

Partie A : La pollinisation au verger

1. Un **agrosystème** comme le verger constitue un **écosystème** (association d'un biotope et d'une biocénose) **façonné par l'action de l'homme**. La biocénose est sous contrôle par l'agriculteur (plantation des pommiers et bandes enherbées, élimination des ravageurs et adventices, blocage de l'évolution vers la friche). Au flux d'énergie solaire entrant s'ajoutent les intrants (engrais, pesticides). Une partie de la matière est exportée : pommes récoltées, vieux arbres abattus et enlevés, herbe éventuellement fauchée et exportée.

2a. 1. Ovule ; 2. Ovaire ; 3. Style ; 4. Sépale ; 5. Filet ; 6. Anthère ; 7. Stigmate ; 8. Pétale

A. Pédoncule ; B. Graine/pépin ; C. Loge carpellaire ; D : reste des pièces florales ; E. Epiderme/peau ;

F. Conceptacle devenu charnu ; G. Péricarpe/trognon.

2b. Pédoncule floral → Pédoncule

Ovule → Graine/Pépin

Paroi de l'ovaire → Péricarpe/trognon

Conceptacle → Chair autour du trognon.

2c. La présence de grands pétales colorés, le stigmate non plumeux, les étamines ne dépassant pas à l'extérieur du périanthe, les anthères non versatiles : tout indique ici l'**entomogamie** plutôt que l'anémogamie.

3. Dans l'**allogamie**, en raison d'un système d'autoincompatibilité, une plante ne peut pas s'autoféconder ni être fécondée par un autre individu de même génotype voire de génotype proche. Cela rend moins probable le fait que chaque parent apporte le même allèle à un locus donné, et entraîne donc un taux d'hétérozygotie élevé.

Dans le cas d'un régime **autogame**, si un locus était hétérozygote chez le parent, il y a une chance sur deux qu'il soit à l'état homozygote chez le descendant. On aurait donc un taux élevé d'homozygotie.

4. Il faut planter 3 variétés : la Belle de Boskoop ; une deuxième variété pour polliniser Belle de Boskoop ; et une troisième variété pour polliniser la deuxième (et se faire polliniser par elle), car Belle de Boskoop n'en est pas capable.

5. Puisqu'il faut planter trois variétés, Belle de Boskoop compris, il faut choisir les deux autres dans le **même groupe de floraison**, pour que la pollinisation croisée puisse avoir lieu.

Pour avoir le maximum de pommes, il faut que la pollinisatrice de Belle de Boskoop ne partage aucun allèle avec elle (donc ni S2, ni S3, ni S5), et que la troisième variété ne partage aucun allèle avec la pollinisatrice de Belle de Boskoop. On pourrait prendre **par exemple Jonathan (S7S9)** pour polliniser Belle de Boskoop et Golden Delicious (S2S3) pour polliniser Jonathan, quand la période de pollinisation de Belle de Boskoop sera passée (elle ne risque donc pas de recevoir de pollen S2 ou S3 improductif).

6. On a vu en 2b que la graine (le pépin) dérive de l'ovule, qui contient le gamète femelle, mais que la **chair du fruit dérive de la paroi de l'ovaire**, et du conceptacle. Il n'y a donc aucune participation du génome du gamète mâle apporté par le pollen à la pomme, en dehors du pépin (et encore, seul l'embryon et l'albumen sont concernés). Par conséquent, **l'origine du pollen est indifférente** (du moment qu'il y a fécondation) et **les caractéristiques du fruit ne dépendront que de l'arbre qui les porte**.

7. Gala (S2S5) et Golden Delicious (S2S3) partagent l'allèle S2 en commun. On s'attend donc à ce que la moitié du pollen de Golden Delicious qui arrive sur les fleurs Gala ne soit pas fécondant. Les pommes anormales présentent une loge carpellaire dépourvue de pépin, ce qui indique qu'il n'y a pas eu de fécondation du ou des ovule(s) qui occupai(en)t cette loge ; le fruit du côté de la loge vide s'est mal développé. C'est donc que **la graine influence le développement du fruit**.

Dans ce verger, il n'y a pas assez de pollen compatible pour féconder tous les ovules.

Confirmation sur le doc A3 où l'on voit que la moitié des tubes polliniques (issus de la germination du pollen) avortent au milieu du style de Gala (la croissance apicale du tube est terminée par un bouchon de callose) : ce sont sans doute les tubes polliniques S2 de Golden Delicious, reconnus par le style S2S5.

8. Le doc A4-A montre que la quantité d'auxine dans le pépin est multipliée par 20 entre 14 et 90 jours après floraison, période qui ne recouvre que partiellement la période de méiose des cellules du fruit (entre 0 et 25 jours) mais recouvre bien la période d'auxèse (entre 20 et 60 jours).

Or **l'auxine est une phytohormone** impliquée dans l'auxèse (grandissement des cellules). On peut faire l'hypothèse que l'auxine produite dans le pépin **diffuse dans la paroi de l'ovaire** devenue péricarpe pour y exercer son effet de façon dose-dépendante sur la croissance des cellules du fruit. On constate en effet en A4-B un maximum d'auxine à 45 jours dans la périphérie du fruit. L'effet de l'auxine sur le développement du fruit est vérifié par l'injection d'auxine à 10^{-7} M à 30 jours. 14 jours après, les fruits ont pris 1 mm par rapport au témoin (12 + 1 mm). À plus forte dose, on a un effet inverse, inhibiteur, de l'auxine. En l'absence de fécondation si le pollen est incompatible, cette diffusion locale d'auxine n'a pas lieu et le fruit se développe mal/pas.

Partie B : l'origine évolutive de la pomme

9. Les pommiers sauvages poussent dans des forêts naturelles et peuvent même y dominer comme au Kazakhstan. **L'homme n'a donc aucun rôle** dans la dissémination des graines, ces arbres ne viennent pas de semis d'un arboriculteur.

Le fruit est consommé pour sa chair par de nombreux animaux : le trognon est disloqué et les pépins (graines) libérés dans les voies digestives de l'animal. Ils ressortent intacts avec les excréments à distance de l'arbre parent. La dissémination des graines est **endozoochore**.

Les fruits de petite taille comme ceux de *Malus baccata* sont consommés par des animaux de petite taille comme les oiseaux, ceux de taille moyenne (*Malus sylvestris*) par des animaux plus gros comme le renard, ceux de plus grande taille comme les pommes de *Malus sieversii* doivent l'être par des animaux encore plus gros.

10. Lorsqu'un petit fruit est mangé par un animal à grande mâchoire, le trognon risque de ne pas être disloqué. Le fruit risque d'être avalé "tout rond" et les graines restent alors dans le trognon dans les excréments. Les graines issues d'un fruit de petite taille mangé par un animal de grande taille ont donc **moins de chances de germer** que celles issues d'un fruit de grande taille.

11. Dans les forêts des contreforts du Tian Shan, les ours se préparant à entrer en hibernation font une grosse consommation de pommes tombées au sol. Ils dédaignent les fruits trop petits pour se concentrer sur les plus gros, qui leur assure un maximum d'énergie en une seule bouchée. En outre, les graines d'un petit fruit qui aurait été avalé auront moins de chance de germer que celles d'un plus gros fruit (question précédente). Les ours exercent donc une pression de sélection pour une évolution positive de la taille du fruit de *Malus sieversii*, comme l'homme a pu le faire par sélection artificielle pour d'autres fruits.

12. Le micro-ARN mi-RNA172p empêche la traduction de l'ARNm de gène cible (ici *APETALATA2*). Puisque les pommiers transgéniques ont de tout petits fruits, c'est que **l'expression des gènes *APETALATA2* a un effet positif sur la taille du fruit**.

13. L'insertion trouvée dans le gène codant le précurseur de mi-RNA172p n'est présente que chez les pommiers à fruits moyens à gros. Elle doit avoir un **effet négatif sur l'abondance du micro-ARN**, par exemple en déstabilisant l'ARN précurseur ou en bloquant sa maturation (puisque l'insertion n'affecte pas directement la séquence du micro-ARN). Cet effet doit être à l'origine **de la taille plus grande des fruits**.

14. Un *Malus* à petit fruits a dû subir une insertion au locus du micro-ARN et s'est donc mis à produire des fruits plus gros. Ils ont été appréciés par les ours ou par d'autres gros animaux qui les ont consommés de préférence aux fruits des autres arbres. La fréquence de l'insertion dans la population a donc augmenté et elle a fini par se fixer.

Partie D : la diversité des pollinisateurs

15. Le document D2 montre une corrélation positive entre le nombre d'espèces d'abeille fréquentant la parcelle et le nombre moyen de graines par fruit (multiplié par x2 quand le nombre d'espèces passe de 4 à 10). Donc l'augmentation de la **diversité spécifique des insectes pollinisateurs favorise la fécondation**.

Le document D3 montre qu'à chaque espèce d'abeilles correspond un intervalle de préférence pour l'heure de visite (d'amplitude pouvant aller de 20 minutes pour *A. cerana* à 2 heures pour *A. dorsata*) et un intervalle de hauteur des fleurs visitées. Or d'après le document D1, les fleurs sont produites à des hauteurs différentes et ne s'ouvrent que pendant un intervalle de 4 heures le matin. **L'augmentation de la diversité des espèces d'abeilles augmente donc les intervalles de pollinisation et la diversité des hauteurs de fleurs visitées.**

16. D'après le doc D5 à droite, dans les exploitations en agriculture biologique situées loin des milieux naturels (BL) le nombre de grains de pollen déposé par fleur et par jour est compris entre 300 et 1000 (moyenne de 600 environ) ; il est alors très inférieur au seuil pour avoir une pastèque commercialisable (1000). Ce problème ne se pose pas dans les exploitations situées près des milieux naturels (BP).

Cette différence peut s'expliquer par les résultats du graphique de gauche : dans les zones BL, il y a à la fois moins d'individus et moins d'espèces d'insectes pollinisateurs.

17. Le meilleur pollinisateur en 2001 est l'espèce numéro 1, soit *Halictus tripartitus*. En 2000, c'est l'espèce 3, *Peponapis pruinosa*, qui a joué ce rôle.

18. En 2000, les moyennes des contributions cumulées de 1 espèce de pollinisateurs observées cette année-là permettent tout juste d'atteindre le seuil de pollen nécessaire pour avoir une pastèque commercialisable. La valeur basse de l'intervalle de confiance n'atteint pas ce seuil. Il est donc pertinent de rajouter à l'action des pollinisateurs sauvages celle des abeilles domestiques.

19. En additionnant les contributions des espèces observées en 2000 et 2001, on peut avoir une idée de l'effet qu'aurait une augmentation de la diversité des pollinisateurs sauvages. Dans ce cas, même la valeur basse de l'intervalle de confiance dépasse le seuil nécessaire pour obtenir des pastèques commercialisables.