Corrigé – Bac 2026 – Sciences de la vie et de la Terre – Métropole, jour 1

Stress et fuite, Effets d'éruptions volcaniques majeures sur la température atmosphérique

Corrigé détaillé rédigé par Ben, professeur particulier – benprofparticulier.fr

Exercice 1 – Stress et fuite *(7 pts)*

Introduction

Face à un danger, par exemple un chien qui se met à courir vers soi, l'organisme réagit en quelques secondes : le cœur s'accélère, la respiration aussi, et la personne s'enfuit en courant. Cette réponse de « lutte ou fuite », décrite par le physiologiste Walter Cannon au début du XX^{e} siècle, est une **réaction de stress aigu** : un ensemble de réponses de l'organisme à un agent stresseur qui lui permet de s'adapter à la situation. La fuite elle-même repose sur la contraction coordonnée des muscles squelettiques, c'est-à-dire sur des **mouvements volontaires**. Le système nerveux intervient dans ces deux processus. On peut donc se demander **comment le système nerveux, en déclenchant la réaction de stress et en commandant le mouvement volontaire, permet à l'organisme de fuir rapidement et efficacement**. On montrera d'abord que le système nerveux déclenche une réaction de stress qui prépare l'organisme à l'effort, puis qu'il commande les contractions musculaires de la fuite, avant de montrer que ces deux actions se complètent pour rendre la fuite efficace.

I. Le système nerveux déclenche la réaction de stress, qui prépare l'organisme à l'effort

1. La perception du danger. Le danger (agent stresseur) est perçu par des récepteurs sensoriels (rétine, oreille) ; les messages nerveux sensoriels gagnent l'encéphale. Le **système limbique**, en particulier l'**amygdale**, évalue la situation comme menaçante : l'IRM fonctionnelle montre une activation de l'amygdale quand on présente à un sujet des images effrayantes. L'amygdale active alors l'**hypothalamus**, qui commande la réponse de stress ; le cortex préfrontal module cette réponse.

2. Une réponse immédiate : le système nerveux sympathique et l'adrénaline. En quelques secondes, l'hypothalamus active le **système nerveux sympathique** (une partie du système nerveux autonome) : des neurones issus de la moelle épinière stimulent la **médullosurrénale**, qui libère dans le sang de l'**adrénaline** (et de la noradrénaline). Ce message nerveux relayé par une hormone provoque :

- une augmentation de la fréquence cardiaque et de la force de contraction du cœur, donc du débit cardiaque ;
- une augmentation de la fréquence respiratoire et une dilatation des bronches, d'où un meilleur approvisionnement du sang en dioxygène ;
- une redistribution du sang vers les muscles squelettiques (dilatation des artérioles des muscles, resserrement de celles de la peau et du tube digestif) ;
- une libération de glucose par le foie à partir de ses réserves de glycogène (glycogénolyse), donc une hausse de la glycémie ;
- une vigilance accrue.

Exemple : chacun a ressenti son cœur « battre la chamade » quelques secondes après une grosse frayeur ; en médecine d'urgence, l'injection d'adrénaline (lors d'un choc allergique grave par exemple) reproduit l'accélération cardiaque et la dilatation des bronches.

3. Une réponse plus lente qui entretient l'effort : l'axe hypothalamo-hypophyso-corticosurrénalien. En quelques minutes, l'hypothalamus libère une neurohormone, la **CRH**, qui stimule l'antéhypophyse ; celle-ci sécrète l'**ACTH**, qui stimule la **corticosurrénale** : elle libère le **cortisol**. Le cortisol

augmente la glycémie (production de glucose par le foie à partir d'autres molécules : la néoglucogenèse) et maintient ainsi l'apport de glucose aux muscles si l'effort se prolonge. Le cortisol exerce un **rétrocontrôle négatif** sur l'hypothalamus et l'hypophyse (ainsi que via l'hippocampe) : la réponse s'arrête une fois le danger passé. La réaction de stress aigu est donc adaptative et réversible.

Bilan : déclenchée et pilotée par le système nerveux, la réaction de stress augmente l'apport de dioxygène et de glucose aux muscles squelettiques : elle prépare l'organisme à un effort intense.

II. Le système nerveux commande le mouvement volontaire de la fuite

1. La commande par le cortex moteur. Le mouvement volontaire est commandé par le **cortex moteur primaire**, situé dans le lobe frontal, en avant du sillon central. Plusieurs observations le montrent :

- les stimulations électriques de ce cortex réalisées par le neurochirurgien Wilder Penfield chez des patients opérés provoquent la contraction de muscles précis : chaque partie du corps est commandée par une zone précise du cortex moteur (**somatotopie**, représentée par l'homoncule moteur) ;
- l'IRM fonctionnelle montre que bouger la main droite active l'aire motrice de l'hémisphère gauche : la commande est **controlatérale** ;
- un accident vasculaire cérébral (AVC) qui détruit le cortex moteur gauche entraîne une paralysie du côté droit du corps (hémiplégie).

Les neurones du cortex moteur envoient leurs axones dans les **voies motrices descendantes**, qui croisent la ligne médiane au niveau du bulbe rachidien, puis descendent dans la moelle épinière, où ils font synapse avec les **motoneurones** (corne antérieure de la substance grise).

2. Le motoneurone, un intégrateur. Chaque motoneurone reçoit des milliers de synapses : excitatrices (venant du cortex moteur ou de neurones sensoriels) et inhibitrices (venant d'interneurones). Il fait la somme spatiale et temporelle des potentiels postsynaptiques excitateurs (PPSE) et inhibiteurs (PPSI) ; si la dépolarisation atteint le seuil au niveau du segment initial de l'axone, il émet un message nerveux codé en **fréquence de potentiels d'action**. Il élabore ainsi un message unique qui tient compte de la commande volontaire et des informations venant des muscles. Cette intégration permet aussi la coordination des muscles antagonistes : quand le fléchisseur d'une articulation se contracte, l'extenseur est inhibé et se relâche, ce qui rend les mouvements de la course fluides.

3. La transmission au muscle. Le message nerveux moteur arrive à la **synapse neuromusculaire** (plaque motrice). Il y déclenche la libération d'**acétylcholine**, neurotransmetteur qui se fixe sur des récepteurs de la membrane de la fibre musculaire ; celle-ci se dépolarise et produit un potentiel d'action musculaire qui entraîne sa contraction. Expérience historique de Claude Bernard (XIX^{e} siècle) : chez une grenouille traitée au **curare**, qui bloque les récepteurs à l'acétylcholine, la stimulation du nerf ne provoque plus de contraction, alors que la stimulation directe du muscle en provoque toujours : c'est bien la transmission synaptique qui est bloquée. Plus la fréquence des potentiels d'action et le nombre d'unités motrices recrutées sont élevés, plus la contraction est forte : la fuite peut mobiliser une force maximale.

III. Deux actions complémentaires qui rendent la fuite efficace

1. Des muscles commandés ET approvisionnés. Dans la fibre musculaire, le potentiel d'action provoque la libération d'ions Ca^{2+} par le réticulum sarcoplasmique, ce qui permet le glissement des filaments d'actine et de myosine : c'est la contraction, qui consomme de l'**ATP**. Pendant la course, l'ATP est régénéré principalement par la respiration cellulaire (dans les mitochondries), qui consomme du glucose et du dioxygène, et, lors d'un sprint, aussi par la fermentation lactique. Or la réaction de stress fournit justement ces molécules (hausse de la glycémie, du débit cardiaque et de la ventilation, sang dirigé vers les muscles). La commande motrice est donc efficace parce que les muscles qu'elle met en jeu sont préparés par la réaction de stress.

2. Rapidité et équilibre. Les messages nerveux circulent très vite (jusqu'à une centaine de mètres par seconde dans les fibres myélinisées) et la réponse sympathique s'installe en quelques secondes : la fuite peut

commencer presque immédiatement. Pendant la course, le **réflexe myotatique** maintient la posture et l'équilibre sans intervention consciente : l'étirement d'un muscle stimule ses fuseaux neuromusculaires, et le message sensoriel active directement les motoneurones de ce même muscle (circuit monosynaptique), qui se contracte. On le met en évidence en percutant le tendon d'Achille ou le tendon rotulien. Enfin, grâce à la **plasticité cérébrale**, l'entraînement (celui d'un sprinteur par exemple) agrandit et réorganise les territoires du cortex moteur, ce qui rend les mouvements plus rapides et plus précis.

> ⚠ **Piège.** Le sujet porte sur les DEUX interventions du système nerveux. Une copie qui ne parle que du stress (ou que du mouvement) ne répond qu'à la moitié de la question, et celle qui juxtapose les deux sans montrer en quoi la réaction de stress rend la commande motrice efficace (glucose, dioxygène, ATP) perd les points de l'argumentation.

Conclusion

Face à un danger, le système nerveux agit de deux façons complémentaires. Il déclenche la **réaction de stress** : le système limbique et l'hypothalamus activent le système nerveux sympathique (adrénaline, en quelques secondes) puis l'axe hypothalamo-hypophyso-corticosurrénalien (cortisol, en quelques minutes), ce qui augmente l'apport de glucose et de dioxygène aux muscles. Il commande le **mouvement volontaire** : du cortex moteur aux motoneurones de la moelle épinière, qui intègrent les messages reçus, puis aux synapses neuromusculaires, qui déclenchent la contraction des muscles, coordonnée et soutenue par les réflexes. La fuite est efficace parce que l'organisme est à la fois commandé et préparé. Cette réponse est adaptative à court terme ; prolongée (stress chronique), elle peut au contraire devenir néfaste pour la santé.

Schéma bilan (à réaliser sur la copie)

- En haut : « Danger (agent stresseur) » → « messages nerveux sensoriels » → « encéphale ».
- Colonne de gauche, « Réaction de stress » : amygdale (système limbique) → hypothalamus, puis deux voies : (a) système nerveux sympathique → médullosurrénale → **adrénaline** (quelques secondes) ; (b) CRH → antéhypophyse → ACTH → corticosurrénale → **cortisol** (quelques minutes), avec une flèche « rétrocontrôle négatif » vers l'hypothalamus et l'hypophyse. Effets notés à côté : ↑ fréquence cardiaque, ↑ ventilation, ↑ glycémie, sang dirigé vers les muscles.
- Colonne de droite, « Mouvement volontaire » : cortex moteur primaire (hémisphère opposé au côté du mouvement) → voie motrice descendante croisée → motoneurone de la moelle épinière (intégration des PPSE et PPSI) → message codé en fréquence de potentiels d'action → synapse neuromusculaire (acétylcholine) → contraction ; ajouter la boucle du réflexe myotatique (fuseau neuromusculaire → neurone sensoriel → motoneurone).
- En bas, les deux colonnes convergent vers « muscles squelettiques : contraction (actine-myosine, ATP) alimentée en glucose et O_2 → fuite efficace ».
- Légende : flèches pleines = messages nerveux ; flèches en pointillés = messages hormonaux.

Exercice 2 – Effets d'éruptions volcaniques majeures sur la température atmosphérique *(8 pts)*

Problème posé. On cherche à expliquer comment les éruptions volcaniques majeures qui ont formé les provinces magmatiques géantes (trapps) ont pu modifier la température atmosphérique, et pourquoi ces effets diffèrent selon l'échelle de temps considérée (de l'année à plusieurs millions d'années). On exploite les documents un par un (je vois, je sais, j'en conclus), puis on les met en relation.

Document 1 – Des épisodes volcaniques d'une ampleur exceptionnelle

Je vois que les trapps de Sibérie (252 Ma), la CAMP (200 Ma) et les trapps du Deccan (65 Ma) représentent respectivement 4 millions, 2 millions et 2 millions de km³ de roches, mis en place en quelques centaines de milliers d'années à environ 2 millions d'années, sur plus de 100 000 km² chacun. Par comparaison, l'éruption du Pinatubo (document 3) n'a mis en place qu'environ 10 km³ de roches : les trapps représentent de 200 000 fois (CAMP, Deccan) à 400 000 fois (Sibérie) ce volume.

Je sais que ces dates coïncident avec trois grandes crises biologiques : la crise Permien-Trias (vers 252 Ma), la crise Trias-Jurassique (vers 200 Ma) et la crise Crétacé-Paléogène (vers 66 Ma).

J'en conclus que ces épisodes ont pu libérer dans l'atmosphère, de façon répétée et pendant de très longues durées, des quantités de gaz sans commune mesure avec celles d'une éruption actuelle, capables de modifier le climat de toute la planète.

Document 2a – Des roches basaltiques exposées à l'altération

Je vois que les trapps se forment par fusion partielle de roches chaudes du manteau remontant vers la surface ; le magma s'épanche et donne en refroidissant des **basaltes**, roches magmatiques silicatées, empilés en nombreuses couches (photographie des trapps du Deccan). En milieu continental, ces reliefs sont soumis à l'altération.

Je sais que le basalte, riche en minéraux silicatés calciques comme les plagioclases (dont l'anorthite), s'altère facilement à l'affleurement, d'autant plus que le climat est chaud et humide.

J'en conclus qu'un trapp met à l'affleurement d'immenses surfaces de roches silicatées fraîches, facilement altérables : c'est une piste pour un effet à long terme (document 4).

Document 2b – Deux gaz aux effets opposés : SO_2 et CO_2

Je vois que les gaz émis par le Kilauea, volcan de même type que ceux des trapps mais d'ampleur bien moindre, se composent de 49 % de CO_2, 37 % de vapeur d'eau, 12 % de SO_2 et 2 % d'autres gaz. Le SO_2 forme avec le dioxygène et l'eau des **aérosols soufrés** qui renvoient l'énergie solaire, ce qui modifie l'albédo terrestre, puis retombent avec les précipitations. Une fraction significative du CO_2 reste dans l'atmosphère.

Je sais que l'**albédo** est la fraction du rayonnement solaire incident réfléchie vers l'espace : s'il augmente, la surface terrestre absorbe moins d'énergie et se refroidit. Je sais aussi que le CO_2 est un **gaz à effet de serre** : il absorbe une partie du rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre et en réémet une partie vers le sol, ce qui la réchauffe. (La vapeur d'eau est aussi un gaz à effet de serre, mais son excès est vite éliminé par les précipitations.)

J'en conclus qu'une éruption majeure émet deux gaz aux effets opposés : le SO_2, transformé en aérosols, tend à **refroidir** l'atmosphère en augmentant l'albédo ; le CO_2, majoritaire et persistant, tend à la **réchauffer** en renforçant l'effet de serre.

Document 3 – L'éruption du Pinatubo (1991) : un refroidissement de court terme

Je vois que l'éruption du Pinatubo (environ 10 km³ de roches, 17 millions de tonnes de SO_2, activité intense de quelques jours en juin 1991) est suivie :

- (doc. 3a) d'une forte hausse de la profondeur optique des aérosols, nulle avant l'éruption, qui atteint un maximum d'environ 0,17 vers la fin de 1991, puis diminue lentement (environ 0,03 début 1994) ;
- (doc. 3a) d'une baisse de l'anomalie de température mondiale, qui passe d'environ $+0{,}2\ ^\circ\mathrm{C}$ au moment de l'éruption à environ $-0{,}7\ ^\circ\mathrm{C}$ au minimum, dans la seconde moitié de 1992, soit un refroidissement d'environ $0{,}9\ ^\circ\mathrm{C}$, puis remonte vers $-0{,}1\ ^\circ\mathrm{C}$ fin 1993 ;
- (doc. 3b) d'une chute de la fraction du rayonnement solaire qui atteint le sol à Mauna Loa : d'environ 93 % avant l'éruption à environ 84 % (moyenne des mesures, certaines mesures descendant vers 82 %) dans les mois qui suivent, puis d'un retour vers 92-93 % en quelques années (vers 1995).

Je sais que les aérosols soufrés réfléchissent le rayonnement solaire (document 2b) et qu'ils sont éliminés de l'atmosphère en quelques années ; je sais aussi que les océans, qui ont une forte inertie thermique, ralentissent la réponse de la température.

J'en conclus que les aérosols soufrés émis par le Pinatubo ont augmenté l'albédo : moins de rayonnement solaire a atteint le sol, d'où un **refroidissement mondial d'environ 0,9 °C**, décalé de quelques mois par rapport au maximum des aérosols, puis un retour progressif à la normale à mesure que les aérosols disparaissaient. Cet effet est **bref (quelques années) et réversible**. Aucun réchauffement lié au CO_2 n'est décelable à cette échelle : la quantité émise par une seule éruption de ce volume est faible devant la quantité de CO_2 déjà présente dans l'atmosphère.

> 💡 **Astuce.** Le Pinatubo n'est pas un trapp : c'est un **modèle actuel** qui permet de mesurer l'effet des aérosols. Dis-le explicitement, puis utilise le document 1 pour changer d'échelle : un trapp, c'est des centaines de milliers de fois ce volume, émis par vagues successives.

Document 4 – L'altération des silicates consomme du CO_2

Je vois que l'altération de l'anorthite du basalte en kaolinite consomme **2 CO_2** :

$$CaAl_2Si_2O_8 + 2\ CO_2 + 3\ H_2O \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH)_4 + Ca^{2+} + 2\ HCO_3^-$$

et que les ions transportés jusqu'aux bassins de sédimentation précipitent en calcite en libérant **1 CO_2** :

$$Ca^{2+} + 2\ HCO_3^- \rightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$

En additionnant les deux équations, on obtient le bilan :

$$CaAl_2Si_2O_8 + CO_2 + 2\ H_2O \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH)_4 + CaCO_3$$

Pour chaque molécule d'anorthite altérée, **une molécule de CO_2 atmosphérique est piégée** sous forme de calcaire.

Je sais que les roches carbonatées stockent le carbone pour des millions d'années, et que l'altération est plus intense quand le climat est chaud et humide.

J'en conclus que l'altération des immenses surfaces de basalte des trapps retire progressivement du CO_2 de l'atmosphère, ce qui diminue l'effet de serre et provoque un **refroidissement à long terme**. Comme le réchauffement dû au CO_2 accélère l'altération, ce mécanisme tend à compenser le CO_2 volcanique (rétroaction négative).

> ⚠ **Piège.** Ne t'arrête pas à la première équation : la précipitation de la calcite relâche du CO_2. C'est le bilan net (2 consommés − 1 libéré = 1 CO_2 piégé par anorthite) qui justifie la baisse du CO_2 atmosphérique.

Document 5 – Trois mécanismes, trois échelles de temps

Je vois, sur un axe du temps en échelle logarithmique, que les effets prédominants se succèdent : les **aérosols soufrés** de 0,1 à 10 ans environ, la **variation importante et rapide du CO_2** atmosphérique de 10 à 10^4 ans environ, puis l'**altération des silicates** de 10^4 à 10^7 ans environ.

J'en conclus que, après un épisode volcanique majeur, la température évolue en trois temps, chaque mécanisme dominant à son échelle.

> 💡 **Astuce.** L'axe du document 5 est logarithmique : chaque graduation multiplie le temps par 10. Lis les bornes (0,1 an, 10 ans, 10^4 ans, 10^7 ans) et traduis-les en mots (quelques mois, une décennie, dix mille ans, dix millions d'années) : c'est ce qui structure ta réponse.

Mise en relation et réponse au problème

Échelle de temps (doc. 5)	Mécanisme	Effet sur la température	Documents
Quelques mois à une dizaine d'années	SO_2 → aérosols soufrés → hausse de l'albédo, moins de rayonnement solaire au sol	Refroidissement rapide et réversible (environ $-0{,}9$ °C pour le seul Pinatubo)	2b, 3a, 3b, 5
Une dizaine à environ 10 000 ans	CO_2 (49 % des gaz) accumulé dans l'atmosphère → effet de serre renforcé	Réchauffement durable	1, 2b, 5
10 000 à 10 millions d'années	Altération des basaltes des trapps → CO_2 piégé dans les carbonates	Baisse du CO_2 et de l'effet de serre : refroidissement, retour progressif vers l'état initial	2a, 4, 5

Les éruptions volcaniques majeures à l'origine des trapps ont émis, pendant des centaines de milliers à deux millions d'années, des volumes de lave (2 à 4 millions de km³) et donc des quantités de gaz incomparablement plus grandes que celles d'une éruption actuelle (doc. 1 et 2b). Elles ont modifié la température atmosphérique de façon différente selon l'échelle de temps :

- **À court terme** (mois à années), le SO_2 se transforme en aérosols soufrés qui réfléchissent le rayonnement solaire (augmentation de l'albédo) : la Terre se refroidit, comme l'a montré à petite échelle le Pinatubo (environ 93 % → 84 % du rayonnement transmis, environ $-0{,}9$ °C). Cet effet disparaît en quelques années avec la retombée des aérosols, mais lors d'un trapp il se répète à chaque pulsation éruptive.
- **À moyen terme** (décennies à environ 10 000 ans), le CO_2, gaz majoritaire et persistant, s'accumule dans l'atmosphère et renforce l'effet de serre : la Terre se réchauffe durablement.
- **À long terme** (10 000 à 10 millions d'années), l'altération des immenses surfaces de basalte consomme du CO_2, qui est piégé dans les calcaires : l'effet de serre diminue et la température baisse, ce qui ramène progressivement le climat vers son état initial.

Une éruption volcanique majeure provoque donc une succession de refroidissements et de réchauffements, d'amplitudes et de durées différentes. Ces perturbations climatiques brutales permettent de comprendre que les trapps de Sibérie, de la CAMP et du Deccan coïncident avec de grandes crises biologiques.

Conseils pour le jour J

Gère ton temps. L'épreuve dure 3 h 30 pour 15 points : compte environ 1 h 30 pour l'exercice 1 (7 points) et 1 h 45 pour l'exercice 2 (8 points), et garde un quart d'heure pour relire. Dans l'exercice 1, commence par un brouillon en deux colonnes (stress / mouvement volontaire) et trace dès le départ les liens entre les deux : c'est le cœur de la question « permet de prendre la fuite de manière efficace ». Inutile de développer le stress chronique : une phrase d'ouverture en conclusion suffit.

Appuie chaque idée sur un exemple. Le sujet exige « des expériences, des observations, des exemples » : stimulations de Penfield, IRMf, AVC et hémiplégie, curare, percussion du tendon d'Achille, effets de l'adrénaline. Un exposé sans aucun argument expérimental plafonne vite, même s'il est juste. N'oublie pas le schéma bilan, avec une légende qui distingue messages nerveux et messages hormonaux.

Dans l'exercice 2, ne paraphrase pas les documents. Relève des valeurs précises (49 % de CO_2, 17 millions de tonnes de SO_2, 93 % → 84 % de rayonnement transmis, environ $-0{,}9$ °C), compare le volume du Pinatubo à celui des trapps, et fais le bilan net des deux équations du document 4. Le piège principal est de ne voir qu'un seul effet : le correcteur attend les trois échelles de temps du document 5 (refroidissement, réchauffement, refroidissement) clairement reliées à leur mécanisme.

Ce document est la propriété intellectuelle de Ben, professeur particulier (benprofparticulier.fr), protégée par le Code de la propriété intellectuelle (art. L. 111-1 et L. 122-4). Il est mis à disposition pour un usage personnel de révision. Toute reproduction, diffusion, mise en ligne ou revente, totale ou partielle, sans autorisation écrite est interdite et constitue une contrefaçon (art. L. 335-2).