

# Polyploïdie, Hybridation

---

## Sujet n°2

Mmes Seglas et Diarra

01/01/2015

# ***Sommaire***

Polyploïdie .....	3
L'émergence de nouvelles espèces en sympatrie par hybridation : le cas des tournesols américains. ....	4
L'unité de lieu : la spéciation sympatrique .....	6
Un mécanisme de diversification des génomes .....	7
Bibliographie .....	9

## Polyploïdie

Si l'ajout d'un chromosome peut poser un problème sérieux à un individu dans la mesure où il détruit l'équilibre entre les gènes, le doublement du génome est mieux supporté par les organismes ne présentant pas un mécanisme de détermination du sexe très complexe.

Chez les végétaux, la polyploïdisation (cf. tome I chap. I.2) serait à l'origine de la moitié des espèces. Cette conclusion s'appuie sur la structure des caryotypes. En effet, dans de nombreux genres, le nombre de chromosomes d'espèces différentes se révèle multiple d'un nombre de base. Par exemple, dans les graminées du genre *Festuca*, on trouve des espèces où  $2n = 14, 28, 42, 56, 70$ , nombres qui sont tous multiples de 7. En outre, une polyploïdisation expérimentale est possible entre le radis (*Raphanus sativus*) et le chou (*Brassica oleracea*). Le croisement entre ces deux espèces toutes deux à 18 chromosomes produit des hybrides vigoureux, possédant également 18 chromosomes, mais stériles, les chromosomes du radis et du chou ne s'appariant pas à la méiose malgré leur aspect analogue. En doublant par la colchicine les chromosomes de ces hybrides, on obtient une plante stable et fertile qui ne se croise avec aucune des espèces parentes (fig. 3.10). La polyploïdisation a donc permis la création d'une nouvelle espèce, *Raphanobrassica*.

La stabilisation d'une espèce tétraploïde pose cependant de sérieux problèmes : à la prophase de la première division méiotique, les

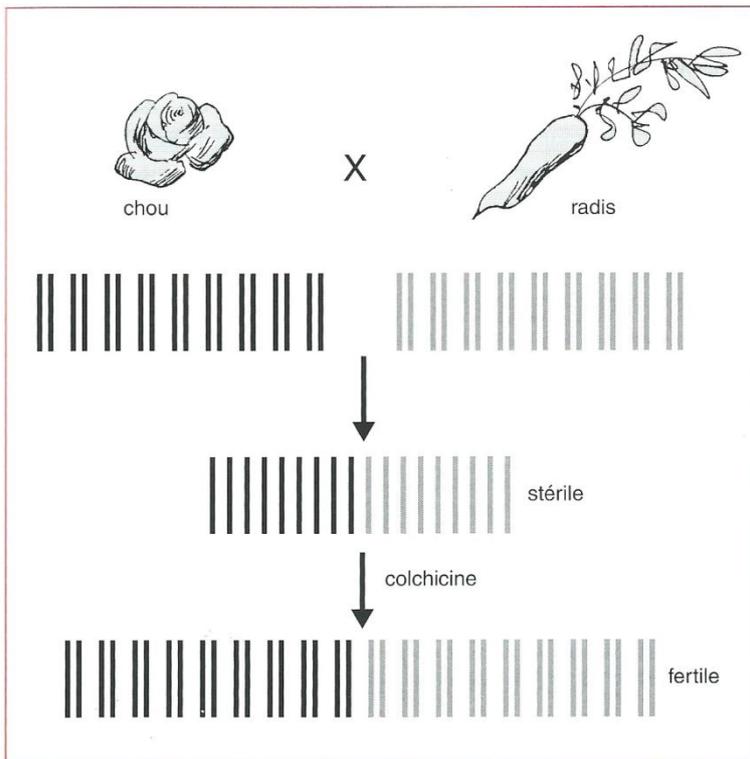


Figure 3.10 : L'hybride du chou et du radis est stérile, les chromosomes de ces deux espèces ne réussissant pas à s'apparier à la méiose. Mais si l'on double artificiellement le nombre de chromosomes de ces hybrides, on obtient une plante stable et fertile.

telle que le croisement était devenu impossible. Le processus de spéciation était achevé, on avait deux espèces. Les périodes de stabilité des espèces de la mer épicontinentale auraient donc été coupées par les intermédiaires brefs – au regard des temps géologiques – de la mer marginale.

La théorie, présentée d'abord comme une remise en cause fondamentale de la théorie synthétique de l'Évolution, s'accorde en fait parfaitement avec la spéciation géographique. Et l'on ne peut que souhaiter vivement la multiplication d'analyses de ce type.

## ***L'émergence de nouvelles espèces en sympatrie par hybridation : le cas des tournesols américains.***



**Doc. 1. Trois espèces de tournesols américains :** de gauche à droite, le tournesol annuel *Helianthus annuus*, le tournesol à long pétiole *H. petiolaris* et le tournesol anormal *H. anomalus*.

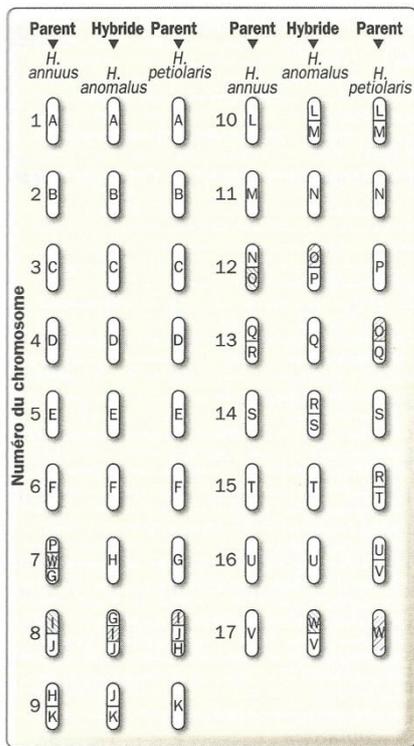
Aux États-Unis, les tournesols (genre *Helianthus*) sont représentés par 67 espèces proches (toutes strictement nord-américaines), dont le tournesol annuel *H. annuus* (l'ancêtre du tournesol cultivé), le tournesol à long pétiole *H. petiolaris* et le tournesol anormal *H. anomalus* (**doc. 1**). Ces trois espèces morphologiquement et écologiquement distinctes se rencontrent conjointement sur une vaste aire dans l'ouest du pays – elles sont sympatriques – et possèdent le même nombre de chromosomes ( $2n = 34$ ).

Des analyses chromosomiques montrent clairement que le tournesol anormal est une espèce issue de l'hybridation du tournesol annuel et du tournesol à long pétiole. Ces trois espèces étant diploïdes, il s'agit d'une hybridation sans polyploïdie.

Dans le caryotype du tournesol anormal, on trouve des recombinaisons chromosomiques héritées des deux autres espèces, marqueurs d'une hybridation.

La cartographie de blocs de gènes liés sur les chromosomes des trois espèces montre que le génome du tournesol anormal est toutefois profondément remanié par rapport à celui des deux parents (**doc. 2**). Ainsi, on remarque que :

- ▶ les 6 premiers chromosomes sont identiques chez le tournesol anormal et ses deux parents;



**Doc. 2. Cartographie des blocs de gènes liés dans le caryotype de trois espèces de tournesols :** les deux tournesols parents *H. annuus* (tournesol annuel) et *H. petiolaris* (tournesol à long pétiole) et le tournesol hybride *H. anomalus* (tournesol anormal). Les blocs de gènes liés sont indiqués par des lettres ; les blocs hachurés ont subi des inversions chez l'hybride. (D'après Reiseberg et coll., 1995.)

► pour 4 autres chromosomes (n<sup>os</sup> 10, 11, 15 et 16), l'hybride a conservé l'arrangement génique de l'un des deux parents (par exemple, pour le chromosome n<sup>o</sup> 16, l'arrangement est celui du parent *H. annuus*) ;

► pour les 7 derniers chromosomes (n<sup>os</sup> 7 à 9, 12 à 14, 17), on voit apparaître des blocs de gènes arrangés de manière nouvelle et spécifique à l'hybride, qui impliquent au minimum trois cassures de chromosomes, trois fusions et une duplication.

Comment le mélange du génome de deux espèces peut-il conduire à l'individualisation d'une nouvelle espèce ?

## 1. Un modèle en deux étapes

Les analyses génétiques suggèrent que l'émergence de l'espèce hybride implique deux étapes :

### Étape 1. L'hybridation des parents (tournesol annuel et tournesol à long pétiole)

Il existe, nous l'avons dit, de vastes zones de sympatrie entre ces deux espèces, dont la floraison n'est que légèrement décalée et entre lesquelles les pollinisateurs ne semblent pas faire de différence. Les hybridations sont donc possibles. Sur le terrain, dans les zones de contact entre les deux espèces, on observe ainsi un taux d'hybridation qui varie de 4 à 15 %. Les hybrides F1 de première génération sont semi-stériles : la viabilité du pollen est inférieure à 10 %, tandis que la proportion d'ovules formant des graines après fécondation ne dépasse pas 1 %. On explique cette semi-stérilité par des interactions entre des éléments des deux génomes parentaux réunis.

C'est d'après ces données que l'on conclut que le tournesol annuel et le tournesol à long pétiole sont bien deux espèces distinctes et non deux sous-espèces. Par ailleurs, selon les analyses phylogénétiques, le tournesol annuel et le tournesol à long pétiole ne constituent pas des taxons frères au sein du genre *Helianthus*. De plus, leur génome est « séparé » par au moins dix recombinaisons chromosomiques (voir doc. 2).

### Étape 2. L'isolement reproducteur des hybrides

Au fil des générations, on voit apparaître dans les peuplements d'hybrides des hybrides fertiles, sans doute à la suite des recombinaisons qui éliminent les éléments génétiques incompatibles. Ainsi, dès la génération F2, la viabilité du pollen augmente, atteignant 13 à 97 % et rendant possible le maintien des nouveaux hybrides : les hybrides sont fertiles entre eux. De plus, ces derniers ne peuvent pas s'hybrider en retour avec les parents (tournesol annuel et tournesol à long pétiole) et ils présentent des exigences écologiques différentes par rapport à eux, avec une préférence pour les milieux très secs (**doc. 3**). Globalement, on aboutit donc à un isolement reproducteur de l'hybride, qui constitue ainsi une nouvelle espèce, cela bien qu'il reste en contact avec les parents.

Cet isolement reproducteur est une étape capitale dans le processus de spéciation en sympatrie : sans lui, les hybrides seraient « noyés » dans le flux génique lié aux hybridations en retour avec les parents.

	Tournesol annuel	Tournesol à long pétiole	Tournesol anormal
<b>Caryotype</b>	2n = 34		
<b>Préférences édaphiques</b>	Sols lourds argileux	Sols légers sableux	Sols caillouteux ou sableux
<b>Type de milieu peuplé</b>	Toutes sortes de milieux pas trop arides	Toutes sortes de milieux pas trop arides	Milieux arides désertiques

**Doc. 3. Les exigences écologiques comparées du tournesol annuel (parent), du tournesol à long pétiole (parent) et du tournesol anormal (hybride).**

## L'unité de lieu : la spéciation sympatrique

L'isolement reproductif n'est pas forcément la conséquence d'un isolement géographique. Plusieurs modèles expliquent la transition de populations en espèces dans une même région. Nous n'en donnerons qu'un exemple ici : lorsqu'un remaniement génomique majeur isole immédiatement le ou les mutants.

Les spartines sont des graminées de marais littoraux. Jusqu'au XIX<sup>e</sup> siècle, *Spartina maritima* vivait en Europe, *S. alterniflora* en Amérique. En 1870, une troisième espèce, *S. anglica* est recensée en Angleterre. Les caryotypes des trois espèces sont différents : l'espèce américaine possède  $2n = 62$  chromosomes, l'espèce européenne en a  $2n = 60$ , enfin, *S. anglica* compte  $2n = 122$  chromosomes. Les bateaux transatlantiques ont transporté accidentellement les graines de l'espèce américaine jusqu'en Angleterre. Les deux espèces se croisent, les hybrides étaient viables mais stériles. En effet, la méiose ne peut avoir lieu car les chromosomes n'ont pas leurs homologues pour s'apparier (Fig. 4.16).

Les hybrides se sont néanmoins reproduits par multiplication végétative. Lors de mitoses, les chromosomes n'ont pas subi de ségrégation, par conséquent, leur nombre a doublé. Chaque chromosome a donc maintenant un homologue et les cellules peuvent effectuer des méioses. La reproduction sexuée est restaurée et l'hybride est devenu la nouvelle espèce *S. anglica*. Elle porte les jeux de chromosomes des deux espèces mères, c'est pourquoi elle est qualifiée de polyploïde. Certains estiment que 80 % des plantes à fleurs sont polyploïdes. Si ce mode de spéciation est probablement courant chez les végétaux, c'est grâce à leur aptitude à la multiplication végétative qui écarte les problèmes lors de la méiose.

Au XIX<sup>e</sup> siècle, l'idée d'évolution a vu le jour, en proposant des principes théoriques. Puis les connaissances en biologie cellulaire, moléculaire ou des populations sont venues appuyer ces bases théoriques

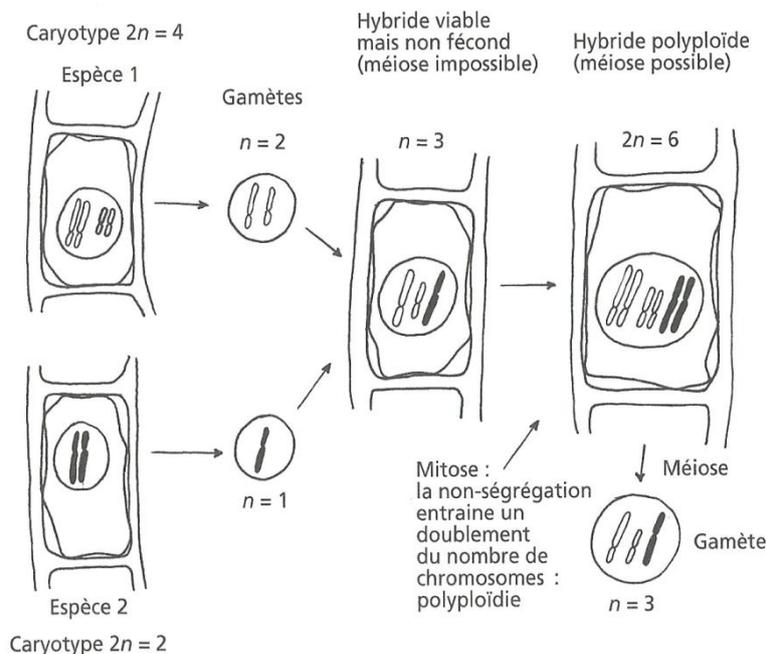


Figure 4.16 Polyploïdie et spéciation chez les végétaux.

(parfois de façon incomplète). Cet ensemble forme actuellement un cadre scientifique qui permet d'étudier des phénomènes biologiques dans le filtre de l'évolution.

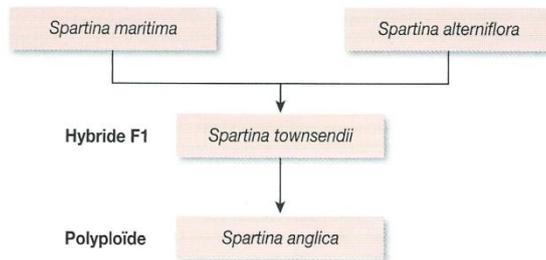
# Un mécanisme de diversification des génomes

Quand elle est possible, l'hybridation entre deux individus d'espèces différentes produit de nouveaux individus, en général stériles. Dans certains cas, une modification du génome des hybrides permet cependant de rétablir la fertilité. Il s'agit ici d'envisager l'importance évolutive d'un tel mécanisme.

## A Un exemple d'espèce polyploïde

• La spartine maritime (*Spartina maritima*,  $2n = 60$ ) a été décrite au début des années 1800 dans les marais salants des côtes anglaises. En 1829, *Spartina alterniflora* ( $2n = 62$ ), une espèce originaire d'Amérique, est introduite en Angleterre. Les deux espèces s'hybrident et produisent alors une nouvelle espèce nommée *Spartina townsendii*. Un appariement incorrect des chromosomes parentaux lors de la méiose rend cet hybride stérile ; sa reproduction asexuée efficace lui a toutefois permis de s'étendre.

Très rapidement, une plante fertile, issue de *Spartina townsendii*, est apparue. Cette nouvelle plante a été nommée *Spartina anglica* (photographie ci-contre). Celle-ci possède deux lots complets de chromosomes parentaux ; on dit que c'est une espèce **polyploïde**. La méiose se déroule alors normalement.

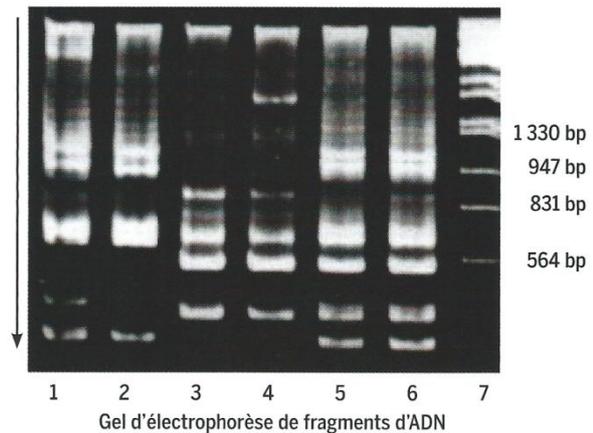


• L'**électrophorèse** de l'ADN est une technique couramment utilisée pour caractériser l'ADN d'une espèce ou même d'un individu.

Les molécules d'ADN sont fragmentées par des enzymes puis placées dans un gel soumis à un champ électrique : les fragments, chargés négativement, migrent alors à des vitesses différentes, en fonction de leur masse et donc de leur longueur. On obtient finalement une succession de bandes qui caractérise l'ADN de chaque espèce.

Des chercheurs ont appliqué cette méthode à l'ADN des spartines. Le document ci-contre montre le résultat obtenu : les solutions contenant des fragments d'ADN amplifiés par PCR ont été déposées à la base du gel (chaque numéro correspond à un individu).

La ligne de référence, réalisée avec des fragments de longueur connue, permet de déterminer la taille des différents fragments (exprimée en paires de bases, notées bp).



1 et 2 : *Spartina alterniflora* ; 5 et 6 : *Spartina anglica* ;  
3 et 4 : *Spartina maritima* ; 7 : ligne de référence.

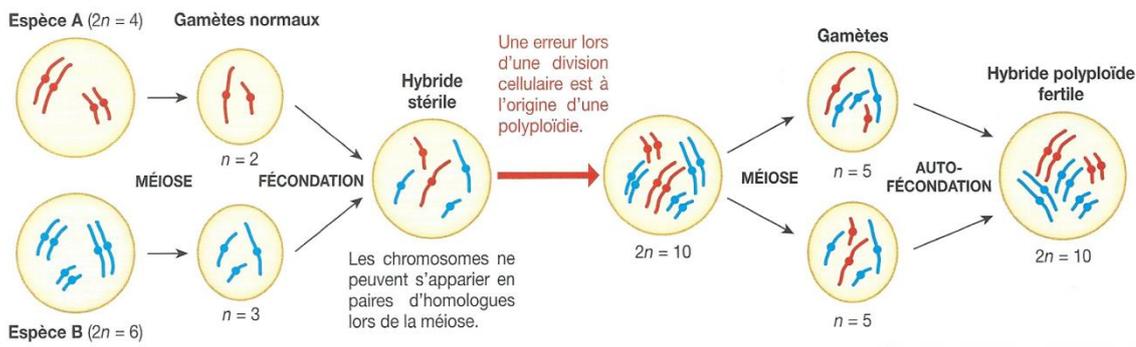
D'après A. Baumel, M.-L. Ainouche et J.-E. Levasseur.

### Doc. 1 L'histoire d'une nouvelle espèce, *Spartina anglica*.

## B L'importance de la polyploïdisation dans l'évolution des espèces

La polyploïdie peut résulter d'un doublement du stock chromosomique d'une même espèce : dans ce cas, on parle d'autopolyploïdie. Les espèces dites **allopolyploïdes** résultent, quant à elles, de l'addition du génome de deux espèces différentes.

Le schéma ci-dessous présente un mécanisme qui conduit à la formation d'une espèce polyploïde. D'autres mécanismes, comme la production de gamètes diploïdes résultants d'une méiose anormale, peuvent également être à l'origine d'espèces polyploïdes.



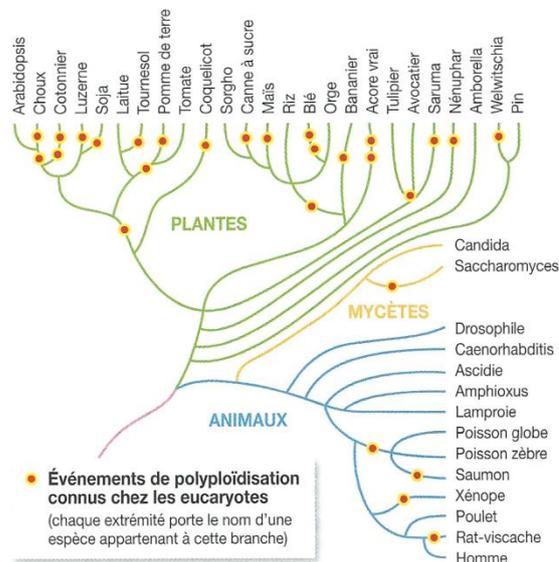
**Doc. 2** Un mécanisme possible de formation d'une espèce polyploïde.

Sur cet arbre de parenté des eucaryotes sont situés les événements connus de polyploïdisation du génome. Chez les plantes, on estime que 70 % des angiospermes ont connu au moins un événement de polyploïdisation dans leur histoire. La polyploïdie est particulièrement importante chez le maïs et le blé (voir page 190).

Le tableau ci-dessous situe l'importance connue de la polyploïdie chez les animaux (nombre d'événements de polyploïdisation aujourd'hui identifiés).

Insectes	91
Poissons	50
Amphibiens	30
Reptiles	16
Oiseaux	0
Mammifères	2*

\* Chez les mammifères, la polyploïdie n'est connue que chez une espèce de rongeur, le rat-viscacha (photographie ci-contre).



**Doc. 3** L'importance de la polyploïdisation chez les angiospermes et chez les animaux.

### Pistes d'exploitation

**PROBLÈME À RÉSOUDRE** ► Qu'est-ce que la polyploïdisation et comment peut-elle contribuer à la diversification des génomes ?

**Doc. 1 et 2** Combien de chromosomes peut posséder l'espèce *Spartina anglica* ? Pourquoi la méiose est-elle possible chez cette espèce, contrairement à *Spartina townsendii* ?

**Doc. 1** Montrez que l'électrophorèse de l'ADN apporte une preuve de l'histoire de cette espèce.

**Doc. 3** Quelle importance ont pu avoir les phénomènes de polyploïdisation chez les angiospermes et les animaux ?

**Doc. 1 à 3** Montrez qu'une hybridation suivie d'une polyploïdisation peut engendrer une diversification des génomes, sans mutation.

Lexique, p. 406

## ***Bibliographie***

1. « Génétique et évolution. Tome II », M. Solignac. Hermann éditeurs. p. 73-74
2. « Guide critique de l'évolution. », G.Lecointre. Belin. p : 372 à 374.
3. « Evolution synthèse des faits et théories » F. Brondex. p :105-106
4. « Sciences de la Vie et de la Terre, TS, enseignement spécifique». C. Lizeaux, D. Baude.  
Bordas. Programme 2012, p. 40-41