

Programme des Sciences de la Terre en 2^{ème} Année du cycle préparatoire BST

VI et VII– Les déformations de la lithosphère et les transformations minérales associées (12h)

Sur la base d'observations d'objets réalisées en particulier sur le terrain, les études en laboratoire (mesures, expériences, modèles analogiques ou numériques...) permettent de comprendre des mécanismes et de relier les déformations repérées à différentes échelles avec leurs conditions de formation (lien à la tectonique, à la pétrographie, aux conditions dans lesquelles la déformation s'effectue). Réciproquement, la connaissance de ces éléments éclaire les données du terrain et participe à la construction des interprétations géologiques.

Connaissances clés à construire	Commentaires, capacités exigibles
VI- Les déformations des matériaux de la lithosphère (7h)	
<p>VI-A La carte géologique</p> <p>La carte géologique est une représentation bidimensionnelle de la nature et de la géométrie du sous-sol. Elle représente l'intersection d'un agencement à trois dimensions avec la surface topographique. Elle résulte de l'exploitation et de l'interprétation de diverses données : levés de terrain, photographies aériennes, forages, etc. Elle représente l'état des connaissances au moment de sa réalisation.</p> <p>Les modèles numériques de terrain (MNT) permettent d'avoir une représentation de la topographie sous une forme adaptée à l'utilisation grâce à un ordinateur numérique : Les systèmes d'information géographique (SIG) corréler les données géo référencées et produisent des cartes topographiques et des cartes thématiques (illustrer en séance de TP par des projections montrant les étapes d'élaboration d'un MNT, d'un réseau hydrographique, d'un réseau routier. à partir d'une carte numérique géoréférencée)</p> <p>Les cartes géologiques sont complémentaires dans leurs échelles (1/500 000, 1/200 000, 1/100 000, 1/50 000).</p> <p>D'autres documents cartographiques sont plus thématiques ; en particulier les cartes géophysiques (résistivités apparentes, risques sismiques, gradient géothermique), hydrogéologiques (piézométrique, hydrochimique) fournissent des renseignements de nature différente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter les légendes d'une carte géologique ; - établir des corrélations spatiales et temporelles ; - utiliser la diversité des échelles spatiales ; - repérer les indices d'exploitation (forage, mines, carrières) ; - croiser les informations provenant de cartes de types différents. <p>L'exploitation d'une notice complète (souvent très dense et dont la lecture est longue) n'est pas exigible.</p> <p>L'exploitation de cartes géophysiques ne donnera pas lieu à des développements sur les aspects fondamentaux de la gravimétrie et du magnétisme.</p> <p><i>Liens : § III</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - réaliser des coupes géologiques à main levée en région tabulaire et en région plissée en partant de profils topographiques fournis ; - confronter les données d'une carte (ou de plusieurs cartes) à d'autres données pour proposer des hypothèses explicatives ; - confronter les données de cartes thématiques diverses ;

	<p><i>Cette partie est traitée en liaison avec les travaux pratiques « Les cartes géologiques », mais aussi à chaque fois que le sujet du programme traité s'appuie sur l'exploitation d'une carte en particulier géologique.</i></p> <p><i>De ce point de vue, l'organisation générale des séances de Travaux Pratiques figurant sous le titre « les cartes géologiques » est laissée au choix du professeur.</i></p>
<p>VI-B La Rhéologie de la lithosphère</p> <p>Les matériaux lithosphériques se déforment sous l'effet de la contrainte : la déformation est plastique, élastique ou cassante.</p> <p>Les mécanismes de la déformation plane sont le cisaillement pur et le cisaillement simple.</p> <p>Les propriétés mécaniques des roches sont dépendantes de leur compétence, des conditions thermodynamiques et de la vitesse de déformation.</p> <p>Ces propriétés mécaniques sont liées à la notion thermo-mécanique de lithosphère définie aux § I-B& I-C.</p> <p>Le comportement global de la lithosphère est déterminé par son enveloppe rhéologique.</p> <p>L'hétérogénéité verticale de comportement mécanique de la lithosphère continentale peut déterminer des niveaux de découplage</p>	<ul style="list-style-type: none"> - définir déformation et contrainte ; - définir la déformation élastique, la déformation plastique, le fluage et la notion de rupture (courbe contrainte-déformation); - reconnaître les deux mécanismes de la déformation plane à partir des structures ou microstructures d'identification ; - distinguer un comportement ductile et un comportement cassant ; - relier ces différents types de comportement à la compétence des roches, aux conditions thermodynamiques ainsi qu'à la vitesse de déformation ; (déformation en fonction de la pression, température, nature de la roche, vitesse de la déformation) - illustrer l'importance de la vitesse de déformation ; <p>Lien : § VII</p> <ul style="list-style-type: none"> - établir un profil rhéologique de la lithosphère continentale à l'aide de la loi de Byerlee et des lois de fluage (p275 BCPST1 et 2) ; - discuter l'allure de ce profil en fonction du gradient géothermique local ; <p>Liens : § VII, § V</p>
<p>VI-C Les objets de la déformation</p> <p>La lithosphère est une mosaïque d'objets tectoniques d'échelles et de natures différentes: bombement et flexuration lithosphériques, plis, failles, microstructures associées.</p> <p>Tectonique souple et tectonique cassante</p>	<ul style="list-style-type: none"> - décrire et identifier des objets tectoniques sur des documents cartographiques et photographiques ; - décrire et identifier des microstructures sur des échantillons et sur des photographies ; - réaliser des schémas structuraux et des coupes géologiques à main levée, le profil topographique étant fourni ; - établir, dans le cas des déformations coaxiales, le lien entre la déformation finie observée et l'orientation de la contrainte ; - relier l'analyse des microstructures à celle des transformations minéralogiques (calcite de recristallisation dans les stylolithes); <p>Liens : Travaux pratiques, § VII</p>

VII Les transformations minérales du métamorphisme (5h)	
<p>VII-A Les associations minéralogiques indicatrices de pression et de température (2h)</p> <p>Une roche de composition donnée exposée à un changement de température et/ou de pression est le siège de transformations minéralogiques. Ces transformations sont régies par les lois de la thermodynamique et de la cinétique chimique.</p> <p>(Muscovite + Quartz --> Sillimanite + Microcline + H₂O)</p> <p>Les faciès métamorphiques sont des domaines de l'espace pression-température. L'association de minéraux stables dans un faciès constitue une paragenèse à l'équilibre. Ces assemblages dépendent de la nature de la roche originelle (protolithe). Des géobaromètres et des géothermomètres sont constitués par des réactions univariantes du métamorphisme, des minéraux index et par la distribution de certains éléments chimiques dans les phases minérales.</p> <p>Dans certaines conditions, le métamorphisme peut conduire à l'anatexie crustale.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - analyser et exploiter les représentations cartographiques du métamorphisme (<i>illustrer par des exemples provenant de sites divers</i>); - exploiter les données de documents photographiques ; - identifier à l'œil nu des roches métamorphiques : schiste, micaschiste, gneiss, éclogite, migmatite, marbre ; - exploiter et relier des données permettant de faire le lien entre déformation des roches et recristallisations - situer approximativement les limites des principaux faciès métamorphiques : schistes verts, schistes bleus, amphibolites, granulites, éclogites ;(p 279 BCPST1 et 2) - discuter de la pertinence du choix d'un géobaromètre (GASP : Grenat-Alumino-silicates-Silice-Plagioclases) ou d'un géothermomètre (biotite-grenat); - exploiter des données de thermométrie et barométrie chimiques ; - utiliser une grille pétrogénétique fournie (p285 et p289 BCPST1 et 2) - utiliser un solidus quartz-albite-orthose pour discuter d'une possible fusion crustale
<p>VII-B Distribution spatiale des roches métamorphiques et variations temporelles des associations minéralogiques (3h)</p> <p>La distribution spatiale des roches métamorphiques à l'échelle régionale permet d'identifier des séries métamorphiques, indicatrices d'un gradient géothermique local. Les mêmes méthodes peuvent être transposées à plus petite échelle dans le cadre du métamorphisme de contact</p>	<p>Lien : § II-A-1</p> <ul style="list-style-type: none"> - exploiter la juxtaposition d'assemblages typomorphes dans une série métamorphique ; - déterminer un gradient d'enfouissement ; - relier les principaux gradients à des contextes géodynamiques ; - exploiter des données illustrant le cas particulier du métamorphisme de contact ;
<p>L'étude des différentes paragenèses présentes dans une roche métamorphique et leur datation peut permettre de reconstituer un chemin $P,T = f(t)$.</p> <p>Ce chemin fait apparaître des étapes progrades et des étapes rétrogrades, caractéristiques des conditions d'enfouissement et des conditions d'exhumation. Un chemin $P,T = f(t)$ constitue une jauge de profondeur dans l'histoire</p>	<ul style="list-style-type: none"> -exploiter des données pétrogénétiques et structurales pour proposer une hypothèse en terme de chemin $P,T = f(t)$; - exploiter des assemblages typomorphes et des chemins $P,T = f(t)$ dans le cadre d'une histoire régionale et dans celui de la géodynamique globale ;

<p>tectonique d'une unité crustale.</p> <p>La nature des séries métamorphiques et les reconstitutions de chemins $P, T = f(t)$ sont étroitement liées à l'histoire géodynamique.</p>	<p>- utiliser l'évolution dans le temps des associations minéralogiques pour éclairer l'exemple d'une chaîne de montagne en termes géodynamiques ;</p> <p>Liens : Travaux pratiques, § VIII-B</p>
---	---

VIII- Les ressources géologiques en Tunisie (2h)

<p>L'homme puise dans les enveloppes terrestres solides de très nombreuses ressources inégalement réparties : eau, matériaux (carbonates, sable, argile...), minerais métalliques (Fer, Plomb, Zinc), minerais non métalliques (Gypse, Phosphates), ressources énergétiques non renouvelables (Uranium, charbon, lignite, gaz, pétrole), ressources énergétiques renouvelables (énergie solaire, énergie éolienne, énergie hydraulique).</p> <p>Ces inégalités conduisent à une adaptation de l'activité humaine aux conditions locales (acqueduc de Zaghuan et grès de Oudhna, amphithéâtre d'El Jem et calcaires quaternaires de Rejiche...) et à de nombreux échanges planétaires (les principaux oléoducs et gazoducs). Les connaissances géologiques éclairent les prises de décision concernant la recherche et l'exploitation de ces ressources.</p>	<p>Aucune exhaustivité n'est exigible. Aucun exemple précis n'est imposé. Dans la mesure du possible, certains exemples seront pris dans le contexte régional. Seule leur présentation très globale pourra être attendue.</p> <ul style="list-style-type: none"> - montrer la diversité des ressources et l'inégalité des disponibilités locales ; - montrer l'existence de conséquences de cette inégalité sur l'activité humaine ; - lier l'objet géologique naturel et l'objet économique que constitue la ressource ; - distinguer les problématiques associées à une ressource locale abondante (granulats par exemple) et à une ressource plus rare nécessairement importée ; <p><i>Liens :</i> <i>Travaux pratiques : informations sur les forages, les mines, les carrières à partir de cartes géologiques et thématiques</i></p>
---	---

IX – Etude de grands ensembles géologiques (12h)

Cette partie permet d'intégrer des données géophysiques, structurales, pétrologiques, géochimiques et sédimentologiques, acquises en 1ère année et en 2ème année, à la compréhension de quelques grands ensembles géologiques et à l'implication sur l'existence des géoressources.

IX-A La Tunisie dans son contexte alpin (3h)

L'étude sera effectuée sur la chaîne alpine en se limitant à la partie visible sur la carte du Maghreb, en insistant sur la partie tunisienne.

Elle s'appuiera sur :

- la carte au 1/500 000 de la Tunisie ;
- diverses cartes au 1/50 000 du nord de la Tunisie ;
- la carte tectonique;
- la carte des anomalies gravimétriques (étude d'un cas) ;

D'autres documents peuvent être utilisés, mais leur connaissance n'est pas exigible.

<p>Une chaîne de montagnes est un édifice structuré dont l'étude et la compréhension nécessitent des observations de terrain et les apports de la géophysique. Elle montre des vestiges de son histoire paléogéographique ainsi que des indices d'épaississement et de raccourcissement. L'intégration des différentes informations permet de reconstituer les grandes étapes de l'histoire géodynamique de la chaîne</p>	<ul style="list-style-type: none"> - identifier et exploiter des vestiges de domaines océaniques (ophites de Jebel Lansarine et Jebel dabadib); - identifier et exploiter des indices de raccourcissement et de décrochement ; - identifier et exploiter des indices d'épaississement ; - identifier et exploiter des témoins de collision - identifier et exploiter des indices de la déformation actuelle (données de sismicité); - intégrer des informations pour reconstituer des éléments de l'histoire de la chaîne alpine en Tunisie en précisant les âges de chaque formation; <p>Lien : Travaux pratiques</p>
IX-B Etude de quelques grands ensembles structuraux de Tunisie (6h)	
<p>L'étude sera effectuée sur les ensembles structuraux suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la plateforme saharienne, y compris l'île de Jerba; - l'Atlas tunisien : l'Atlas méridional, l'Atlas central, la zone des dômes et des diapirs, et la zone des écaïlles; - la Tunisie orientale (la mer pélagienne et le Sahel) y compris les îles de Kerkennah, Zembra et Zembretta; - la Tunisie septentrionale (zone des nappes de charriage) y compris l'île de la Galite; - l'alignement structural Nord-Sud (axe Nord-Sud) 	<p><i>Rappeler rapidement l'histoire paléogéographique de la Tunisie en se basant sur des cartes paléogéographiques : jurassique, crétacé, tertiaire</i></p> <p><i>Présenter des logs lithostratigraphiques types et des coupes géologiques pour chacun des domaines étudiés</i></p>
IX - C Implications sur l'existence des géoressources (3h)	
<p>La relation entre les géoressources inventoriées et les structures géologiques est abordée dans cette partie. On parlera de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les matériaux énergétiques (charbon, gaz et Pétrole) - les matériaux de carrières et mines - les ressources en eau 	

Travaux pratiques (8 séances) :

Un ensemble de huit séances de travaux pratiques est proposé en seconde année. En relation avec ces approches multiples réalisées sur des objets complexes dans le cadre des travaux pratiques, le cours permet de structurer des synthèses et de poser les bases générales correspondant aux phénomènes étudiés ou aux grands ensembles décrits.

En effet, les contenus comme les savoir-faire définis sont interpénétrés ce qui amène à revenir à plusieurs reprises sur les différents éléments d'analyse. La réalisation de schémas structuraux, de coupes, l'interprétation des paysages impliquent un regard global et décroché et peuvent intervenir à différents moments. Globalement, un équivalent de 4 séances environ concerne les grands ensembles structuraux.

<p>Déformation des matériaux de la lithosphère (2 séances)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - observation d'objets tectoniques sur différents supports (cartes géologiques, photographies, échantillons,...) et à différentes échelles - interprétation d'objets tectoniques, en termes d'ellipsoïde des déformations finies et, lorsque c'est possible, lien avec l'ellipsoïde des contraintes - utilisation des microstructures associées aux structures d'échelle supérieure - réalisation de schémas structuraux - réalisation de coupes géologiques à main levée sur des profils topographiques fournis - établissement d'un lien entre paysage et déformation - réalisation d'exercices permettant d'associer des données diverses (morphologiques, géophysiques, géologiques...) aux caractéristiques d'un contexte géodynamique - exploitation de données GPS et d'interférométrie radar permettant la surveillance des failles actives
<p>Les cartes géologiques (1 séance)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - réalisation de coupe en région tabulaire (à main levée ou à l'aide d'un profil topographique fourni) ; - réalisation de coupes en région plissée (à main levée ou à l'aide d'un profil topographique fourni) ; - exploiter les informations visibles sur une carte (à l'exception de la notice) pour établir une histoire régionale simplifiée. - légende (roches sédimentaires, roches magmatiques et roches métamorphiques)
<p>Les transformations minérales du métamorphisme (1 séance) L'étude pratique des transformations minérales peut envisager en association avec les travaux portant sur les déformations, mais aussi en liaison avec l'étude de l'édifice alpin</p>	<ul style="list-style-type: none"> - identification à l'œil nu des roches métamorphiques citées dans le § VII - exploitation de photographies de lames minces, les minéraux étant annotés - exploitation de données permettant de faire le lien entre déformation des roches et recristallisations - utilisation d'une grille pétrogénétique fournie - exploitation de données fournies de thermométrie et de barométrie chimiques - exploitation de données concernant une série métamorphique pour reconstituer un gradient géothermique d'enfouissement - exploitation de données pétrogénétiques et structurales pour proposer une hypothèse en terme de chemin $P, T = f(t)$; exploitation de ces

	<p>résultats dans le cadre d'une histoire régionale et dans celui de la géodynamique globale</p> <ul style="list-style-type: none"> - utilisation de l'évolution dans le temps des associations minéralogiques pour éclairer une histoire métamorphique
<p>Les grands ensembles structuraux (4 séances) Structuration de l'édifice alpin</p>	<p>la carte au 1/500 000 de la Tunisie ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - diverses cartes au 1/50 000 de la Tunisie ; - la carte tectonique; - la carte des anomalies gravimétriques (étude d'un cas) ; - réalisation de schémas structuraux à partir la carte au 1/500 000è - réalisation de schémas structuraux partiels sur des cartes à différentes échelles - réalisation de coupes géologiques à main levée, le profil topographique étant fourni - analyse et exploitation de données pétrologiques, tectono-sédimentologiques..., permettant d'analyser une situation géologique <p>On choisit une des zones suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> -le cap Bon.(Jebel Sidi Abderrahmene) - la plateforme saharienne (Jebel Dahar, jebel Tebaga de Kebili) - l'Atlas méridional (jebel orbata) - Atlas central (Jebel Mghilla, jebel Chambi, Jebel Semama) -Zone des diapirs (Fej El Hdoum) - Zone des nappes
<p>Classe de terrain (2 journées) Le travail effectué sur le terrain permet d'établir le lien entre les objets réels et les différentes représentations utilisées en salle, dont en particulier les cartes. Il permet de mieux comprendre la géométrie et l'histoire des ensembles géologiques ; la situation géographique est laissée au choix. Ce travail permet aussi d'ouvrir sur la biologie (via l'analyse et la représentation du paysage en particulier).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - se localiser dans la topographie et dans la structure géologique - identifier, décrire, interpréter des objets géologiques à différentes échelles - reconstituer et représenter les objets dans les trois dimensions de l'espace - rendre compte sous différentes formes (photographies, croquis, textes...) - passer de la réalité complexe du terrain à des représentations simplifiées correspondant à des hypothèses explicatives