

FORMATION DES KARSTS & COMPARAISON DE 3 GROTTES DU PAYS BASQUE

Gilbert Guingand / Pierre Mauriaud



LITTORAL BASQUE
EUSKAL ITSASBAZTERRA



5^{ème} édition
JOURNEES
NATIONALES
DE LA **GEOLOGIE**

Du 26 au 28 MAI 2023



INTRODUCTION

PROCESSUS FONDAMENTAUX Formation des roches carbonatées

PROCESSUS FONDAMENTAUX

Dans cet exposé nous nous intéressons aux carbonates qui sont de 2 types:

Les Calcaires=carbonate de calcium= CaCO_3

Les Dolomies= carbonate mixte de calcium et magnésium= $(\text{Ca/Mg})\text{CO}_3$

Dans la nature les carbonates existent sous 2 formes:

-sous forme d'ions en **solution** dans l'eau

-sous forme **solide** (la roche).

On parle de **précipitation** pour le passage de la solution-au solide et de **dissolution** pour le passage du solide-à la solution.

**Les passages entre les deux états, solution et solide,
obéissent à des processus chimiques
(biochimiques si il y a intervention d'organismes)**

PROCESSUS FONDAMENTAUX

DANS LA NATURE



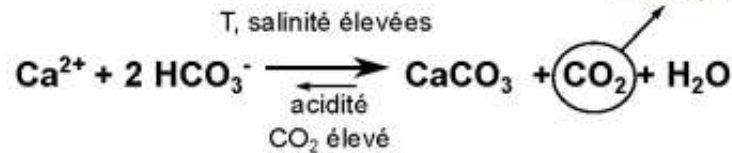
La **précipitation P** correspond à la sédimentation, durant les temps géologiques, des carbonates dans l'eau de mer (ou des lacs) depuis les ions en solution, directement par saturation ou par l'intermédiaire des organismes (coquillages, coraux, bactéries)

Une fois déposés, les sédiments carbonatés se transforment en roche au fur et à mesure de leur enfouissement

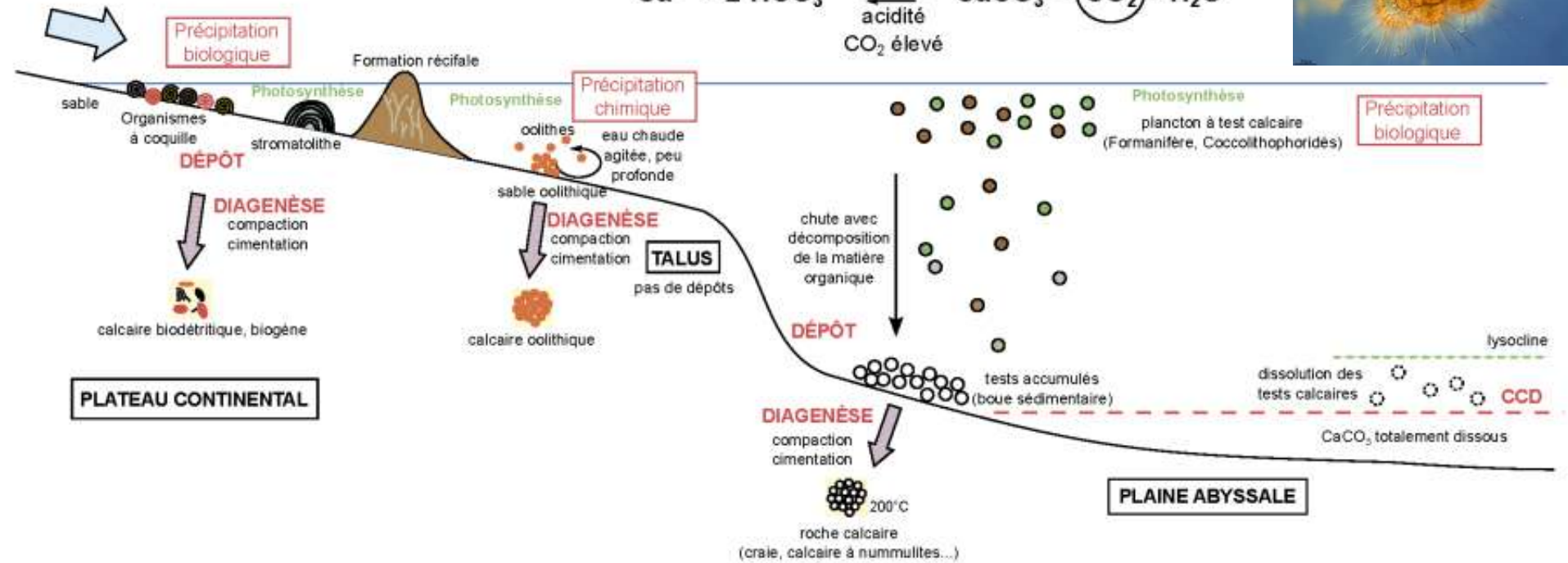
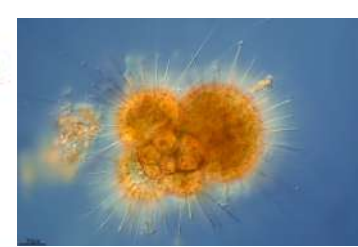
La **dissolution D** intervient lorsque la roche est remise en surface où elle est parcourue par les eaux superficielles riches en CO₂ dissous

Réaction de précipitation

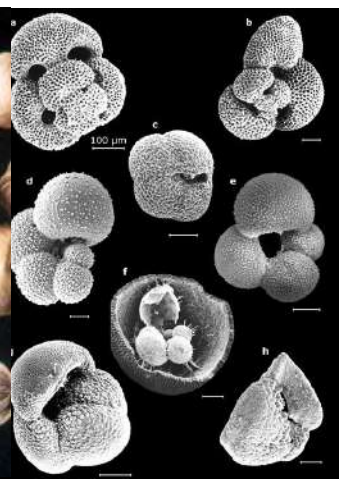
Ca^{2+} et HCO_3^- issus de l'altération du continent



Photosynthèse



LA SÉDIMENTATION CARBONATÉE





Photographie : Pierre Thomas



Photographie : Pierre Thomas

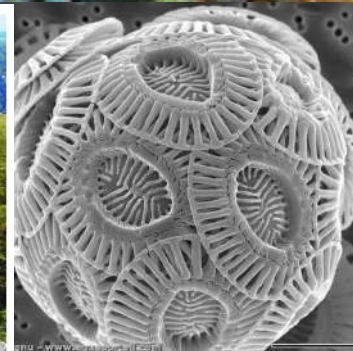


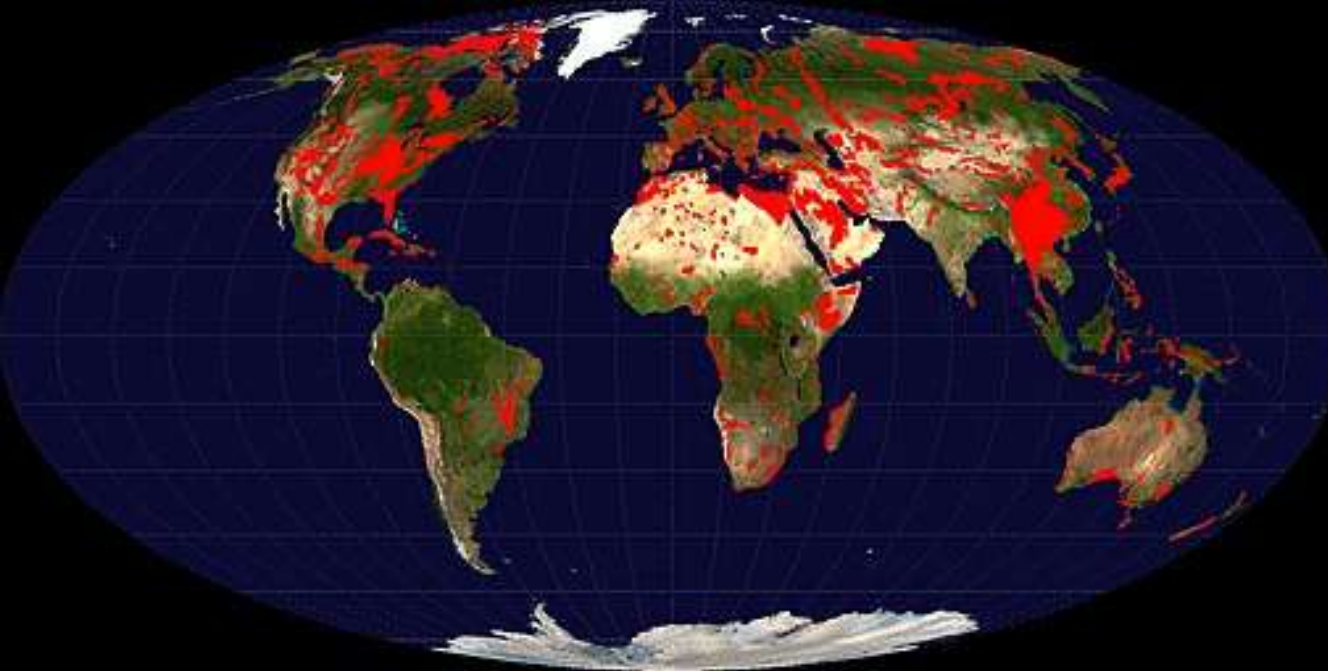
Dissolution du CO_2
et formation des carbonates

$$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$$

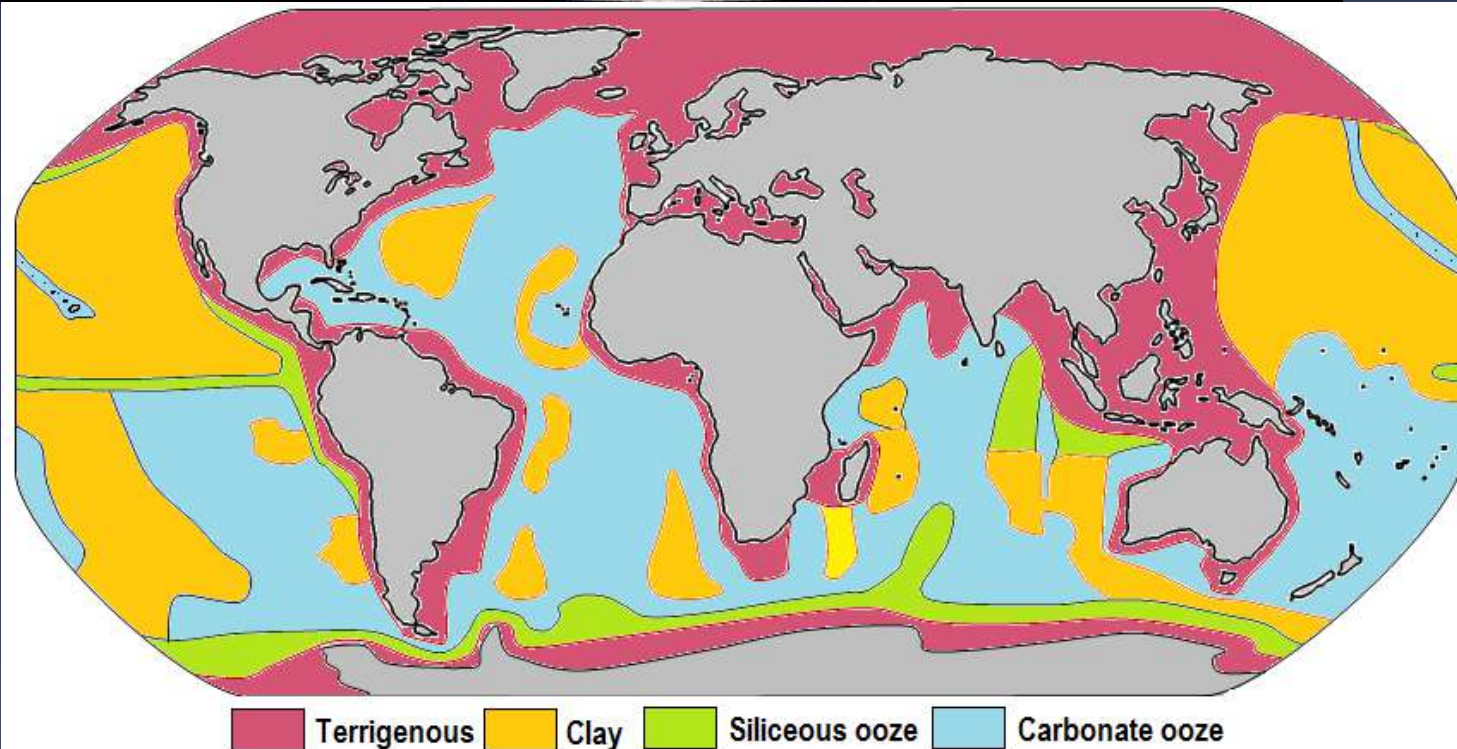
$$\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3$$

Roches carbonatées	Océan
50 000 000 GtC	38 000 GtC

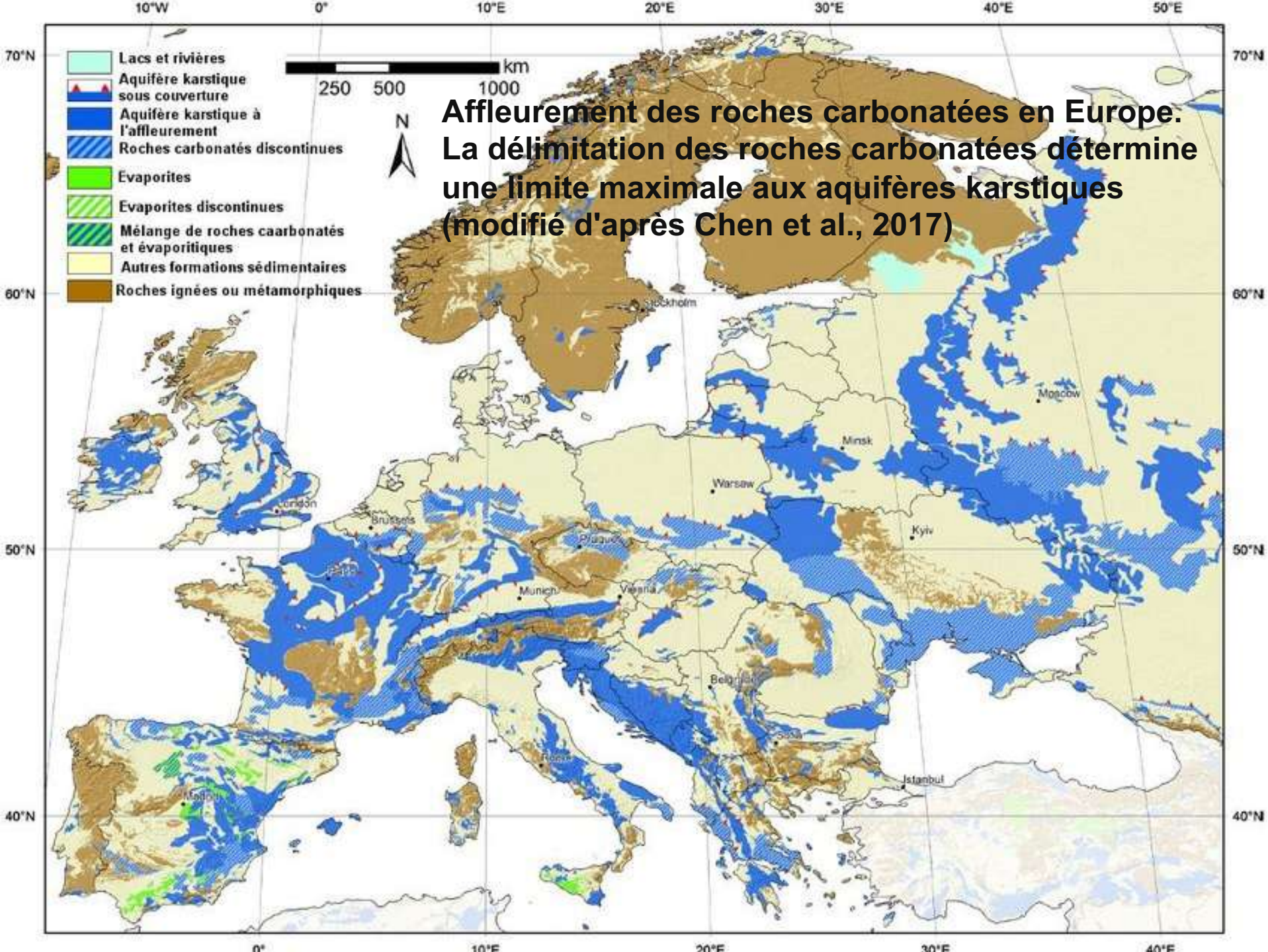




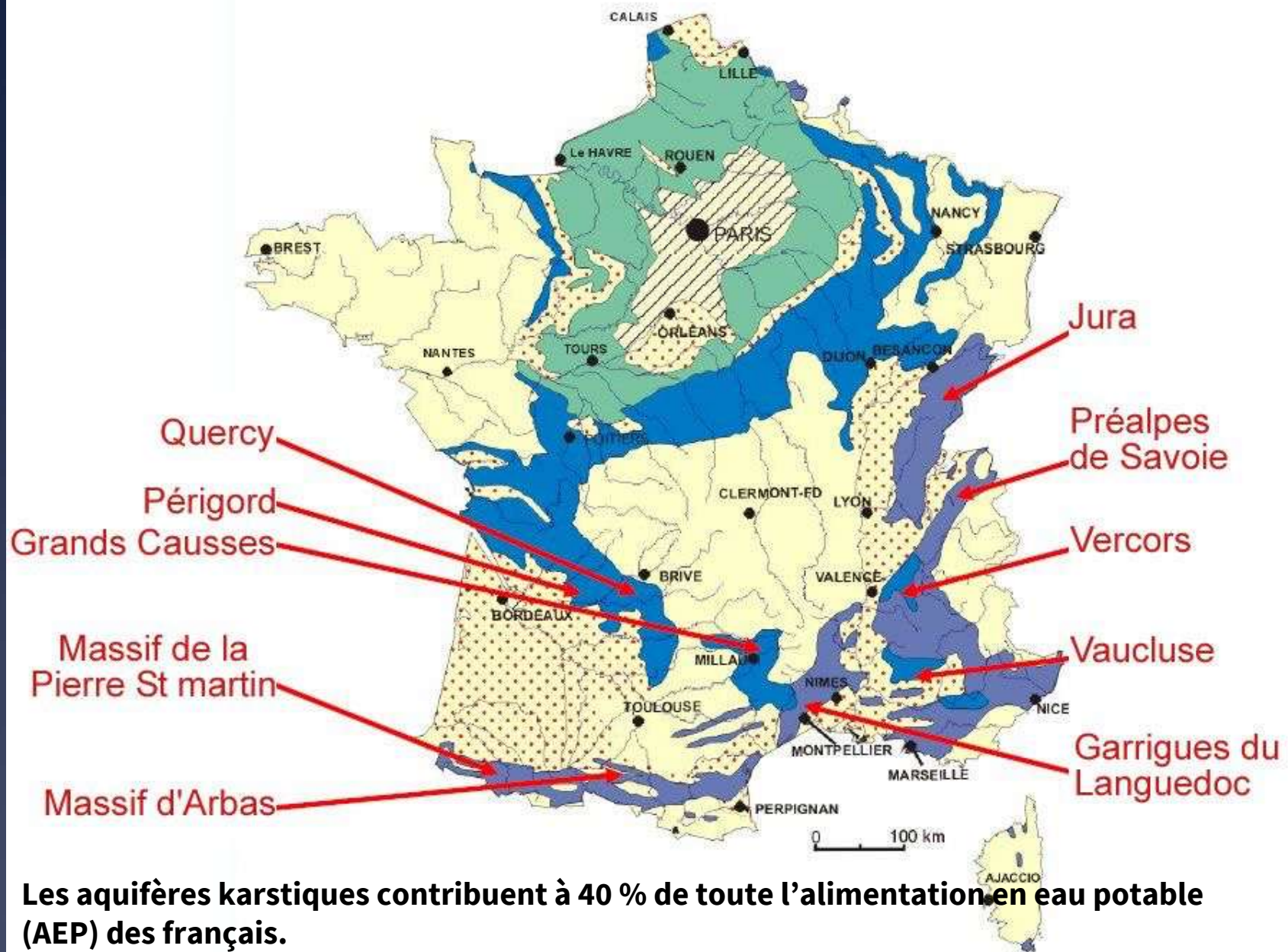
Carte de répartition mondiale des affleurements de roches carbonatées (calcaires et dolomies)



Carte de répartition mondiale des dépôts actuels terrigènes(sables et argiles) siliceuses et carbonatés.



Carte hydrogéologique des formations carbonatées karstifiabiles



1^{ère} PARTIE

FORMATION DES KARSTS

KARST- DEFINITION

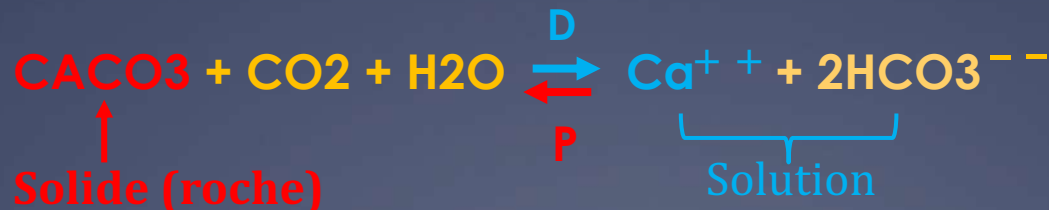
*La transformation des roches carbonatées en surface aboutit à des morphologies particulières groupées sous la dénomination de « **karst** »*

Dans l'équation fondamentale qui contrôle les phénomènes karstiques

le régulateur est le CO₂:

- l'ajout de CO₂ aboutit à l'activation de la réaction dans le sens de la dissolution D.

- la soustraction de CO₂ aboutit à l'activation de la réaction dans le sens de la précipitation P.



Dissolutions et précipitations dans les phénomènes karstiques

Dans la nature



Précipitation

Dissolution

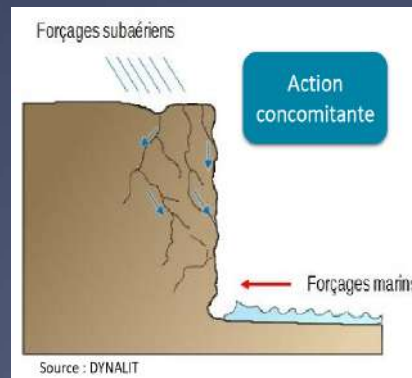
CO₂ en excès dans les eaux continentales entraînant la dissolution

absorption de CO₂ par les végétaux du fait de la photosynthèse

libération dans l'air du CO₂ par agitation ou émergence brutale à l'air libre de l'eau contenant les carbonates en solution

Nous distinguerons donc dans cette partie les **éléments karstiques** associés à la dissolution et ceux associés à la précipitation

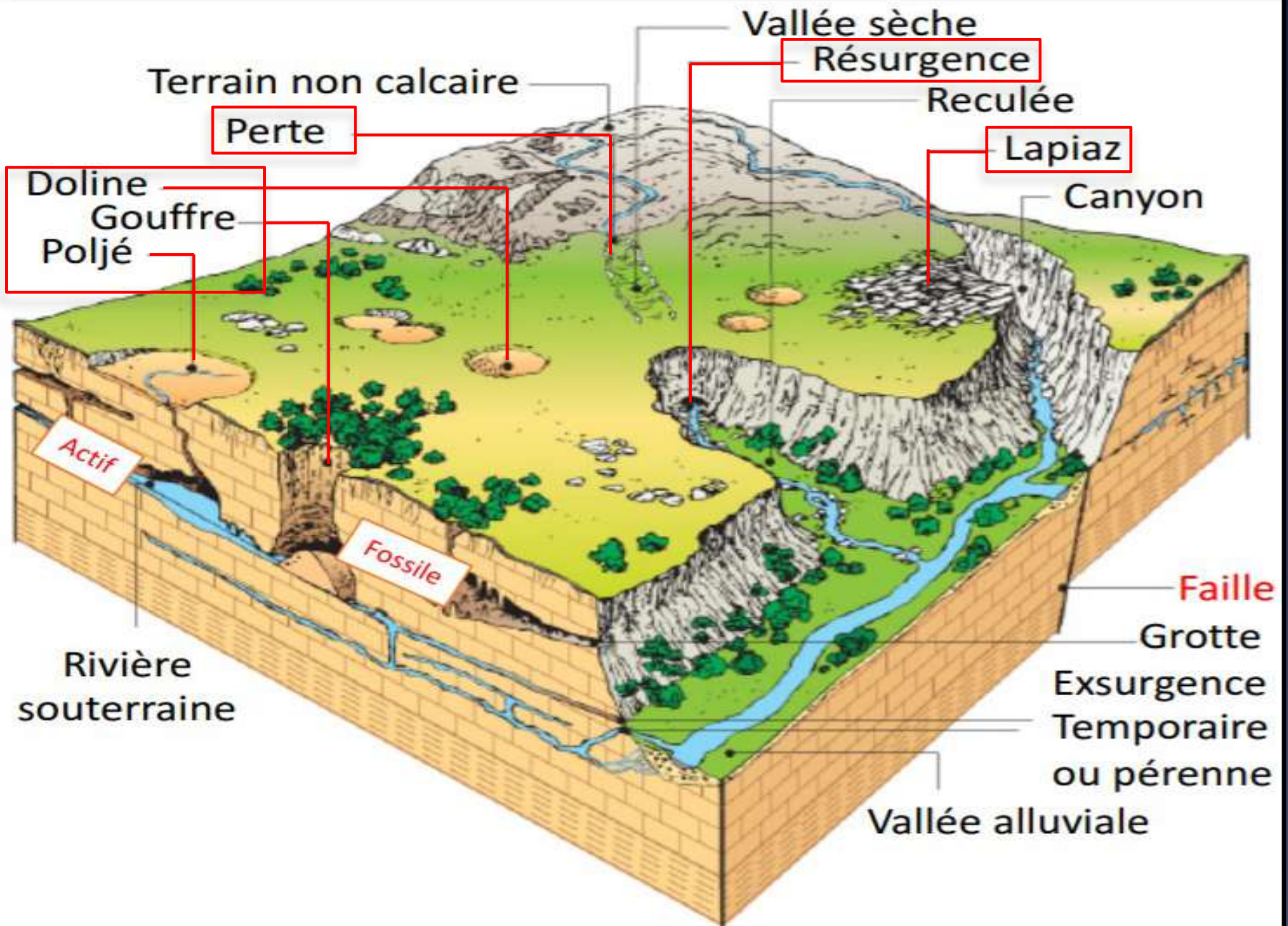
Erosion chimique (dissolution) et érosion physique (mécanique)



Plusieurs phénomènes

- Alteritisation au sommet
- Elargissement des fractures et karstification en partie centrale
- Action mécanique des vagues à la base.

Morphologies de surface résultant de la DISSOLUTION

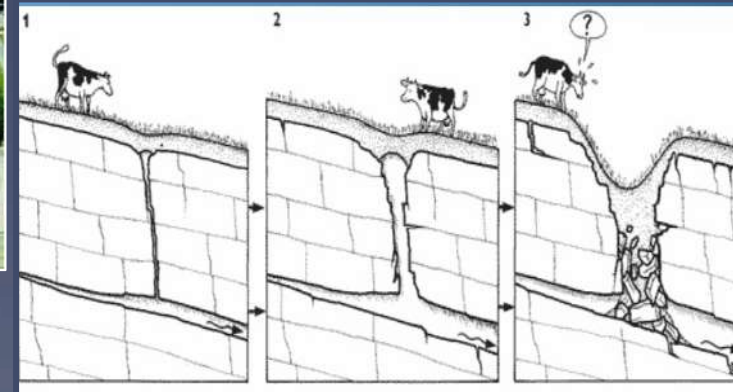


Lapiaz



Dolines

Polje



La dissolution laisse en fond de doline les résidus argileux qui étaient contenus dans le calcaire, et le fond de la doline est fertile

La doline peut s'effondrer brutalement dans des zones habitées

Aven/gouffre



Perte

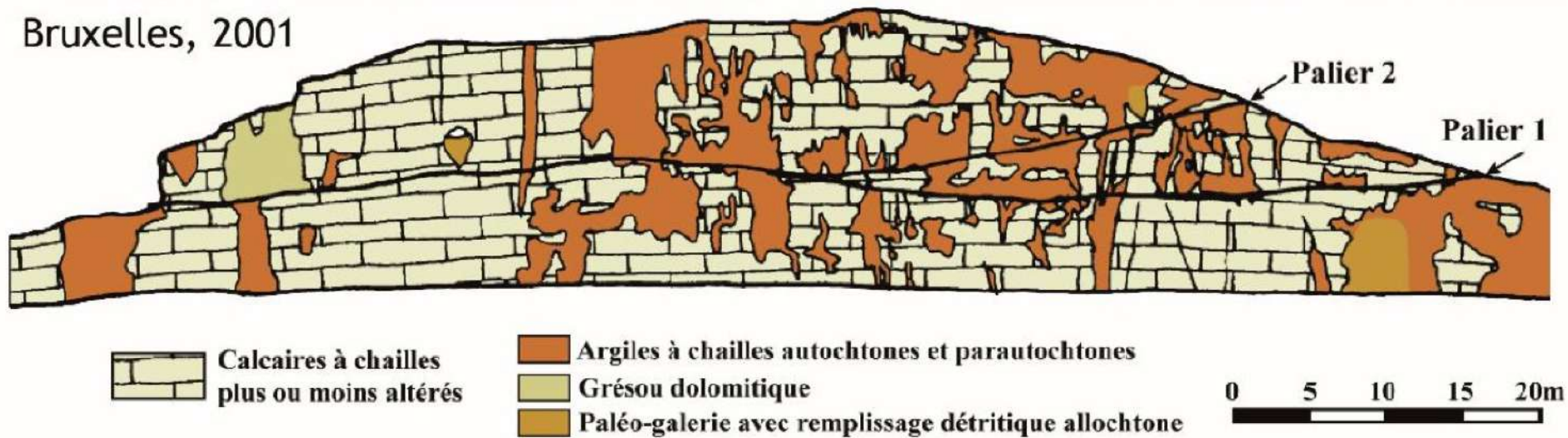


Résurgence

E



Bruxelles, 2001



E : Exemple de processus de fantômisation de roche dans les calcaires et dolomies du Bajocien, Saint-Rome-de-Cernon, Aveyron, France,

Morphologies résultant de la DISSOLUTION



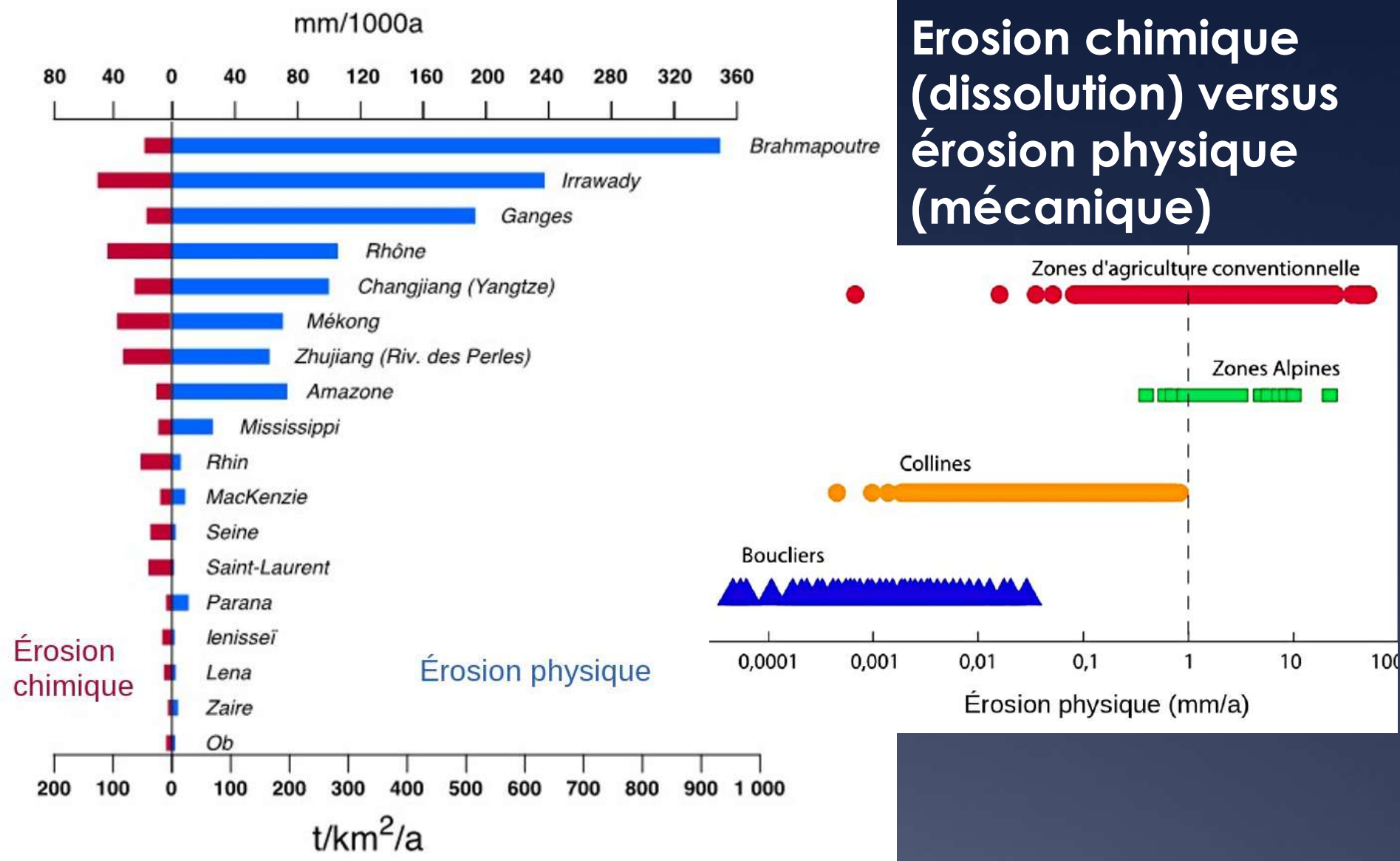
L'ampleur des morphologies karstiques (profondeur des canyons, grottes...)

pose la question de la puissance du phénomène de dissolution.

La dissolution n'est pas mesurable à l'échelle humaine mais elle est facile à comprendre à l'échelle géologique.

En effet, si on considère une érosion par dissolution (non mesurable) de 1mm/an, l'érosion est de 100m en 100 000 ans (paléolithique moyen)

Erosion chimique (dissolution) versus érosion physique (mécanique)



Même si on ne connaît pas bien les mécanismes d'altération par les bactéries, cyanobactéries ou les champignons, **il est fort probable que l'essentiel des réactions d'altération chimique soient causées par des êtres vivants.** La décomposition des végétaux et la respiration des racines fournissent du reste l'acide carbonique qui acidifie les solutions qui percolent dans la zone critique et altèrent les minéraux.

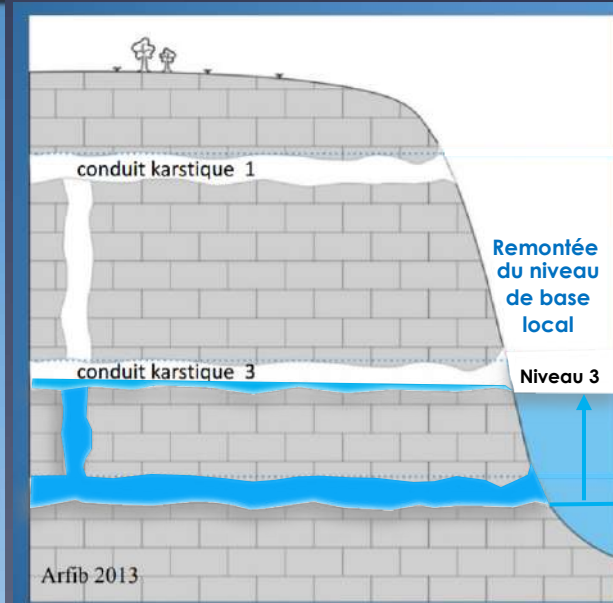
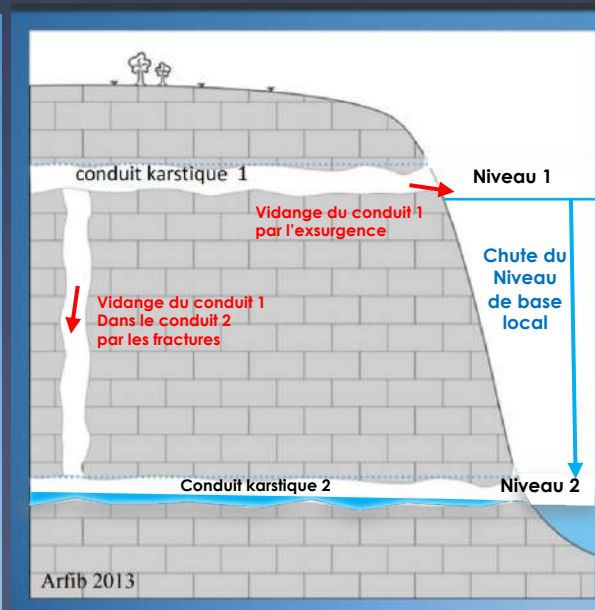
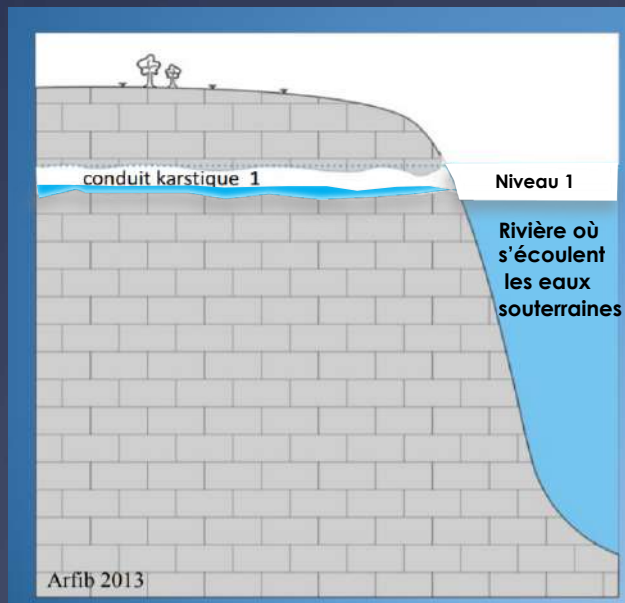
Grottes & galeries souterraines=morphologies résultant de la **DISSOLUTION**

Une partie des eaux de ruissellement chargées en CO₂ qui sont à l'origine des morphologies karstiques de surface pénètre dans les massifs calcaires et dissout la roche selon le même processus qu'en surface. Ainsi se créent les **grottes et galeries souterraines**.

La **morphologie** d'une grotte dépend:

- du **type de calcaire** dans lequel elle apparaît (notamment son taux de fracturation)
- du **débit des eaux pénétrant dans la grotte** qui conditionne la puissance de dissolution
- des variations du **niveau de base** de la rivière où se déversent ses eaux souterraines (alternance de phases de stabilité et de variations)

En particulier les fluctuations dans le temps du niveau de base des rivières où se déversent les eaux souterraines expliquent l'existence de plusieurs niveaux de galeries dans les grottes

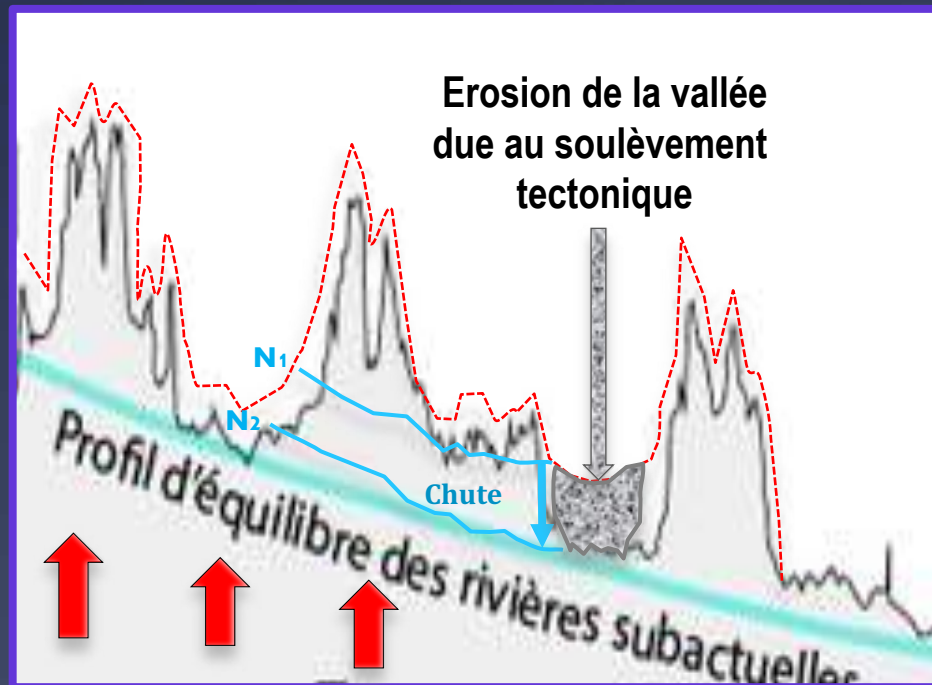


Causes des variations du niveau de base à la sortie des grottes

-Mouvements tectoniques

Une élévation tectonique entraîne une reprise d'érosion du lit de la rivière et une chute relative du niveau de base (sans doute la cause majeure pour les grottes des Pyrénées)

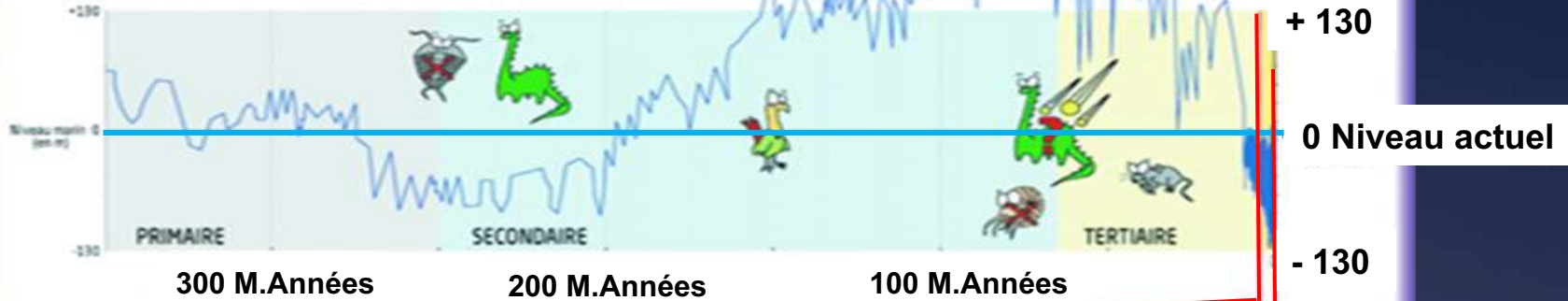
-Variations du niveau de base des rivières dues aux variations du niveau de base global des océans, ou **niveau eustatique**, lorsque celles-ci présentent de grandes amplitudes



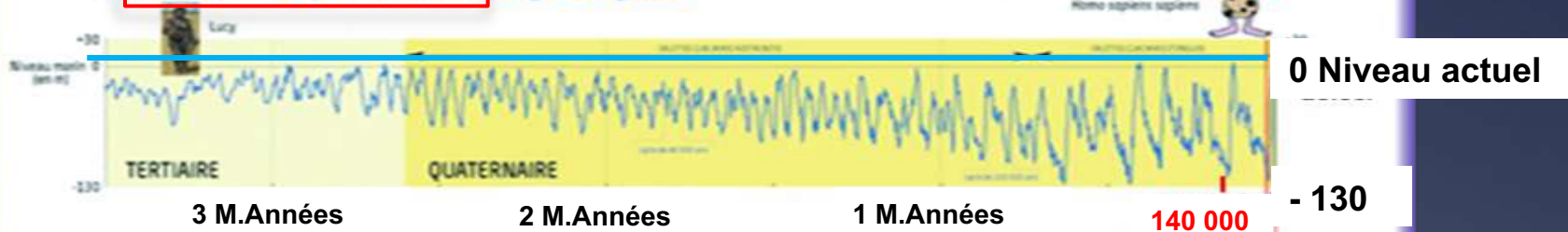
Variations du niveau marin dans le temps

Variations du niveau marin dans les temps géologiques

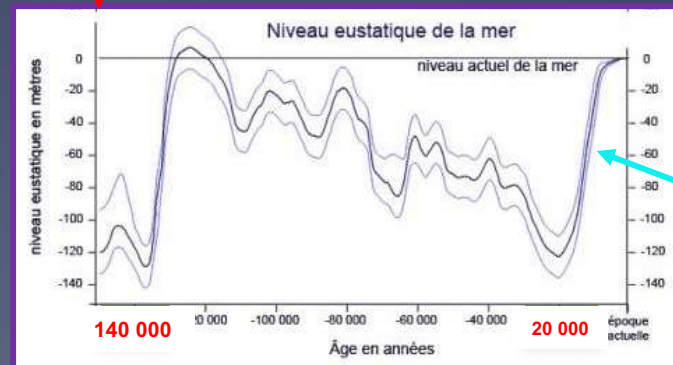
Depuis l'ère Primaire



Au cours du Quaternaire : l'âge de glace

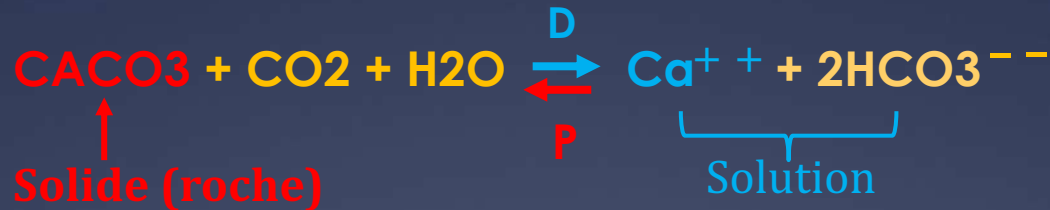


Ainsi, il y a 20 000 ans le niveau de la mer était 120m plus bas qu'aujourd'hui ce qui entraîne une chute du niveau de base des rivières à une grande distance (si amplitude topographique modérée) ou, au minimum, un reprise d'érosion dans le lit des rivières



Transgression flandrienne (fin de la glaciation Würm)

LES PHENOMENES KARSTIQUES RESULTANT DE LA **PRECIPITATION P**



Concrétions souterraines dues à la **PRECIPITATION** du calcaire

L'eau qui est piégée dans les pores et les microfissures du massif calcaire est saturée en CA^{++} . Quand cette eau sursaturée débouche dans une caverne aérée le HCO_3^- est libéré sous forme de CO_2 , il y a **précipitation de CaCO_3 sous forme de concrétions**.

- Les stalactites** se forment au niveau de gouttes qui suintent du plafond des grottes depuis des microfissures. Les gouttes construisent une colonne de calcite qui croît vers le bas (en leur centre existe un canalicule qui est le conduit d'écoulement des gouttes).
- Les stalagmites** se forment selon le même processus de précipitation. Les gouttes qui tombent sur le plancher de la caverne construisent une colonne de calcite qui croît vers le haut
- Les draperies** formées selon le même processus de précipitation mais cette fois au niveau des suintements le long des parois



Stalactite



Stalagmite



Draperie

Concrétions souterraines -suite

- Les concrétions en « chou-fleur »** qui restent collées au plafond des grottes. Elles correspondent à des suintements depuis la matrice de la roche (avec dégazage de CO_2)
- Perles des cavernes**: enrobage de calcite autour de grains tournoyant dans l'eau circulant dans la grotte (turbulences entraînant le dégazage de CO_2)
- Les gours à l'intérieur et surtout à la sortie des grottes**: bourrelets de carbonate fermant des cuvettes d'eau. Les bourrelets se forment au niveau de petites cascades par dégazage de CO_2 .



Concrétions en Chou-fleur



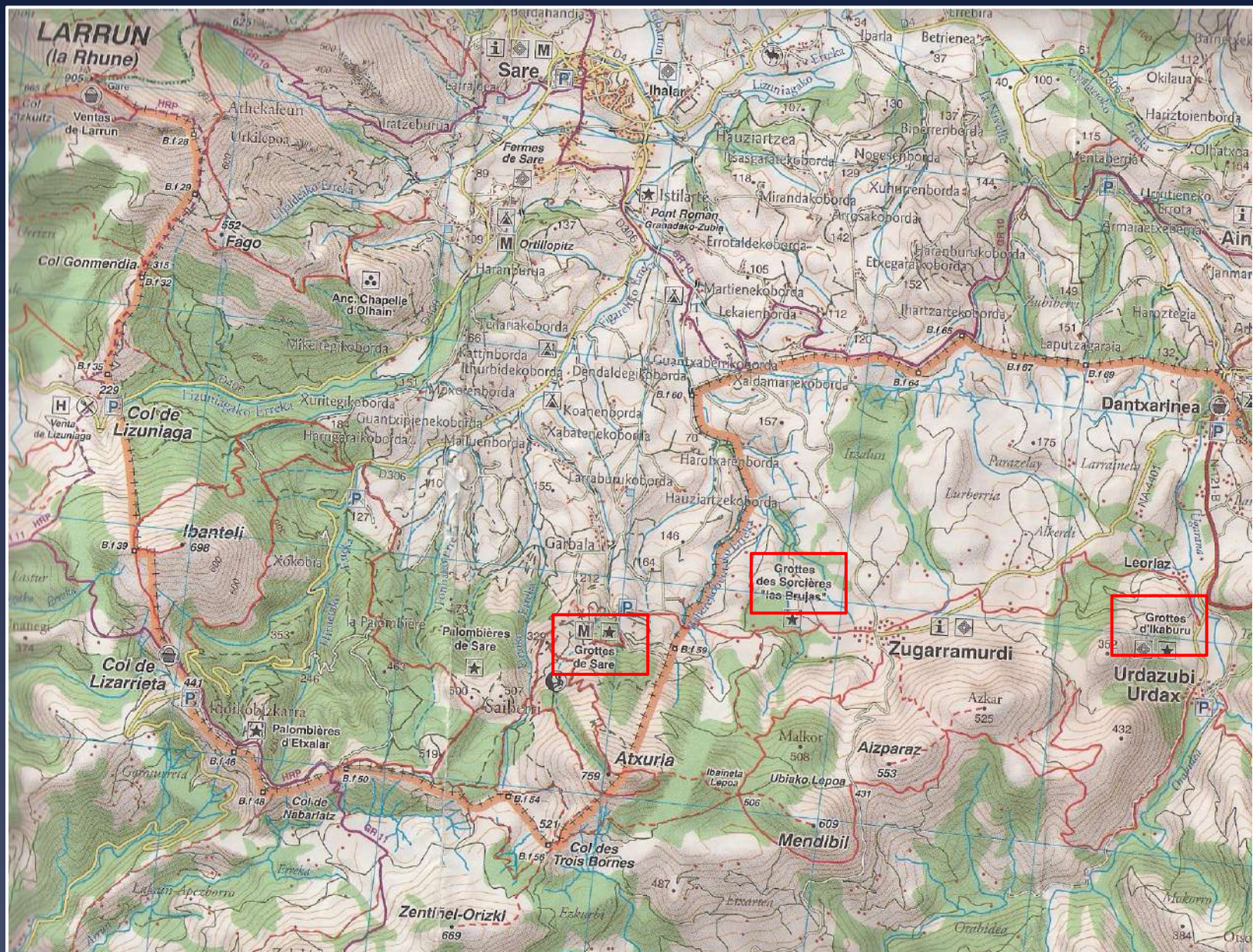
Perles des cavernes



Gours

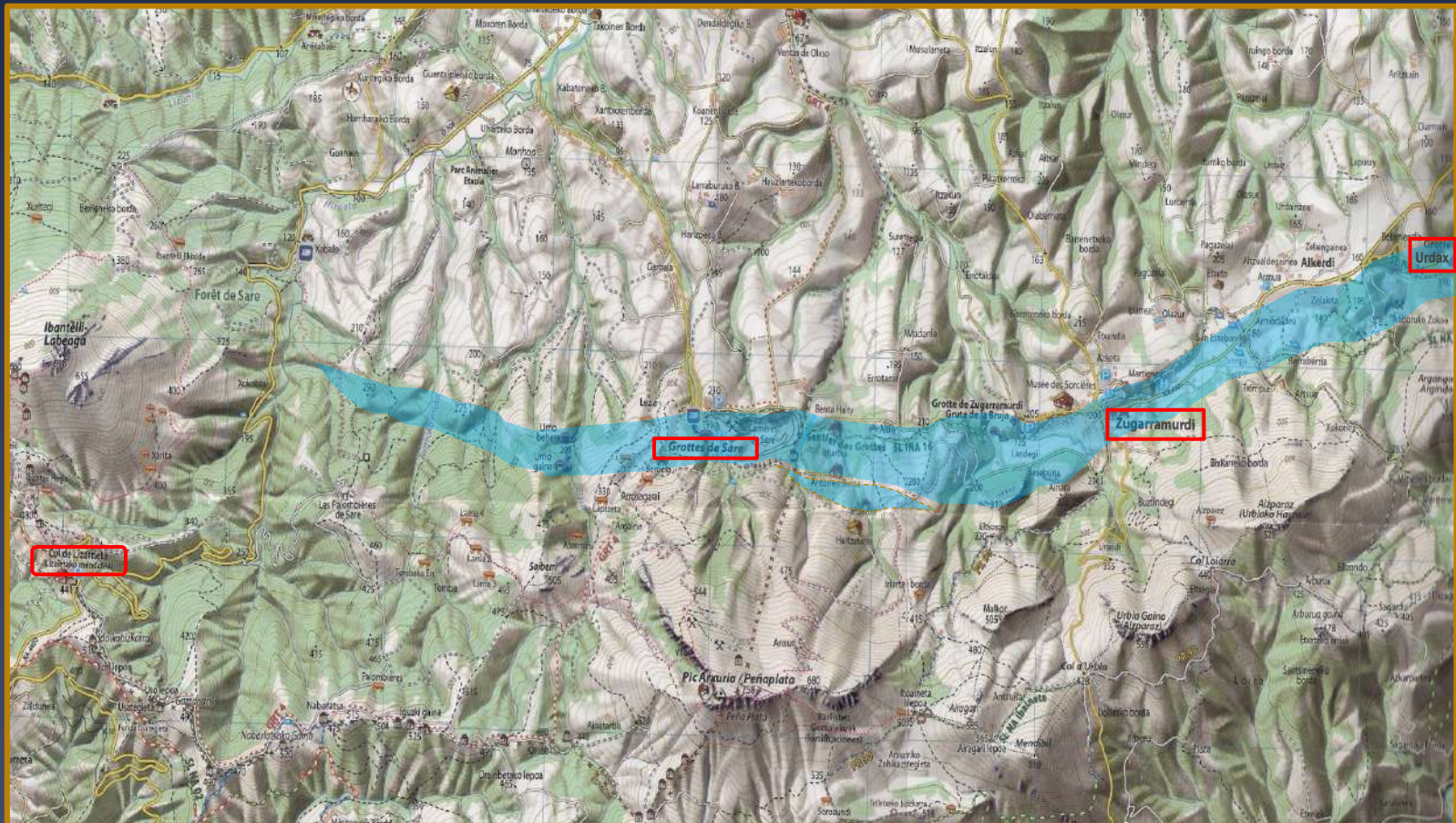
2ème PARTIE

COMPARAISON DES GROTTES D'URDAX, ZUGARRAMURDI et SARE



Cartographie des calcaires de Sare depuis Urdax jusqu'au col de lizarrieta

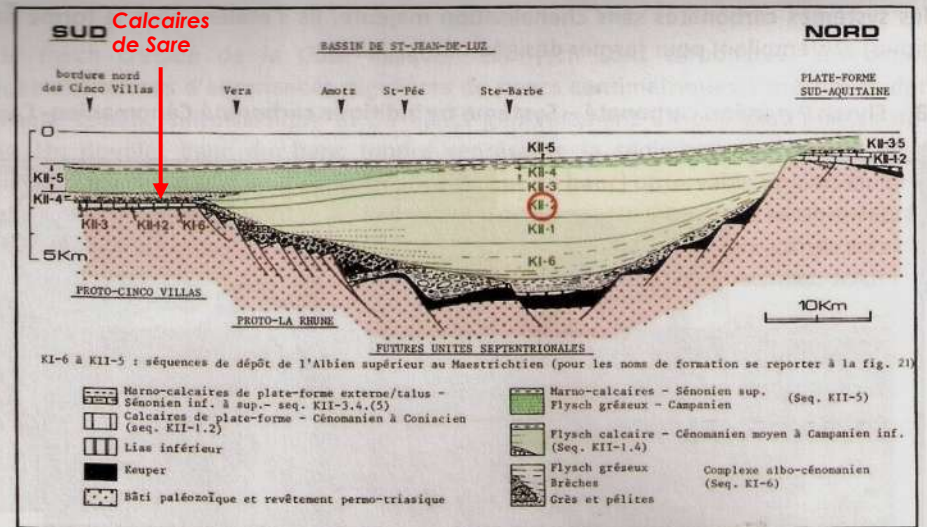
Les trois grottes se situent dans le même massif calcaire



CONTEXTE GEOLOGIQUE

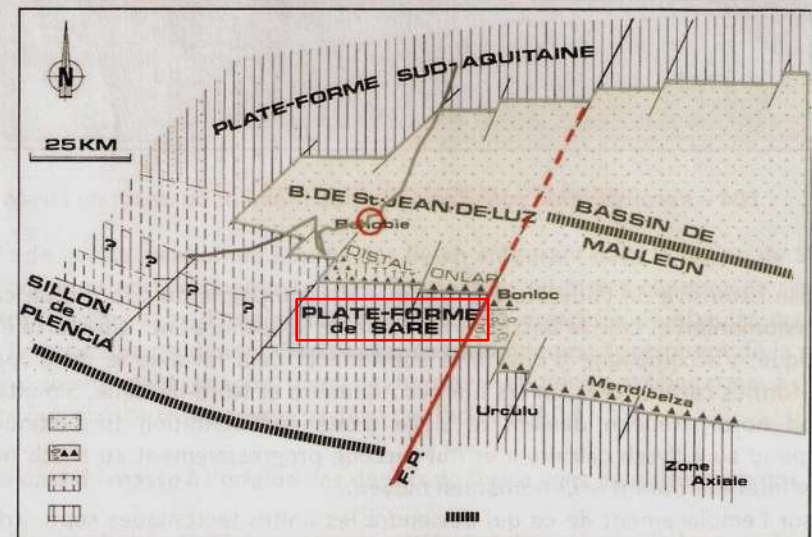
L'âge du calcaire de la grotte est discuté, simplifions en disant qu'il a **environ 100 Millions d'Années.**

A cette époque les calcaires se déposent sur une plateforme située sur la bordure méridionale d'un sillon profond rempli de dépôts marins profonds (turbidites=flyschs)



F05 – Coupe schématique des formations du flysch pyrénéen (d'après P. Razin)

Le flysch du bassin de St-Jean-de-Luz et de ses bordures :



F06 – Carte schématique des dépôts de flysch dans le bassin de St-Jean-de-Luz au Cénoma Turonien (d'après P. Razin)

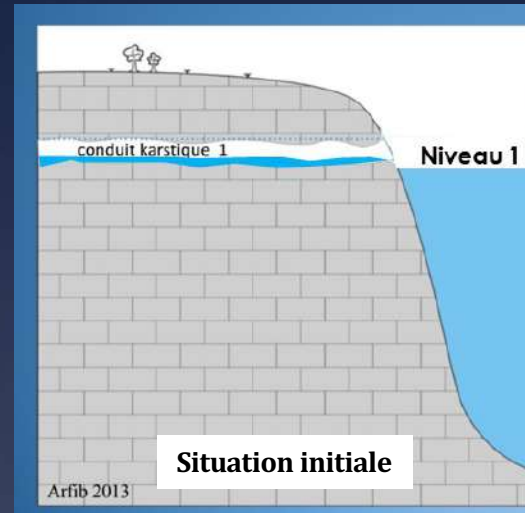
COMPARAISON DES GROTTES
D'URDAX, ZUGARRAMURDI ET SARE
VIS-À-VIS DES MORPHOLOGIES DE DISSOLUTION

Nous avons vu que la morphologie d'une grotte dépend de la nature du calcaire et du débit des eaux souterraines qui la traversent.
Exemples des grottes d'Urdaix, Zugarramurdi et Sare

Calcaire massif peu fracturé

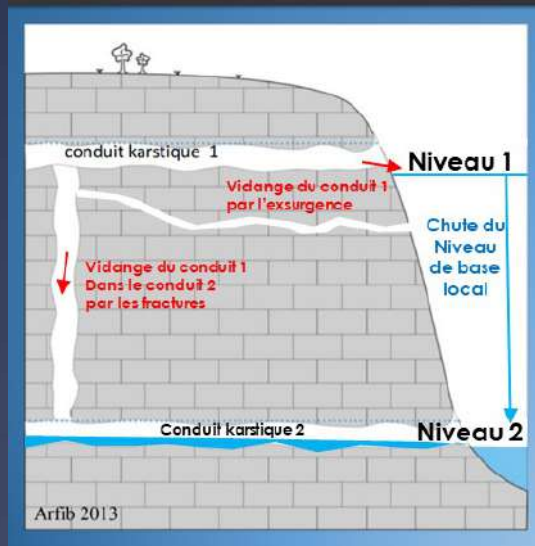
Débit faible des eaux souterraines:
 passage des niveaux 1 à 2 par des conduits verticaux (grandes fractures)

Fort débit des eaux souterraines:
 passage des niveaux 1 à 2 par dissolution générale et formation d'une caverne

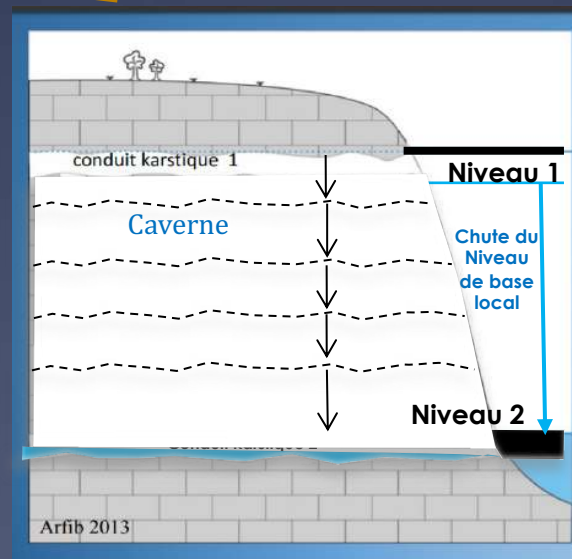


Calcaire très fracturé

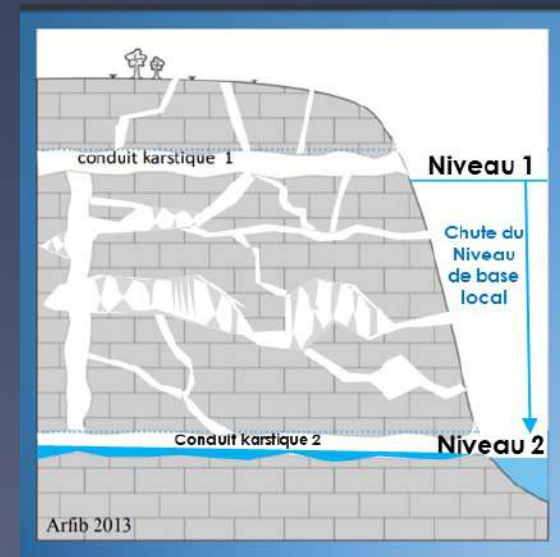
L'intense fracturation entraîne :
 une configuration chaotique et le passage de 1 à 2 se fait par des conduits souterrains pas bien individualisés



SARE



ZUGARRAMURDI



URDAX

Comparaison entre les grottes de Zugarramurdi et d'Urdaiz

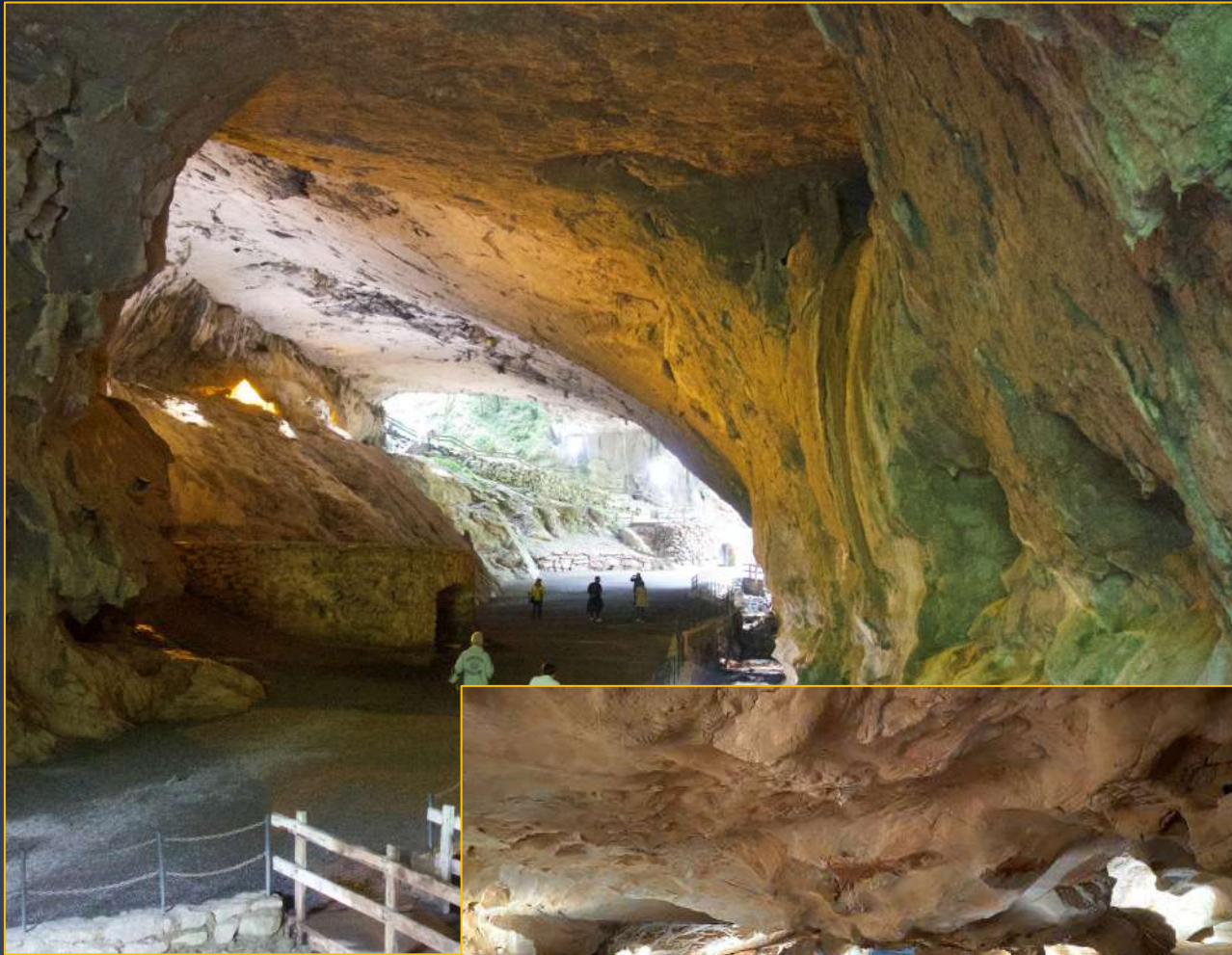


ZUGARRAMURDI:
Calcaire massif



URDAX:
Calcaire fracturé chaotique

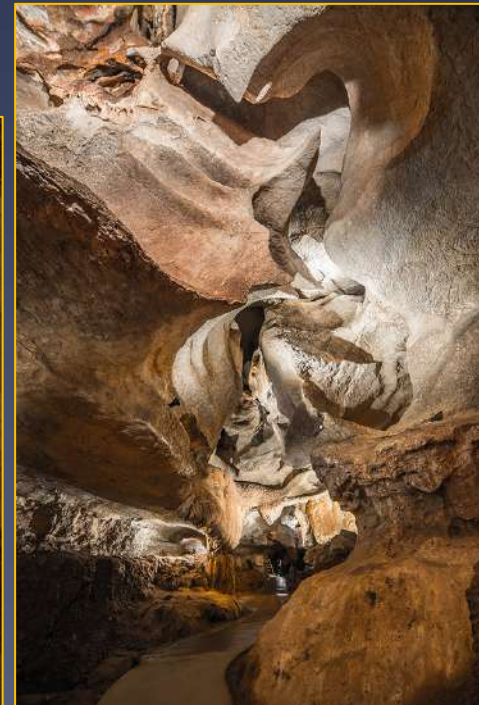
Comparaison entre les grottes de Zugarramurdi et de Sare



ZUGARRAMURDI:
Une seule grande
caverne



WWW.FILMFRANCE.NET



SARE:
Plusieurs cavernes de
moindre amplitude
connectées par des
conduits verticaux

Comparaison entre les grottes de Sare et Zugarramurdi

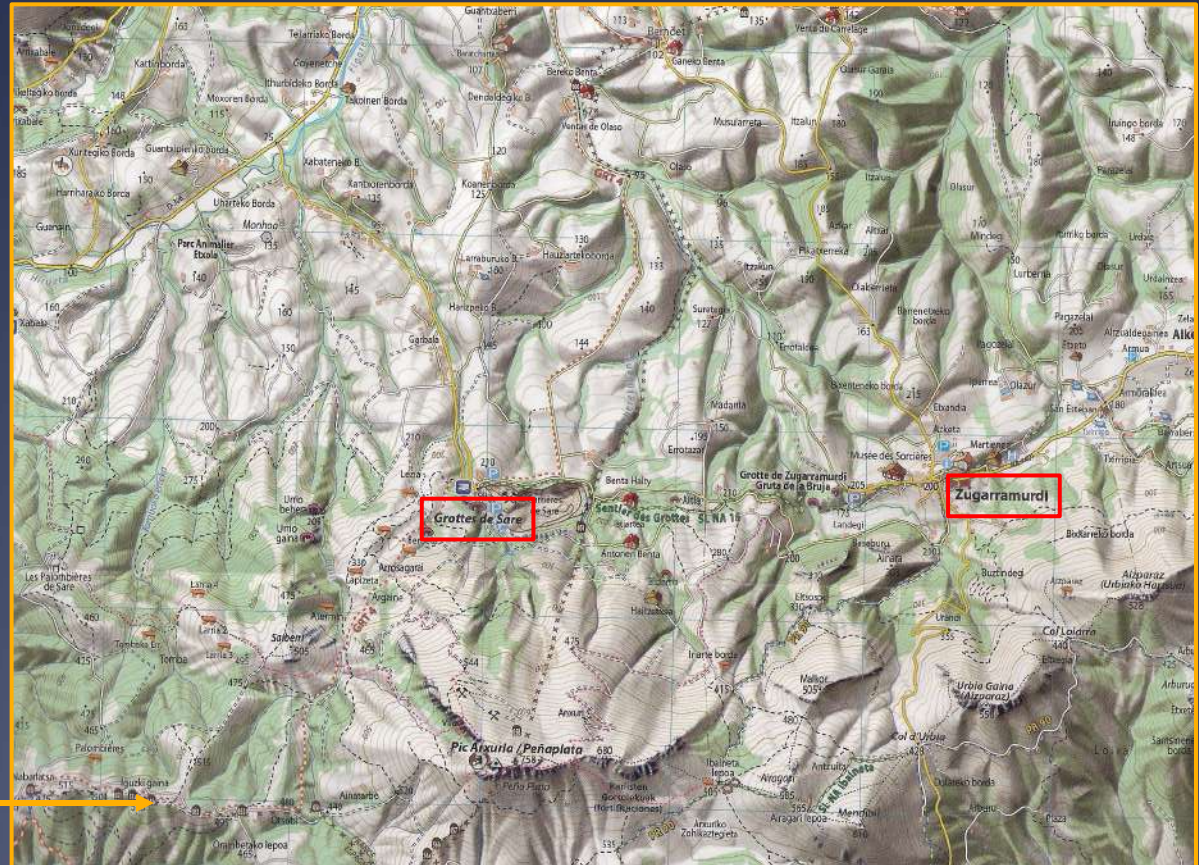
Analyse des paramètres

SIMILITUDES

- 1-Même contexte géologique: formation calcaire de même âge et même épaisseur
- 2-Même évolution tectonique (phase majeure de la surrection pyrénéenne de 55 à 25 Millions d'années puis soubresauts)
- 3-Même cadre géographique et hydrographique régional

Topographie en pente vers le Nord/ Nord ouest entraînant un écoulement global des rivières dans cette direction (depuis un écheveau de ruisseaux déterminé par les variations topographiques de détail)

Ligne de crête parallèle au massif calcaire



COMPARAISON DES GROTTES
D'URDAX, ZUGARRAMURDI ET SARE
VIS-À-VIS DES CONCRETIONS DERIVANT
DES PROCESSUS DE PRECIPITATION

**Il y a une corrélation entre la morphologie générale
et la fréquence et diversité des concrétions,
Urdax et Zugarramurdi sont les deux extrêmes ,
Sare est un cas intermédiaire**



**URDAX, grotte très fracturée et chaotique
avec de nombreuses concrétions
de tous types**



**ZUGARRAMURDI, calcaire massif,
grande excavation avec très peu de
concrétions**



SARE, cas intermédiaire

Structure détaillée de la Grotte de Sare

CONFIGURATION DE LA GROTT

3 niveaux:

- Grotte école
réseau Est, **61m**
- Galerie supérieure,
réseau Ouest, entre
15 et 10m
- Grande galerie
inférieure, entre
25 et 0m

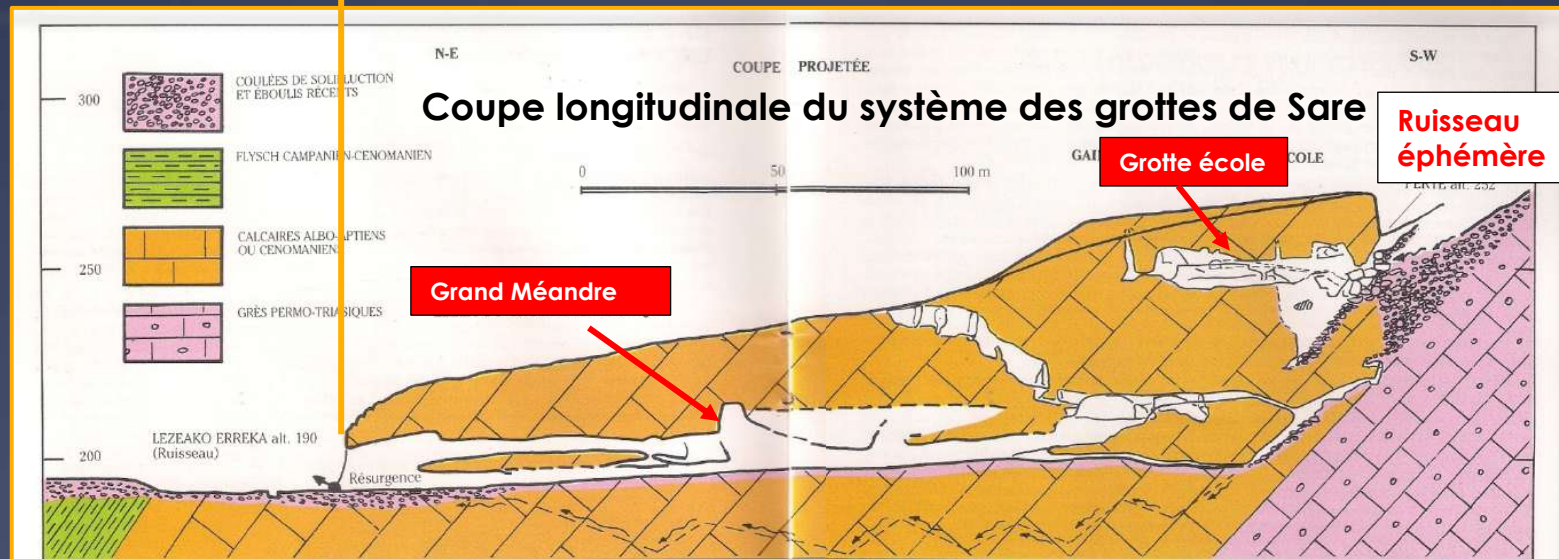
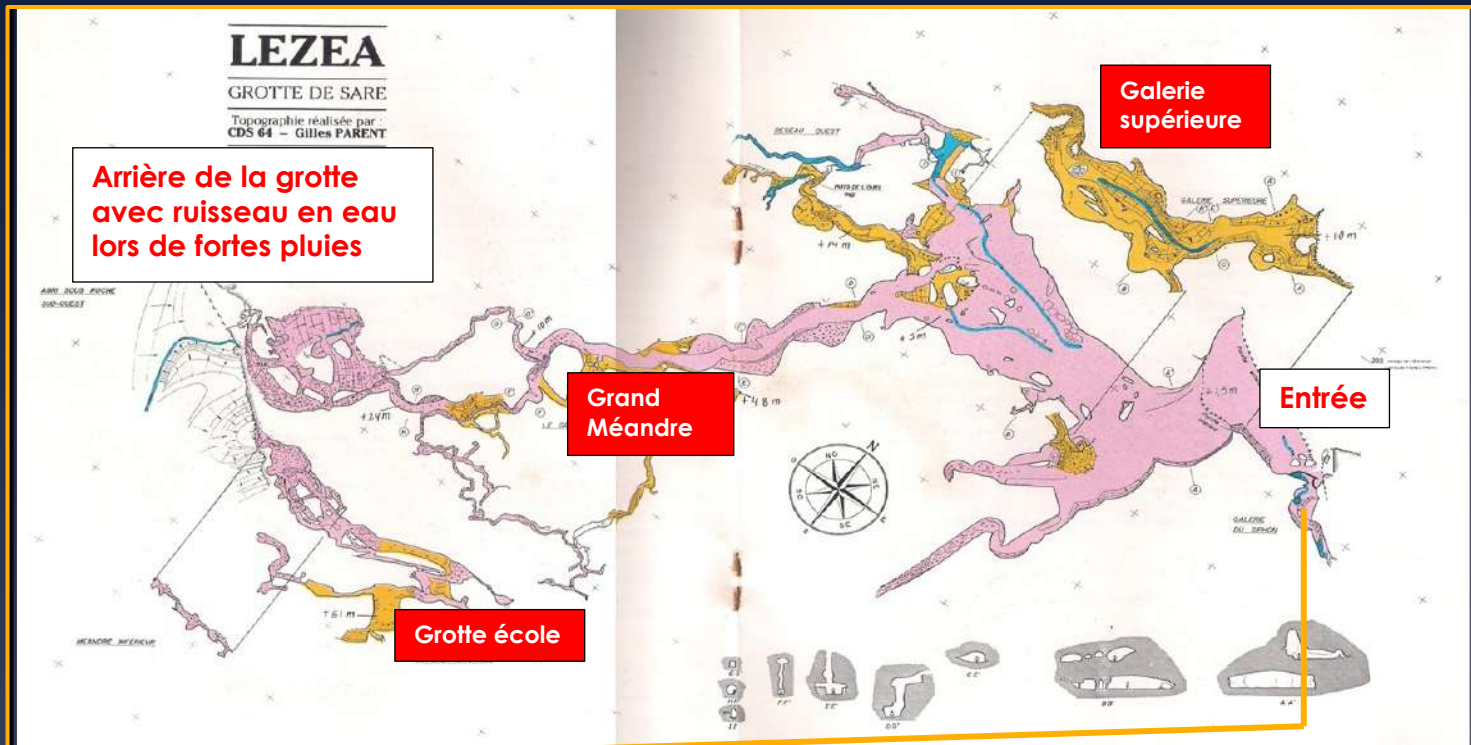
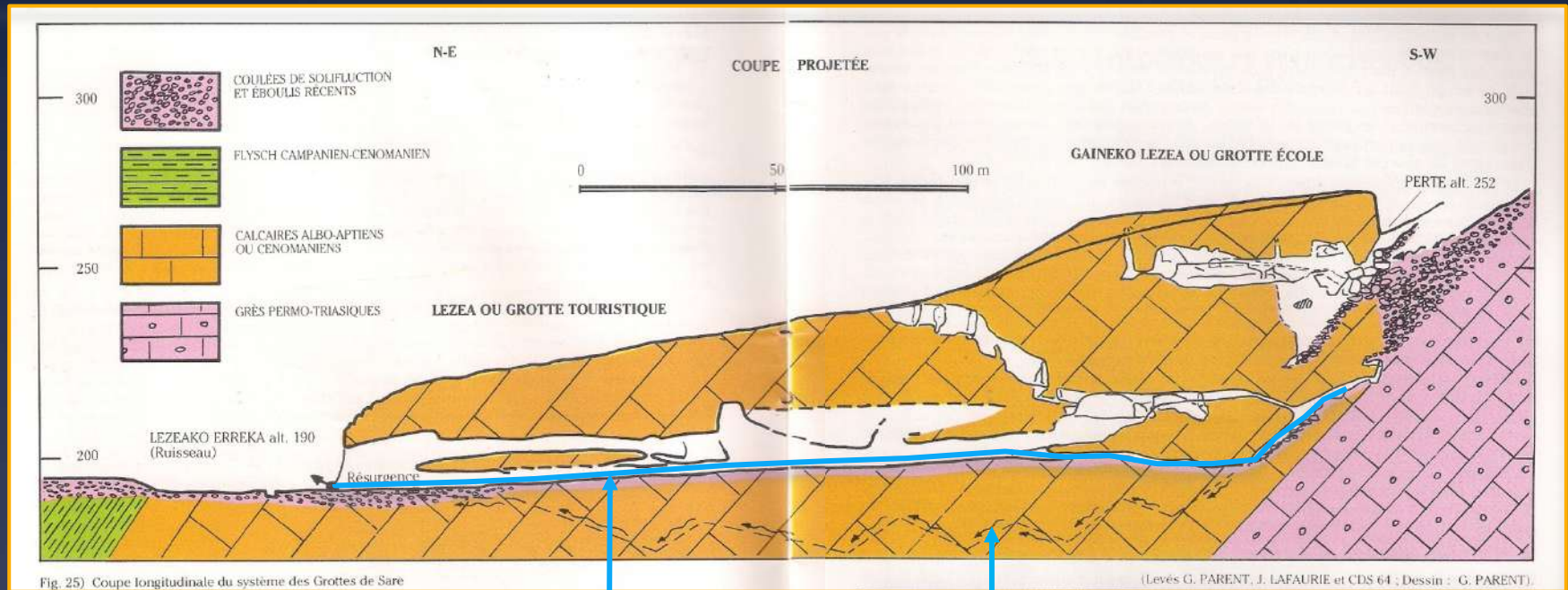


Fig. 25) Coupe longitudinale du système des Grottes de Sare

(Lévé G. PARENT, J. LAFABRIE et CDS 64 ; Dessin : G. PARENT).

TYPE D'ÉCOULEMENT SOUTERRAIN EN FONCTION DE L'ALIMENTATION PAR LE RUISSEAU SITUÉ À L'ARRIÈRE DE LA GROTTÉ

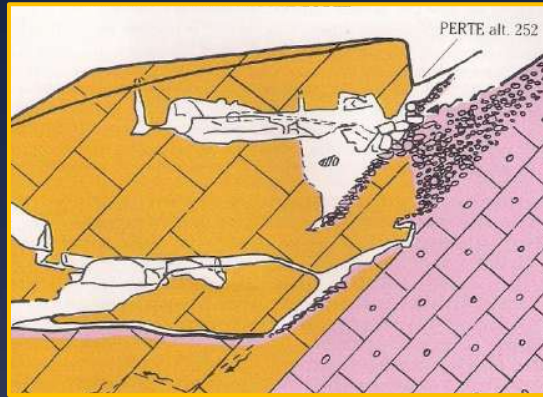


Ruissellement souterrain
durant les **fortes eaux**

Niveau piézométrique lorsque le
ruisseau à l'arrière de la grotte est **sec**

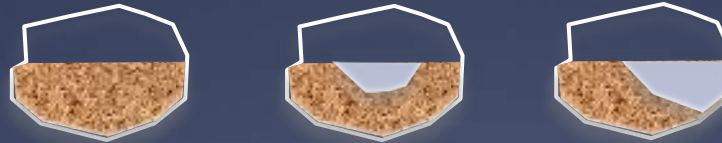
IMPACTS DES VARIATIONS D'ÉCOULEMENT

Lorsque le ruisseau qui arrive à l'arrière de la grotte est en eau, après les grosses pluies, il entraîne des **alluvions** (plus ou moins grossières en fonction de son débit). Elles pénètrent dans la grotte et obstruent plus ou moins les conduits



Ensuite lorsque les écoulements souterrains retrouvent un débit modéré ils refaçonent le conduit.

* L'écoulement retaille une mini gorge dans les alluvions

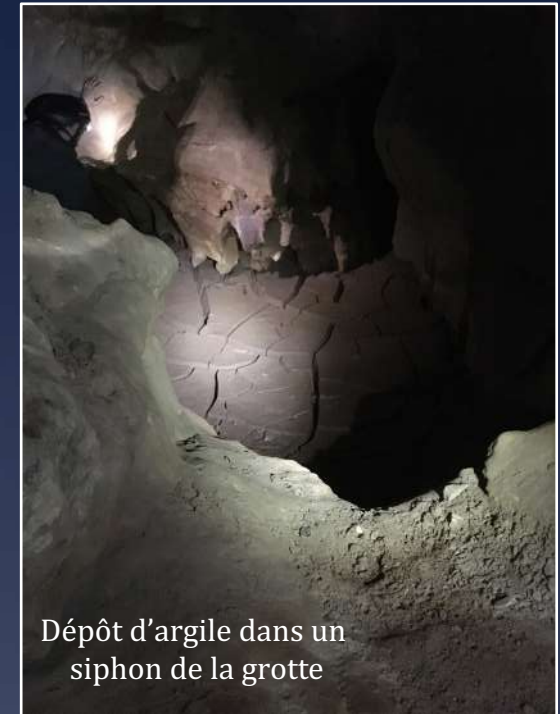
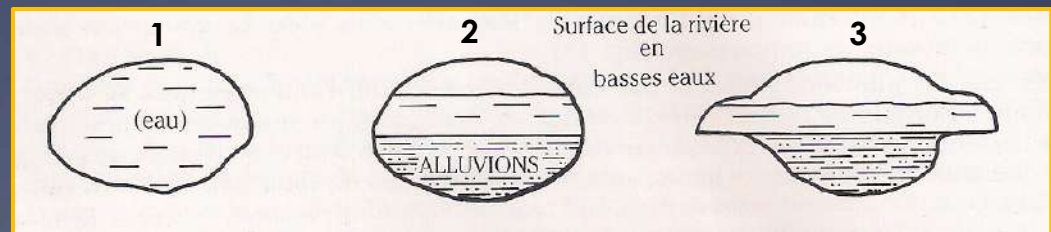


* Ou bien le conduit subit une autre évolution:

1-conduit ennoyé

2-conduit semi-ennoyé, écoulement avec dépôt d'alluvions

3-permanence du courant au niveau de la surface de remplissage qui entame la paroi latéralement dégageant des épaulements



Dépôt d'argile dans un siphon de la grotte

ELEMENTS INTERNES DE LA GROTTES CARACTERISTIQUES DES KARSTS EN GENERAL

Formation de communications verticales entre les différents niveaux des grottes (induites par des fractures. Exemple du **grand méandre** de la grotte de Sare formé au fur et à mesure de l'enfoncement du niveau des galeries

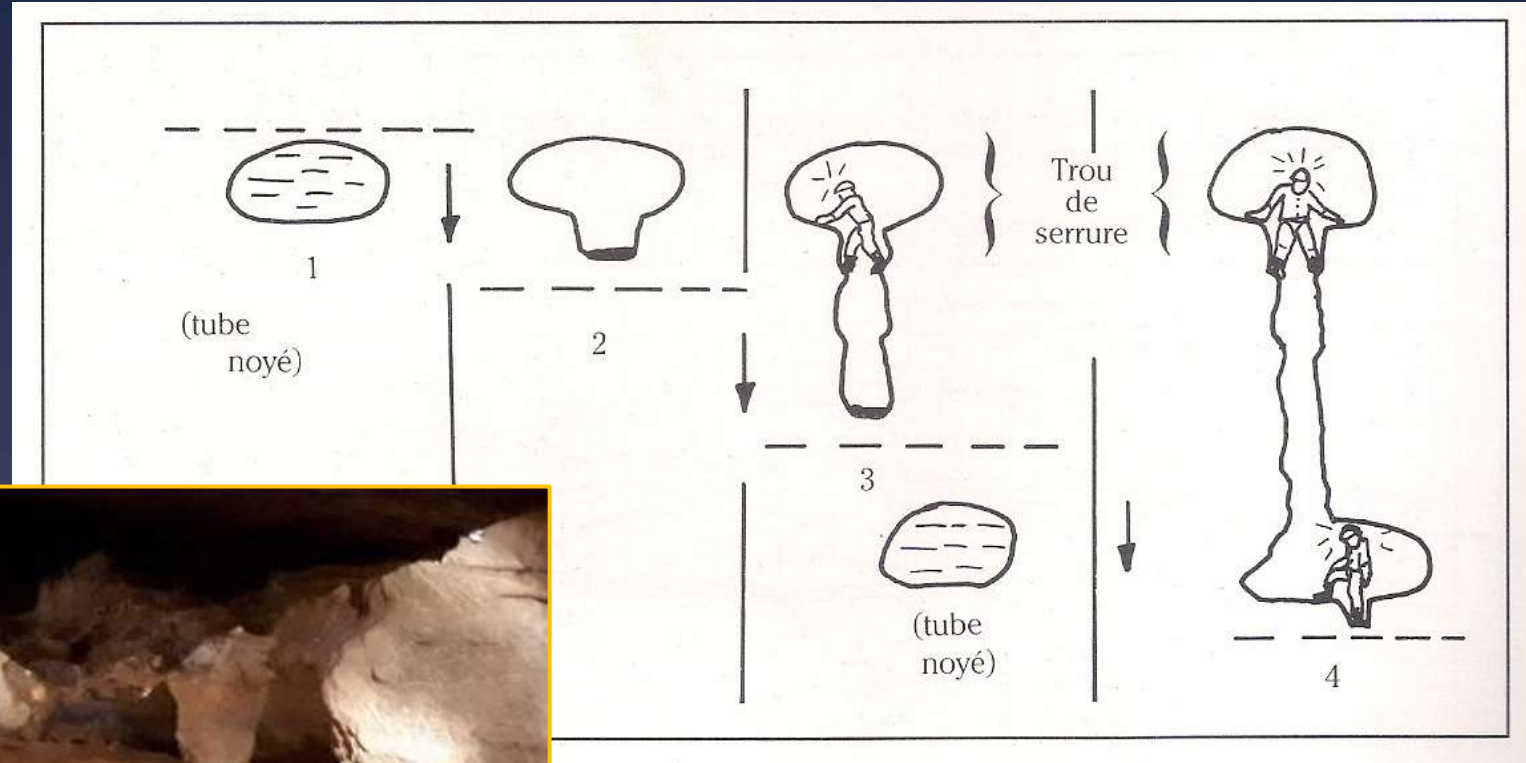


Photo de **gours**
dans la grotte de Sare

***L'importance des karst dans notre compréhension de la préhistoire est une autre histoire...
Merci de votre attention.***

