

LES ROCHES SEDIMENTAIRES (suite)

Robert Six

VI. CONSTITUANTS MINERALOGIQUES FONDAMENTAUX DES ROCHES SEDIMENTAIRES

Les **constituants minéralogiques** des roches sédimentaires sont en partie communs à ceux des roches magmatiques et métamorphiques, et en partie caractéristiques à celles-ci.

A. Minéraux d'origine détritique

a) Minéraux primaires

- 1- La **silice** (SiO_2), dont la forme la plus courante est le **quartz**, spécialement dans les grès, les sables et les limons. Ce minéral constitue aussi le ciment de certains grès.
- 2- Les **feldspaths alcalins** résistent assez bien à l'altération météorique et sont fréquents dans les roches détritiques. Ils ne s'hydrolysent complètement qu'en climat chaud et humide. De plus, ils peuvent se former, particulièrement l'albite, durant la diagenèse par réaction entre différents constituants en solution dans les eaux interstitielles.
- 3- Par contre, les **plagioclases** se détruisent par hydrolyse au cours de l'altération météorique.
- 4- Les **micas** sont présents en quantités accessoires dans les roches détritiques à grain moyen et fin, surtout dans les limons. Ils sont représentés par la **muscovite** et la **biotite** qui s'altère plus facilement. Les **chlorites** se forment généralement durant la diagenèse mais ont les rencontrent également dans ce type de roches.

b) Minéraux secondaires

- 1- Les **minéraux fémiqes** (riches en Fe et Mg), à l'exception de la chlorite, que l'on rencontre dans les roches magmatiques sont absent ou en très faible quantité dans les roches sédimentaires, car formés à des températures élevées, ils se détruisent par hydrolyse durant l'altération météorique. Il en résultera des minéraux secondaires, comme pour la dégradation des plagioclases.
- 2- **Minéraux de l'argile** : ce sont des phyllosilicates hydratés d'alumine pouvant contenir du Fe et du Mg, se présentant en très petits cristaux de quelques μm , en plaquettes hexagonales ou parfois en fibres. L'édifice

cristallin se présente en feuillets (**phylites**) composés de couches tétraédriques et de couches octaédriques. Il est identifiable par l'étude aux rayons X.

Ces minéraux prennent naissance au cours des processus d'altération météorique et de la diagenèse. Ils peuvent également provenir de l'altération physique des roches argileuses préexistantes et ont parfois une origine hydrothermale.

Ces minéraux sont très nombreux, avec principalement : la kaolinite, l'illite, les montmorillonites, les minéraux fibreux.

- 3- Les **hydroxydes de fer** et d'**aluminium** se rencontrent dans les dépôts continentaux qui représentent le résidu insoluble ou peu soluble de l'altération météorique des roches (latérites). De plus, l'hydroxyde de fer se trouve originellement dans des sédiments actuels de différents types déposés en milieu continental ou côtier ; il se transforme pendant la diagenèse en **hématite**.

B. Minéraux d'origine chimique et biologique

1- Les carbonates,

Assez répandus dans les roches sédimentaires, ils sont les constituants essentiels des calcaires et des dolomies. Ils sont également présents dans les roches clastiques, sous forme de résidu ou comme ciment chimique secondaire. La genèse des minéraux carbonatés est variée.

L'**aragonite** (CO_3Ca) prend naissance par précipitation chimique ou organogénèse. Elle se transforme rapidement en calcite lors des premières phases de la diagenèse.

La **calcite** (CO_3Ca) peut avoir une origine chimique, organogène ou détritique.

La **dolomie** [$(\text{CO}_3)_2 \text{MgCa}$] se forme surtout durant la diagenèse et a rarement un caractère détritique ou chimique.

La **sidérite** et l'**ankérite** sont des minéraux diagénétiques.

2- Groupe de la silice (SiO_2)

Le quartz de néo-formation se retrouve dans les roches siliceuses non détritiques, dont beaucoup sont composées de quartz microcristallin.

On trouve également une autre forme de la silice, la **calcédoine** et l'**opale**, dans ces roches, d'origine organogène (tests d'organismes siliceux), ou précipitation à partir de la solution en cours de sédimentation de diagenèse.

3- Les minéraux des évaporites

En dehors de certains carbonates qui précipitent chimiquement sous l'action de l'évaporation de l'eau, les minéraux des évaporites comprennent les **sulfates de calcium** (anhydrite et gypse), le **chlorure de sodium** (sel gemme) et divers **sels de sodium**, **potassium** et **magnésium** à solubilité élevée (sylvine, carnallite).

4- Les minéraux ferrifères

Ces minéraux généralement présents en quantités accessoires dans certaines roches, surtout d'origine chimique, peuvent toutefois constituer les composants fondamentaux des roches ferrifères. Ils se forment pendant la diagenèse des sédiments qui contiennent du fer, déposé sous forme

d'hydroxyde ferrique colloïdal. Selon les conditions diagénétiques, il peut se former : des **sulfures de fer** (pyrite, marcassite), des **carbonates** (sidérite, ankérite), des **silicates** (glaucosite, chlorite ferrifère), des **oxydes** (hématite, magnétite, limonite)

En dehors de minéraux de l'argile, la **glaucosite** est le seul silicate communément précipité. C'est un silicate hydraté de fer et d'aluminium $(K, Na)_2 (Fe^{3+}, Fe^{2+}, Al, Mg)_4 [Si_6(Si, Al)_2 O_{20}] (OH)_4$. Il se forme exclusivement dans la mer, entre 200 et 1.800 m de profondeur (talus continental). Il se présente sous forme de grains (0,5 à 3 mm) vert foncé et à éclat gras.

Minéral	Formule	Syst. Crist.
Quartz	SiO ₂	Rhomboédrique
Calcédoine	SiO ₂	Trigonal/hexagonal
Opale	SiO ₂ .nH ₂ O	Amorphe
Feldspaths	(K,Na)[Si ₃ ,AlO ₈]	Monoclinique
alcalins	KAl ₂ [Si ₃ Al O ₁₀ (OH,F) ₂	Monoclinique
Muscovite	K(Mg,Fe) ₃ [S[Si ₃ Al O ₁₀ (OH,F) ₂	Monoclinique
Biotite	K(Mg,Fe ⁺²) ₃ (Al,Fe ⁺³)Si ₃ O ₁₀ (OH,F) ₂	Triclinique
Chlorite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Triclinique
Kaolinite	Al ₂ Si ₂ O ₃ (OH) ₄	Monoclinique
Illite	Al ₄ Si ₈ O ₂₀ H ₂ O (OH) ₄	Orthorhombique
Montmorillonite	(Na,Ca) _{0,3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ . n H ₂ O	Monoclinique
Aragonite	CaCO ₃	Trigonal/hexagonal
Calcite	CaCO ₃	Trigonal/hexagonal
Dolomite	CaMg(CO ₃) ₂	Trigonal/hexagonal
Sidérite	FeCO ₃	Trigonal/hexagonal
Ankérite	Ca(Fe.Mg.Mn)(CO ₃) ₂	Orthorhombique
Anhydre	CaSO ₄	Monoclinique
Gypse	CaSO ₄ .2H ₂ O	Cubique
Halite	NaCl	Cubique
Sylvite	KCl	Orthorhombique
Carnallite	KMgCl ₃ .6H ₂ O	Cubique
Pyrite	FeS ₂	Orthorhombique
Marcassite	FeS ₂	Orthorhombique
Glaucosite	(K,Na)(Fe,Al,Mg) ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	Monoclinique
Hématite	Fe ₂ O ₃	Trigonal/hexagonal
Magnétite	Fe ₃ O ₄	Cubique
Limonite	FeO(OH).nH ₂ O	amorphe

Fig. 4 - Tableau des principaux minéraux des roches sédimentaires

VII. COLORATION DES ROCHES SEDIMENTAIRES

Les minéraux essentiels des roches sédimentaires comme le quartz, la calcite, la kaolinite et bon nombre de minéraux accessoires sont incolores, blancs ou jaunâtres.

Certaines roches présentent parfois des teintes vives. Ce sont des pigments en petites quantités qui en sont responsables.

A. Couleur noire ou grise

Elle est due généralement au carbone organique qui n'a pas été oxydé. Ce type de roches s'est déposé dans des eaux stagnantes ou peu agitées : calcaires, argiles, schistes, charbons.

La teinte noire peut être, plus rarement, due à l'oxyde de manganèse (dendrites sur certains calcaires) et au sulfure de fer (pyrite, marcassite).

B. Couleur jaune, rouge, brune ou verte

Dans ce cas, ce sont les oxydes de fer qui interviennent en fonction de leur degré d'hydratation.

Minéral	Degré d'hydratation	couleur
Hématite	Fe ₂ O ₃ anhydre	Rouge
Turgite	Fe ₂ O ₃ ½ H ₂ O	Rouge brun
Goethite	Fe ₂ O ₃ H ₂ O	Orangé
Limonite	Fe ₂ O ₃ 3/2H ₂ O	Jaune brun
Xanthosidérite	Fe ₂ O ₃ 2 H ₂ O	Jaune d'or
Composés ferreux		Verts

Fig. 5 – Tableau des colorations en fonction du degré d'hydratation des minéraux

Les formations colorées en **rouge**, par l'hématite, occupent actuellement une part importante dans les régions latéritisées tropicales (climats chauds et humides).

Parmi les formations anciennes, les plus connues sont les « **Vieux grès rouges** » (*Old red sandstone*) du Dévonien, en Angleterre, Scandinavie et Russie, et les « **Nouveau grès rouge** » (*New red sandstone*) du Permien et du Trias, en Angleterre, Europe centrale et méridionale, Afrique et Amérique.

Les roches meubles **jaunes**, comme les loess et les limons sont très abondantes dans les régions tempérées et froides.

Les roches présentant une teinte **verte** contiennent du chlorite et de la glauconie (sables verts glauconieux de l'Albien).

VIII. QUELQUES TYPES DE ROCHES SEDIMENTAIRES

A. Roches sédimentaires détritiques

1. Les conglomérats

Les **graviers** et leur équivalent consolidé, les **conglomérats**, sont des dépôts détritiques grossiers composés de fragments d'un diamètre supérieur à 2 mm (classe des **rudites**). La limite supérieure n'est pas définie, mais la majeure partie de ces dépôts est formée de galets ne

dépassant pas la dizaine de centimètres. Les conglomérats contiennent également un matériel détritique beaucoup plus fin (sable et limon) qui se dépose dans les interstices entre les éléments majeurs. Ce ciment est constitué soit de matériel ayant subi une diagenèse plus ou moins poussée, soit de matériel de précipitation chimique entre les galets. Les types peuvent exister conjointement.

Lorsque les galets sont **anguleux**, on a affaire à des **brèches** ; lorsqu'ils sont **plus ou moins arrondis**, on parle de **poudingue**.

Il existe une **classification plus fine** de ces roches dont les critères sont basés sur **deux types de phénomènes** :

- les **propriétés dynamiques de l'agent de transport** qui a entraîné les fragments détritiques dans les zones de sédimentation ;
- la **nature pétrographique** des galets.

2. Le sable

Roche sédimentaire constituée de fragments de minéraux de petite taille (entre 0,02 et 2 mm) appelés simplement grains (**arénites** de la fig.3). Ils ne sont pas cimentés entre eux : la roche est dite meuble.

Le **sable** résulte de l'**altération de roches préexistantes**, du transport et du dépôt au cours du temps. Il est principalement composé de fragments de cristaux de quartz (SiO_2), provenant de la désagrégation de roches cristallines. Ces petits grains cristallins sont concentrés par les rivières et transportés jusqu'à la mer. Dans certains cas, ils ont pu être redistribués par les effets des glaciations quaternaires dans l'hémisphère nord. A la suite de cycles répétés, les grains perdent leur aspect anguleux par usure pour plus ou moins s'arrondir. Outre le quartz, les sables peuvent contenir des fragments de minéraux d'origines variées, donnant lieu à des sables calcaireux, argileux, ferrugineux selon sa composition. On peut y trouver de petits fossiles ou des débris de ceux-ci.

3. Les grès

Les **grès** sont également des **roches détritiques** obtenus par **cimentation diagénétique de sables**. Ils sont composés de plus de **85% de grains de quartz** plus ou moins arrondis de 62,5 μ à 2 mm. Ce sont des roches communes constituant l'essentiel de nombreuses séries stratigraphiques. Leur couleur dépend de la nature de leur ciment ; elles peuvent être blanchâtres à gris clair, rouges (oxydes de fer), vertes (glauconie)...

Les **grès** sont classés selon le grain, la nature du ciment et la présence ou non d'éléments particuliers :

- **Grès à ciment siliceux** : contiennent 98 à 99% de silice (SiO_2) ;
- **Grès à ciment calcaire** : les grains de quartz sont liés par de la calcite ;
- **Grès calcarifère** : le ciment n'est qu'en partie calcaire.

4. Argile

L'**argile** est composée de particules plus fines que celles du sable (**lutites** de la fig. 3). Celles-ci sont en majeure partie de la **kaolinite** ($\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$) et du **quartz** (SiO_2) très finement divisé. Les minéraux des argiles sont des silicates hydratés d'alumine qui absorbent l'eau en devenant plastique ; l'argile qui durcit en séchant, reprend sa plasticité si on l'humidifie légèrement.

La couleur de l'argile est fonction des impuretés qu'elle contient : noir ou gris, présence de matières bitumeuses ou de sulfures ; vert, glauconie ; brun, limonite ; rouge, hématite...

On utilise l'argile comme matière première dans la fabrication des briques et tuiles.

5. Marne

La **marne** est une **argile riche en carbonate de calcium** (CaCO_3) qui fait la transition entre les calcaires argileux et les argiles calcareuses. Elle est moins compacte que les calcaires et moins plastique que les argiles. Les grains sont fins ce qui la place dans la **classe des lutites**. Elle happe à la langue et réagit à l'acide chlorhydrique dilué. La cassure plus ou moins conchoïdale est sombre alors que la patine est plus claire. On l'utilise pour l'amendement des sols.

6. Schiste

Le **schiste** est une **argile rendue cohérente par la recristallisation de ses minéraux**, et non pas par cimentation. Le schiste se reconnaît à son grain extrêmement fin, à sa faible dureté (il se raye facilement) et à son odeur d'argile qu'il dégage. La cassure est irrégulière. La roche ne réagit pas à l'acide chlorhydrique. En gros, le schiste est une argile devenue cohérente et ne retrouvant pas sa plasticité en l'humidifiant.

Le **schiste** présente un feuilletage caractéristique, la **schistosité**, c'est-à-dire une disjonction selon des plans parallèles qui sont, soit des plans de stratification, soit des plans obliques par rapport à la stratification.

Dans ce dernier cas, on a affaire à une structure que l'on rencontre fréquemment, notamment dans les roches métamorphiques que l'on appelle le **clivage schisteux**. Cette structure résulte des effets dynamiques que les roches ont subis à la suite de déformations tectoniques. Il s'agit d'une première manifestation de transformation de roches qui s'intensifie dans le phénomène de métamorphisme.

Lorsqu'une roche argileuse cohérente ne présente pas de schistosité, on parle d'**argilite**.

B. Roches carbonatées

1. Les calcaires

Ces **roches sédimentaires carbonatées** sont d'origine diverses (chimique, organique, détritique) et contiennent au moins **50% de carbonate de calcium** (CaCO_3) sous forme de calcite. Elles ont une faible dureté (rayées au couteau) et réagissent à l'action de l'acide chlorhydrique dilué. Elles contiennent souvent des fossiles d'où leur **importance en stratigraphie**. Leurs utilisations sont multiples : pierres de construction et de décoration, fabrication de chaux et de ciment, réservoirs d'eau, d'hydrocarbures, de gaz. Polies elles portent le nom commercial de marbre (pétrographiquement ce terme est erroné)

Les calcaires sont très divers et forment des bancs d'épaisseur variable alternant ou non avec des marnes ou des argiles. Ils sont classés selon différents critères :

- pourcentages de calcite et de dolomie : purs, magnésiens ou dolomitiques ;
- lieux de dépôt : calcaires marins, continentaux, lacustres, fluviatiles... ;
- grain : calcaires à grain fin ou très fin (microcristallins, lithographiques), à grain plus grossier (cristallins...);
- structures et textures : massifs ou lités ;
- importance des fossiles : calcaires construits ou récifaux (bioherme, biostrome), lumachelles, coquilliers, biodétritiques, à entorques, à ammonites...
- présence de matériel terrigène : calcaires sableux, siliteux, argileux...

On peut distinguer deux grands types de calcaires :

- les **calcaires autochtones**, d'origine biochimique et chimique qui se sont sédimentés à l'endroit de la formation du CaCO_3 ;
- les **calcaires allochtones** ou **détritiques**, formés de fragments de CaCO_3 d'origines variées qui sont transportés et déposés de la même façon que les autres sédiments clastiques.

2. Les dolomies

Ce sont des roches sédimentaires assez courantes formées essentiellement d'un minéral, la **dolomite** ($\text{Ca, Mg} (\text{CO}_3)_2$). Souvent associées aux calcaires, elles présentent toutes la gamme des transitions depuis les **dolomies pures** (moins de 10% de calcite, et 90 à 100% de dolomie), les **dolomies calcaires** (calcite entre 10 et 50%, et 50 à 90% de dolomie) et les **calcaires dolomitiques** (calcite, plus de 50%, et moins de 50% de dolomie).

Les dolomies ne font effervescence à froid avec HCL dilué (à 10%). Litées ou massives, elles peuvent former des massifs importants à l'aspect ruiniforme (les Dolomites, Trias des Alpes).

On peut rencontrer deux types de dolomies selon leur genèse :

- les **dolomies primaires** obtenues par précipitation directe de la dolomite (**évaporites**), formées le plus souvent dans les lagunes côtières des pays chauds. Ce sont des roches à grain fin, contenant un peu d'argile et de calcite ce qui leur confère une teinte rougeâtre ou verdâtre.
- Les **dolomies secondaires**, plus abondantes, dues au remplacement total ou partiel de la calcite par la dolomite (**dolomitisation**). On peut y observer des traces de la structure originelle (fantômes d'oolithes, de fossiles...). Le grain est plus grossier se qui leur donne un aspect rugueux proche de celui d'un grès.

C. Roches carbonées

1. Le charbon

C'est un terme général pour désigner une roche sédimentaire stratifiée utilisée comme combustible. Elle est essentiellement formée de débris végétaux qui ont subi une évolution complexe avec un enrichissement en carbone, une déshydratation et un appauvrissement en matières volatiles (hydrogène, oxygène) en fonction de l'augmentation de température et de pression par enfouissement sous d'autres couches de roches. Ce phénomène porte le nom de **carbonification** ou **carbonisation**.

Les différents stades d'évolution sont les suivants :

- la **tourbe** (55% de C), légère et souple, brune, surtout formée de mousses, uniquement dans des dépôts actuels ;
- le **lignite** (70-75% de C), brun noir et terne, à débris ligneux reconnaissables, d'âge secondaire et tertiaire ;
- le **charbon** proprement dit ou **houille** (85% de C), noir, mat ou brillant, tache les doigts.. Classé selon le pourcentage de matières volatiles (distillant à partir de 960°C) : flambant gras : + 33% ; gras : 20 à 30% ; demi-gras : 12 à 20% ; maigre : 8 à 12% ; la houille *stricto sensu* en contient 5% ;
- l'**anthracite** (92-95% de C, 0% à 8% de matière volatiles), noir, brillant, ne tache pas ;
- le **graphite** (100% de C), résultat d'un métamorphisme.

D. Roches siliceuses

1. Spongolithes

Ces **roches siliceuses organogènes** sont principalement constituées de **spicules d'Eponges siliceuses**, cimentées par de l'opale ou de la calcédoine, avec traces de calcaire et d'argile. Elles sont bien stratifiées, de couleur gris foncé, et à grain assez fin. Les spicules peuvent être accompagnés de minéraux détritiques (grains de quartz, de feldspaths ou de micas...). La glauconie est presque toujours présente. Elles sont d'origine marine et rarement lacustre.

2. Diatomites

Ces **roches siliceuses organogènes** sont constituées de minuscules **restes de Diatomées**, algues unicellulaires vivant en milieu aqueux, continental ou marin. Ces restes, libérés lors de la reproduction ou de la mort des organismes, se déposent au fond des bassins de sédimentation. Dans les diatomites marines, ils sont généralement associés à quelques tests de Foraminifères, de Radiolaires et de spicules d'Eponges.

Ce des roches claires, légères et poreuses, meubles ou consolidées. On les utilise comme abrasif ou comme absorbant (dans la dynamite).

3. Radiolarites

Ce troisième groupe de **roches siliceuses d'origine biochimique** est constitué par l'**amoncellement des squelettes siliceux réticulés des Radiolaires**, protozoaires du groupe des Actinopodes que l'on trouve dans le plancton. Ces roches, colorées en général en rouge ou rouge-violacé par des oxydes de fer, se présentent sous forme de bancs réguliers de 5-15 cm, alternant avec des lits argileux rouges. L'ensemble peut atteindre plusieurs dizaines ou centaines de mètres d'épaisseur.

Le **jaspe** est une **variété de radiolarite**, dérivant d'une vase à radiolaires dès le début de la diagenèse. La **silice** (90 à 95%) se trouve dans les radiolaires calcédonieux, et dans le **ciment sous forme de calcédoine et quartz**, d'opale plus rare, au sein d'une trame argileuse teintée par des oxydes de fer ou de la matière carbonneuse.

Le **phtanite** est une **variété du jaspe** plus argileuse contenant parfois quelques radiolaires. **Gris à noir**, il est essentiellement formé de quartz **en très petits cristaux** (20 µm) moulés les uns sur les autres avec quelques zones d'opale. Principalement rencontrés dans les séries antécambriennes et paléozoïques, ils sont régulièrement **stratifiés**, en bancs centimétriques à décimétriques, alternant avec des schistes.

4. Silex

Cette roche constitue des **accidents dans des couches calcaires**. Elle est formée de **silice** (calcédoine, quartz, un peu d'opale) **d'origine biochimique**. A la fin de l'ère secondaire, au sein des vases marines qui donneront la craie, les microorganismes siliceux comme les Radiolaires et les Diatomées, les spicules sécrétés par les Eponges ont subi une transformation d'ordre moléculaire qui a eu pour résultat la concentration en certains points de la masse crayeuse de la silice ainsi déplacée. Les rognons et les lits de silex, répartis en niveaux parallèles à la stratification, se sont formés par remplacement du calcaire par la silice à l'endroit même de leur formation.

Le **silex** est une **roche dure**, à **grain très fin**, de **couleur variée** allant du jaune clair, au brun et même noir. La cassure est lisse et conchoïdale, à éclat luisant.

E. Roches salines

1. Les évaporites

Ce sont des roches qui proviennent de la **précipitation chimique de sels dissous** dans l'eau de bassins lagunaires à la suite d'une forte évaporation sous un climat chaud et aride. Elles sont constituées de sulfate de calcium (gypse et anhydrite), de chlorure de sodium (sel gemme ou halite) et de sels variés de potassium et de magnésium.

Le **gypse** et l'**anhydrite** (CaSO_4) sont très courants et se présentent en couches régulières intercalées avec des argiles.

Le **gypse** se présente sous divers aspects : masses à grain plus ou moins grossier (**gypse saccharoïde**) ; masses à grain très fin, de teinte blanchâtre à translucide (**albâtre**) ; masses compactes faiblement calcareuses (**Pierre à plâtre**) ; cristaux isolés ou groupés, parfois de grande taille (**sélénite**) ; souvent maclés (**ped d'alouette, fer de lance**) ; en masses isolées concrétionnées, englobant des grains de quartz, entrecroisées (**roses des sables**).

Le **sel gemme** (NaCl) se rencontre souvent sous forme d'amas en forme de dômes (**diapirs**) de dimensions importantes (diamètre de l'ordre du kilomètre). Il peut également se déposer en couches régulièrement stratifiées.

IX. BIBLIOGRAPHIE

- **Collectif** (1976) – *Grande Encyclopédie Alpha des Sciences et des Techniques – Géologie II*, Grange Batelière, Paris – Editions Kister, Genève – Erasme, Bruxelles-Anvers.
- **DEFLANDRE G.** (1967) – *La vie créatrice de roches*, PUF, coll. « Que sais-je ? », n° 20
- **.FOUCAULT A., RAOULT J.-F.** (1980) – *Dictionnaire de géologie*, Masson.
- **POMEROL C., FOUET R.** (1953) – *Les roches sédimentaires*, PUF, coll. « Que sais-je ? », n° 595.
- **MICHEL F.** (2005) – *Roches et paysages – Reflets de l'histoire de la Terre*, BRGMéditations – Belin – Pour la Science.