Olympiades de géosciences 2022

La Réunion Mayotte Métropole

Épreuve écrite du 7 avril 2022

Durée de l’épreuve : 4 h

Le sujet se compose de trois exercices notés sur dix points chacun. Il comporte de nombreux documents, mais leur exploitation et les réponses attendues sont courtes.

Ce sujet comporte 19 pages

La calculatrice n’est pas autorisée.

LES PREMIERS HUMAINS D'AMÉRIQUE

Gravure de Théodore De Bry XVIe Siècle, BNF

Le 12 octobre 1492, Christophe Colomb découvrait le Nouveau Monde en accostant sur l'île de San Salvador aux Caraïbes.
Avant lui, vers l'an 1000, d'autres Européens, des Vikings, avaient touché le continent américain à partir du Groënland, établissant une colonie nommée Vinland, à l'embouchure du Fleuve Saint-Laurent (Terre-Neuve).
Des populations humaines étaient déjà présentes en Amérique avant ces deux colonisations historiques. Des géologues, stratigraphes et paléontologues, ont pu établir que l'origine de notre espèce était africaine. Il y a donc eu, avant l'an 1000, une colonisation du continent américain par des humains. Des études récentes affirment que les humains ont peuplé l'Amérique du Nord beaucoup plus tôt qu'on ne le pensait. Ces deux études, publiées dans la revue scientifique *Nature*, restent controversées au sein de la communauté scientifique, puisqu'elles ne s'appuient sur aucun reste corporel humain, mais seulement sur la découverte d'empreintes et de fragments d'outils en pierre.

À partir des documents fournis dans cet exercice, présenter les éléments qui permettent de remettre en cause le scénario « Clovis first » qui était jusqu'alors communément partagé par la communauté scientifique.

Votre synthèse devra :

- argumenter l'appartenance des empreintes découvertes au genre *Homo* en excluant qu'elles aient été formées par d'autres Primates ;

- justifier la méthode de datation utilisée et donner un âge aux empreintes découvertes ;

- confronter l'âge estimé des empreintes aux données du scénario « Clovis first ».

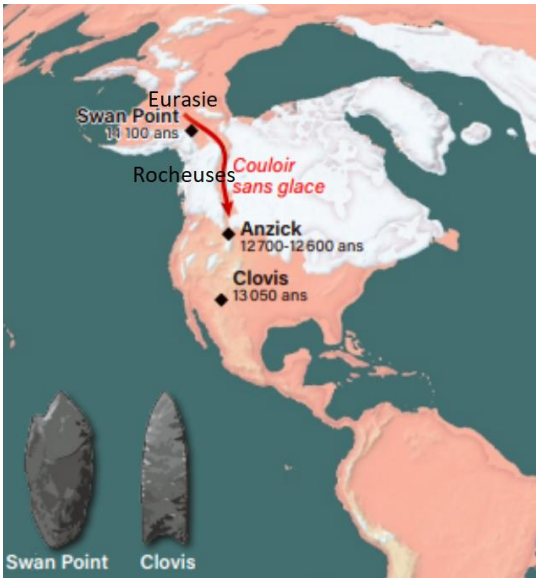
Document de référence : le scénario « Clovis first »

Le scénario « CLOVIS FIRST »

Un premier scénario a été envisagé pour dater le peuplement des Amériques à partir de migrations de populations venant d'Eurasie vers - 14 000 ans avant le présent : c'est la théorie « Clovis First ».

En effet, une glaciation très importante entre - 26 000 et -19 000 ans avant le présent empêchait tout passage humain entre l'Eurasie et le continent nord-américain.

Des gisements humains ont été découverts à Clovis et à Anzick. On pensait jusqu'à dernièrement qu'il s'agirait des plus anciens car, à cette époque, un passage s'était dégagé le long des Rocheuses rendant possible une migration humaine depuis l'Eurasie.



Modifié d'après POUR LA SCIENCE N° 525 / JUILLET 2021

Document 1 - Découverte d'empreintes fossiles de pas aux USA

Des archéologues ont récemment publié des résultats concernant la découverte d'empreintes de pas fossilisées en Amérique du Nord, au Nouveau-Mexique.

Document 1A - Localisation du site de la découverte : le parc national du désert de White sands au Nouveau-Mexique (USA)

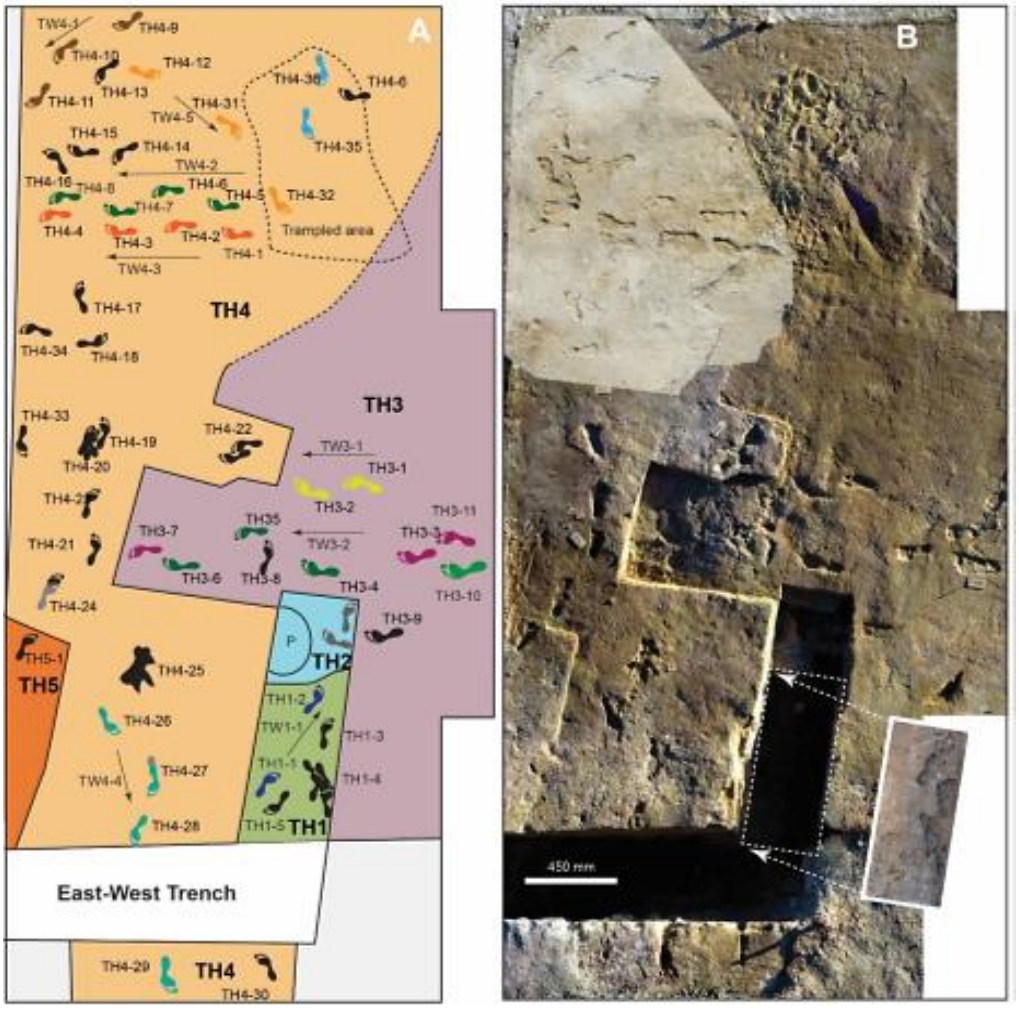
https://www.globe-trotting.com/post/le-desert-white-sands-du-nouveau-mexique

Document 1B – Le site de fouille de White Sands

À gauche (A), plan du site où ont été retrouvées les empreintes fossiles.

Celles-ci sont mentionnées selon différentes séries, de TH1 à TH5.

À droite (B), une composition de photographies de différentes parties du site de fouilles.

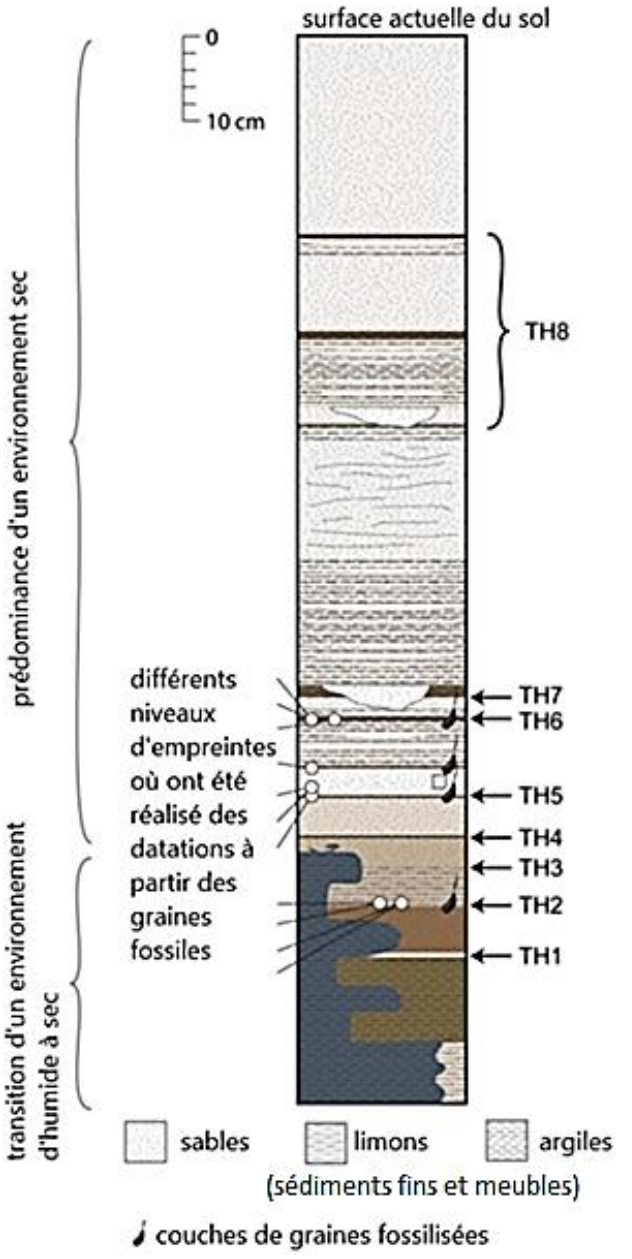


Document 1C – Photographie, vue en détail, de la série d'empreintes TH4

Science 373, 1528 (2021)

© Bennett et al, 2021

Document 1D – Colonne stratigraphique synthétique du site, montrant les positions relatives des empreintes fossiles, ainsi que leur contexte sédimentaire et climatique

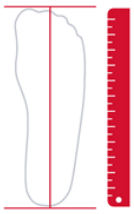


Science 373, 1528 (2021)

Document 2 - Ces empreintes de pas fossiles sont-elles humaines ?

Document 2A – Mesurer la dimension du pied ou d'une empreinte permet de déterminer la pointure de l'individu

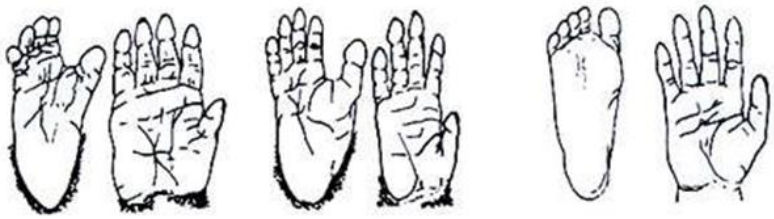
Statistiquement, la pointure moyenne de la population peut être corrélée avec la taille des individus qui la composent.

Comment mesurer la longueur du pied ou d'une empreinte humaine ? 	• Comment déterminer la pointure à partir de la mesure du pied ? **Pointure = (Longueur du pied (en cm) + 1 cm) / 0,667** • La pointure actuelle, la plus fréquente chez les femmes adultes est le 38 et celle des hommes adultes le 42. • La taille moyenne actuelle des femmes adultes est aux alentours de 1,65 m et celle des hommes adultes de 1,75 m

https://fr.wikipedia.org

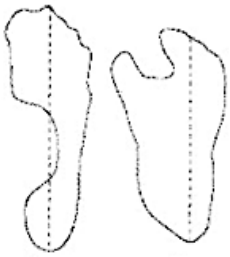
Document 2B – Comparaison des pieds et des mains chez des Primates actuels ou fossiles.

- Pieds et mains du Gorille (à gauche), du Chimpanzé (au milieu) et de l'être humain (à droite).



Futura sciences © DR

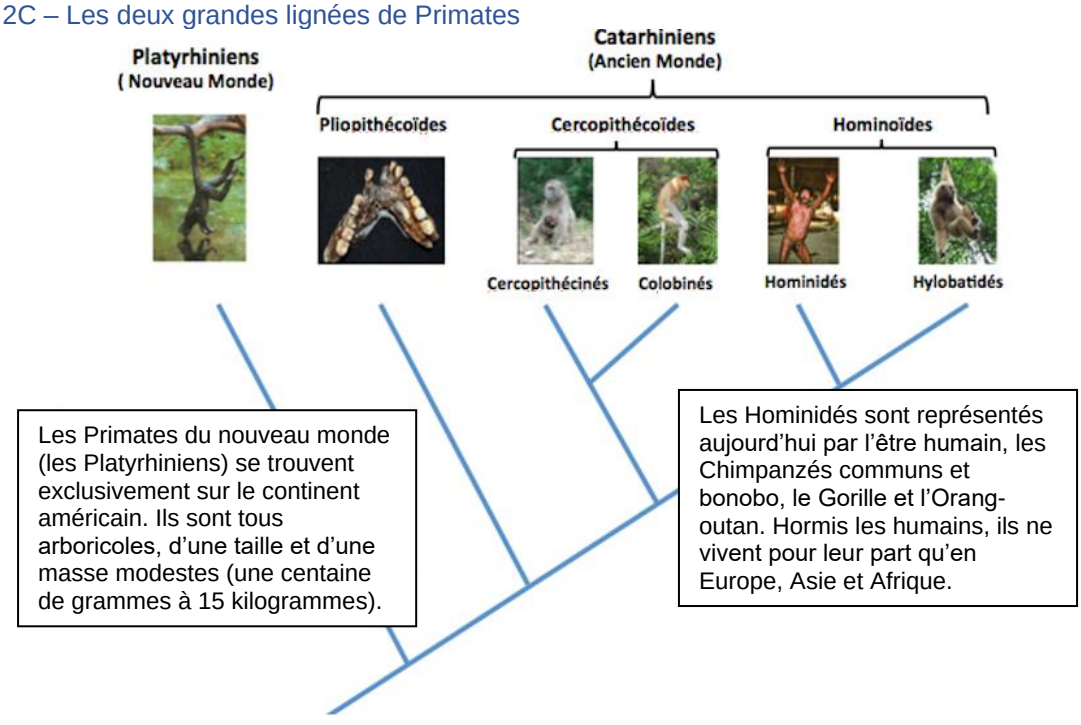
- Contours des empreintes du pied droit de l'être humain (*Homo*) et du Chimpanzé (*Pan*)



Homo *Pan*

https://www.hominides.com

Document 2C – Les deux grandes lignées de Primates



(https://www.sfecologie.org)

Document 3 – La datation des empreintes

Document 3A – Une datation indirecte des empreintes

La datation des empreintes de White Sands a été réalisée de manière indirecte, en datant des graines fossiles d'une plante aquatique *Ruppia cirrhosa* retrouvées dans les sédiments où ont été laissées les empreintes.

Cette plante se rencontre dans les eaux calmes et saumâtres d'anciens marais salants, de lagunes de petite taille ou dans les anses abritées de lagunes plus grandes.

https://doris.ffessm.fr/Especes/Ruppia-spiralis-Ruppie-spiralee-5183

Document 3B – Une méthode de datation : la datation au carbone 14

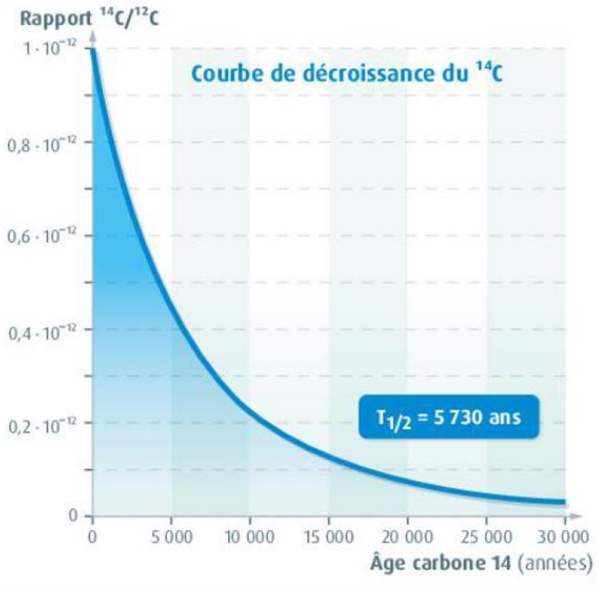
Actuellement, la méthode de datation d'un échantillon animal ou végétal repose sur la mesure du rapport $^{14}C/^{12}C$ dans l'échantillon étudié (datation au carbone 14). Ce rapport est considéré comme uniforme dans l'atmosphère, la surface des océans et la biosphère en raison des échanges permanents entre les organismes vivants et leur milieu. Après la mort d'un organisme vivant, le carbone 14 cesse d'être absorbé. De ce fait, sa proportion diminue car les noyaux de ^{14}C se désintègrent en ^{14}N. Connaissant la demi-vie* du ^{14}C, on peut placer le rapport $^{14}C/^{12}C$ de l'échantillon sur la courbe de décroissance et on en déduit « l'âge carbone 14 » de l'échantillon.

Document 3C – Rapport $^{14}C/^{12}C$ mesuré dans des graines de *Ruppia cirrhosa* selon leur position dans la colonne stratigraphique

Niveau stratigraphique	Rapport $^{14}C/^{12}C$ des graines
TH2	$0{,}08.10^{-12}$
TH6	$0{,}1.10^{-12}$

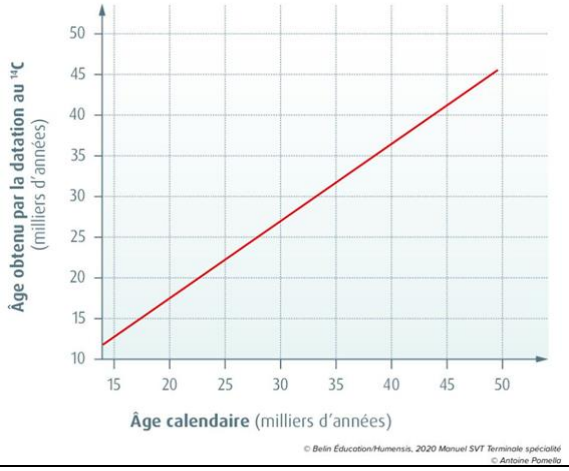
**Temps au bout duquel la moitié des noyaux de cet isotope se sont désintégrés, il est noté $T_{1/2}$*

Document 3D – Courbe de décroissance radioactive du carbone 14



Document 3E – Courbe de calibration du carbone

Cependant, le rapport $^{14}C/^{12}C$ dans l'atmosphère varie au cours du temps, en fonction de nombreux paramètres (intensité du champ magnétique terrestre, activité solaire, etc.). Il est donc nécessaire, pour connaître l'âge réel (ou âge calendaire) d'un échantillon, d'utiliser une courbe de calibration. Celle-ci est établie en croisant les résultats obtenus par la méthode du carbone 14 et par une autre méthode de datation.



BELIN, Enseignement scientifique, Première

DES TÉMOINS DE L'ÉROSION DU LITTORAL

Le littoral français présente des enjeux très spécifiques, tant du point de vue de la démographie, de l'urbanisation, des activités socio-économiques, que du point de vue environnemental. Dans les conditions actuelles, on estime que la population des départements littoraux devrait croître plus que celle des départements non littoraux entre 2020 et 2040, avec des hausses respectives de 19 et 13 %, tout particulièrement dans les communes de bord de mer dont l'urbanisation se densifie.

Cependant, l'inquiétude face à l'évolution de notre littoral n'a fait qu'augmenter ces dernières années et a été de nombreuses fois évoquée dans l'actualité : des « plages qui reculent », la « mer qui monte », les « tempêtes qui sont de plus en plus fréquentes » ...
Le cas de la résidence « Le Signal » à Soulac-sur-Mer (Gironde), a participé à une prise de conscience du phénomène. Il est devenu emblématique des ravages causés par le réchauffement climatique.
En 1967, année de sa construction, le bâtiment se trouvait à 200 mètres de la côte Atlantique. En 2014, ses habitants ont dû quitter les appartements qu'ils occupaient, pour ce qui est aujourd'hui considéré comme la première expropriation climatique française. Les habitants seront indemnisés.

Actuellement, l'immeuble se situe à moins de 20 m de la falaise et doit être prochainement détruit.
Sources : https://www.lemoniteur.fr/article/le-trait-de-cote-en-retrait.645804 - Photo : le site reporterre

En tant que géologue, vous êtes mobilisé par une collectivité de la côte Atlantique, proche de Soulac-sur-Mer, qui doit décider des meilleurs emplacements pour assurer le développement de son urbanisme en lien avec la pression touristique. Afin de leur apporter votre expertise vous devez :

- **Expliquer en quoi la zone de Soulac-sur-Mer est particulièrement impactée par la mobilité du trait de côte en comparaison d'autres zones côtières du territoire français (doc. 1 à 4) ;**
- **Montrer que le changement climatique contribue à l'évolution accélérée du trait de côte dans la région de Soulac-sur-Mer (doc. 5 à 8) ;**
- **Conclure sur le risque de continuer à construire à une telle proximité du littoral dans cette région.**

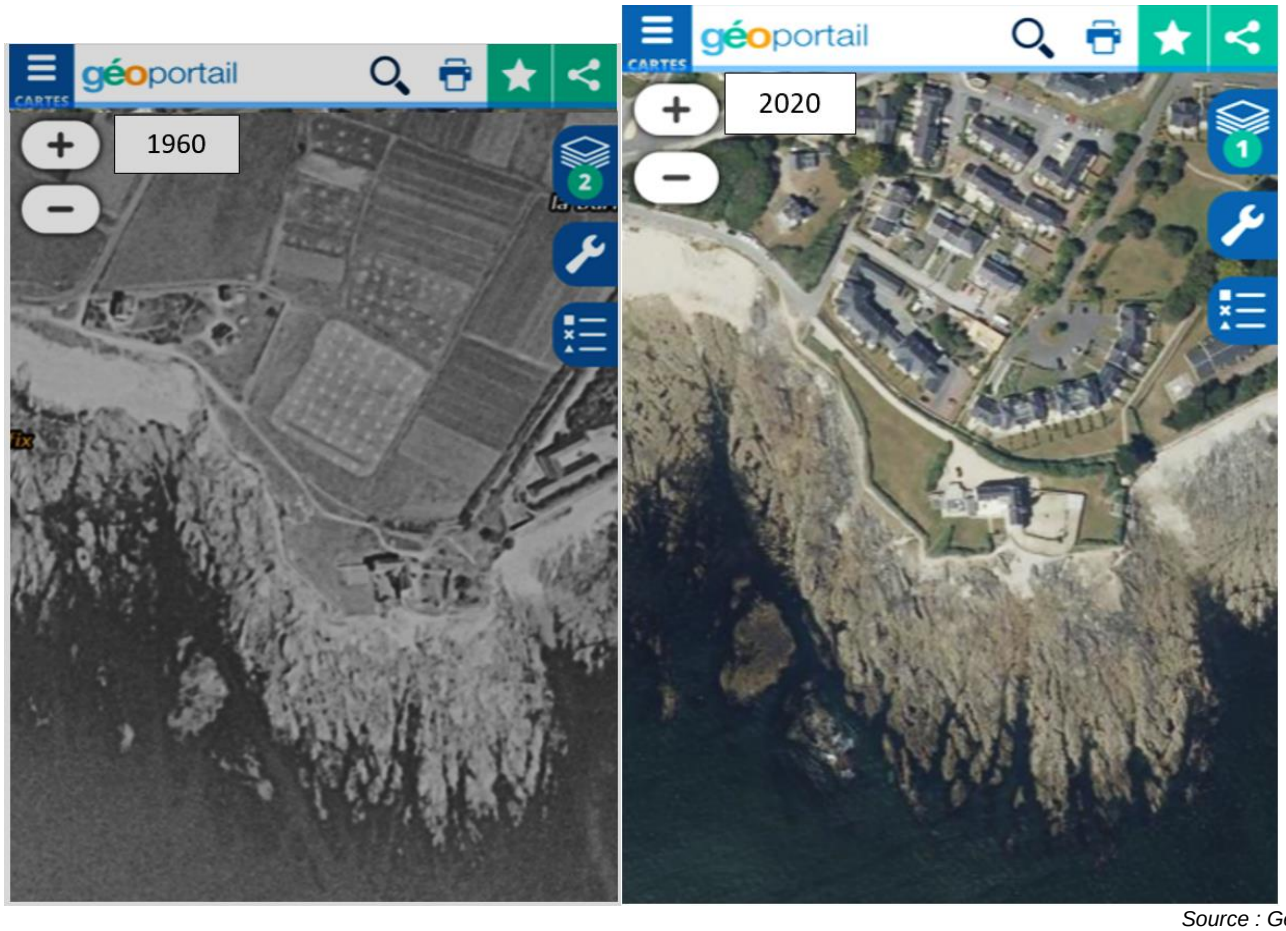
Document 1 – Évolution du trait de côte de deux zones françaises

Le trait de côte marque la limite jusqu'à laquelle peuvent parvenir les eaux marines. Il est loin d'être un trait fixe mais est une réalité dynamique. Le « recul du trait de côte » correspond à « un déplacement, vers l'intérieur des terres, de la limite du domaine maritime ».

Document 1A - Évolution du trait de côte, représenté par la dune de sable en 1970 et en 2014, au niveau de la résidence « Le Signal », Soulac-sur-Mer (Gironde)

Source : IGN géoportail-édugée

Document 1B - Photographies aériennes en 1960 et en 2020 de la côte au niveau du Croisic (Loire-Atlantique) vues à la même échelle

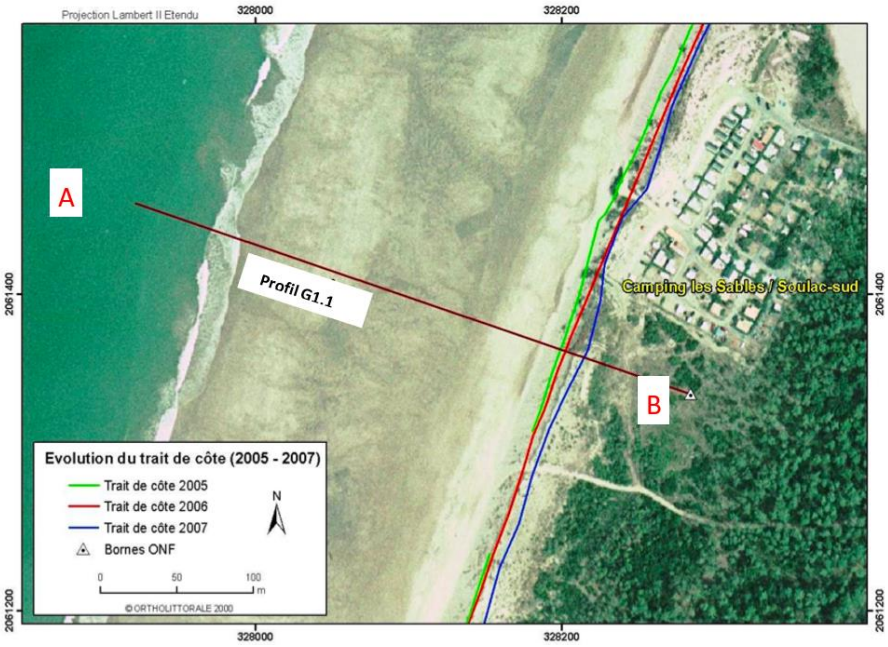


Source : Géoportail

Document 2 – Évolution du trait de côte au niveau de la commune de Soulac-sur-Mer

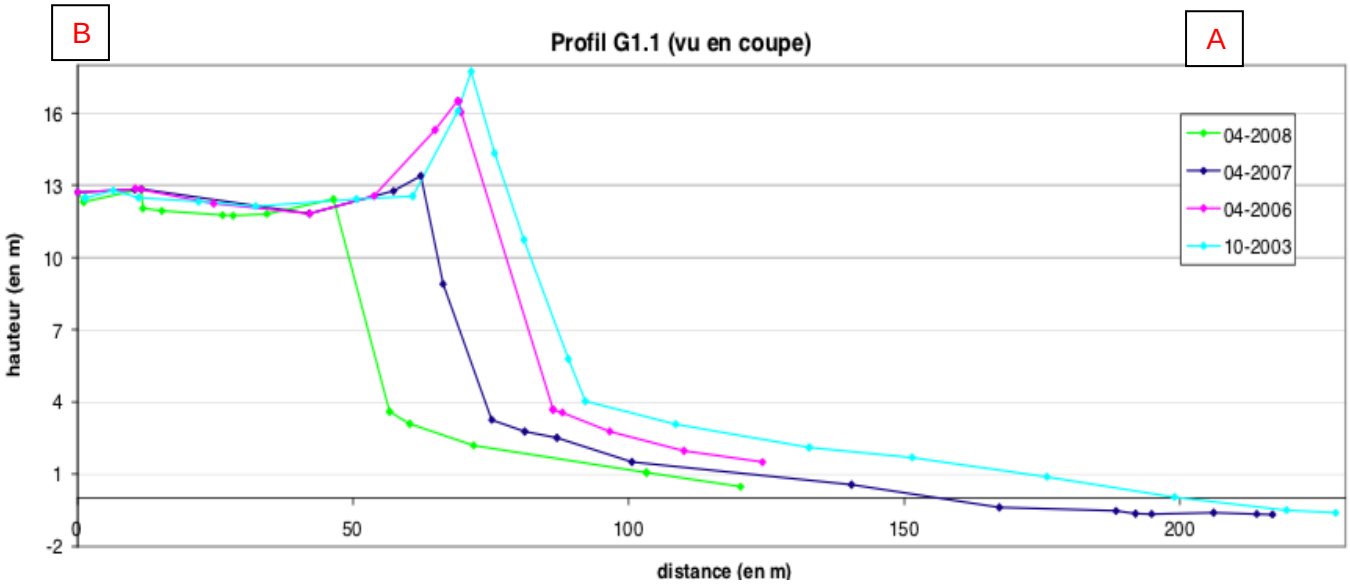
Document 2A – Position des traits de côte en 2005, 2006 et 2007 au niveau de Soulac-sur-Mer

Opérateur relevant la position du trait de côte (avril 2008)



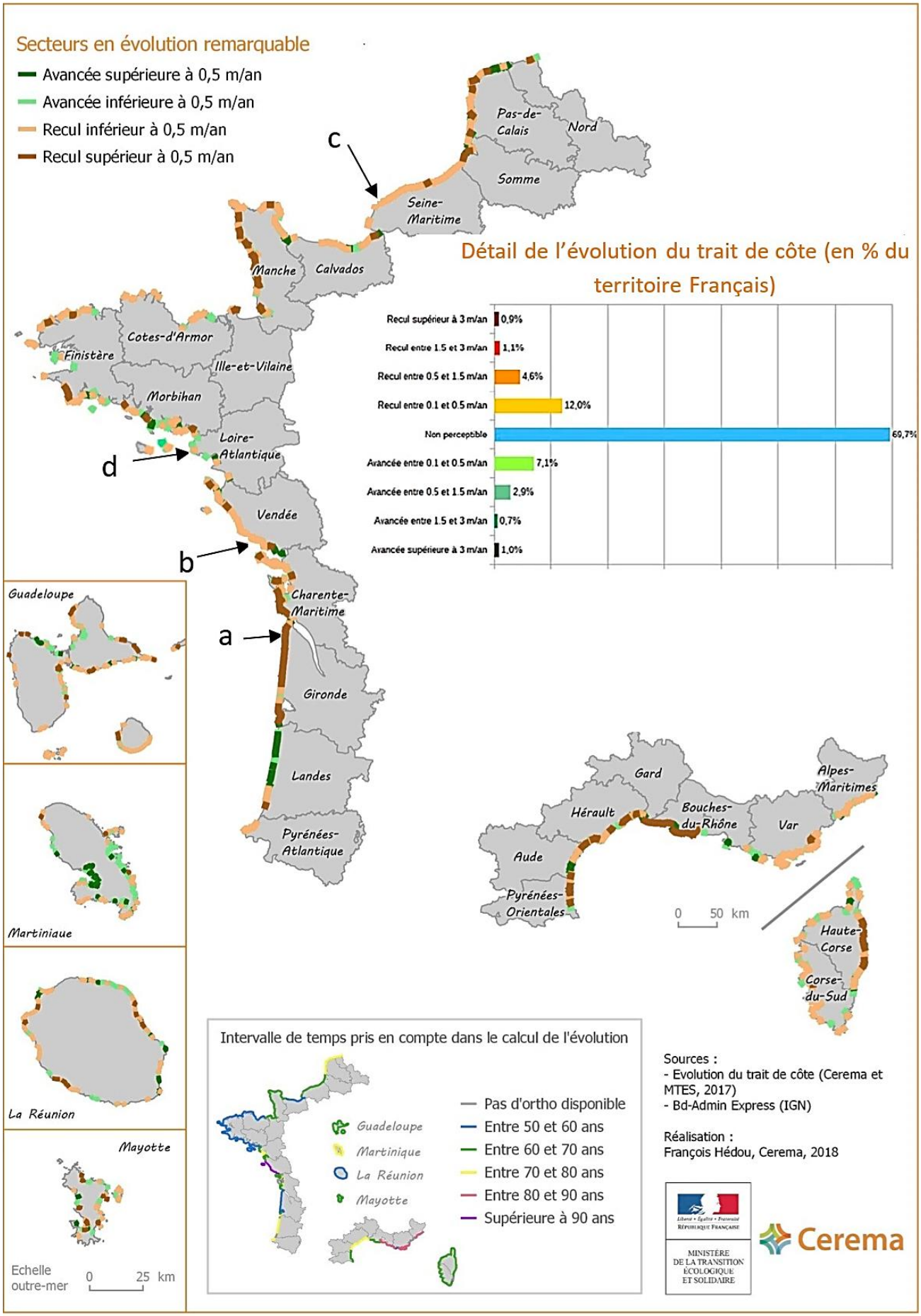
D'après le rapport intermédiaire « Étude de l'évolution géomorphologique récente de la côte sableuse aquitaine », BRGM, déc. 2008

Document 2B – Évolution du profil plage-dune entre 2003 et 2008 au niveau de Soulac-sur-Mer



Document 3 – Mobilité du trait de côte et diversité géologique du littoral en France métropolitaine et au niveau des DROM (Départements et Régions d'Outre-Mer)

Le littoral français offre une grande diversité de types de côtes, 3375 km de côtes rocheuses, 2849 km de côtes sableuses, 1580 km de marais, vasières, mangroves, etc.
Chaque littoral ne présente pas la même dynamique du point de vue de son trait de côte.



D'après le site geolittoral.developpement-durable.gouv

Les lettres a, b, c et d identifiées sur la carte, correspondent à 4 types caractéristiques de côtes présentées ci-après.

a. Plage de sable, Soulac-sur-mer (Gironde) *ChristianCoulais.fr*

b. Vasière, L'aiguillon (Vendée) *http://www.ecosociosystemes.fr/schorre.html*

c. Falaise de calcaire, Étretat (Normandie) *https://www.istockphot.com/fr/photos/%C3%A9tretat*

d. Côte rocheuse (granite, gneiss), Le Croisic (Loire Atlantique) *https://tourisme-loireatlantique.com*

Document 4 – L'érosion différentielle du littoral

Le gel, l'eau, le vent, les marées, sont des agents externes qui agissent sur les roches du littoral en provoquant un départ de matière et une « mise en creux » : c'est l'érosion. L'ensemble de ces agents d'érosion concourent à l'élaboration du « modelé » du relief.

D'après le Larousse

Recul moyen des types de côtes selon les caractéristiques de roches les constituant

Types de côtes	Roches majoritaires			Recul moyen annuel du trait de côte
	Nom	Cohérence*	Résistance	
Falaises et côtes rocheuses	granite, gneiss, grès	Cohérente	Très résistante	< 1 mm/an
	calcaire, schiste	Cohérente	Résistante	1 à 10 mm/an
	craie	Friable	Moyennement résistante	0,1 à 1 m/an
Côtes d'accumulation vaseuses	marne, argile	Friable à meuble	Peu résistante	1 à 10 m/an
Côtes d'accumulation sableuses	sable, gravier	Meuble	Très peu résistante	10 m/an

D'après Tsuguo Sunamura, Geomorphology of Rocky Coasts, Chichester, 1992, p. 302

*Une roche **cohérente** est une roche dont il est difficile de séparer les éléments qui la constituent, en utilisant la force humaine. Cette propriété de cohésion la distingue de la roche **friable** qui se désagrège sous la pression en petites particules et de la roche **meuble** dont les éléments se séparent naturellement. *D'après Wikipedia*

Document 5 – Le poids des activités humaines sur l'érosion littorale

Plages réduites à Lacanau, en Gironde, ou aux Sables d'Olonne, en Vendée, côte grignotée jusqu'au pied des habitations à Soulac-sur-Mer, en Gironde : les tempêtes hivernales de 2014 ont braqué les projecteurs sur les effets de l'érosion marine. Le phénomène naturel est récurrent et millénaire : au fil des siècles, le trait de côte a toujours connu des « fluctuations ». Mais l'urbanisation du littoral depuis 150 ans a changé la donne : « autrefois, les hommes ne s'installaient pas sur les côtes sableuses, ils savaient que c'était mobile », souligne Patrick Bazin, responsable du département Gestion patrimoniale au Conservatoire du littoral.

« Dès le début du tourisme balnéaire, il fallait être au plus près de la mer, c'était le principe même de la promenade balnéaire où il fallait être vu », indique Yvonne Battiau-Queney, professeur émérite à l'Université de Lille et présidente de l'association de protection des littoraux EUCC-France, basée à Biarritz, dans les Pyrénées-Atlantiques. Dans cette logique, « presque toutes les stations, d'Hendaye, dans les Pyrénées-Atlantiques à Bray-Dunes, dans le Nord, ont été créées sur les dunes littorales ». Résultat : « Les échanges naturels entre la plage et sa réserve de sable qui l'alimentait en cas de tempête ont été rompus », explique-t-elle. Et les systèmes de digues ou d'enrochement, destinés à contrer l'érosion, au lieu d'améliorer la situation, entravent encore plus ces échanges.

Source : https://www.europe1.fr/societe/erosion-littorale-lactivite-humaine-en-cause-2504415

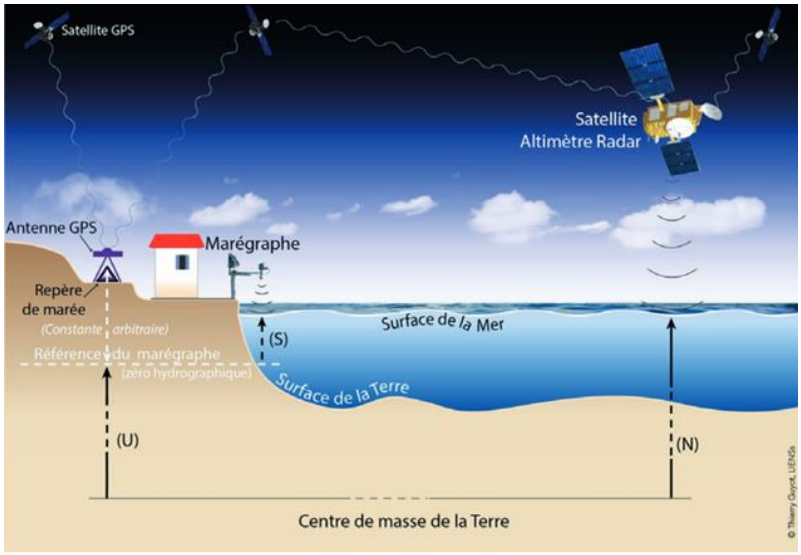
Document 6 – Évolution du niveau de la mer, un impact du changement climatique

Document 6A – Techniques de mesures du niveau de la mer

Une mesure précise du niveau marin est permise depuis l'ère post-industrielle grâce aux marégraphes, appareils permettant de mesurer le niveau instantané de la mer au cours du temps en un lieu particulier et d'enregistrer les données.

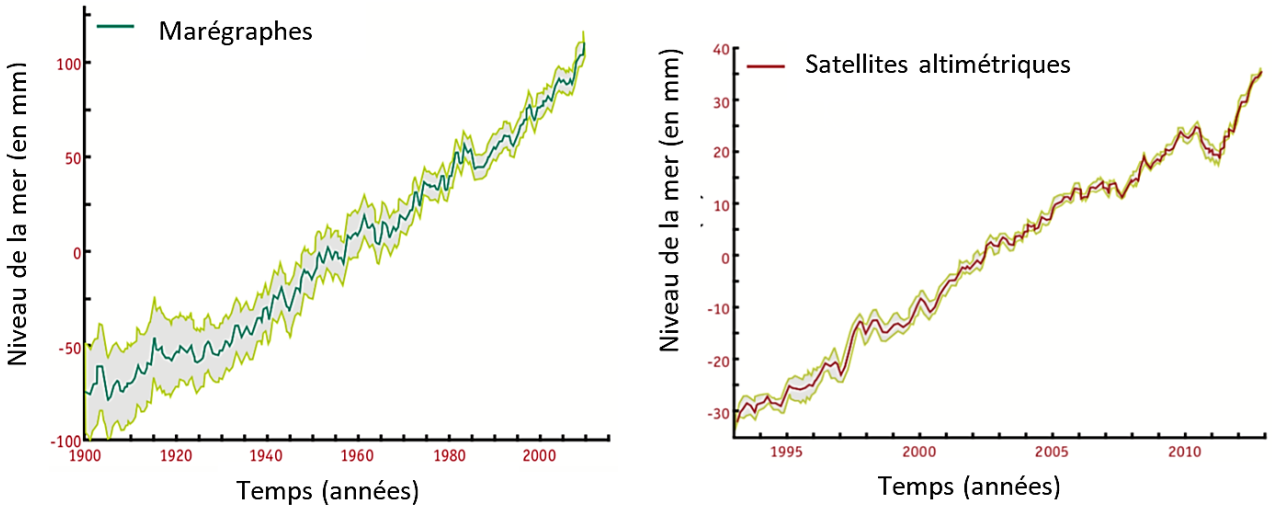
Les données des marégraphes sont complétées depuis le début des années 1990, par les observations des satellites altimétriques. Ces données permettent d'obtenir une cartographie quasi-mondiale de la hauteur de la surface des océans avec une très grande précision (environ 1 à 2 cm de nos jours) et, par la même occasion, d'estimer la distribution régionale de la vitesse d'élévation du niveau de la mer.

Source : https://www.researchgate.net/figure/Maregraphe-et-echelle-de-maree-a-lobservatoire-de-maree-du-Conquet-Les-maregraphes



Source Thierry Guyot, LIENSs

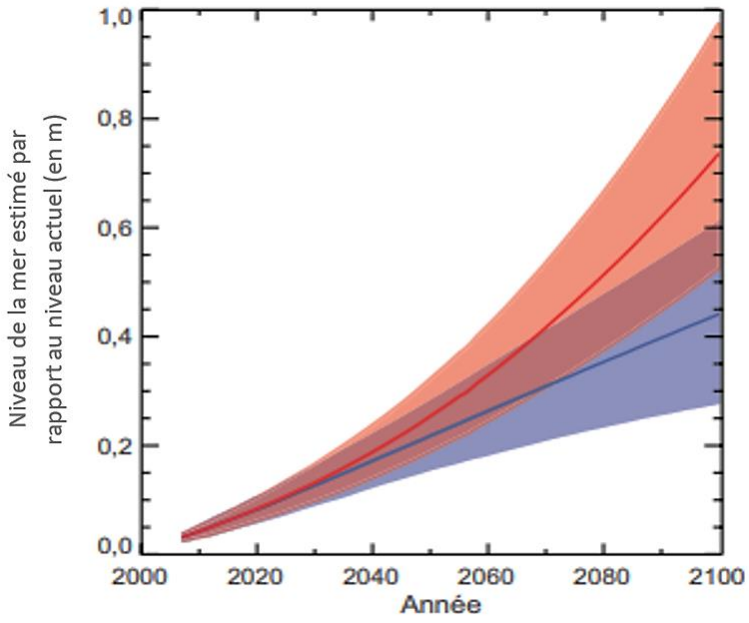
Document 6b – Évolution du niveau moyen global de la mer



La zone grisée entre les 2 courbes vertes représente l'incertitude associée à chacune des courbes.

Source Rapport "Conséquences du changement climatique sur les risques côtiers en Nouvelle-Aquitaine : état des connaissances" BRGM , septembre 2016

Document 7 – Estimation de la variation du niveau moyen global de la mer d'après le 5e rapport du GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat)



Sur le graphique, la courbe rouge correspond à la valeur moyenne du niveau de la mer selon le scénario le plus pessimiste. La courbe bleue correspond à la valeur moyenne du niveau de la mer selon le scénario le plus optimiste.

Les zones de couleur autour de ces courbes correspondent à l'intervalle d'un changement « probable » (67 % de chance) selon le scénario le plus optimiste (en bleu) et selon le scénario le plus pessimiste (en rouge).

Source : IPCC (2013), Figure SPM.9.

Document 8 - Risques de submersion au niveau de l'estuaire de la Gironde en 2050

En 2019, l'organisation scientifique Climate Central a établi le modèle CoastalDEM. D'après ce modèle, la France ne sera pas épargnée par les effets du changement climatique sur le niveau des mers : 1 million d'habitants pourront être inondés chaque année à partir de 2050, essentiellement en Loire-Atlantique, Vendée, Charente-Maritime, Gironde, Seine-Maritime et dans le Pas de Calais.

Zones occupées par la mer actuellement.

Prévision des zones qui seront susceptibles d'être submergées temporairement entre 2050 et 2100.

Extrait de la carte interactive, Climate Central

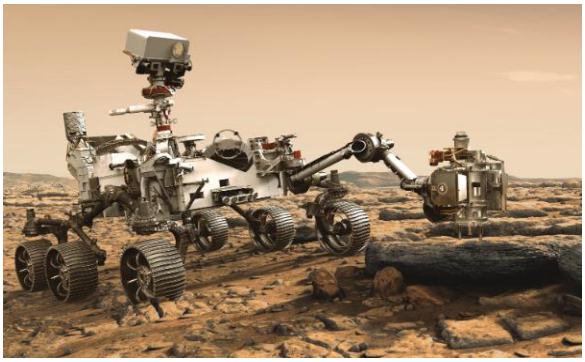
L'ARRIVÉE DE PERSÉVÉRANCE SUR MARS

Le 17 juillet 2019, la NASA a procédé au lancement de la mission « MARS 2020 ». La fusée Atlas V-541 a été lancée de Cape Canaveral, en Floride. L'amarsissage a eu lieu le 18 février 2021 sur le cratère Jezero. Cette mission a permis de poser sur le sol de la planète Mars un rover nommé *Persévérance* dont les 2 objectifs principaux sont de rechercher des traces de vie ancienne et de recueillir des échantillons de roches pour un éventuel retour sur Terre.

Le site de lancement de la fusée Atlas V-541

D'après le site de la NASA

Image d'artiste du rover Persévérance sur la surface Martienne



D'après le site de la NASA

La phase finale d'approche, surnommée les « 7 minutes de terreur », se réalise en plusieurs étapes :

1. Avant l'entrée dans l'atmosphère la sonde qui contient le rover se rapproche de la planète à une vitesse de 20 000 $km.h^{-1}$
2. 7 minutes avant l'amarsissage la sonde pénètre l'atmosphère. Les frottements avec l'atmosphère permettent la première phase de ralentissement de 20 000 $km.h^{-1}$ à 1480 $km.h^{-1}$
3. 3 minutes avant l'amarsissage à une altitude de 9 à 13 km les parachutes s'ouvrent. La vitesse est alors de 1480 $km.h^{-1}$ et va être ramenée à 395 $km.h^{-1}$. À ce stade les parachutes ne suffisent pas à freiner la sonde.
4. 1 minute avant l'amarsissage, à une altitude de 2,1 km la sonde éjecte un module autonome le « Sky crane ».
5. En 1 minute, avec ses moteurs autonomes le module « Sky crane » freine la chute. La vitesse est réduite enfin à 0 $km.h^{-1}$. Il va déposer délicatement le rover au bout de 4 câbles.
6. Enfin le « Sky crane » coupe ses câbles et s'éloigne du site d'amarsissage.

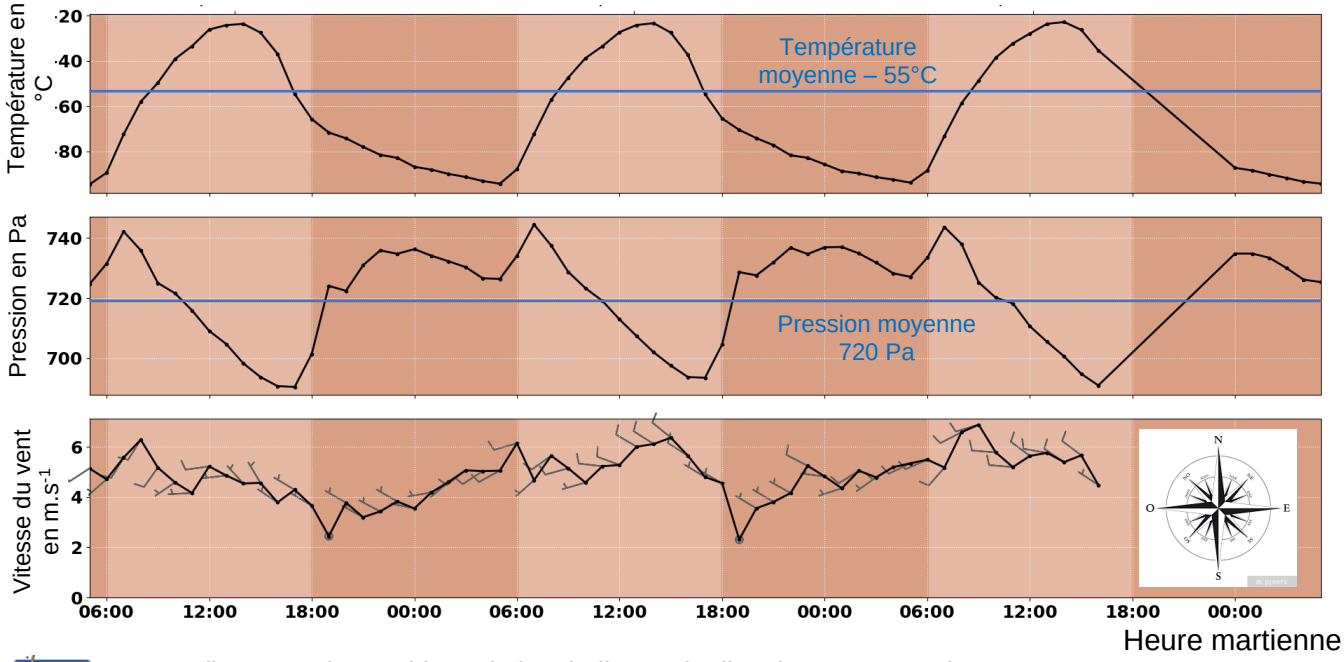
   La réussite de la mission est rendue possible car sur Mars les conditions météorologiques sont prévisibles plusieurs mois en amont ce qui est impossible sur Terre.

À partir de l'ensemble des documents :

- **expliquer pourquoi les parachutes, bien que de 21 mètres de diamètre, ne suffisent pas à freiner la sonde alors qu'ils le permettraient sur Terre ;**
- **expliquer ce qui permet des prévisions météorologiques fiables sur Mars plusieurs mois en amont de la mission alors que c'est impossible sur Terre ;**
- **montrer que les variations météorologiques possibles sur Mars ne représentent pas un risque important d'échec de la mission alors que sur Terre elles le sont (report du retour de Thomas Pesquet par exemple)**

Document 1 - Les caractéristiques physiques de l'atmosphère martienne. (Mesures effectuées à *Elysium Planitia sur mars*)

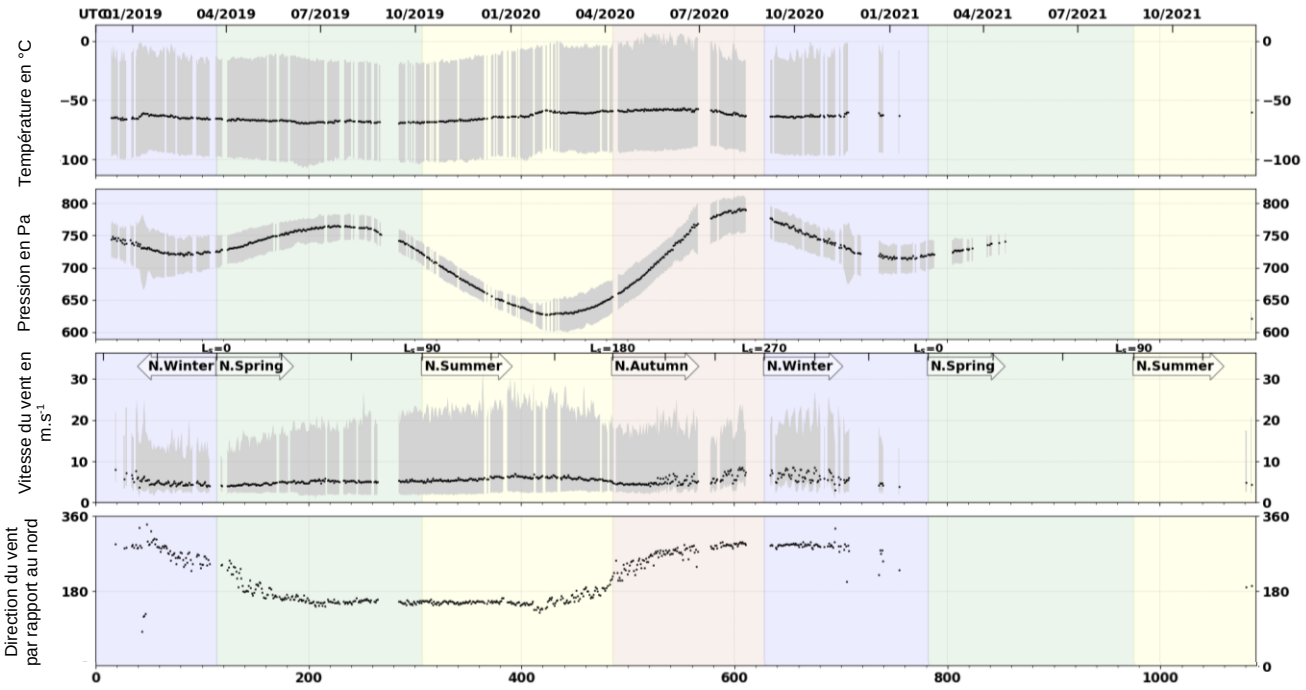
Document 1A – Données pendant 3 journées martiennes



Les lignes sur le graphique du bas indiquent la direction moyenne du vent.
Sur cet exemple, l'orientation du vent est de l'Est vers l'Ouest.

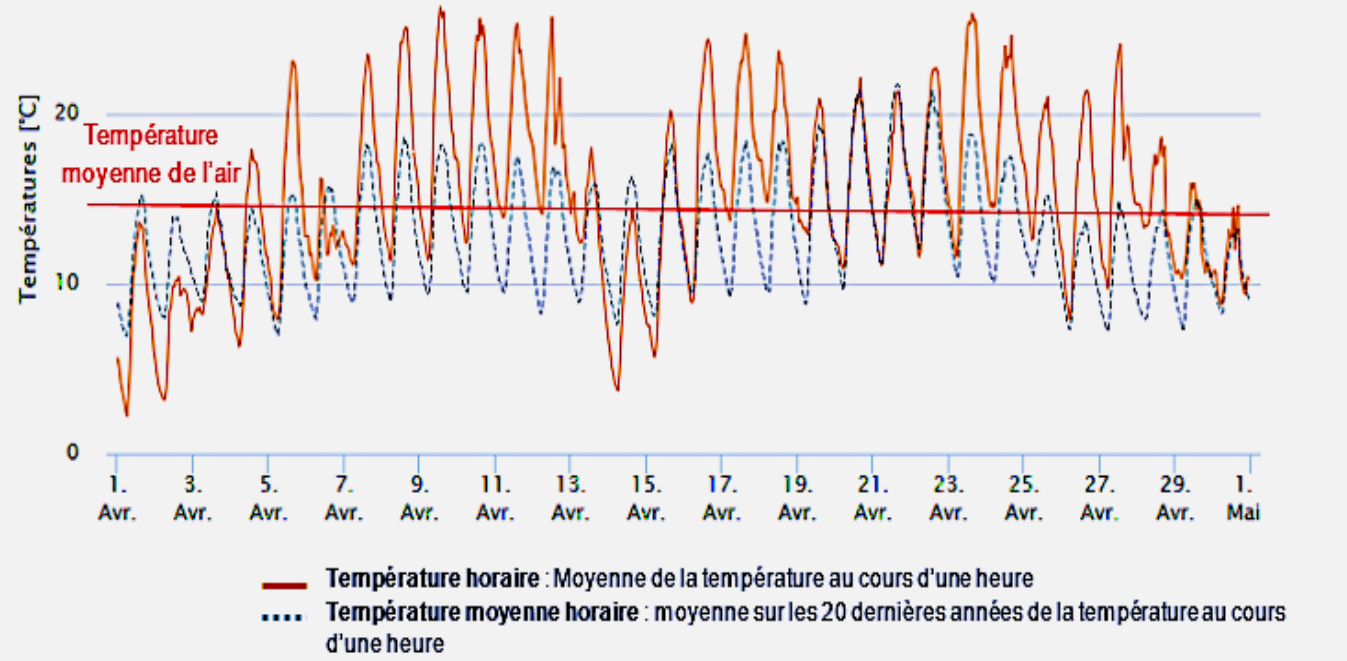
Sur cet exemple, l'orientation du vent est du Sud vers le Nord.

Document 1B – Données de janvier 2019 à octobre 2021 (en temps terrestre sur l'axe supérieur des abscisses, en journées martiennes sur l'axe inférieur des abscisses)

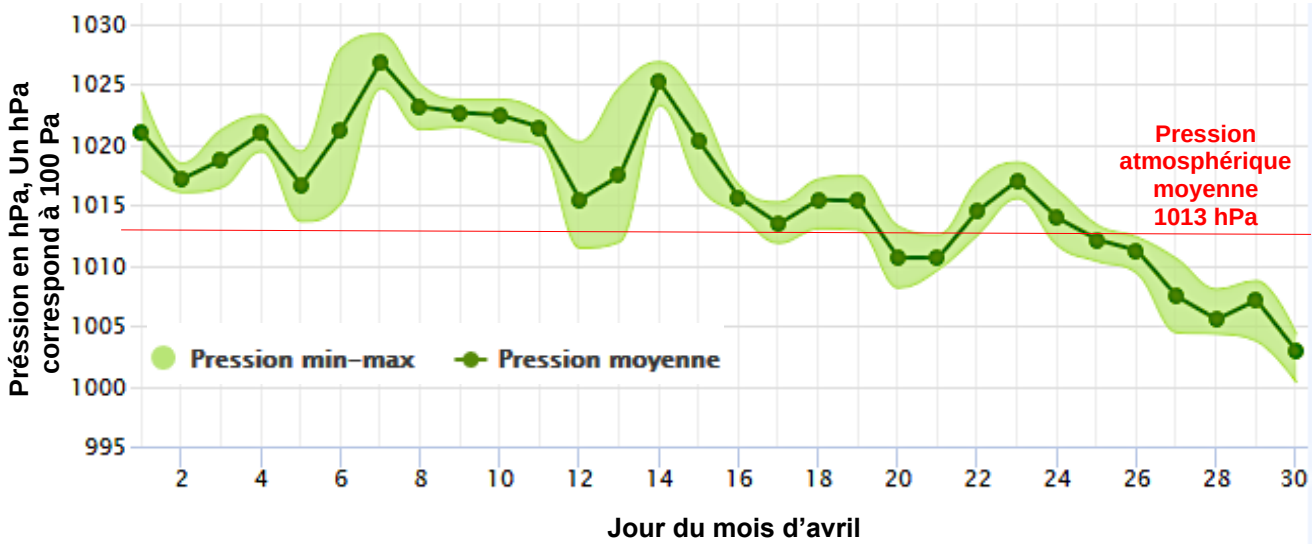


Document 2 – Les caractéristiques physiques de l'atmosphère terrestre (mesures effectuées à Paris)

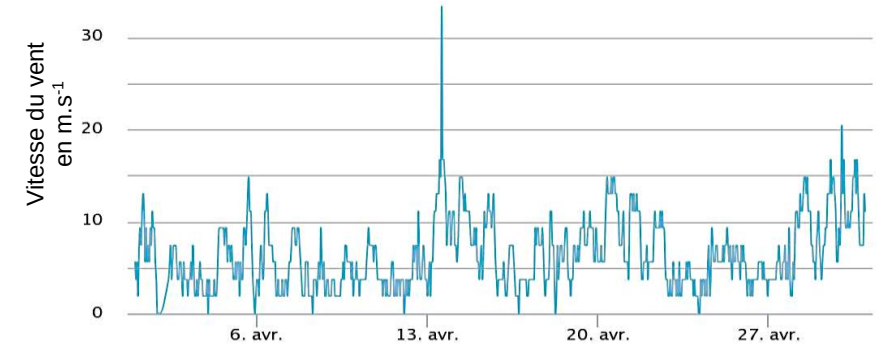
Document 2A – Les variations de température de l'air au cours du mois d'avril à Paris



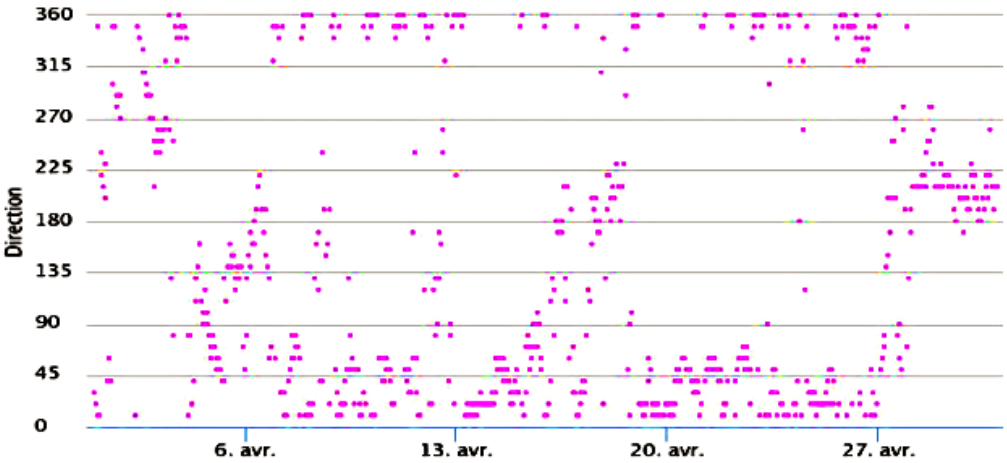
Document n°2B – Les variations de pression atmosphérique au cours du mois d'Avril 2020 à Paris.



Document n°2C – La vitesse et l'orientation des vents au cours du mois d'avril 2020 à Paris



Vent horaire : Moyenne de la force du vent au cours d'une heure, en $m.s^{-1}$.



- Direction des vents par rapport au Nord en degré,
direction 0 : Nord
direction 90 : Est
Direction 180 : Sud
Direction 270 : Ouest

D'après : https://www.prevision-meteo.ch/

Document 3 – L'épaisseur de l'atmosphère et la pression atmosphérique

Document 3A – Comparaison des masses totales et atmosphériques de la Terre et de Mars

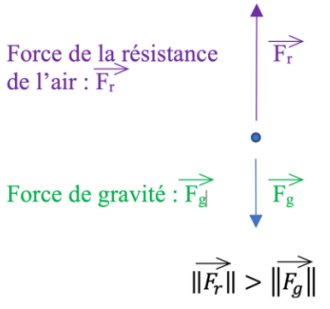
	Mars	Terre
Estimation de la masse de la planète en kg	$6,39 . 10^{23}$	$5,973 . 10^{24}$
Pesanteur à la surface en $Newton.kg^{-1}$	3,73	9,81
Épaisseur de l'atmosphère en km	11	1000
Masse de l'atmosphère en kg	25.10^{12}	$5,29.10^{18}$
Masse volumique de l'atmosphère au sol en $kg.m^{-3}$	0,02	1,2

Chaque planète exerce une force d'attraction, la pesanteur, sur les objets situés à son voisinage. Les molécules gazeuses de l'atmosphère y sont soumises. Cette force dépend de la masse de la planète.

D'après https ://cache.media.eduscol.education.fr/

Document 3B – L'importance de l'épaisseur de l'atmosphère et de la pression atmosphérique

Sur Terre lorsqu'un parachutiste ouvre son parachute (représenté par le point bleu ci-contre), l'air s'engouffre dans la voilure et impose une force de résistance (notée F_r dans le schéma ci-contre). La chute est freinée en quelques secondes d'environ 200 km/h à 15 km/h car la force de résistance est plus forte que la force que l'attraction de la Terre exerce sur le poids du parachutiste (notée F_g dans le schéma ci-contre).



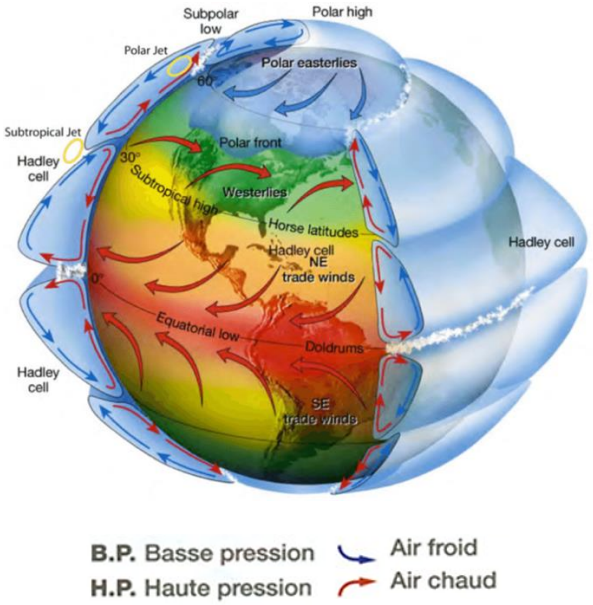
D'après http ://www.pcprg.com/

La force de résistance à l'air peut s'exprimer par : $\boldsymbol{F_r = -\frac{1}{2}.\rho.S.C_x.v^2}$

- $\boldsymbol{\rho}$ est la masse volumique de l'air
- $\boldsymbol{S}$ est la surface efficace du parachute
- $\boldsymbol{C_x}$ est un facteur lié à la forme du parachute (on raisonnera sur un $\boldsymbol{C_x}$ constant)
- $\boldsymbol{v}$ est la vitesse de chute

Au sol sur Terre ρ = 1,2 $kg.m^{-3}$ et au sol sur Mars ρ = 0,02 $kg.m^{-3}$

Document 4 – Application des principes précédents aux mouvements atmosphériques terrestres



Les mouvements de l'atmosphère dépendent de sa masse volumique. L'air chaud qui est moins dense, et donc de masse volumique plus faible, s'élève alors que l'air froid, de masse volumique plus élevée descend. Les variations de masse volumique dépendent de la température de l'air et donc de l'énergie solaire apportée. Pour toutes les planètes c'est l'inégale répartition de l'énergie solaire reçue qui est à l'origine des mouvements atmosphérique.

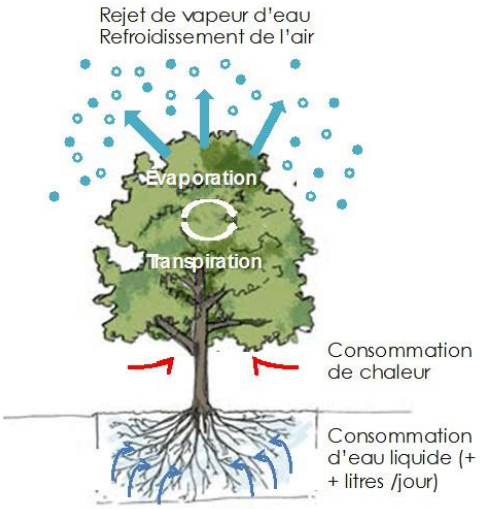
Sur Terre c'est le contraste entre l'énergie solaire reçue aux hautes latitudes (les pôles) et les basses latitudes (l'équateur) qui contrôle les mouvements de l'atmosphère. En découlent des mouvements d'air en « cellules de convection » visibles sur le schéma ci-dessus.

Sur Mars la faible épaisseur de l'atmosphère engendre un fort différentiel de température entre le côté jour (éclairé par le soleil) et le côté nuit (non éclairé par le soleil). Ce différentiel de température est bien plus important que le différentiel entre l'équateur et les pôles. Il est donc majoritairement responsable des mouvements d'air sur Mars.

D'après https ://www.nasa.gouv16478.html

Document 5 – Complexification du modèle de circulation atmosphérique sur Terre :

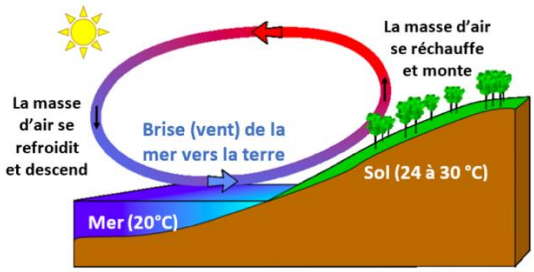
Document 5A – Schéma de l'apparition de phénomènes météorologiques liés à la présence de végétation



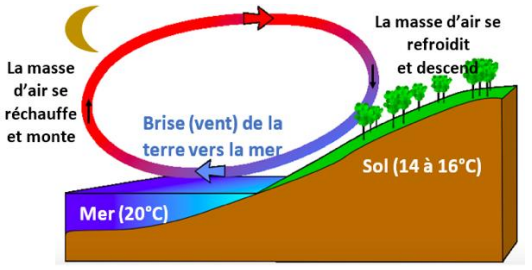
La végétation emmagasine très peu les rayonnements solaires pour les réémettre. De plus, elle participe au rafraîchissement de l'air par évapotranspiration. L'évapotranspiration du végétal est un phénomène qui permet, par la perte d'eau, et par l'échange de chaleur entre l'eau et l'air, de rafraîchir l'air. La végétation engendre donc une plus forte inertie thermique que le sol nu ce qui complexifie la circulation des vents.

D'après http ://bet-ecic.fr/

Document 5B – Schémas de l'apparition de phénomènes météorologiques liés à la présence d'océans



Dans la journée, le sol renvoie la chaleur qu'il reçoit du soleil et chauffe l'air qui le surplombe. Cet air s'élève alors et crée, en surface, un vide, qui est comblé par de l'air plus frais venant du large. C'est la brise de mer.

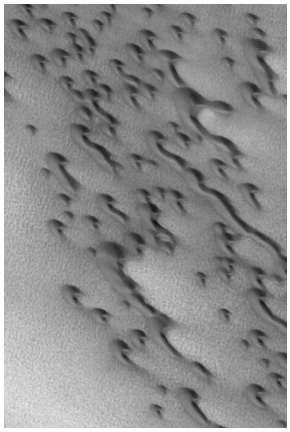


La nuit, c'est le phénomène inverse qui se produit. Le sol est refroidi par l'absence de rayonnement solaire. L'air qui le surplombe devient plus dense que l'air marin. La brise souffle donc vers la mer.

D'après Sujet DNB, Polynésie, 2018

Document 6 – Photographies de la surface martienne

L'image ci-contre prise le 20 juillet 2004 par une caméra de la sonde spatiale Mars reconnaissance Orbiter, nous montre un champ de dunes de 3 km de large. La forme des dunes dépend de plusieurs facteurs, notamment la quantité de sable présente et les directions locales du vent. Ce champ de dunes présente plusieurs morphologies de dunes distinctes.



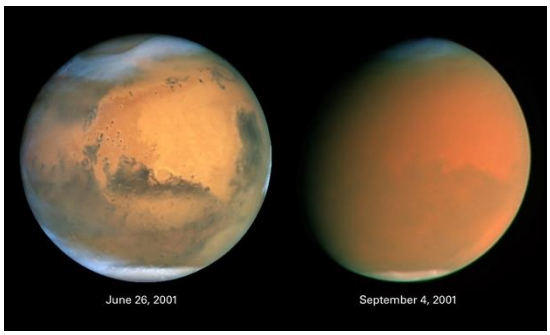
On y voit notamment des dunes semblables à l'image ci-contre prise le 8 novembre 2013 par HiRISE, une caméra de la sonde spatiale Mars Reconnaissance Orbiter.

Il s'agit d'un type particulier de dune appelé « barkhane », qui se forme lorsque le vent souffle dans une direction (ici, sur le document de droite, d'est en ouest) pendant de longues périodes. Les dunes de « Barkhane » sont communes sur Mars.

D'après NASA Sciences, Mars Exploration Program

Document 7 – Les poussières sur Mars

« Chaque année, il y a des tempêtes de poussière modérément importantes qui surviennent sur Mars et elles couvrent des zones de taille continentale et durent des semaines », explique Michael Smith, scientifique planétaire au Goddard Space Flight Center de la NASA à Greenbelt, Maryland.
En plus des grandes tempêtes annuelles de Mars, il y a des tempêtes massives qui se produisent plus rarement.



Une fois toutes les trois années martiennes (environ 5 ½ années terrestres), en moyenne, les tempêtes normales se transforment en d'immenses tempêtes de poussière encerclant la planète (comme sur l'image ci-contre datée du 4 septembre 2001 prise par le télescope Hubble).

Les vents dans les tempêtes martiennes les plus fortes atteignent une vitesse d'environ 100 km.h^{-1}, soit moins de la moitié de la vitesse de certains vents de force ouragan sur Terre. De plus l'atmosphère sur Mars est 100 fois moins dense que l'atmosphère terrestre.

La force du vent (F_v) peut s'exprimer par : $\boldsymbol{F_v = \frac{1}{2}.\rho.S.C_x.v^2}$

- $\boldsymbol{F_v}$: Force du vent en Newton
- $\boldsymbol{C_x}$: Coefficient de pénétration de l'air qui dépend de la forme de l'objet sur lequel s'applique le vent
- $\boldsymbol{\rho}$: Masse volumique du vent ou densité kg.m^{-3}
- $\boldsymbol{v}$: Vitesse du vent m.s^{-1}
- $\boldsymbol{S}$: Surface exposée au vent m^2

D'après https://mars.nasa.gov/