

# Quand les plantes font des maths

Les nombreuses feuilles d'*Aloe polyphylla*, une espèce originaire d'Afrique du Sud, forment de magnifiques spirales qui tournent dans les deux sens.



## L'ESSENTIEL

> Au fil de leur croissance, les plantes produisent d'étonnants motifs géométriques.

> En particulier, chez nombre de végétaux, l'angle entre deux organes successifs n'est autre que l'angle d'or, relié au nombre d'or.

> Depuis quelques années, les biologistes ont identifié

divers mécanismes intervenant dans la mise en place de ces motifs géométriques.

> Tout se passe dans les méristèmes, de minuscules niches de cellules souches où naissent les organes selon un plan qui n'est peut-être pas aussi déterministe qu'on le pensait.



**TEVA VERNOUX**  
directeur de  
recherche au CNRS  
au sein du  
laboratoire  
Reproduction  
et développement  
des plantes, à l'ENS  
de Lyon



**CHRISTOPHE  
GODIN**  
directeur de  
recherche à l'Inria  
au sein du même  
laboratoire



**FABRICE BESNARD**  
chargé de  
recherche à l'Inra  
au sein du même  
laboratoire

Spirales croisées, arrangement régulier des feuilles le long des tiges, organisation des écailles de pommes de pin... Les végétaux fabriquent des géométries complexes qui fascinent depuis longtemps. Aujourd'hui, des chercheurs commencent à comprendre les mécanismes biologiques qui produisent ces motifs géométriques.

**Q**ui n'a pas déjà été intrigué par la beauté des motifs végétaux? Et en particulier par les régularités et les symétries quasi cristallines que forme ce que l'on nomme la phyllotaxie? Du grec *phyllo* (feuille) et *taxie* (ordre), il s'agit de l'arrangement des feuilles (et par extension de tout élément botanique) le long des tiges d'une plante. Ces arrangements fascinants sont une source d'inspiration inépuisable pour l'art humain, comme le suggèrent les motifs déployés par exemple dans l'art musulman ou l'art nouveau, mais ce n'est pas tout. Ils ont aussi des propriétés mathématiques étonnantes dont on commence à décrypter les dessous biologiques.

Au-delà des implications en termes d'évolution (voir l'encadré page 28), les mécanismes qui assurent l'autoorganisation de géométries aussi complexes ont longtemps laissé les scientifiques perplexes. Comment émergent ces motifs réguliers, des molécules jusqu'à la plante entière?

Bref: comment les plantes font-elles des mathématiques? Depuis plus de deux cents ans, des chercheurs allient mathématiques, physique, informatique et biologie pour répondre à ces questions, mais ces vingt dernières années, des avancées majeures ont été obtenues. Depuis une dizaine d'années, notamment, plusieurs équipes interdisciplinaires, dont la nôtre, ont mis au point des approches qui combinent les dernières avancées de la biologie moléculaire et des outils de modélisation pour mieux disséquer le fonctionnement de ce système complexe.

## L'ÉTONNANT POUVOIR ORGANISATEUR DU MÉRISTÈME

Pour commencer cette histoire, observons, au bout des tiges, les petites zones des plantes qui fabriquent leur phyllotaxie: les méristèmes, des tissus spécialisés qui contiennent des cellules souches et produisent en permanence de nouveaux organes (voir la photo page 31). Dans cet espace réduit (plus petit qu'une tête d'épingle chez de nombreuses plantes), chaque nouvel organe se forme à un moment précis et

## À QUOI ÇA SERT LA PHYLLOTAXIE ?

**M**ais à quoi ça sert ? Cette question revient immanquablement en biologie. Dans le cadre de la théorie de l'évolution, elle se reformule plutôt ainsi : les phyllotaxies procurent-elles aux plantes un avantage sélectif particulier ? Autant le dire tout de suite, nous n'avons pas la réponse. Il faut toutefois se méfier de la tendance spontanée de l'esprit humain à considérer tout élément biologique comme étant le fruit d'une sélection positive *ad hoc*.

Prenons le lieu commun qui considère la phyllotaxie comme une adaptation permettant de capter au mieux la lumière, car elle minimiserait le recouvrement entre feuilles. Cette assertion ne résiste pas longtemps à l'analyse. D'abord, elle fait fi de la diversité des phyllotaxies existantes : beaucoup de plantes présentent une phyllotaxie avec des recouvrements importants et pourtant manifestement viable. De plus, la phyllotaxie ne détermine que l'insertion des feuilles sur la tige. Dans bien des cas, les



La phyllotaxie ne maximise souvent pas la captation de l'énergie lumineuse, comme ici chez une véronique arbustive (genre *Hebe*), de phyllotaxie verticillée très compacte.

feuilles se réorientent par des mouvements de croissance, de flexion ou de torsion mécanique dans la direction de la lumière. Par ailleurs, toutes les plantes n'ont pas intérêt à maximiser leur exposition au soleil, en particulier dans les environnements arides. À notre connaissance, il n'a en outre pas été établi de corrélation entre le taux de recouvrement

possibles ont été proposés. Par exemple, dès 1873, le médecin anglais Hubert Airy suggérait que le caractère compact de ces structures protégerait les jeunes organes des stress externes (températures, blessures, prédation, etc.). Aussi intéressantes soient-elles, ces hypothèses posent un problème majeur : elles sont difficiles à tester expérimentalement, car il est difficile de comparer différentes phyllotaxies ou de les modifier expérimentalement sans que d'autres caractères de la plante ne changent. Sans compter que mesurer rigoureusement des avantages sélectifs n'est pas chose aisée.

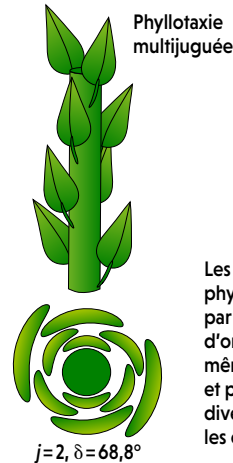
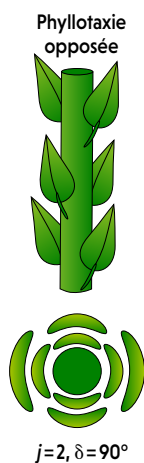
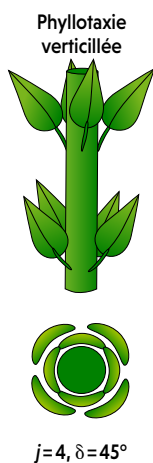
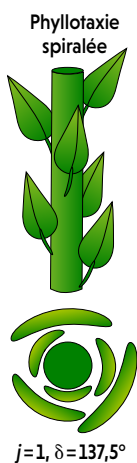
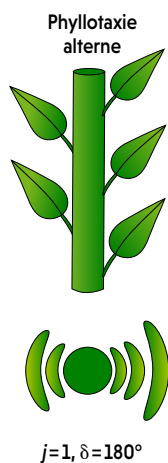
Une alternative à ces hypothèses adaptationnistes serait que les motifs géométriques des phyllotaxies ne soient qu'une conséquence indirecte – et donc non objet de la sélection en tant que tel – de la façon dont les plantes se développent, véritable objet de la sélection. La façon dont les plantes fabriquent leurs organes explique beaucoup des propriétés géométriques des phyllotaxies. Mais cette explication n'exclut pas que ces propriétés émergentes ne puissent conférer un avantage sélectif particulier, qui *in fine* favoriserait la sélection des mécanismes contrôlant la formation des organes...

T. V., C. G. et F. B.

### Les différentes hypothèses sont difficiles à tester expérimentalement

des phyllotaxies et le taux d'ensoleillement que les plantes subissent. Enfin, cet argument ignore la nature des structures impliquées. La phyllotaxie ne concerne pas que les feuilles, mais aussi beaucoup d'éléments botaniques non photosynthétiques, pour qui la maximisation de l'éclairement n'est pas pertinente : écailles de pommes de pin, «fleurons» (petites fleurs) des marguerites, organes d'une fleur (hormis les sépales).

Hormis l'optimisation de la captation de la lumière, d'autres intérêts adaptatifs



Les principaux types de phyllotaxie, caractérisés par le nombre  $j$  d'organes insérés au même nœud de la tige, et par l'angle  $\delta$  de divergence entre les organes successifs.