

# La Craie

## Définition et genèse, reconnaissance et particularités des craies altérées

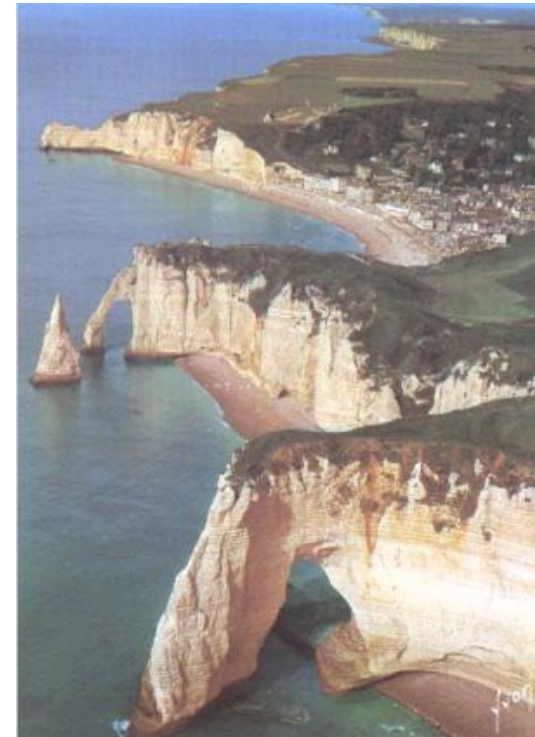
Christian Schroeder, ULB, FPMs, CES Consult





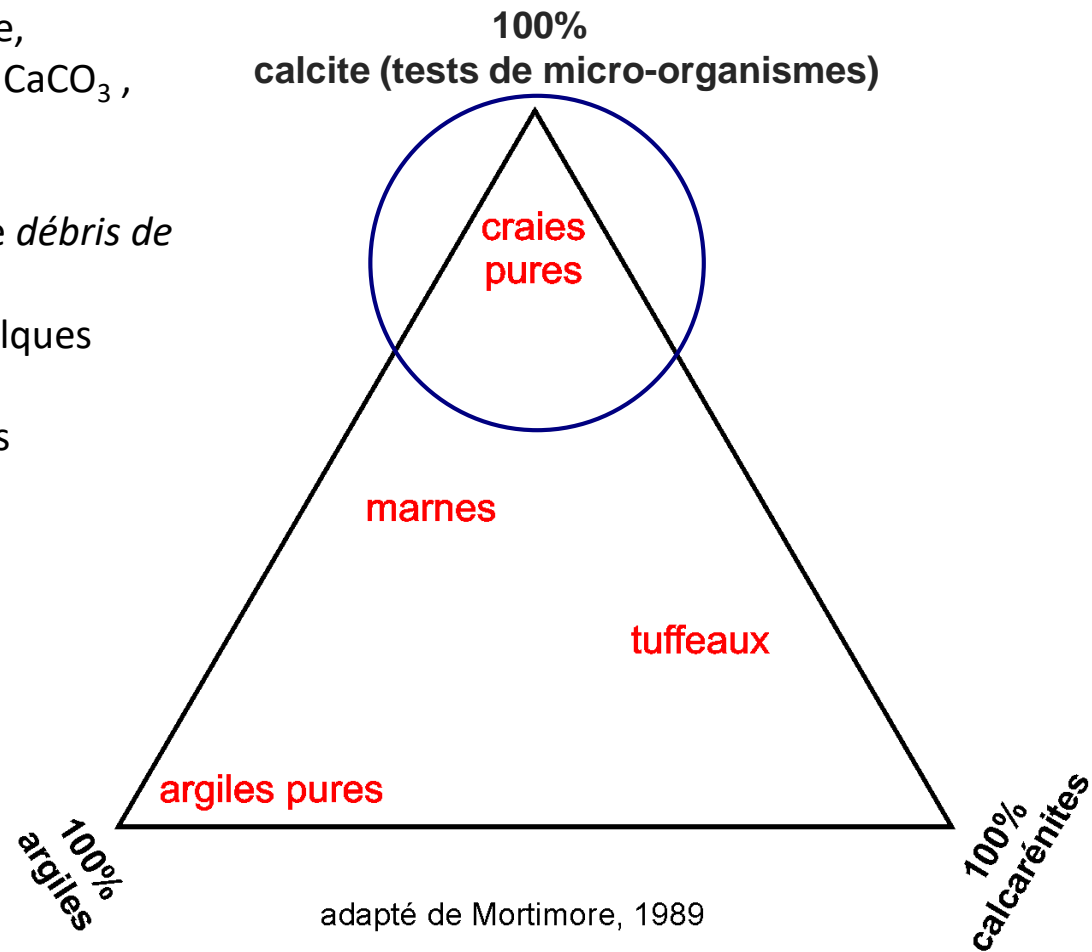
## Sommaire :

1. définition(s) (géologique - minéralogique)
2. genèse (et datation) - forces de liaison
3. altération - "mécanismes"
4. classifications des craies altérées
5. impacts sur les reconnaissances



# 1. Définition

- roche sédimentaire, blanche ou claire, presque exclusivement composée de  $\text{CaCO}_3$ , poreuse et friable.
- **biomicrite**, formée principalement de *débris de nannofossiles*, renfermant aussi (max 10 - 25 %) quelques autres fossiles plus grands : échinodermes, bivalves, foraminifères céphalopodes (**belemnites**), ...



- N.B. Le "Tuffeau" (terme plus utilisé en architecture qu'en géologie) est une craie sableuse. Il s'agit d'une **calcarénite**

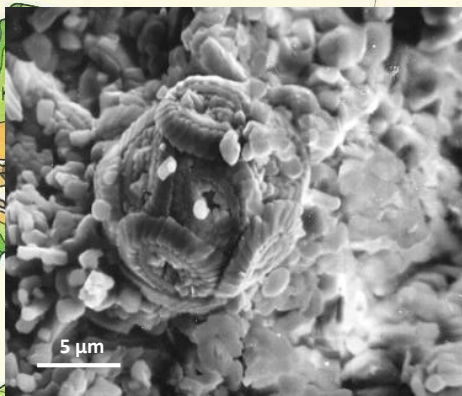
**craie - krijt - Kreide - chalk**  
**(marne - kalksteen)**



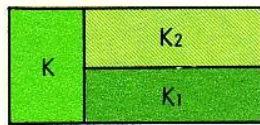
## 2. Genèse - datation

La craie s'est formée, il y a 60 à 120 Ma, au Crétacé, par dépôt au fond de la mer de squelettes d'algues unicellulaires appelées coccolithophoridés.

L'unique cellule de l'organisme est protégée par une "coccosphère", assemblage de plaques appelées "coccolithes", formées elles-mêmes de plaquettes micrométriques de calcite.

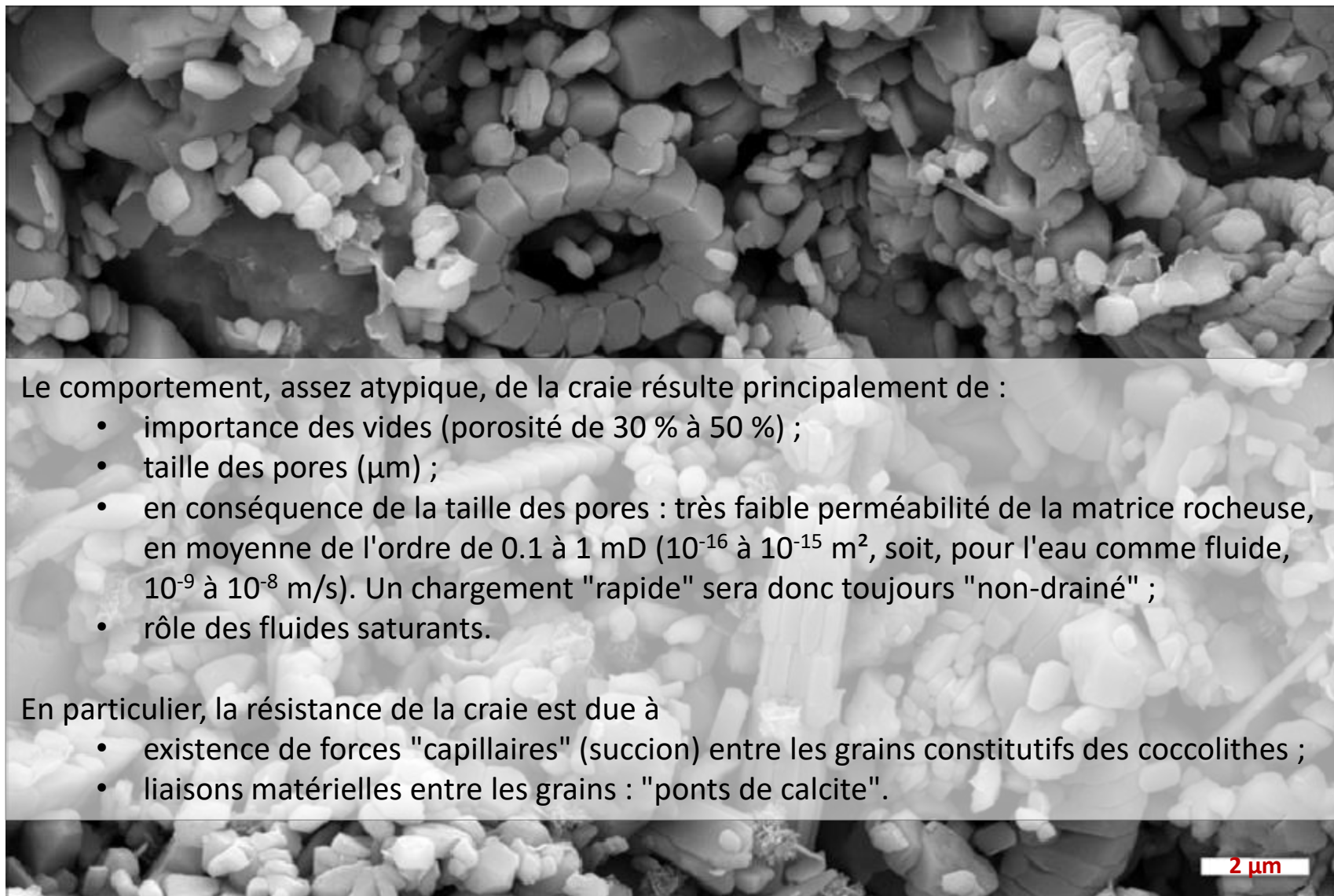


On rencontre la craie dans le monde entier (la séparation des Amériques entre elles et avec l'Europe ne faisait que débuter). En Belgique, la craie couvre une bande quasi continue allant du "bassin" de Mons à la frontière des Pays-Bas (Campine - Voeren).



**Crétacé**

AGE Ma	ÈRE	SYSTÈME	SÉRIE	ÉTAGE	N° Fossile	ANCIENS NOMS	PHASES OROGÉNIQUES					
0.01	CÉNOZOÏQUE	QUATÉNAIRE	HOLOCÈNE		41	FLANDRIEN						
1.75			PLÉISTOCÈNE		39 40	SCALDISIEN						
5.1	TERTIAIRE	NÉOGÈNE	PLIOCÈNE	PLAISANCIEN ZANCLÉEN	37 38	DIESTIEN ANTWERPIEN	CYCLE ALPIN					
23			MIOCÈNE	MESSINIEN TORTONIEN SERRAVALIEN LANGHIEN BURDIGALIEN AQUITANIEN	35	HOUTHALIEN						
37			PALÉOGÈNE	OLIGOCÈNE	CHATTIEN RUPÉLIEN							
53				ÉOCÈNE	PRIABONIEN BARTONIEN LUTÉTIEN YPRESIEN	34 33		TONGRIEN BRUXELLIEN				
65				PALÉOCÈNE	THANÉTIEN SÉLANDIEN DANIEN	32 31		LANDÉNIEN MONTIEN				
88		MÉSOZOÏQUE	SECONDAIRE	CRÉTACÉ	MAASTRICHTIEN CAMBANIEN SANTONIEN	30 29		CYCLE ALPIN				
125					CONACIEN TURONIEN TENGOMANIEN ALBIEN APTISIEN BARÉMIEN	28 27 26	WEALDIEN					
135					NÉOCOMIEN	HAUTERIVIEN VALANGINIEN BÉTHASIEN	25 24					
154					MALM							
175					JURASSIQUE	DOGGER	CALLOVIEN BATHONIEN BAJOCIEN AALÉNIEN		23 22			
203	LIAS			TOARCIEN PLIENSCHACHIEN SINÉMURIEN HETTANGIEN		21						
250	TRIAS			RHÉTIEN		19 20	KEUPER MUSCHELKALK BUNTSANDSTEIN					
295	PALÉOZOÏQUE			PRIMAIRE	PERMIEN		18			CYCLE HERCYNIEN (OU VARISQUE)		
315						CARBONIFÈRE	SILÉSISIEN		WESTPHALIEN		D C B A	16
325					NAMURIEN		YEADONIEN MARSDENIEN KINDERSCOUTIEN ALPORTIEN CHOKIERIEN ARNSBERGIEN PENDLEIEN					
355		DINANTIEN	VISÉEN		WARNANTIEN LIVIEN MOLINIACIEN		15					
375		TOURNAISIEN	IVORIEN HASTARIEN		13 14							
		SUPÉRIEUR	FAMENNIEN FRANSIEN		12 11		STRUNIEN					
			GIVETIEN		10							



Le comportement, assez atypique, de la craie résulte principalement de :

- importance des vides (porosité de 30 % à 50 %) ;
- taille des pores ( $\mu\text{m}$ ) ;
- en conséquence de la taille des pores : très faible perméabilité de la matrice rocheuse, en moyenne de l'ordre de 0.1 à 1 mD ( $10^{-16}$  à  $10^{-15}$  m<sup>2</sup>, soit, pour l'eau comme fluide,  $10^{-9}$  à  $10^{-8}$  m/s). Un chargement "rapide" sera donc toujours "non-drainé" ;
- rôle des fluides saturants.

En particulier, la résistance de la craie est due à

- existence de forces "capillaires" (suction) entre les grains constitutifs des coccolithes ;
- liaisons matérielles entre les grains : "ponts de calcite".

SEM-micrograph-of-Liege-chalk-before-flooding-Scale-bar-2-μm

Wenxia Wang, Merete V. **Madland**, Udo Zimmermann, Anders Nermoen, Reidar I. Korsnes, Silvana R. A. Bertolino & Tania Hildebrand-Habel, **2016**, Evaluation of porosity change during chemo-mechanical compaction in flooding experiments on **Liège** outcrop chalk



## 3. Altération

### 3.1. altération chimique - dissolution

La craie est en fait très peu soluble dans l'eau pure :

solubilité : 13 mg/l\* donc de 2 à 4  $10^{-4}$  % de la craie (porosité 30 à 50 %).

En présence de  $\text{CO}_2$ , la solubilité augmente mais la réaction est à double sens et il s'en faut de peu (changement de température et/ou de pression) pour qu'elle s'inverse (précipitation).

Il faut ajouter la grande surface spécifique de la craie (de l'ordre de 2  $\text{m}^2/\text{g}$ ) qui fait que l'équilibre chimique est rapidement atteint.

**Néanmoins**, la craie présente parfois (souvent) de la dissolution qui donne lieu à des phénomènes tels que :

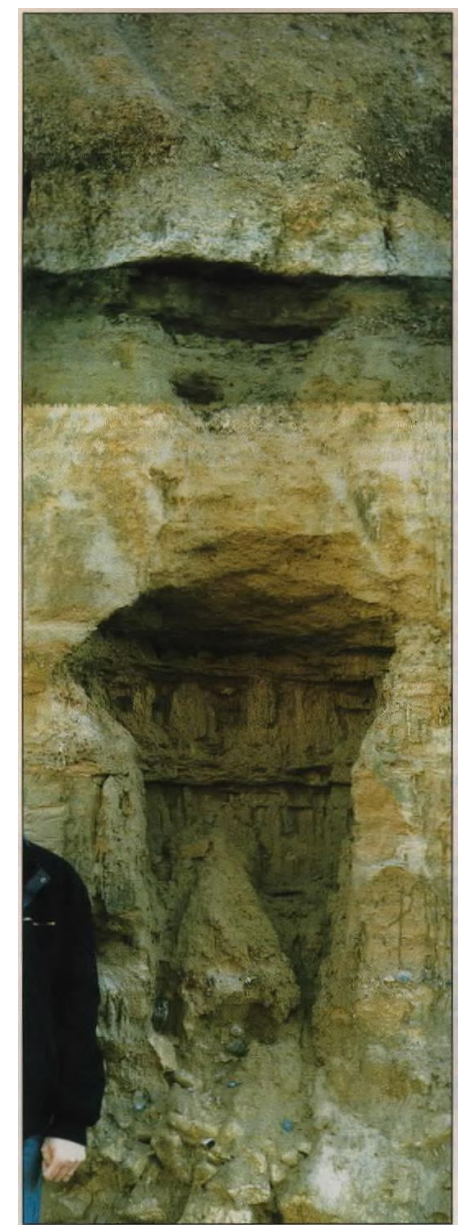
- karst\*\* (cheminées "tuyaux d'orgues" et parfois grottes ou dolines, "noyaux d'altération", "fantômes de roches" ... ) ;
- ouverture des réseaux de fissures ainsi que des "conduits karstiques" favorisant la circulation des eaux et **l'entraînement de particules** (suffosion) ;
- diminution de la densité et, corrélativement, affaiblissement de la résistance.

A noter que l'injection directe d'eau de pluie (chargée en  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) dans le substratum crayeux permet la formation de karst en quelques années, voire en quelques mois, ce qui est à l'origine de nombreux désordres actuels.

\* Entre autres, voir : Camille Ek, 1973, La dissolution du carbonate de calcium Bulletin de la Société géographique de Liège n°9, 9ème année

\*\* L. Willems, J. Rodet, C. Ek, M. Dusar, D. Lagrou, M. Fournier, B. Laignel, A. Pouclet, 2007, Karst des craies et calcarénites de la Montagne Saint-Pierre, Bulletin des Chercheurs de la Wallonie, XLVI





"noyaux d'altération" (carrière ENCI, Maastricht) - photo L. Willems



Chris Raison, 2004, Engineering in Chalk, Some Case Histories



cheminées karstiques





## 3.2. altération mécanique

En raison de la faible perméabilité de la matrice, une sollicitation mécanique rapide de la craie provoque des surpressions interstitielles capables de rompre les liaisons intergranulaires "physiques" ("ponts de calcite")\*.

La craie perd alors toute cohésion et se comporte comme un sol boueux.

Les pétroliers connaissent bien ce phénomène lorsque les orifices des puits laissent passer, au lieu de l'huile, de la "pâte de craie" par *extrusion* ("chalk production").

Les blocs de craie tombant des falaises peuvent se transformer en boue lorsqu'ils touchent le sol.

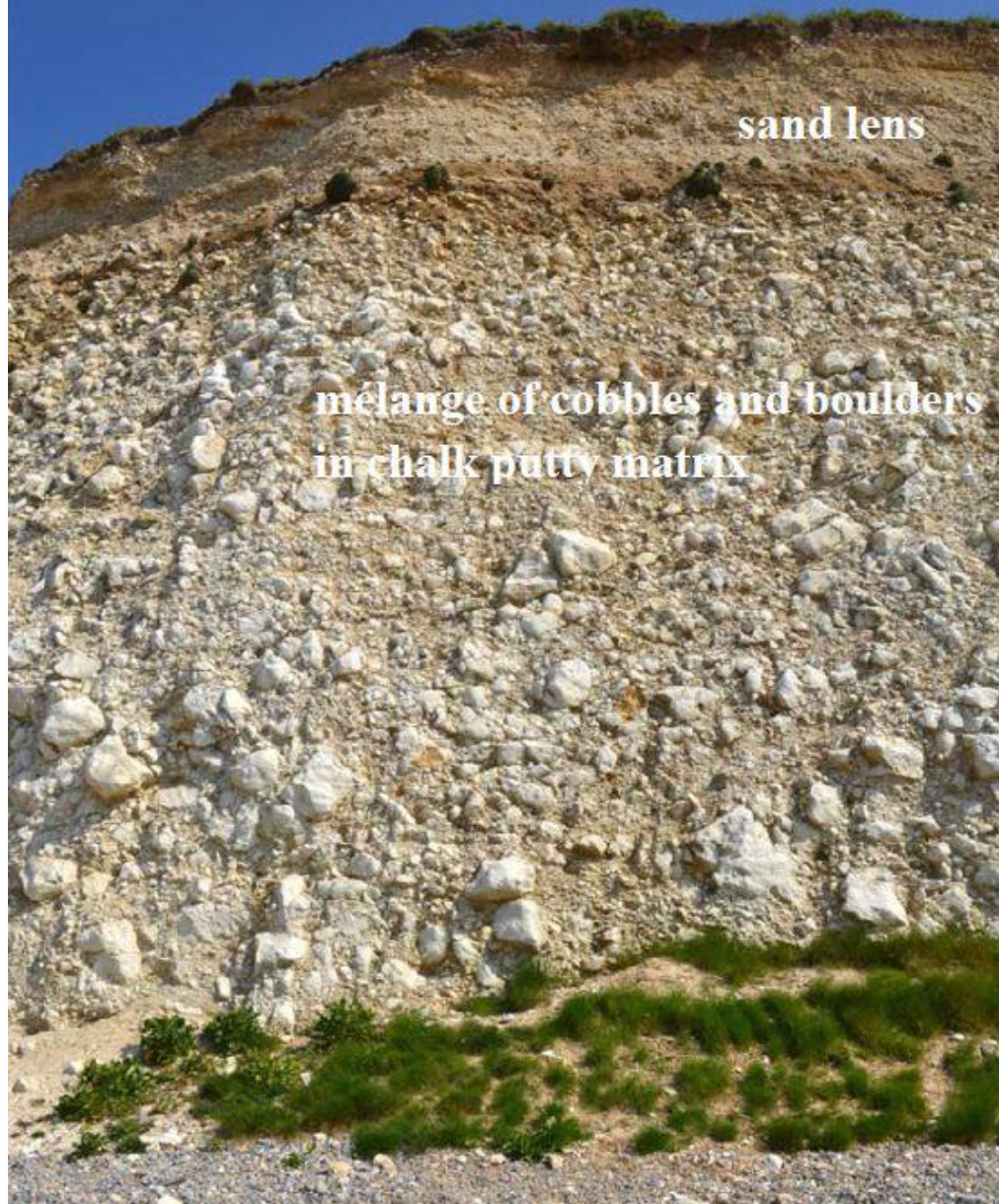
Les engins de chantier n'ignorent pas non plus ce phénomène désagréable mais c'est plus dangereux encore lors de l'interprétation de résultats de forages, comme nous verrons plus loin.

Les cycles de gel-dégel provoquent également ce type d'altération. C'est pourquoi, les régions ayant été touchées par les glaciations peuvent présenter d'importantes zones perturbées.

\* Un chargement plus lent mais suffisamment important suffit aussi pour briser les "soudures". La déformation maximum avant rupture des liaisons, en compression simple, est de l'ordre de  $2 \cdot 10^{-3}$ .



## Conséquence des glaciations (freeze/thaw cycles)



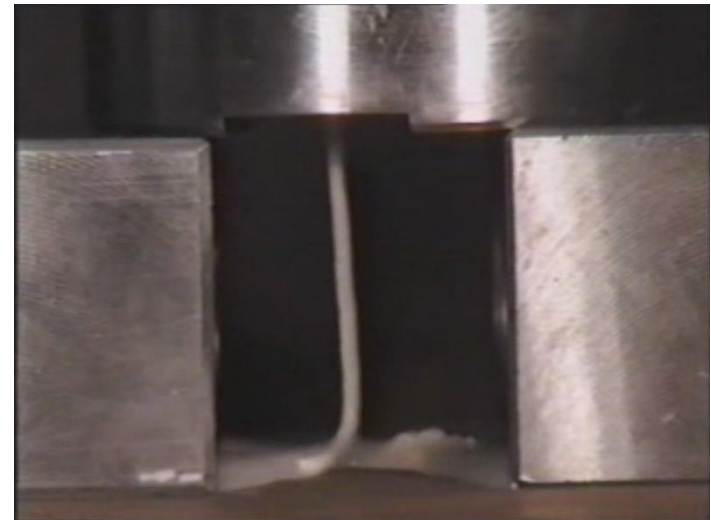
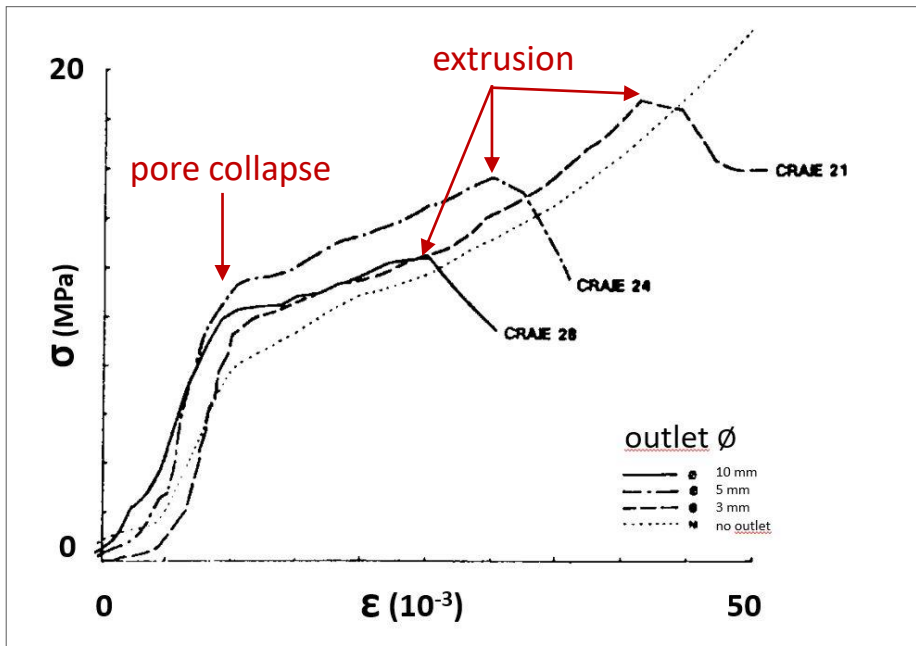
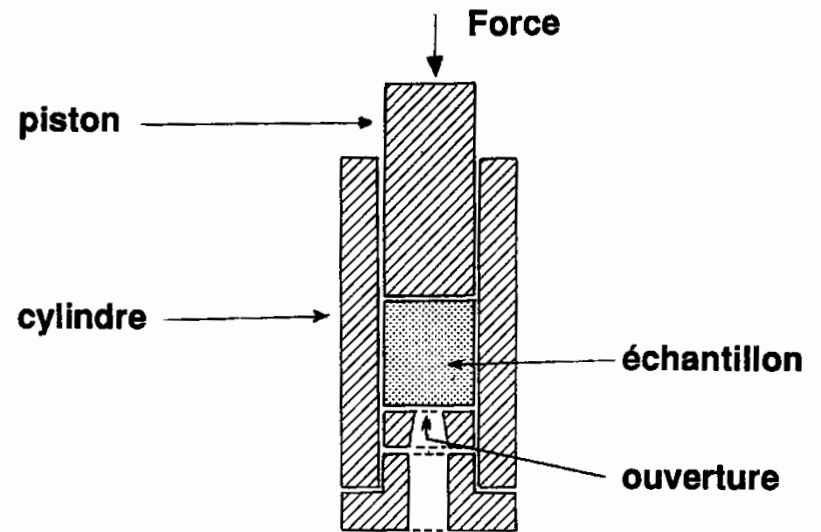
S. P. S. Bundy , 2013, Geotechnical Properties of Chalk Putties PhD Thesis, University of Portsmouth

# Extrusion

"Production de craie"

Mise en évidence expérimentale par essais oedométriques spécifiques

- échantillon saturé en eau,
- $\varnothing$  : 40 mm
- ouverture : de 2 mm à 10 mm



## 4. Classification des craies altérées

Il ne suffit pas de dire "*la craie est altérée*", encore faut-il informer correctement le concepteur de ce que cela signifie et de l'ampleur de l'altération.

Bien entendu, les essais in situ et en laboratoire vont quantifier le comportement de la craie mais une classification basée sur des critères objectifs de description des affleurements et carottes se révèle d'une grande utilité.

Au Royaume-Uni, où la surface couverte par la craie est considérable, diverses méthodes existent. La plus récente, et semble-t-il, la plus couramment admise, est la classification de la **CIRIA\*** (Construction Industry Research and Information Association).

Décrire et commenter ce système sort du cadre du présent exposé mais une brève présentation résumée peut se révéler utile\*\*.

Cette classification se base principalement sur 3 critères :

- degré de fracturation (de "complètement remanié" à "compact")
- espacement des fissures
- densité (étroitement liée à la résistance mécanique) \*\*\*

\*T.W. Spink, 2002, The CIRIA Chalk description and classification scheme, Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology 35(4):363-369

\*\* R. N. Mortimore, 2012, Making sense of Chalk: a total-rock approach to its Engineering Geology, Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology 2012, v.45; p252-334

\*\*\* A.J. Bowden, T.W. Spink and R.N. Mortimore, 2002, The engineering description of chalk: its strength, hardness and density, Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 35, 355-361



# Classification CIRIA

## 1. Ouverture des discontinuités matériau déstructuré (sol) à compact

CIRIA Chalk grade	Typical discontinuity aperture	Subdivision
Grade D	Structureless or remoulded mélange	
$D_m$		$D_m$ = comminuted matrix >35% (matrix dominated)
$D_c$		$D_c$ = comminuted matrix <35% (clast dominated)
Grade C	>3 mm	Suffix 1-5
Grade B	<3 mm	Suffix 1-5
Grade A	Closed	Suffix 1-5

## 2. espacement des discontinuités

Suffix	Typical discontinuity spacing
1	$t > 600$ mm
2	$200 \text{ mm} < t < 600$ mm
3	$60 \text{ mm} < t < 200$ mm
4	$20 \text{ mm} < t < 60$ mm
5	$t < 20$ mm

## 3. Compacité

dans la craie, la résistance en compression simple (UCS) est directement liée à la compacité \*

$$UCS \approx 36 \cdot \gamma - 47$$

(UCS en MPa,  $\gamma$  en  $Mg/m^3$  (1.3 à 2.2))

\* A. Duperré, S. Taibi, R. Mortimore, M. Daigneault, 2005, Effect of groundwater and sea weathering cycles on the strength of chalk rock from unstable coastal cliffs of NW France, Engineering Geology 78(3)

Identification method	Low density	Medium density	High density	Very high density
Intact dry density <sup>(2)</sup>	<1.55 $Mg \text{ m}^{-3}$	1.55–1.70 $Mg \text{ m}^{-3}$	1.70–1.95 $Mg \text{ m}^{-3}$	>1.95 $Mg \text{ m}^{-3}$
Approximate UCS <sup>(3)</sup>	<3 $MN \text{ m}^{-2}$	3–5 $MN \text{ m}^{-2}$	5–12.5 $MN \text{ m}^{-2}$	>12.5 $MN \text{ m}^{-2}$
BS 5930: 1999 Amendment 1 (BSI 2007) strength terms	Extremely weak to very weak	Very weak	Weak	Weak
Ease of breaking fragments <sup>(9)</sup>	30–40 mm thick fragments can be crushed between finger and thumb, and remoulded to putty <sup>(4)</sup>	30–40 mm thick fragments can be broken in two using both hands but cannot be crushed between finger and thumb <sup>(4)</sup>	30–40 mm thick fragments cannot be broken in two <sup>(4)</sup> . Only thin slabs <10 mm thick, and corners and edges of lumps, can be broken with difficulty using both hands	Cannot be broken by hand. 100 mm diameter lump can be broken by a single hammer blow when held in the palm of the hand <sup>(5)</sup>
150 mm nail penetration <sup>(6),(7),(10)</sup>	>25 mm, putty formed around nail	15–25 mm	6–15 mm	<6 mm
Used hammer pick penetration <sup>(7),(8),(11)</sup>	>30 mm, chalk splashes	11–30 mm	2–11 mm	<2 mm
New hammer pick penetration <sup>(7),(8),(11)</sup>	>35 mm, chalk splashes	18–35 mm	6–18 mm	<6 mm

## 5. Impact sur les reconnaissances

L'altération chimique (dissolution) se manifeste directement par la diminution de compacité et de résistance facilement mise en évidence par les essais tels que pressiomètres ou CPT ou encore diagraphies différées ou prospection géophysique (attention toutefois à la résistivité électrique, fortement influencée par les 30 à 50 % d'eau interstitielle et/ou par les argiles (marnes)).

L'altération mécanique est nettement plus perverse, en particulier lors de forages par méthode remaniant le matériau ou d'essais de pénétration dynamique.

En effet,

- la présence de lits de silex ou de fractures peut compromettre la prise d'échantillons
- le mode de forage conditionne la valeur des résultats\* :
  - le phénomène de "liquéfaction" ou, à tout le moins, de transformation en pâte est dû à des surpressions interstitielles temporaires et locales (cas des SPT) (dissipation un peu plus rapide dans les zones fracturées) ;
  - les sollicitations de la craie par vibrations (marteau fond de trou), chocs (prélèvement par battage) ou écrasement (tarière) peuvent la transformer en une pâte non représentative de son état réel ;
  - => privilégier le carottage (rotary) avec carottier mince... et s'informer (observation des affleurements) de ce qu'il en est réellement.

\* D. Norbury, 2010, "Soil and Rock Description in Engineering Practice", CRC Press





Echantillon de craie.

Montre la structure.

Craie compacte et résistante.

Autre forage, à 100 m du premier

**Craie totalement déstructurée  
et à l'état de pâte.**

47 Hemmoor K47 V. 46,0 - 47,0

48 Hemmoor K48 V. 47,0 - 48,0

49 Hemmoor K49 V. 48,0 - 49,0

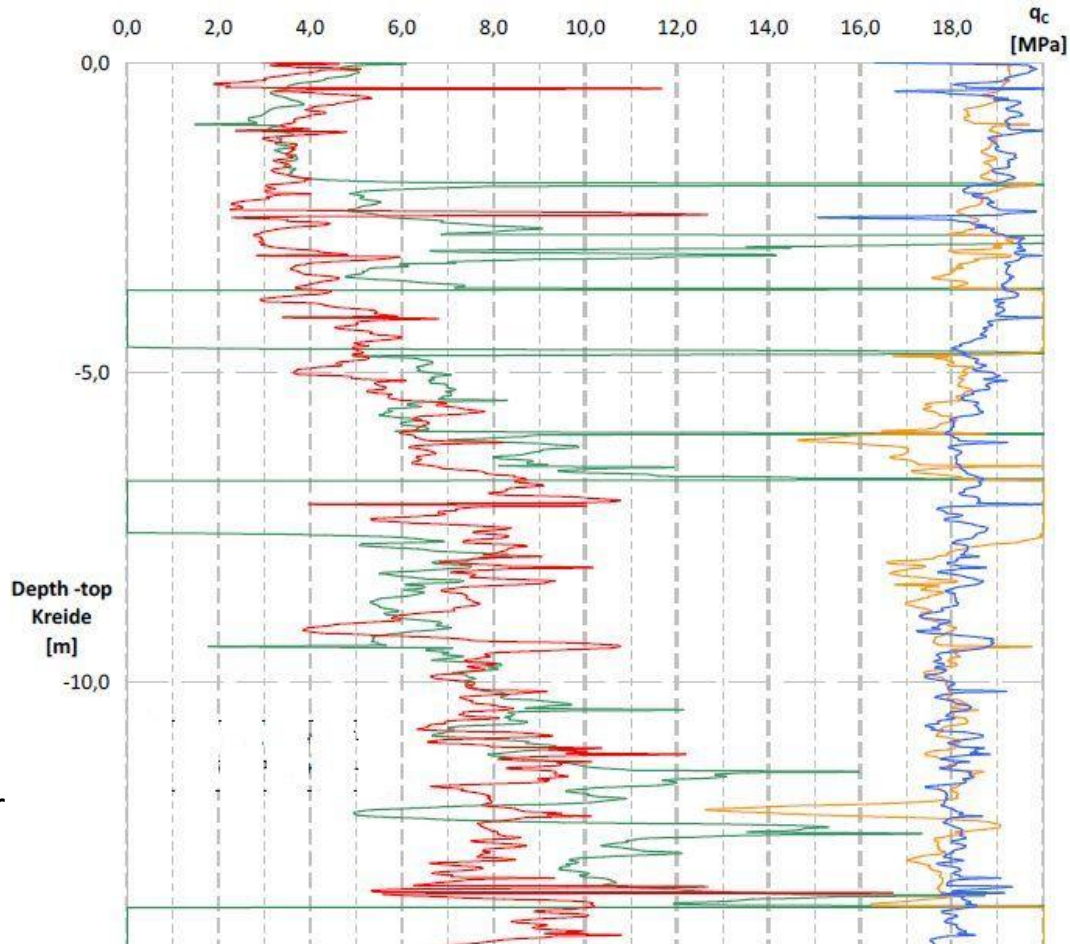
50 Hemmoor K50 V. 49,0 - 50,0



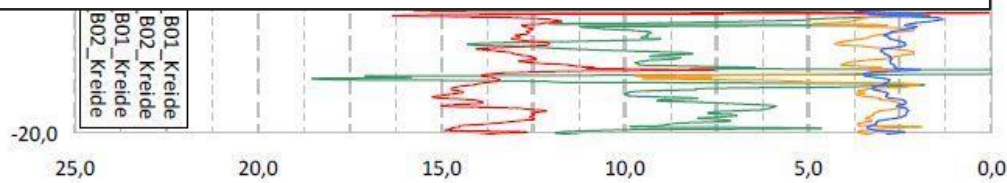
On pourrait dire qu'à 100 m de distance, l'état d'altération de la craie peut différer considérablement, ce qui est exact.

Mais les CPT sont pratiquement identiques :  
en vert et jaune : CPT Forage 1  
en rouge et bleu : CPT Forage 2

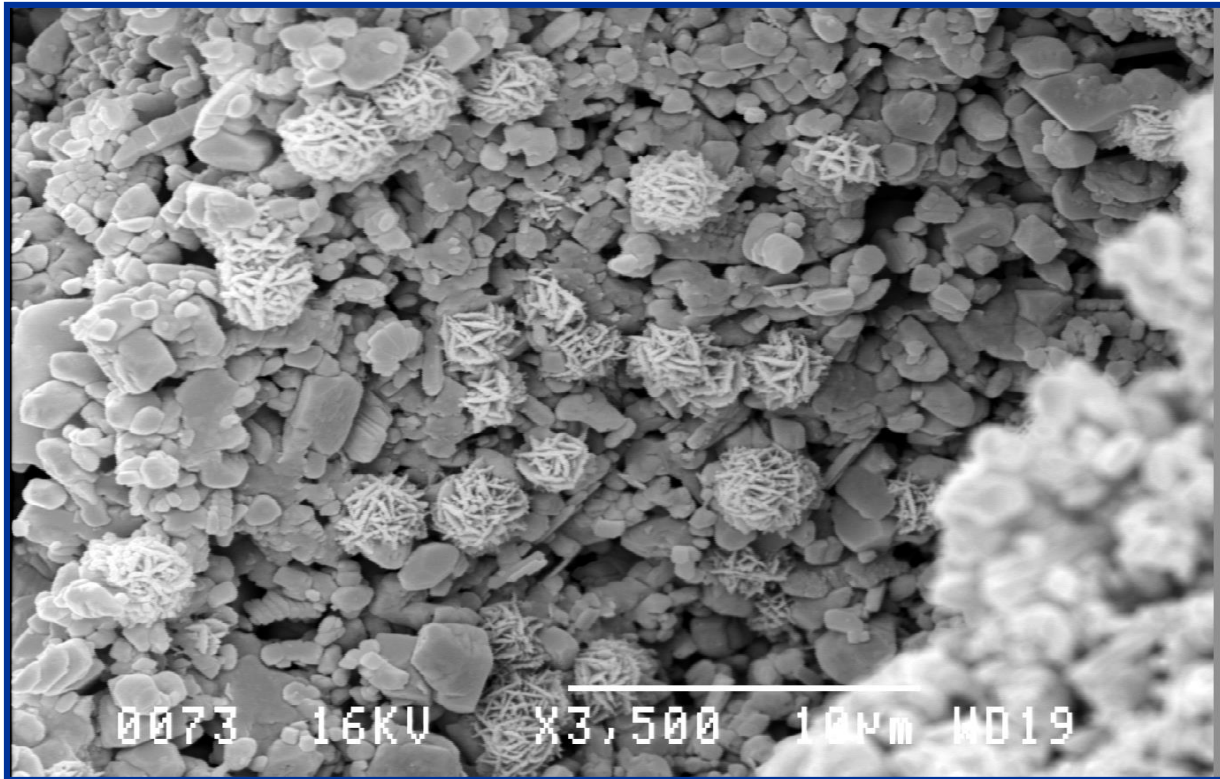
Le Forage 1 a été réalisé en **rotary** tandis que le Forage 2 a été fait par **vibrofonçage**



*"The mechanical disturbance of chalk is most clearly seen in samples recovered **using inappropriate techniques**.  
The use of cable percussion methods with thick walled driven samples is **disastrous** for sample quality"\**



\* D. Norbury, 2010, "Soil and Rock Description in Engineering Practice", CRC Press



***"Chalk is a fascinating material, which has still not revealed all its secrets"***

*"La craie est un matériau fascinant qui ne nous a pas encore livré tous ses secrets"*

**Rasmus Risnes 1935 - 2004**

