

Polyploïdie : exemple du Blé

Document 1 : les chromosomes de trois espèces de blé.

Trois espèces de blé sont cultivées depuis 10.000 ans :

- **le blé tendre** (*Triticum aestivum*) espèce dont la culture est actuellement la plus répandue (>90% des surfaces cultivées) ;
- **le blé dur** (*Triticum turgidum*=durum)
- **l'engrain** (*Triticum monococcum*).

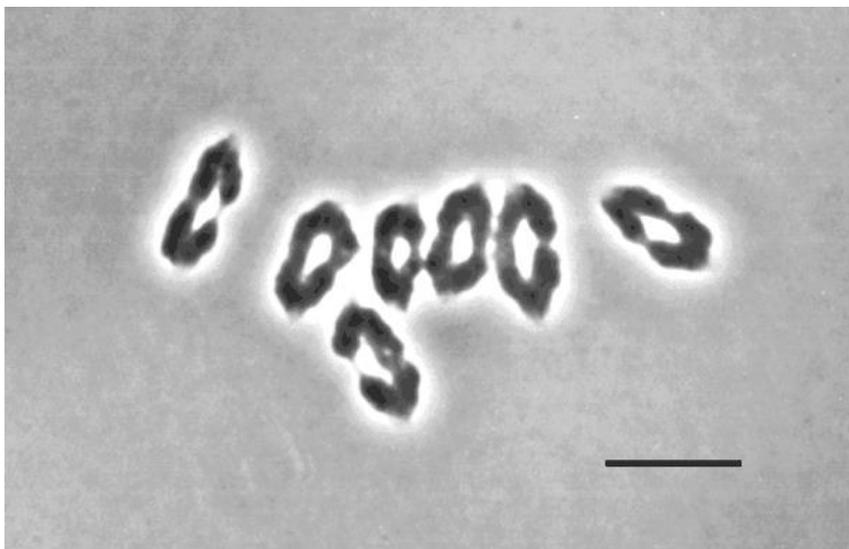
La farine obtenue à partir des grains de blé tendre sert à fabriquer le pain alors que celle obtenue à partir du blé dur est utilisée dans l'industrie des pâtes et des semoules. L'engrain, premier blé cultivé, l'est encore aujourd'hui sur de petites surfaces dans certaines régions montagneuses de Turquie et de Grèce où il sert surtout à l'alimentation du bétail.

Dans certaines régions on trouve encore le *Triticum turgidum* et le *Triticum monococcum* à l'état sauvage. En revanche le blé tendre n'a jamais été trouvé à l'état sauvage.

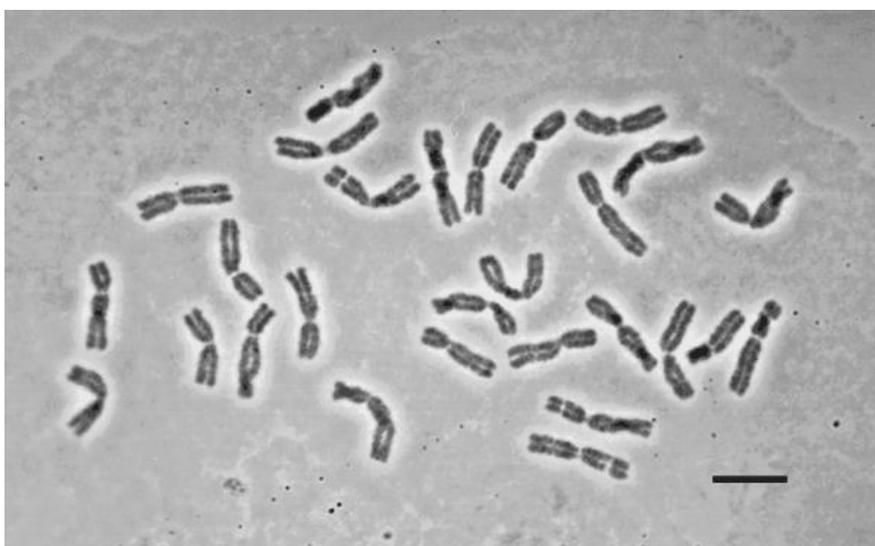
L'observation de mitoses et de méioses chez ces trois espèces permet d'analyser leurs stocks chromosomiques, et donc de les comparer.



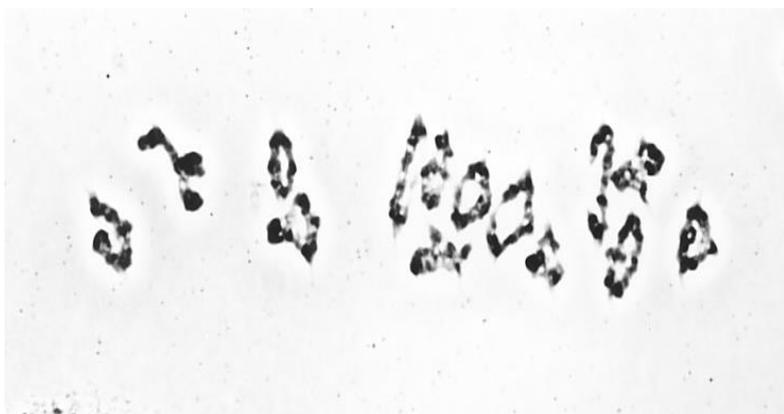
Métaphase de mitose chez Triticum monococcum



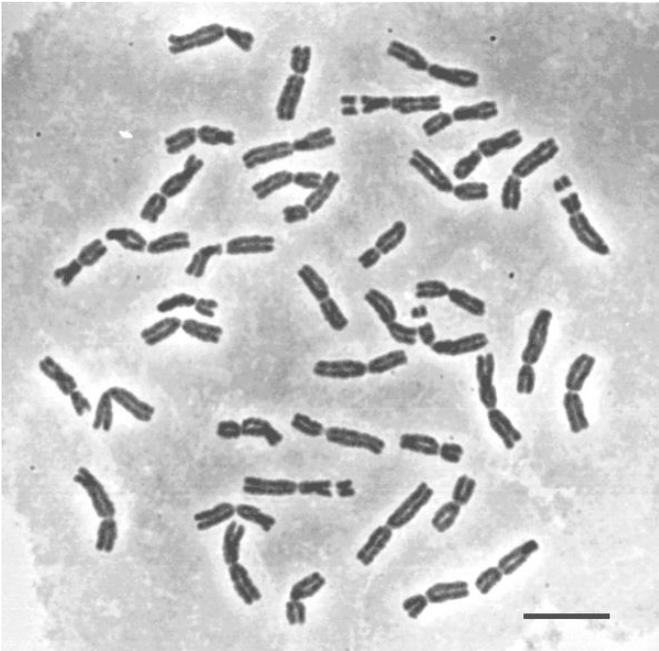
Métaphase de la première division de la méiose chez triticum monococcum.



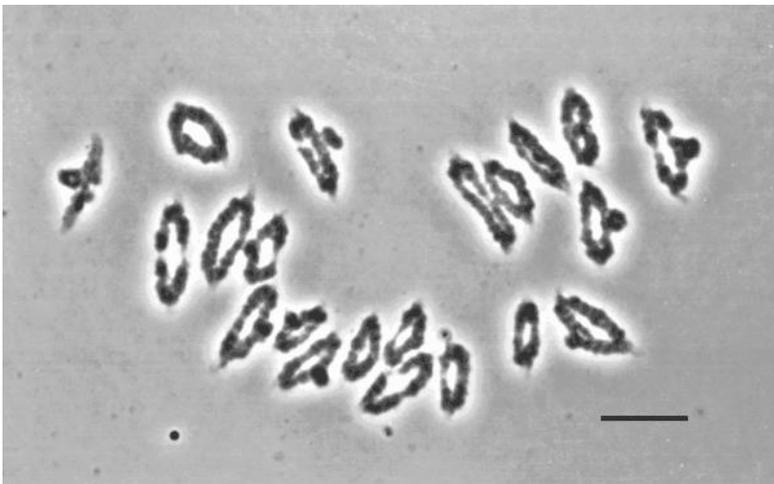
Métaphase d'une mitose chez Triticum turgidum



Métaphase de la première division de la méiose chez Triticum turgidum



Métaphase d'une mitose chez Triticum aestivum



Métaphase de la première division de la méiose chez Triticum aestivum

Interprétation : Le nombre de chromosomes des espèces de blé

- La figure de métaphase d'une mitose chez Triticum monococcum montre distinctement 14 chromosomes ; celle de métaphase de méiose 1 montre 7 paires de chromosomes appariés. Cela conduit à la formule chromosomique $2n=14$.

- La figure de métaphase de mitose de Triticum turgidum (durum) montre 28 chromosomes et celle de méiose 1 montre 14 paires de chromosomes appariés. On arrive donc à la formule chromosomique $2n=28$.

Enfin, la photo de métaphase de mitose de Triticum aestivum permet plus difficilement de compter le nombre de chromosomes : 42 mais sur la photo de méiose 1 on distingue nettement 21 paires de chromosomes appariés. La formule chromosomique est donc $2n=42$ chromosomes.

Avec ces documents, *on ne peut conclure* à la polyploïdie des blés dur et tendre car le comportement des chromosomes à la méiose chez ces deux espèces est typique de celui d'une espèce diploïde.

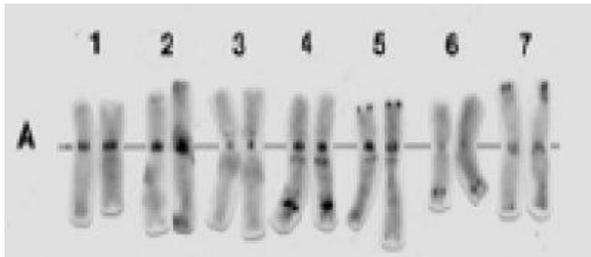
On peut seulement constater que les trois espèces de blé diffèrent par leur nombre de chromosomes et que ce nombre est un multiple de 7.

Est-ce que cela est dû au hasard ou à un mécanisme à l'œuvre lors de la formation des deux espèces de blé dur et tendre ?

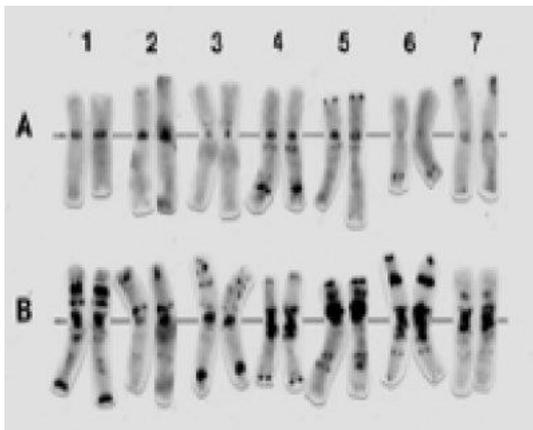
Document 2 : Caryotypes

Des observations cytologiques plus fines, réalisées afin de classer les chromosomes des 3 espèces ont conduit à établir les 3 caryotypes suivants :

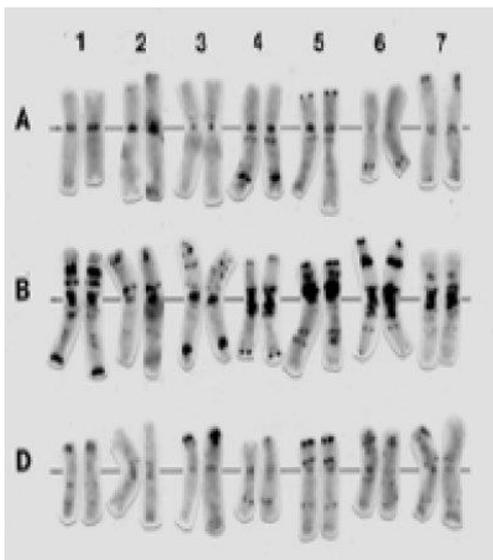
Triticum monococcum



Triticum turgidum



Triticum aestivum



Interprétation :

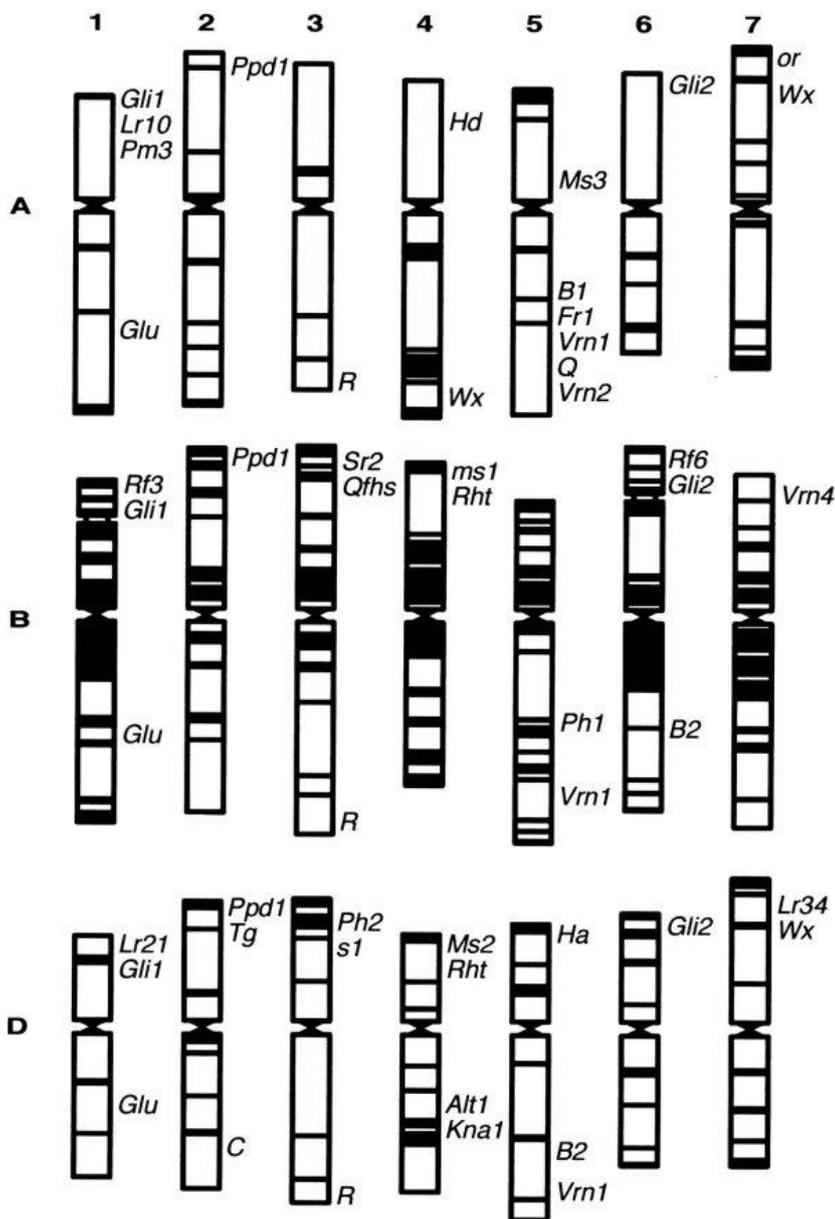
Le caryotype de *Triticum monococcum* présente toutes les caractéristiques d'un caryotype classique. Il s'agit donc du caryotype d'une espèce diploïde.

En revanche les caryotypes du blé dur et du blé tendre présentent une originalité. Celui du blé dur montre deux groupes de 7 chromosomes, désignés par les lettres A et B. Dans chaque groupe, chaque chromosome est représenté en deux exemplaires ce qui est habituel (chromosomes homologues). Le caryotype du blé tendre montre, outre les deux groupes de chromosomes A et B, un troisième groupe de 7 chromosomes, D.

Chez une espèce comme *Triticum turgidum* où le nombre de chromosomes est de 28, les chromosomes du caryotype devraient être numérotés de 1 à 14 et chez le blé tendre (42 chromosomes) de 1 à 21. Ce n'est pas le cas. On identifie seulement 7 chromosomes ayant chacun un représentant dans les groupes A et B (A1 et B1, A2 et B2, etc.) chez le blé dur, et un représentant dans les groupes A, B et D chez le blé tendre. Ainsi, on voit que le *Triticum turgidum* a 4 exemplaires de chaque chromosome et est donc tétraploïde ; *Triticum aestivum* a 6 exemplaires de chaque chromosome et est donc hexaploïde.

Document 3 : Localisation chromosomique

Les gluténines et les gliadines sont des protéines des grains de blé qui jouent un rôle essentiel dans la panification. Les chercheurs ont localisé sur les chromosomes du blé tendre les gènes codant pour ces protéines.



Carte génétique très simplifiée du génome de *Triticum aestivum*.

Source :

[A Workshop Report on Wheat Genome Sequencing](#). International Genome Research on Wheat Consortium. Bikram S. Gill *et al.* *Genetics* October 1, 2004 vol. 168 no. 2 1087-1096

Séquences moléculaires

Les gènes Glu ont été séquencés.

[Gènes GLU de *T. aestivum*](#).

Interprétation : La notion de chromosome homéologue

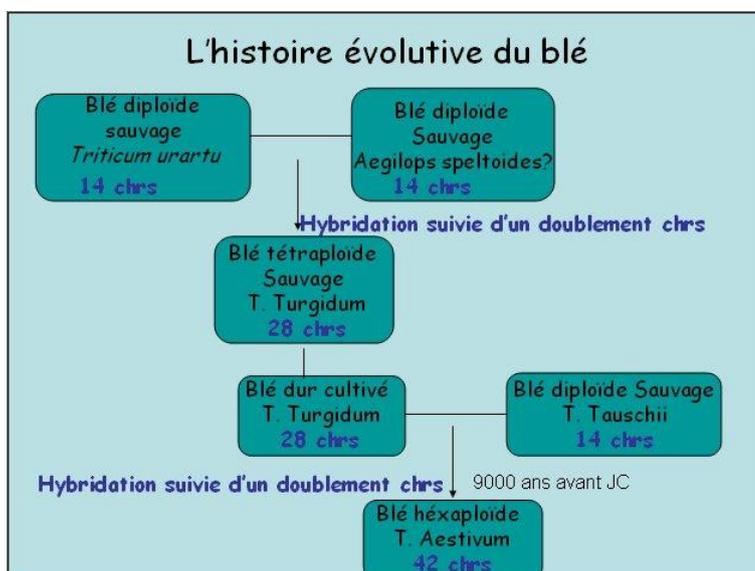
L'interprétation précédente suppose que les chromosomes 1 des trois groupes A, B et D sont homologues donc portent les mêmes gènes (et de même pour les chromosomes 2,3,4....7). Cette interprétation peut être testée à l'aide du document présentant la localisation chromosomique de quelques gènes. On constate que sur les chromosomes A1, B1 et D1 on trouve les gènes GLU et GLI1. Sur le chromosome 2 le gène Ppd1 et ainsi de suite.

Ceci confirme qu'il s'agit de chromosomes homologues. Toutefois, et ce n'est pas uniquement dû au caractère partiel de la carte génétique utilisée, tous les gènes ne sont pas « tripliqués ». L'homologie des chromosomes A, B et D d'un groupe n'est donc pas identique à celle des chromosomes homologues au sens classique du terme. On dit qu'ils sont homéologues. L'homologie ne se traduit donc pas par une identité totale des gènes portés par les chromosomes.

La comparaison avec Anagène des séquences nucléiques des gènes GLU-A et GLU-B montre 72,3% d'identités. Celle des gènes GLU-A et GLU-D 77% d'identités, celle de GLU-B et GLU-D 73,3% d'identités. Ces pourcentages confirment que les gènes GLU-A, GLU-B et GLU-D sont homologues. Cependant, les différences dans les séquences des gènes sont nettement plus importantes que celles que l'on trouve habituellement entre les allèles d'un gène. Cela complète la notion de chromosomes homéologues.

Document 4 : Histoire évolutive des blés

Pour expliquer les caractéristiques des caryotypes des 3 espèces de blés, les chercheurs ont retracé leur histoire évolutive dont voici une schématisation.



Remarques : *T. urartu* est la forme sauvage de *T. monococcum*.. Actuellement, on range les espèces du genre *Aegilops* dans le genre *Triticum*.

Séquences moléculaires :

[Gènes GLU de *T. monococcum*, *T. speltoïdes*, *T. turgidum*, *T. tauschii*](#)

Interprétation : Cette histoire doit rendre compte de la présence de 2 ensembles de chromosomes homéologues chez *Triticum turgidum* et de 3 ensembles chez *Triticum aestivum*.

Les blés sauvages, comme les graminées qui en sont proches, possèdent tous 14 chromosomes ($2n=14$), génome de base d'un blé. Par rapport à ces blés, les caryotypes de *T. turgidum* et de *T. aestivum* possèdent respectivement 1 et 2 génomes de base en plus.

La première schématisation indique qu'une hybridation entre deux espèces de blés à 14 chromosomes (*T. monococcum* et *A. speltoïdes*) est à l'origine du *T. turgidum* ; une hybridation ultérieure entre *T. turgidum* et une autre espèce de blé à 14 chromosomes (*T. tauschii*) est à l'origine de *T. aestivum*. Le génome B provient donc de *T. speltoïdes* et le génome D de *T. Tauschii*.

La comparaison des séquences des gènes GLU de *T. monococcum*, *T. speltoïdes* et *T. Tauschii* confirme l'implication de ces espèces dans l'histoire évolutive des blés. En particulier, les séquences de GLU-D de *T. aestivum* et GLU de *T. tauschii* présentent près de 88% d'identités. C'est en accord avec l'implication relativement récente de *T. tauschii* (8000 à 9000 ans). On comprend donc que les génomes A, B et D présentent une forte similitude car ils proviennent d'espèces proches mais qu'en même temps ils aient des différences (explication de l'homéologie).

En considérant la première hybridation, on peut faire une critique de l'explication avancée : à partir de nos connaissances sur la méiose, on pourrait dire que *T. monococcum* produit des gamètes à 7 chromosomes, ainsi que *T. Speltoïdes*. Les zygotes résultant de cette hybridation, et donc les plants de *T. turgidum* devraient avoir 14 chromosomes. En outre, puisque les chromosomes des deux espèces sont homéologues, ils devraient mal s'apparier et donner naissance à des gamètes anormaux dont l'hybride devrait être stérile.

La seule hybridation est donc insuffisante pour expliquer le caryotype de *T. turgidum*.

La deuxième schématisation fournit une explication : **hybridation suivie d'un doublement des chromosomes**. Ce doublement peut avoir lieu au cours d'une mitose où il y a un comportement normal des chromosomes, mais où il n'y a pas de division du cytoplasme (ce qu'on peut provoquer artificiellement avec la colchicine). Cette mitose anormale peut se dérouler dès le développement de la cellule oeuf ou plus tardivement dans des organes qui contribueront à la formation des fleurs. Chez un tel hybride, la méiose se déroule normalement et conduit à des gamètes viables à 14 chromosomes. La même explication vaut pour la deuxième hybridation. **Cette explication correspond à la phrase du programme : hybridations suivies de polyploïdisation.**

Remarque : Une autre explication est théoriquement possible : les deux espèces qui s'hybrident produiraient des gamètes à $2n$ chromosomes (14) par suite de méiose anormale. L'hybride résultant des gamètes de ce type seraient directement tétraploïdes et fertiles. Il semble que ce mécanisme ne soit que rarement en jeu dans l'allopolypléidie. En revanche, c'est le mécanisme le plus fréquent dans l'autopolyploïdie.

