

SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

Durée : 3 heures

L'usage d'abaques, de tables, de calculatrice et de tout instrument électronique susceptible de permettre au candidat d'accéder à des données et de les traiter par les moyens autres que ceux fournis dans le sujet est interdit.

Chaque candidat est responsable de la vérification de son sujet d'épreuve : pagination et impression de chaque page. Ce contrôle doit être fait en début d'épreuve. En cas de doute, le candidat doit alerter au plus tôt le surveillant qui vérifiera et, éventuellement, remplacera le sujet.

Ce sujet comporte 15 pages numérotées de 1 à 15 et une annexe A3 à rendre avec la copie.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

Le bois face aux changements environnementaux

Ce sujet est constitué de 2 parties non indépendantes mais la plupart des questions peuvent être traitées sans référence aux autres parties.

- Le candidat s'appuiera essentiellement sur une analyse des documents, pour répondre aux questions posées au fur et à mesure des documents.
- Le candidat ne doit pas rédiger de longs développements de ses connaissances sur le thème, indépendamment de l'exploitation des documents et des questions posées.
- La concision des réponses et l'exploitation des documents sans paraphrase seront valorisées.

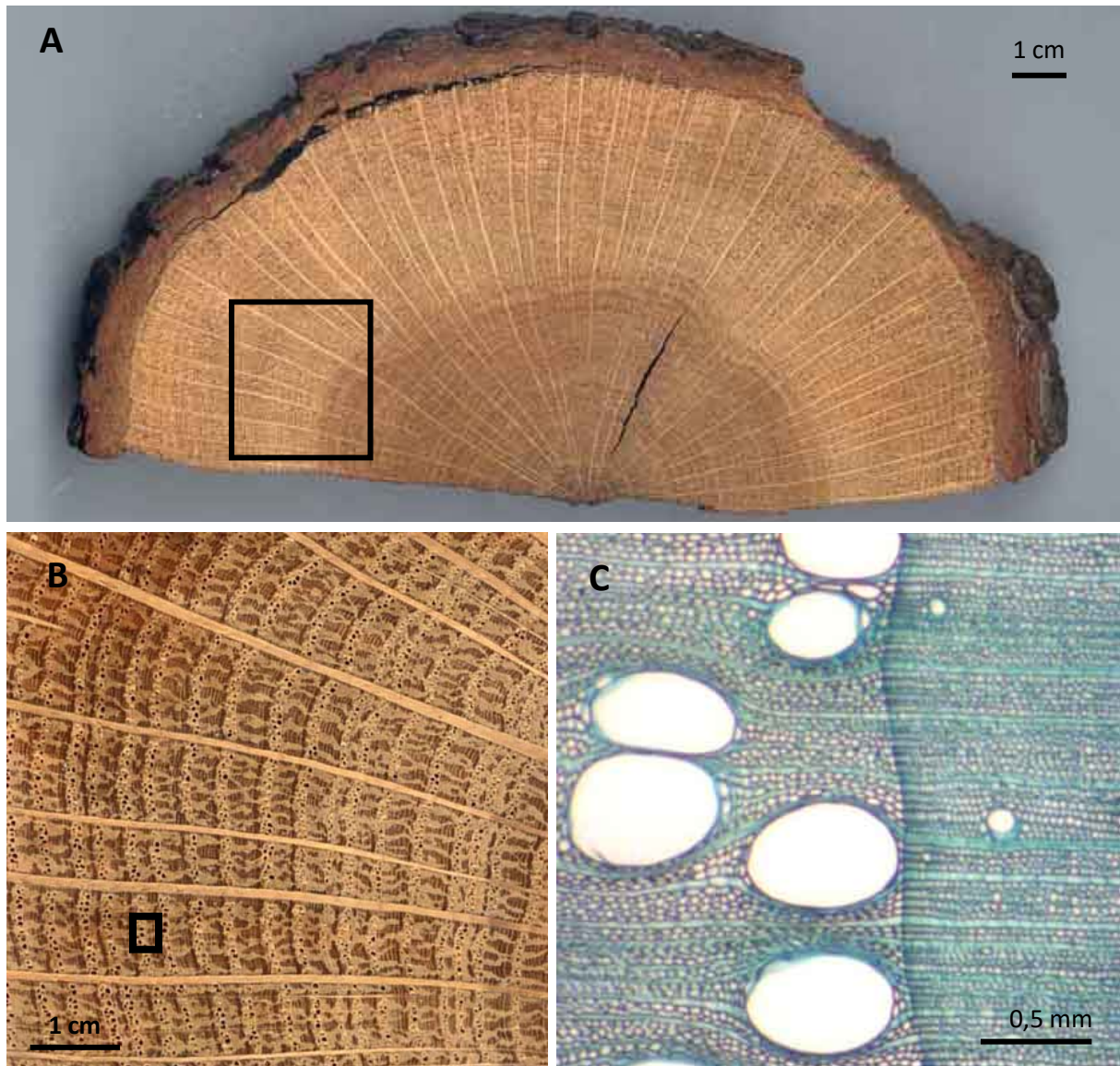
Références

- [1] Prat R. & al. (1999) Le bois de chêne. *Planet-Vie* du 1/09/99
- [2] Prat R. & al. (1999) Le bois de pin. *Planet-Vie* du 1/09/99
- [3] Ping Lu, « Ecophysiologie et réaction à la sécheresse de trois espèces de conifères », Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré (Nancy 1), (FRA). Nancy, 1992, p. 5
- [4] Eilmann, B., Zweifel, R., Buchmann, N., Fonti, P., & Rigling, A. (2009). Drought-induced adaptation of the xylem in Scots pine and pubescent oak. *Tree physiology*, 29(8), 1011-1020.
- [5] Jang, G. & Do Choi, Y. (2018) Drought stress promotes xylem differentiation by modulating the interaction between cytokinin and jasmonic acid, *Plant Signaling & Behavior*, 13:3,
- [6] Gunduz, G., Oral, M. A., Akyuz, M., Aydemir, D., Yaman, B., Asik, N., ... & Allahverdiyev, S. (2016). Physical, morphological properties and raman spectroscopy of chestnut blight diseased *Castanea sativa* Mill. wood. *Cerne*, 22, 43-58.
- [7] Wang, P., & Nuss, D. L. (1995). Induction of a *Cryphonectria parasitica* cellobiohydrolase I gene is suppressed by hypovirus infection and regulated by a GTP-binding-protein-linked signaling pathway involved in fungal pathogenesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 92(25), 11529-11533.
- [8] Farias, G. M., Gorbea, C., Elkins, J. R., & Griffin, G. J. (1994). Purification, characterization, and substrate relationships of the tannase from *Cryphonectria parasitica*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 44(1), 51-63.
- [9] Desprez-Loustau, M. L., Robin, C., Reynaud, G., Déqué, M., Badeau, V., Piou, D., ... & Marçais, B. (2007). Simulating the effects of a climate-change scenario on the geographical range and activity of forest-pathogenic fungi. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 29(2), 101-120.

Partie A : La croissance du bois en contexte de sécheresse

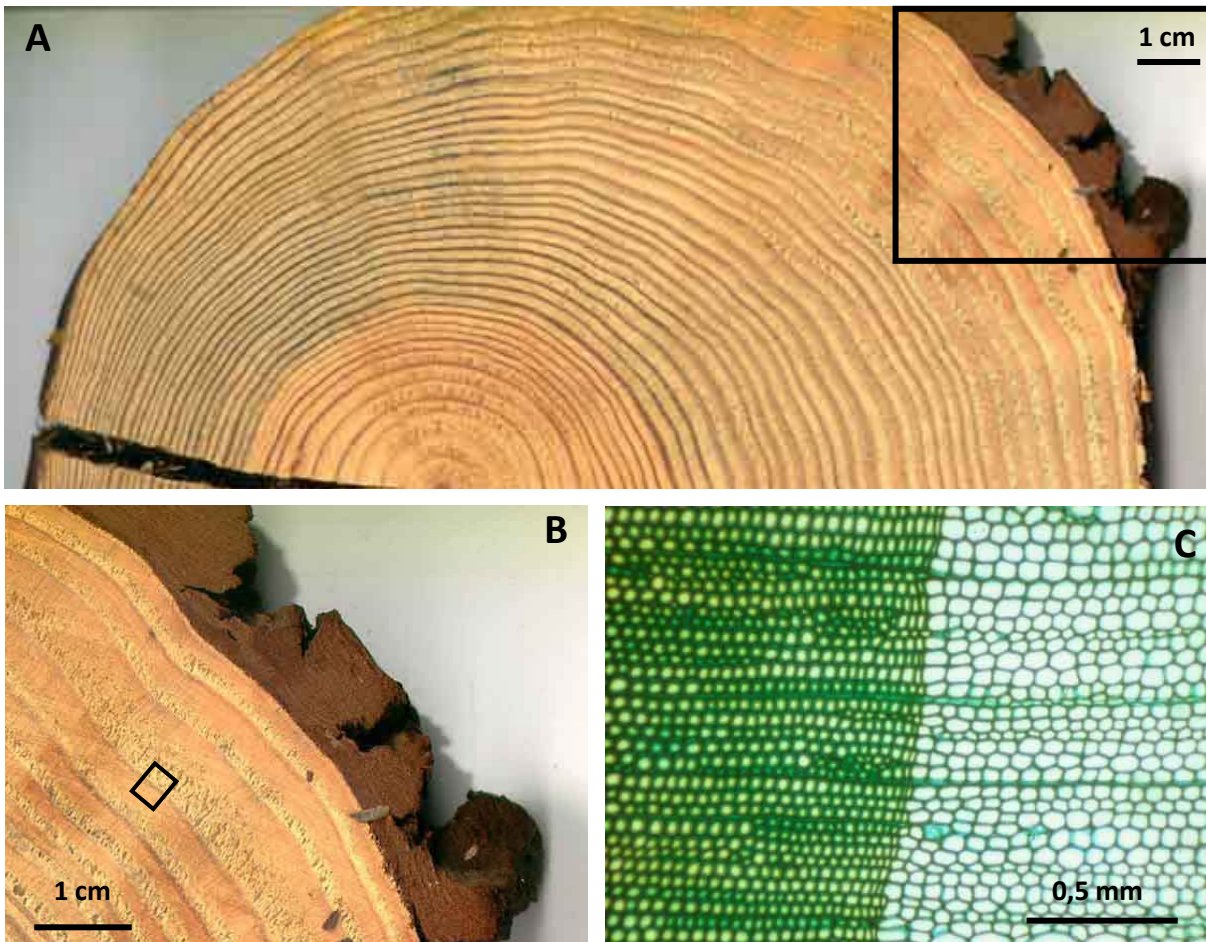
Le bois est un matériau essentiel aux sociétés humaines. Afin de répondre à la demande industrielle en bois, la sylviculture cherche à améliorer la production de bois et sa rentabilité économique. Le réchauffement climatique actuel et la multiplication des événements climatiques extrêmes (incendies, sécheresses, tempêtes, inondations...) ont des conséquences dramatiques sur les forêts françaises et mondiales.

Dans cette première partie, on cherche à rappeler la composition et la structure du bois avant d'étudier l'influence des sécheresses sur la croissance du bois.



Document 1 : Observation d'une coupe transversale de tronc de chêne pubescent à différentes échelles. Les cadres noirs indiquent les différents zooms entre les images A, B et C. L'image 1.C est une photographie observée au microscope optique après coloration au carmin vert d'iode [1].

1. Sur l'annexe A1 reproduisant le document 1, légendez le plus précisément possible les structures observées à différentes échelles. Le bois devra être clairement identifié.



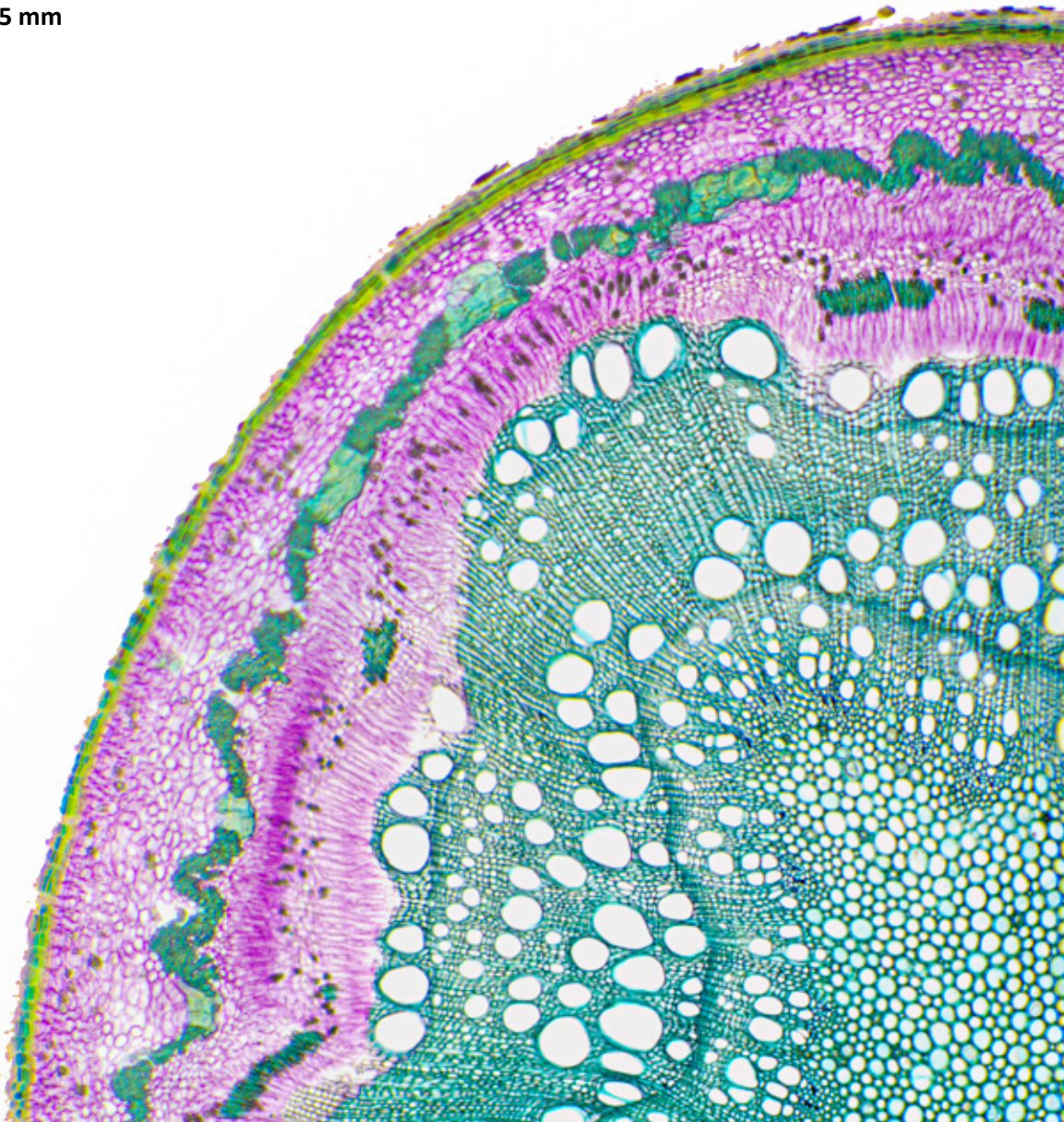
Document 2 : Observation d'une coupe transversale de tronc de pin sylvestre à différentes échelles.
 Les cadres noirs indiquent les différents zooms entre les images A, B et C. L'image 2.C est une photographie observée au microscope optique après coloration au carmin vert d'iode [2].

2. *Estimez l'âge du pin photographié en image 2.A en justifiant la méthode utilisée.*
3. *À partir d'une observation détaillée des images 1.C et 2.C, comparez l'organisation des tissus végétaux du tronc d'un chêne et d'un pin. Une attention particulière est demandée à l'étude de la taille et de la diversité des structures observées.*

Les sylviculteurs distinguent les espèces d'arbres à zone poreuse (chêne, châtaignier, frêne, orme), dont le bois est formé de peu de cernes, avec des vaisseaux de gros diamètres dans lesquels la sève circule à une vitesse élevée de l'ordre de 10 à 50 m/h ; les espèces à pores diffus (hêtre, charme, bouleau, érable, peuplier, saule, tilleul, noyer), dont les vaisseaux de plus petits diamètres sont abondants et bien répartis, et dans lesquels la sève circule à une vitesse de l'ordre de 1 à 5 m/h ; les espèces non poreuses (les résineux) dans le bois desquelles la sève circule à une vitesse faible, de l'ordre de 1 à 2 m/h. [3]







4. *En utilisant la comparaison réalisée et vos connaissances, expliquez la différence décrite par le texte précédent entre la vitesse de circulation des sèves dans un chêne et un pin.*

0,5 mm



Document 3 : Observation au microscope optique d'une coupe transversale de tige de jeune chêne pubescent après coloration au carmin vert d'iode [© Philippe Labrot/Nirgal.net]

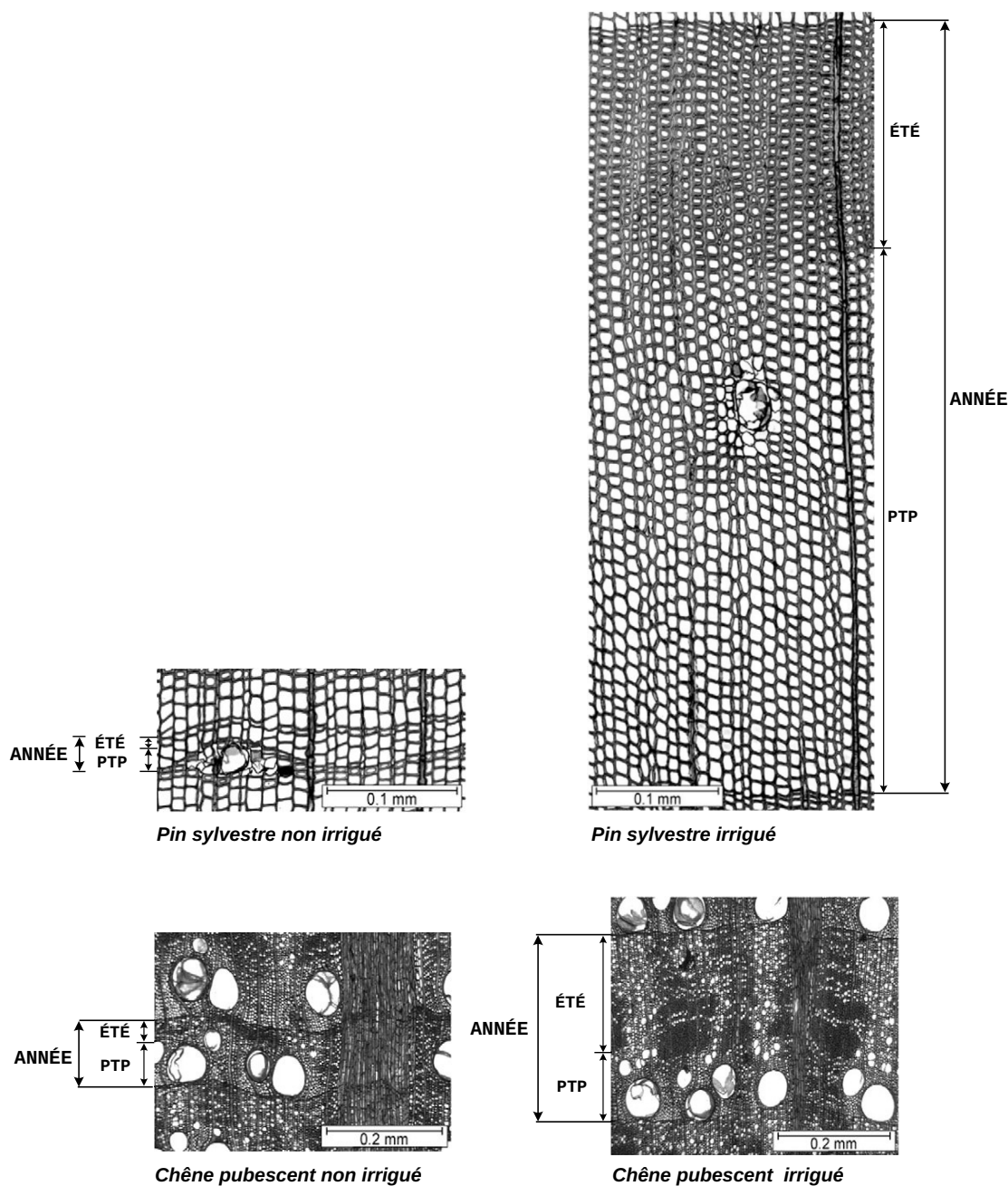
5. A l'aide des figurés ci-dessous, réalisez sur la copie un schéma conventionnel des tissus observés dans le document 3.

 stomate	 épiderme	 collenchyme	 xylème I	 phloème I	 parenchyme
 phellogène	 péricycle	 sclérenchyme	 xylème II	 phloème II	 parenchyme palissadique
			 cambium	 péricycle	 endoderme

(Meyer, Botanique, biologie et physiologie végétale, 2008)

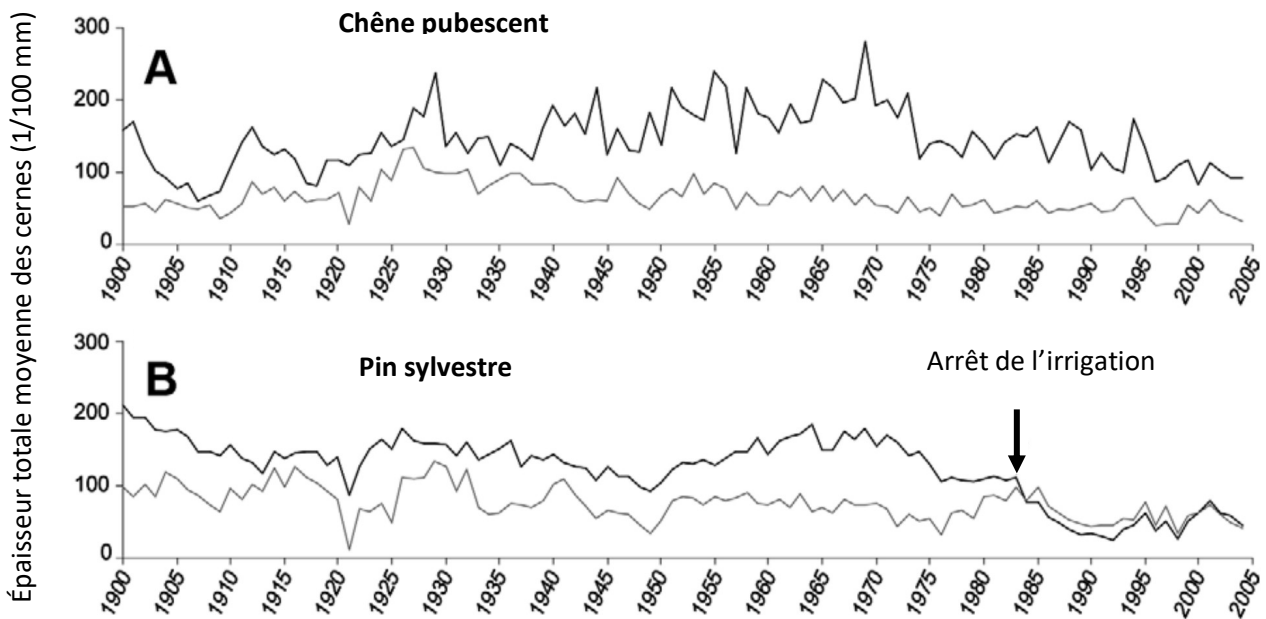
6. Légendez clairement sur votre schéma précédent le tissu correspondant au bois.
7. Listez quatre utilisations industrielles ou artisanales du bois comme matière première.

Afin de mieux éclairer les pratiques de gestion sylvicoles grâce à la construction de savoirs scientifiques, certaines parcelles de forêts sont suivies sur le long terme par des laboratoires. Les documents 4 à 6 présentent certaines données du suivi de la forêt de Lens (Canton du Valais dans les Alpes suisses) depuis 1900. Il s'agit d'une plantation mixte de chênes pubescents et de pins sylvestres dont une certaine proportion a bénéficié d'un système d'irrigation jusqu'en 1983.



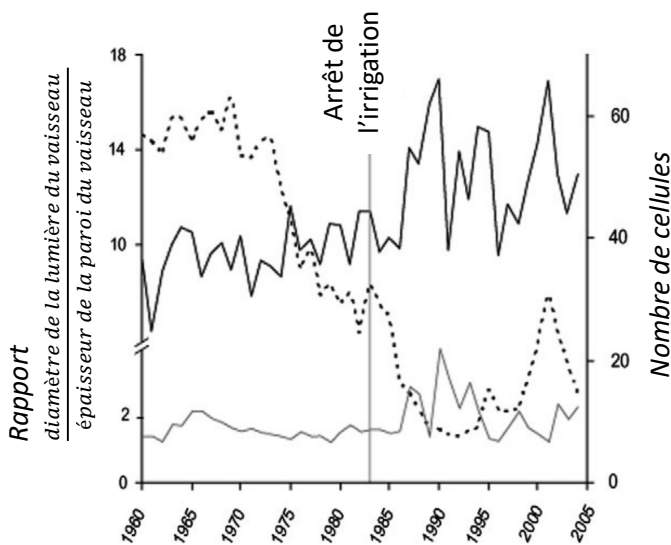
Document 4 : Comparaison des cernes de croissance du bois au cours de la saison de sécheresse 1976, entre un pin sylvestre témoin et un pin sylvestre irrigué et entre un chêne témoin et un chêne irrigué. Abréviations : ANNEE, épaisseur totale d'un cerne ; PTP, épaisseur du bois de printemps ; et ETE, épaisseur du bois d'été. [4]

8. Décrivez les résultats du document 4 en précisant leurs limites puis proposez un mécanisme cellulaire expliquant les différences observées entre les bois irrigués et non irrigués des deux espèces d'arbres.



Document 5 : Variation sur un siècle de l'épaisseur totale des cernes de chênes pubescents et de pins sylvestres, qu'ils soient irrigués (courbes noires) ou non (courbes grises). La flèche indique la fin du processus d'irrigation des pins. [4]

9. Analysez le document 5 et ses limites afin d'identifier quelle plantation d'arbres entre le pin sylvestre et le chêne pubescent est la plus adaptée aux sécheresses plus fréquentes attendues en contexte de réchauffement climatique.

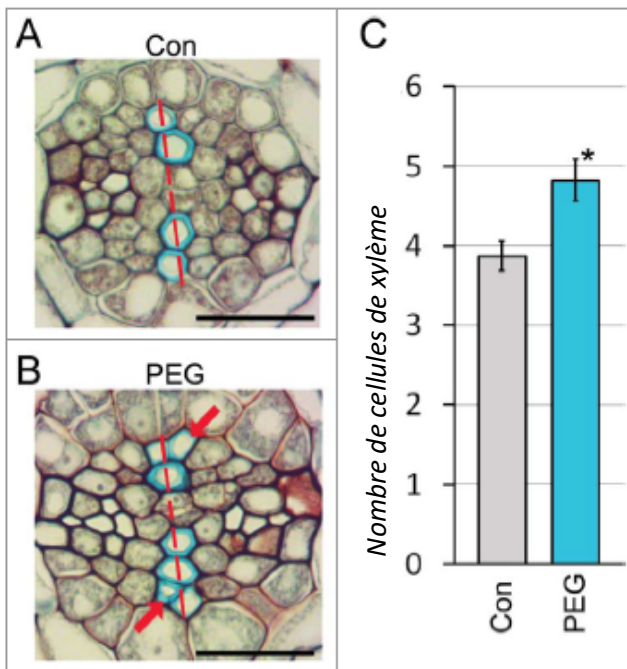


Document 6 : Modification de la croissance cellulaire du bois induite par l'arrêt de l'irrigation des pins sylvestres en 1983. La courbe noire indique, pour le bois de printemps, le rapport entre le diamètre de la lumière des vaisseaux et l'épaisseur de la paroi de ces vaisseaux. La courbe grise l'indique pour le bois d'été. La courbe pointillée indique le nombre annuel de cellules de bois produites (unité arbitraire). [4]

10. Donner le nom du mécanisme cellulaire quantifié par le rapport $\frac{\text{diamètre de la lumière du vaisseau}}{\text{épaisseur de la paroi du vaisseau}}$

11. Analysez le document 6 afin de valider ou d'invalider le mécanisme proposé à la question 8 pour expliquer la réponse physiologique du bois de pin à l'irrigation.

Afin de mieux comprendre les mécanismes cellulaires et moléculaires de réponse des arbres à la sécheresse, une étude a fait germer des graines de pin en ajoutant du polyéthylène glycol (PEG) dans le sol. Le développement des vaisseaux de xylème est étudié au niveau des jeunes racines. Les résultats sont présentés par les documents 7 à 9.



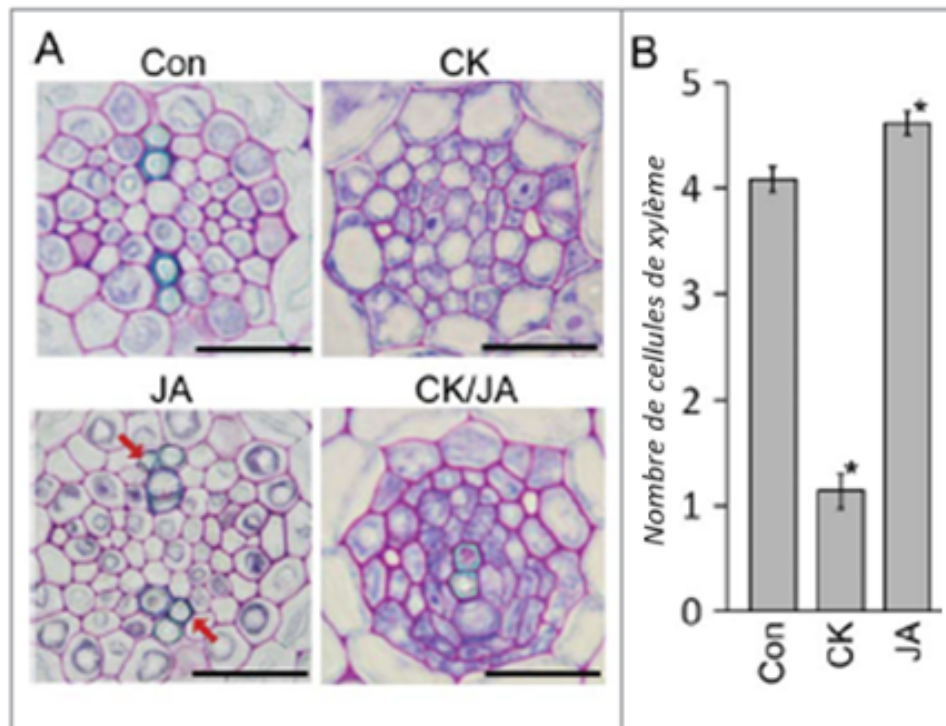
Document 7 : Influence d'un stress hydrique expérimental sur le développement du xylème primaire de jeunes racines de pins.

A : Coupe transversale colorée au bleu de toluidine d'une jeune racine de pin après 8 jours en condition contrôle (*con* : $\Psi_{sol} = -0,25\text{MPa}$).

B : Coupe transversale colorée au bleu de toluidine d'une jeune racine de pin après 8 jours en présence de PEG (*PEG* : $\Psi_{sol} = -0,7\text{MPa}$). Le bleu de toluidine colore en bleu la lignine. La barre d'échelle est de $20\ \mu\text{m}$. Les flèches rouges indiquent les vaisseaux de xylème supplémentaires.

C : Comptage du nombre moyen de vaisseaux de xylème observé sur une quinzaine de racines par condition (*con* ou *PEG*). L'astérisque indique que le test statistique de comparaison des moyennes montre qu'elles sont significativement différentes [5].

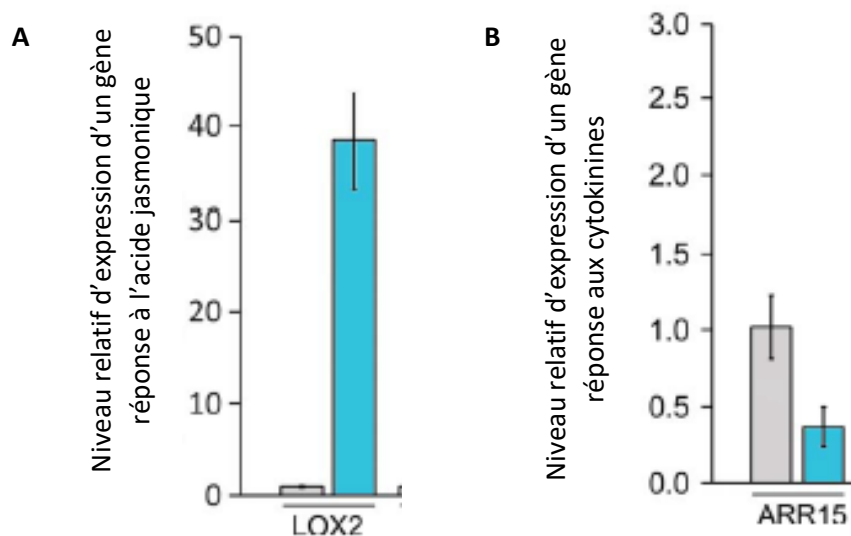
12. A l'aide des informations de la légende du document 7 et de vos connaissances, justifiez l'utilisation du PEG pour simuler une condition de sécheresse.
13. Analysez les résultats du document 7 et comparez ses conclusions avec celles des documents précédents sur l'effet du manque d'eau sur le bois des troncs.



Document 8 : Étude des hormones expliquant la réponse au stress hydrique du xylème primaire de jeunes racines de pins.

A : Coupes transversales colorées au bleu de toluidine de jeunes racines de pin soumises pendant 7 jours à différentes conditions (Con : témoin identique au document 7.A ; CK : ajout de $50\ \text{nM}$ d'une hormone cytokinique ; JA : ajout de $10\ \mu\text{M}$ d'hormone acide jasmonique). Le bleu de toluidine colore en bleu la lignine. La barre d'échelle est de $20\ \mu\text{m}$. B : Comptage du nombre moyen de vaisseaux de xylème observés sur une quinzaine de racines dans les différentes conditions testées en A. L'astérisque indique que les moyennes sont significativement différentes de la condition témoin. [5].

14. A l'aide du document 8, identifiez l'hormone impliquée dans le contrôle de la formation du xylème en situation de sécheresse.

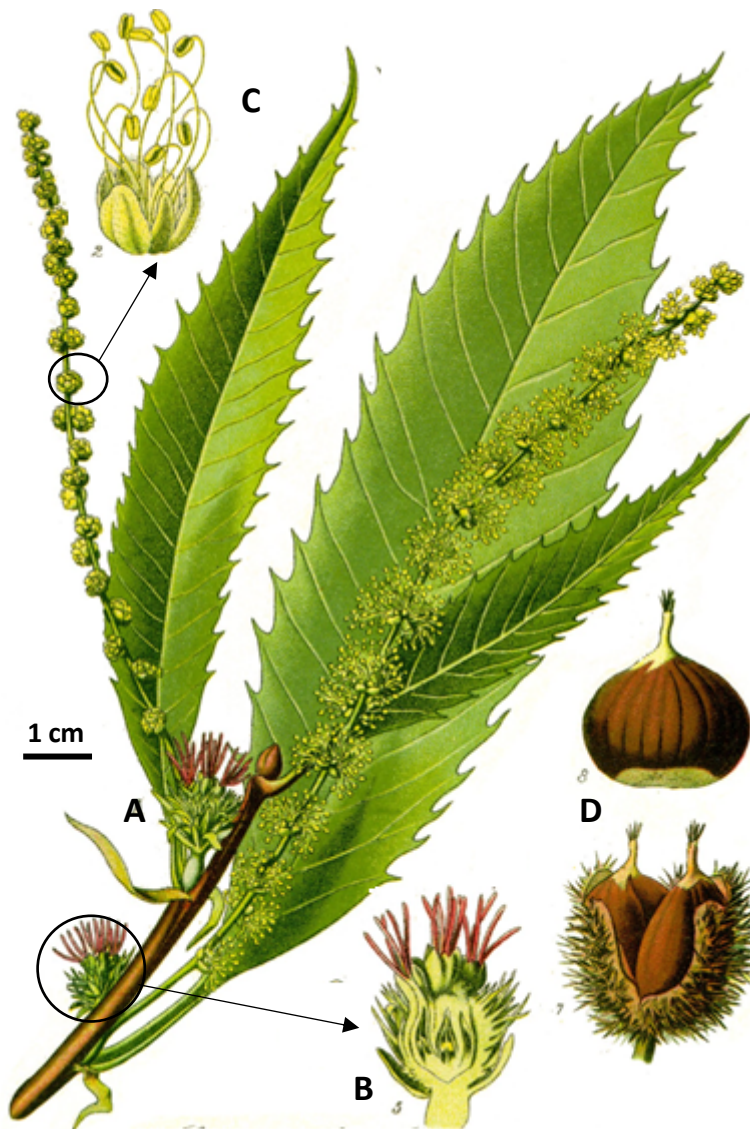


Document 9 : Étude du contrôle hormonal de l'expression génétique des cellules de xylème primaire de jeunes racines de pins en conditions expérimentales de stress hydrique.

A : Quantification du niveau relatif d'expression du gène LOX2 (connu pour être sous le contrôle de l'acide jasmonique JA) dans les cellules de xylème primaire de jeunes racines de pins après 8 jours en condition de stress hydrique induite par le PEG (barre bleue : $\Psi_{sol} = -0,7$ MPa) par rapport à une condition témoin (barre grise : $\Psi_{sol} = -0,25$ MPa). Les barres d'erreur indiquent la variation (erreur standard) observée entre une quinzaine de racines. B : Quantification du niveau relatif d'expression du gène ARR15 (connu pour être sous le contrôle des cytokinines CK) dans les cellules de xylème primaire de jeunes racines de pins après 8 jours en condition de stress hydrique induite par le PEG (barre bleue : $\Psi_{sol} = -0,7$ MPa) par rapport à une condition témoin (barre grise : $\Psi_{sol} = -0,25$ MPa). Les barres d'erreur indiquent la variation (erreur standard) observée entre une quinzaine de racines. [5].

15. A l'aide des documents 7 à 9, proposez un schéma fonctionnel expliquant les liens observés entre stress hydrique, hormones et formation du xylème.

Partie B : Le châtaigner face aux changements environnementaux



Le châtaigner d'Europe (*Castanea sativa*) est un arbre de la famille des Fagacées connu et cultivé depuis plusieurs milliers d'années. Ses fruits, les châtaignes, ont permis de nourrir les populations de certaines régions (Limousin, Cévennes) pendant les périodes de famine en remplaçant les céréales par de la farine de châtaigne (on le surnomme ainsi l'arbre à pain). Son bois, réputé peu putrescible, est riche en tannins limitant l'attaque par les champignons et les insectes xylophages. Il est ainsi beaucoup utilisé dans les charpentes.

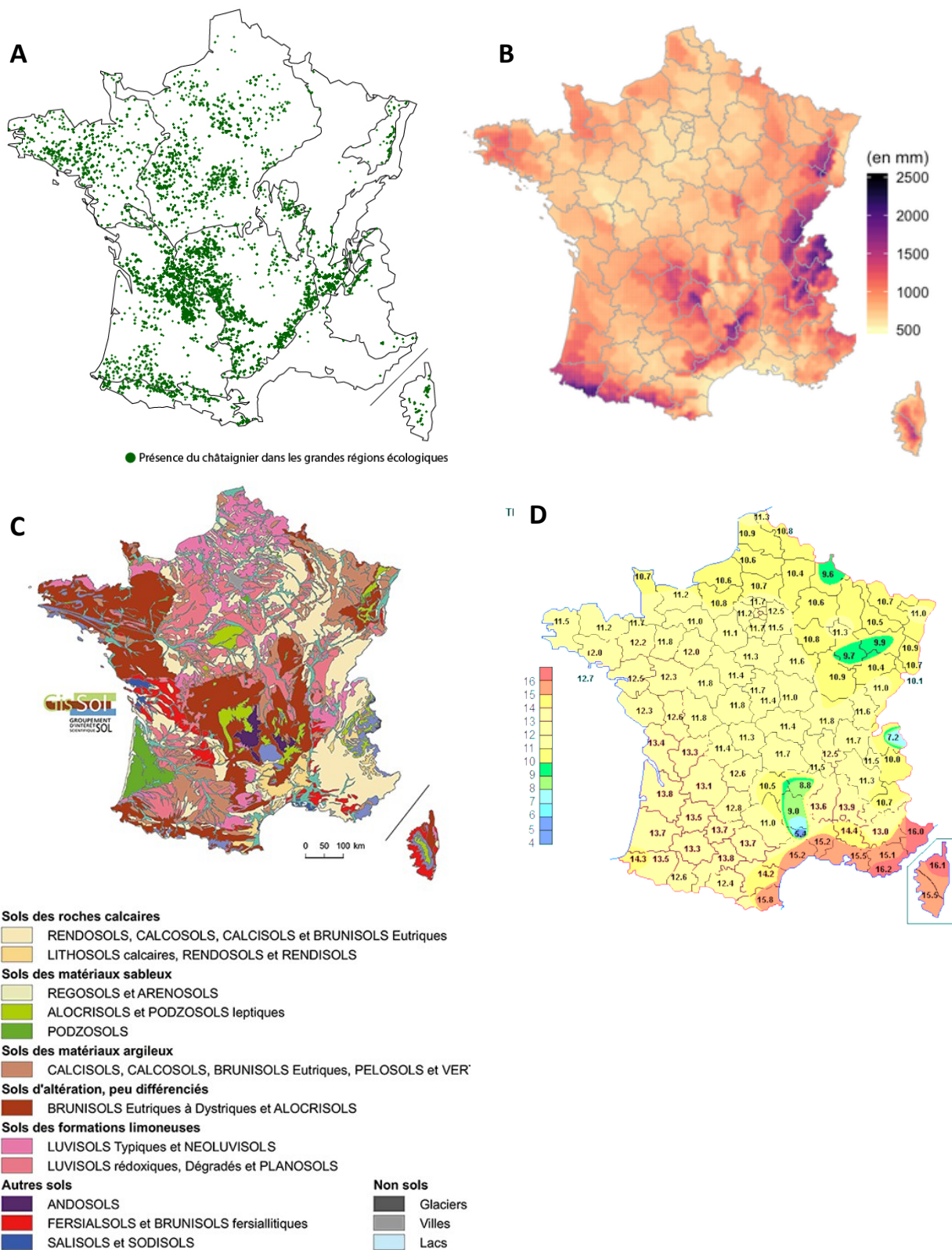
Malheureusement, les taux de mortalité des châtaigniers en France et en Europe sont parmi les plus importants dans les forêts des différentes régions où l'espèce est implantée. L'objectif de cette partie est d'identifier et d'expliquer certaines des causes de mortalité du châtaigner.

Document 10 : Planche descriptive de l'appareil reproducteur d'un châtaigner : En A, description de l'ensemble d'un rameau portant les « chatons » mâles et femelles ; En B, présentation d'un chaton d'un sexe ; en C, zoom sur un élément composant le chaton de l'autre sexe ; En D, présentation d'une « bogue » de châtaigne et d'une châtaigne.

16. Qualifiez une espèce dont les deux sexes sont portés par le même individu mais sur des appareils reproducteurs différents.
17. Identifiez en justifiant la structure botanique correspondant à un « chaton ».
18. Identifiez en justifiant le sexe des fleurs des chatons représentés sur le document 10.B et 10.C
19. Justifiez que la châtaigne est un fruit par l'observation des documents 10.B et 10.D.

L'objectif de la partie suivante est de mettre en relation la répartition du châtaigner et les causes de sa mortalité.

Document 11 : Comparaison de la répartition spatiale du châtaignier en France métropolitaine (A, source ONF) avec la répartition d'autres facteurs abiotiques : En B, moyenne annuelle des précipitations entre 1976 et 2003 (source Météo France) ; en C, cartographie des principaux types de sols (source AFES) ; en D, moyenne annuelle des températures entre 1981 et 2010.



20. En comparant les différentes cartes du document 11, identifiez les facteurs abiotiques contraignant la présence des châtaigniers.

24. A partir de vos précédentes réponses sur les facteurs abiotiques contraignant la répartition spatiale du châtaignier, proposez une hypothèse expliquant les effets du réchauffement climatique sur la mortalité excessive des arbres.

Depuis 1956, une des principales causes de mortalité des châtaigniers est une maladie, appelée le chancre du châtaignier, causée par le champignon *Cryphonectria parasitica* originaire d'Asie et introduit en Europe et aux USA par des plants de châtaignier asiatique (*Castanea crenata*), espèce tolérante au champignon avec lequel elle a coévolué.



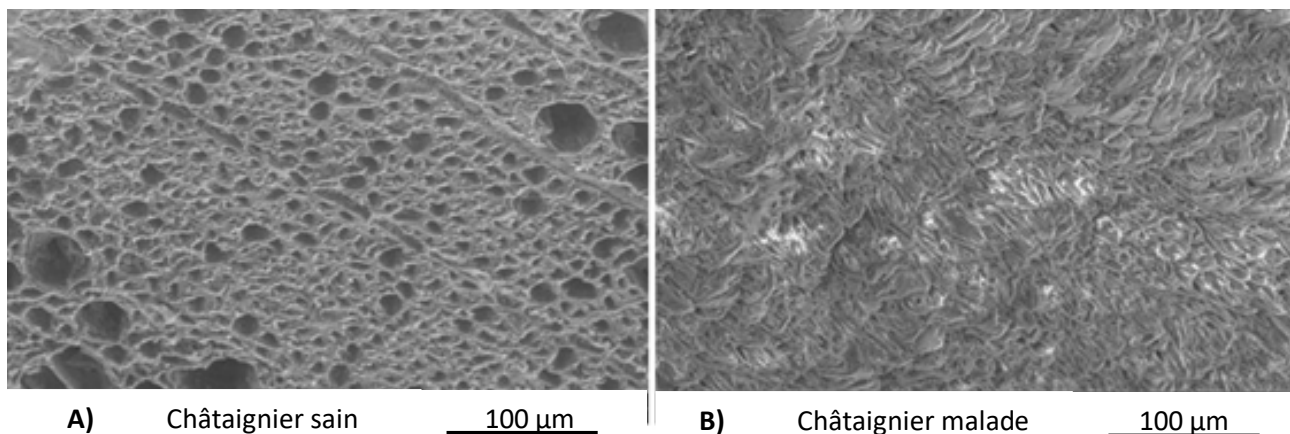
Document 14 : Présentation du champignon *Cryphonectria parasitica* responsable du chancre du châtaignier.

La germination des spores se produit à la faveur de blessures de l'écorce, naturelles ou artificielles. Le champignon jaunâtre se développe entre le bois et l'écorce, induisant des craquelures observables appelées chancre. Il détruit le phloème, puis atteint le bois. L'infection provoque alors des dépérissements graves pouvant entraîner la mort de l'arbre hôte.

(source <http://ephytia.inra.fr/fr/C/19080/Chancre-du-chataignier>)

25. Qualifiez en justifiant la relation interspécifique entre le châtaignier et *Cryphonectria parasitica*.

Document 15 : Observation microscopique de bois de châtaignier après attaque par le champignon *Cryphonectria parasitica* [6]



A) Châtaignier sain

100 µm

B) Châtaignier malade

100 µm

26. Décrivez les conséquences de l'infection à *Cryphonectria parasitica* sur la structure du bois de châtaignier.

27. a. Rappelez les deux principales molécules constituant les vaisseaux conducteurs du bois.

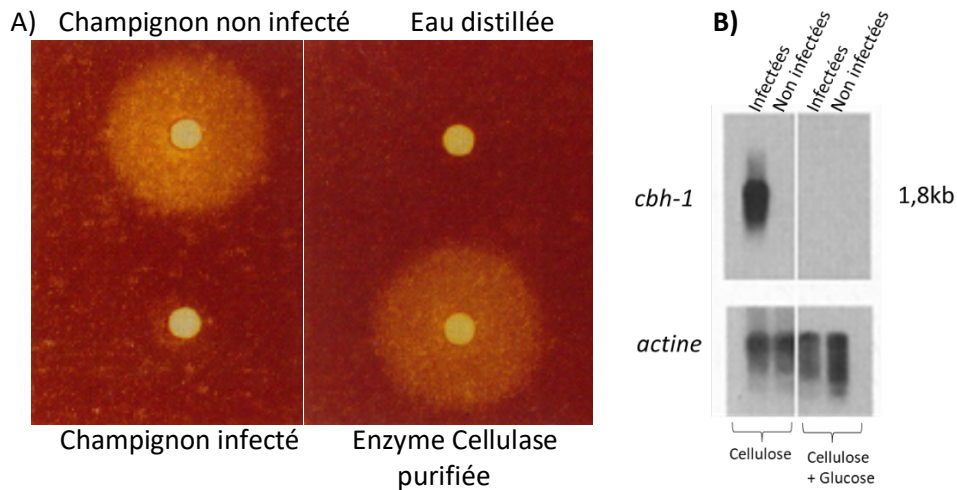
b. Proposez un mécanisme d'action du champignon sur la structure du bois.

Il existe un virus parasite du champignon *Cryphonectria parasitica* utilisé en lutte biologique. Les souches de champignon infectées par ce virus progressent peu à l'intérieur de l'arbre : le bois n'est pas attaqué et une partie importante du phloème non plus. Le chancre reste alors superficiel. De plus, les souches infectées ne se reproduisent pas de manière sexuée, ce qui réduit la dissémination naturelle de ces souches. (Source ephytia.inra.fr/fr/C/19080/Chancre-du-chataignier)

Document 16 : Effet d'un traitement par infection virale sur les capacités cellulolytiques du champignon *Cryphonectria parasitica* responsable du chancre du châtaignier.

En A : Test de l'activité cellulolytique de souches de champignon *Cryphonectria parasitica* infectées ou non par le virus. Les souches de champignon sont mises en culture sur un milieu contenant de la cellulose. L'activité cellulase est révélée par une coloration de la cellulose résiduelle au rouge Congo.

En B : Résultat d'une électrophorèse des ARNm de souches de champignons *Cryphonectria parasitica* infectées ou non. Les champignons sont cultivés soit dans un milieu riche en cellulose soit dans un milieu contenant de la cellulose et du glucose en quantité similaire. La présence des ARNm *cbh-1* et *actine* sont mis en évidence à l'aide d'une sonde radioactive spécifique complémentaire de la séquence d'ARNm. Le gène *cbh-1* est un gène de réponse à la présence de cellulose dans l'environnement des champignons. [7]



28. Justifiez l'utilisation d'une enzyme cellulase purifiée dans l'expérience présentée par le document 16.A. De même, justifiez la mise en évidence des ARNm de l'actine dans l'expérience présentée par le document 16.B.

29. Analysez les résultats du document 16 pour les champignons non infectés par le virus afin de comprendre le métabolisme du champignon *Cryphonectria parasitica*.

30. Analysez les résultats du document 16 pour les champignons infectés par le virus afin d'expliquer l'effet de ce traitement phytosanitaire utilisé contre le chancre du châtaignier.

La mise en culture des champignons *Cryphonectria parasitica* a montré qu'ils sont aussi capables de dégrader la lignine du bois comme de nombreux autres champignons. Les documents suivants présentent les résultats d'une étude ayant purifié et étudié la cinétique d'une enzyme ligninolytique du champignon : la tannase.

Document 17 : Résultats de l'étude cinétique de l'enzyme tannase du champignon *Cryphonectria parasitica* responsable du chancre du châtaignier. Mesure des paramètres cinétiques de l'enzyme tannase pour son substrat en absence ou en présence d'acide gallique, un tannin présent dans l'écorce du chêne notamment. Il est supposé que l'enzyme tannase suit une cinétique du modèle de Michaëlis et Menten. L'étude cinétique a été réalisée plusieurs fois à 30°C et à pH 5,5. Le nombre après le symbole \pm indique l'écart type autour de la moyenne des mesures. [6]

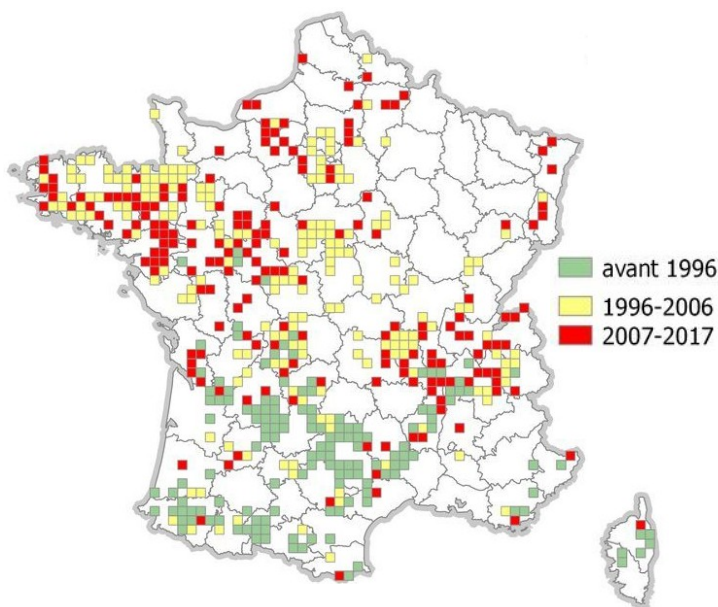
Paramètres cinétiques	K_m (mM)	V_{max} (unité / mL)
Sans acide gallique	$0,94 \pm 0.12$	$10,5 \pm 0.61$
Avec acide gallique	$12,7 \pm 0.05$	$10,9 \pm 0.81$

31. *Comparez les paramètres cinétiques de l'enzyme tannase pour son substrat en absence ou en présence d'acide gallique.*
32. *Nommez puis expliquez l'action de l'acide gallique sur l'activité de l'enzyme.*
33. *Déduisez-en une autre piste de traitement pour les châtaigniers malade.*

Document 18 : Variation de l'activité de l'enzyme tannase pour son substrat en fonction des conditions de température et de pH [8].

	Température	pH
Activité maximale	30	5,5
Gamme de stabilité	20 – 45	4 – 7,5
Activité minimale	<10 et > 50	<2,5 et >8,5

34. *Expliquez les résultats du document 18.*

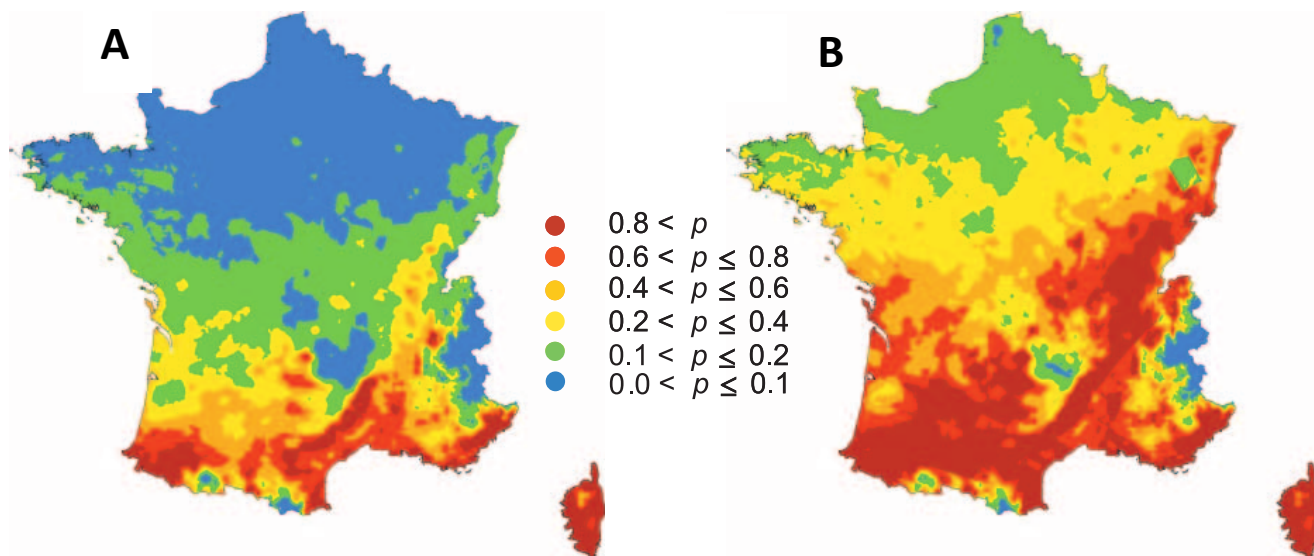


Depuis l'introduction du champignon pathogène en 1956 en France, son expansion et ses dégâts ont été très suivis dans certaines régions où la culture du châtaignier reste importante d'un point de vue économique et culturel.

Document 19 : Carte de l'historique des signalements de chancre du châtaignier en France métropolitaine depuis l'introduction du champignon pathogène (Source : [.ephytia.inra.fr/fr/C/18514/Chataignier](http://ephytia.inra.fr/fr/C/18514/Chataignier))

35. *Décrivez le document 19 et proposez une explication aux résultats observés.*

Document 20 : Carte des prédictions de la proportion d'arbres malades du chancre du châtaignier proposées par une modélisation numérique de niche écologique basée sur les capacités de survie et de reproduction du champignon à différentes températures et sur un scénario probable d'évolution climatique sélectionné par le GIEC (Groupe Intergouvernemental d'Étude du Climat). En A : prédictions du modèle pour la période 1961-1990. En B : prédictions du modèle pour la période 2070-2099. Les couleurs indiquent différentes gammes de prévalence de la maladie. Les proportions d'arbres infectés sont indiquées en taux (10% = 0,1).



36. Critiquez la qualité du modèle de niche du chancre du châtaignier en comparant les prédictions du document 20.A avec les données du document 19.
37. Identifiez les informations portées par les documents 10 à 19 ayant pu aider les auteurs à construire ce modèle de propagation de la maladie en contexte de réchauffement climatique.
38. Comparez les résultats du document 20.B avec la carte de répartition actuelle du châtaignier pour identifier les régions de France métropolitaine qui seront encore préservées de l'épidémie en 2070-2099.
39. A l'aide des réponses à la partie B, proposez des solutions de gestion des forêts de châtaigniers à l'échelle nationale.
40. A l'aide des réponses aux parties A et B, construisez un schéma bilan des effets des sécheresses plus fréquentes observées en contexte de réchauffement climatique actuel sur les forêts de France métropolitaine. Ce schéma doit aborder les mécanismes de ces effets ainsi que leurs conséquences pour la gestion forestière.

FIN DU SUJET