

Je laisse le soin à chacun de rechercher dans la bibliographie les éléments de compréhension des documents fournis, si besoin. Mais en général, ils n'ont pas posé de problème semble-t-il.

Le texte ci-après n'est pas une correction « rédigée » du sujet mais une proposition de plan détaillé qu'il conviendrait de développer et d'argumenter plus avant dans un véritable devoir écrit (une majorité de copies de CAPES ont un volume de 25 à 30 page sur des sujets similaires...), ce qui laisse peu de temps à la réflexion (hélas).

Le plan choisi obéit à une double démarche : *Top-down puis Bottom-up*.

**Top-down** : on part d'un constat (toujours partir d'un constat !). Ceci se fait au niveau macroscopique. On constate en effet, que des modifications majeures imputables aux changements climatiques (inutile des les démontrer, on l'affirme dans le sujet) sont dorés et déjà quantifiables : au Sahel, la steppe arborée et la brousse tigrée se transforment rapidement en steppes diffuses graminéennes, voire en déserts, en Afrique du nord l'aire de la forêt à pin d'Alep se réduit gravement dans sa limite sud, alors que les même forêts au nord et en altitude semblent gagner par réduction de la période hivernale, en Europe tempérée (et ailleurs), la remontée en altitude de la limite supérieur forestière est évidente, etc.

Mais ces faits, ne sont que la résultante statistique de comportements individuels. C'est donc au niveau microscopique (individuel = physiologique) qu'il faut en trouver les raisons. Un certain nombre de faits et d'états de paramètres montrent qu'effectivement certaines espèces sont plus ou moins aptes à résister aux changements envisagés, et en fonction de cela seront appelées à disparaître où bien à se renforcer dans les zones qu'elles occupent actuellement.

#### **Bottom-up.**

L'examen détaillé des divers aspects des réponses physiologiques des documents permettent d'étayer l'hypothèse formulée : les réactions individuelles se traduiront nécessairement par des changements floristiques (composition, richesse, diversité) et de végétation (structure) dans plusieurs dimensions (horizontale, verticale, temporelle)...

Le plan proposé en est un parmi d'autres possibles (tout aussi valables). Ce qui justifie ce choix est qu'il correspond à une démarche scientifique : on constate un phénomène (niveau macroscopique), on émet des hypothèses explicatives, l'expérimentation permet de les vérifier (niveau microscopique) et on recontextualise les résultats pour valider les hypothèses sous forme d'une théorie (niveau macroscopique).

Je propose de développer ce plan de façon asymétrique. La phase top-down doit être assez courte. On l'exposera donc une introduction substantielle, qui de ce fait annonce le développement ultérieur qui se concentrera sur le niveau microscopique puis le développement bottom-up.

La conclusion, sera nuancée. On évitera les généralisations définitives, mais on exposera les facteurs non pris en comptes mais susceptible de venir moduler les schémas généraux.

**BONNE LECTURE.**

## ELEMENTS DE CORRECTION<sup>1</sup> DE L'ECRIT PREPARATOIRE AU CAPES 2012

### INTRODUCTION

Les changements climatiques (températures et régimes pluviométriques) constatés et prévus par les modèles (augmentation entre 2°C et 6°C à l'horizon 2100) induisent (et induiront encore) de profondes modifications des écosystèmes. On constate en effet sur plusieurs décennies des changements notamment dans la structure des végétations

- Modification des compositions (richesse spécifique, biodiversité et flore).
- Modification des structures verticales (stratification) et horizontales (densités) de la végétation qui les constitue.

Il s'agit en réalité de la traduction statistique au niveau des systèmes des réactions individuelles des végétaux à ces nouvelles conditions. *Ces réactions sont d'ordre physiologique.* Portées à leur paroxysme, elles peuvent conduire soit à la disparition des individus (ou à leur réduction en nombre), soit à leur rapide expansion en fonction de leur degré d'adaptation aux conditions environnementales dans lesquelles ils sont appelés à se développer, soit à modifier fortement l'équilibre résultant de la compétition interspécifique.

Nous envisageons donc d'examiner successivement les réponses probables des végétaux confrontés à des modifications de leur condition de vie puis les répercussions de ces changements sur les communautés qu'ils constituent.

### I. LA REPOSE FONCTIONNELLE DES VEGETAUX

#### 1. Le cycle végétatif (doc 4).

[On assiste à un décalage avec une entrée en croissance plus précoce, des arrêts de croissance en été plus longs (effet de la déshydratation). Le cycle (phénologie) des thérophytes et géophytes est décalé dans le temps par rapports aux espèces chamaephytiques et phanérophytiques, les durées des phases sont modifiées. Le thermopériodisme (saisonnier et quotidien) et la vernalisation (doc 4), paramètres essentiels de la floraison, de la levée de dormance (plantes à rosettes), de la maturation des fruits]

#### 2. Les équilibres nutritionnels (doc 11).

[Augmentation du CO<sub>2</sub> et de la température favorable à la production de biomasse à première vue (augmentation CO<sub>2</sub>) mais pourrait entraîner rapidement une déplétion de celle-ci (excès de température : docs 1 et 2). L'apparition de déficits hydriques marqués entraîne une baisse de la productivité c'est l'équilibre photosynthèse-respiration qui serait affecté (doc 5 et 7). De même, des températures élevées liées à un déficit hydrique devraient ralentir le processus de minéralisation de la matière organique des sols et induire une baisse de la fertilité minérale : le turnover de la matière organique en serait ralenti et les végétaux méso à eutrophes pénalisés plus ou moins intensément selon les conditions locales.]

#### 3. La résistance au stress hydrique

[La résistance au stress hydrique (doc 7) est une adaptation particulière, qui se traduit en particulier par l'osmorégulation.(doc 6), au moyen de la production de sucres et d'acides aminés via la transduction d'un signal au niveau du génome. Les sucres ont un effet protecteur au niveau membranaire en évitant leur dégradation par formation d'une couche hydrique maintenue par effet de potentiel hydrique autour de celles-ci (doc 8)].

*NB : Dans un même ordre d'idée, mais il ne faudrait pas le développer ici car nous n'avons pas de document afférant, la théorie contrainte/compensation basée sur la réallocation des hydrates de carbones (Tilman 82) fait explicitement référence à la plasticité adaptative du phénotype. On peut penser que les individus possédant une forte plasticité seront certainement avantagés dans un contexte de changement climatique.*

☞ Les modifications climatiques annoncées laissent entrevoir des bouleversements profonds dans la croissance et la reproduction des végétaux. La pérennité de certains pourrait être mise en cause alors que d'autres pourrait être favorisés. Dans tous les cas des changements majeurs dans : le cycle végétatif (dates et productivité), la morphologie (taille et dimension des organes), la production de semence (nombre), la compétition interspécifique.

### II. LA MODIFICATION DES COMMUNAUTES

[Les éléments énoncés précédemment permettent de prévoir que les communautés végétales devraient connaître des bouleversements profonds, par élimination locale des espèces devenues inaptées. La libération de niches écologiques devenues vacantes favorisant soit l'expansion d'espèces déjà en place soit des espèces migrantes exogènes]

<sup>1</sup> Ceci n'est qu'une proposition de plan détaillé (il n'existe pas de plan idéal). Entre crochets [...] des éléments de développement ainsi que des conclusions partielles (☞).

## 1. Modification de l'équilibre de la composition floristique actuelle

[Les fréquences respectives des espèces présentes pourraient être changées (voir en annexe). Des conditions sévères devraient aussi diminuer la richesse spécifique locale (nombre d'espèces par unité de surface).]

## 2. Introgessions d'espèces / élimination d'espèces

[L'introgession d'espèces animales ou végétales changent la composition floristique et provoquent de nouvelles cohabitations. Ces cohabitations entraînant des rapports de compétition nouveaux provoqueront l'élimination des espèces moins compétitives (espèces invasives, pestes ; élimination indirecte: doc 3). Exemple de *Mesambrianthemum* (griffe de sorcière), d'*Acer negundo* (érable frêne), *Ailanthus glandulosa* (verniss du Japon). Des milieux spécialisés tels que les milieux humides pourraient profondément changer par augmentation de l'ETP. Des espèces liées à ces milieux seraient appelées à disparaître ou à se raréfier par compétition avec des espèces moins exigeantes]

➤ Ces mouvements d'espèces devraient : (1) Modifier profondément les aires de répartition des espèces (chorologie). Exemple : *Barlia robertiana*, orchidée des garrigues méditerranéennes, autrefois (15 ans au plus) rare et protégée par la loi est devenue banale en France et a perdu son statut d'espèce protégée. On s'attend à ce que le cortège floristique méditerranéen remonte rapidement vers le nord et atteigne la boucle de la Loire. (2) Modifier les cortèges floristiques actuels : la flore méditerranéenne s'enrichit en espèces tropicales (introgessions). (3) Appauvrir la flore. En raison de la vitesse du changement (selon un modèle exponentiel), les espèces pourraient se trouver dans l'incapacité de migrer suffisamment rapidement pour échapper aux nouvelles conditions dans lesquelles elles ne pourraient survivre ; endémiques et reliques glaciaires seraient les premières touchées (ex : *Leucoium nicaense* (Niveole de Nice)). C'est donc à une chute de la biodiversité qu'il faut s'attendre. Certains parlent même d'une crise biologique majeure.

## 3. Modification de la répartition des biocénoses

[L'ensemble des changements annoncés (mouvements d'espèces, rapports de compétition, variation de la fertilité et du turnover de la M.O.) retenti aussi très fortement sur la structure des communautés ; c'est donc non seulement la flore mais aussi la végétation (avec tout ce que cela implique pour la fraction animale des biocénoses) dans son type (répartition) et sa structuration qu'il faut envisager.]

### 1. Modifications altitudinales (doc 10)

[Cette modification des températures provoque une remontée des étages de végétation. Dans certains cas on pourrait observer une disparition des étages supérieurs (ex : étages subalpin dans le massif central et Alpes périphériques, Alti-méditerranéen dans les Dinarides)]

### 2. Modifications latitudinales

[Des modifications importantes d'aires de répartition bioclimatiques sont déjà perceptibles (doc 9). On constate une translation vers l'étage aride d'une espèce autrefois connue pour être attachée à l'étage semi-aride méditerranéen en Afrique du nord. Cette translation est sans doute imputable d'une part à sa capacité à la résistance au stress hydrique et d'autre part aux jeux de la compétition interspécifique, des niches ayant été libérées dans l'aride et d'autres espèces l'ayant fortement concurrencée dans le semi-aride.

En raison de la corrélation latitude-altitude, la limite des feuillus tempérés (chênes) – feuillus montagnards (hêtres) pourrait être repoussée vers le nord. Idem la limite forêt sclérophylle méditerranéenne – forêt feuillue tempérée. Plus au nord la taïga serait appelée à disparaître localement ou à se réduire considérablement.]

## 4. Modification des structures<sup>2</sup>

### 1. Structure verticale

[La structure verticale (stratification) devrait être profondément modifiée. Ainsi, en méditerranée (doc 9 à nouveau), le passage d'un bioclimat semi-aride avec une végétation de type « brousse à Jujubier » (phanérophytes, chamaephytes et herbacées) à un climat aride avec une végétation de type steppe (chamaephytes ligneux et herbacées), changerait considérablement la structure des écosystèmes, donc leur fonctionnement (production, réseaux trophiques, pénétration de la lumière (rapport R/FR), évapotranspiration...). Idem et plus spectaculaire l'assèchement de milieux humides avec élimination des espèces arboréennes : saules, peupliers et bouleaux. En zone tempérée froide les landes se boiseraient rapidement]

### 2. Structure horizontale

[Il s'agit là de la modification des densités des communautés. L'augmentation de l'ETP entraînant l'apparition de déficits hydriques modifierait considérablement la « capacité d'accueil des biotopes » qui ira se réduisant. De même, la modification du cycle de végétation des espèces (espèces vernalles plus précoces, disparition plus

<sup>2</sup> Voir aussi l'annexe, à propos des stratégies r-K

précoce des herbacées en été par exemple) aura pour conséquence de faire baisser la densité instantanée des végétaux dans les écosystèmes à certaines périodes de l'année.]

## 5. Modification de la dynamique de la végétation

[les trajectoires reconnues des écosystèmes (des stades pionniers au climax, ou encore la reprise de la dynamique à partir de stades intermédiaires) devraient être modifiées. On peut prendre pour exemple celui des forêts de substitution (pinèdes à Pin d'Alep) qui pourraient ne pas aboutir à la reconstitution des forêts originelles mais rester en l'état pour des durées indéterminées. Idem les landes à *Calluna vulgaris* du Massif central qui pourraient former un stade de blocage dynamique et constituer un « paraclimax »]

## CONCLUSION

Les modifications induites par les changements climatiques prévus sont sans aucun doute *qualitativement prévisibles* (au moins dans l'essentiel), *mais en revanche incalculables* pour de multiples raisons. En particulier, ne sont pas pris en compte dans les modèles –dont on nous fourni les résultats– les effets rétroactifs de ces modifications : modification de l'albédo, rayonnement des sols, érosion, retenue de l'eau (microclimat), ce qui induit de grandes marges d'incertitudes. Toutefois on peut indiquer que les principales conséquences consisteront en une chute vraisemblablement (très) importante de la biodiversité, une modification importante de la chorologie et de la phénologie. De même, la structure (et le fonctionnement...) des écosystèmes pourrait connaître d'importantes modifications (variation des structures (stratification), des densités, de la compétition interspécifique, de la dynamique...).

Ces modifications, corrélées aux changements climatiques ne seraient en aucun cas un processus uniforme. Des disparités régionales fortes (déjà existantes) seraient maintenues ou bien accentuées, modulées par les facteurs locaux (roches mères, mésoclimat, topographie...).

Au delà de ces modifications on peut craindre aussi des répercussions importantes sur les activités humaines. On retiendra essentiellement:

1. Modifications des activités agricoles (modification des rendements, des limites géographiques des cultures, de la disponibilité en eau d'irrigation, des ravageurs de culture...) et donc des paramètres économiques des états concernés et ce à divers degrés (disparités régionales).
2. Modification des paramètres sanitaires humains et animaux par l'extension, par exemple, de maladies tropicales (leishmaniose, paludisme, dengue, chikungunya, etc.) vers des zones où elles étaient inconnues.

**POUR ALLER PLUS LOIN**

- En général on remarque que l'aridification (ou la présence de tout autre facteur limitant comme le sel) modifie profondément la fréquence des espèces en un site donné :

Plus le milieu est contraignant et plus le milieu est dominé par un petit nombre d'espèces très fréquentes (et très bien adaptées) qui s'approprient l'essentiel des ressources. Les autres espèces sont présentes, mais très faiblement représentées, souvent en un seul exemplaire...

Dans un milieu peu contraignant l'étude de la fréquence des espèces montre une nette tendance à l'uniformité (toutes les espèces sont bien représentées, rares sont les espèces sous-représentées). C'est le modèle de Zipf-Mandelbrot (1953-1977), dans lequel la fréquence relative  $p_i$  d'une espèce de rang  $i$  est calculée ainsi :

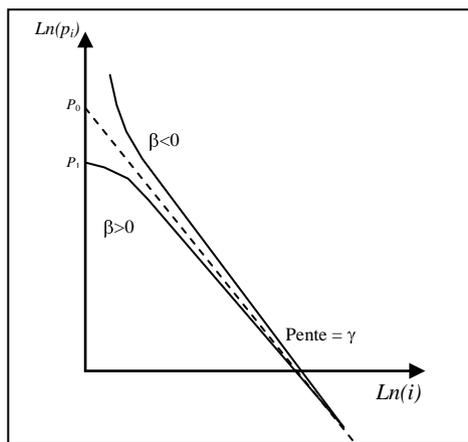
$$p_i = \alpha(i + \beta)^{-\gamma} \text{ où } \beta \text{ et } \gamma \text{ sont deux paramètres caractérisant la communauté alors que } \alpha \text{ est déterminé}$$

par ceux-ci. En effet si l'on pose que  $\sum_{i=1}^n p_i = 1$ , alors on a :  $\alpha = 1 / \sum_{i=1}^n (i + \beta)^\gamma$ . Dans un graphique Ln(fréquences relatives)  $\times$  Ln(rangs) [soit  $\text{Ln}(p_i) \times \text{Ln}(i)$ , voir figure], cette équation forme presque une droite, **la courbure ne dépendant que de  $\beta$** . Or,  $\beta$  est interprété comme un paramètre exprimant la « diversité » du milieu. Plus le milieu est contraignant (moins il est diversifié), plus rares sont les espèces qui peuvent s'y installer.

Si  $\beta = 0$ , alors on obtient une droite, c'est-à-dire que la fréquence des espèces est en relation directe avec leur rang (il y a « accord » en quelque sorte).

Si  $\beta > 0$ , la fréquence prédite est inférieure au cas précédent, les espèces sont moins fréquentes que précédemment (à rang égal), le milieu est plus diversifié, peu contraignant.

Si  $\beta < 0$ , les fréquences des espèces sont supérieures à celles prédites par leur rang, le milieu est extrêmement contraignant, seules quelques espèces dominent outrageusement le milieu.



Représentation du modèle de Zipf-Mandelbrot :  $\ln(p_i) = \ln(\alpha) - \gamma \ln(i + \beta)$ . Cette équation ne produit une droite que si  $\beta = 0$ .

- La représentation des stratégies de reproduction r-K change aussi. En milieu aride (l'événement pluie est imprévisible, aléatoire) cohabitent les deux stratégies, mais avec une nette dominance des stratégies K, quelque soit l'état des autres facteurs. Idem en bord de mer, idem dans les milieux rocheux ! En milieu non aride, selon le degré d'évolution du système, se sont les unes ou bien les autres qui dominent (r : pelouses, prairies... = milieux contraignants mais prévisibles ; K : forêts, maquis, stades préforestiers = milieux peu contraignants et prévisibles). On voit donc qu'ici, en matière de stratégies c'est la prévisibilité en même temps que sa capacité de contraindre les espèces qui est déterminant.