

S.G.F.
SOCIÉTÉ
GÉOLOGIQUE
DE FRANCE

N° 0838

A.G.S.O.
ASSOCIATION
DES GÉOLOGUES
DU SUD-OUEST

08813

S.F.M.C.
SOCIÉTÉ FRANÇAISE
DE MINÉRALOGIE
ET CRISTALLOGRAPHIE

HOMMAGE DE L'AUTEUR

Cristallisation - Déformation - Dissolution

des

CARBONATES

17 - 18 novembre 1980

BORDEAUX

UNIVERSITÉ DE BORDEAUX III

INSTITUT DE GEODYNAMIQUE

Réunion organisée par le

GROUPE D'ÉTUDE DES SYSTÈMES CARBONATÉS

I.N.S.A. TOULOUSE
Département Génie chimique
et Génie de l'environnement
Avenue de Ranguell
31077 TOULOUSE CEDEX
FRANCE
(61) 25.21.13, poste 401

**UNIVERSITÉ
DE BORDEAUX III**
Institut de Géodynamique
Avenue des Facultés
33405 TALENCE CEDEX
FRANCE
(56) 80.68.00, p. 387 et 330

LES ACCUMULATIONS DE CALCAIRE D'ORIGINE CONTINENTALE

J.H. DURAND
Docteur Ingénieur
Pédologue

Résumé - Les accumulations calcaires continentales proviennent de la solubilisation, du transport et du dépôt du carbonate de chaux avec intervention du CO_2 .

La forme du dépôt dépend du site d'accueil : air libre, eau stagnante ou de ruissellement, limon ou sable. Dans ce dernier cas, quatre formes prédominent : amas pulvérulents contemporains du dépôt alluvionnaire, les encroutements de nappes, les poupées concrétionnées ou les horizons BCa dus au lessivage.

Ces dépôts sont placés dans le cadre d'un classement des croutes calcaires.

Mots clés - Croute calcaire, croute zonaire,
Encroutement calcaire,
concrétion calcaire,
calcaire pulvérulent.

Abstract - The calcareous continental deposits are formed by solubilization, transportation by water and deposition of lime carbonate with intervention of soluble CO_2 .

The appearance of the deposit is conditioned by the medium where it occurs : atmosphere, resting or flooding water, loams or sands. In this last case, four types of deposits are prevailing : pulverulent nodules formed during the loam deposit, incrustation of sands in the vadose zone, concretions and BCa horizon formed by leaching of the lime carbonate.

These deposits are placed in a calcrete classification.

Key words - Calcrete,
Calcareous incrustation,
Calcareous concretion,
Laminated calcrete,
Flourlike caliche.

En janvier 1975, le Colloque sur les "Types de croûtes calcaires et leur répartition régionale" a révélé l'absence de consensus concernant leur genèse, dont une des raisons principales est que le terme "croûte calcaire" recouvre des réalités de natures très différentes, les chercheurs ayant travaillé dans des régions et des disciplines différentes, souvent en vase clos.

Un groupe de travail s'est alors constitué spontanément (M. DURAND J.H., GAUCHER G., LACROIX D, MATHIEU L., MERCIER J.L., Mme VOGT Th., M. WILBERT J.) et a proposé, après discussions contradictoires, une nomenclature purement descriptive et des définitions de termes désignant des croutes.

Le but de la présente note est de décrire rapidement le mode de formation d'accumulations calcaires continentales, puis de les placer dans le contexte des travaux de ce groupe de travail.

La mise en place de ces formations nécessite l'intervention des trois phénomènes suivants :

- solubilisation du calcaire,
- transport en solution,
- dépôt.

1- ELABORATION DES SOLUTIONS CARBONATEES.

Ces solutions s'élaborent à partir de roches sédimentaires carbonatées ou de l'altération de silicates calcosodiques. L'agent actif de cette solubilisation est le gaz carbonique provenant de l'atmosphère et du sol, produit par la respiration des racines ou venant des acides organiques exsudés par les plantes. Le gaz carbonique de l'atmosphère ne suffit pas à dissoudre les carbonates, il y a donc à ce niveau intervention de la végétation.

Les équilibres nécessaires au maintien en solution du carbonate de chaux sont complexes, leur étude n'est pas l'objet de cette note. Ils se résument comme suit :

- dans l'eau pure, la solubilité du carbonate de calcium est très faible ; si l'eau de dissolution contient du gaz carbonique, le carbonate de calcium se transforme en bicarbonate de chaux $(\text{CO}_2)_2\text{Ca}$, qui exige pour se maintenir en solution une certaine quantité d'acide carbonique libre dit d'équilibre. Cet acide carbonique obéit à la loi de Henry, sa teneur dans l'eau dépend de la température, si elle s'élève il s'évade ce qui provoque la précipitation du carbonate de chaux et réciproquement.
- les acides organiques des solutions du sol dissolvent du carbonate de chaux ; elles le déposent à mesure de l'oxydation de ces acides par aération.

L'aération des solutions de carbonate de calcium se produit lorsqu'elles arrivent à l'air, qu'elles ruissellent en nappe, qu'elles pénètrent dans un milieu poreux non saturé ou qu'elles sont soumises à l'exposition de l'atmosphère de grottes.

Des solutions chargées de bicarbonate de calcium peuvent avoir une origine thermo-minérale, telles que celles qui accompagnent fréquemment les volcans en activité et permettent la formation de travertins. Ces eaux sont fréquemment riches en sels solubles.

2- CIRCULATION DES EAUX CHARGÉES DE CARBONATE DE CHAUX

L'eau de pluie arrivant sur la terre (altérite ou roche poreuse) va l'imprégner jusqu'à sa capacité maximum pour l'eau, puis va s'infiltrer dans la roche sous-jacente. Elle pourra donc, plus tard, atteindre la nappe phréatique quelle que soit sa profondeur, à condition que cette roche soit poreuse ou fissurée. Si cette roche est imperméable (roches cristallines inaltérées, calcaires massifs, argiles ou marnes), l'eau s'étalera sur cette roche et formera une nappe phréatique.

La nappe phréatique atteinte par les eaux de percolation est horizontale ou inclinée. Si elle est horizontale, les eaux de percolation vont s'accumuler au-dessus de la nappe proprement dite et former un "dome" qui provoquera une surpression sur la nappe en place et aura pour effet d'en mobiliser les eaux tandis que les eaux de percolation auront tendance à glisser et à s'étaler sur la nappe. Les mouvements de la nappe seront lents ainsi que ceux des eaux de percolation. Dans les pays à pluies saisonnières, les apports d'eaux de percolation sont irréguliers et la nappe est soumise à des mouvements verticaux. Si la nappe est inclinée, les eaux de percolation descendront verticalement jusqu'à la nappe et accompagneront la nappe dans ses mouvements. Comme les nappes horizontales, ces nappes inclinées sont soumises à des mouvements verticaux saisonniers. Dans leur trajet souterrain, les eaux des nappes sont soumises à une pression de gaz carbonique au moins trois fois plus forte que celle de l'atmosphère, ni d'oxydation des produits organiques solubilisant le calcium. Il n'y a pas dépôt significatif de calcaire.

Ces eaux arrivent à l'air libre par des sources parfois vauclusiennes ou par des suintements ; dans un cas, elles s'aèrent brutalement, dans l'autre, elles peuvent s'étaler et ruisseler en nappe.

L'essentiel à retenir est que la circulation de l'eau de percolation se fait verticalement (en négligeant les effets de l'accélération de Coriolis), un mouvement latéral ne pouvant s'établir qu'au niveau d'une zone imperméable ou saturée d'eau (rendue ainsi imperméable).

3- DEPOT DU CALCAIRE

Le dépôt du calcaire intervient lorsque la solution calcique arrive à saturation soit par évaporation du gaz carbonique d'équilibre, soit par destruction des produits organiques qui solubilisent le calcium. Ce dépôt peut aussi se produire par le mélange d'eau sulfatée calcique, avec de l'eau contenant du carbonate soluble (d'ammonium par exemple) : il y a alors double décomposition suivant le schéma :



Un mode de dépôt mis en évidence récemment se produit sous l'action du gel. Il correspond à la loi de séparation des phases des solutions, au cours des changements d'état.

La forme du dépôt dépendra du milieu dans lequel il se produira, appelé, pour la commodité, site d'accueil.

4- DIFFERENTS TYPES DE SITES D'ACCUEIL

Site d'accueil est utilisé ici pour désigner le volume dans lequel le calcaire se dépose, qu'il soit atmosphérique, aquatique ou solide (roche consolidée ou meuble).

Ces sites d'accueil sont les suivants :

Le plus simple est l'atmosphère. C'est le cas des grottes des karts où l'eau circulant dans les roches par des fissures arrive au plafond de la grotte où elle s'aère brutalement et dépose son calcaire qui donne naissance à des stalactites, l'eau qui tombe au fond de la grotte dépose aussi du calcaire qui forme des stalagmites. Stalactites et stalagmites sont en général formées de calcite cristallisée pure.

A côté de ces dépôts de grottes, il existe dans les calcaires fissurés des "rivières" souterraines qui drainent par des canaux convergents toute la surface des plateaux où l'eau des karts est absorbée. Ces rivières arrivent au jour par des sources dites vauclusiennes qui déposent le calcaire dont elles sont chargées sous forme de travertins qui peuvent recouvrir les débris des végétaux qui s'installent dans -ou au bord- des barrières qu'elles forment. Les travertins récents sont formés d'aragonite qui évolue rapidement en calcite. Dans ces débris végétaux peuvent se distinguer des phytolithes de calcédoine.

Enfin, il existe des sources d'origine profonde, en relation avec des phénomènes volcaniques anciens ou actuels, très chargées en gaz et en matières minérales en solution (sources hypogènes de Suess).

Les sources de Carlsbad (Tchécoslovaquie) et d'Hamman Meskoutine (Algérie) sont de ce type et déposent à leurs points d'émergence d'énormes masses de calcaire et des pisolithes formées de cotypeite (carbonate de chaux plus ou moins amorphe). Plusieurs sources du Massif Central sont incrustantes et sont à rapprocher de ce type de sources, ainsi que les venues d'eau du volcan Al Haradah (Vallée du Wadi Bana, Yémen Nord).

Eaux de lacs - L'origine de l'eau des lacs ne concerne pas ce paragraphe, elle peut provenir d'un ou plusieurs cours d'eau de lignes de sources des versants voisins des deux origines conjuguées, du ruisellement sur les versants.

Le calcaire est alors déposé :

- a) par l'intervention des organismes
 - fixateurs comme les charas et certains mollusques,
 - absorbant le gaz carbonique dissous : algues bleues, Schizophycées et Cyanophycées, dont les filaments pourvus de chlorophylle et utilisant le gaz carbonique de l'eau pour les photosynthèses avec pour conséquence la précipitation du calcaire. Plusieurs espèces sont connues dans les lacs de Genève et d'Annecy.
- b) par la sursaturation des eaux en calcaire. Le phénomène suit les lois de solubilité du calcaire, il se dépose un calcaire nettement cristallin, très fin et pratiquement pur.

c) par des réactions chimiques.

d) par des actions mécaniques. Agitation de l'eau de surface des lacs.

Le calcaire ainsi précipité est constitué de calcite très finement cristallisée (micrite) et exempt de débris détritiques donnant une vase calcaire. Ce dépôt est appelé Protopedon calcaire de lac par KUBIENA.

Il s'en forme actuellement dans les lacs suisses et de nombreux lacs d'Amérique. Ils se rencontrent dans les vallées sèches sous les couches marécageuses des karsts, sur les hautes plaines d'Afrique du Nord et près de Bargny du Sénégal.

Eaux de ruissellement - Le ruissellement peut être concentré ou en nappe. Dans le cas de ruissellement concentré, le calcaire se dépose principalement lorsque les eaux franchissent un seuil où elles s'aèrent. Il se fait un dépôt de calcaire qui peut être envahi par les algues. Un dépôt de ce type peut être observé à la Forge d'Ans, au confluent du Blaine et de l'Auvezère.

Dans le cas du ruissellement en nappe, l'infiltration de l'eau doit être pratiquement impossible, ce qui implique que le ruissellement se produit sur un terrain imperméable du fait de sa lithologie ou parce que ce terrain ne présente pas de fissures et se trouve gorgé d'eau. Dans cette hypothèse, l'eau s'écoule sur la pente et dépose du calcaire. Si l'écoulement est permanent, le dépôt de calcaire est pratiquement continu, il peut être colonisé par des plantes, algues et mousses, favorisant l'évasion du gaz carbonique et la précipitation du carbonate de chaux par aération mécanique ou absorption du CO_2 par la photosynthèse. Il se forme un calcaire dur, caverneux, en rapport avec les végétaux sur lesquels le calcaire s'est précipité. Le type de ce dépôt est le "travertin romain".

Au contraire, si l'écoulement est saisonnier avec alternance d'écoulement et de sécheresse, des algues peuvent s'installer à l'exclusion de mousses ou autres végétaux. Les écoulements successifs en lame d'eau peu épaisse déposent un lit de calcaire micritique souligné ou non par des matières organiques ou de l'oxyde de fer, donnant au dépôt complet un aspect zoné, d'où le nom de "croûte zonaire" qui lui est attribué. Ces croûtes zonaires se rencontrent sur les bas de pentes des montagnes calcaires, les grandes vallées et les hautes plaines d'Algérie, sur le versant sud de l'Atlas saharien, etc. Une croûte zonaire calcaire, verticale, se trouve dans un conduit de percolation des dolomies de la falaise nord de Ghardaïa. L'épaisseur de cette croûte ne dépasse guère 10 cm; elle reste en général de 2 à 3 cm. Elle peut être appelée croûte ou carapace zonaire travertineuse, elle est très riche en carbonates de chaux et ne contient pas d'éléments détritiques.

Le site d'accueil est un limon transporté par l'eau chargée de calcaire. Arrivée à son niveau de base, l'eau, chargée d'alluvions en suspension et de calcaire dissous, va déposer sa charge solide imprégnée d'eau. Au cours de sa dessiccation, des vides vont apparaître dans cette alluvion par suite du retrait qui l'affecte ou de la présence de débris végétaux. Ces vides seront le siège d'une évaporation plus forte que celle qui se produit dans la masse et des amas

de calcaire friable micritique, appelés nodules, vont s'y former. Ces nodules peuvent être distribués sur des verticales ou être randomisés dans la masse. Parfois des plantes annuelles ou non peuvent coloniser l'alluvion et pousser leurs racines dans le terrain humide, elles seront à l'origine de fentes de retrait, si l'alluvion est assez fine, où se déposera le calcaire venu de l'eau qui l'imprègne ou l'imprègnera.

Le site d'accueil est un matériau déjà en place. Dans cette hypothèse, il faut distinguer le cas de la circulation d'eau de haut en bas et de bas en haut.

Circulation de haut en bas. Dans ce cas, il s'agit de la formation de sols à partir de roches-mères calcarifères ou pouvant produire du calcaire.

- la roche-mère est un loess. Si l'épaisseur du loess est suffisante, le calcaire va être entraîné en profondeur et se déposer sous forme de poupées du loess disséminées dans la masse du loess profond, tandis que le loess décalcifié devient un lehm. Si l'épaisseur du loess est relativement faible, 50 à 60 cm, et repose sur un cailloutis par exemple, en arrivant au contact du cailloutis la solution carbonatée va être mieux aérée, perdra du gaz carbonique d'équilibre et le calcaire se déposera d'abord dans le cailloutis, il pourra se concrétionner et former une dalle, tandis que le dépôt remontera à la base du loess. Il apparaît un horizon B/Ca.
- la roche-mère est une grèze ou un cailloutis. Un sol va se former et les phénomènes reproduiront ce qui se passe dans un loess peu épais. Les cailloutis des dépôts concernés seront imprégnés de calcaire immédiatement sous le sol formé. Il apparaîtra encore un horizon B/Ca.
- les mêmes phénomènes se produiront dans le cas de roches-mères calcaires friables ou poreuses comme les calcaires crayeux, mais, dans ce cas l'horizon B/Ca n'est pas visible à l'oeil à cause de la couleur des matériaux mis en jeu.
- cas de sables dunaires calcaires. En général, le calcaire est entraîné en profondeur et rejoint la nappe qui le déposera si les conditions sont favorables.

Circulation des solutions de bas en haut. Avant d'aborder le dépôt du calcaire dans la roche magasin de la nappe, il convient de rappeler les états de l'eau dans les terrains.

L'eau de pluie qui tombe sur un terrain va remplir ses vides sous l'influence des forces capillaires de la roche, tout en s'infiltrant par gravité. Si l'alimentation par la pluie est suffisamment forte, le terrain est saturé et l'eau va percoler, tandis qu'une partie restera fixée par capillarité. L'eau de saturation traverse la zone intermédiaire où les solutions circulent sans séjourner et arrive dans la nappe phréatique ou zone de saturation. Juste au-dessus de cette zone de saturation se trouve une frange capillaire où l'eau se maintient par capillarité.

- la zone de l'eau du sol, qui est la tranche de sol ou d'alluvion

suffisamment proche de la surface pour alimenter l'atmosphère de façon perceptible par la transpiration des plantes ou l'évaporation du sol ;

- la frange capillaire est l'épaisseur de roche située immédiatement au-dessus de la zone de saturation, dans laquelle l'eau est retenue par capillarité ;
- lorsque le niveau d'eau est suffisamment loin de la surface pour que la zone de l'eau du sol ne descende pas jusqu'à la frange capillaire, la zone qui sépare ces deux limites peut être qualifiée de zone intermédiaire.

L'alimentation des nappes est en majeure partie due aux précipitations, auxquelles s'ajoutent des condensations occultes et des eaux venant de profondeur.

Cette frange capillaire est alimentée par les pluies saisonnières et se trouve donc, alternativement, engorgée ou aérée. Le dépôt du calcaire se produit au cours des périodes d'aération de la frange capillaire ou de réchauffement du terrain. Il y a formation d'un encroustement qui cimente les cailloutis fluviatiles et les transforme en poudingues, les grès formant un horizon calcaire blanc en profondeur ou un grès dunaire dans les sables. Ce dépôt peut se produire aussi bien dans le cas de nappe horizontale que dans le cas de nappe en pente. Le calcaire apporté par l'eau est solubilisé dans son parcours vertical et transporté latéralement.

Ces phénomènes se produisent en climat humide, l'eau ne pouvant circuler latéralement qu'à saturation des roches sous jacentes ou si le fond de la roche magasin est en pente.

5- NOMENCLATURE DES ACCUMULATIONS CALCAIRES CONTINENTALES

L'ensemble des formations ayant reçu un nom est groupé dans le tableau ci-joint.

SCHEMA DE CLASSIFICATION DES
DIFFERENTES ACCUMULATIONS CALCAIRES

Accumulations calcaires continues

Croûte en dalle

Croûte zonaire

Croûte non zonaire, litée
non litée

} conglomératique

} gréseuse

} pélimitique

Croûte friable

Croûte feuilletée

Croûte non feuilletée,

Calcaire pulvérulent,

} 50% de concrétion,

} croûte conglomératique,

} 50% d'éléments clastiques,

} croûte psamitique

Accumulations calcaires discontinues

Croûte lithique

Croûte concrétionnée, rognons, poupées, nodules ou

granules concrétions racinaires.

Croûte non concrétionnée

Croûte non lithique

Amas friables, nodules farineux ou pseudomycelium.

Accumulations calcaires continues

- Croûte - Accumulation calcaire à couches individualisées continues, située dans ou sur des formations superficielles, disposées suivant le relief actuel ou ancien, de consistance, texture et épaisseur variables et pouvant se présenter sous forme de plusieurs niveaux superficiels.

- Croûte en dalle - Accumulation de calcaire dur à très dur, ne pouvant être débitée qu'au marteau.

- Croûte zonaire - Accumulation de calcaire très dur, peu épaisse (décimétrique), d'aspect sublithographique et présentant, en coupe verticale une zonation formée par la superposition de minces couches millimétriques alternativement claires et colorées, soulignée par des "impuretés" (matière organique, manganèse, argile). Localisation : elle recouvre des formations diverses, calcarifères ou non, qu'elle masque.

- Croûte non zonaire - Accumulation de calcaire dur à très dur, cimentant un matériel détritique hétérométrique ou non, de granulométrie variée (faciès pélitique, gréseux ou conglomératique), parfois formée de lits centimétriques superposés. Variété : croûte en dalle massive.

- Croûte friable - Accumulation calcaire pouvant être débitée au couteau.

- Croûte feuilletée : ensemble de feuillets discontinus se différenciant de la matrice par la cohérence et éventuellement par la couleur. L'épaisseur maximum du feuillet est de l'ordre du centimètre.

Accumulations calcaires discontinues

Croûte lithique

- Concrétion - Induration au sein de la matrice, de forme généralement globulaire ou allongée.

- Nodule concrétionné - Concrétion arrondie.

- Poupée du loess - Concrétion globulaire, pouvant atteindre un diamètre supérieur à 10 cm et dont la partie corticale dure, plus ou moins zonaire, contient un matériau beige ou marron clair, craquelé comme le serait un limon argileux sous l'effet de la dessiccation. Ces "fentes de retrait" forment un réseau orthogonal délimitant des prismes à section rectangulaire, de 5 mm environ de côté.

- Concrétion racinaire - Formation calcaire verticale empâtant la roche encaissante, d'aspect scoriacé, formée par des grains du sédiment agglutinés par le calcaire : elle apparaît comme un accident dans des roches aquifères. Elle se sépare facilement du milieu encaissant et casse en tige de grès à peu près cylindrique. Vers la partie inférieure de la racine, la tige s'amincit et se termine en pointe émoussée. En coupe transversale, ces concrétions présentent une lumière centrale partiellement occupée par une racine

desséchée, limitée par des couches minces concentriques, de calcaire très finement cristallisé. Equivalent racine lapidifiée.

Crôte non lithique

- Amas friables - Amas de calcaire pur et pulvérulent, à la limite diffuse ou nette, se rencontrant généralement dans des formations limoneuses et des marnes.

- Nodules pulvérulents - Amas friables arrondis.

- Pseudomycelium - Feutrage plus ou moins dense assumant la forme de filaments mycéliens.

Remarques :

- Niveau concrétionné - Niveau contenant plus de 50 % en volume de concrétions.

- Niveau conglomératique - Niveau contenant plus de 50 % en volume d'éléments détritiques supérieurs à 2 mm.

Dans le cadre de cette nomenclature et de ce classement, les accumulations calcaires des grèzes se placent :

- Horizons BCa des rendzines formées sur grèzes et cailloutis : croûte friable, non feuilletée, conglomératique ;
- Encroûtements profonds des grèzes : croûte friable, non feuilletée, conglomératique.

Le classement de ces deux types d'accumulations calcaires, dont la genèse est différente, est donc commandée par le site d'accueil.

Les travertins et calcaires lacustres -

- Travertins de sources : n'ont pas leur place dans le classement proposé, pourraient être rapprochés des concrétions racinaires.
- Travertins de ruissellement : croûte non zonaire, litée ou non suivant les cas, plutôt pélimitique.
- Calcaires lacustres : calcaires pulvérulents.