., 2011 et 2012]. Ces données ont permis de proposer une chronologie relativement détaillée des fluctuations des marges glaciaires au cours de la dernière glaciation.

Il ressort que (i) l'emprise würmienne maximale du glacier de l'Ariège, comme de l'ensemble des glaciers de vallée composites de la façade nord-pyrénéenne, sont contemporains du stade isotopique marin MIS 4; (ii) que le front du glacier de l'Ariège a subi au cours du MIS 3 des fluctuations longitudinales de l'ordre d'une dizaine de kilomètres au minimum; (iii) que la dernière avancée majeure du front est contemporaine du dernier maximum du froid à l'échelle globale [Global LGM : 24-19 ka, MARGO project members, 2009] et correspond à l'emprise du stade Garrabet; (iv) enfin que les moraines frontales de Bompas-Arignac et Bernière, toutes deux localisées dans le bassin de Tarascon, se mettent en place vers 19-20 ka. Ce serait donc à la fin du Global LGM que le niveau de la glace dans la vallée du Vicdessos et de l'Ariège est devenu trop bas pour continuer à alimenter en eaux de fonte le système karstique de Niaux-Lombrives-Sabart.

## III. Une nouvelle série de datations U/Th

En 2013, une nouvelle campagne d'échantillonnage a été entreprise dans la grotte de Niaux dans le cadre d'une autorisation de prospection-inventaire [Sorriaux, 2014]. L'objectif était de préciser et compléter la chronostratigraphie du remplissage grâce à l'acquisition de deux séries de données : (i) des datations par enfouissement via la mesure de deux nucléides cosmogéniques (<sup>26</sup>Al et <sup>10</sup>Be) produits dans le quartz des formations alluviales siliceuses avant leur entrée dans le système karstique; (ii) des datations U/Th sur les spéléothèmes des trois séquences sédimentaires qui caractérisent le remplissage. L'essentiel des datations par enfouissement est encore en cours d'étude.

Concernant les datations U/Th, 11 échantillons ont été prélevés dans Niaux, entre l'entrée et le lac terminal (figure 6) en essayant dans la mesure du possible de faire des carottes de 25 mm de diamètre pour préserver les sites. Pour certains prélèvements, ce sont les fragments de planchers laissés en 1980 qui ont été prélevés. 7 échantillons correspondent à des niveaux déjà datés en 1980 : Ni13-01, Ni13-21, Ni13-22, Ni13-07, Ni13-11, Ni13-06 et Ni13-04 respectivement ND1, ND16, ND8, ND2, ND7, ND6 et ND5. L'analyse par la méthode U/Pb n'a pas été réalisable du fait de teneurs

faibles en uranium et de la présence de plomb, commune dans ces échantillons (comm. orale, P. Deschamps, CEREGE).

### A. Méthode de datation U/Th

En laboratoire, des ré-échantillonnages sur des zones ciblées (sommet ou base des planchers en particulier, profils axiaux sur les carottes) ont conduit à la réalisation de 27 datations. Pour certains échantillons, des indices de dissolution/recristallisation en certains endroits ont guidé l'échantillonnage sur les zones plus saines. Des échantillons de 0,1 à 0,5 g ont été utilisés pour les datations. Les analyses ont été effectuées au Laboratoire des Sciences du climat et l'Environnement (LSCE, UMR 8212). Après dissolution et ajout d'un traceur  $^{229}\text{Th}$ - $^{233}\text{U}$  et  $^{236}\text{U}$ , les fractions uranium et thorium ont été purifiées sur résine U-TEVA (Eichrom) en milieu nitrique. Le protocole détaillé est décrit dans Pons-Branchu *et al.* [2014]. L'analyse a été effectuée par spectrométrie de masse, pour partie par ICPQ-MS (thermo-Fisher série X2), et pour le restant des échantillons par MC-ICPMS

(Neptune+) équipé d'un désolvateur de type Aridus 2. Les procédures d'analyses sur ces appareils sont décrites dans Douville *et al.* [2010] (pour l'ICPQMS) et Pons-Branchu *et al.* [2014] (pour le MC-ICPMS).

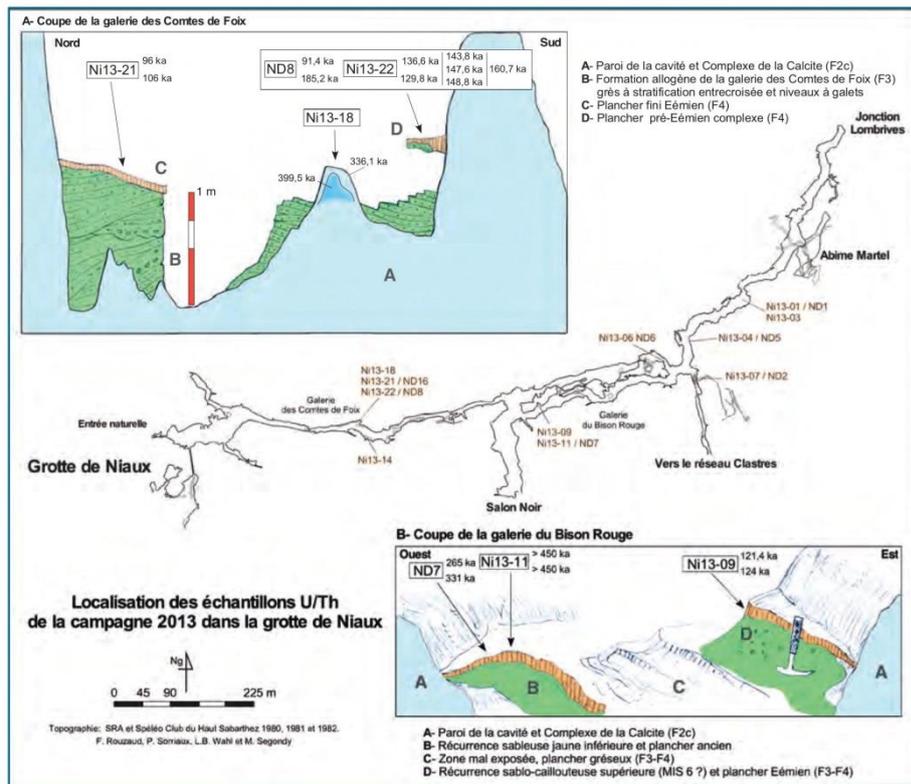
### B. Résultats

Le tableau 1 reporte les résultats des analyses (concentrations et âges) récemment acquises. Les concentrations en uranium montrent une grande variabilité (entre  $0,178 \pm 0,0001$  et  $0,834 \pm 0,0001$  ppm). Pour certains niveaux présentant des rapports  $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$  faibles, une correction d'âge a été effectuée, basée sur un rapport  $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$  de  $1,5 \pm 50\%$  pour la phase détritique. Les erreurs sur cette correction ont été propagées, augmentant ainsi la barre d'erreur de l'âge corrigé par rapport à l'âge brut. Les échantillons sont, par ordre stratigraphique descendant : 4 mesures concernent les planchers récents (F6) qui scellent la Formation Alluviale de Niaux (F5), 10 mesures les planchers intermédiaires (F4) et 13 le Complexe de la Calcite (F2c) et des

concrétions présumées plus anciennes (F2b) intercalées dans la Formation Rouge. La nouvelle série de datations U/Th montre une bonne conformité avec la stratigraphie déjà établie, et une excellente précision des âges avec des incertitudes réduites par rapport aux résultats produits en 1980.

La majorité des mesures (8 sur 13) réalisées dans les échantillons prélevés dans les niveaux calcitiques de la partie supérieure de la Formation Rouge ou dans le Complexe de la Calcite donnent des âges  $> 450$  ka. Deux échantillons (Ni13-18 et Ni13-07) apportent cependant des informations importantes sur la fin du Complexe de la Calcite et les planchers intercalés au sommet de la Formation Rouge. La stalagmite Ni13-18 (figure 7) permet de préciser l'âge de la partie supérieure du Complexe de la Calcite dans le secteur de la coupe de référence (figure 4). Elle donne un âge à  $336,1 \pm 2,4$  ka dans sa partie la plus externe, et  $399,5 \pm 8,5$  ka au centre. Le plancher Ni13-07 (figure 8) est daté dans sa partie supérieure à  $311,5 \pm 1,32$  ka.

Figure 6 : Localisation des échantillons U/Th de la campagne 2013 (code Ni), et correspondance avec les échantillons de la série 1982 (code ND). Localisation of the U/Th samples collected in 2013 (Ni sample code), and correspondence with the 1982 sample array (ND sample code).



Il est intéressant de noter que ce plancher avait été daté en 1980 (ND2) à 318,5 ka mais avec une fourchette d'incertitude beaucoup plus large (60-70 ka). Sa position au sein de la Formation Rouge suggère le caractère diachrone de cette dernière, qui pourrait réapparaître vers le toit du Complexe de la Calcite. Tous les autres échantillons (Ni13-06, 11 et 14) prélevés dans le Complexe de la Calcite donnent des âges > 450 ka. Les rapports  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  proches de l'équilibre dans les échantillons Ni13-14 (figure 9, photo A) et Ni13-06 (figure 9, photo B) attesteraient un âge très ancien, car pour atteindre cet équilibre il faut 2 millions d'années. L'échantillon Ni13-04 (figure 8 photo A) non analysé est une reprise de l'échantillon ND5 daté de façon assez sûre > 350 ka en 1980. Ces concrétions pariétales de couleur blanche, souvent très érodées et fossilisées par la Formation Rouge et le Complexe de la Calcite, représentent aujourd'hui les plus vieux dépôts calcitiques du réseau.

Une nouvelle série d'âges a été obtenue pour caractériser les planchers intermédiaires (F4). Le plancher Ni13-09 (figure 10 photos C et D) est le plus intéressant car la base et le sommet donnent respectivement des âges à  $124,6 \pm 6,9$  ka et  $121,4 \pm 9,4$  ka qui encadrent parfaitement le pic MIS 5e défini à 123 ka, soit l'Éémien [Lisiecki et Raymo, 2005; Vansteenberghe *et al.*, 2016]. Le plancher Ni13-22, qui est une reprise du ND8 (figure 11), donne une série de 6 âges compris entre  $160,7 \pm 1,14$  ka et  $129,8 \pm 1,7$  ka. Ces nouvelles datations viennent compléter les âges du plancher ND8, dont la base et le sommet avaient été respectivement datés à  $185,2 \pm 10,4$  /  $-9,6$  ka et  $91,4 \pm 2,4$  ka. Les nouveaux âges ne retrouvent pas exactement les anciens, au toit et à la base, et posent un problème d'interprétation paléoclimatique qui sera discuté plus loin : en effet, plusieurs âges tombent en plein glaciaire MIS 6. Le sommet du plancher Ni13-21 (figure 10 photos A et B) à  $96,2 \pm 0,6$  ka complète

l'âge de 1980 à  $91,4 \pm 2,4$  ka qui avait permis de définir indirectement l'entrée dans la dernière glaciation.

En ce qui concerne la fin de la dernière glaciation et le passage à l'Holocène, les nouvelles datations n'apportent pas de nouveaux éléments mais viennent compléter la série d'âges déjà disponibles entre 19 ka et 3,7 ka, âges des planchers stalagmitiques les plus récents datés. La carotte Ni13-1, prélevée sur le même site que celui daté en 1980 à  $19,1 \pm 1,6$  ka, donne, pour la base, un âge légèrement plus jeune ( $12,2 \pm 4$  ka). Ce dernier point analysé étant relativement contaminé en matériel détritique ( $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th} = 3,42$ ), l'âge de 1980 qui a été obtenu sur un échantillon très pauvre en éléments détritiques ( $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th} = 30,5$ ) garde toute sa validité pour marquer la fin de la dernière glaciation.

### C. Synthèse

Avec les nouvelles datations U/Th, on dispose aujourd'hui d'une cinquantaine

Échantillon 2013	F	Lab code	$^{238}\text{U}$ ppm	$\delta^{234}\text{U}_M$ ‰	$^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	Âge (ka)	Âge corrigé (ka)
Ni13-03 haut	6	4144	0,196 ± 0,0001	261,2 ± 1,43	0,105 ± 0,0006	45,5 ± 0,250	9,5 ± 0,07	
Ni13-03 bas	6	5290	0,185 ± 0,0018	228,6 ± 43,25	0,128 ± 0,0100	93,2 ± 15,340	12,0 ± 1,46	
Ni13-01-haut	6	6078	0,207 ± 0,0001	255,0 ± 10,41	0,108 ± 0,0014	30,9 ± 0,420	9,8 ± 0,22	9,4 ± 0,44
Ni13-01-bas	6	6079	0,200 ± 0,0001	381,4 ± 8,59	0,229 ± 0,0026	3,4 ± 0,034	19,7 ± 0,38	12,2 ± 3,98
Ni13-21a haut	4	5190	0,178 ± 0,0001	552,4 ± 2,02	0,950 ± 0,0024	233,2 ± 0,590	96,2 ± 0,57	
Ni13-21a bas	4	4843	0,214 ± 0,0001	449,7 ± 1,03	0,956 ± 0,0030	14,5 ± 0,045	109,1 ± 0,69	106,2 ± 1,40
Ni13-09 haut	4	5362	0,211 ± 0,0005	280,4 ± 15,06	0,886 ± 0,0280	703,2 ± 22,510	121,4 ± 9,37	
Ni13-09 bas	4	5361	0,400 ± 0,0015	234,0 ± 21,07	0,864 ± 0,0100	73,3 ± 0,890	124,6 ± 6,91	
Ni13-22 B-top	4	6080	0,834 ± 0,0010	393,8 ± 1,39	1,046 ± 0,0040	198,7 ± 0,730	136,6 ± 1,48	
Ni13-22 B-bas	4	6081	0,681 ± 0,0005	383,2 ± 1,02	1,012 ± 0,0036	72,4 ± 0,258	129,8 ± 1,74	
Ni-13-22 haut	4	5938	0,798 ± 0,0005	394,1 ± 1,52	1,073 ± 0,0017	138,6 ± 0,220	143,8 ± 0,78	
Ni-13-22 milieu	4	5450	0,780 ± 0,0023	392,0 ± 1,40	1,086 ± 0,0012	134,5 ± 0,151	147,6 ± 0,65	
Ni-13-22 bas	4	5452	0,710 ± 0,0005	404,2 ± 1,35	1,101 ± 0,0008	169,4 ± 0,129	148,8 ± 0,54	
Ni-13-22 7,5	4	7250	0,592 ± 0,0050	370,6 ± 1,71	1,113 ± 0,0022	13,24 ± 0,027	160,7 ± 1,14	
Ni13-07 haut	2b	7248	0,334 ± 0,0027	9,5 ± 0,91	0,953 ± 0,0110	20,3 ± 0,230	311,5 ± 22,09	
Ni13-07 milieu	2b	5366	0,151 ± 0,0004	1,5 ± 13,49	1,008 ± 0,0220	70,9 ± 1,590	> 450	
Ni13-07 bas	2b	5367	0,736 ± 0,0020	11,0 ± 7,19	0,991 ± 0,0099	113,3 ± 1,320	> 450	
Ni13-18 B ext	2c	6082	0,361 ± 0,0001	255,1 ± 0,64	1,279 ± 0,0009	2413,4 ± 1,690	336,0 ± 2,42	
Ni13-18 A int	2c	5937	0,186 ± 0,0005	264,1 ± 1,85	1,326 ± 0,0012	60,1 ± 0,050	399,5 ± 8,49	
Ni13-14-T1-3/5	2c	5454	0,151 ± 0,0002	6,6 ± 1,59	0,986 ± 0,0011	75,4 ± 0,081	> 400	
Ni13-14-T1-12	2c	5455	0,648 ± 0,0022	1,9 ± 1,10	1,021 ± 0,0014	166,0 ± 0,219	> 450	
Ni13-14-T2-1	2c	5192	0,138 ± 0,0001	6,7 ± 1,35	1,006 ± 0,0019	34,2 ± 0,070	> 450	
Ni13-14-T2-4	2c	5191	0,161 ± 0,0001	7,1 ± 1,02	1,022 ± 0,0021	54,3 ± 0,110	> 450	
Ni13-11a haut	2c	5294	0,135 ± 0,0005	260,6 ± 18,91	3,422 ± 0,0590	90,8 ± 1,610	> 450	
Ni13-11a bas	2c	5449	0,142 ± 0,0001	265,7 ± 1,43	1,471 ± 0,0016	75,1 ± 0,080	> 450	
Ni13-11b bas	2c	5292	0,150 ± 0,0006	43,4 ± 19,05	1,069 ± 0,0250	25,6 ± 0,620	> 450	
Ni13-06 haut	2c	5936	0,276 ± 0,0003	4,6 ± 1,71	1,035 ± 0,0011	2187,4 ± 2,440	> 450	

Tableau 1 : Datations U-Th des échantillons de la grotte de Niaux. Les colonnes présentent les concentrations en uranium, thorium, rapports isotopiques (avec  $\delta^{234}\text{U} = (^{234}\text{U}/^{238}\text{U} - 1) * 1000$ ), et les âges. Pour les échantillons nouveaux présentant des niveaux de matériel détritique importants, les âges ont été corrigés en utilisant un rapport  $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$  de  $1,5 \pm 50\%$ . *U-Th ages from the Niaux cave system. Columns report the uranium and thorium concentrations, the isotopic ratios (with  $\delta^{234}\text{U} = (^{234}\text{U}/^{238}\text{U} - 1) * 1000$ ), and the ages. In the case of the 2013 samples containing a significant detrital component, the ages were corrected by using a  $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$  ratio of  $1.5 (\pm 50\%)$ .*

d'âges. L'ensemble des deux séries est repris dans le tableau 2. Elles ont été mises en parallèle avec la courbe de variation du  $\delta^{18}\text{O}$  globale de Lisiecki et Raymo [2005], sur laquelle ont été reportés les repères MIS des stades isotopiques jusqu'à 475 ka (figure 12).

Les formations calcitiques les plus récentes (F6), qui correspondent au post-glaciaire, débutent vers  $19 \pm 1,6$  ka,

mais les concrétions postérieures à 12 ka sont les mieux représentées. Par rapport à l'évolution climatique globale, cela veut dire que le réseau présentait dès la fin du Global LGM des conditions paléo-climatiques favorables au concrétionnement. La glaciation du Würm (F5), quant à elle, est bien caractérisée par une absence totale de concrétionnement entre  $91,4 \pm 2,4$  ka et  $19 \pm 1,6$  ka.

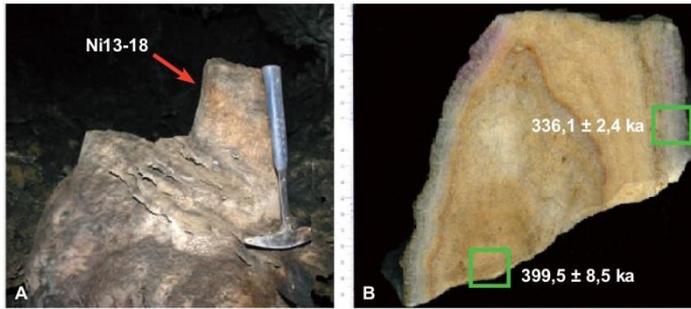


Figure 7: Stalagmite Ni13-18 située au sommet du Complexe de la Calcite, daté  $336,1 \pm 2,4$  ka en périphérie et  $399,5 \pm 8,5$  ka au cœur. Elle est recouverte par la formation des conglomérats de la galerie des Comtes de Foix (F3). Stalagmite Ni13-18 on the top of the Complexe de la Calcite. Age of outer rings:  $336,1 \pm 2,4$  ka; age of core:  $399,5 \pm 8,5$  ka. This stalagmite was buried beneath the conglomerate formation of the galerie des Comtes de Foix (F3).

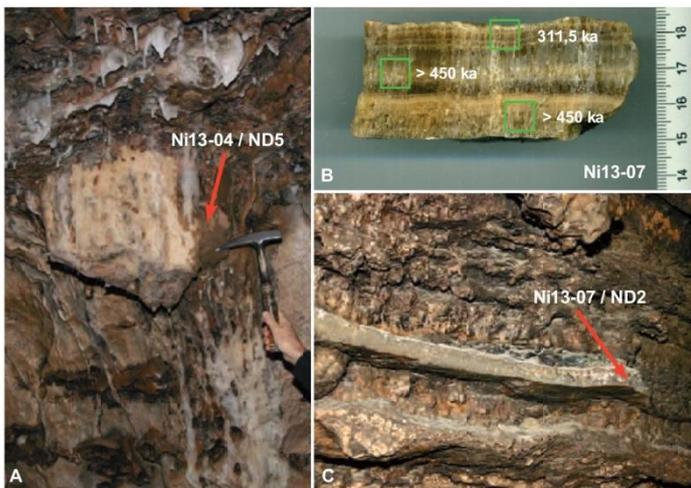


Figure 8: Concrétion et plancher associés à la Formation Rouge. A: concrétion non redatée, qui avait donné un âge ND5 indéterminé  $> 350$  ka dans la série 1982. Elle est fossilisée par la Formation Rouge, son âge est donc probablement  $> 450$  ka. B et C: plancher intercalé dans la Formation Rouge: Ni13-07/ND2. Noter l'amélioration de la précision de l'âge U-Th: ND2 =  $331 \pm 60$  ka versus Ni13-07 =  $311,5 \pm 22,9$ . Cette datation implique l'âge diachrone de la Formation Rouge, un faciès qui se manifesterait à plusieurs niveaux de la séquence sédimentaire, avant le Complexe de la Calcite mais aussi vers son toit.

Speleothem and flowstone associated with the Formation Rouge. Photo A: speleothem (ND5) which in 1982 provided an indetermined age  $> 350$  ka. However, given that it is buried beneath the Formation Rouge, its age is probably  $> 450$  ka. B and C: stalagmitic flowstone unit interbedded within the Formation Rouge (Ni13-07/ND2). Note the increase in U-Th age precision, i.e. the 1982 sample (ND2) yielded an age of  $331 \pm 60$  ka, whereas the 2013/2017 sample (Ni13-07) provides a narrower age band of  $311,5 \pm 22,9$  ka. This result suggests that the Formation Rouge is diachronous, i.e. a facies involving several depositional pulses prior to the Complexe de la Calcite but also towards its top.

Le plancher ND8/Ni13-22 (figure 6 encadré A et figure 11) avec les 6 nouveaux âges obtenus posent un problème d'interprétation. Deux hypothèses contradictoires peuvent être suggérées: (i) ou bien il faut en inférer une grande stabilité des conditions paléoclimatiques entre 160 ka et l'Éémien proprement dit (MIS 5e), lequel est très bien caractérisé par les planchers Ni13-09, ND14 et ND16b, stabilité prolongée jusque vers 90 ka. Les nouvelles datations (Ni13-21 et Ni13-22), en effet, montrent que le réchauffement a pu être progressif et que les zones de transition antérieures et postérieures au cœur de l'interglaciaire auraient été relativement longues. On ne dispose pas de données suffisamment complètes dans les Pyrénées pour confirmer cette observation, mais c'est un phénomène mis en évidence dans le NW de l'Europe [Vansteenberghe et al., 2016; Kicinska et al., 2017]. Cette stabilité, qui aurait permis sur ce site la poursuite du concrétionnement pendant tout le cœur du MIS 6, ne manque cependant pas de surprendre, d'autant qu'un glaciaire MIS 6 sensiblement plus étendu que le Würm a été cartographié (figure 1) et daté dans la vallée de l'Ariège [Delmas et al., 2011]. (ii) Ou bien il faut admettre un hiatus sur ce plancher, donc une lacune de dépôt fluvio-glaciaire exogène au cours du Riss/MIS6, hypothèse proposée par Sorriaux [1982] et fondée sur les deux âges obtenus à la base et au toit de ND8. Cette seconde hypothèse semble plus vraisemblable, confirmée par l'orientation discordante des lamines de calcite successives mais aussi par la présence d'un micro-ravinement séparant la calcite de grès fins cimentés formant une partie du plancher (figure 11). On ajoutera que deux séries de mesures ont donné pour la même séquence calcitique des âges sensiblement discordants, au surplus avec une inversion, qui peuvent les rendre suspects (biais dû à un comportement en système ouvert de l'échantillon). Rappelons enfin qu'une séquence détritique sablo-graveleuse, représentant potentiellement le MIS 6, est scellée par le plancher clairement éémien Ni 13-09 (figure 6 encadré B et figure 10 photos C et D).

Entre le MIS 6 et le MIS 12, la réinterprétation des âges de la série de 1980 est plus difficile compte tenu des âges moins précis. Pour cet intervalle, on peut juste dire qu'il existe plusieurs planchers intercalés dans des formations détritiques dont la plus caractéristique

serait la Formation des conglomérats de la galerie des comtes de Foix (F3). Celle-ci semble bien se caler sur l'épisode froid MIS 8 (figure 6, encadré A; figure 12), entre au toit un plancher donnant 180 ka à sa base (figure 11A) et au plancher une stalagmite datée à 336 ka (figure 7). L'interglaciaire MIS 9 semble attesté par plusieurs âges. Il pourrait être caractérisé par la nouvelle datation du plancher ND2 (331 ka) / Ni13-07 (311,5 ka); mais sa base et son cœur à > 450 ka ne sont pas très cohérents avec cette attribution, d'autant qu'il ne montre aucune discordance interne (figure 8 photos B et C), sinon des variations de taille des cristaux et des lamines. La position de ce plancher, au sein d'une séquence lacustre détritique argileuse rouge, pose la question d'une pluralité des formations lacustres de ce type, dont la récurrence la plus récente se placerait clairement dans le Pléistocène moyen. Le MIS 9 est aussi potentiellement documenté par la concrétion Ni13-18, qui marque le sommet du Complexe de la Calcite (figure 7). La discontinuité entre le sommet de Ni13-18, daté du MIS 9, et son cœur, calé sur le MIS 11, marque probablement le refroidissement MIS 10, mais sans dépôts ni érosions identifiables sur la stalagmite échantillonnée. Il y a continuité ici entre ce niveau daté à 400 ka et tous les échantillons du Complexe de la Calcite sous-jacent, datés à > 450 ka. Il ne semble donc pas y avoir eu d'englacement majeur enregistré par la cavité pendant la phase de refroidissement MIS 12. Le ND7, initialement daté entre 265 et 331 ka pour le toit et la base et pouvant donc correspondre au MIS 9, est rejeté avec les nouvelles analyses (Ni13-11) à un âge > 450 ka dans le Complexe de la Calcite. Ce plancher fossilise des sables allogènes jaunes qui peuvent traduire un glaciaire ancien MIS 14 ou MIS 16 (figure 6 encadré B et figure 12).

#### IV. Discussion : rapports entre karst et glaciers depuis 450 ka

##### A. Des modèles théoriques au cas du système Niaux-Sabart-Lombrives

À partir de l'analyse de karst de moyenne montagne dans les vallées du sud des Alpes, Bini et al. [1998] ont proposé un modèle qui rend compte de trois états du système karstique, ou d'une partie du système durant la phase d'expansion maximale du glacier. Le système peut ainsi (i) se trouver isolé,

Figure 9: Colonne et planchers stalagmitiques du Pléistocène ancien. A: colonne du Complexe de la Calcite carotée, Ni-13-14 > 450 ka. B: plancher stalagmitique scellant la Formation Rouge inférieure. La carotte Ni13-06 (> 450 ka), prélevée dans le plancher sommital, fait une vingtaine de centimètres de long. La colonne Ni13-14 et le plancher Ni13-06 pourraient être très vieux, entre 1 et 2 Ma, car les rapports  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  sont proches de l'équilibre, en théorie atteint à 2 millions d'années.

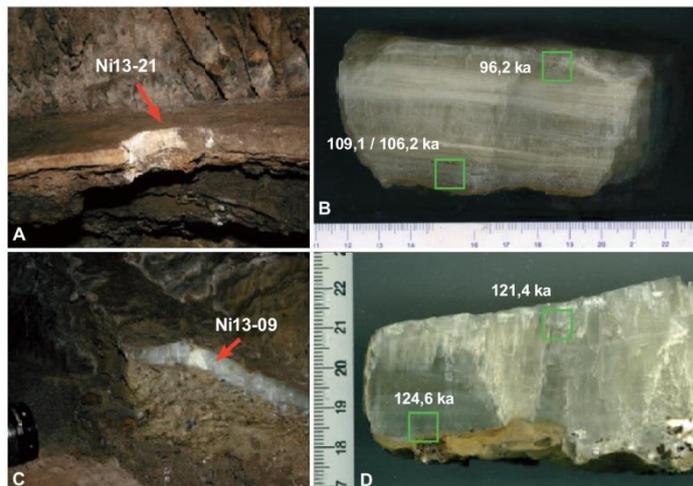


Figure 10: Planchers stalagmitiques datant de l'Éémien. A et B: plancher fini-éémien (galerie des Comtes de Foix, figure 6 coupe A). C et D: plancheur éémien (galerie du Bison Rouge figure 6 coupe B). Le plancheur stalagmitique Ni13-09, de quelques centimètres d'épaisseur, encadre avec une très bonne précision l'Éémien MIS 5e avec sa base datée à  $124,6 \pm 6,9$  ka et son sommet à  $121,4 \pm 9,4$  ka. Le plancheur Ni13-21 scelle la Formation F3 dans la galerie des Comtes de Foix et donne des âges plus jeunes associés à des épisodes plus chauds dans le Würm ancien (MIS 5c), avant la reprise de la glaciation würmienne.

*Eemian stalagmitic flowstones. A and B: late Eemian flowstone unit (galerie des Comtes de Foix, fig. 6 cross section A); C and D: Eemian flowstone unit (galerie du Bison Rouge, see cross-section B in fig. 6). Flowstone unit Ni13-09, just a few cm thick, provides a high-precision age bracket around MIS 5e, with its base ca.  $124,6 \pm 6,9$  ka and its top ca.  $121,4 \pm 9,4$  ka. Unit Ni13-21 caps Formation F3 in the galerie des Comtes de Foix and yielded younger ages correlated with relatively milder intervals during the older Würm (MIS 5c), i.e. prior to the full onset of Würmian glaciation.*

Grotte	Numéro de l'échantillon	F	Âge non corrigé (ka)	Âge corrigé (ka)
Niaux	ND 10 (2)	6	3,7 + 1,3 - 1,2	3,7 + 1,3 - 1,2
Niaux	ND 18 t	6	13,6 ± 1,2	4,5 ± 2,2
Niaux	ND 18 b	6	4,8 ± 0,5	4,8 ± 0,5
Lombrives	LD 1	6	12,6 ± 1,5	5,7 ± 3,4
Lombrives	LD 2 b	6	11,2 ± 1,3	6,1 ± 2,6
Niaux	ND 1 (2)	6	19,9 ± 2,1	8,1 ± 3,9
Sabart	SD 2 b	6	11,7 ± 1,3	8,4 ± 2,3
Niaux	Ni13-01-haut	6	9,8 ± 0,2	9,4 ± 0,4
Niaux	Ni13-03 haut	6	9,5 ± 0,1	
Niaux	Ni13-03 bas	6	12,0 ± 1,5	
Niaux	Ni13-01-bas	6	19,7 ± 0,4	12,2 ± 4,0
Niaux	ND 1 (1)	6	19,1 ± 1,6	19,1 ± 1,6
Niaux	ND 8 t	4	91,4 ± 2,4	91,4 ± 2,4
Niaux	Ni13-21a haut	4	96,2 ± 0,6	
Niaux	Ni13-21a bas	4	109,1 ± 0,7	106,2 ± 1,4
Niaux	ND 14	4	130,6 + 16,0 - 14,0	120,5 + 18,1 - 16,3
Niaux	Ni13-09 haut	4	121,4 ± 9,4	
Niaux	Ni13-09 bas	4	124,6 ± 6,9	
Niaux	ND 16 b	4	132,6 + 8,3 - 7,7	126,0 + 9,0 - 8,5
Niaux	Ni13-22 B-top	4	136,6 ± 1,5	
Niaux	Ni13-22 B-bas	4	129,8 ± 1,7	
Niaux	Ni-13-22 haut	4	143,8 ± 0,8	
Niaux	Ni-13-22 milieu	4	147,6 ± 0,6	
Niaux	Ni-13-22 bas	4	148,8 ± 0,5	
Niaux	Ni-13-22 7.5	4	160,7 ± 1,1	
Niaux	ND 8 b	4	189,7 + 9,9 - 9,1	185,2 + 10,4 - 9,6
Sabart	SD 1 t	?	199,2 + 59,0 - 36,5	186,8 + 60,7 - 39,5
Niaux	ND 15 b	?	240,9 + 54,4 - 36,5	216,9 + 57,4 - 39,4
Niaux	ND 4	2 c	277,1 + 48,6 - 33,2	257,0 + 49,3 - 33,9
Niaux	ND 7 t	?	265,2 + 94,5 - 51,4	265,2 + 94,5 - 51,4
Niaux	Ni13-07 haut	2 b	311,5 ± 22,1	
Niaux	Ni13-07 milieu	2 b	> 450	
Niaux	Ni13-07 bas	2 b	> 450	
Niaux	ND 2 (2)	2 b	+ 62,1	+ 71,6
		2 b	331,3	318,5
Niaux	ND 7 b	2 c	> 350	- 62,5 + 29,1 - 58,5
Niaux	Ni13-18 B (ext)	2 c	336,1 ± 2,4	
Niaux	Ni13-18 A (int)	2 c	399,5 ± 8,5	
Niaux	Ni13-14-T1-3/5	2 c	> 400	
Niaux	Ni13-14-T1-12	2 c	> 450	
Niaux	Ni13-14-T2-1	2 c	> 450	
Niaux	Ni13-14-T2-4	2 c	> 450	
Niaux	Ni13-11a haut	2 c	> 450	
Niaux	Ni13-11a bas	2 c	> 450	
Niaux	Ni13-11b bas	2 c	> 450	
Niaux	Ni13-06 haut	2 c	> 450	
Niaux	ND 6	2 c	Indet.	
Niaux	ND 3 (2)	2 c	> 350	
Niaux	ND 12	2 c	> 350	
Niaux	ND 13	2 c	> 350	
Sabart	SD 1 b (2)	2 c	> 350	
Niaux	NI 4 t	2 c	> 350	
Niaux	ND 5	?	> 350	

Tableau 2 : Synthèse des datations U/Th réalisées dans le système karstique de Niaux-Lombrives-Sabart. La série de 1982 est en italique (Âge BP). *Synthesis of U/Th data of the Niaux-Lombrives-Sabart karstic system. The 1982 series is in italics (Ages BP).*

donc exempt de circulation d'eau glaciaire; (ii) être complètement noyé; ou (iii) absorber des eaux par une entrée haute située sous le glacier ou sur sa bordure. Dans ce cas, soit le torrent rejoint la zone noyée du système, soit le système n'est pas noyé et le torrent peut parcourir toute la cavité et résurger en position sous-glaciaire plus en aval.

Dans le cas du système de Niaux, les relations entre les différentes phases de remplissage, la morphologie des galeries et les formes de parois montrent que, jusqu'à la glaciation würmienne, le réseau était encore entièrement colmaté sur certains tronçons de galeries. Le décolmatage n'a été possible que parce qu'il y a eu possibilité de capture des eaux d'origine glaciaire par le karst. Les eaux associées au glacier n'ont fait que réutiliser le système karstique préexistant, mais suivant la position des captures, le fonctionnement du système a pu prendre des configurations différentes.

Il n'est pas possible de situer précisément dans le temps chacun des stades de décolmatage, mais la

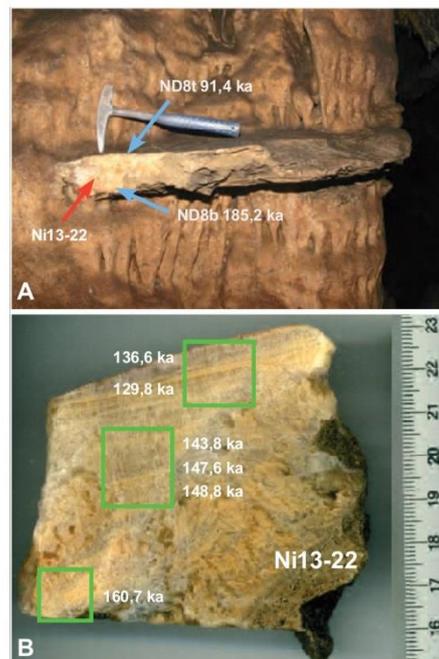


Figure 11: Plancher Ni13-22 / ND8, qui s'accroche à un pilier du Complexe de la Calcite. Ce plancher est en face du plancher Ni13-21 (galerie des Comtes de Foix, figure 6 coupe A). Les âges de l'échantillon ND8 sont reportés sur la photo A. On peut y observer la discontinuité, datée à 91,4 ± 2,4 ka, qui sépare l'extrême sommet de la base, datée à 185,2 ± 10 ka. Les nouvelles datations qui s'intercalent entre les 2 âges sont localisées sur la photo B. *Ni13-22 / ND8 flowstone unit growing off a pillar of the Complexe de la Calcite. This unit faces unit Ni13-21 (galerie des Comtes de Foix, see cross-section A in fig. 6). The ages of sample ND8 are shown in panel A. Note the sharp age break suggested by the difference in age between the top (91.4 ± 2.4 ka), and base (185.2 ± 10 ka) of the unit. New intermediate ages obtained in 2013 are noted in panel B, and reveal a more continuous history of precipitation.*

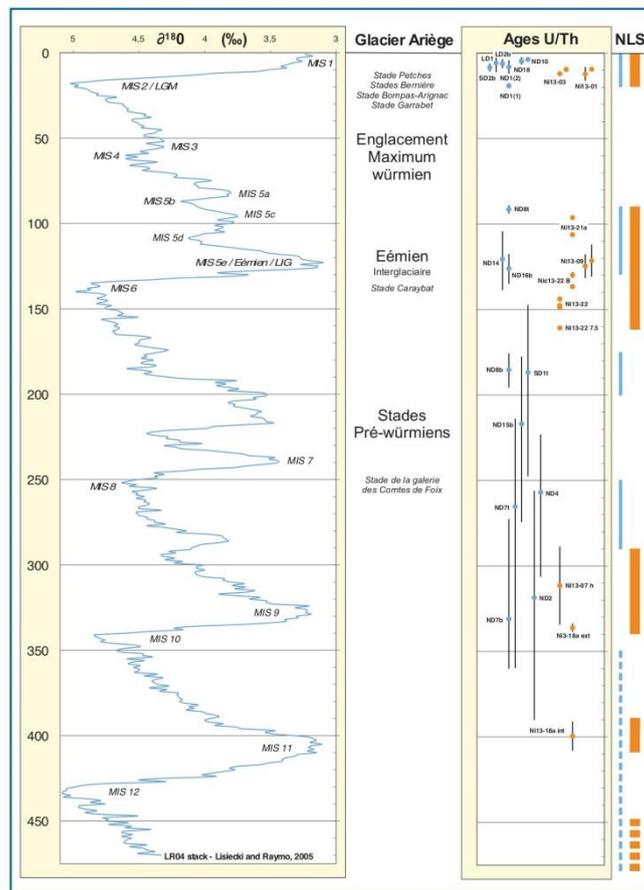
réactivation ne peut s'expliquer que parce que les entrées du karst se trouvaient en position favorable par rapport aux glaciers pour capter les torrents glaciaires au niveau d'entrées déjà existantes sur les vallées [Häuselmann et al., 2008; Lauritzen et al. 2013]. Outre les grands porches que l'on connaît, il a dû exister des points de captures aujourd'hui comblés. Les puits verticaux remontants vers la surface ont aussi joué ce rôle. C'est souvent à l'aplomb de ces grands puits (abîme Martel à Niaux, et Cathédrale à Lombrives), en effet, que l'on peut observer les plus gros blocs exogènes constitués de granite et de gneiss (figure 13 photo D). Certains blocs à Lombrives comme dans la grande salle de l'entrée de Niaux sont suffisamment altérés et friables dans leurs écailles superficielles pour être attribuables à une glaciation pré-würmienne. Leur position au plancher des galeries implique un déboufrage déjà bien avancé de ces sites, mais pas nécessairement une interconnexion effective de l'ensemble du réseau, qui ne semble pas intervenir avant le Würm. C'est probablement lorsque que le karst était totalement recouvert par le glacier que l'ensemble du réseau a été totalement noyé. Les sédiments argileux associés à l'enneigement scellent les dépôts détritiques de type torrentiel. Ils sont particulièrement bien conservés dans des réseaux de galeries en position latérale par rapport aux drains principaux. Ils recouvrent les concrétions anciennes du Complexe de la Calcite (figure 13 photo B), et les figures sédimentaires de décantation attestent aussi ces phases d'enneigement généralisé.

### B. Le fonctionnement du karst pendant le dernier cycle glaciaire

Pendant le cycle glaciaire würmien, la circulation des eaux dans le karst se faisait tantôt depuis l'Ariège vers le Vicdessos, tantôt dans l'autre sens, selon la position relative de la glace dans ces deux vallées [Sorriaux, 1981 et 1982]. La reconstitution des paléo-courants a été essentiellement établie à partir des figures d'érosion et des structures sédimentaires. Lors de l'avancée maximale du glacier de l'Ariège et jusqu'au MEG (MIS 4), mais probablement aussi au cours du Global LGM [24-19 ka, MARGO project members, 2009], les circulations souterraines se sont produites de la vallée de l'Ariège vers la vallée du Vicdessos en empruntant l'étage supérieur (figure 13 photo A). La raison en est que le glacier de l'Ariège était nettement mieux alimenté et plus épais que celui du Vicdessos, comme le montre sa diffuence vers l'ouest au col de Larnat, en direction de la vallée de Miglos, où la langue du Vicdessos était située nettement en contrebas. L'enneigement est présumé se produire entre

91 et 19 ka. Faute de discontinuités visibles dans la sédimentation de la séquence F5 et/ou de spéléothèmes intercalés, on ne peut mettre en évidence de probables interruptions. Mais celles-ci se sont certainement produites, en particulier pendant le MIS 3 où l'on démontre la disparition du glacier dans le secteur de Tarascon et d'amples fluctuations de son front de plus de 10 km [Delmas, 2009; Delmas et al., 2011]. Ces fluctuations ont certainement joué un rôle dans le décolmatage, voire le recolmatage ponctuel de certaines entrées, en modifiant à plusieurs reprises le sens des écoulements et les points de pertes. La déglaciation, qui s'est amorcée après le stade de Garrabet (Global LGM), a abaissé à nouveau le niveau de base et les captures ont probablement été encore modifiées. Les vagues d'érosion présentes dans

Figure 12: Synthèse chronostratigraphique et paléoclimatique des dépôts du système karstique de Niaux-Lombrives-Sabart. De gauche à droite: Courbe bleue:  $\delta^{18}O$  LR04 stack de Lisiecki et Raymo [2005]; stades du glacier de l'Ariège; points bleus: série U/Th 1982; points orange: série U/Th 2013/2017. Barres verticales orange: périodes de croissance des spéléothèmes déduites des datations 2013/2017. Les barres bleues correspondent aux périodes de croissance déduites des datations de 1982 [in M. Bakalowicz et al., 1984, et figure 4 de cette publication]. Chronostratigraphic and paleoclimatic synthesis of the deposits of the Niaux-Lombrives-Sabart karst system. Left to right: blue curve:  $\delta^{18}O$  LR04 stack from Lisiecki and Raymo [2005]; Ariège glacier stages; blue dots: 1982 U/Th age series; orange dots: 2013/2017 U/Th age series. Vertical orange bars: periods of speleothem growth inferred from the 2013/2017 age set. Blue bars: growth periods inferred from the 1982 age set (see Bakalowicz et al., 1984 and figure 4 therein).



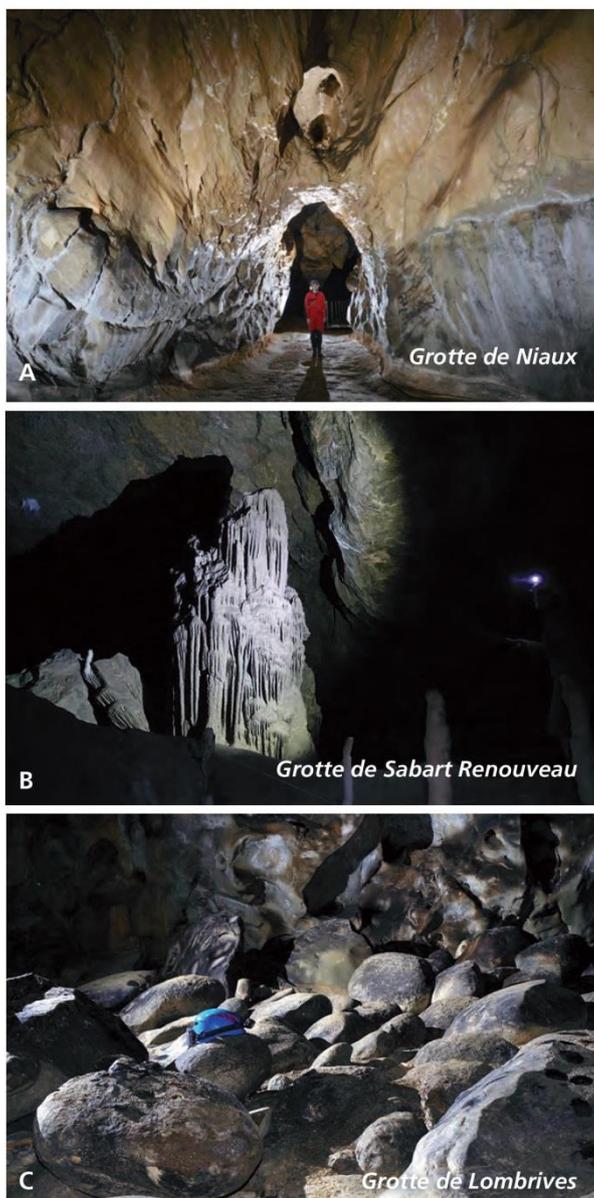


Figure 13: Morphologie de l'endokarst et remplissages associés au glacier würmien. A: Galerie phréatique associée à la remise en charge du karst pendant la dernière phase glaciaire. Les coups de gouge indiquent une circulation vers la vallée du Vicdessos. B: colonne ancienne datée de plus de 350 ka et recouverte par les argiles de décantation würmienne. C: blocs exogènes imbriqués d'origine morainique. Certains blocs clairement altérés en écailles périphériques sont probablement un héritage pré-würmien. *Morphological features of the endokarst and sediment fills associated with the Würmian Ariège glacier. A: phreatic gallery associated with the flooding of the karst during the last glacial stage. The cave-wall scallops indicate water flow direction towards the Vicdessos valley. B: ancient column (> 350 ka) coated with Würmian slackwater clay deposits. C: cobbles (likely brought into the cave from a subaerial moraine deposit) showing clast imbrications. Onion-peel weathering, probably the legacy of post-depositional chemical alteration of a pre-Würmian bedload deposit.*

le niveau inférieur de Lombrives montrent qu'il y avait probablement une capture de torrents glaciaires par une entrée aujourd'hui colmatée sur la vallée du Vicdessos. Les courants souterrains dans l'étage supérieur de Lombrives ne se dirigeaient plus vers Niaux mais entièrement vers Sabart par les puits de Lombrives. Faute de marqueurs fiables, il n'est pas possible de corréliser ces changements d'orientation des écoulements karstiques avec les stades glaciaires subaériens.

Le retour progressif à un régime vadose est étroitement corrélé à la déglaciation des vallées voisines. Le stade Bompas-Arignac se caractérise par un amaigrissement généralisé des glaciers (~100 m au droit de Tarascon). Les reconstitutions paléogéographiques montrent qu'au moment où le glacier de l'Ariège construit les vallums de Bompas-Arignac, la basse vallée du Vicdessos est déglacée et un lac de barrage glaciaire occupe alors l'ombilic de Niaux jusqu'à 580 m d'altitude, 100 m en contrebas du porche de la grotte de Niaux (figures 1 et 2). Une partie des changements de sens des écoulements souterrains signalés plus haut sont peut-être attribuables à la mise en charge du réseau inférieur imposée par le paléo-lac de Niaux. Au stade de Bompas-Arignac, le toit de la glace était donc bien trop bas pour encore favoriser des captures vers le niveau 650-700 m du karst: les conditions étaient désormais favorables à la reprise du concrétionnement. L'événement est précisément daté par l'âge U/Th à  $19,1 \pm 1,6$  ka (ND1-1) à la base du plancher stalagmitique qui scelle la Formation Alluviale de Niaux, et que l'on peut corréliser à des données  $^{10}\text{Be}$  acquises sur le front morainique de Bernière, dans le bassin de Tarascon [surface I1 datée à  $18,8 \pm 1,3$  ka et surface I2 datée à  $17,5 \pm 1,1$  ka; âges à vieillir un peu en fonction des taux de production actuellement admis pour le  $^{10}\text{Be}$ : Delmas et al., 2011]. Ces âges indiquent qu'à la fin du Global LGM, la vallée était libre de glace au niveau de la grotte de Niaux. Cette rapide amélioration climatique, enregistrée localement dans le karst comme dans le glaciaire, aurait même une signification plus globale [GS 2-1b, Rasmussen et al., 2014].

### C. La question des glaciaires anciens

Entre la fin du Complexe de la Calcite (MIS 11 et MIS 9) et les premières manifestations de l'avant-dernier interglaciaire, on compte au moins 3 phases détritiques qui sont scellées par des planchers stalagmitiques d'âges différents. Les sédiments témoins de ces périodes froides sont discontinus dans le réseau, immatures, avec une phase calcaire importante, et semblent relever d'une dynamique de dépôt plus désorganisée que pendant le Würm. À Lombrives inférieur, le faciès d'imbrication des galets permet de reconstituer localement un courant venant de la vallée de l'Ariège. À Niaux, dans la même génération de formations, l'évolution granulométrique, décroissante depuis l'entrée,

témoigne d'un apport venant plutôt de la vallée du Videssos [Sorriaux, 1982].

Ces phases peuvent être associées à des épisodes glaciaires d'âges MIS 6 et MIS 8, qui semblent donc avoir eu beaucoup moins d'impact sur le système karstique que l'englacement du Würm. Pour ces cycles glaciaires et les dépôts associés, on peut penser que le réseau est resté isolé et qu'il ne se situait pas en position favorable pour permettre des captures et la réactivation généralisée du système. Seuls certains puits et segments de galerie précocement vidangés ont piégé des gros blocs d'origine morainique, dont l'état d'altération suppose un âge pré-würmien. Les sables graveleux fossilisés par le plancher éémien Ni13-09 doivent représenter le MIS 6 (figure 10 photo C). La formation F3 de la galerie des comtes de Foix est le dépôt sablo-caillouteux d'origine fluvio-glaciaire le plus caractéristique et le plus puissant (figure 4 et figure 5 photo A). En raison de l'âge des planchers qui l'encadrent, il peut être assimilé au MIS 8. Un épisode glaciaire plus ancien, des sables jaunes fossilisés par le plancher Ni13-11/ND 7 (épais de 3 à 10 cm), pouvaient représenter le MIS 10, en fonction des anciens âges obtenus sur ce plancher (ND 7 : base à 331 ka et toit à 265 ka, avec de très grandes incertitudes) ; mais la redatation de ce niveau a donné partout > 450 ka, ce qui renverrait ce glaciaire potentiel au plus récent vers les MIS 14 ou MIS 16, voire avant.

Dans la vallée de l'Ariège, les paléo-englacements pouvant être assimilés à une ou plusieurs des phases anciennes reconnues dans le karst ont été ponctuellement identifiés. Comme ailleurs dans les Pyrénées, ils ont eu une ampleur nettement plus grande que la dernière glaciation. Mais même si, comme lors de la dernière glaciation, le glacier a recouvert le massif du Cap de la Lesse, il ne semble pas y avoir eu, comme on vient de le préciser, de réactivation généralisée du karst. La phase glaciaire contemporaine de la nappe alluviale T2, attribuée au Riss/MIS 6 [Delmas et al., 2015], est jalonnée aux abords du bassin de Tarascon et dans les hautes vallées par une série de placages altérés et par des blocs erratiques dominant de 50 à 100 m les restes du maximum würmien d'englacement (figure 1). L'un de ces blocs, à Caraybat, a livré un âge à  $122,2 \pm 4,9$  ka. Une partie de ces hauts placages morainiques altérés et obturations latérales associées sont probablement plus

anciennes encore : si, au MIS 6, le glacier est réputé avoir dépassé la cluse de Foix, les erratiques les plus anciens sont situés 9 km en aval de Foix, perchés au-dessus de la terrasse T3 à Varilhes [Delmas et al., 2011].

## Conclusion

Le karst de Niaux-Lombrives-Sabart a conservé des témoins sédimentaires et paléoclimatiques de plusieurs cycles glaciaires-interglaciaires. On a pu préciser et compléter la chronologie déjà acquise en croisant les datations U/Th anciennes et nouvelles des spéléothèmes (i) avec l'âge  $^{10}\text{Be}$  des constructions morainiques extérieures au karst et (ii) avec les reconstitutions paléogéographiques des limites d'englacement au cours des stades successifs du Würm (et, plus ponctuellement, des glaciations antérieures).

Les maximums d'englacement enregistrés dans le karst correspondent, pour le plus récent, aux stades isotopiques MIS 4 à MIS 2, et pour les plus anciens pourraient correspondre aux stades isotopiques MIS 6, MIS 8 et, éventuellement, MIS 14 ou MIS 16. La Formation Alluviale de Lombrives, compte tenu de l'âge potentiellement très ancien du Complexe de la Calcite, pourrait être pliocène [Renault, 1970; Sorriaux, 1981, 1982]. Le matériel serait contemporain de la phase de genèse du réseau. En définitive, il serait possible de retrouver dans les Pyrénées le même modèle chronologique de karstogenèse que celui proposé pour les Alpes, avec une phase majeure de formation des réseaux au Pliocène, ou du moins avant le Quaternaire [Audra et al., 2006]. Les interglaciaires sont bien caractérisés par le développement des spéléothèmes [Baker et al., 1993]. Cependant, les datations autour du dernier interglaciaire (MIS 5e, Éémien) pourraient suggérer une inertie importante du karst en réponse aux phases d'englacement et de déglaciation qui précèdent l'événement. En effet, certains planchers ont fourni des âges allant de l'Éémien au cœur du MIS 6, suggérant, contrairement aux données externes, que cette phase froide a été très amortie. C'est aussi le cas pour la déglaciation würmienne, qui se marque précocement dans le karst avec le développement des premiers spéléothèmes dès le MIS 2. Pour les périodes anciennes, un nouvel âge permet de situer la fin du Complexe de la Calcite dans la grotte de Niaux à 336 ka, donc dans l'interglaciaire

MIS 9. Ce complexe puissant et massif reste néanmoins, pour l'essentiel, bien antérieur à 450 ka (limite de la méthode U/Th). Seule sa partie supérieure, formée de minces planchers, s'interstratifie localement (Ni13-11) avec des apports allogènes plus anciens (figure 6B) peut-être assimilables aux MIS 14 ou MIS 16, ou bien encore (Ni13-07) avec une formation lacustre argileuse rouge à niveaux de mondmilch induré (figure 8). Cette observation, appuyée sur un âge U/Th, démontre que la série rouge lacustre définie dans les premiers travaux [Sorriaux, 1981 et 1982] ne constitue pas une entité chronostratigraphique unique antérieure au complexe de la calcite, mais un faciès susceptible d'apparaître jusqu'au cœur du Pléistocène moyen.

À chaque glaciation, la totalité du réseau du Cap de la Lesse pouvait potentiellement être remise en charge, mais c'est la dernière glaciation associée aux MIS 2 à 4 qui a laissé les traces les plus fraîches et les plus généralisées de la réactivation du réseau. D'un point de vue de la dynamique du karst, cette différence montre qu'il faut une coïncidence entre les circulations d'eau de fonte glaciaire en surface et les zones de captures potentielles du karst vers un réseau profond pour que la réactivation se produise. Sans cette coïncidence, le karst reste isolé. Même avec un recouvrement total par les glaciers, la réactivation ne peut avoir lieu, ou produit des enregistrements plus faibles (cas des stades pré-würmiens MIS 6 et MIS 8). À noter que la puissance et la continuité du Complexe de la Calcite, qui a scellé le système entre 2 et 0,4 Ma (nouvelles datations U/Th et rapports  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  proches de l'équilibre), explique largement la lenteur et le caractère tardif du débouillage.

Les relations morphogéniques entre les différentes phases de remplissage montrent enfin clairement que certains tronçons du système karstique de Niaux-Lombrives-Sabart sont antérieurs aux glaciations. Comme dans les Alpes [Audra et al., 2006], les eaux associées aux glaciers n'ont fait que réutiliser un système karstique préexistant lorsque les conditions hydrogéomorphologiques étaient favorables. Les formes endokarstiques résultantes correspondent alors à un rajeunissement des réseaux anciens, ou localement à la genèse de nouvelles formes. L'englacement quaternaire n'a pas engendré de modification profonde de la structure du drainage karstique.

## Remerciements

La Direction Régionale des Affaires Culturelles de Midi-Pyrénées (DRAC) qui nous a donné l'autorisation d'échantillonnage dans la grotte préhistorique de Niaux et Yanik Le Guillou (DRAC/SRA, Occitanie), qui nous a toujours soutenus pour

les différents projets dans la grotte. Le Service d'Exploitation des Sites Touristiques de l'Ariège (SESTA) sous la direction de Pascal Alard. Jacques Azéma responsable du site de la grotte de Niaux et Jean-Noël Lamiable. René Bodin pour l'accès à la grotte de Lombrives dont il a été l'exploitant jusqu'en 2016.

Catherine Simonnot, qui a pris la suite. Vincent Guinot et les amis du Spéléo Club du Haut Sabarthez, pour les photos des figures 4, 5B, 13A et 13C. L. Foliot (LSCE) pour la préparation des échantillons au LSCE.

## Bibliographie

- AUDRA P., BINI A., GABROVSEK FR., HÄUSELMANN PH., HOBLEA F., JEANNIN P.-Y., KUNAVER J., MONBARON M., SÜSTERSIC F., TOGNINI P., TRIMMEL H. & WILDBERGER A. 2006 - Cave genesis in the Alps between the Miocene and today: a review. *Zeitschrift für Geomorphologie*, t. 50, n° 2, p. 153-176.
- BAKALOWICZ M., SORRIAUX P. and 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.
- BAKER A., SMART P. L. and FORD D. C. 1993 - Northwest European palaeoclimate as indicated by growth frequency variations of secondary calcite deposits. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 100, 291-301.
- BINI A., TOGNINI P. et ZUCCOLO L. 1998 - Rapport entre karst et glaciers durant les glaciations dans les vallées préalpines du sud des Alpes. *Karstologia*, 32, 7-26.
- CALVET M., 1996 - Morphogenèse d'une montagne méditerranéenne, les Pyrénées-Orientales, Document du BRGM 255, Orléans, 3 t., pochette de cartes hors texte, 1177 p.
- CALVET M. and GUNNELL Y., 2008 - Planar landforms as markers of denudation chronology: an inversion of East Pyrenean tectonics based on landscape and sedimentary basin analysis. In: GALLAGHER K., JONES S.J., WAINWRIGHT J. (eds), *Landscape Evolution: Denudation, Climate and Tectonics Over Different Time and Space Scales*, Geological Society Special Publications, London, 296, 147-166.
- CALVET M., DELMAS M., GUNNELL Y., BRAUCHER R. and BOURLÈS D., 2011 - Recent advances in research on Quaternary glaciations in the Pyrenees. In: Ehlers, J., Gibbard, P.L., HUGHES, P. (Eds.), *Quaternary Glaciations, Extent and Chronology*, a closer look Part IV. Elsevier, Amsterdam, pp. 127-139.
- DELMAS M., 2009 - *Chronologie et impact géomorphologique des glaciations quaternaires dans l'est des Pyrénées*. Thèse de Doctorat, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Paris, 529 p.
- DELMAS M., 2015 - The last maximum ice extent and subsequent deglaciation of the Pyrenees: an overview of recent research. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 41, 109-137.
- DELMAS M., CALVET M., GUNNELL M., BRAUCHER R. and BOURLÈS D., 2011 - Palaeogeography and <sup>10</sup>Be exposure-age chronology of Middle and Late Pleistocene glacier systems in the northern Pyrenees: implications for reconstructing regional palaeoclimates. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 305, 109-122.
- DELMAS M., CALVET M., GUNNELL Y., BRAUCHER R. et BOURLÈS D., 2012 - Les glaciations quaternaires dans les Pyrénées ariégeoises: approche historiographique, données paléogéographiques et chronologiques nouvelles. *Quaternaire*, 23, 61-85.
- DELMAS M., BRAUCHER R., GUNNELL Y., GUILLOU V., CALVET M. and BOURLÈS D., 2015 - Constraints on Pleistocene glaciofluvial terrace age and related soil chronosequence features from vertical <sup>10</sup>Be profiles in the Ariège River catchment (Pyrenees, France). *Global and Planetary Change*, 132, 39-53.
- DOUVILLE E., SALLE E., FRANK N., EISELE M., PONS-BRANCHU E. and AYRAULT S., 2010 - Rapid and accurate U/Th dating of ancient carbonates using inductively coupled plasma-quadrupole mass spectrometry. *Chemical Geology*, 272, 1-11.
- EMILIANI C., 1954 - Temperature of Pacific bottom waters and polar superficial waters during the Tertiary. *Science*, 119, 853-855.
- FAUCHER D., 1937 - Le glacier de l'Ariège dans la basse vallée montagnarde. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 8, 335-349.
- FORD D.C., THOMPSON P. and SCHWARZ H.P., 1971 - Dating cave calcite deposits by the uranium disequilibrium method: some preliminary results from Crownest Pass, Alberta. In *Geomorphology Symposium*, University of Guelph, Ontario, Canada, pp. 247-255.
- GORON L., 1941 - Les vallums morainiques et les terrasses des dernières glaciations dans la région prépyrénéenne et son avant-pays. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 12, 5-429.
- GUNNELL Y., CALVET M., BRICHOU S., CARTER A., AGUILAR J.P. and ZEYEN H., 2009 - Low long-term erosion rates in high-energy mountain belts: insights from thermo- and biochronology in the Eastern Pyrenees. *Earth and Planetary Science Letters*, 278, 208-218.
- HÄUSELMANN P., LAURITZEN S.E., JEANNIN P.-Y. and MONBARON M., 2008 - Glacier advances during the last 400 ka as evidenced in St Beatus Caves (BE, Switzerland). *Quaternary International* 189, 173-189.
- KICINSKA D., HERCMAN H. & NAJDEK K., 2017 - Evolution of the Bystre valley caves (Tatra Mts, Poland) based on corrosive forms, clastic deposits and U-series speleothem dating. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, vol. 87: 101-119.
- LAURITZEN S.E. and SKOGLUND R.Ø., 2013 - Glacier ice-contact speleogenesis in marble stripe karst. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Frumkin, A. (Ed.), *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA, vol. 6, Karst Geomorphology, pp. 363-396.
- LISIECKI L. E. and RAYMO M. E., 2005 - A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic δ<sup>18</sup>O records. *Paleoceanography*, 20, PA1003, doi:10.1029/2004PA001071
- MARCORELLE M., 1773 - Voyage souterrain ou description des grottes de Lombrive et de Bedeilhac dans le pays de Foix. Article premier dans *Mémoires présentés à l'Académie des Sciences*, pp. 565-572.
- MARGO Project Members, 2009 - Constraints on the magnitude and patterns of ocean cooling at the Last Glacial Maximum. *Nature Geoscience*, 2, 127-132.
- MARTEL E.A., 1908 - *Cavernes de Tarascon-sur-Ariège*. Spelunca, Bulletin & Mémoires de la société de Spéléologie, 54, VII, 47 p.
- PONS-BRANCHU E., DOUVILLE E., ROY-BARMAN M., DUMONT E., BRANCHU E., THIL F., FRANK N., BORDIER L. and BORST W., 2014 - A geochemical perspective on Parisian urban history based on U/Th dating, laminae counting and Yttrium and REE concentrations of recent carbonates in underground aqueducts. *Quaternary Geochronology*, 24, 44-53.
- RASMUSSEN S. O., ANDERSEN K. K., SVENSSON A. M., STEFFENSEN J. -P., VINTHER B., CLAUSEN H. B., SIGGAARD-ANDERSEN M. L., JOHNSEN S. J., LARSEN L. B., DAHL-JENSEN D., BIGLER M., RÖTHLISBERGER, R., FISCHER H., GOTO-AZUMA K., HANSSON M. and RUTH U. 2006 - A new Greenland ice core chronology for the last glacial termination. *Journal of Geophysical Research*, 111, D06102, doi:10.1029/2005JD006079.
- RENAULT P., 1970 - Excursion dans les grottes de Niaux et de Lombrives, réunion intergroupe sur les remplissages karstiques de l'Association des Sédimentologistes Français, 20-21 novembre 1970 à Foix, 14 p.
- SCHWARZ H.P., 1980 - Absolute age determination of archeological sites by uranium series dating of travertines. *Archaeometry* 22, 1, 3-24.
- 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 3<sup>e</sup> cycle, Univ Toulouse et Laboratoire Souterrain de Moulis CNRS, 255 p.
- SORRIAUX P., 2014 - *Echantillonnage de dépôts pré-wurmien pour datations par cosmocnucléides et U/Th dans la grotte de Niaux*. Direction Régionale des Affaires Culturelles de Midi-Pyrénées, bilan scientifique 2013, 37-38.
- TAILLEFER F., 1960 - Les terrasses d'obturation glaciaire de la vallée de Saurat (Ariège). *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 31, 45-61.
- TAILLEFER F., 1961 - Recherches récentes sur le relief glaciaire de la vallée de l'Ariège. In Pays de l'Ariège: archéologie, histoire, géographie. *Actes du XVII<sup>e</sup> congrès d'études de la Fédération des sociétés académiques et savantes Languedoc-Pyrénées-Gascogne*, Foix, 28-30 mai 1960. F. Cocharaux, Auch, pp. 211-224.
- TAILLEFER F., 1963 - La carte de Morphologie glaciaire des Pyrénées au 1/50 000. Feuilles de Foix et de Vicdessos. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 34, 5-10.
- TAILLEFER F., 1982 - Sédiments des karsts et géomorphologie. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 53, 433-447.
- TAILLEFER F., 1985 - Idées actuelles sur les glaciations dans les Pyrénées de l'Ariège. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 56, 323-338.
- THOMPSON P., SCHWARZ H.P. and FORD D.C., 1974 - Continental Pleistocene climatic variations from speleothem age and isotopic data. *Science*, 184, 893-895.
- VANSTEENBERGE S., VERHEYDEN S., CHENG H., EDWARDS R. L., KEPPENS E. and CLAEYS P., 2016 - Paleoclimate in continental northwestern Europe during the Eemian and early Weichselian (125-97 ka): insights from a Belgian speleothem. *Climate of the Past*, 12, 1445-1458.
- VIERS G., 1960 - *Le relief des Pyrénées occidentales et leur piémont: Pays Basque français et Barétous*. Privat, Toulouse, 604 p.
- VIERS G., 1962 - *Les Pyrénées*. Que sais-je ? n° 995, Presses Universitaires de France, Paris, 128 p.
- VIERS G., 1963 - Les moraines externes de la Cerdagne et du Capcir (Pyrénées orientales, France) et leurs rapports avec les terrasses alluviales. In INQUA (ed.), *Report of the 6<sup>th</sup> International Congress on Quaternary*, Warsaw 1961, 3, Geomorphological Section and Symposium on Marginal Glacial Forms and Deposits. Panstwowe Wydawnictwo Naukowe, Lodz pp. 385-393.

# Terminološka analiza pridjeva u domeni krša

## SAŽETAK

U ovom diplomskom radu istražuju se pridjevi vezani za krške fenomene u trima jezicima: engleskom, francuskom i hrvatskom. Analizom se naglašava važnost precizne i točne terminologije u znanstvenoj komunikaciji, posebice u području geomorfologije, imajući u vidu da razmjena geološke i geografske terminologije među jezicima uključuje uzimanje u obzir različitih konfiguracija terena te kognitivnih procesa koji utječu na percepciju i razumijevanje prostora i okoliša. U radu se istražuju semantičke, kolokacijske i morfološke varijacije pridjeva unutar domene krša te se identificiraju izazovi povezani s njihovim prevođenjem i konceptualizacijom. Metodološki pristup temelji se na analizi specijaliziranih korpusa i primjeni teorijskog pristupa terminologije okvira (*Frame-based Terminology*), koja omogućuje sustavnu analizu krške terminologije. Hrvatski i engleski korpus dio su projekta TermFrame, dok francuski korpus proizlazi iz prethodnih istraživanja trojezične usporedne analize višerječnih pojmova u domeni krša. Dobiveni rezultati vizualizirani su s pomoću *online* alata za vizualizaciju NetViz. Ovom se terminološkom analizom pridonosi boljem razumijevanju pojmovnih struktura krške terminologije i općenito geomorfološkog nazivlja. Dobiveni rezultati važni su za prevoditelje, znanstvenike i istraživače u geologiji i geografiji, s krajnjim ciljem standardizacije terminologije u svim jezicima kako bi se osigurala jasnoća u izučavanju krša.

Ključne riječi: geomorfologija, terminologija krša, analiza pridjeva, terminološki okvir, trojezična usporedba

## **Terminological analysis of adjectives in the karst domain**

### **SUMMARY**

This master's thesis investigates adjectives related to karstic phenomena in three languages: English, French and Croatian. This study emphasizes the importance of precise and accurate terminology in scientific communication, particularly in the field of geomorphology, bearing in mind the exchange of geological and geographical terminology between languages involves taking into account different terrain configurations and cognitive processes which have an impact on the perception and understanding of space and the environment. This thesis explores the semantic, collocational and morphological variations of adjectives within the karst domain and identifies challenges associated with their translation and conceptualization. The methodological approach is based on specialized corpora analysis and on the application of the approach of Frame-based Terminology, which allows a systematic analysis of karst terminology. The Croatian and English corpora are part of the TermFrame project, while the French corpus comes from previous research on the trilingual comparative analysis of multi-word terms from the karst domain. The obtained results were visualized using the online visualization tool NetViz. This terminological analysis contributes to a better understanding of the conceptual structures of karst terminology and, in general, of geomorphological terminology. The results are of interest for translators, scientists, and researchers in geology and geography, with the ultimate goal of standardizing terminology across languages to ensure clarity in the field of karstology.

Key words: geomorphology, karst terminology, adjective analysis, terminological framework, trilingual comparison