

collection Lycée
série Accompagnement des programmes

Sciences de la vie et de la Terre

classe de première scientifique

Ministère de la Jeunesse, de l'Éducation nationale et de la Recherche
Direction de l'enseignement scolaire

applicable à la rentrée 2001

Centre national de documentation pédagogique

Ce document a été rédigé par le groupe d'experts sur les programmes de Sciences de la vie et de la Terre :

Président

Bernard CALVINO professeur des universités, ESPCI, Paris

Membres

Jean-Paul DUBACQ maître de conférences, ENS, Paris

Philippe GILLET professeur des universités, ENS, Lyon

Roger PRAT professeur des universités, Paris VI

Marc TARDY professeur des universités, université de Savoie, Le Bourget-du-Lac

Gérard VIDAL maître de conférences, ENS, Lyon

Rosine BOYADJIAN professeur, lycée Victor-Hugo, Paris

Raymond CIRIO professeur, lycée climatique d'altitude, Briançon

Colette PORTHA-PONCEBLANC professeur, lycée Paul-Valéry, Paris

Béatrice SALVIAT professeur, lycée Louis-le-Grand, Paris

Marie-Claude YON-COTTON professeur, lycée François-I^{er}, Vitry-le-François

Bernard GISSOT IA-IPR académie de Créteil

Jean-Claude HERVÉ IA-IPR honoraire

Dominique ROJAT inspecteur général de l'Éducation nationale

Coordination : Anne-Laure Monnier, bureau du contenu des enseignements (direction de l'enseignement scolaire).

Suivi éditorial : Christianne Berthet

Secrétariat d'édition : Nicolas Gouny

Maquette de couverture : Catherine Villoutreix

Maquette : Fabien Biglione

Mise en pages : Atelier Michel Ganne

© CNDP, juillet 2002

ISBN : 2-240-00853-9

ISSN : 1624-5393

Sommaire

Sciences de la Terre

Structure, composition et dynamique de la Terre

Structure et composition chimique de la Terre interne	7
La lithosphère et la tectonique des plaques	9
Divergence et phénomènes liés	11
La machinerie thermique de la Terre	13
La classe de terrain, une démarche scientifique	15
Annexe	16

Sciences de la vie

Des phénotypes à différents niveaux d'organisation du vivant

Du génotype au phénotype, relations avec l'environnement	21
La morphogenèse végétale et l'établissement du phénotype	23
La régulation de la glycémie et les phénotypes diabétiques	26
Les parts du génotype et de l'expérience individuelle dans le fonctionnement du système nerveux	29

Sciences de la Terre

Structure, composition
et dynamique de la Terre

S

tructure et composition chimique de la Terre interne

■ 3 semaines.

En classe de seconde, les élèves ont abordé la Terre comme un élément du système solaire. Cette perception sert de point de départ à une approche détaillée de la structure et de la composition de la Terre interne. Le choix de l'expression « Terre interne » invite à se placer encore dans une perception globale de la Terre solide en ne traitant pas ici la partie la plus superficielle (hydrosphère) et les particularités qui lui sont associées.

Origine, différenciation et structure interne de la Terre

Le premier volet de cette partie concerne l'étude des propriétés physiques de la Terre. La classe de quatrième a permis aux élèves de s'approprier un modèle simplifié de la Terre. Le but de cette partie est de compléter les connaissances acquises par les élèves par les notions géophysiques qui ne leur étaient pas encore accessibles. Les ondes sismiques, quel que soit leur point d'émission, se propagent dans toute la Terre. L'étude de leur propagation et de leur émergence (lieu et temps d'arrivée) renseigne sur les milieux traversés et leur répartition. Plusieurs paramètres de ces ondes sont mesurables ou calculables à partir des mesures en surface : type (P ou S), vitesse. L'étude de ces paramètres permet de mettre en évidence les notions inscrites au programme :

- la Terre est structurée en enveloppes concentriques : la croûte (continentale ou océanique), le manteau et le noyau ;
- les enveloppes ont des masses et des masses volumiques différentes ;
- les enveloppes sont séparées par des discontinuités physiques et/ou chimiques.

Limites (ne sont pas exigibles)¹

- *La tomographie sismique.*
- *L'étude détaillée des météorites.*

Pour préciser le modèle de la Terre, les notions issues de la sismologie sont complétées par l'étude du comportement mécanique des roches (cassant ou ductile). On distingue la lithosphère et l'asthénosphère par le comportement de la péridotite mantellique : cassante dans la lithosphère, ductile dans l'asthénosphère.

Pour être complet, le modèle de la Terre ainsi établi doit être muni de la description de l'évolution des paramètres physiques avec la profondeur à l'intérieur de la Terre. Pour appréhender l'état de la matière à l'intérieur de la Terre, deux approches fournissent des informations :

- les données concernant l'évolution de la température à l'intérieur de la Terre et l'existence de couches limites thermiques sont importantes et seront réutilisées lors de l'étude de la convection dans le chapitre sur la machinerie thermique (voir p. 13) ;
- de la même façon, pression et masse volumique augmentent avec la profondeur dans le manteau.

Le modèle géophysique qui vient d'être construit permet le réinvestissement des connaissances acquises en classe de seconde, pour relier la structure différenciée observée actuellement, à la formation de la planète Terre au sein du système solaire. L'exploitation des météorites, étudiées en seconde, permet de comparer la chimie des chondrites à celle de la Terre pour démontrer :

- que la composition des chondrites correspond à la composition moyenne de la Terre (dite « Terre globale ») ;
- que la Terre s'est différenciée en un noyau métallique essentiellement formé de fer et en une enveloppe externe silicatée.

Limites (ne sont pas exigibles)

- *Les mécanismes de la différenciation*².*

1. Les paragraphes intitulés « Limites » ont pour but de préciser les connaissances et savoir-faire exigibles pour chaque partie du programme de première scientifique.

2. Les « Limites » indiquées par un astérisque (*) complètent celles inscrites dans le texte du programme.

Composition chimique de la Terre – des échantillons naturels aux matériaux inaccessibles

Le second volet de cette partie concerne l'étude chimique de la Terre. L'examen de collections de roches échantillonnées en surface montre une très grande variabilité, mais en première approximation, on démontrera qu'il suffit de prendre en compte trois pôles principaux organisés autour de « roches représentatives » : les péridotites du manteau, les granitoïdes de la croûte continentale et les basaltes ou gabbros de la croûte océanique. L'objectif essentiel est de bien établir la distinction entre croûte continentale, croûte océanique et manteau.

Toute roche est formée de minéraux, de verre ou d'un mélange des deux. Le verre et les minéraux sont formés d'atomes liés entre eux. Si la structure est organisée en un réseau présentant des propriétés géométriques stables dans l'espace, c'est un minéral cristallisé. Dans le cas contraire, c'est un verre.

Les élèves doivent percevoir les deux niveaux d'organisation : à l'échelle de la roche et à celle du

minéral. L'utilisation d'analyses en masse d'oxyde est à éviter car elle introduit une inutile représentation virtuelle des faits, puisque la plupart des minéraux ne sont pas des oxydes. On préfère plutôt présenter l'analyse chimique globale de la Terre ou celle de la Terre silicatée (hors noyau) ou celle de roches en pourcentage massique des éléments.

Pour parvenir à connaître la chimie du noyau, il est nécessaire de construire des modèles à partir de raisonnements fondés sur des hypothèses tenant compte de toutes les contraintes physiques établies au chapitre précédent. Connaissant les proportions de chaque élément dans les enveloppes externes, il est possible de calculer des valeurs approchées de la proportion de ces éléments dans le noyau.

Le pourcentage massique des éléments permet de mettre en évidence la notion d'éléments majeurs : ce sont les éléments les plus représentés dans les minéraux de la croûte et du manteau, ainsi que dans le noyau.

Limites (ne sont pas exigibles)

– *La connaissance des diverses structures minérales.*

La lithosphère et la tectonique des plaques

■ 2 semaines.

Cette partie aborde le modèle fédérateur des sciences de la Terre à partir duquel s'organisent la plupart des axes de recherche actuels. Le modèle étudié en classe de quatrième, rappelé mais non redémontré, sert de point de départ pour poser les grandes questions sur l'activité de la Terre qui seront traitées pour une part en classe de première S (cinématique, convection, divergence, points chauds) et pour une autre part en terminale S (convergence).

Découpage de la lithosphère en plaques

L'organisation de la partie externe de la Terre en deux enveloppes concentriques montrant un comportement mécanique différent a été vue au chapitre précédent. La lithosphère est rigide et cassante, l'analyse de la distribution des séismes à la surface du globe montre que ceux-ci se répartissent suivant des bandes très longues et étroites se relayant sur toute la surface du globe. Ces zones à forte déformation divisent la surface de la Terre en calottes sphériques rigides : les plaques.

L'observation d'une courbe hypsométrique (relevé des reliefs positifs et négatifs) cumulée montre une distribution bimodale des altitudes correspondant aux deux types de croûte définis plus haut. Les plaques lithosphériques peuvent être formées d'un seul type de croûte (continentale ou océanique) ou comporter les deux types.

La distribution des plus forts reliefs se superpose à la distribution des séismes et souligne les limites de plaques.

Mouvements relatifs des plaques : divergence, convergence et coulissage

La cinématique qui fait l'objet de cette partie est abordée pour faire percevoir aux élèves la cohérence

du modèle global de la tectonique des plaques. Les déformations intenses aux limites de plaques sont la conséquence de leurs déplacements. Des observations géologiques directes – par forage – permettent de dater les premiers sédiments déposés sur la croûte océanique. Parmi les premiers arguments venant à l'appui des théories mobilistes lors de la construction du modèle de la tectonique des plaques, on trouve :

- la faible épaisseur des sédiments déposés sur les fonds océaniques ;
- le jeune âge des plus vieux sédiments marins (en effet, la plus vieille croûte océanique date d'environ 180 millions d'années).

Les premières observations permettent de dégager les principes de base de la cinématique :

- conservation du volume de la terre ;
- disparition des plaques ;
- création des plaques.

Pour aller plus loin, d'autres observations précises sont nécessaires.

L'analyse plus détaillée de l'âge des premiers sédiments reposant sur la croûte montre une répartition symétrique par rapport à une limite de plaques regroupant uniquement des séismes ayant une composante en extension. Les sédiments les plus récents sont au plus près de l'axe de symétrie. Les données du magnétisme permettent de faire des observations du même type (symétrie des anomalies). Enfin, certaines plaques océaniques, la plaque Pacifique en particulier, portent des alignements de volcans. L'hypothèse selon laquelle ces volcans sont produits à partir d'une source profonde, fixe par rapport à la plaque, est cohérente avec l'hypothèse d'un écartement des plaques à partir de l'axe des dorsales. L'alignement et l'âge des volcans sont des indicateurs du mouvement de la plaque au-dessus de ces points considérés comme fixes – les points chauds – qui seront étudiés en détail par la suite.

La famille d'observations et les raisonnements ci-dessus fournissent uniquement des données de vitesse moyenne des plaques pour les 180 dernières millions d'années. Il est souhaitable que les élèves

puissent mettre en relation à bon escient les mesures de vitesses instantanées faites aujourd'hui à l'aide du système GPS. Le principe des mesures sera abordé le plus simplement possible : il suffit que les élèves comprennent que les balises au sol sont uniquement des balises de réception, que les satellites possèdent des émetteurs qui envoient un signal dans les longueurs d'ondes micrométriques (qui traversent les nuages) et qu'il est nécessaire de recevoir le signal d'au moins quatre satellites pour faire une mesure précise de position. Il est inutile d'entrer dans les détails du codage des signaux émis, de l'orbitographie des satellites, des dérives d'horloge et de leurs conséquences sur la précision des mesures.

Toutefois, les élèves doivent prendre conscience du fait que la précision atteinte par les mesures GPS scientifiques est de l'ordre de quelques millimètres. Ceci impose une mesure de position au moins tous les trois ans et idéalement au bout de dix ans pour obtenir une valeur de vitesse dont l'erreur relative soit acceptable. Des ellipses d'erreurs sont en général présentées sur les documents présentant les mesures de vitesses GPS.

Les plaques lithosphériques s'écartent depuis l'axe

des dorsales océaniques dans les zones de divergence. La surface de la Terre restant constante, dans les zones de convergence, une surface identique de lithosphère (aux déformations près) disparaît vers l'intérieur de la Terre ou est incorporée dans les chaînes de collision.

Les plaques lithosphériques se déplacent sur une sphère et leurs mouvements relatifs impliquent des coulissages entre deux plaques voisines (failles transformantes). Il est possible de mettre en évidence ces coulissages en observant le décalage de marqueurs symétriques au voisinage d'une dorsale.

À la fin de cette partie (voir p. 16), les élèves disposent de deux schémas illustrant en carte et en coupe les principes de base de la tectonique des plaques. Ces documents les suivront en classes de première et terminale scientifiques : ils seront enrichis et complétés au fur et à mesure des chapitres traitant spécifiquement de la divergence (classe de première S) et de la convergence (classe terminale S).

Limites (ne sont pas exigibles)

– *Les détails des techniques de positionnement GPS.*



Divergence et phénomènes liés

■ 3 semaines.

Formation et divergence des plaques lithosphériques au niveau des dorsales océaniques. Activités tectoniques et magmatiques associées

Tectonique

Cette partie du programme présente la géologie des océans et en particulier la dynamique des dorsales océaniques qui sont le lieu où l'on peut comprendre la divergence des plaques lithosphériques. Les dorsales océaniques sont des reliefs sous-marins allongés et segmentés par des failles qui les décalent de quelques centaines de kilomètres (failles transformantes).

Les dorsales sont des zones actives du globe terrestre caractérisées par des séismes à foyers superficiels (moins de dix kilomètres de profondeur) et des failles normales qui attestent des mouvements en extension.

L'étude de la géométrie des dorsales est limitée à celle des failles normales conjuguées délimitant des grabens.

Limites (ne sont pas exigibles)

– *L'analyse comparative entre dorsales rapides et dorsales lentes avec leurs caractéristiques morphologiques et tectoniques**.

– *Les mécanismes de la rupture des roches à l'origine des réseaux de failles normales**.

Magmatisme

Les dorsales sont le lieu de la création de la croûte océanique constituée de basaltes et de gabbros. Basaltes et gabbros sont issus de la solidification d'un magma produit par la fusion partielle des péridotites du manteau.

L'imagerie géophysique et/ou l'étude des flux thermiques montrent qu'il existe une remontée de l'asthénosphère à l'aplomb des dorsales.

Limites (ne sont pas exigibles)

– *Le principe et les modes de construction des images de la tomographie sismique**.

Cette remontée de l'asthénosphère génère une décompression adiabatique (sans perte de chaleur) à l'origine de la fusion partielle du manteau asthénosphérique.

On profite de cet exemple pour présenter l'une des trois causes de la fusion partielle : la décompression, les deux autres causes (augmentation de température et hydratation) étant étudiées en terminale.

Basaltes et gabbros ont des compositions chimiques différentes des péridotites dont ils sont issus.

En effet, lors de la fusion partielle des péridotites, une différenciation chimique se produit. La péridotite est composée d'olivine, de pyroxène (minéraux ferro-magnésiens) et de plagioclase (minéral alumino-calcique).

Le plagioclase fond en premier. Le liquide magmatique aura donc une composition chimique plus riche en calcium et aluminium que la péridotite initiale. Ce liquide, en se solidifiant, donnera des basaltes et gabbros. La péridotite résiduelle sera enrichie en olivine et pyroxène.

En définitive, la composition chimique des basaltes et gabbros dépend en premier lieu du taux de fusion partielle des péridotites.

Les liquides sont collectés dans une chambre magmatique où ils pourront partiellement cristalliser. Les chambres magmatiques désignent des espaces de quelques kilomètres cubes au sein desquels on distingue une bouillie cristalline (mélange de liquide magmatique et de cristaux) et une lentille sommitale entièrement liquide.

La cristallisation lente, en profondeur, produit des gabbros, de texture grenue.

Le refroidissement rapide, en surface, produit des basaltes, roches de texture microlitique.

(Voir figures A et B, p. 16 : « Schéma légendé d'une dorsale rapide ».)

Limites (ne sont pas exigibles)

– *Les mécanismes de différenciation chimique par cristallisation fractionnée**.

– *Les modèles de fonctionnement des chambres magmatiques et en particulier la périodicité des injections de croûte nouvelle, les variations de vitesse de refroidissement de liquides et les processus de convection interne aux chambres magmatiques**.

En s'éloignant de cette zone à flux thermique élevé, les roches de la croûte océanique se refroidissent et se déforment sous l'action de la tectonique extensive : à la surface de la croûte, la déformation est cassante, les roches sont fracturées ; plus en profondeur, les roches se déforment de façon souple. La circulation de l'eau de mer s'accompagne d'un refroidissement. La diminution de la température et la circulation des fluides sont à l'origine de la déstabilisation des minéraux magmatiques initiaux (plagioclase et pyroxène) et de la cristallisation de minéraux hydratés, stables à plus basse température (amphiboles et chlorites). (Voir figure C, p. 18 : « Grille d'évolution de la croûte océanique ».)

Des boucles de circulation convective hydrothermale affectent la croûte océanique dans son ensemble et les péridotites peuvent elles-mêmes être hydratées et à l'origine des serpentinites. Cette notion est réinvestie en classe terminale S.

Limites (ne sont pas exigibles)

- *Les interactions chimiques et les échanges ioniques entre eau de mer et croûte océanique**.
- *Les mécanismes de précipitation et de formation des substances métalliques et des amas sulfurés**.
- *Les interactions entre circulation des fluides, déformations et cinétique des transformations minéralogiques**.

La croûte océanique est formée au niveau de la dorsale océanique.

Le refroidissement progressif, lié d'une part à l'éloignement de la dorsale et d'autre part à la circulation des fluides, conduit à un épaississement progressif de la lithosphère océanique aux dépens de l'asthénosphère.

La base de la lithosphère correspond approximativement à l'isotherme 1 200 °C qui s'éloigne de la surface de la croûte océanique lorsqu'on s'éloigne de la dorsale. Cette limite se superpose approximativement à la différence de comportement mécanique (rigide ou plastique) entre la lithosphère et l'asthénosphère sous-jacente.

(Voir figure D, p. 18 : «Schéma de la lithosphère qui s'épaissit ».)

La densité de la lithosphère océanique augmente jusqu'à atteindre et dépasser celle de l'asthénosphère. C'est une lithosphère océanique froide, épaisse, dense et hydratée (croûte et partie supérieure du manteau) qui sera impliquée dans les processus de subduction qui seront détaillés en terminale S.

Marges passives des continents

La formation des océans débute par l'extension et la rupture de la lithosphère continentale. Les rifts continentaux sont des fossés d'effondrement longs, étroits et limités par des failles normales. Un rift continental est constitué de bassins sédimentaires comblés par des sédiments fluviaux, lacustres ou détritiques. Les rifts continentaux sont également le siège d'une activité volcanique importante et d'une activité sismique. Failles normales, sédimentation continentale et volcanisme sont trois marqueurs géologiques de la rupture de la lithosphère continentale.

Limites (ne sont pas exigibles)

- *Les caractéristiques géochimiques des séries magmatiques liées au rifting continental**.
- *Les mécanismes de formation et de propagation des failles dans la croûte continentale**.

Lorsque l'amincissement continental est devenu important, les marges passives se forment, qui sont la zone de transition entre croûte continentale et croûte océanique. Les marges passives forment les bordures stables des continents. La croûte continentale y est découpée par des failles normales qui délimitent des blocs basculés.

Limites (ne sont pas exigibles)

- *L'étude exhaustive de la diversité des séries sédimentaires continentales**.

Depuis le rifting continental jusqu'à la formation d'une marge passive, les séries sédimentaires sont les produits et les témoins de l'amincissement progressif de la lithosphère. L'affaissement progressif (subsidence liée à l'étirement) continu ou discontinu du socle continental fracturé est à l'origine de l'accumulation de séries sédimentaires épaisses. C'est l'occasion de développer l'étude des roches sédimentaires. L'interprétation de ces séries permet de reconstituer l'histoire précoce de la rupture continentale et de la formation de l'océan.

En terminale S, les témoins déformés de ces marges passives seront recherchés dans les chaînes de collision continentale.

Cette partie du programme de première S est l'occasion de présenter les relations de chronologie relative entre tectonique extensive et sédimentation en distinguant les sédiments anté-, syn-, et post-rift.

Limites (ne sont pas exigibles)

- *Les mécanismes physiques à l'origine de la subsidence des bassins sédimentaires**.

thermique de la Terre

■ 1 semaine.

Le but de cette partie du programme est d'accompagner les élèves vers une approche très simple de la convection du manteau comme la conséquence de ses propriétés thermiques et mécaniques (rhéologiques).

Il n'est pas question de rentrer dans les aspects physiques du problème, mais de faire la relation entre l'énergie interne de la Terre accumulée lors de la formation de la planète et de sa différenciation (première partie), la chaleur produite par désintégration radioactive des éléments dans l'ensemble croûte-manteau et la convection du manteau.

Dissipation de l'énergie interne de la Terre

Dans ce chapitre, on s'intéresse à l'énergie interne émise par la Terre. Il n'est pas nécessaire de développer précisément les origines de la chaleur interne ; il est suffisant de considérer que la source principale de chaleur est la désintégration de certains isotopes radioactifs.

L'émission d'énergie est mise en évidence par les mesures du flux de chaleur à la surface de la Terre. Ces mesures ne sont pas aisées à réaliser et n'existent pas en très grand nombre à la surface de la Terre. Toutefois, des cartes réalisées par interpolation des données montrent l'aspect du flux de chaleur interne émis par la planète. Ce flux est la manifestation de la dissipation de la chaleur interne. La distribution du flux de chaleur n'est pas homogène et son organisation (zones à flux très élevé et zones à flux faible) induit l'hypothèse d'un mécanisme dynamique interne contrôlant la dissipation de chaleur à l'intérieur de la Terre.

Convection du manteau terrestre

Du fait des propriétés thermiques et rhéologiques du manteau, la dissipation de la chaleur qui est produite par désintégration radioactive de certains

éléments se fait par convection du manteau. Les roches du manteau sont à l'état solide et ont un comportement plastique (ductile) qui permet les déplacements de matière. Ces mouvements de convection assurent le transport de la chaleur et sa dissipation en surface.

Les conséquences de cette activité interne se manifestent en surface par :

- la fabrication de lithosphère au niveau des remontées de matière dans les zones d'accrétion océanique ;
- la disparition de plaques lithosphériques couplées aux zones de descente de matière ;
- le couplage entre le mouvement des plaques et les mouvements de convection du manteau sous-jacent.

Les remontées de matière chaude sont associées aux anomalies de flux positives et correspondent aux dorsales océaniques ; de façon symétrique, les descentes de matière sont associées aux courants descendants de matière plus froide.

Points chauds

Le système de convection qui concerne tout le volume du manteau ne peut expliquer le magmatisme isolé des îles océaniques.

On présente les points chauds comme les marqueurs d'une importante dynamique interne de la Terre, indépendante des limites de plaques. La remontée de panaches de matière chaude depuis le manteau profond jusqu'au niveau de la lithosphère est l'occasion de montrer qu'il existe des déplacements verticaux de matière très importants dans la Terre.

Ces panaches sont à l'origine de productions massives de laves dans les océans ou sur les continents. Si un panache se forme à l'aplomb d'un domaine océanique, il est à l'origine de plateaux océaniques épais.

Limites (ne sont pas exigibles)

- *La nature chimique de ces basaltes de plateaux océaniques*.*

Si un panache se forme à l'aplomb d'une croûte continentale, il se forme d'épaisses coulées de laves connues sous le nom de « trapps ».

Ce magmatisme présente des caractéristiques chimiques différentes de celles des dorsales.

On insiste sur le fait que ces points chauds sont des points fixes au-dessus desquels les plaques lithosphériques peuvent se déplacer. En conséquence, ces points chauds peuvent servir de référentiel (chronologique) pour les déplacements des plaques.

Limites (ne sont pas exigibles)

– *La nature chimique des basaltes des plateaux océaniques.*

– *La nature chimique et pétrographique des trapps.*

– *Les mécanismes de formation des panaches*.*

– *Les processus de blocage (stockage) des panaches sur les différentes discontinuités du globe*.*

– *La géométrie et les structures thermiques des panaches*.*

L a classe de terrain, une démarche scientifique

■ 1 séance.

En géologie...

La classe sur le terrain permet à l'élève d'appréhender le réel et l'amène à choisir :

- les limites de son objet d'étude ;
- les objets qui ont du sens (dégager l'essentiel de l'accessoire) ;
- les roches à échantillonner.

Objectifs essentiels de la classe de terrain

- Ancrer la géologie dans la réalité de son objet, la Terre : voir, observer, choisir, récolter, expérimenter pour comprendre.
- Accéder à la maîtrise de méthodes et à l'utilisation d'outils.
- Apprendre à distinguer les faits observés et décrits de leur interprétation.
- Inciter à la réflexion critique sur les méthodes, les savoirs, leur évolution et donc leurs limites.
- Discuter la notion de modèle, son utilité et sa précarité.
- Acquérir des connaissances.
- Susciter l'imagination, source de nouvelles réflexions.

Pratiquer la classe de terrain pour qu'elle soit démarche scientifique

- Poser le problème : tenir compte des prérequis de nos élèves, proposer éventuellement un ou des modèles qui permettent d'envisager une solution.
- Récolter les données, observer :
 - présenter le cadre des observations conceptuel (quelle est la question qui justifie la venue sur site ?), géométrique (quelle est l'échelle de l'observation ?) ;
 - observer et commenter les affleurements à l'échelle réelle, déterminer les relations entre les objets ;

- repérer les roches dans leur contexte, échantillonner après sélection, s'appropriier les données ;
- décrire et dessiner, éventuellement photographier ;
- comparer les descriptions des élèves entre elles et avec des descriptions de géologues (insister sur l'évolution des transcriptions liées aux outils nouveaux et aux modélisations successives qui influent sur la perception des faits).
- Raisonner :
 - pour donner une interprétation, des faits en appliquant les principes de la géologie, en réinvestissant des connaissances ;
 - à partir de ces interprétations pour vérifier ou invalider le modèle proposé en solution au problème énoncé ;
 - afin de rechercher des données complémentaires impliquées par le modèle.
- Imaginer, le cas échéant, des solutions alternatives au modèle retenu, les moyens de les tester, et mettre en œuvre ces moyens.
- Communiquer : exprimer dans un langage scientifique et grammaticalement correct le problème posé et la solution envisagée, les données récoltées, leur interprétation, le résultat de leur confrontation au modèle. Les modes de représentations scientifiques (dessins, schémas) seront soignés, titrés et légendés.
- Valider la classe de terrain par un compte rendu ou un exercice récapitulatif.
- Évaluer les connaissances et les compétences acquises par des exercices à l'occasion desquels celles-ci sont réinvesties pour la solution de problèmes nouveaux.

En biologie végétale...

Le terrain est l'occasion de décrire les objets dans leur contexte et d'appréhender les paramètres de leur environnement.

Les données récoltées sont exploitées en classe et servent de base à la partie du programme traitant de la morphogenèse végétale.

Figure A
Coupe simplifiée d'une dorsale océanique montrant la croûte et le manteau océaniques, la lithosphère et l'asthénosphère.

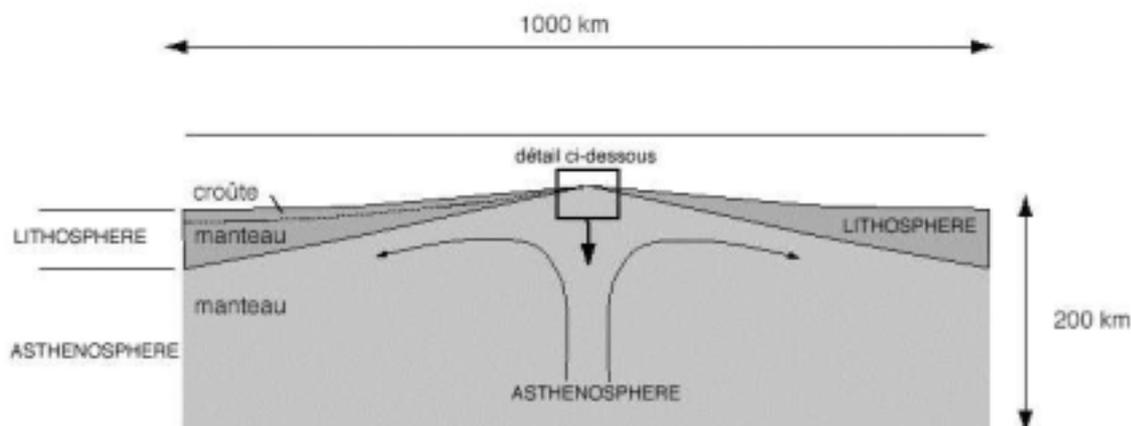
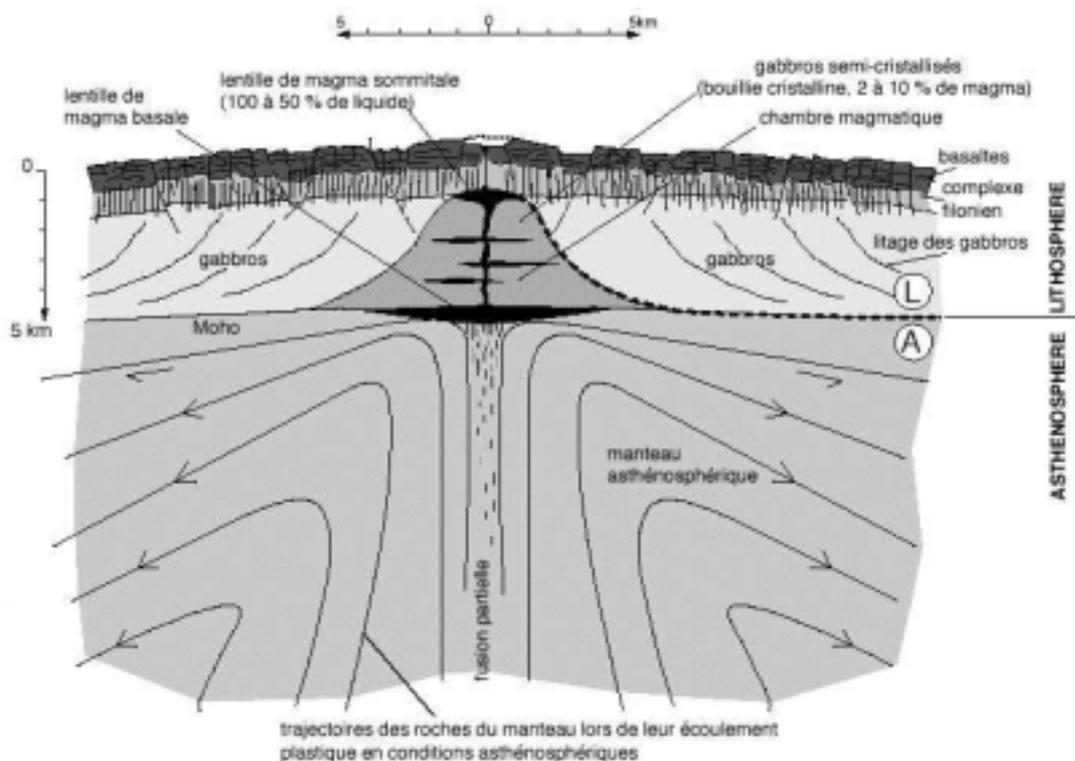


Figure B
Coupe synthétique montrant les divers éléments structuraux et lithologiques typiques des dorsales rapides, à production continue de croûte océanique.



Commentaires sur les figures A et B

Il ne faut pas confondre la dorsale et l'axe de la dorsale. La **dorsale** est une structure très vaste, un bombement morphologique symétrique à l'échelle d'un océan (large de plusieurs milliers de kilomètres).

L'**axe** d'une dorsale est la partie centrale, active de cette structure où se produisent les phénomènes volcaniques et tectoniques responsables de la création de lithosphère océanique nouvelle. La tectonique est active sur une largeur de 20 km environ.

La figure A permet de mettre en place la notion de lithosphère et d'asthénosphère au niveau des dorsales océaniques.

La figure B, qui est un détail d'une zone axiale de dorsale rapide, permet de visualiser ces processus axiaux.

La lithosphère et l'asthénosphère doivent être distinguées selon des critères *rhéologiques*, c'est-à-dire relatifs au comportement mécanique. Cette distinction est apparue très tôt aux géologues qui ont compris dès le début du xx^e siècle, en étudiant le rebond post-glaciaire et la charge des deltas sous-marins, que sous une enveloppe superficielle capable de ployer élastiquement doit nécessairement exister une enveloppe plus chaude capable de fluer, c'est-à-dire de s'écouler. Ce fluage se fait à l'état solide.

Figure A

On remarque l'augmentation progressive des profondeurs de part et d'autre de l'axe de la dorsale résultant du processus de subsidence thermique. Dans les conditions proches de la surface de la Terre (jusqu'à 100 km de profondeur), le comportement des roches du manteau est essentiellement sous le contrôle de la température. Au-dessous de 1 200 °C, le manteau supérieur, constitué de péridotites appauvries, se trouve dans les conditions lithosphériques. Au-dessus de cette température, il est dans les conditions asthénosphériques. L'isotherme 1 200 °C est donc la limite *fondamentale* qui conditionne le comportement de la partie externe de notre globe. Du fait du refroidissement progressif des roches de la lithosphère océanique à mesure de leur migration de part et d'autre de l'axe des dorsales, l'isotherme des 1 200 °C tend à s'enfoncer progressivement et symétriquement de part et d'autre de l'axe de la dorsale et la lithosphère s'épaissit ainsi jusqu'à atteindre 80-100 km d'épaisseur sous les océans les plus âgés. La température générale s'abaissant, la densité moyenne augmente et la plaque s'enfonce dans l'asthénosphère. Les fonds marins s'approfondissent régulièrement depuis les bords de l'axe de la dorsale jusqu'aux plaines abyssales, de 2 500 à 4 000 m.

La *lithosphère* est l'enveloppe supérieure rigide, mais aussi élastique à long terme, qui transmet les contraintes. Ainsi une force appliquée à une limite de plaque lithosphérique est transmise de proche en proche aux autres limites sans que la plaque ne se déforme significativement (on constate qu'il n'y a en effet pas – ou peu – de séismes intraplaques). Elle est élastique puisqu'elle peut reprendre sa forme après une déformation faible à grande longueur d'onde (charge glaciaire par exemple). En revanche, elle subit des dommages permanents dans le cas de collisions. La croûte continentale et la croûte océa-

nique, toujours à des températures inférieures à 1 200 °C, se trouvent donc systématiquement dans les conditions de la lithosphère.

Dans l'*asthénosphère*, les roches restent essentiellement solides, mais au sommet de cette enveloppe, du fait de la température élevée et de la pression encore relativement faible, une infime portion du manteau supérieur est fondue (moins de 1 %, c'est la LVZ (*Low Velocity Zone*), sauf à l'axe des dorsales où le magma tend à se concentrer. Dans l'asthénosphère, du fait de la température plus élevée, une contrainte faible engendre un mouvement de fluage et l'ensemble du manteau peut donc s'écouler lentement à l'état *solide* (processus de convection du manteau). On le voit, le comportement est donc totalement différent de celui de la lithosphère.

Figure B

La quantité de magma produite à l'axe des dorsales rapides est importante, de ce fait la croûte est épaisse et toujours continue. Celle-ci résulte de la cristallisation de magmas extraits du manteau remontant sous l'axe selon un gradient adiabatique (la remontée est assez rapide pour que le manteau n'échange pas de chaleur). La fusion partielle et l'extraction commencent vers 60 km de profondeur. Après la fusion, les zones du manteau concernées quittent la zone sub-axiale selon les trajectoires indiquées, presque horizontalement. Les magmas sont collectés sous l'axe et se rassemblent par injection de sills dans une zone à très haute température, autrefois appelée chambre magmatique, qui est en fait un assemblage serré de cristaux baignant dans le magma (terme souvent employé, à la suite de A. Nicolas : la « bouillie cristalline »). Les données sismiques nous montrent qu'il existe souvent un réservoir de magma (qu'on peut considérer comme contenant 100 % de liquide) au sommet de la bouillie cristalline. Il est de faible épaisseur (50-200 m) et d'une largeur pouvant atteindre 1 km. Il peut être continu sous un segment entier (de l'ordre de plusieurs dizaines de kilomètres). Un second réservoir pourrait exister au niveau du Moho, à la base de la bouillie cristalline. Les gabbros proviennent de la cristallisation complète de la bouillie cristalline de la zone axiale, la cristallisation se fait du toit (plus froid, car refroidi par l'hydrothermalisme) vers le bas. Les filons du complexe filonien en s'injectant les uns dans les autres montrent que la dorsale est le siège d'une expansion continue. Ils sont extraits de la lentille de magma sommitale.

La croûte et le manteau sont des entités *lithologiques* dont la composition minéralogique et chimique diffèrent. La croûte océanique provient de la cristallisation des magmas extraits du manteau.

Figure C

Diagramme pression-température simplifié présentant les transformations minéralogiques qui accompagnent l'évolution (refroidissement, hydratation) des roches de la croûte océanique au fur et à mesure qu'elles s'éloignent de la dorsale.

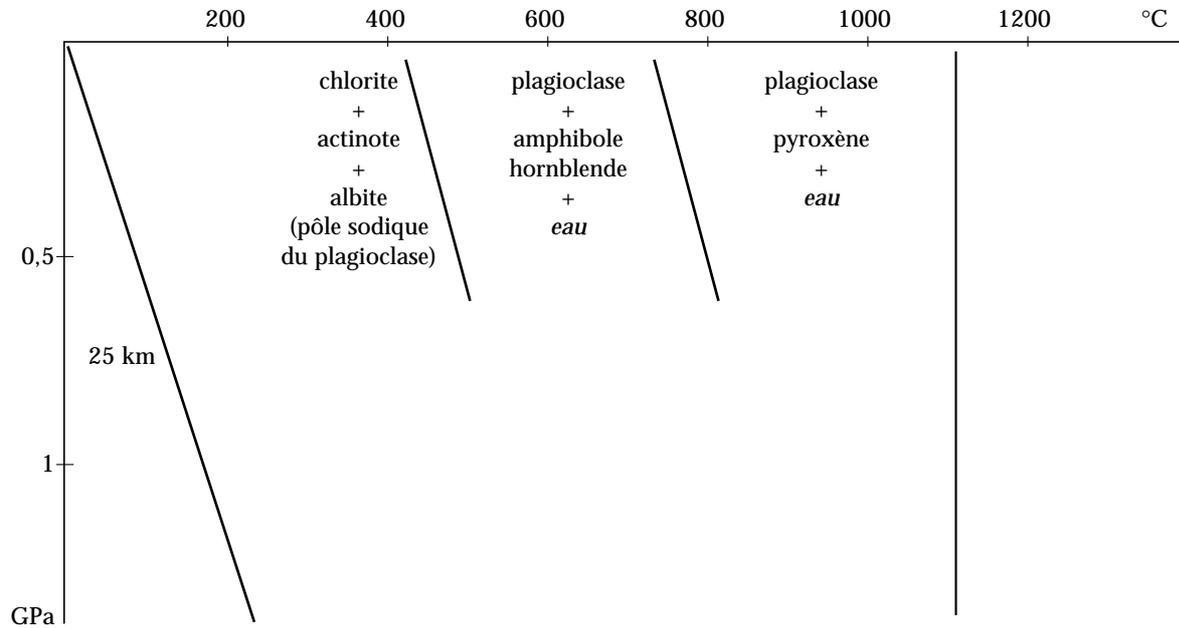
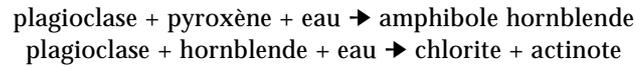
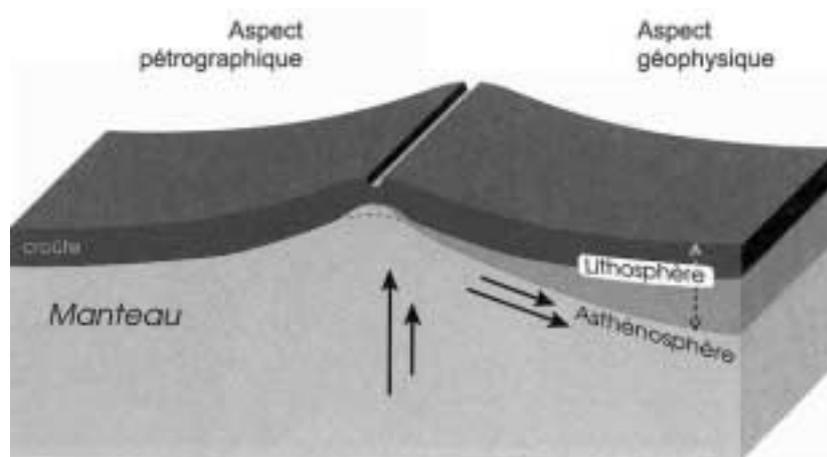


Figure D

Schéma de la lithosphère qui s'épaissit tandis que la croûte océanique « magmatique » (basaltes, complexe filonien, gabbros) garde une épaisseur constante. D'après Nicolas A., *Les Montagnes sous la mer*, Éditions BRGM, 1999 (www.brgm.fr).



Sciences de la vie

Des phénotypes à différents niveaux
d'organisation du vivant



u génotype au phénotype, relations avec l'environnement

■ 6 semaines.

Cette partie du programme nécessite la maîtrise des connaissances de la classe de seconde concernant la structure de l'ADN.

Un des objectifs fondamentaux de cette partie est de mettre en place les modalités élémentaires de l'expression des gènes et donc la façon dont ils interviennent dans la réalisation du phénotype. Un second objectif est de montrer la complexité des relations entre génotype et phénotype et de casser l'idée d'un déterminisme strict entre allèle et phénotype macroscopique.

La diversité des phénotypes

À l'aide d'exemple(s), on identifie les différentes échelles de définition du phénotype (macroscopique, cellulaire, moléculaire). Cette étude permet de constater des différences dans les structures des protéines concernées par les phénotypes alternatifs étudiés ; les phénotypes alternatifs sont les variations d'un même caractère présentées par divers individus de la même espèce.

Les liens complexes pouvant exister entre les différents niveaux de définition du phénotype sont ainsi établis. Dans ce chapitre, on s'attache à la précision du vocabulaire de manière à ne pas utiliser des expressions comme « gène d'une maladie ».

L'éventuelle présentation d'un arbre généalogique permet seulement de sensibiliser au caractère héréditaire des phénotypes envisagés, mais l'analyse précise de cet arbre est exclue.

On met en parallèle phénotype moléculaire et séquence nucléotidique : la notion d'allèle vue en classe de seconde est réinvestie. On souligne ainsi qu'un allèle s'exprime par la synthèse d'un polypeptide.

Il est nécessaire de familiariser les élèves avec la structure primaire d'une protéine, dont dépend sa structure spatiale. La structure primaire est bien définie et l'on précise qu'il existe une vingtaine d'acides aminés.

Limites (ne sont pas exigibles)

– La structure secondaire (hélice alpha et feuillet bêta) des protéines*.

– Les problèmes de génétique des populations : la répartition géographique de divers phénotypes*.

– L'étude précise et la construction d'arbres généalogiques*.

Des protéines actives dans la catalyse : les enzymes

L'activité des protéines contribue à la réalisation du phénotype : l'étude des enzymes correspond à une illustration de ce fait.

L'activité catalytique ainsi que la double spécificité des enzymes sont étudiées expérimentalement.

L'examen de la variation de la vitesse initiale de la réaction en fonction de la concentration initiale de substrat a permis de comprendre historiquement la formation du complexe enzyme-substrat.

La notion de site actif, résultant de la structure spatiale de la protéine, est précisée : on distingue site de reconnaissance, en liaison avec la spécificité de substrat, et site catalytique, en liaison avec la spécificité d'action.

Les variations de l'activité enzymatique en fonction des conditions de l'environnement peuvent être à l'origine d'une certaine plasticité du phénotype. Les conditions du milieu (température, pH, etc.) peuvent modifier la structure spatiale de la protéine et l'enzyme peut devenir non fonctionnelle.

Des changements de la structure primaire suite à une mutation peuvent également modifier la structure spatiale de la molécule et dans ce cas l'enzyme synthétisée peut être non fonctionnelle. Le phénotype macroscopique ou cellulaire est alors altéré.

Limites (ne sont pas exigibles)

– L'étude de l'allostérie.

– L'étude des coenzymes.

– La discussion sur les limites de la spécificité des enzymes*.

- La nature des liaisons enzyme-substrat au niveau du site actif*.
- Les lois de la cinétique enzymatique.

La synthèse des protéines

Il s'agit de mettre en place les deux grandes étapes de la synthèse : transcription et traduction.

Le brin transcrit sert de matrice à la construction de l'ARN messager (ARNm), construction catalysée par l'ARN polymérase.

La synthèse protéique est localisée dans le cytoplasme et décrite de manière très simple : les ribosomes sont présentés comme des outils de cette synthèse ; le codon initiateur oriente la lecture du message contenu dans l'ARNm et la traduction s'arrête au codon STOP.

Les élèves apprennent à utiliser le code génétique. Ce code génétique est universel, non ambigu et dégénéré (le doublet initial peut être seul déterminant) ; la nature dégénérée du code a pour conséquence sa redondance.

Limites (ne sont pas exigibles)

- La notion de gène morcelé.
- Le contrôle de la transcription.
- La maturation des ARN.
- La maturation et le devenir des protéines.
- La notion d'ARNt*.
- La structure du ribosome*.

Complexité des relations entre gènes, phénotypes et environnement

Un premier niveau de complexité résulte de la présence de deux allèles d'un même gène dans les cellules diploïdes. Un même gène peut exister sous la forme de nombreux allèles.

Les notions de dominance et de récessivité (envisagées en troisième) peuvent être discutées ; seules les notions d'*homozygotie*, d'*hétérozygotie*, d'allèle conduisant à une protéine fonctionnelle ou non, sont nécessaires.

Un second niveau de complexité résulte du fait qu'un phénotype peut dépendre de l'expression de plusieurs gènes.

Pour un même phénotype macroscopique, plusieurs génotypes sont possibles.

Avec un nombre limité d'exemples, on montre que le phénotype macroscopique dépend non seulement des gènes mais aussi de facteurs environnementaux ; il s'agit seulement de dresser un constat, les phénomènes explicatifs ne sont pas évoqués mais il s'agit de comprendre qu'un même génotype peut conduire à des phénotypes macroscopiques différents. On remet ainsi en question le caractère univoque du lien direct qui pourrait être encore fait entre la possession de deux allèles d'un gène et le phénotype macroscopique.

Limites (ne sont pas exigibles)

- Les différentes mutations*.
- La restitution d'exemples*.
- L'interprétation d'un arbre généalogique*.
- Les modes de régulation des facteurs extérieurs sur l'expression des gènes*.

L a morphogenèse végétale et l'établissement du phénotype

■ 5 semaines.

Ce chapitre s'appuie sur les connaissances acquises en classe de seconde et permet de réinvestir les notions sur l'organisation de la cellule végétale, le contrôle génétique de la division cellulaire et la structure de la molécule d'ADN.

L'ensemble du programme de première S s'articule autour de la relation existant entre le génotype et le phénotype d'une espèce. On a déjà établi dans le premier chapitre et chez les animaux, la complexité des relations entre gène, phénotype et environnement. Il s'agit ici, chez les végétaux, de prolonger et d'approfondir ces relations et donc de comprendre :

– que l'établissement du phénotype met en jeu un ensemble de processus biologiques gouvernés par le génome (mitose, métabolisme cellulaire, action des hormones, mise en place des structures de l'organisme) ;

– que la diversité phénotypique des végétaux est soumise à la variabilité de facteurs biotiques et abiotiques.

On conforte ainsi l'idée que le phénotype morphologique chez les végétaux résulte, comme chez les animaux, de l'expression du génotype et de sa modulation par l'environnement.

Cette partie du programme donne l'occasion de mettre en œuvre de très nombreuses manipulations. Certaines d'entre elles concernant la croissance demandent un temps supérieur au temps imparti aux travaux pratiques. La stratégie pédagogique doit être adaptée à ces contraintes.

La diversité morphologique des végétaux

Cette première partie introductive a pour objectif d'observer et de décrire la diversité morphologique des végétaux. On souligne dans chacun des cas, sans approfondir les mécanismes, la relation entre la morphologie du végétal, les caractéristiques génétiques de l'espèce et les conditions environnementales.

Pour cela, on s'appuie sur trois exemples qui peuvent être rencontrés, notamment au cours de la sortie de terrain :

– la diversité du port ou de la morphologie des végétaux en fonction de leur espèce et donc de leurs propres caractéristiques génétiques ;

– la variation morphologique végétale au sein d'une même espèce sous l'influence des conditions environnementales ;

– la convergence de formes et de structures de certains organes dans des espèces différentes soumises aux mêmes conditions environnementales.

Limites (ne sont pas exigibles)

– *Les mécanismes de l'adaptation d'une espèce à des conditions de milieu*.*

La morphogenèse : division et croissance cellulaire

La diversité morphologique et ses relations avec le génotype et les conditions environnementales ayant été constatées à l'échelle de l'organisme, on va rechercher, observer et décrire les processus cytologiques qui sont liés à la réalisation architecturale du phénotype morphologique.

Ainsi la mitose, la croissance en longueur et la différenciation cellulaire sont reconnues dans des territoires spécialisés comme des événements cellulaires liés à la morphogenèse. D'un point de vue pratique, le méristème radicaire et les territoires associés semblent les mieux appropriés pour montrer la localisation des zones de mitose, de croissance et de différenciation.

Mais on peut aussi comparer cette organisation à celle des apex caulinaires responsables de la morphogenèse des parties aériennes. La notion de croissance indéfinie peut être abordée à cette occasion. Au cours de la vie du végétal, tant que les méristèmes restent fonctionnels, la croissance et l'organogenèse se poursuivent bien que la plupart des cellules soit différenciée.

Limites (ne sont pas exigibles)

- La description détaillée des structures des méristèmes.
- La description détaillée des cellules différenciées.
- Les mécanismes de la différenciation cellulaire et de l'organogenèse.
- La morphogenèse des feuilles.
- Le contrôle du fonctionnement des méristèmes et la croissance en épaisseur.

La mitose : un processus commun aux cellules eucaryotes

La mitose a été vue précédemment comme un processus étroitement lié à la croissance. On va lui donner ici son sens génétique. Le cycle cellulaire permet au cours de l'interphase une réplication semi-conservative de la molécule d'ADN fondée sur la complémentarité des bases azotées dans la cellule mère. La réplication semi-conservative de l'ADN a été mise en évidence chez les procaryotes par Meselson et Stahl ; elle sert de support pédagogique à la description de la réplication de l'ADN abordée dans le programme chez les cellules eucaryotes.

La mitose assure au niveau cellulaire une répartition à l'identique de l'information génétique dans les cellules filles. Pour donner la dimension commune au processus de la mitose chez les eucaryotes, on a la possibilité de choisir un exemple de cycle cellulaire parmi les espèces animales.

À l'interphase, des synthèses permettent aussi l'accroissement du matériel cytoplasmique qui sera réparti équitablement entre les deux cellules filles au cours de la mitose.

Limites (ne sont pas exigibles)

- La description détaillée des phases de la mitose*.
- Les différences entre mitose animale et mitose végétale*.
- Le contrôle du cycle cellulaire.
- Les mécanismes de la mitose (formation et fonctionnement des fibres du fuseau achromatique, formation du phragmoplaste...)*.
- L'organisation des chromosomes*.

Contrôle de la croissance cellulaire dans la tige par une hormone : l'auxine

L'élongation cellulaire ayant été mise en évidence précédemment, on recherche dans un premier temps les particularités structurales de la paroi cellulaire primaire (plasticité) et la propriété physiologique (pression de turgescence) conditionnant la possibilité de grandissement. En effet, pour permettre l'élongation cellulaire, ces particularités structurales

et physiologiques sont nécessairement requises au même moment.

Sur le plan structural, la paroi cellulaire est essentiellement composée de polysaccharides dont la cellulose, les pectines et les hémicelluloses. On sensibilise à la complexité de l'architecture moléculaire de la paroi et à la possibilité de sa déformation sous l'action de forces de pression.

Les expériences de turgescence et plasmolyse pratiquées sur des cellules adultes peuvent être utilisées pour mettre en évidence l'existence d'une pression qui s'exerce sur la paroi cellulaire. Sur ces cellules adultes, cette pression provoque des déformations réversibles (élastiques) de la paroi secondaire. Sur des cellules jeunes, cette pression est à l'origine de déformations irréversibles (plastiques) de la paroi primaire indispensable au grandissement. L'utilisation de protoplastes permet de mieux comprendre l'importance des relations entre pression intra-cellulaire et paroi. L'élongation ayant été expliquée, on oriente la recherche vers les facteurs susceptibles de la favoriser. Les observations peuvent être réalisées sur des hypocotyles ou des coléoptiles, organes dont l'agrandissement est lié uniquement à l'élongation des cellules.

On introduit ainsi le contrôle de la croissance par un facteur d'origine interne : l'auxine. La mise en évidence d'une hormone végétale (l'auxine) agissant à partir de l'apex sur l'élongation peut être réalisée sur des coléoptiles (expériences historiques : Went, Thimann). Ces expériences permettent de mettre en évidence deux zones distinctes du coléoptile : la zone émettrice d'auxine située dans l'apex et la zone réceptrice située plus bas dans le coléoptile. L'auxine est une hormone végétale, messenger chimique émis par des cellules sécrétrices qui transmet son information à distance à d'autres cellules cibles pourvues de récepteurs spécifiques. La production d'auxine est ensuite replacée dans le cadre plus général de la plante entière. Les mécanismes d'action de l'auxine sont traités simplement sur documents, sans démonstration. On indique sa double action : à court terme sur la plasticité de la paroi et à plus long terme sur l'expression des gènes du métabolisme (action de l'auxine sur la transcription et l'expression d'enzymes assurant la formation des polysaccharides, matériaux nécessaires à la croissance de la paroi cellulaire).

Avec cette action à long terme de l'auxine, on a de nouveau souligné le contrôle de la morphogenèse par le génotype.

Limites (ne sont pas exigibles)

- Les mécanismes de synthèse et de construction de la paroi (synthèse de la cellulose, construction de la paroi et diversité des molécules qui la composent).
- Les mécanismes détaillés des échanges hydriques, les notions de potentiel hydrique et de pression osmotique.

- *Les mécanismes moléculaires détaillés de l'action de l'auxine sur la paroi.*
- *Les mécanismes de transport de l'auxine*.*

Le développement du végétal : influence de la répartition des hormones en interaction avec l'environnement

La dernière partie de ce chapitre traite de l'action associée des facteurs internes (hormones) et des facteurs externes (environnement) sur la morphogenèse. On se place dans deux situations : plante entière et cultures *in vitro*.

Sur la plante entière, deux types d'interaction sont développés :

- Une interaction entre les hormones de croissance et l'intensité lumineuse à l'origine de la croissance orientée (phototropisme).

On montre que sous l'action d'un éclairage unilatéral, l'auxine s'accumule par migration latérale du côté le moins éclairé. L'élongation différentielle est liée à un mécanisme de redistribution de l'auxine à l'intérieur des tissus.

D'autres tropismes, comme le gravitropisme responsable de la croissance verticale des végétaux, peuvent aussi être pris comme exemples de la répartition inégale des hormones.

- Le développement harmonieux de rameaux latéraux est sous le contrôle antagoniste de l'auxine et

des cytokinines en provenance des racines. Les expériences sur la dominance apicale permettent d'introduire cette notion.

De la même façon, la formation de nouvelles racines est principalement sous le contrôle de l'auxine.

En culture *in vitro*, une organogenèse provoquée associe la totipotence (propriété de dédifférenciation) des cellules végétales et leur réponse aux hormones (considérées ici comme facteurs de croissance végétale). En milieu de culture favorable et stérile et sous l'action de diverses hormones végétales, on stimule la caulogenèse et la rhizogenèse d'explants et de cals pour obtenir de jeunes plantes morphologiquement identiques. L'importance des concentrations d'auxine sur la rhizogenèse peut être abordée à partir d'expérimentations sur le bouturage (action de « poudres à boutures » à base d'auxine).

En conclusion, un bilan peut être construit sur l'établissement du phénotype morphologique chez les plantes. Il traduit le fait que le phénotype morphologique d'une plante est le résultat des interactions entre l'expression du génotype et son contrôle par l'action associée de facteurs internes (hormones) et externes (environnement). Ces relations sont prises en compte aujourd'hui dans les pratiques culturales. Elles témoignent de l'intérêt des études biologiques fondamentales pour les progrès des pratiques horticoles et agricoles.

Limites (ne sont pas exigibles)

- *Les mécanismes d'action des cytokinines.*

L a régulation de la glycémie et les phénotypes diabétiques

■ 3 semaines.

En classe de seconde, il a été vu que l'organisme peut s'adapter à des variations de l'environnement. L'exemple choisi (l'effort musculaire) a permis de montrer la participation et la coordination de deux systèmes, respiratoire et circulatoire, pour assurer l'approvisionnement nécessaire en dioxygène et en glucose des cellules musculaires. La mise en réserve du glucose sous forme de glycogène dans ces mêmes cellules a été soulignée.

Ce thème de première S aborde pour la première fois au lycée la régulation hormonale d'une fonction physiologique, qui intègre la contribution de facteurs génétiques multiples et de nombreux facteurs environnementaux. Seule la régulation à court terme est envisagée.

L'homéostat glycémique

La glycémie (un des paramètres du milieu intérieur) est maintenue stable à court terme malgré des variations importantes quotidiennes chez une personne de phénotype non diabétique (du point de vue physiologique). La glycémie oscille en permanence autour d'une valeur physiologique voisine de $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ qui est la grandeur de consigne.

Cette valeur est ajustée en permanence, alors que les apports alimentaires glucidiques et les besoins tissulaires en glucose varient considérablement au cours de la journée. Ceci suggère la mise en œuvre d'un système de régulation.

Le glucose est un nutriment dont l'apport est irrégulier et dont l'utilisation peut être immédiate ou retardée. Il peut être stocké : le foie joue un rôle majeur comme organe assurant la gestion des réserves glucidiques. Le fonctionnement des cellules musculaires et des cellules du tissu adipeux contribue aussi à cette régulation mais de façon moins directe.

L'ajustement permanent de la glycémie nécessite la présence de capteurs sensibles aux variations de la valeur de la glycémie : ce sont des détecteurs d'écarts. Ces capteurs de la glycémie sont des

cellules endocrines situées dans les îlots de Langerhans du pancréas et sont de deux sortes : les cellules α et les cellules β . Chaque type cellulaire émet un messenger chimique, sécrétion endocrine, appelé hormone : l'insuline par les cellules β et le glucagon par les cellules α . C'est l'occasion de définir une hormone dans un organisme animal.

Le message hormonal est codé par la concentration plasmatique de l'hormone. À chaque instant, cette concentration plasmatique dépend de la vitesse de sécrétion des hormones et de celle de leur dégradation (demi-vie).

Les hormones n'agissent que sur les cellules cibles, c'est-à-dire des cellules qui expriment des récepteurs spécifiques à ces hormones.

Le pancréas endocrine produit deux hormones aux effets antagonistes dont le mode d'action est défini :

- l'insuline agit sur toutes les cellules de l'organisme sauf les cellules nerveuses ; cependant, certaines cellules de l'hypothalamus impliquées dans le contrôle de l'appétit sont pourvues du récepteur de l'insuline. Elle augmente l'utilisation cellulaire du glucose : elle est donc hypoglycémiant. Elle active la pénétration du glucose dans les cellules et son catabolisme intracellulaire. Elle permet le stockage du glucose sous forme de glycogène dans le foie et dans les cellules musculaires squelettiques (glycogénogenèse). Elle permet également au foie de synthétiser des triglycérides à partir du glucose. Ces lipides sont aussitôt exportés vers le tissu adipeux (déviations pathologiques : le foie gras d'oie ou de canard, le foie des alcooliques) ;

- le glucagon agit essentiellement sur les cellules hépatiques. Il est hyperglycémiant et favorise la libération du glucose par le foie dans la circulation générale (glycogénolyse).

La glycémie (valeur de consigne relativement stable = $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) est la grandeur réglée du système réglé (compartiment plasmatique). Le système réglant utilise des capteurs enregistrant les écarts de la glycémie et l'ensemble des organes et mécanismes qui sont amenés à réagir pour corriger ces écarts. Les cellules α et β sont les détecteurs d'écarts et en même

temps elles constituent le système de commande de la régulation en adaptant leur sécrétion hormonale à la situation. Les écarts à la valeur de consigne sont corrigés automatiquement (boucle de rétro-action négative ; régulation en constance).

Limites (ne sont pas exigibles)

- Les mécanismes de transfert transmembranaire du glucose.
- Les autres paramètres stimulateurs de la sécrétion d'insuline et du glucagon.
- L'augmentation de la capture des acides aminés et la synthèse des protéines sous l'effet de l'insuline.
- Les autres hormones qui interviennent dans la régulation de la glycémie.
- La régulation de la prise alimentaire et la physiologie du jeûne prolongé.
- Les mécanismes de la lipogenèse.
- Les boucles de régulation plus complexes sous-tendant des processus de régulation à long terme*.

Les phénotypes diabétiques

Les phénotypes diabétiques sont la conséquence de dérèglements pathologiques du système de régulation glycémique. Au niveau métabolique, les phénotypes diabétiques (diabète sucré) sont définis par une hyperglycémie chronique. Il n'y a pas un diabète sucré mais des diabètes sucrés dont les causes sont différentes.

On distingue deux grands types de diabète :

- le diabète de type 1 est caractérisé par la destruction totale des cellules β (pas d'insuline produite) et l'augmentation du nombre des cellules α ; on constate une reconstitution du pancréas ;
- le diabète de type 2 est caractérisé par une double pathologie, affectant les cellules cibles de l'insuline (insulino-résistance) et les cellules β (déficit de sécrétion de l'insuline).

Facteurs génétiques et facteurs environnementaux

Il faut insister sur l'importance des études épidémiologiques pour l'identification de ces facteurs, et leur importance relative dans le déterminisme des diabètes.

L'exemple type est celui du risque de diabète chez les vrais jumeaux : si l'un des deux est atteint de diabète de type 1, l'autre n'a que 40 à 50 % de risque d'être atteint. Dans le cas du diabète de type 2, le risque d'être atteint pour le deuxième est de 90 %. Le génotype n'est donc pas seul en cause ; des facteurs environnementaux interviennent.

Facteurs génétiques

- Un gène = un diabète ? Il existe des diabètes monogéniques dans le type 2 seulement, mais ils

sont rares et donc non représentatifs de la majorité des cas de type 2 (5 % des cas, au plus). Ce sont les diabètes dits « Mody » (*maturity onset diabetes of the young*) : les cinq formes différentes identifiées à l'heure actuelle correspondent à cinq gènes différents. Ces diabètes sont intéressants dans la mesure où ils illustrent la variété des gènes affectés (gènes des enzymes du métabolisme du glucose – glucokinase, gènes des facteurs de transcription nécessaires pour la différenciation de la cellule β ou la synthèse de l'insuline).

- Plusieurs gènes = un diabète ? C'est l'immense majorité des cas : 95 % des types 2 et tous les types 1. Ce sont des diabètes dits polygéniques : des associations complexes entre plusieurs gènes mutés sont responsables de la maladie. La mutation d'un seul d'entre eux n'est pas suffisante pour déclencher ces pathologies (notion de gène de susceptibilité).

Dans la plupart des cas, il ne suffit pas de posséder la combinaison génique pour développer automatiquement la maladie : il faut y adjoindre l'effet de un ou plusieurs facteurs d'environnement qui auront le rôle de facteur déclenchant (analogie avec un cadenas à combinaisons multiples).

Dans le cas des types 1, des études épidémiologiques ont montré une corrélation entre la présence de certains gènes et les phénotypes diabétiques (DR3 et DR4) ; ces gènes sont donc qualifiés de *gènes de susceptibilité*. Plus de 90 % des patients de type 1 possèdent ou DR3 ou DR4, alors que dans la population saine ce pourcentage n'est que de 40 à 50 %. Si on recherche la présence simultanée de DR3 et DR4, on la trouve chez 30 à 50 % des diabétiques alors que sa fréquence n'est que de 6 % dans la population saine.

Dans le cas des type 2, l'identification des gènes affectés est fondée sur les données de la physiologie : tout gène dont le produit est impliqué dans la régulation de la sécrétion de l'insuline et/ou l'effet cellulaire de l'insuline, de la croissance et différenciation des cellules β devient un gène candidat. L'identification de ces gènes repose sur la connaissance des modèles animaux de diabète (modèles spontanés, modèles issus de manipulations génétiques).

À l'heure actuelle, on connaît un certain nombre de mutations mineures affectant le fonctionnement de certains gènes candidats, ces mutations étant impliquées dans les fonctions biologiques précitées. Cependant, ces mutations à elles seules et prises séparément ne suffisent pas à expliquer la maladie.

Facteurs environnementaux

Pour le diabète de type 1, les facteurs environnementaux restent mal définis : virus, certains constituants alimentaires (certaines protéines du lait de vache), certains polluants des aliments (nitrosamines).

Pour le diabète de type 2, l'état nutritionnel (hyperphagie, surpoids) et le comportement (sédentarité) sont clairement en cause dans l'apparition de la maladie ; il présente donc un lien direct avec l'obésité.

Traitement des diabètes et médecine prédictive

Pour les deux types de diabète, les traitements restent pour l'heure symptomatiques (combattre l'hyperglycémie et l'hyperlipidémie chroniques, la gluco-toxicité) et ne permettent certainement pas de prévenir la maladie. Pour les deux types de diabète, la connaissance des facteurs de susceptibilité pro-

gresse actuellement. En l'absence de mesures efficaces de prévention (la seule valable actuellement passe par l'amélioration de l'alimentation dans la population générale et principalement celle des jeunes, qui présentent un risque important de diabète de type 2), l'identification des sujets à risque se met en place et peut soulever des problèmes sur le plan éthique (embauche professionnelle, contrat d'assurance).

Limites (ne sont pas exigibles)

- *L'étude détaillée du diabète de type 1.*
- *L'étude détaillée des divers polymorphismes géniques associés au diabète de type 2.*

L es parts du génotype et de l'expérience individuelle dans le fonctionnement du système nerveux

■ 6 semaines.

L'étude du fonctionnement du système nerveux s'intègre au thème général des sciences de la vie : « Des phénotypes à différents niveaux d'organisation du vivant ». Les réflexes innés ou la perception du monde extérieur ne sont pas spontanément envisagés par les élèves comme des phénotypes d'un individu au même titre que ses autres caractéristiques. Il s'agit donc de mener une réflexion aux différents niveaux d'organisation du vivant pour permettre une appréhension du système nerveux sous cet angle général. Au collège comme en seconde, le message nerveux n'est pas décrit et le rôle des centres nerveux est à peine abordé. Il s'agit donc aussi de fournir les connaissances de base sur la communication nerveuse et le rôle des centres nerveux.

Cette partie du programme se termine par l'étude de la neuroplasticité, concept indispensable pour comprendre la part de l'expérience individuelle complétant la part du génotype dans le fonctionnement du système nerveux.

Dans cette partie, les activités envisageables sont nombreuses et variées (observations microscopiques, étude d'enregistrements, utilisation de l'ExAO et de logiciels de simulation...). Ces activités permettent de construire aisément les notions essentielles du cours.

En classe terminale scientifique, dans la partie reproduction, les notions de message nerveux et d'intégration seront réinvesties à propos du rôle de l'hypothalamus.

Les propriétés intégratrices des centres nerveux et le fonctionnement des neurones

Les circuits neuroniques médullaires mobilisés au cours du réflexe myotatique

L'exemple imposé est celui du réflexe myotatique, phénotype comportemental d'un individu.

Ce réflexe est présenté sous ses deux aspects : l'aspect tonique responsable de la posture et l'aspect phasique mis en évidence par les réflexes rotulien ou achilléen.

L'interprétation des enregistrements par ExAO des électromyogrammes des muscles mis en jeu au cours de ces réflexes oblige à utiliser sans la détailler la manifestation électrique de la contraction musculaire comme témoin de son activité.

Au niveau cellulaire, la notion d'unité motrice est définie.

Finalement, l'objectif est de comprendre par une étude expérimentale l'organisation des réseaux neuroniques responsables de ce réflexe ; c'est-à-dire le phénotype à l'échelle cellulaire. L'innervation réciproque permet de placer les interneurons inhibiteurs.

Limites (ne sont pas exigibles)

– L'étude détaillée du fuseau neuromusculaire.

– L'étude détaillée du récepteur sensoriel et de la plaque motrice.

– La structure et le fonctionnement des fibres musculaires.

Les potentiels d'action et les messages nerveux

L'étude de messages nerveux enregistrés au niveau des fibres nerveuses en différents points du réseau neuronique permet de définir ces messages comme des trains de potentiels d'action codés en fréquence. Les messagers ou potentiels d'action sont des inversions de la polarisation membranaire définie par le potentiel de repos, caractéristique de toute cellule.

L'étude du potentiel global de nerf permet de comprendre le second mode de codage au sein du système nerveux : le recrutement variable du nombre de fibres nerveuses en fonction de l'intensité de la stimulation.

L'étude du fonctionnement de la jonction neuromusculaire peut permettre une première approche

simple du fonctionnement synaptique (fonctionnement excitateur au coup par coup). Le neurotransmetteur est le stimulus chimique de la cellule post-synaptique. La localisation des vésicules pré-synaptiques et des récepteurs membranaires post-synaptiques au neurotransmetteur explique le sens de conduction du message nerveux.

La complexité du fonctionnement des centres nerveux s'explique par l'existence de synapses excitatrices et de synapses inhibitrices et par le fait que les synapses excitatrices ne fonctionnent pas au coup par coup. La quantité de neurotransmetteur excitateur libérée par un potentiel d'action pré-synaptique est insuffisante pour déclencher un potentiel d'action post-synaptique.

La notion d'intégration est démontrée à deux échelles différentes :

– à l'échelle de l'organisme, par la réalisation simultanée d'un réflexe myotatique et d'une activité volontaire ou d'un réflexe myotatique et d'un réflexe nociceptif d'évitement ;

– à l'échelle des motoneurones, par des enregistrements et des expérimentations diverses. Au cours d'un réflexe achilléen ou rotulien, dans la moelle épinière, l'activité des motoneurones responsables du tonus des muscles impliqués est modifiée. La fréquence des potentiels d'action des motoneurones du muscle étiré est augmentée, alors que celle des motoneurones du muscle antagoniste est diminuée voire annulée.

Au niveau cellulaire, il importe d'abord de montrer l'organisation divergente et convergente des circuits neuroniques. La convergence au niveau d'un motoneurone permet d'interpréter la sommation spatiale.

Cette notion ainsi que celle de la sommation temporelle sont au programme car indispensables à la compréhension de la notion d'intégration. Les mécanismes moléculaires et électriques de la sommation ne sont pas au programme : on ne traite donc pas les notions de PPS et de seuil de dépolarisation du neurone.

Limites (ne sont pas exigibles)

– *Les notions de potentiel post-synaptique excitateur et de potentiel post-synaptique inhibiteur.*

– *Les mécanismes de la transduction (potentiel de récepteurs, potentiel générateur).*

– *Les mécanismes ioniques liés à l'activité des synapses.*

– *La notion de seuil de dépolarisation du neurone.*

– *Les gènes et les protéines responsables de phénotypes comportementaux.*

La part du génotype dans le fonctionnement du système nerveux

L'existence des réflexes innés chez tous les individus d'une même espèce est une première raison de

rechercher un contrôle génétique de ces réflexes.

L'ensemble des protéines permettant la mise en place et le fonctionnement d'un réseau de neurones impliqué dans la réalisation d'un réflexe constitue le phénotype à l'échelle moléculaire. De nombreux gènes contrôlent ces protéines. Leur connaissance n'est pas l'objet de cette partie. Il s'agit seulement de comprendre que la part du génotype dans la réalisation d'un phénotype comportemental est forcément complexe et passe par l'expression de très nombreux gènes pour la plupart inconnus. Seuls quelques exemples de mutations perturbant l'organisation des réseaux neuroniques sont connus et confirment la part du génotype (exemples : formes d'insensibilité congénitale à la douleur chez l'homme, désorganisation de circuits neuroniques du cortex du cervelet chez la souris...).

Le cortex sensoriel et la plasticité du système nerveux central

L'objectif de cette dernière partie du programme est de mettre en évidence l'influence de l'environnement sur l'établissement de certains aspects du phénotype comportemental. Le cortex peut servir d'exemple pour construire le concept de neuroplasticité. Cela nécessite de mettre en place simplement les éléments constitutifs du cortex d'un point de vue anatomique et fonctionnel. Le cortex sensoriel reçoit les informations sensorielles issues de l'environnement. Les capteurs sensoriels périphériques génèrent une information nerveuse qui va être transmise par des voies spécifiques pour chaque fonction sensorielle, jusqu'à des aires de projection corticale.

À chaque fonction sensorielle correspond donc une aire de projection corticale spécifique. Le cortex a une organisation anatomique en six couches parallèles à la surface du cortex et fonctionnelle en colonnes, chaque colonne constituant une unité d'organisation. Tous les neurones d'une colonne répondent à la même modalité de stimulation appliquée sur le même champ récepteur.

La neuroplasticité est une propriété générale du système nerveux central et n'est pas spécifique du cortex. Historiquement, elle a été mise en évidence avec les processus mis en jeu au cours du développement du système nerveux ainsi qu'au cours des récupérations fonctionnelles intervenant après une lésion. On peut lui donner de nombreuses définitions ; la plus large en rapport avec le programme de première scientifique prend en compte l'établissement de changements structuraux maintenus au cours du temps en rapport avec des variations de fonction ou de fonctionnement du système nerveux (plasticité structurale), ou encore les processus affectant durablement le fonctionnement

des réseaux neuronaux, y compris à l'échelle des relations intercellulaires (plasticité fonctionnelle envisagée au niveau synaptique).

L'objectif de cette étude est double :

– Objectif scientifique, en s'appuyant par exemple sur la mise en évidence expérimentale de cette notion de plasticité à partir de l'étude de la représentation des vibrisses de rongeurs au niveau du cortex somatosensoriel. Chez le rat, chaque vibrisse a sa propre aire de projection dans le cortex, un tonneau, que l'on peut visualiser par marquage. La cartographie des tonneaux dans le cortex est déterminée par le positionnement anatomique des vibrisses correspondantes, et l'on peut facilement établir le lien entre l'ablation d'une vibrisse à la naissance et la disparition du tonneau correspondant. Cette modification du cortex somatosensoriel s'accompagne d'une réorganisation des tonneaux des vibrisses avoisinantes. Ceux-ci vont occuper l'espace laissé vacant, proportionnellement à leur utilisation, par compensation du déficit résultant de la non utilisation de la vibrisse disparue.

Une approche génétique chez la souris permet de faire le lien avec le génotype : des espèces mutantes de souris présentant un nombre surnuméraire de vibrisses, présentent également un nombre surnuméraire de tonneaux, la cartographie des tonneaux surnuméraires étant strictement homologue à l'organisation anatomique des vibrisses.

– Objectif culturel, en permettant de faire comprendre à l'élève la part relative du génotype et du phénotype dans la construction des réseaux de neurones et dans le maintien de leur fonctionnalité au cours du temps. Ces facteurs sont décisifs dans la construction du comportement, support de la personnalité individuelle, et permettent de faire comprendre l'importance de l'influence de l'environnement (y compris l'apprentissage) dans la construction du caractère physiologique de chacun, qui contribue à en faire une personne unique.

Limites (ne sont pas exigibles)

– *Les détails de l'organisation anatomique du cortex cérébral.*

Imprimé sur les presses de l'Imprimerie nationale
27, rue de la Convention
75732 Paris Cedex 15
Dépôt légal : juillet 2002