République Algérienne Démocratique et Populaire
Université — Faculté des Sciences de la Terre et de l'Aménagement du Territoire
Département de Géographie et de l'Aménagement du Territoire

GÉOLOGIE GÉNÉRALE

Cours n° 1 — Introduction à la géologie générale

. Le géosystème Terre, système ouvert sur l'Univers

(nouvelle entrée en matière)

Licence 1 — Géographie et Aménagement du Territoire (Semestre 1)
Année universitaire 2026-2027
Dr.CemaliNedjoua

1 Une histoire pour commencer

Imaginez un grain de sable dans votre main. Il est constitué de matière qui existe depuis des milliards d'années. Cette matière a participé à la formation de la Terre.

Notre planète ne s'est pas formée seule : elle fait partie de l'Univers et échange de l'énergie avec l'espace, principalement sous forme de rayonnement solaire.

La Terre est donc un système ouvert sur l'Univers, qui reçoit de l'énergie et interagit avec son environnement spatial.

2 Qu'est-ce qu'un système ouvert ?

En physique, un système est dit « ouvert » lorsqu'il échange de la matière et de l'énergie avec l'extérieur.

3 Les flux qui entrent et qui sortent

Voici les six flux principaux à retenir. Chacun est mesurable, et chacun conditionne ce qui se passe à la surface.

3.1 • L'énergie qui entre : le rayonnement solaire

Le Soleil envoie en permanence de l'énergie vers la Terre. La quantité reçue au sommet de l'atmosphère, par mètre carré et par seconde, est la constante solaire : environ 1 361 W/m² (mesure NASA SORCE / TSIS-1, valeur actuelle au minimum solaire 2019). En moyenne sur toute la sphère terrestre, cela représente environ 340 W/m².

Toute cette énergie n'est pas absorbée : environ 30 % est immediately réfléchie vers l'espace (c'est l'albédo terrestre). Les 70 % restants chauffent l'atmosphère, les océans, les continents — et mettent en mouvement toute la machine externe : vent, pluie, vagues, photosynthèse, etc.

3.2 • L'énergie qui entre : les forces de marée

La Lune et, dans une moindre mesure, le Soleil exercent une attraction gravitationnelle sur la Terre. Cette attraction n'est pas uniforme : elle soulève les océans, l'atmosphère, et même la croûte solide. Résultat : les marées océaniques que vous connaissez (deux pleines mers et deux basses mers par jour environ, avec un marnage moyen de l'ordre du mètre, plus important sur les côtes), mais aussi des marées terrestres (le sol oscille de quelques dizaines de centimètres) et atmosphériques.

3.3 • La matière qui entre : les poussières cosmiques et météorites

Chaque jour, la Terre « aspire » des tonnes de matière extraterrestre. Au total, ce sont environ 5 200 tonnes de poussières cosmiques (micrométéorites de 30 à 200 µm) qui se déposent sur le sol chaque année, auxquelles s'ajoutent quelques milliers de tonnes de météorites de plus grande taille. C'est peu à l'échelle de la planète (qui pèse 6×10^{21} tonnes…), mais c'est suffisant pour enrichir les sols en éléments rares et pour donner aux géochimistes des échantillons venus de l'espace.

.3.4 • La matière qui sort : la fuite atmosphérique

L'atmosphère terrestre n'est pas éternelle. Les atomes les plus légers – l'hydrogène et, dans une bien moindre mesure, l'hélium – s'échappent en permanence vers l'espace, échauffés par le Soleil jusqu'à dépasser la vitesse de libération. On estime cette perte à environ 1 kg/s d'hydrogène (3×10^4 tonnes/an). C'est pour cela que la Terre, contrairement à Mars, n'a pas perdu son atmosphère : sa gravité est suffisante pour retenir l'azote et l'oxygène, qui sont plus lourds.

3.5 • L'énergie qui sort : la chaleur interne

À l'inverse de Mars, la Terre est une planète encore chaude à l'intérieur. Le flux de chaleur qui s'échappe du sol et des fonds océaniques a été réestimé en 2010 à 47 ± 2 térawatts (Davies & Davies, 2010). Cette énergie vient pour moitié de la radioactivité résiduelle (uranium, thorium, potassium 40) et pour moitié de la chaleur emmagasinée lors de l'accrétion initiale (4,54 milliards d'années plus tôt). C'est ce moteur qui entretient la tectonique des plaques, le volcanisme et le champ magnétique terrestre.

3.6 • L'énergie qui sort : le rayonnement infrarouge

La Terre, comme tout corps chauffé, émet un rayonnement. Étant donné sa température moyenne de surface (~15 °C), elle émet dans l'infrarouge, avec un flux moyen sortant d'environ 240 W/m² à la limite supérieure de l'atmosphère. À l'équilibre, ce flux sortant compense le flux solaire absorbé : c'est ce qu'on appelle le bilan radiatif de la Terre. Quand ce bilan est rompu (plus de CO_2 → plus de piège à infrarouge), la température change : c'est l'effet de serre, dont nous parlerons plus loin dans le module.

Tabn°1 Les six flux du géosystème Terre — vue d'ensemble

Flux	Sens	Ordre de grandeur	Effet principal
Rayonnement solaire	Entrant	1 361 W/m² (sommet atmosphère) ; ~240 W/m² absorbé en moyenne	Pilote la machine externe (météo, vie, cycle de l'eau)
Forces de marée (Lune + Soleil)	Bidirectionnel	Marnage moyen ~1 m ; Lune s'éloigne ~3,8 cm/an	Marées océaniques, terrestres, atmosphériques

Poussières cosmiques	Entrant (matière)	~5 200 t/an (micro) + ~10 000 t total	Apport d'éléments rares ; échantillons extraterrestres
Chaleur interne	Sortant	47 ± 2 TW (Davies & Davies, 2010)	Tectonique des plaques, volcans, champ magnétique
Rayonnement infrarouge	Sortant	~240 W/m² au sommet de l'atmosphère	Refroidissement ; équilibre radiatif ; effet de serre
Fuite atmosphérique (H, He)	Sortant (matière)	~3 × 10^4 t/an d'hydrogène	Perte lente ; explique pourquoi Mars a perdu son atmosphère

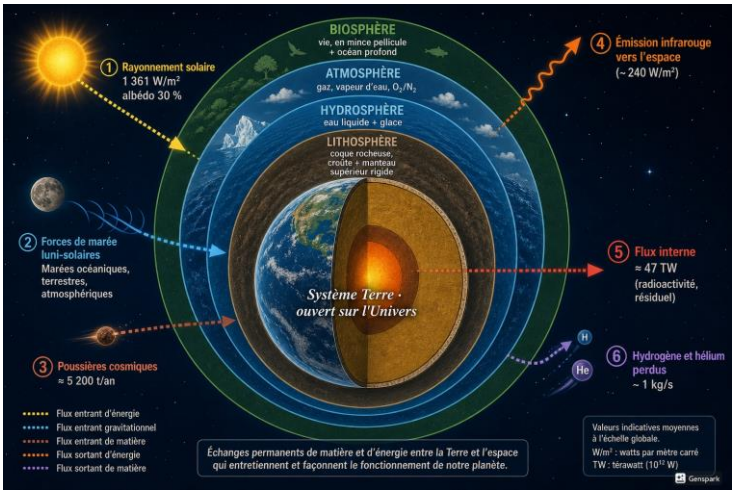


Figure 0.1 — Le géosystème Terre, système ouvert sur l'Univers : six flux de matière et d'énergie échangés avec l'espace, et quatre enveloppes internes en interaction.

4. À l'intérieur du système : les quatre enveloppes(sous-système)

Une fois ces flux identifiés, la question devient : que deviennent-ils une fois entrés ? La réponse tient en quatre mots : les enveloppes (ou « sphères ») de la Terre.

- **Lithosphère (ou « géosphère ») :** l'enveloppe rigide et rocheuse, de 100 à 150 km d'épaisseur en moyenne, qui porte les continents et les fonds océaniques.
- **Hydrosphère :** l'ensemble des eaux : océans (97 % du volume d'eau), glaciers, eaux continentales et souterraines.
- **Atmosphère :** l'enveloppe gazeuse (azote 78 %, oxygène 21 %, argon, vapeur d'eau, CO_2) qui conditionne le climat.
- **Biosphère :** l'ensemble des êtres vivants, depuis les microbes des grands fonds jusqu'à la haute atmosphère.

Ces enveloppes ne sont pas empilées comme des couches indépendantes : elles dialoguent en permanence. Trois grands cycles les relient — et nous les reverrons tout au long de l'année :

- **Le cycle de l'eau :** évaporation (mer → atmosphère) → précipitations (atmosphère → lithosphère) → infiltration et ruissellement → retour à la mer (hydrosphère).
- **Le cycle du carbone :** photosynthèse (atmosphère → biosphère), respiration et combustion (biosphère → atmosphère), sédimentation (biosphère → lithosphère) – c'est un régulateur majeur du climat.

- **Le cycle des roches :** volcanisme et métamorphisme (interne → externe), altération et érosion (externe → interne), sédimentation (externe → externe). Nous le verrons en détail dans le cours n°5.

5 Pourquoi cette entrée en matière est utile pour la géographie et l'aménagement ?

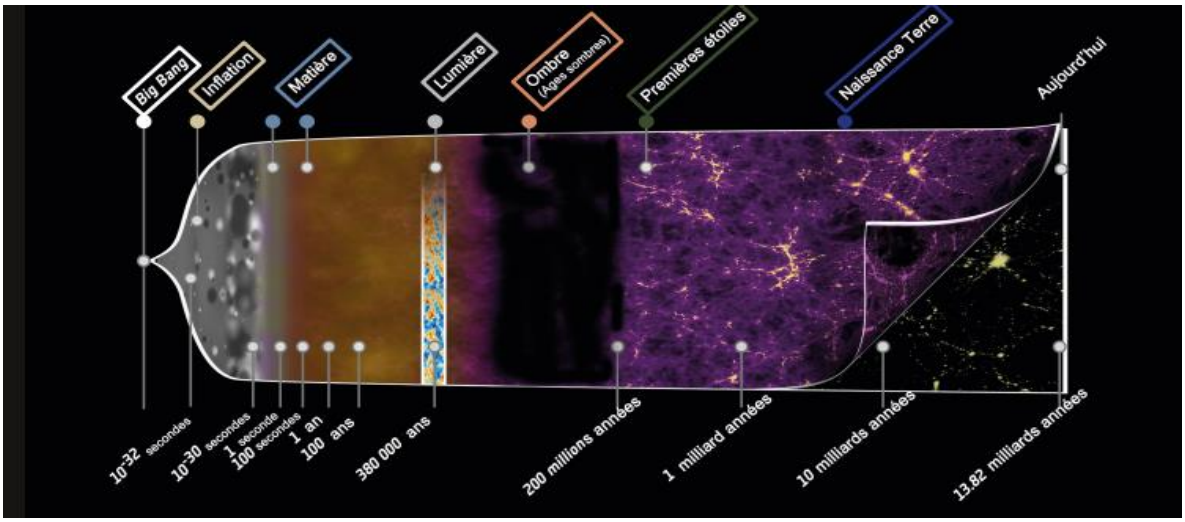
Étudier la Terre comme un système ouvert, ce n'est pas qu'une vue de l'esprit. C'est la seule façon de comprendre correctement trois questions majeures :

Question	Réponse basée sur le système Terre
D'où vient l'énergie qui chauffe la planète ?	Du Soleil (externe) et de la radioactivité + chaleur d'accrétion (interne) – deux moteurs qu'il faut distinguer dans tout débat climatique ou énergétique.
Pourquoi y a-t-il des risques naturels en Algérie ?	Parce que la dynamique interne (séismes d'El Asnam 1980, Boumerdès 2003) et la dynamique externe (érosion, crues, glissements de Constantine) sont les deux faces d'un même système ouvert. On ne gère bien un risque que si on en comprend la source.
Comment aménager le territoire de façon durable ?	En tenant compte des flux : énergie solaire (pour le photovoltaïque), chaleur interne (géothermie), eau souterraine (nappe du SASS, hydrogéologie), matériaux de construction (pétrographie), stabilité des sols (géotechnique).

6. L'Univers et l'origine du Système solaire

6.1 Le Big Bang : l'origine de l'Univers

L'origine de l'Univers a donné lieu à de nombreuses théories scientifiques ; la plus largement acceptée aujourd'hui est celle du Big Bang. Selon ce modèle, il y a environ 13,8 milliards d'années, l'Univers était concentré en un état excessivement dense et chaud qui a marqué le début de son expansion, toujours en cours. Dans les premiers instants sont apparus la matière et l'énergie, puis les premiers atomes (hydrogène, hélium), la libération de la lumière (le fond cosmique micro-ondes, observations Penzias & Wilson 1965) et, par la suite, la condensation de la matière en nuages de gaz, puis en galaxies, étoiles et planètes.



6.2 La naissance du Soleil et des planètes

Le Soleil et son cortège de planètes se sont formés il y a environ 4,567 milliards d'années (datation Pb-Pb sur l'inclusion résistante d'une météorite, Bouvier & Wadhwa, 2010) par effondrement gravitationnel d'une nébuleuse — un nuage de gaz et de poussières enrichi par les explosions de supernovae antérieures (nucléosynthèse stellaire). Au centre, la protoétoile s'est allumée ; dans le disque environnant, les poussières se sont agglomérées en grains, puis en planétésimaux, puis en planètes (processus d'accrétion).

6.3 Les huit planètes du Système solaire

Notre Système solaire n'est plus un cas isolé : la NASA Exoplanet Archive recense plus de 6 300 exoplanètes confirmées .Notre Système solaire se trouve dans une galaxie, la Voie lactée, elle-même l'une des centaines de milliards de galaxies de l'Univers observable.

Planète	Type	Diamètre (km)	Distance moyenne au Soleil (millions de km)	Particularité
Mercure	Tellurique	4 880	58	Pas d'atmosphère dense ; amplitudes thermiques extrêmes
Vénus	Tellurique	12 104	108	Effet de serre extrême (CO_2) ; la plus chaude
Terre	Tellurique	12 756	150 (1 UA)	Eau liquide, vie, tectonique active
Mars	Tellurique	6 792	228	Atmosphère ténue de CO_2 ; traces d'eau ancienne
Jupiter	Géante gazeuse	142 984	778	La plus massive ; Grande Tache rouge
Saturne	Géante gazeuse	120 536	1 427	Système d'anneaux spectaculaire

Uranus	Géante de glaces	51 118	2 871	Axe de rotation presque couché
Neptune	Géante de glaces	49 528	4 498	Vents les plus violents du Système solaire

7. La formation de la Terre

Il y a environ 4,54 milliards d'années, la Terre s'est formée par accrétion de particules issues de la nébuleuse solaire. La gravité a réuni ces particules en grains, puis en corps de plus en plus grands (galets, rochers, planétésimaux), jusqu'à constituer une planète. Les impacts répétés et la désintégration des éléments radioactifs ont maintenu la jeune Terre en fusion.

La jeune Terre s'est différenciée : les métaux (fer, nickel), plus denses, ont migré vers le centre pour former le noyau ; les silicates, plus légers, ont constitué le manteau puis une croûte en surface.

Couche (de l'intérieur vers l'extérieur)	Profondeur approximative	Nature	Rôle géologique majeur
Noyau (interne solide + externe liquide)	jusqu'à 2 890 km	Fer et nickel (Fe-Ni)	Source du champ magnétique terrestre
Manteau	2 890 km à ~10-70 km	Roches silicatées, solides mais déformables (convection)	Moteur de la tectonique des plaques
Croûte	0 à ~70 km (continentale) ; ~7 km (océanique)	Roches silicatées	Support des ressources et de l'activité humaine

8. Qu'est-ce que la géologie ?

8.1 Définitions et étymologie

- **Étymologie :** du grec gê (« la Terre ») et logos (« discours », « science »).
- **Définition :** la géologie est la science qui étudie la Terre et ses parties accessibles à l'observation pour en expliquer la disposition et y lire l'histoire de la planète et de la vie (d'après Cecca F., Foucault A., Platevoet B. & Raoult J.-F., *Dictionnaire de géologie*, 8e éd., Dunod, 2014).

8.2 Les objectifs de la géologie

- Connaître la structure et la composition de la Terre : minéraux, roches, structures, structure interne ;
- Reconstituer l'histoire de la Terre et de la vie : datation absolue et relative, fossiles, paléoenvironnements ;
- Comprendre et modéliser les processus : tectonique des plaques, magmatisme, érosion, sédimentation
- Localiser et gérer les ressources : eau, hydrocarbures, minerais, matériaux ;

- Évaluer les risques et accompagner l'aménagement du territoire : séismes, glissements, études géotechniques.

8.3 La méthode du géologue

La démarche suit quatre étapes : (1) observation (affleurements, cartes, échantillons) ; (2) analyse (pétrographie, géochimie, géophysique, paléontologie) ; (3) formulation d'une hypothèse ; (4) élaboration d'un modèle testé et révisé. Elle s'appuie sur le principe d'actualisme (Hutton, 1788 ; Lyell, 1830-1833) : « le présent est la clé du passé ».

9. La géologie et notre vie : exemples algériens

VI.1 Ressources et société

- **Énergie et minerais :** le pétrole de Hassi Messaoud et le gaz de Hassi R'Mel doivent leur découverte à la géologie et à la géophysique (sédimentologie des réservoirs, tectonique des plis sahariens).
- **Eau :** les nappes du Système aquifère du Sahara septentrional (SASS — Continental Intercalaire et Complexe Terminal) s'étendent sur ≈ 1 million de km² (Algérie, Tunisie, Libye) et constituent une ressource stratégique, suivie par l'ANRH.

VI.2 Les risques naturels en Algérie

- **Séismes :** El Asnam (10 octobre 1980, Ms 7,3, ~ 2 630 morts) ; Boumerdès-Zemmouri (21 mai 2003, Mw 6,8, > 2 270 morts). Ces séismes sont liés à la convergence Afrique/Eurasie le long de la marge nord-africaine. Le séisme de 2003 a conduit à la révision des règles parasismiques algériennes (RPA 99 / 2003).
- **Glissements de terrain :** à Constantine, les quartiers de Bélouizdad et de Boussouf sont traversés par des glissements de grande ampleur sur versants urbanisés ; voir Bougdal et al. (2013).

VI.3 Géologie et aménagement du territoire

Les grands équipements — ports, aéroports, routes, ponts, barrages — exigent une connaissance approfondie du sol, des roches et de la tectonique. Trois institutions algériennes incarnent cette géologie appliquée :

- **ASGA** (Agence du Service Géologique de l'Algérie, créée par la loi n° 14-05 du 24 février 2014) : cartes géologiques et infrastructure de données.
- **CRAAG** (Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique) : surveillance et étude de la sismicité.
- **ANRH** (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques) : inventaire et suivi des ressources en eau.

VII. Les disciplines de la géologie

Discipline	Objet d'étude	Exemple / application
Minéralogie	Minéraux : composition, structure, propriétés	Phosphates, fer de l'Ouenza

Pétrographie	Roches magmatiques, sédimentaires, métamorphiques	Matériaux de construction, sous-sol
Stratigraphie	Strates et chronologie relative	Datation des séries du Sahara
Paléontologie	Fossiles et histoire de la vie	Corrélations, paléoenvironnements
Tectonique / géologie structurale	Déformations : plis, failles, chevauchements	Sismicité de l'Atlas, failles du Nord
Géomorphologie	Formes du relief et processus	Atlas, Grand Erg, cuvettes
Hydrogéologie	Eaux souterraines	Nappes du SASS, forages
Sédimentologie	Processus et dépôts sédimentaires	Réservoirs pétroliers
Géochimie	Composition chimique des matériaux	Datations, prospection
Géophysique	Structure profonde (sismique, gravimétrie, magnétisme)	Exploration pétrolière, séismes
Géologie appliquée (géotechnique, géologie de l'ingénieur, gîtologie)	Sols et roches au service de l'ingénieur ; gisements	Fondations, barrages, mines, aménagement

Bibliographie

- Cecca F., Foucault A., Platevoet B. & Raoult J.-F. (2014). *Dictionnaire de géologie*, 8e éd., Dunod, Paris.
- Pomerol C., Lagabrielle Y., Renard M. et al. (2011). *Éléments de géologie*, 14e éd., Dunod, Paris.
- Boillot G., Huchon P., Lagabrielle Y. et al. (2013). *Introduction à la géologie : la dynamique de la lithosphère*, 5e éd., Dunod, Paris.
- Gohau G. (1990). *Les sciences de la Terre aux XVIIe et XVIIIe siècles : naissance de la géologie*, Albin Michel, Paris.
- Moret L. (1967). *Précis de géologie*, 5e éd., Masson, Paris.
- Grotzinger J. & Jordan T.H. (2014). *Understanding Earth*, 7e éd., W.H. Freeman, New York.
- Patterson C. (1956). « Age of meteorites and the earth », *Geochim. Cosmochim. Acta*, 10, 230-237.
- Bougdal R., Larrière A., Pincent B., Panet M. & Bentabet A. (2013). « Glissements de Bélouizdad, Constantine », *Bull. Eng. Geol. Env.*, 72, 189-202.
- Buffon (1778). *Les Époques de la nature*. Hutton J. (1788). *Theory of the Earth*. Lyell C. (1830-1833). *Principles of Geology*, 3 vol.
- NASA SORCE / TSIS-1 — constante solaire : https://earth.gsfc.nasa.gov/climate/projects/solar-irradiance/science