

LA GÉNÉTIQUE ET LA BIOTECHNOLOGIE

À partir de la 11^e année (À partir du 2^e cycle du secondaire)



Comment la génétique et la biotechnologie s'appliquent-elles à l'agriculture moderne? Quel est leur impact sur l'environnement?

Ces activités à la démarche d'investigation permettent aux élèves d'étudier les conséquences sociales, éthiques et économiques des diverses innovations agricoles, tout en développant leur pensée critique.

Les activités couvrent une vaste palette de sujets touchant la biologie, de la reproduction sélective au génie génétique.

Table des matières

Diversité des organismes vivants

Organismes en champ cultivé – Partie I : Exercice de taxonomie

Organismes en champ cultivé – Partie II : Exercice d'identification des cellules

Génétique classique

Résolution de problèmes élémentaires de génétique : L'échiquier de Punnett

Canola - Une innovation canadienne : Un récit illustré

Biochimie

La production de fromage - Enzymes au travail : Activité en laboratoire

Génétique moléculaire

Mais Bt et techniques de l'ADN recombiné : Présentation multimédia

Annexe A : Historique de l'élaboration des variétés de canola

Étude de cas : Impact environnemental du maïs Bt

Canola et biotechnologie : Recherche en techniques de sélection des plantes

Étude de cas : Cultures tolérantes aux herbicides et agriculture durable

Étude de cas : Aliments transgénétiques pour l'aide alimentaire en Afrique

Étude de cas : Applications diverses de la recherche génomique sur le saumon

Règne animal: Structure et fonctions

Étude de cas : Système digestif d'une vache laitière

Règne végétal : Anatomie, croissance et fonctions

Culture de maïs et de canola en classe : Activité en laboratoire - Partie I

Différences vasculaires chez les plantes : Activité en laboratoire - Partie II

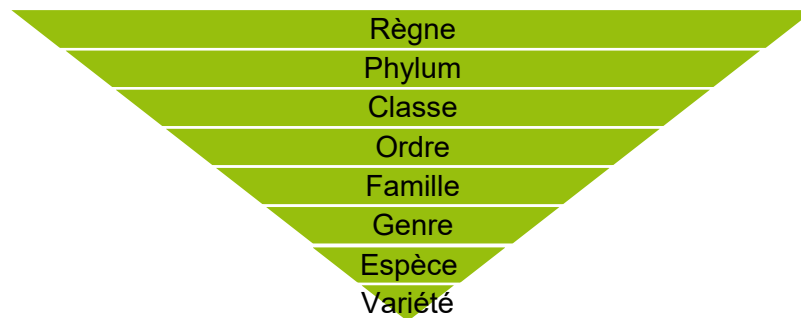


Nom : _____

Date : _____

ORGANISMES EN CHAMP CULTIVÉ – PARTIE I

La taxonomie est une science ayant pour objet la classification des organismes à l'aide d'un système de dénomination. Le système attribue des noms aux organismes en fonction d'un ensemble de règles définissant des « rangs taxonomiques ». Les rangs servent à classer les espèces en groupes ayant des caractéristiques communes dont la spécificité augmente à mesure que le niveau hiérarchique diminue.



La taxonomie est utile, car elle permet aux chercheurs d'utiliser un langage commun et très spécifique pour parler des êtres vivants. Par exemple, une discussion de scientifiques sur les « abeilles » pourrait porter sur 5 700 espèces, ce qui peut entraîner une grande confusion! Cependant, si on utilise les termes *Bombus hortorum* (Genre espèce) et *Apis mellifera* (Genre espèce), chacun sait qu'il est question du bourdon des jardins et de l'abeille mellifère.

La taxonomie sert aussi en agriculture : les phytogénéticiens et les cultivateurs, par exemple, l'utilisent. Avant d'entreprendre une culture, les agriculteurs fixent leur choix sur un type de plante (espèce) et ses caractéristiques (variété dans l'espèce).

Certaines variétés peuvent être tolérantes à un herbicide donné, mieux convenir à certains types de sols, avoir une plus grande résistance aux maladies, etc. Par exemple, un fermier du nord de l'Ontario qui cultive des fraises (l'espèce) pourrait planter la variété Cavendish (haut rendement, résistante à certaines maladies, résistante au froid, gros fruits foncés) ou la variété Ken (haut rendement, longue saison de production, très sensible aux maladies et aux températures chaudes, à l'aise dans tous les types de sols, fruits rouge vif). Les deux variétés poussent bien en Ontario, mais chacune a ses caractéristiques.

Remarque : Lorsqu'il est question de variétés, on rencontre parfois le terme « cultivar ». Il s'agit de la plante cultivée dans des champs, par opposition à la plante qui pousse à l'état sauvage.

Objectif

Au cours de cette activité, vous devez classer une variété de canola cultivée dans le champ d'un agriculteur.

Compréhension des concepts

L'analyse des termes utilisés pour classer les organismes vous permettra de mieux comprendre les principaux rangs taxonomiques.

Exercice de taxonomie

Faites correspondre les termes dans la zone de texte avec le rang taxonomique approprié pour établir les classifications biologiques du canola.

Brassica napus L.	Capparales	Magnoliophyta
Brassica L.	Plantea	Brassica napus L. subsp. napus
Brassicaceae	Canola	Spring Hybrid VT Désirable
		Magnoliopsida

Niveau de la classification	Nom commun de l'organisme :
Règne	_____
Phylum	
Classe	
Ordre	
Famille	
Genre	
Espèce	
Sous-espèce	
Variété (cultivar)	

ORGANISMES EN CHAMP CULTIVÉ – PARTIE I

Feuille-réponses

Faites correspondre les termes dans la zone de texte au rang taxonomique approprié de façon à établir les classifications biologiques du canola.

Niveau de la classification	Nom commun de l'organisme: Canola
Règne	Plantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Capparales
Famille	Brassicaceae
Genre	Brassica L.
Espèce	Brassica napus L.
Sous-espèce	Brassica napus L. ssp. Napus
Variété (cultivar)	Spring Hybrid VT Desirable



Nom : _____

Date : _____

ORGANISME EN CHAMP CULTIVÉ - PARTIE II



Dans un champ cultivé, on trouve des organismes appartenant à différents règnes taxonomiques. Les bactéries, les plus nombreuses, sont des procaryotes et sont constituées d'une seule cellule. D'autres organismes, comme les plantes, les animaux et les champignons, sont constitués de cellules eucaryotes. Ces cellules sont apparues plus tard dans l'évolution; leur structure est plus complexe que celle des cellules procaryotes.

Compréhension des concepts

Au cours de cette activité, vous devez distinguer différentes cellules appartenant aux quatre règnes taxonomiques.

Objectif

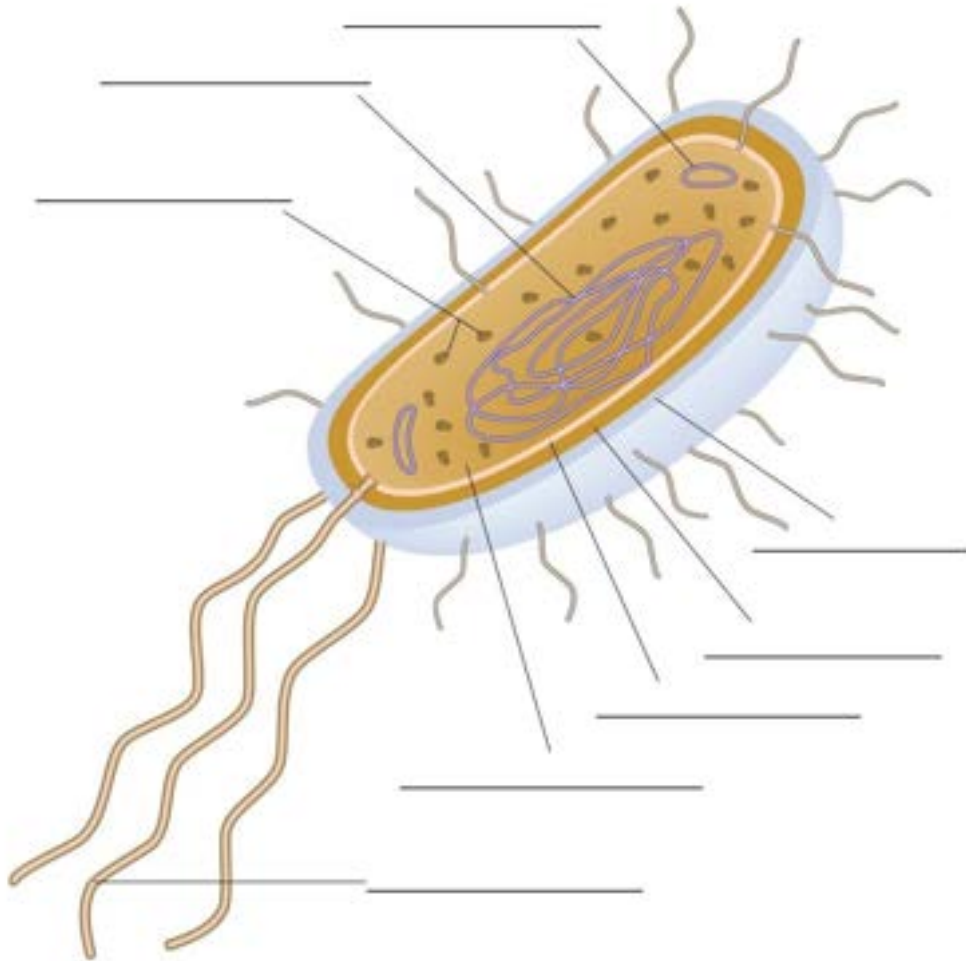
L'identification et la dénomination des éléments structuraux de quatre cellules vous permettront de mieux comprendre la structure des cellules végétales, animales, bactériennes et fongiques.

Exercice d'identification des cellules

Dans les quatre schémas suivants, nommez les éléments de la cellule à l'aide des termes ci-dessous. Indiquez si le schéma illustre une cellule animale, végétale, bactérienne ou fongique, et pourquoi.

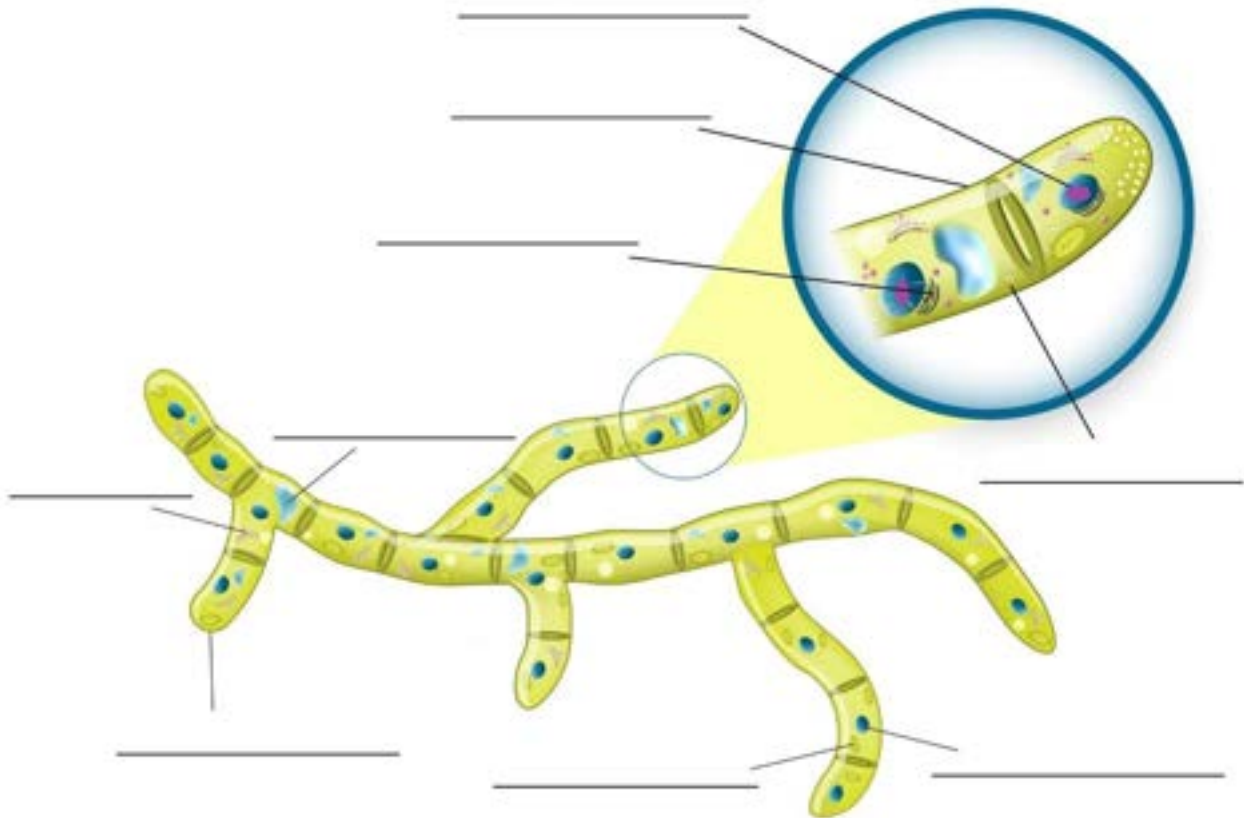
ribosomes	réticulum endoplasmique	paroi cellulaire	ADN plasmidique	
membrane cellulaire	cytoplasme	appareil de Golgi	capsule	
nucléole	membrane cellulaire	noyau	vacuole	flagelle
réticulum endoplasmique	cytoplasme	vacuole	membrane cellulaire	
cytoplasme	ADN chromosomique	appareil de Golgi	vacuole	
paroi cellulaire	réticulum endoplasmique	mitochondrie	chloroplaste	
centrosome	ribosome	noyau	nucléole	ribosome
mitochondrie	appareil de Golgi	lysosome	noyau	
membrane cellulaire	paroi cellulaire	cytoplasme	mitochondrie	nucléole

CELLULE _____



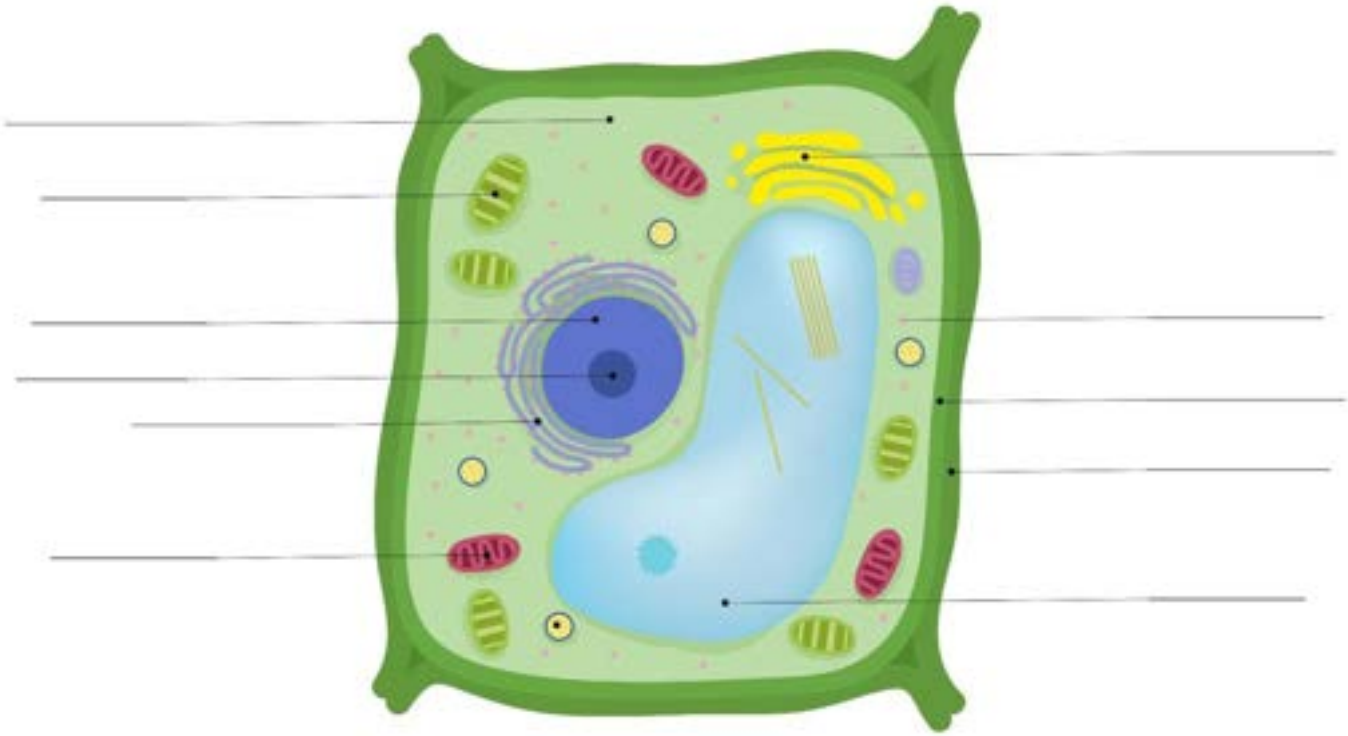
Pourquoi?

CELLULES _____



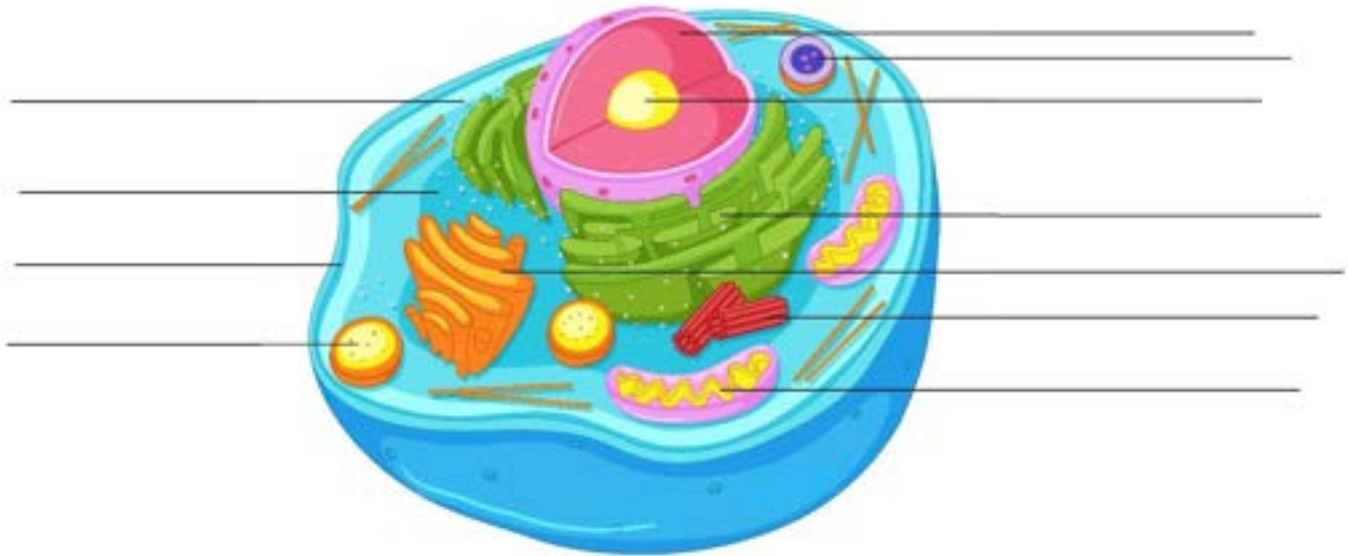
Pourquoi?

CELLULE _____



Pourquoi?

CELLULE _____



Pourquoi?

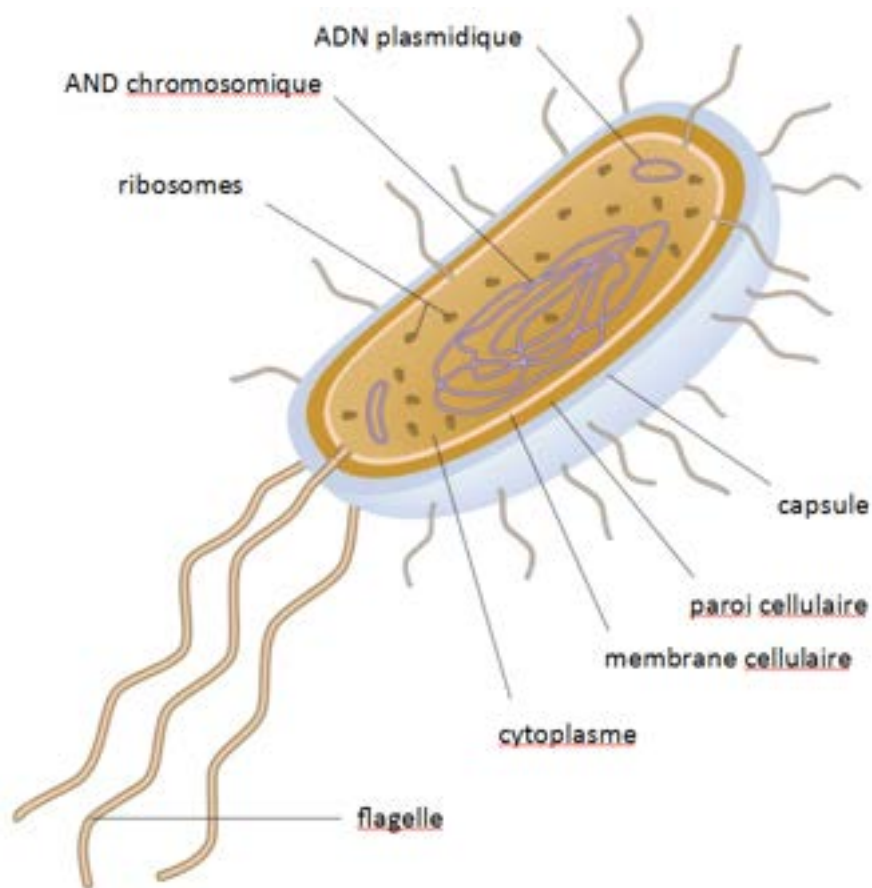
ORGANISME EN CHAMP CULTIVÉ - PARTIE II

Feuille-réponses

Exercice d'identification des cellules

Dans les quatre schémas suivants, nommez les éléments de la cellule à l'aide des termes ci-dessous. Indiquez si le schéma illustre une cellule animale, végétale, bactérienne ou fongique, et pourquoi.

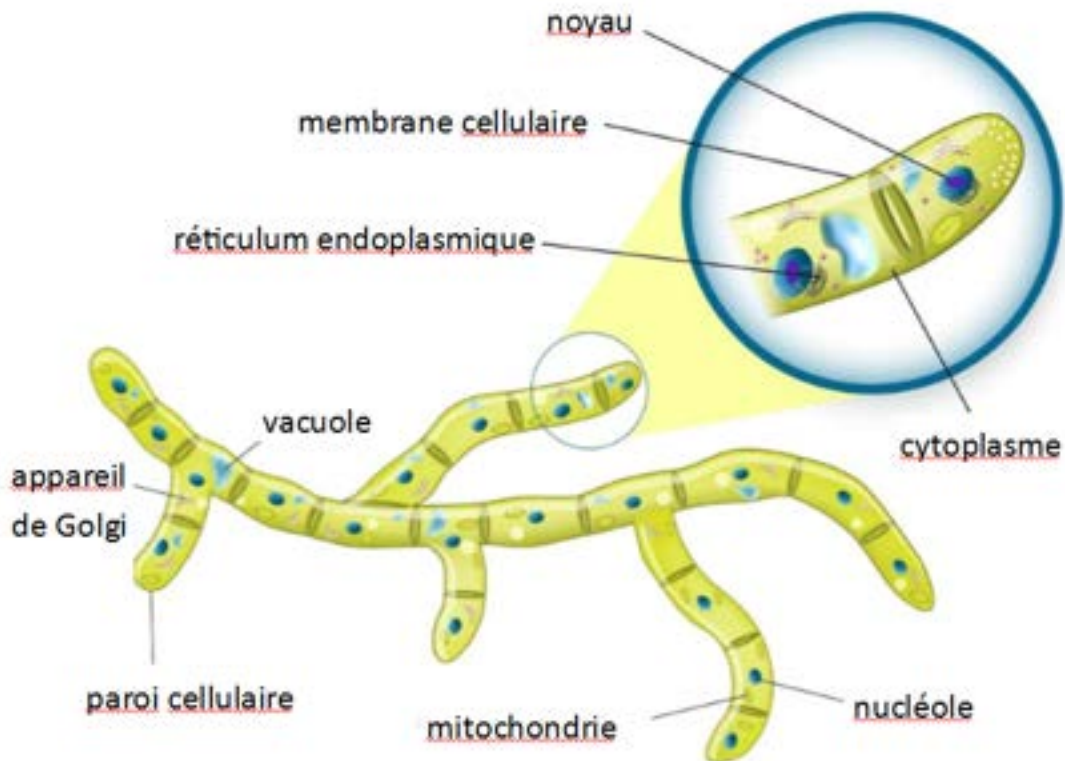
Cellule bactérienne



Pourquoi?

Puisqu'elle n'a pas de noyau, il s'agit d'une cellule bactérienne. L'ADN chromosomique et plasmidique de cette cellule procaryote est libre, et il n'y a pas d'organelle membranaire, comme une mitochondrie.

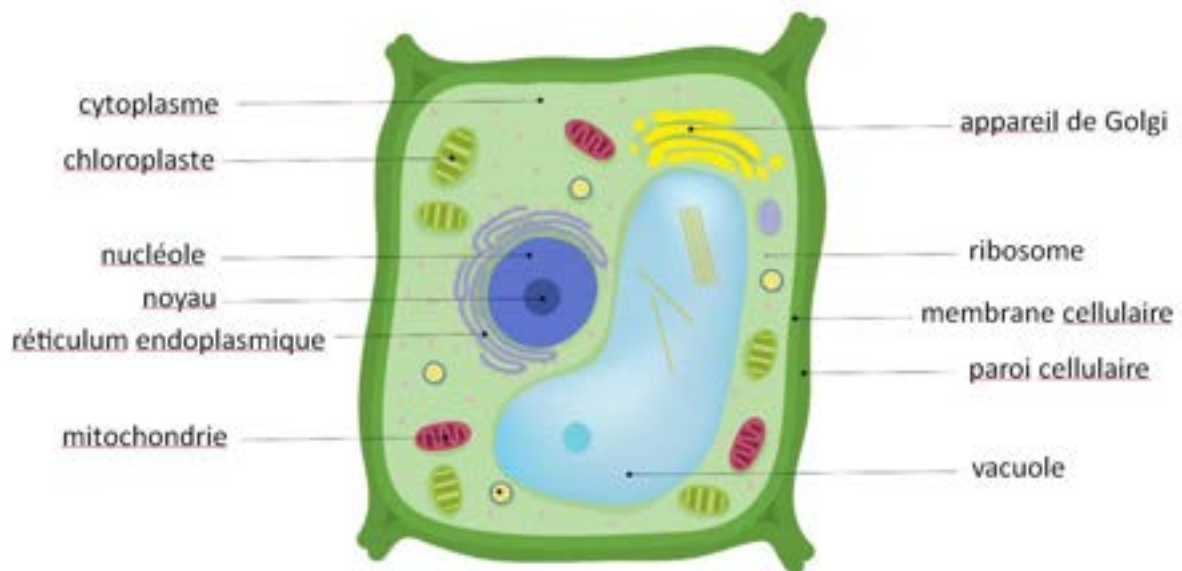
Cellules fongiques



Pourquoi?

Il s'agit de cellules eucaryotes, car leur ADN se trouve dans un noyau. De prime abord, il est difficile de dire s'il s'agit de cellules fongiques ou animales puisque toutes deux ont des structures semblables. La présence de parois cellulaires et de grandes vacuoles indique toutefois qu'il s'agit de cellules fongiques.

Cellule végétale



Pourquoi?

L'ADN de cette cellule eucaryote se trouve dans un noyau. La présence de chloroplastes indique qu'il s'agit d'une cellule végétale. La très grande vacuole et la paroi cellulaire sont également des indicateurs.

Cellule animale



Pourquoi?

Il s'agit d'un eucaryote parce que son ADN se trouve dans un noyau. Il est difficile de dire s'il s'agit d'une cellule fongique ou animale, car les deux peuvent se ressembler. L'absence de paroi cellulaire indique toutefois qu'il s'agit d'une cellule animale.

Nom : _____

Date : _____

RÉSOLUTION DE PROBLÈMES ÉLÉMENTAIRES DE GÉNÉTIQUE

Les bovins (*Bos Taurus*) possèdent 60 chromosomes diploïdes (29 paires de chromosomes autosomiques – les chromosomes qui déterminent les caractéristiques individuelles – et une paire de chromosomes sexuels). Les chromosomes sont constitués de brins d'ADN (acide désoxyribonucléique) enroulés autour de protéines. Les parties individuelles fixes de ces brins – les gènes – déterminent les caractéristiques des organismes vivants. Les gènes sont transmis d'une génération à l'autre.

Par exemple, chez les bovins, les gènes déterminent les différences entre les races, dont la couleur des yeux, la couleur de la peau, la production de lait, la vulnérabilité à la maladie, etc. L'étude du génome bovin permet de calculer la probabilité qu'un animal hérite de traits particuliers. L'éleveur peut alors connaître non seulement la probabilité d'avoir les qualités désirables dans la descendance, mais aussi les risques de troubles génétiques.

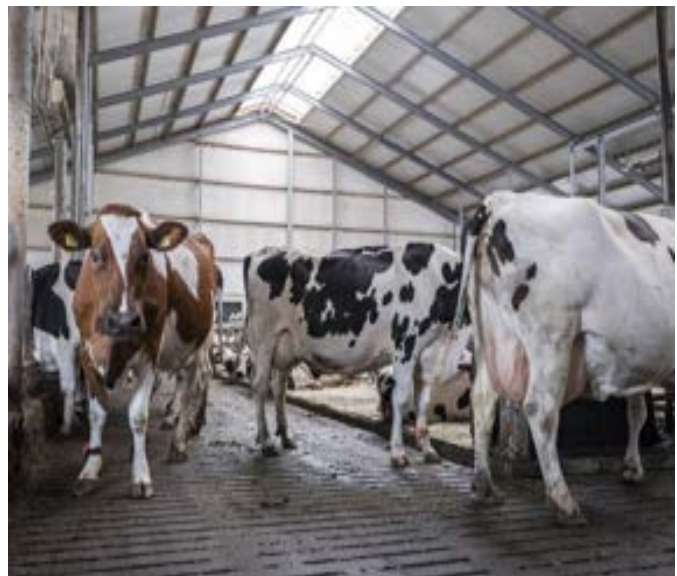
L'utilisation de l'échiquier de Punnett est la méthode la plus simple de calculer la probabilité mathématique de la transmission d'une caractéristique génétique. C'est une méthode graphique simple pour établir toutes les combinaisons possibles de génotypes dans la descendance en fonction des génotypes des parents.

L'échiquier de Punnett

Utilisez l'échiquier de Punnett pour résoudre des problèmes de génétique élémentaire chez les bovins.

Objectif

L'analyse des données pour résoudre des problèmes de génétique élémentaire vous permettra de développer des capacités d'analyse et de vous familiariser avec la terminologie à utiliser lorsqu'on traite de conditions relatives à la génétique.



Questions

- 1) On préfère les vaches laitières sans corne (acères) à celles à cornes. La présence ou l'absence de cornes est contrôlée par un gène unique. Le gène acère est dominant par rapport au gène qui produit la vache à corne.

Si 50 % des veaux sont acères, quelle est la constitution génétique la plus probable de leurs parents? Illustrez votre démarche.

P = acère (dominant) p = vache à cornes (récessif)

- 2) La race de vache laitière Holstein comprend une sous-population d'animaux à robe rousse et blanche, contrairement à la traditionnelle robe noire et blanche. La robe rousse et blanche est contrôlée par un gène unique. Les deux formes de ce gène (allèles) sont nommées « N » pour « noir » et « r » pour « roux »; un animal ne peut avoir une robe rousse et blanche que s'il possède deux copies du gène « roux » (rr : homozygote récessif).

Si un exploitant de ferme laitière accouple un taureau à robe rousse et blanche (rr) à une vache d'espèce homozygote à robe noire et blanche (NN), quel est le rapport phénotypique prévisible de leurs veaux? Illustrez votre démarche.

A) 3 N : 1 r B) 4 N : 0 r C) 2 N : 2 r D) 1 N : 3 r

3) La majorité des anomalies génétiques des bovins laitiers sont liées à des gènes qui sont récessifs et non dominants. Dans le cas de traits génétiques récessifs, seuls les animaux homozygotes, c'est-à-dire ceux qui ont hérité de deux copies du même gène, sont affectés. On appelle habituellement les animaux hétérozygotes, ceux qui ont des copies de divers gènes, des « porteurs ». La déficience d'adhésion des leucocytes bovins (DALB) est une maladie congénitale autosomale récessive causée par un seul gène. Les veaux affectés ont un retard de croissance, des maladies récurrentes comme la pneumonie, une cicatrisation lente, et meurent généralement dans l'année qui suit leur naissance.

Si un éleveur de bétail laitier accouple un taureau porteur du gène DALB (Bb) avec une vache porteuse du même gène (Bb), quel pourcentage de veaux sera affecté? Illustrez votre démarche.

A) 75 %

B) 0 %

C) 100 %

D) 25 %

4) Si on accouple un taureau et une vache tous deux hétérozygotes acères et porteurs du DALB (génotype $PpBb$), quel sera le pourcentage de veaux porteurs du DALB? Illustrez votre démarche.

5) On sait que quelques défauts héréditaires sont causés par des gènes à dominance incomplète. La chondrodysplasie (syndrome « bouledogue ») mortelle est un syndrome congénital bien connu chez les bovins et apparaît à l'occasion chez diverses races. Les progrès de la génétique moléculaire ont permis d'accroître la capacité de cerner les causes génétiques de ces syndromes. Parfois, une mutation génétique cause la chondrodysplasie mortelle. Ce genre de mutation présente une dominance incomplète, entraînant une forme atténuée de la maladie chez les animaux hétérozygotes ($C^1 C$) alors que les homozygotes ($C^1 C^1$) meurent généralement en gestation.

Si une vache avorte parce que son fœtus est porteur d'une forme grave de la maladie, quelle est la constitution génétique la plus probable des parents? Illustrez votre démarche.

- 6) Quelques défauts héréditaires sont causés par deux ensembles de gènes ou plus. La polydactylie est une maladie génétique plutôt rare des bovins laitiers et de boucherie. Chez l'animal atteint, l'ergot externe forme un onglon supplémentaire sur un des sabots avant, ou les deux, ou parfois même sur les quatre sabots. Au moins deux ensembles de gènes participent à l'hérédité de cette caractéristique. On croit que pour que cette hérédité soit présente, il faut un gène dominant à un locus (Aa) et deux gènes récessifs à un autre locus (bb).

Si les deux animaux suivants sont accouplés, quel pourcentage de veaux sera touché par la polydactylie? Illustrez votre démarche.

vache (AaBb) x taureau (aabb)

RÉSOLUTION DE PROBLÈMES ÉLÉMENTAIRES DE GÉNÉTIQUE

Feuille-réponses

1) Si 50 % des veaux sont acères, quelle est la constitution génétique la plus probable de leurs parents? Illustrez votre démarche.

P = acère (dominant)

p = vache à cornes (récessif)

Option A : Un des parents pourrait être PP et l'autre Pp :



	P	P
P	PP	PP
p	Pp	Pp

Si les deux parents ont l'un ou les deux gènes acères, les veaux ne peuvent être qu'acère. Ceci veut dire que les parents ne peuvent pas être PP et Pp.

Option B : Les deux parents peuvent être Pp :



	P	P
P	PP	Pp
p	Pp	pp

Ce n'est pas la constitution génétique la plus probable des parents puisqu'il est probable que 75 % des veaux soient acères.

Option C : Un parent peut être Pp et l'autre pp :



	P	p
p	Pp	pp
p	Pp	pp

RÉSOLUTION DE PROBLÈMES ÉLÉMENTAIRES DE GÉNÉTIQUE FEUILLE-RÉPONSES · PAGE 2

Deux veaux ont le gène dominant et sont acères, tandis que les deux autres ont des cornes. Par conséquent, la constitution génétique la plus probable des parents est Pp et pp.

- 2) Si un éleveur de bétail laitier accouple un taureau à robe rousse et blanche (rr) à une vache d'espèce homozygote à robe noire et blanche (NN), quel est le rapport phénotypique prévisible de leurs veaux? Illustrez votre démarche.

A) 3 N : 1 r B) **4 N : 0 r** C) 2 N : 2 r D) 1 N : 3 r

rr
Taureau à robe rousse et blanche
x
NN
Vache à robe noire et blanche

	<i>r</i>	<i>r</i>
<i>N</i>	<i>Nr</i>	<i>Nr</i>
<i>N</i>	<i>Nr</i>	<i>Nr</i>

Les quatre veaux sont porteurs du gène dominant (N) pour une robe noire et blanche. Par conséquent, le rapport phénotypique des veaux issus de l'accouplement est 4 N : 0 r.

- 3.) Si un exploitant de ferme laitière accouple un taureau porteur du gène DALB (Bb) à une vache porteuse du même gène (Bb), quel pourcentage de veaux sera affecté? Illustrez votre démarche.

A. 75% B. 0% C. 100% D) **25%**

Bb
Taureau porteur
x
Bb
Vache porteuse

	<i>B</i>	<i>b</i>
<i>B</i>	<i>BB</i>	<i>Bb</i>
<i>b</i>	<i>Bb</i>	<i>bb</i>

Seulement un des veaux est porteur des deux gènes récessifs DALB. Par conséquent, 25 % de tous les veaux seront probablement affectés par la DALB.

RÉSOLUTION DE PROBLÈMES ÉLÉMENTAIRES DE GÉNÉTIQUE
FEUILLE-RÉPONSES · PAGE 3

- 4) Si on fait accoupler un taureau et une vache tous deux hétérozygotes acères et porteurs du gène DALB (génotype PpBb), quel sera le pourcentage de veaux porteurs du DALB? Illustrez votre démarche.

A. 50% B. 0% C. 25% D. 75%

Gamètes pouvant provenir des parents : PB, Pb, pB et pb.

	PB	Pb	pB	pb
PB	PPBB	PPBb	PpBB	PpBb
Pb	PPBb	PPbb	PpBb	Ppbb
pB	PpBB	PpBb	ppBB	ppBb
pb	PpBb	Ppbb	ppBb	ppbb

Huit des 16 veaux ($8/16 = 1/2$) sont porteurs du gène de la DALB. Par conséquent, 50 % des veaux seront porteurs de la DALB.

- 5) Si une vache avorte parce que son fœtus est porteur de la forme grave de la chondrodysplasie, quelle est la constitution génétique la plus probable des parents? Illustrez votre démarche.

C = gène normal

C' = gène muté

Les deux parents ne peuvent pas être homozygotes pour les gènes mutés (C'C') puisqu'une telle condition serait mortelle.

Un des parents peut être C'C et l'autre CC :

X

	C'	C
C	CC'	CC
C	CC'	CC

Deux veaux sont porteurs et deux autres ne le sont pas. Ce n'est pas la constitution génétique la plus probable des parents parce qu'aucun des rejetons n'est homozygote pour le gène muté.

RÉSOLUTION DE PROBLÈMES ÉLÉMENTAIRES DE GÉNÉTIQUE
FEUILLE-RÉPONSES · PAGE 3

Les deux parents pourraient avoir une copie du gène muté C^1C :



	C^1	C
C^1	C^1C^1	CC^1
C	CC^1	CC

Un veau est affecté, deux sont porteurs et un n'est pas porteur. Par conséquent, la constitution génétique la plus probable des parents est C^1C et C^1C .

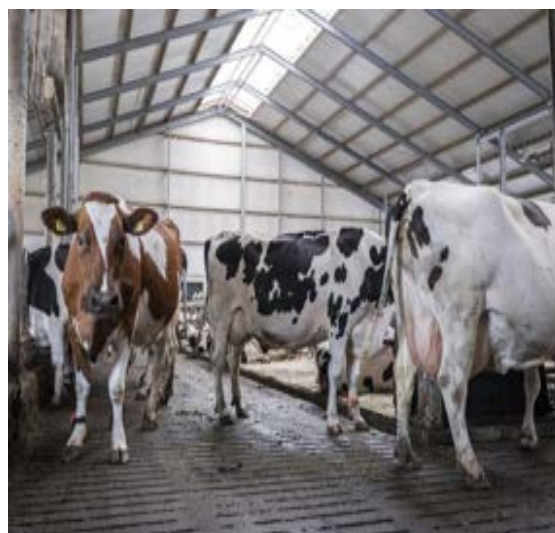
- 6) Si les deux animaux suivants sont accouplés, quel pourcentage de veaux sera touché par la polydactylie? Illustrez votre démarche.

Vache ($AaBb$) x Taureau ($aabb$)

Les gamètes possibles des parents sont : (1) AB, Ab, aB et ab ; (2) ab, ab, ab et ab .

	AB	Ab	aB	ab
ab	$AaBb$	$Aabb$	$aaBb$	$aabb$
ab	$AaBb$	$Aabb$	$aaBb$	$aabb$
ab	$AaBb$	$Aabb$	$aaBb$	$aabb$
ab	$AaBb$	$Aabb$	$aaBb$	$aabb$

Quatre des 16 veaux ($4/16 = 1/4$) sont touchés par la polydactylie. Par conséquent, 25 % des veaux seront atteints par la polydactylie.



CANOLA: UNE INNOVATION CANADIENNE : UN RÉCIT ILLUSTRÉ



Il y a plus de 50 ans, des chercheurs canadiens ont relevé le défi de créer une huile végétale saine à partir du colza, une plante peu connue poussant facilement dans les Prairies. Après des années de travail acharné, une plante dont la culture compte parmi les plus importantes au Canada est née : le canola.

Le canola sert à produire de l'huile de cuisson, des aliments pour animaux, du biocarburant et bien d'autres choses. Il appartient à la famille des brassicacées qui comprend notamment le navet, le chou frisé et la moutarde.

Devoir de recherche

Au cours de cette activité, vous réaliserez, après avoir effectué des recherches, un récit illustré présentant les facteurs ayant mené au développement du canola au Canada de 1940 à 1970.

Objectif

L'examen et l'illustration des événements historiques qui ont mené à la création du canola vous permettront de cerner diverses carrières associées aux sciences, tout en soulignant la contribution des chercheurs canadiens au développement du canola.

Canola: Un récit illustré

À partir des ressources énumérées ci-dessous, vous établirez comment les conditions résultant de la Deuxième Guerre mondiale ont créé une demande importante pour la production de colza au pays. Vous examinerez ensuite pourquoi il y avait un besoin d'une nouvelle culture dans les Prairies pour produire de l'huile de cuisson et des aliments pour animaux.

Par l'analyse des travaux des chercheurs de Saskatoon, vous découvrirez les avancées technologiques ayant permis aux scientifiques de développer le canola à partir du colza. Vous présenterez vos constatations dans un récit illustré et devrez fournir une liste de ressources appuyant les faits présentés dans le récit.

Ressources

Annexe A : Historique de l'élaboration des variétés de canola

<http://www.canolacouncil.org/>

<http://www.inspection.gc.ca/vegetaux/vegetaux-a-caracteres-nouveaux/demandeurs/directive-94-08/documents-sur-la-biologie/brassica-napus-l/fra/1330729090093/1330729278970>

<http://encyclopediecanadienne.ca/fr/article/canola/>

<https://www.canada.ca/fr/nouvelles/archive/2007/08/canada-avant-garde-recherche-canola.html>

LA PRODUCTION DE FROMAGE – ENZYMES AU TRAVAIL : ACTIVITÉ EN LABORATOIRE

La production du fromage est l'exemple des premières applications de la biotechnologie. Dans ce cas, un organisme vivant ou un processus biologique participe à la création ou à la modification d'un produit. L'art de la production du fromage remonte à des millénaires; il est associé à la domestication des chèvres, des vaches, des brebis et des bisons pour la traite. Aujourd'hui, la production du fromage, une importante industrie nationale et d'exportation, repose sur l'action de bactéries, de moisissures et d'enzymes.

Les fromagers utilisent des bactéries, des enzymes et même des moisissures pour faire leur fromage. Les bactéries lactiques servent à acidifier le lait en transformant le lactose en acide lactique. D'autres bons microbes peuvent être ajoutés pour donner de la saveur au fromage qui vieillit. Les moisissures blanches (notamment le *Penicillium camemberti*) sont à l'origine des arômes et des textures du brie et du camembert, tandis que les bleues (*Penicillium roqueforti* et *Penicillium glaucum*) produisent ce qu'on appelle les « fromages bleus ».

La présure, constituée d'enzymes telles que la chymosine, la pepsine et la lipase, sert au caillage du lait. Pendant cette étape fondamentale de la fabrication du fromage, le lait se sépare en caillés (matières solides) et petit-lait (matière liquide). Le caillage peut se faire à l'aide de présure animale ou végétale, ou de chymosine.



Essais en laboratoire

Pendant ces essais, vous devez évaluer les propriétés coagulantes de différentes enzymes sur les protéines du lait : les caséines.

Objectif

Vous développerez vos aptitudes de travail en laboratoire et de pensée critique en élaborant une expérience au cours de laquelle vous comparez les effets de la présure animale, de la présure végétale et de la chymosine sur le lait de vache.

Élaboration d'une expérience en laboratoire

Vous devez élaborer une expérience pour comparer les effets de la présure animale, de la présure végétale et de la chymosine sur le lait de vache. Vous devez tout d'abord faire des recherches sur ces trois substances en vue de connaître leurs caractéristiques. Ces enzymes de coagulation devraient être disponibles sur le site Web canadien www.makecheese.ca. Ce site présente aussi une recette pour faire de la mozzarella fraîche en une heure. Votre compte rendu d'expérience devrait comprendre les éléments suivants :

- Documentation sur la présure animale, la présure végétale et la chymosine.
- Questions et hypothèses.
- Liste du matériel.
- Procédure expérimentale, y compris toutes les étapes de l'expérience (n'importe qui devrait pouvoir refaire la même expérience).
- Résultats de l'expérience (quantifiés et présentés dans un format approprié).
- Conclusions comprenant l'énoncé des hypothèses et des questions, les conclusions tirées des données obtenues et la liste de changements à apporter à la procédure s'il fallait refaire l'expérience.

MAÏS BT ET TECHNIQUES DE L'ADN RECOMBINÉ

Les organismes nuisibles et les maladies influencent considérablement le rendement d'un champ cultivé. Ces organismes indésirables comprennent les insectes, les mauvaises herbes, les rongeurs, les bactéries, les champignons, etc. Certains insectes, par exemple, ont un impact direct sur la production alimentaire, car ils mangent les feuilles; perforent les racines, les tiges et les feuilles; ou propagent des pathogènes.

Les phytogénéticiens ont produit avec succès, par sélection conventionnelle, quelques cultivars (variétés) résistants aux insectes. Cependant, les techniques de l'ADN recombiné leur permettent de prendre d'un organisme un ou plusieurs gènes spécifiques qu'ils insèrent ensuite dans le génome d'une plante pour la rendre résistante à un organisme nuisible particulier. Le maïs Bt est un exemple de plante transgénique qui produit une protéine insecticide qui se trouve à l'état naturel dans la bactérie *Bacillus thuringiensis* (Bt).

Compréhension des concepts

Au cours de cette activité, vous ferez une recherche sur le processus suivi par les phytogénéticiens pour élaborer le maïs Bt à l'aide des techniques de l'ADN recombiné et montrerez vos constatations dans une présentation multimédia.

Objectif

Après avoir présenté vos recherches sur le développement d'une plante de culture résistante aux insectes, vous comprendrez mieux l'application du génie génétique à l'agriculture.

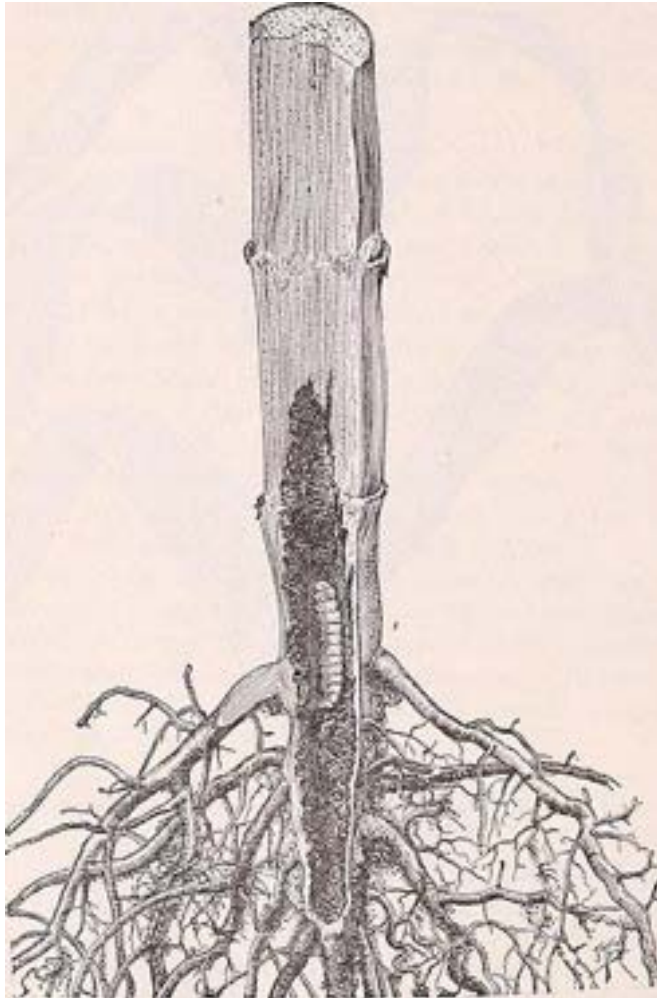


Exercice de recherche

Faites des recherches sur la bactérie du sol *Bacillus thuringiensis* (Bt) et expliquez ce qui a motivé les phytogénéticiens à transférer du matériel génétique de cet organisme au maïs. Examinez les étapes à suivre dans l'application des techniques de l'ADN recombiné pour les plantes et expliquez comment ces étapes ont été appliquées au développement du maïs Bt (qui résiste à la pyrale du maïs). Notez vos constatations.

Présentation multimédia

Une présentation multimédia fait appel à une *combinaison de contenus en formats divers* : texte, audio, images, animations, vidéo et contenu interactif. Vous devez présenter vos constatations sur la bactérie du sol *Bacillus thuringiensis* (Bt) ainsi que les étapes du développement du maïs Bt. Vous pouvez envisager l'un des points de vue suivants :



- Celui du phytogénéticien qui développe le maïs Bt.
- Celui de l'agriculteur qui fait pousser du maïs Bt dans son champ.
- Celui de l'agriculteur qui ne fait pas pousser du maïs Bt dans son champ.
- Celui du plant de maïs transgénique.
- Celui du journaliste qui fait le premier reportage sur cette prouesse scientifique.
- Celui d'une personne qui voyage dans le temps et qui découvre cette percée du domaine agricole.
- Celui de l'écologiste

Bien qu'une présentation multimédia puisse prendre une tournure humoristique, vous devez transmettre vos constatations de façon objective.

MAÏS BT ET TECHNIQUES DE L'ADN RECOMBINÉ

Feuille-réponses

Exercice de recherche

Faites des recherches sur la bactérie du sol *Bacillus thuringiensis* (Bt) et expliquez ce qui a motivé les phytogénéticiens à transférer du matériel génétique de cet organisme au maïs. Examinez les étapes à suivre dans l'application des techniques de l'ADN recombiné pour les plantes et expliquez comment ces étapes ont été appliquées au développement du maïs Bt (qui résiste à la pyrale du maïs). Notez vos constatations.

Certaines souches de la bactérie du sol Bacillus thuringiensis (Bt) produisent des protéines toxiques qui tuent certains insectes à tube digestif alcalin. Ces souches de la bactérie produisent des d-endotoxines cristallines, appelées protéines Cry, toxiques pour les papillons de nuit et les papillons (lépidoptères). Lorsque leurs chenilles ingèrent les protéines Cry produites par la bactérie, les enzymes du système digestif de l'insecte activent la forme toxique de la protéine. La protéine se fixe sur les cellules de la paroi de l'intestin qui se rompent. L'insecte meurt ensuite de septicémie.

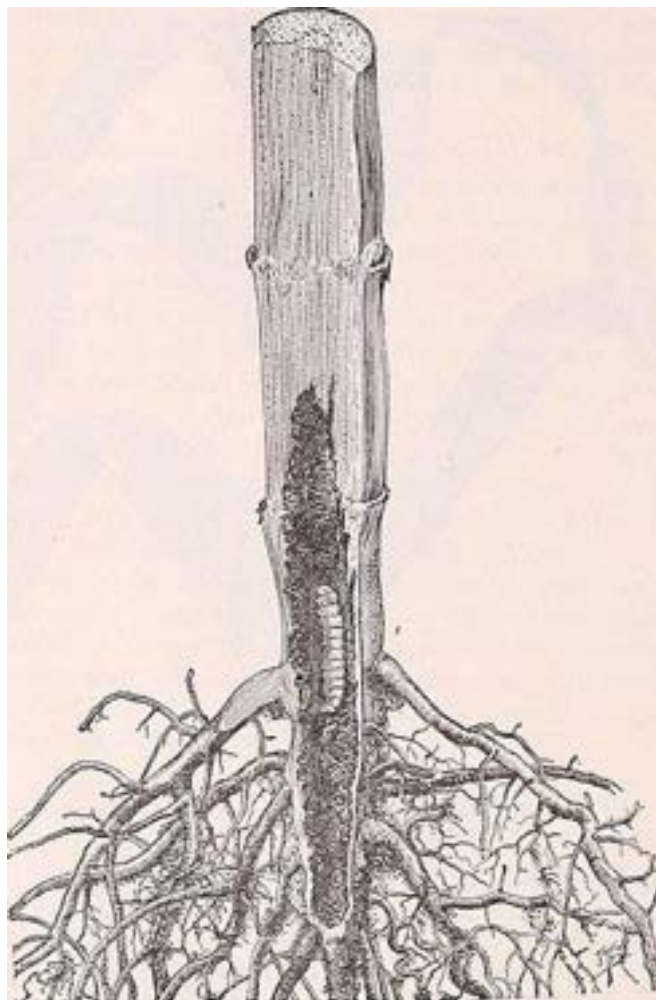
Les chercheurs ont pu identifier une souche de Bt produisant des protéines toxiques pour la pyrale du maïs. Ils ont pu alors isoler le gène responsable de la production de la protéine Cry mortelle. Ils ont tout d'abord retiré le « gène d'intérêt » du génome Bt à l'aide d'enzymes de restriction. Lorsqu'une enzyme de restriction entre en contact avec une séquence d'ADN ayant une forme correspondant à une partie de l'enzyme – appelée « site de reconnaissance » –, elle s'enroule autour de l'ADN et provoque la rupture des deux brins de la molécule d'ADN.



Pour transférer un gène d'intérêt à une plante, on l'insère dans une cellule de la plante à l'aide d'un chromosome artificiel appelé « vecteur ». La plupart des vecteurs sont basés sur des plasmides qui sont de petites séquences circulaires d'ADN naturellement présentes dans les bactéries et capables de répliquer autonome. Le plasmide Ti (pour « Tumor inducing ») de la bactérie Agrobacterium tumefaciens sert de vecteur en biotechnologie.

Les chercheurs ont rompu la séquence de l'ADN circulaire du vecteur du plasmide Ti à l'aide d'enzymes de restriction et incorporé le gène d'intérêt du génome Bt dans le plasmide à l'aide d'une enzyme bactérienne appelée « ADN ligase ». La molécule d'ADN recombiné comprend aussi un « promoteur » en amont du gène d'intérêt qui donne au plasmide les instructions quant à l'endroit et à la quantité de protéine Cry désirés. Les chercheurs ont également ajouté un marqueur génétique pour identifier la « transformation réussie »; il s'agit alors d'un gène apportant la résistance à un produit chimique (généralement un antibiotique ou un herbicide).

Les chercheurs ont ensuite réintroduit le vecteur du plasmide Ti recombiné dans les cellules d'Agrobacterium tumefaciens en créant de petits orifices dans les membranes de la cellule bactérienne. Cette opération est réalisée en augmentant soudainement la chaleur de la culture bactérienne de plusieurs degrés ou en faisant passer un courant électrique dans la culture. L'Agrobacterium tumefaciens issu du génie génétique est ensuite cultivé dans des bioréacteurs. Lorsque la bactérie se réplique, les molécules d'ADN recombiné se répliquent également avec l'ADN hôte. Les chercheurs infectent alors les plants de maïs avec l'Agrobacterium tumefaciens recombiné qui apporte les vecteurs du plasmide Ti recombiné aux cellules du maïs, ce qui entraîne l'expression d'une forme recombinée de la protéine Cry.



ÉTUDE DE CAS : IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU MAÏS BT

La pyrale du maïs, ou *Ostrinia nubilalis*, est l'un des insectes nuisibles les plus destructeurs pour le maïs au Canada. Il s'agit d'une larve de papillon de nuit (chenille) qui perce les tiges et les épis du maïs et d'autres plantes hôtes.

Le parasite hiverne dans les tiges de maïs et autres résidus de culture restés au sol. L'agriculteur peut réduire le nombre de pyrales qui peut hiverner dans son champ de maïs en fauchant les plantes près du sol et en labourant le champ.

Si la pyrale survit à l'hiver et poursuit son cycle de vie, l'agriculteur peut appliquer un insecticide liquide contenant, par exemple, le *Bacillus thuringiensis* (Bt). Mais il peut aussi se prémunir contre cet insecte en cultivant du maïs Bt, un maïs transgénique issu du génie génétique pour produire une protéine insecticide qui se trouve à l'état naturel dans la bactérie du sol *Bacillus thuringiensis* (Bt).

L'arrivée du maïs Bt sur les fermes canadiennes depuis les années 1990 soulève de nombreuses questions sur l'impact environnemental de cette plante transgénique.

Pensée critique

Au cours de cette activité, vous analyserez cinq textes portant sur l'impact environnemental du maïs Bt, puis rédigerez une analyse objective fondée sur ces textes.

Notez que par « impact environnemental » on entend les effets tant positifs que négatifs.

Objectif

L'élaboration de votre argumentation sur l'impact environnemental du maïs Bt vous permettra de développer vos aptitudes en lecture et pensée critiques et d'améliorer votre compréhension de cette culture transgénique ainsi que de ses effets sur l'agriculture canadienne.



Analyse de textes

Pour vous aider à développer vos aptitudes en lecture et pensée critiques, vous devez d'abord lire deux articles rédigés à l'intention des étudiants de l'Université d'Ottawa : « Le compte rendu critique » et « L'utilisation des ressources d'Internet et les travaux scientifiques : questions d'appréciation ».

<http://aix1.uottawa.ca/~fgingras/cybermetho/modules/compterendu.html>

<http://aix1.uottawa.ca/~fgingras/metho/sources.html>

À partir des recommandations contenues dans ces deux articles, vous devez analyser le texte suivant : « OGM cultivés au Québec... quels sont leurs effets environnementaux? » de David Carter paru le jeudi 26 octobre 2006 sur le site Internet de l'Agence Science-Presse.

<http://www.sciencepresse.qc.ca/bloque/2006/10/26/ogm-cultives-quebec-leurs-effets-environnementaux>

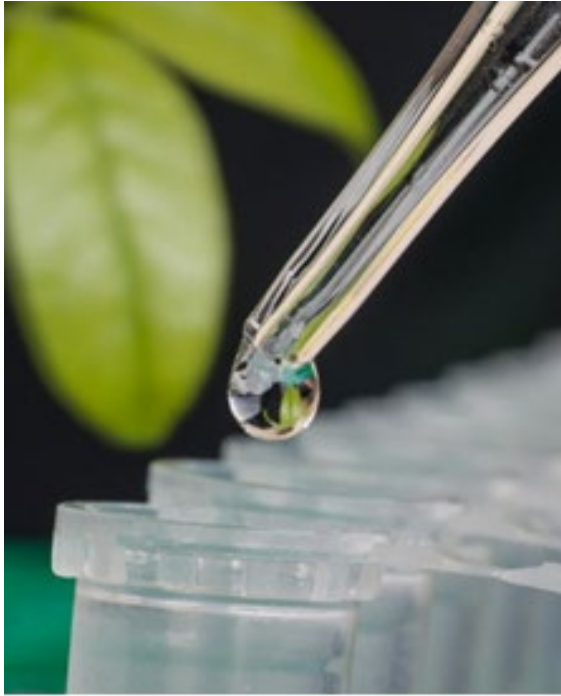
Toujours en suivant les recommandations des deux articles mentionnés ci-dessus, vous devez trouver sur Internet et dans des bibliothèques quatre autres documents portant sur l'impact environnemental du maïs Bt, puis les analyser. Après avoir fait une lecture critique des cinq textes, vous devez rédiger votre propre analyse critique de l'impact environnemental du maïs Bt en citant les sources à l'appui de votre argumentation.

Destruction du maïs causée par la pyrale du maïs.



Gracieuseté d'Agronom / Wikimedia Commons

CANOLA ET BIOTECHNOLOGIE : RECHERCHE EN TECHNIQUES DE SÉLECTION DES PLANTES



Toutes les plantes et tous les animaux domestiqués sont des organismes génétiquement modifiés (OGM), car ce sont les résultats d'interventions humaines. Pendant des milliers d'années, l'homme a croisé et élevé des organismes vivants en fonctions de caractéristiques désirées et nécessaires. De ce processus provient une grande variété de plantes et d'animaux qui n'existeraient pas autrement.

Cette forme de manipulation génétique s'appelle reproduction sélective (ou reproduction traditionnelle). Pendant très longtemps, c'était la seule technique disponible pour créer de nouvelles variétés de plantes, mais, au fil du temps, d'autres techniques de reproduction de plantes ont été élaborées. Les phytogénéticiens font maintenant appel à des techniques telles que la mutagenèse, les techniques de l'ADN recombiné et l'édition génomique.

Compréhension des concepts

Au cours de cette activité, vous effectuerez des recherches sur diverses techniques de sélection des plantes utilisées par les scientifiques pour élaborer des variétés de canola.

Objectif

L'examen attentif des techniques de sélection conventionnelle des plantes, de la mutagenèse, des techniques de l'ADN recombiné et de l'édition génomique vous permettra d'acquérir une bonne compréhension de la façon dont le génie génétique est appliqué en agriculture.

Travail en groupe

La classe est divisée en au moins quatre groupes. Chaque groupe doit répondre à une des questions ci-après et présenter ses constatations à la classe.

Articles

Commencez vos recherches avec ces articles :

- Annexe A : Historique de l'élaboration des variétés de canola
- <http://www.inspection.gc.ca/vegetaux/vegetaux-a-caracteres-nouveaux/demandeurs/directive-94-08/documents-sur-la-biologie/brassica-napus-l-fra/1330729090093/1330729278970>
- <http://www.semencemag.fr/amelioration-des-plantes-selection-varietes.html>
- <http://www.alloprof.qc.ca/bv/pages/s1465.aspx>
- <http://www.gnis-pedagogie.org>
- <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/aliments-nutrition/aliments-genetiquement-modifies-autres-aliments-nouveaux/produits-approuves/lignes-canola-mon88302-truflexmc-roundup-readymd.html>
- <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/aliments-nutrition/aliments-genetiquement-modifies-autres-aliments-nouveaux/produits-approuves/information-aliments-nouveaux-lignee-s006-clearfieldmd-brassica-junceat-type-canola-tolerant-imidazolinone.html>
- <https://www.canada.ca/fr/nouvelles/archive/2007/08/canada-avant-garde-recherche-canola.html>
- <https://www.canada.ca/fr/nouvelles/archive/2011/08/annonces-resolution-partie-importante-casse-tete-genome-canola.html>

Veillez noter qu'il est peu probable de trouver des articles qui expliquent directement comment les variétés de canola ont été développées. Vous devez faire des recherches sur la méthodologie qui sous-tend chaque technique de sélection des plantes et faire des hypothèses sur la façon dont ces variétés ont été créées.

Questions

1. En 1974, le premier cultivar de canola – la variété Tower de *Brassica napus* – est enregistré. Cette innovation canadienne a été réalisée par sélection conventionnelle, en croisant la variété Bronowski de *Brassica napus* à faible teneur en glucosinolate avec un cultivar de *Brassica napus* à faible teneur en acide érucique, comme l'Oro. Expliquez les étapes du développement de cette variété et son importance dans l'histoire du canola.
2. En 1995, la première variété de canola résistante à un herbicide – tolérant au imidazolinone – est enregistrée. Il s'agit de la variété Clearfield 45A71 de *Brassica napus*. Cette variété a été élaborée par mutagenèse induite. Expliquez les étapes du développement de cette variété.

3. En 1995, la première variété de *Brassica napus* transgénique tolérante au glyphosate – l'ingrédient actif des herbicides de marque Roundup® – est enregistrée. Les phytogénéticiens ont développé cette variété à l'aide des techniques de l'ADN recombiné. Expliquez les étapes du développement de cette variété.
4. L'édition génomique est une nouvelle façon de modifier le génome des plantes. Elle fait appel à des « ciseaux moléculaires » pour modifier un gène dans l'ADN d'une plante sans introduire de gènes étrangers. Le système CRISPR-Cas9 est un exemple de « ciseaux moléculaires ». Expliquez les étapes de l'édition génomique à l'aide de ce système et décrivez ses avantages et ses inconvénients pour les phytogénéticiens.



CANOLA ET BIOTECHNOLOGIE : RECHERCHE EN TECHNIQUES DE SÉLECTION DES PLANTES

Feuille-réponses

Questions

1. En 1974, le premier cultivar de canola – la variété Tower de *Brassica napus* – est enregistré. Cette innovation canadienne a été réalisée par sélection conventionnelle en croisant la variété Bronowski de *Brassica napus* à faible teneur en glucosinolate avec un cultivar de *Brassica napus* à faible teneur en acide érucique, comme l'Oro. Expliquez les étapes du développement de cette variété et son importance dans l'histoire du canola.

Au départ, les variétés originales de colza produisaient toutes des graines ayant une teneur élevée d'acide érucique dans l'huile et dont le tourteau contenait beaucoup de glucosinolates. Initialement, les scientifiques ont développé une lignée de colza à faible teneur d'acide érucique à partir de la variété Liho de Brassica napus. La Liho possédait le trait génétique désiré pour produire peu de cet acide. Les sélectionneurs ont croisé la Liho avec d'autres variétés de colza bien adaptées aux Prairies canadiennes, puis ont sélectionné et isolé les descendants produisant peu d'acide érucique. Le premier cultivar de Brassica napus à faible teneur en acide érucique produit par les sélectionneurs est la variété Oro.

Les chercheurs ont ensuite voyagé à travers le monde à la recherche de variétés à faible teneur en glucosinolates – le deuxième trait recherché. Ils l'ont trouvé dans la variété Bronowski du Brassica napus. Les sélectionneurs ont alors croisé les nouvelles variétés développées à faible teneur en acide érucique avec les plantes de la variété Bronowski qui avait le trait à faible teneur en glucosinolates. En testant et sélectionnant les plantes qui avaient hérité des deux traits désirés, ils ont produit un nouveau cultivar de colza à faible teneur en acide érucique et glucosinolates.

Le croisement a été effectué manuellement puisque les variétés de Brassica napus sont autofécondées. Les sélectionneurs devaient tout d'abord enlever les organes mâles de la fleur du parent femelle du croisement. Une fois la source des grains de pollen enlevée, la plante ne pouvait plus s'autoféconder. Les sélectionneurs déposaient alors, généralement avec une brosse, du pollen du parent mâle sélectionné dans la partie femelle de la fleur du parent femelle. Pendant des années, on a sélectionné et croisé les descendants de ces croisements ayant hérité les deux caractéristiques désirées.

Les semences sélectionnées ont été cultivées et testées avant que la variété soit enregistrée auprès de l'Agence canadienne d'inspection des aliments et approuvée pour consommation humaine par Santé Canada. On pouvait la cultiver tant pour l'alimentation humaine sous forme d'huile que pour l'alimentation animale sous forme de tourteau.

Pour distinguer le nouveau colza « double zéro » des autres variétés de colza, la Western Canadian Oilseed Crushers Association a inventé le terme « canola ». C'est l'amalgame des mots « Canada » et « ola », qui provient d'un mot latin désignant l'huile. C'est aussi l'acronyme de « Canadian Oil Low Acid ». La définition du canola d'après la Loi relative aux aliments du bétail et la Loi sur les semences est la suivante : « Une huile qui doit contenir moins de 2 % d'acide érucique et moins de 30 micromoles par gramme de glucosinolates dans le tourteau sans huile séché à l'air. »

2. En 1995, la première variété de canola résistante à un herbicide – tolérant au imidazolinone – est enregistrée. Il s'agit de la variété Clearfield 45A71 de *Brassica napus*. Cette variété a été élaborée par mutagenèse induite. Expliquez les étapes du développement de cette variété.

*La mutagenèse induite permet aux phytogénéticiens de provoquer des modifications, ou « mutations », dans le génome de l'espèce cible sans ajout d'ADN d'un autre organisme. Pour ce faire, on peut utiliser divers produits chimiques et le rayonnement ionisant. La variété 45A71 de *Brassica napus* a été développée à partir de microspores de la variété Topas de *Brassica napus*. Les microspores sont des cellules haploïdes hautement spécialisées qui possèdent la moitié du nombre habituel de chromosomes, car ils sont produits à partir de cellules reproductives ou gamètes. Ce sont des cellules de pollen immatures plutôt que des grains de pollen pleinement développés.*

*Les microspores de la variété Topas de *Brassica napus* ont été isolées des plantes donneuses avant que les bourgeons floraux n'éclosent. Les phytogénéticiens ont fait tremper des milliers de microspores dans une solution d'éthylnitrosourée, un agent mutagène. L'exposition à cet agent provoque, dans certaines microspores, une mutation au sein du gène codant acétolactate-synthétase (ALS). L'enzyme devient alors insensible à l'activité de l'herbicide de type imidazolinone. Les microspores mutées ont alors été régénérées en plantes par culture tissulaire. Les microspores ont été forcées in vitro à doubler leur ADN et à se transformer en embryons.*

Les phytogénéticiens ont sélectionné les microspores possédant les traits désirés en les trempant dans une solution d'herbicide de type imidazolinone, puis ont fait pousser les embryons ayant survécu au processus. Les semences sélectionnées ont été cultivées et testées avant que la variété ne soit homologuée auprès de l'Agence canadienne d'inspection des aliments et approuvée pour consommation humaine par Santé Canada.

La variété Clearfield 45A71 permet aux cultivateurs d'appliquer des herbicides de type imidazolinone (ceux qui contiennent l'ingrédient actif imidazolinone) pour le contrôle des mauvaises herbes. Les herbicides imidazolinone ne tuent pas les plantes de canola Clearfield 45A71, mais détruisent toutes autres plantes dans les champs où cette variété est cultivée.

Du fait qu'elle ne contient aucun gène d'un autre organisme, la variété de canola Clearfield 45A71 est ni transgénique ni considéré comme étant issu du génie génétique.

3. En 1995, la première variété de *Brassica napus* transgénique tolérante au glyphosate – l'ingrédient actif des herbicides de marque Roundup® – est enregistrée. Les phytogénéticiens ont développé cette variété à l'aide des techniques de l'ADN recombiné. Expliquez les étapes du développement de cette variété.

Les techniques de l'ADN recombiné permettent de transférer directement un gène vers un organisme ou de l'en extraire. On dit alors que cet organisme est issu du « génie génétique » ou est transgénique. Pour produire le canola Roundup Ready®, les scientifiques ont introduit deux gènes dans le génome du canola.

Des enzymes de restriction spécialisés ont servi à « couper » ou enlever les gènes codants pour les enzymes protectrices (des enzymes qui vont rendre la plante tolérante à l'herbicide). Lorsqu'une enzyme de restriction entre en contact avec une séquence d'ADN ayant une forme correspondant à une partie de l'enzyme – appelée « site de reconnaissance » – elle s'enroule autour de l'ADN et provoque la rupture des deux brins de la molécule d'ADN.

Les gènes codants pour les enzymes protectrices ont été extraits des organismes suivants :

- *Le gène CP4 EPSPS, de la souche CP4 de la bactérie Agrobacterium, qui code pour la production de l'enzyme CP4 EPSPS.*
- *Le gène GOX, de la souche LBAA d'Ochrobactrum anthropi, qui code pour la production de l'enzyme glyphosate oxidase (GOX).*

Les deux gènes augmentent la tolérance du glyphosate, l'ingrédient actif de la famille des herbicides Roundup®.

Les gènes ont été introduits dans le Brassica napus à l'aide d'un chromosome artificiel appelé « vecteur ». La plupart des vecteurs sont basés sur des plasmides qui sont de petites séquences circulaires d'ADN naturellement présentes dans les bactéries et capables de répllication autonome.

Dans la nature, l'Agrobacterium tumefaciens est une plante pathogène. Elle infecte une plante par son plasmide Ti qui provoque une tumeur bactérienne du collet. Les phytogénéticiens ont utilisé un vecteur de plasmide Ti génétiquement modifié pour développer une variété de canola tolérante aux herbicides, c'est-à-dire dont le segment d'ADN causant la maladie est enlevé et remplacé par deux gènes porteurs des traits désirés (dans le cas qui nous concerne, la tolérance aux herbicides). Les chercheurs ont coupé l'ADN circulaire du vecteur de plasmide Ti à l'aide d'enzymes de restriction, puis incorporé les gènes d'intérêt (tolérance) dans le vecteur de plasmide en joignant les extrémités des gènes au vecteur ouvert à l'aide d'une enzyme bactérienne appelée ADN ligase.

Les chercheurs ont ensuite réintroduit le vecteur du plasmide Ti recombiné dans les cellules d'Agrobacterium tumefaciens en créant de petits orifices dans les membranes de cellule bactérienne. Cette opération est réalisée en chauffant soudainement la culture bactérienne

de plusieurs degrés ou en faisant passer un courant électrique dans la culture. L'Agrobacterium tumefaciens issu du génie génétique est ensuite cultivé dans des bioréacteurs. Lorsque la bactérie se réplique, les molécules d'ADN recombiné se répliquent également avec l'ADN hôte.

L'Agrobacterium tumefaciens issu du génie génétique a ensuite été introduit dans les cellules végétales du Brassica napus de façon à les infecter, incorporant ainsi dans le génome de la plante les nouveaux gènes possédant les traits désirés. Les plantes de Brassica napus développées à partir de ces cellules issues du génie génétique sont tolérantes au glyphosate parce que leurs tissus produisent maintenant les deux enzymes protectrices. Les semences sélectionnées ont été cultivées et testées avant que la variété ne soit homologuée auprès de l'Agence canadienne d'inspection des aliments et approuvée pour consommation humaine par Santé Canada. Les agriculteurs cultivant le canola Roundup Ready® peuvent utiliser l'herbicide Roundup® dans leurs champs pour contrôler les mauvaises herbes.

4. **L'édition génomique est une nouvelle façon de modifier le génome des plantes. Elle fait appel à des « ciseaux moléculaires » pour modifier un gène dans l'ADN d'une plante sans introduire de gènes étrangers. Le système CRISPR-Cas9 est un exemple de « ciseaux moléculaires ». Expliquez les étapes de l'édition génomique à l'aide de ce système et décrivez ses avantages et ses inconvénients pour les phytogénéticiens.**

L'édition génomique consiste à modifier l'ADN d'une cellule à un endroit précis de la séquence à l'aide d'un complexe enzymatique. Ceci est perçu comme une version « améliorée » de la mutagenèse; l'organisme qui en résulte n'est pas réglementé comme étant un OGM.

Il existe différents complexes pour l'édition génomique. L'un d'entre eux, le CRISPR-Cas9, peut « couper-coller » avec précision un gène dans le génome d'une plante. On introduit une molécule d'ARN dans une cellule pour localiser le segment particulier de l'ADN qui contient le gène à « éditer ». Quand la molécule d'ARN trouve le gène recherché, elle s'attache à cet endroit particulier de la séquence d'ADN. Ensuite, Cas9, une enzyme bactérienne attachée à l'ARN, coupe la séquence d'ADN au point désiré dans le génome.

Les phytogénéticiens peuvent activer ou désactiver un gène particulier. Ils peuvent aussi insérer un nouveau segment d'ADN synthétique dans la coupure pour modifier la fonction du gène. L'ADN synthétique est fabriqué en laboratoire et non pas prélevé d'un autre organisme de sorte que le nouvel organisme n'est pas transgénique. On n'introduit aucun matériel génétique étranger à l'aide de ce complexe.

Cette technologie permet aux phytogénéticiens de modifier directement un gène. Ils ne sont pas obligés d'attendre des mutations aléatoires, comme dans le cas de la mutagenèse, ni d'attendre longtemps des modifications génétiques, comme dans le cas de la sélection conventionnelle des plantes. Son coût peu élevé pourrait permettre aux chercheurs universitaires et gouvernementaux d'obtenir rapidement des plantes agricoles aux caractéristiques voulues. Certains biologistes, cependant, estiment que l'édition génomique est limitée, car il n'est pas possible de modifier une plante pour lui conférer des traits que sa capacité génétique ne lui permet pas d'obtenir, ce que permettent les techniques de l'ADN recombiné.

ÉTUDE DE CAS : CULTURES TOLÉRANTES AUX HERBICIDES ET AGRICULTURE DURABLE



Les mauvaises herbes nuisent à l'agriculture depuis des milliers d'années. Elles sont des concurrentes directes des plantes cultivées dans la quête de lumière, d'eau, de nutriments et d'espace. Toutefois, les méthodes pour s'en prémunir ont changé au cours du dernier siècle, car les pratiques agricoles et les nouvelles technologies ont changé, tout comme les préoccupations environnementales.

Depuis la deuxième moitié des années 1990, il est possible de cultiver des plantes tolérantes aux herbicides. Il s'agit de plantes issues du génie génétique pour survivre à l'application de certains herbicides et qui autrement auraient été détruites en même temps que les mauvaises herbes. Depuis que ces plantes tolérantes ont été adoptées par les cultivateurs, il y a eu de grands débats sur leur impact environnemental et sur la durabilité des fermes canadiennes.

Pensée critique

Au cours de cette activité, vous devrez tout d'abord définir le terme « agriculture durable ». Vous analyserez ensuite cinq textes pour établir si la culture de plantes tolérantes aux herbicides joue un rôle dans l'agriculture durable. À partir de ces textes, vous rédigerez votre propre analyse objective du sujet.

Objectif

L'élaboration de votre argumentation sur le rôle que jouent ou ne jouent pas les plantes tolérantes aux herbicides dans l'agriculture durable vous permettra de développer vos aptitudes de lecture et de pensée critiques. De plus, vous acquerrez une bonne compréhension de l'incidence de la biotechnologie sur l'agriculture au Canada.

Analyse de textes

Pour vous aider à développer vos aptitudes de lecture et de pensée critiques, vous devez tout d'abord lire deux articles rédigés à l'intention des étudiants de l'Université d'Ottawa : « *Le compte rendu critique* » et « *L'utilisation des ressources d'Internet et les travaux scientifiques : questions d'appréciation* ». À partir des recommandations énoncées dans ces deux articles, vous effectuez une recherche sur le terme « agriculture durable » et vous créez votre propre définition pour votre analyse écrite.

<http://aix1.uottawa.ca/~fgingras/cybermetho/modules/comptere rendu.html>

<http://aix1.uottawa.ca/~fgingras/metho/sources.html>

Vous analysez ensuite le texte suivant : « *Moins de labour* » publié par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Toujours à l'aide des recommandations des articles mentionnés ci-dessus, vous devez trouver et analyser quatre autres textes portant sur les cultures tolérantes aux herbicides et à l'agriculture durable. Pour ce faire, vous avez recours à Internet et aux ressources bibliothécaires.

http://www.ogm.gouv.qc.ca/sante_et_environment/environnement/benefices_potentiels/moins_la_bour.html

En fonction de la lecture de ces cinq textes, vous rédigez votre propre analyse critique, à savoir si les cultures tolérantes aux herbicides devraient jouer un rôle en agriculture durable. Vous devez citer vos ressources pour appuyer votre argumentation.



ÉTUDE DE CAS : ALIMENTS TRANSGÉNIQUES POUR L'AIDE ALIMENTAIRE EN AFRIQUE



En 2002, des pays du sud de l'Afrique (Angola, Lesotho, Malawi, Mozambique, Swaziland, Zambie et Zimbabwe) ont traversé une grave crise alimentaire. Les causes étaient multiples et variaient d'un pays à l'autre, mais certaines des principales étaient la sécheresse, des pluies diluviennes avec inondations, l'épuisement des réserves de céréales, la montée brutale du prix d'aliments de base et l'impact du VIH/SIDA.

Face à la crise, les États-Unis ont offert de l'aide alimentaire aux pays touchés. Cette réponse a toutefois déclenché un débat international puisque l'aide alimentaire comprenait du maïs issu du génie génétique. Les pays avaient diverses inquiétudes à ce sujet. Certains ont refusé d'ouvrir leurs frontières à un aliment transgénétique, d'autres l'ont accepté s'il était moulu.

Pensée critique

Au cours de cette activité, vous analyserez cinq textes concernant les préoccupations des pays du sud de l'Afrique par rapport à l'éventualité d'avoir des aliments transgénétiques qui franchissent leurs frontières. Vous rédigerez ensuite votre propre analyse objective à partir de ces textes.

Objectif

L'élaboration de votre argumentation sur les raisons ayant amené certains pays du sud de l'Afrique à s'objecter à ce que des aliments transgénétiques franchissent leurs frontières vous permettra de développer vos aptitudes de lecture et de pensée critiques. De plus, vous acquerez une bonne compréhension de l'impact des aliments transgénétiques ailleurs dans le monde.

Analyse de textes

Pour vous aider à développer vos aptitudes de lecture et de pensée critiques, vous devez tout d'abord lire deux articles rédigés à l'intention des étudiants de l'Université d'Ottawa : « *Le compte rendu critique* » et « *L'utilisation des ressources d'Internet et les travaux scientifiques : questions d'appréciation* ».

<http://aix1.uottawa.ca/~fgingras/cybermetho/modules/comptereendu.html>

<http://aix1.uottawa.ca/~fgingras/metho/sources.html>

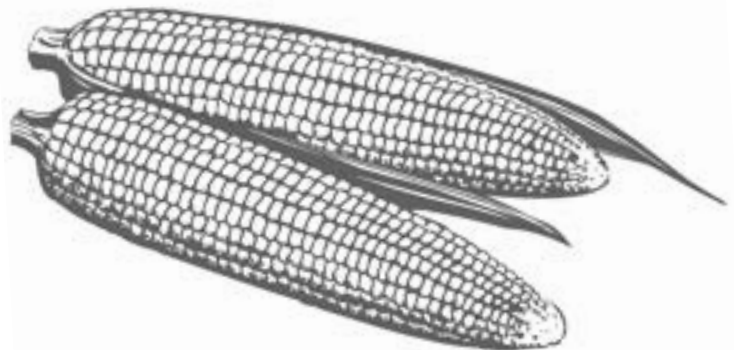
À partir des recommandations énoncées dans ces deux articles, vous analysez le texte suivant : « *Les plantes génétiquement modifiées en Afrique : enjeux et recherches* » de Marie De Lattre-Gasquet, Alain Weil et Yvan Le Bruchec *Oléagineux Corps gras Lipides – OCL*, 9(6) 2002 : 445-453.

<http://www.ocl-journal.org/articles/occl/pdf/2002/06/occl200296p445.pdf>

Toujours à l'aide des recommandations des articles mentionnés ci-dessus, vous devez trouver et analyser quatre autres textes portant sur l'aide humanitaire aux pays du sud de l'Afrique sous forme d'aliments transgéniques. Pour ce faire, vous avez recours à Internet et aux ressources bibliothécaires.

En fonction de la lecture de ces cinq textes, vous rédigez votre propre analyse critique des raisons pour lesquelles les pays africains s'objectaient à ce que des aliments transgéniques franchissent leurs frontières. Vous devez citer vos ressources pour appuyer votre argumentation. Vous pouvez aussi comparer les réactions de ces pays en 2002 à la politique actuelle d'aide alimentaire dans cette partie du monde.

À noter : On utilise souvent le terme aliment génétiquement modifié au lieu d'aliment transgénique. En réalité *tous* les produits agricoles sont des organismes, ou des aliments, génétiquement modifiés puisqu'ils sont le résultat d'interventions humaines. Le terme approprié pour désigner les aliments issus de biotechnologie est « aliments transgéniques » puisqu'ils contiennent l'ADN d'organismes étrangers.



ÉTUDE DE CAS : APPLICATIONS DIVERSES DE LA RECHERCHE GÉNOMIQUE SUR LE SAUMON



Depuis des décennies, le saumon (nom courant couvrant plusieurs espèces de poissons) fait l'objet de recherches scientifiques. L'établissement de la séquence du génome du saumon, c'est-à-dire de sa signature génétique, permet aux chercheurs de mieux comprendre les facteurs participant à la croissance, à la santé, à la reproduction et à l'évolution de ce poisson. Le souci de préserver des populations en déclin de saumons sauvages et une consommation croissante de saumon ont poussé les chercheurs à établir la séquence du génome du saumon.

Pensée critique

Au cours de cette activité, vous devrez vous documenter sur deux projets d'amélioration génétique du saumon et étudier l'éventuel impact environnemental ainsi que l'importance pour la sécurité alimentaire de chaque projet. Vous devrez ensuite décider quel projet financer en appuyant votre décision sur vos constatations.

À noter qu'un impact environnemental peut être positif ou négatif.

Objectif

L'analyse de l'impact environnemental de deux projets sur le saumon ainsi que de leur importance pour la sécurité alimentaire vous permettra de développer vos aptitudes de lecture et de pensée critiques. Vous acquerez aussi des connaissances sur les applications actuelles de la recherche génomique sur le saumon. En outre, vous cernerez diverses carrières scientifiques ainsi que des contributions importantes réalisées par des chercheurs canadiens.

Scénario

Vous êtes un financier canadien, membre d'une organisation qui s'intéresse à la salmoniculture et aux efforts de reconstitution et de protection des populations de saumons sauvages. Cette organisation songe à investir beaucoup d'argent dans un projet sur le saumon. Deux équipes de scientifiques s'adressent à vous pour financer leurs projets.

Une de ces équipes provient de l'entreprise américaine Aqua Bounty Technologies Inc., ayant créé le saumon AquAdvantage®, une variété issue du génie génétique qui croît plus vite que le saumon d'élevage traditionnel. L'autre porte le nom d'EPIC4 (Amélioration de la production de saumon coho : culture, communauté, prises) dirigée par D^r Willie Davidson et D^r Louis Bernatchez. Ils cherchent à relancer et à soutenir les pêcheries du saumon sauvage coho, et à développer l'industrie aquacole terrestre en Colombie-Britannique.

Afin de présenter les deux options aux autres membres de votre fondation, vous devez examiner en profondeur les deux projets, en vous attachant notamment sur leur éventuel impact environnemental et leur potentiel pour la sécurité alimentaire.

http://www.ogm.gouv.qc.ca/utilisation_actuelle/animaux_ogm.html

<https://www.genomecanada.ca/en/node/820>

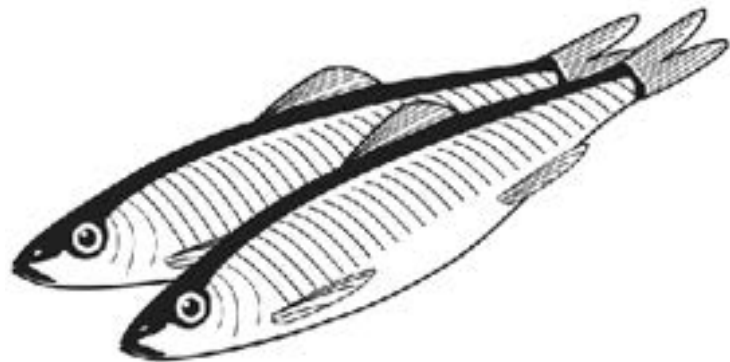
Recherche et rapport final

Vous devez vous documenter et analyser les ressources documentaires se rapportant aux deux projets sur le saumon (certaines ressources sont citées ci-dessus). Pour vous aider à développer vos aptitudes de lecture et de pensée critiques, vous devez tout d'abord lire deux articles rédigés à l'intention des étudiants de l'Université d'Ottawa : « *Le compte rendu critique* » et « *L'utilisation des ressources d'Internet et les travaux scientifiques : questions d'appréciation* ». À partir des recommandations énoncées dans ces deux articles, vous analysez la documentation que vous avez trouvée.

<http://aix1.uottawa.ca/~fgingras/cybermetho/modules/compterendu.html>

<http://aix1.uottawa.ca/~fgingras/metho/sources.html>

En fonction de la lecture de ces ressources, vous décidez quel projet votre organisation devrait soutenir financièrement, compte tenu de son éventuel impact environnemental et son potentiel pour la sécurité alimentaire. Votre rapport écrit doit citer les sources sur lesquelles vous fondez votre décision.



ÉTUDE DE CAS : SYSTÈME DIGESTIF D'UNE VACHE LAITIÈRE



Une vache laitière est un ruminant, c'est-à-dire qu'elle rumine ou remâche la nourriture qu'elle a ingérée. Son estomac, qui comprend quatre compartiments, soit la panse (ou rumen), le réseau (ou réticulum), le feuillet (ou omasum) et la caillette (ou abomasum), lui permet de digérer les fibres végétales. La panse contient beaucoup de microorganismes participant à la fermentation des aliments. Ceux-ci se nourrissent de fibres qu'ils dégradent et transforment en nutriments que la panse peut absorber.

Le processus de conversion des fibres à base de cellulose en énergie produit des gaz, comme le méthane et le dioxyde de carbone. D'où le dilemme : on sait que les émissions de gaz à effet de serre contribuent aux changements climatiques, mais l'industrie laitière nous donne des produits laitiers et de la viande.

Compréhension des concepts

Au cours de cette activité, vous étudierez le système digestif de la vache laitière, et plus précisément le rôle que jouent les microorganismes qui vivent dans la panse et les gaz qu'ils produisent. Par vos recherches, vous établirez comment les scientifiques tentent d'atténuer l'impact environnemental de ces gaz. Vous rédigerez ensuite un exposé de vos constatations.

Objectif

L'analyse du fonctionnement interne de la panse vous permettra d'acquérir de bonnes connaissances du système digestif d'un ruminant. Vous étudierez les solutions possibles aux émissions de gaz à effet de serre que proposent les scientifiques pour vous familiariser avec les progrès scientifiques en agriculture.

Scénario

Vous êtes chercheur pour Les Producteurs laitiers du Canada, l'organisme de politique, de lobbying et de promotion nationale qui représente les producteurs exploitant environ 12 000 fermes laitières au Canada. Un membre du conseil d'administration voudrait écrire un exposé dans le cadre d'un événement public à venir au cours duquel il s'attend à ce que la question de l'impact environnemental de l'élevage laitier soit soulevée. Il voudrait expliquer comment les microorganismes de la panse convertissent les fibres à base de cellulose en énergie, produisant du méthane et du dioxyde de carbone pendant le processus. Vous devez ensuite expliquer comment les producteurs laitiers et les scientifiques tentent de réduire ces gaz à effets de serre.

Exposé de recherche

Vous devez rechercher et analyser de la documentation sur le système digestif de la vache laitière et les moyens de réduire la production de gaz à effets de serre résultant de la digestion de ce ruminant (certaines ressources sont en référence ci-dessous). Pour vous aider à développer vos aptitudes de lecture et de pensée critiques, vous devez tout d'abord lire deux articles rédigés à l'intention des étudiants de l'Université d'Ottawa : « *Le compte rendu critique* » et « *L'utilisation des ressources d'Internet et les travaux scientifiques : questions d'appréciation* ». À partir des recommandations énoncées dans ces deux articles, vous analysez la documentation que vous avez trouvée et résumez vos constatations dans un exposé où vous citez vos sources.

Ressources

<http://aix1.uottawa.ca/~fgingras/cybermetho/modules/compterendu.html>

<http://aix1.uottawa.ca/~fgingras/metho/sources.html>

<http://www.omafra.gov.on.ca/french/livestock/dairy/facts/greenhousegas.htm>

<https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/chouinard.pdf> (source universitaire/ complexe)

<https://agriculture.canada.ca/fr/nouvelles-dagriculture-agroalimentaire-canada/realisations-scientifiques-agriculture/reduire-emissions-methane-produites-betail>

<https://agriculture.canada.ca/fr/secteurs-agricoles-du-canada/champs-scientifiques/karen-beauchemin-ph>

<https://www.youtube.com/watch?v=UdTmOa0910E>

DISTINCTION ENTRE MONOCOTYLÉDONES ET DICOTYLÉDONES



Courtesy of Peter Halasz / Wikimedia Commons

Les angiospermes, communément appelées plantes à fleurs, se répartissent en deux classes : les monocotylédones et les dicotylédones.

Les **monocotylédones** n'ont qu'un petit bouclier dans l'enveloppe du grain. Il s'agit souvent d'une feuille mince, car le petit bouclier ne contient pas les nutriments de la nouvelle plante.

L'enveloppe du grain des **dicotylédones** renferme deux petits boucliers. Parce qu'elles contiennent les nutriments de l'embryon de plante, ces feuilles sont épaisses et rondes.

Les monocotylédones se distinguent aussi des dicotylédones par leurs feuilles, leurs tiges, leurs racines et leurs fleurs.

Les monocotylédones ont plutôt des racines fibreuses qui se propagent dans plusieurs directions. Les dicotylédones ont une seule racine pivotante, appelée aussi « pivot », d'où partent de petites racines.

Le tissu vasculaire (système circulatoire) des monocotylédones se compose de faisceaux éparés le long de la tige. Dans les dicotylédones, les faisceaux vasculaires forment un anneau. Les feuilles des monocotylédones ont le plus souvent des veines parallèles, non ramifiées alors que les feuilles des dicotylédones ont des veinules issues d'une veine principale (veine réticulée). Enfin, les fleurs des monocotylédones sont généralement groupées par trois tandis que celles des dicotylédones sont groupées par quatre ou cinq.

Veillez noter que l'activité décrite ci-après doit commencer au début du semestre afin qu'elle soit terminée à la fin du même semestre.

Culture de maïs et de pois : Activité en laboratoire, partie I

Au cours de cette activité de laboratoire, vous observerez les différences entre les plantes à fleurs monocotylédones et dicotylédones en suivant et comparant la croissance d'un plant de maïs et d'un plant de pois.

Objectif

Cette activité de laboratoire vous permettra de reconnaître les caractéristiques des monocotylédones et des dicotylédones.

Matériel

- Semences de pois
- Semences de maïs (variété naine, si possible; période de croissance la plus courte)
- 8 contenants pour culture (environ 5 cm de profondeur)
- 6 sacs en plastique refermables, format « collation »
- Terreau
- 12 boules de coton
- Une pipette
- Une lampe de serre
- Des bâtonnets de bois (popsicle)
- Du ruban-cache

Instructions

1. Remplissez les contenants pour culture de terreau. Plantez quatre graines de pois et quatre graines de maïs, une graine par contenant, en suivant les instructions sur l'emballage des semences.
2. Inscrivez sur des bâtonnets le type de semence et plantez-les dans chaque contenant.
3. Étirez doucement chaque boule de coton et, à l'aide de la pipette, imprégnez le centre de chaque boule de 2 à 3 gouttes d'eau.
4. Placez une seule graine de pois ou de maïs sur la zone humidifiée de chacune des boules de coton (six boules avec des graines de pois et six autres avec des graines de maïs), puis repliez chaque boule de coton sur sa graine de sorte que celle-ci ne soit plus visible.
5. Placez deux boules de coton avec un même type de graine dans chacun des sacs. Ne les fermez pas afin que l'air puisse circuler.
6. Inscrivez sur un morceau de ruban-cache le type de semence et collez-le sur chaque sachet.
7. Placez les contenants pour culture et les sacs transparents sous la lampe de serre.
8. Arrosez les semis au cours des semaines suivantes.
9. À mesure que les graines germent et commencent à croître, observez les étapes de développement des deux types de plantes et dessinez ce que vous observez. (Vous pouvez observer le premier stade de développement de chaque plante dans les sachets en plastique.) Sur vos schémas, indiquez les éléments suivants : racines émergentes, cotylédons, poils racinaires, premières vraies feuilles et fleurs. À l'aide de vos schémas, déterminez si les plants de maïs et de pois sont monocotylédones ou dicotylédones.

Nom : _____

Date : _____

DISTINCTION ENTRE MONOCOTYLÉDONES ET DICOTYLÉDONES

Schémas des étapes de la croissance d'un plant de pois.

Nom : _____

Date : _____

DISTINCTION ENTRE MONOCOTYLÉDONES ET DICOTYLÉDONES

Schémas des étapes de la croissance d'un plant de maïs.

Nom : _____

Date : _____

DISTINCTION ENTRE MONOCOTYLÉDONES ET DICOTYLÉDONES

Observez et consignez dans le tableau suivant les différences que vous observez entre les plantes.

	Pois	Maïs
Semence		
Racine		
Tige		
Feuille		
Fleur		



Name: _____

Date: _____

Différences vasculaires chez les plantes : Activité en labo II

Au cours de cette activité de laboratoire, vous utiliserez un microscope pour observer et comparer les tissus vasculaires des plants de maïs et de pois.

Objectif

Cette activité de laboratoire vous permettra d'identifier et de comparer les tissus vasculaires des monocotylédones et des dicotylédones.

Matériel

- Tige d'un plant de pois
- Tige d'un plant de maïs
- Lames de microscope
- Lamelles couvre-objet
- Scalpel ou lame de rasoir à simple tranchant
- Microscope à lumière complexe
- Eau distillée à température ambiante
- Solution de bleu de méthylène
- Pincettes
- Boîtes de Petri
- Papier essuie-tout
- Gants
- Lunettes de protection
- Blouse de laboratoire

Instructions

1. Mettez les lunettes de protection, la blouse et les gants.
2. Coupez un morceau de 2,5 cm au milieu de la tige de maïs et placez-le dans une boîte de Petri contenant de l'eau distillée à la température ambiante. Refaites la même opération avec le plant de pois.
3. Maintenez solidement le morceau de maïs et découpez-en de fines lamelles transversales à l'aide du scalpel ou de la lame de rasoir. Refaites la même opération avec le plant de pois.

Pensez à la sécurité! Faites la coupe en déplaçant la lame loin de vous et d'autres personnes à proximité.

DISTINCTION ENTRE MONOCOTYLÉDONES ET DICOTYLÉDONES : LABO II · PAGE 2

4. Choisissez la lamelle la plus fine de chaque plante à l'aide de la pincette et posez chacune d'entre elles sur une lame de microscope différente.
5. Ajoutez une goutte d'eau distillée à chaque spécimen, puis recouvrez-les d'une lamelle couvre-objet.
6. Ajoutez une goutte de solution de bleu de méthylène sur le bord de chaque lamelle et placez un morceau de papier essuie-tout sur l'autre bord. Le papier essuie-tout attirera la teinture de l'autre côté et teintera les cellules du spécimen.
7. Examinez les spécimens colorés avec le microscope à lumière complexe..
8. Dessinez vos observations, en ajoutant des légendes, sur la page ci-dessous.

Dessinez un schéma du tissu vasculaire de la tige d'un plant de maïs :



Dessinez un schéma du tissu vasculaire de la tige d'un plant de pois :



Historique de l'élaboration des variétés de canola

Conseil Canadien du Canola

<https://www.canolacouncil.org/canola-encyclopedia/crop-development/history-of-varietal-development/>

Les variétés de canola cultivées au Canada font partie des espèces *Brassica napus*, *B. rapa* ou *B. juncea*, qui elles-mêmes s'inscrivent dans la très vaste famille des moutardes. Depuis que les espèces *B. napus* et *B. rapa* ont été introduites au Canada, les phytogénéticiens ont élaboré plusieurs variétés. L'élaboration de ces variétés, qui s'est accompagnée de progrès majeurs en matière d'agronomie, de qualité des huiles et développement de produits alimentaires, a largement influencé l'expansion rapide de l'industrie du canola au Canada. L'amélioration de la qualité des semences a donné lieu à une croissance du marché des graines de canola et des produits connexes. En 2002 a débuté la production sous contrat de *B. juncea*. Les caractéristiques agronomiques et le rendement du canola diffèrent considérablement selon les espèces et les variétés. Dans votre choix de variété à cultiver, évaluez soigneusement ces différences : choisissez la variété qui convient le mieux aux conditions locales.

Espèces « Brassica » et apparentées

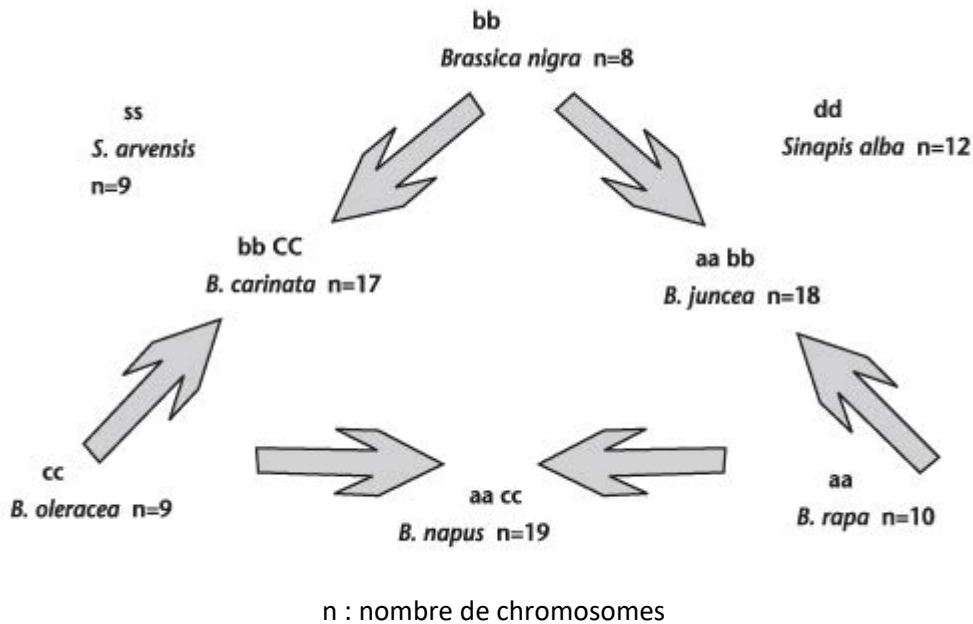
Les différentes variétés de canola ont été développées – par reproduction sélective – à partir de trois espèces de la famille des brassicacées, dont deux espèces de colza et une espèce de moutarde d'Inde.

- *Brassica rapa* ou colza polonais
- *Brassica napus* ou colza argentin
- *Brassica juncea*, ou moutarde indienne de qualité « canola »

Jusqu'au début des années 1990, *Brassica rapa* était appelé *Brassica campestris*. Il s'agit en fait d'une erreur de classification au 18^e siècle du père de la taxonomie, Carl von Linné. Il avait nommé cette espèce productrice de navet *Brassica* « *B. rapa* », *rapa* signifiant « racine » en latin.

Linné découvrit plus tard une plante apparentée qu'il crut différente de *B. rapa*. Il donna à cette plante oléagineuse le nom de *B. campestris*. Les taxonomistes de la fin du 20^e siècle qui étudiaient cette classification découvrirent que les deux plantes appartenaient en fait à la même classification et étaient allogames. Le premier nom associé à l'espèce étant *Brassica rapa*, il a été décidé d'éliminer *Brassica campestris* pour ne conserver que *Brassica rapa*.

Fig.1 Relation étroite entre les espèces du genre *Brassica*



Les espèces *B. rapa*, *B. napus* et *B. juncea* appartiennent à la famille des brassicacées (aussi appelée famille des crucifères ou des moutardes). La famille des brassicacées comprend environ 3000 espèces de plantes que l'on rencontre surtout dans l'hémisphère nord. Le terme « crucifère » provient de la disposition des pétales de la fleur en forme de croix. De nombreuses espèces de brassicacées sont cultivées depuis la préhistoire pour leurs racines, tiges, feuilles, boutons, fleurs et graines comestibles. Les membres de l'espèce *B. rapa* comprennent le navet, le chou chinois, et le canola. Les membres de l'espèce *B. napa* comprennent le rutabaga et le canola. L'espèce *B. juncea* comprend la moutarde chinoise, diverses moutardes indiennes et la moutarde brune.

Le colza est très proche des autres espèces du genre *Brassica* telles que le chou, le chou-fleur, le chou frisé, ainsi que les moutardes brune et orientale. Cette proximité revêt une grande importance pour les sélectionneurs de plants de canola car elle est source d'une grande diversité de caractéristiques génétiques. La figure 1 présente la relation étroite entre les espèces du genre *Brassica*. *B. napus*, avec ses 19 chromosomes, a vu le jour il y a environ 1000 ans à la suite d'un croisement entre *B. oleracea* (chou = neuf chromosomes) et *B. rapa* (navet = 10 chromosomes). Il en va de même pour *B. juncea* qui est issu d'un croisement entre *B. nigra* (moutarde noire) et *B. rapa* (navet).

Dans la parenté plus éloignée du colza, on trouve les espèces *Sinapis alba* (moutarde blanche) et *Sinapis arvensis* (moutarde des champs), ces espèces étant autrefois respectivement appelées *Brassica hirta* et *Brassica kaber*. Outre la moutarde des champs, la famille des brassicacées comprend diverses mauvaises herbes dont :

- le diplotaxe des murs - *Thlapsi arvensis* L.
- le radis sauvage - *Raphanus raphanistrum* L.
- la bourse-à-pasteur - *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medic.
- la moutarde des chiens - *Erucastrum gallicum* (Willd.) Schulz
- la sagesse-des-chirurgiens - *Descurainia sophia* (L.) Webb.
- la lépidie densiflore - *Lepidium densiflorum* Schrad.
- la neslie paniculée - *Neslia paniculata* (L.) Desv.

Historique du canola au Canada

Les recherches historiques permettent de croire que le colza était déjà cultivé en Inde en 2000 av. J.-C. et qu'il a été introduit en Chine et au Japon vers 35 av. J.-C. On trouve des références à son utilisation ou celle d'un parent proche dans les premiers écrits des civilisations européennes et asiatiques. Les plants de colza peuvent pousser sous des températures relativement basses et nécessitent beaucoup moins de chaleur que les autres oléagineux. Le colza était donc l'une des rares sources d'huile pouvant être cultivée avec succès dans les régions les plus froides de la zone tempérée. C'est ainsi qu'a commencé la culture du colza en Europe dès le 13^e siècle. Au cours des siècles suivants, le colza a été utilisé tant pour la cuisson que pour l'éclairage car son huile brûle en formant une flamme blanche sans fumée. Son utilisation industrielle est restée plutôt limitée jusqu'à l'arrivée des machines à vapeur, lorsqu'on a découvert que l'huile de colza adhérait mieux que tout autre lubrifiant aux surfaces métalliques soumises à l'eau et la vapeur. C'est en raison de cette propriété singulière que le colza a été introduit au Canada. La nécessité pour le Canada de produire du colza s'est manifestée au début des années 1940 lorsque, en raison du blocus de la Deuxième Guerre mondiale, les sources européennes et asiatiques d'huile de colza se sont tarées. Il fallait d'urgence obtenir cette huile de lubrification pour le nombre croissant de navires militaires et marchands.

Colza argentin (*B. napus*)

Le colza a été cultivé au Canada avant la Deuxième Guerre mondiale, mais seulement sur de petites parcelles dans les fermes expérimentales et les stations de recherche. Ces essais avaient démontré que le colza pouvait être cultivé avec succès tant dans l'est que dans l'ouest du Canada. Au printemps 1942, en raison de la nécessité de produire de l'huile de colza pour subvenir à l'effort de guerre, une petite quantité de semences issues des expérimentations fut distribuée à quelques fermes et stations expérimentales. Cependant, à l'automne, la récolte ne fut que de 1200 kg (2645 lb). Pour contrer la grave pénurie d'huile de colza, il fallait ensemençer davantage de colza en 1943. On se mit alors en chasse pour trouver, puis acheter 19 000 kg (41 000 lb) de semences auprès de compagnies de semences aux États-Unis. Cette semence *B. napus* provenait à l'origine d'Argentine, d'où sa première appellation pendant les premières années de production, et qu'on utilise encore aujourd'hui pour désigner, en langage courant, les variétés *B. napus*. Cette semence fut semée sur 1300 ha (3200 acres) en 1943; la récolte fut d'un million de kilogrammes (2,2 millions de livres). Les revenus substantiels tirés de cette production ont incité les cultivateurs à augmenter la superficie ensemençée de *B. napus* l'année suivante.

Colza polonais (*B. rapa*)

En 1936, la famille Solvoniuk a entrepris la culture du colza dans son jardin domestique de Shellbrook (Saskatchewan). Les Solvoniuk ont poursuivi cette culture pendant quelques années et ont constaté que la plante s'adaptait bien aux conditions locales. À l'époque, toutefois, il n'y avait pas vraiment de marché au Canada pour le colza. La guerre venue, avec son cortège d'information alarmante sur la nécessité de produire du colza, le fermier de Shellbrook a accru sa production de semences et en a vendu à ses voisins. Cette espèce fut alors nommée en anglais « *Polish rapeseed* » (colza polonais) en raison de l'origine polonaise du fermier et de la semence. On a établi plus tard que ce colza appartenait à l'espèce *B. rapa*. Les semences de *B. rapa* ayant connu dès le début une distribution très large, elles ont pris le pas sur les autres en termes de surface cultivée. Les essais démontraient que le rendement de *B. napus* dépassait celui de *B. rapa*. Cependant, la maturité plus précoce de *B. rapa* et sa plus grande résistance à l'égrenage lui conféraient une meilleure adaptation aux courtes saisons de culture dans les

régions où cette espèce était semée. Très vite, la surface cultivée de colza polonais a dépassé celle de colza argentin.

***B. juncea* de qualité « canola »**

B. juncea de la qualité canola a été élaboré en appliquant les méthodes traditionnelles de sélection par Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) à Saskatoon, le Centre de recherche et de développement de Saskatoon et le Syndicat du blé de la Saskatchewan (Saskatchewan Wheat Pool, ou SWP). *B. juncea* est la même espèce que celle servant à produire les variétés de moutardes brune et orientale. En 2002, le SWP a produit sous contrat les deux premières variétés, Arid et Amulet. Ces espèces conviennent mieux aux régions chaudes et arides du sud des Prairies et sont particulièrement bien adaptées aux zones de sol brun. Les cosses, ou « siliques », de *B. juncea* ont moins tendance à s'égrener que celles des autres variétés de canola de sorte que les agriculteurs peuvent effectuer la récolte directement à la moissonneuse-batteuse.

Élaboration des variétés

L'élaboration de variétés est un travail d'équipe regroupant des phytogénéticiens, des pathologistes, des chimistes spécialisés en qualité des cultures, des physiologistes, des agronomes, ainsi que des techniciens hautement qualifiés qui appuient ces spécialistes. Les phytogénéticiens, appelés aussi « sélectionneurs de végétaux », effectuent des croisements entre les plantes aux vertus les plus prometteuses en les sélectionnant en fonction de leur rendement et de leur qualité. Après plusieurs années de sélection, les lignées les plus prometteuses sont soumises à des évaluations privées et publiques, appelées « essais coopératifs », réalisées dans plus de 20 emplacements de l'ouest du Canada. Après une année d'essais privés et un ou deux ans d'essais publics, les lignées qui satisfont aux normes établies portant sur la qualité oléagineuse, le rendement, la tolérance aux herbicides et la résistance aux maladies sont évaluées par le Western Canada Canola/Rapeseed Recommending Committee. Les lignées satisfaisant aux critères de ce comité sont recommandées à l'Agence canadienne d'inspection des aliments en vue de leur homologation.

À partir des premiers croisements, il faut habituellement huit à dix ans pour qu'une variété soit homologuée, puis deux à trois ans de plus pour la multiplication des semences de façon que cette variété soit disponible aux fins de production commerciale. Les travaux de sélection génétique du colza ont commencé peu de temps après que cette culture a été entreprise par AAC à Saskatoon. D'autres programmes de sélection du colza ont débuté en 1953 à l'Université du Manitoba à Winnipeg et en 1969 à l'Université de l'Alberta à Edmonton en vue de réaliser des variétés adaptées aux régions. D'autres programmes de sélection ont ensuite été mis en place à l'Université de Guelph (Ontario) et au centre de recherche d'AAC à Beaverlodge (Alberta).

Variétés de colza

Les collections originales de semences de l'espèce *B. napus* d'Argentine contenaient divers types de plantes et n'étaient pas homologuées. Ces collections ont toutefois fourni le matériel génétique pour l'élaboration des variétés canadiennes de *B. napus*. De même, les collections de *B. rapa* provenant initialement de Pologne n'étaient pas homologuées mais furent utilisées dans des programmes de sélection pour élaborer d'autres variétés.

Les premiers programmes de sélection génétique visaient surtout l'amélioration des caractéristiques agronomiques et le contenu oléagineux. La première variété homologuée de colza a été produite par AAC à Saskatoon. Voici une liste des variétés de colza indiquant l'année de leur introduction :

- Golden (1954) – une sélection de *B. napus* d'Argentine ayant une teneur en huile et une résistance à la verse améliorées (AAC à Saskatoon).
- Arlo (1958) – une variété suédoise de *B. rapa*.
- Nugget (1961) - une sélection de *B. napus* d'Argentine ayant une teneur en huile améliorée.
- Tanka (1963) – une sélection de Golden *B. napus* dont le rendement et la taille des graines sont améliorés. (Université du Manitoba)
- Echo (1964) - une sélection de *B. rapa* tirée du colza polonais ayant un rendement amélioré (AAC à Indian Head, en Saskatchewan).
- Target (1966) - une sélection de *B. napus* issue de Tanka caractérisée par une amélioration majeure en termes de maturité, de hauteur des plantes, de teneur en huile et de rendement (Université du Manitoba).
- Polar (1969) - une sélection de *B. rapa* tirée du colza polonais dont les teneurs en huile et en protéines sont améliorées (Université du Manitoba).
- Turret (1970) - une sélection de *B. napus* issue de Target caractérisée par une maturité, une teneur en huile et un rendement améliorés (Université du Manitoba).

Profil des acides gras des huiles alimentaires

Les huiles végétales alimentaires sont composées d'acides gras. C'est selon le type d'acides gras qu'on détermine si une huile végétale sert à des fins alimentaires ou industrielles. Certains acides gras tels que l'acide linoléique sont considérés comme essentiels dans l'alimentation humaine car ne pouvant pas être synthétisés par le corps, ils doivent provenir des aliments. Toutes les huiles produites à partir des variétés de colza mentionnées jusqu'ici contiennent de grandes quantités d'acides eicosénoïque et érucique qui ne sont pas essentiels à la croissance des êtres humains. Le Tableau 1 présente une comparaison entre l'huile de colza et les autres huiles végétales.

Tableau 1. Analyse comparative de la teneur en acides gras des huiles végétales

Huile végétale	Principaux acides gras (%)				
	Palmitique	Oléique	Linoléique	Linoléinique	Érucique
Colza polonais	3,0	32	19	10	23,5
Colza argentin	3,5	22	12	7	40,0
Colza à haute teneur d'acide érucique	2,0	12	14	8	55,0
Canola	3,0	57	26	11	Trace
Maïs	12,0	27	57	1	-
Palme	46,0	38	10	Trace	-
Soya	11,0	25	50	8	-
Tournesol	8,0	20	68	Trace	-

Variétés de colza à faible teneur en acide érucique

Déjà en 1956 on remettait en question l'aspect nutritionnel de l'huile de colza, et notamment sa teneur élevée en acides gras eicosénoïque et érucique. Les sélectionneurs de plants de colza canadiens réagirent rapidement en isolant des plants à faible teneur en acides eicosénoïque et érucique, en 1960 dans le cas de *B. napus* et en 1964 dans celui de *B. rapa*. Ces caractéristiques désirées furent par la suite introduites dans des variétés de colza améliorées afin de développer des variétés à faible teneur en acide érucique.

Voici une liste des variétés à faible teneur en acide érucique :

- Oro (1968) - Première sélection de *B. napus* à faible teneur en acide érucique issue de croisements entre la variété Nugget et un cultivar non homologué de culture fourragère Liho, à faible teneur en acide érucique (AAC à Saskatoon).
- Zephyr (1971) - Sélection de *B. napus* issue d'un croisement de Oro et Target entraînant une amélioration des teneurs en huile et en protéines (AAC à Saskatoon).
- Span (1971) - Première variété de *B. rapa* à faible teneur en acide érucique créée à partir de sélections de colza polonais et d'Arlo (AAC à Saskatoon).
- Torch (1973) - Sélection de *B. rapa* tirée de Span résultant en une amélioration du rendement (AAC à Saskatoon).
- Midas (1973) - Une sélection de *B. napus* issue de croisements entre la variété Target et une source de colza à faible teneur en acide érucique de façon à produire une plante dont le rendement est égal à la variété Target mais dont le contenu de protéine est plus faible (AAFC à Saskatoon)

L'obtention de variétés à faible teneur en acide érucique constituait une amélioration majeure de la qualité et permettait au Canada d'établir pour la première fois une teneur maximale de 5 % d'acide érucique dans le contenu oléagineux (huile) de la graine. Des améliorations continues des variétés de canola par le processus de sélection ont permis de réduire ce maximum à moins de 2 % d'acide érucique, ce qui constitue aujourd'hui la norme mondiale.

Variétés de canola à faibles teneurs en acide érucique et en glucosinolates

Tandis que les phytogénéticiens s'efforçaient de modifier les qualités oléagineuses pour créer des variétés adéquates, ils collaboraient aussi intensément avec les spécialistes de la nutrition animale en vue de modifier la qualité du tourteau. Le tourteau de canola est une excellente source de protéine et présente un bon équilibre d'acides aminés. Toutefois, à l'époque, la teneur élevée en glucosinolates du tourteau de colza constituait un obstacle à son utilisation comme fourrage. La plupart des plantes de la famille des moutardes contiennent des glucosinolates. Les glucosinolates sont à l'origine de l'odeur âcre et le goût piquant de ces plantes que l'on reconnaît tant dans la saveur épicée des graines de moutarde et du raifort que dans les saveurs plus subtiles du rutabaga et du chou-fleur.

Les glucosinolates du colza entraînaient des problèmes dans leur usage en tant qu'aliment pour le bétail et la volaille en raison de leur goût, ou sapidité, et leur valeur nutritionnelle. Lors du broyage et de la formulation des aliments, les glucosinolates se décomposent en divers composés. Les niveaux élevés de glucosinolates dans les rations alimentaires du bétail et de la volaille entraînaient une perte d'efficacité alimentaire. C'est pourquoi les phytogénéticiens se mirent à la recherche de matériel génétique à faible teneur en glucosinolates. En 1967, ils ont découvert que des graines de la « variété polonaise » Bronowski contenaient peu de glucosinolates. Cette source génétique a donc servi à élaborer des variétés à faibles teneurs en acide érucique et en glucosinolates.

L'Université du Manitoba a créé une variété à faibles teneurs en acide érucique et en glucosinolates, la « Tower », en 1974. On appelle les variétés à faibles teneurs en acide érucique et en glucosinolates du « colza double zéro ». En 1977, deux nouvelles variétés « double zéro » ont été homologuées, la première, la « Candle », issue de la variété polonaise et élaborée par AAC à Saskatoon, et la seconde, la « Regent », issue de la variété argentine et élaborée par l'Université du Manitoba. Le Canada devint alors le premier pays au monde à produire de grandes quantités de tourteau de colza à faibles teneurs en acide érucique et en glucosinolates.

La nécessité s'est alors imposé d'avoir un nom pour désigner ce colza supérieur au colza ordinaire par sa semence, son huile et son tourteau. On a alors adopté le terme « canola », un néologisme où on retrouve le début du mot « Canada » et la terminaison « ola » qui s'apparente à la désignation de l'huile en latin. Le terme « canola » n'est plus uniquement ni canadien ni une marque de commerce : il est défini dans la *Loi sur les aliments et drogues*, la *Loi relative aux aliments du bétail* et la *Loi sur les semences*. Pour utiliser le nom « canola », l'oléagineux doit se conformer à une norme faisant l'objet d'une réglementation internationale spécifiant notamment que sa partie huileuse doit contenir moins de 2 % d'acide érucique et moins de 30 micromoles de glucosinolates par gramme de solides exempts d'huile et séchés à l'atmosphère ambiante. Sauf dans le cas de variétés à teneur élevée en acides gras tels que l'acide érucique et destinées à certains marchés spécialisés, les variétés homologuées au Canada doivent être de qualité « canola ».

L'huile de *B. juncea* de qualité canola a été élaborée par AAC à Saskatoon et le *Saskatchewan Wheat Pool* en modifiant le profil des acides gras, de façon qu'il soit semblable à ceux qu'on trouve dans *B. napus* et *B. rapa*, et en réduisant les teneurs en acide érucique et en glucosinolates pour qu'elles soient conformes aux normes du canola.

Canola tolérant aux herbicides

Le canola conventionnel tolère divers herbicides mais par mutagenèse et transfert génétique, les phytogénéticiens ont élaboré un canola qui tolère certains herbicides ou groupes d'herbicides dont certains sont énoncés ci-après.

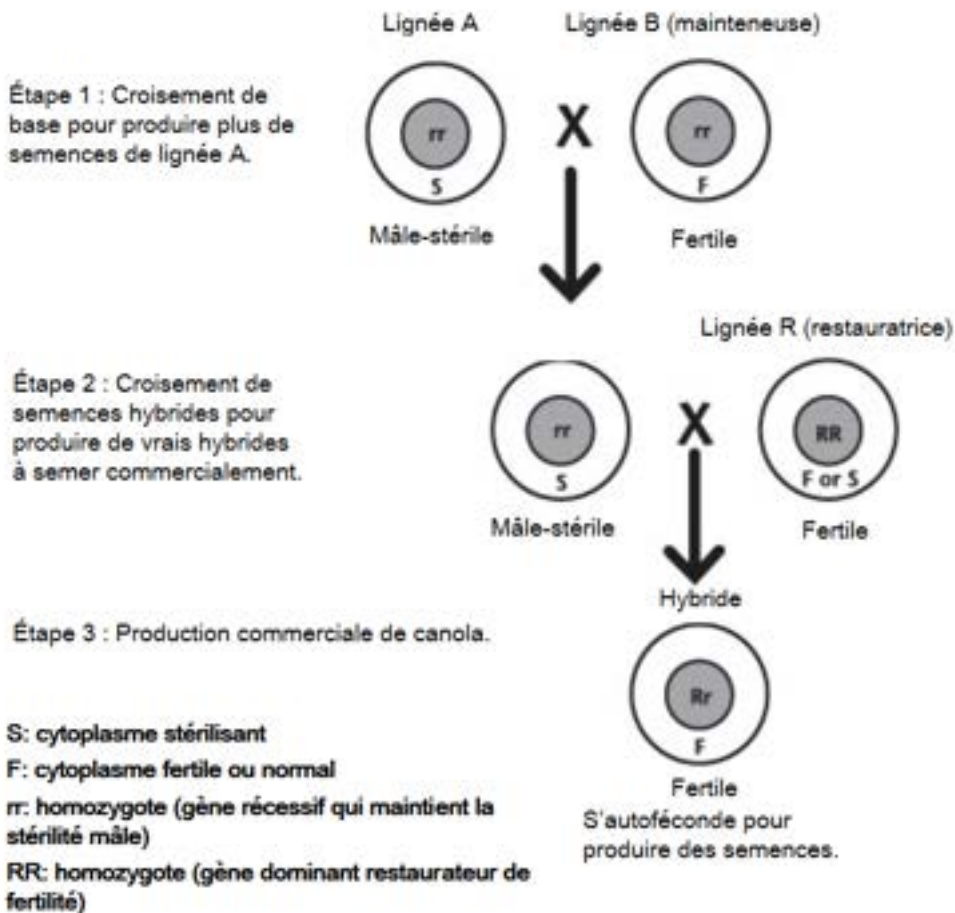
- Le canola tolérant à la triazine (TTC) a été produit pour permettre aux cultivateurs de planter du canola dans des champs infestés de mauvaises herbes crucifères telles que la moutarde des champs, le diplotaxe des murs, la neslie paniculée et de nombreuses autres qu'on ne peut pas contrôler au moyen d'herbicides conventionnels dans les champs de canola. Malheureusement, la résistance à la triazine de *B. rapa*, aussi appelée « moutarde des oiseaux », est due à une mutation cytoplasmique de sorte que la variété de canola TTC a un rendement nettement inférieur que la variété de canola conventionnelle dans un champ sans mauvaises herbes. Les premières recherches sur le canola tolérant à la triazine ont été réalisées à l'Université de Guelph (Ontario), et la première variété *B. napus*, OAC Triton, a été homologuée en 1984.
- En 1995, la première variété de *B. napus* tolérante à l'imidazolinone (herbicides Pursuit + Odyssey), la variété « 45A71 », a été homologuée. Cette variété et d'autres possèdent une caractéristique de tolérance obtenue par mutagenèse par la société Cyanamid (maintenant BASF).
- En 1995, la première variété transgénique de *B. napus*, la « Quest », a été homologuée. La Quest tolère l'herbicide glyphosate (Roundup); elle a été élaborée par Monsanto.
- Les variétés « Innovator » et « Independence » ont été homologuées en 1995. Ces variétés transgéniques de *B. napus* ont été élaborées par Aventis; elles contiennent un gène qui procure une résistance à l'herbicide glufosinate-ammonium (Liberty).
- En 1999, plusieurs variétés résistantes au bromoxynil, telles que 295 BX, Armor BX et Zodiac BX, ont été élaborées par l'Université du Manitoba.

De 1995 à 2001, plus de 100 variétés tolérantes aux herbicides ont été recommandées pour être homologuées.

Variétés hybrides et synthétiques

Un canola hybride n'est que le résultat du croisement de deux lignées de canola. La recherche en serre a démontré que le croisement manuel entre deux lignées de parenté éloignée entraînait un rendement pouvant dépasser de 45 % celui de chaque parent individuellement. Cet accroissement du rendement est dû à l'hétérosis, ou « vigueur des hybrides ». Plus les parents sont éloignés, plus la vigueur des hybrides est prononcée. Toutefois, la production manuelle de grands volumes de semences par hybridation est économiquement irréalisable. Étant donné que les variétés de *B. napus* sont pour la plupart des plantes à pollinisation directe (culture autogame), la pollinisation directe des lignées parentes doivent être étroitement surveillées pour que l'hybridation soit réalisable commercialement.

Fig. 2. Production de semences hybrides



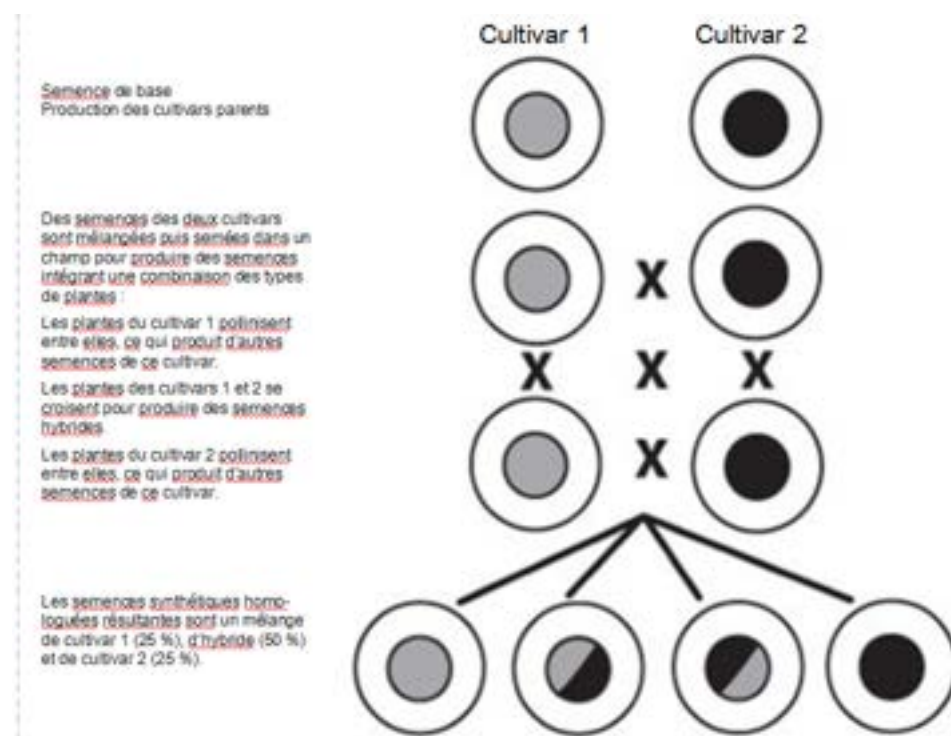
Jusqu'à ce jour, différentes approches ont été adoptées en vue d'élaborer des systèmes d'hybridation de *B. napus*. Les premiers programmes ayant obtenu un certain succès faisaient appel à des méthodes traditionnelles d'hybridation telles que la stérilité mâle cytoplasmique (CMS). Les chercheurs ont découvert que certaines espèces de *Brassica* et leurs parents proches possédaient un cytoplasme mâle-stérile (ou androstérile), le cytoplasme étant le matériel entourant le noyau d'une cellule. Au niveau cellulaire, la fertilité dépend de l'interaction entre le noyau cellulaire et le cytoplasme. Les systèmes faisant appel à la CMS utilisés dans l'hybridation du canola reposent sur cette mutation dans certains corps cytoplasmiques qui empêche le développement du pollen fonctionnel ou des anthères. Le recours à la CMS a permis aux généticiens de produire des plantes de canola femelles qui soit ne produisent pas de pollen, soit n'en libèrent pas, soit en produisent un qui n'entraîne pas de pollinisation directe. Le système hybride se compose habituellement de trois éléments : une lignée A mâle-stérile, une lignée mainteneuse B et une lignée R restauratrice (Figure 2).

Les fleurs femelles de la plante de la lignée A possèdent un cytoplasme stérile : elles ne produisent pas de pollen et ne peuvent s'autoféconder (absence de pollinisation directe). Cette caractéristique de stérilité mâle cytoplasmique (CMS) est un héritage maternel de sorte que lorsqu'une lignée A CMS femelle est croisée avec une lignée mainteneuse B génétiquement identique qui produit du pollen, toutes les semences produites gardent la caractéristique CMS. La lignée restauratrice R est différente génétiquement de la lignée A et contient des gènes nucléaires qui contrebalance le défaut du cytoplasme et restaurent la fertilité de l'hybride. Le premier hybride de *B. napus* CMS commercial, le

« Hyola 40 », a été homologué en 1989 par Advanta Seeds. Il a précédé de quelques années, en 1991, l'hybride très populaire « Hyola 401 ».

Plant Genetic Systems, une entreprise belge, a élaboré un système d'hybridation innovateur en appliquant un procédé biotechnologique. Ce système requiert deux lignées parentales. La première lignée parentale est mâle-stérile, ne produit pas de grains de pollen viables et ne peut pas s'autoféconder. Un gène isolé d'une bactérie courante du sol et inséré dans la ligne parentale entraîne la stérilité nucléaire mâle. Ce gène contrôle la production d'un enzyme dans une couche cellulaire spécifique de l'anthere et à une étape spécifique du développement de l'anthere de façon à empêcher la production de pollen. La seconde lignée parentale contient un autre gène, obtenu de la même bactérie courante du sol, qui produit un inhibiteur de l'enzyme qui neutralise l'enzyme de stérilité dans la première lignée parentale de façon à restaurer la fertilité. Un gène qui confère la tolérance à l'herbicide glufosinate-ammonium (Liberty) est inséré dans les deux lignées parentales. Après le croisement des deux lignées, la descendance est authentiquement hybride à 100 %. En outre, la fertilité ayant été restaurée, les plantes hybrides sont tout à fait fertiles et produisent des semences. Les premiers hybrides tolérants à l'herbicide Liberty, le 3850 et le 3880, ont été homologués en 1996 par Aventis (aujourd'hui Bayer CropScience).

Fig. 3. Reproduction et multiplication du *B. rapa* synthétique



Les techniques de reproduction d'hybride ont assez bien réussi dans la variété *B. napus* mais ont échoué dans le cas de *B. rapa*. Une autre méthode de reproduction consiste à tirer parti de l'hétérosis propre à la famille des brassicacées pour produire des variétés « synthétiques ». Les variétés synthétiques de canola sont obtenues en mélangeant des semences d'un parent avec les semences d'un autre parent et en faisant pousser le mélange pour obtenir une semence synthétique certifiée (Figure 3).

Les variétés synthétiques de *B. rapa* sont généralement composées de deux ou trois lignées parentales. Les variétés synthétiques homologuées obtenues, qui sont composée d'un mélange de plantes hybrides et parentales, tendent à être stables sur un plus vaste éventail de conditions environnementales que les variétés conventionnelles. En comparaison, une variété synthétique de canola se situe habituellement entre les variétés conventionnelles et les hybrides en termes d'effet d'hétérosis. Le canola *B. rapa* est auto-incompatible, c'est-à-dire qu'une plante ne peut pas s'autoféconder avec le pollen d'une fleur de la même plante, mais doit être fécondée par d'autres plantes dans le champ. Cette auto-incompatibilité de *B. rapa* est un avantage dans la production de variétés synthétiques. Les premières variétés synthétiques de *B. rapa*, Hysyn 100 et Hysyn 110, ont été homologuées en 1994 par Advanta Seeds.

Les variétés synthétiques de *B. napus* sont élaborées à partir de deux ou trois lignées parentales que l'on mélange ensuite en parties égales (mais pas toujours) et que l'on fait pousser en isolation. Étant donné que *B. napus* est auto-compatible et que le niveau de croisement distant, ou hétérogène, dépend de la pollinisation, le niveau de croisement entre les lignées parentales est variable. Les semences de la génération suivante sont un mélange de lignées parentales et de tous les hybrides possibles entre elles. Ce processus peut être poursuivi avec une autre génération avant que la semence soit approuvée pour homologation. Le niveau de croisement distant étant variable, il est difficile de prévoir quels seront les niveaux d'hétérosis des semences commerciales. La première variété synthétique de *B. napus* homologuée au Canada est la Synbrid 220, en 1997.

Variétés de canola d'hiver

Dans certaines régions d'Europe et d'Asie, le colza d'hiver, c'est-à-dire semé à l'automne, est très courant. Bien qu'on utilise le terme « colza », de nombreuses variétés de ce colza ont des niveaux d'acide érucique et de glucosinolates semblables à ceux des variétés canadiennes et correspondent à la définition du canola. Le rendement du colza d'hiver est largement supérieur à celui de printemps, ainsi qu'on peut le voir dans les données de rendement en Suède (Tableau 2).

Tableau 2. Rendement moyen de quatre types de colza en Suède

Type de colza	Rendements moyens 1976-79	
	kg/ha	bu/ac
Colza d'hiver (<i>B. napus</i>)	2,700	48
Navette d'hiver (<i>B. rapa</i>)	2,000	36
Colza de printemps (<i>B. napus</i>)	1,800	32
Navette de printemps (<i>B. rapa</i>)	1,400	25

Les premières variétés de colza d'hiver introduites et homologuées au Canada provenaient d'Europe. N'étant pas conforme aux normes du canola pour les glucosinolates, elles étaient classées dans les variétés du colza. Toutefois, des travaux de sélection effectués ultérieurement en Europe et au Canada ont permis de réaliser des variétés de canola d'hiver. Le premier canola d'hiver canadien, l'OAC Winfield, a été élaboré par l'Université de Guelph et homologué en 1988. Dans l'ouest du Canada, on ne cultive pas le canola d'hiver commercialement en raison de sa résistance inadéquate au froid.

À l'occasion, une plantation de variété hivernale peut survivre à l'hiver dans le sud des Prairies, mais toute tentative de culture sur une base régulière a échoué. La résistance hivernale du canola est légèrement inférieure à celle de l'orge d'hiver qui lui aussi survit rarement à l'hiver des Prairies. Une résistance hivernale nettement plus élevée est nécessaire pour la réussite de la production de canola d'hiver dans l'ouest du Canada. Jusqu'à présent, aucune variété ayant le niveau de résistance hivernale requis ne semble avoir vu le jour dans le monde.

Les recherches de l'Université de Guelph ont démontré que le canola d'hiver avait un potentiel limité dans certaines régions de l'Ontario. Lorsque le canola d'hiver parvient à traverser la saison hivernale, son rendement est supérieur de 40 à 50 % au canola de printemps. Des études de gestion en divers endroits de l'Ontario ont établi que le canola d'hiver a les plus grandes chances de croître et avoir un rendement élevé s'il pousse dans des sols limoneux bien drainés à texture légère ou dans des sols sablonneux et limoneux recouvert d'une bonne couche de neige dans le sud de l'Ontario. Le canola d'hiver a peu de chance de survie dans les sols lourds argileux ou les sols mal drainés en raison du soulèvement du sol causé par le gel et le dégel.

Variétés spéciales à teneur élevée en acides gras

L'huile de canola est reconnue dans le monde entier comme une huile saine à faible teneur en gras saturés. Cependant, il existe des marchés pour des huiles ayant certaines caractéristiques pour des utilisations particulières. Les variétés spéciales à teneur élevée en acides gras sont recommandées en vue de leur homologation par le Specialty and Contract Registration Committee, un sous-comité du Western Canada Canola/Rapeseed Recommending Committee. La culture des variétés spéciales se limite à des productions à contrat réalisées par des sociétés privées.

Colza à haute teneur en acide érucique

Avant même qu'on en réduise la teneur en acide érucique pour en faire du canola, le colza était déjà produit industriellement pour faire des huiles alimentaires et industrielles. La haute teneur en acide érucique de cette huile convenait à la lubrification industrielle. Aujourd'hui encore, il existe un marché pour un volume non négligeable d'huile de colza à haute teneur en acide érucique afin de produire des lubrifiants, des plastiques, des laques et des détergents.

Les généticiens ont augmenté le niveau d'acide érucique du colza traditionnel pour produire du colza à haute teneur en acide érucique (HEAR). Dans un même élan, ils ont réduit les niveaux de glucosinolates de façon à faciliter la mise en marché du tourteau de variétés HEAR pour l'alimentation du bétail. La première variété de HEAR (*B. rapa*), la R-500, est née au Centre de recherche de Saskatoon d'AAC à Saskatoon (Saskatchewan). Le tourteau de cette variété a une teneur élevée en glucosinolates. La deuxième variété HEAR (*B. napus*), la Reston, a été homologuée par l'Université du Manitoba à Winnipeg. Elle avait une teneur en acide érucique entre 40 et 48 % et des niveaux modérés de glucosinolates. On a retiré l'enregistrement de cette variété en 1989. Depuis, de nombreuses variétés de HEAR ont été élaborées et lancées par l'Université du Manitoba.

Canola à faible teneur en acides élaïnique et/ou linoléique

Les généticiens ont vite réalisé que la manipulation d'autres acides gras permettait la production d'huiles ayant diverses caractéristiques nutritives et certaines aptitudes à la transformation. La première variété

de cette catégorie a été élaborée à l'Université du Manitoba et homologuée en 1987 sous le nom de Stellar. Stellar a une teneur réduite en acide gras linoléique (3 %), ce qui la rend beaucoup plus apte à la transformation et à la conservation de la qualité de son huile. Une forte teneur en acide linoléique rend l'huile rance. Depuis le lancement de Stellar, des entreprises telles que Cargill Specialty Canola Oils, Pioneer Hi-Bred et Dow AgroSciences ont homologué des variétés à diverses teneurs en acides gras : élevée en acide élaïnique, faible en acide linoléique, ou élevée en acide élaïnique et faible en acide linoléique.

Variétés de l'avenir

Au cours des dernières décennies, les variétés ont évolué rapidement au fil de l'introduction de nouvelles caractéristiques qualitatives et agronomiques. Si le passé est garant de l'avenir, les phytogénéticiens canadiens devraient apporter de nombreuses améliorations aux variétés de canola au cours des prochaines années. Ils travaillent notamment sur les aspects suivants :

- résistance/tolérance au stress de sécheresse;
- tolérance au gel (gel à la fin du printemps et au début de l'automne);
- élimination des graines vertes;
- amélioration du rendement alimentaire;
- réduction de la teneur en acides gras saturés;
- maturation précoce des variétés argentines pour les petites zones sans gel;
- nouvelle tolérance aux herbicides;
- résistance aux maladies : brûlure des semis, pourriture brune des racines périphériques, etc.;
- résistance aux insectes : larve des racines, charançons des siliques, etc.
- tolérance aux basses températures pour une germination et une levée améliorées;
- augmentation de la taille des graines;
- meilleure résistance à l'hiver et augmentation du rendement du canola d'hiver;
- hybrides à rendement amélioré.

Références

Beare, J.L., Campbell, J.A., Youngs, C.G. and Craig, B.M. 1963. Effects of saturated fat in rats fed rapeseed oil. *Can. J. Biochem. And Physiol.* 41:605-612.

Baranyk, P. and Fabry, A. 1999. History of rapeseed (*Brassica napus* L.) growing and breeding from middle age Europe to Canberra. *Proceedings of the tenth International Rapeseed Congress.* Canberra. 5 pages.

Beversdorf, W.D., Weiss-Lerman, J., Erickson, L.R. and Souza Machado, V. 1980. Transfer of cytoplasmically-inherited triazine resistance from bird's rape to cultivated oilseed rape. (*Brassica campestris* and *B. napus*). *Can. J. of Geneti. and Cytol.* 22:167-172.

Brandle, J.E. and McVetty, P.B.E. 1989a. Effects of inbreeding and estimates of additive genetic variance within seven summer oilseed rape cultivars. *Genome* 32:115-119.

Brandle, J.E. and McVetty, P.B.E. 1989b. Heterosis and combining ability in hybrids derived from oilseed rape cultivars and inbred lines. *Crop Science* 29:1191-1195.

Buzza, G.C. 1983. The inheritance of an apetalous character in canola (*Brassica napus*). *Cruciferae Newsletter* 8:11-12.

Buzza, G.C. 1995. Plant Breeding. Brassica Oilseeds: Production and Utilization. Edited by D.S. Kimber and D.I. McGregor. Cab International Pp:153-175.

Downey, R.K. 1964. A selection of *Brassica campestris* L. containing no erucic acid in its seed oil. *Can. J. Plant Sci.* 44:295.

Downey, R.K. and Harvey, B.L. 1963. Methods of breeding for oil quality in rape. *Can. J. Plant Sci.* 43:271-275.

Downey, R.K. and Rimmer, S.R. 1993. Agronomic improvement in oilseed brassicas. *Adv. Agron.* 50:1-66.

Downey, R.K., Stefansson, B.R., Stringam, G.R. and McGregor, D.I. 1975. Breeding rapeseed and mustard crops. In: Harapiuk, J.P. (ed.) *Oilseed and Pulse Crops in Western Canada: A Symposium.* Western Cooperative Fertilizers, Canada, pp. 157-183.

Eskin, N.A., McDonald, B.E., Przybylski, R., Malcolmson, L.J., Scarth, R., Mag, T., Ward, K. and Adolph, D. 1996. *Canola Oil.* John Wiley & Sons, Inc. Pp 1-14

Gowers, S. 1980. The production of hybrid oilseed rape using selfincompatibility. *Cruciferae Newsletter* 5:15-16.

Grami, B., Baker, R.J. and Stefansson, B.R. 1977. Genetics of protein and oil content in summer rape: heritability, number of effective factors, and correlations. *Can. J. Plant Sci.* 57:937-943.

Grant, I. and Beversdorf, W.D. 1985a. Agronomic performance of triazine-resistant single cross hybrid oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Can. J. of Genet. Cytol.* 27:472-478.

Grant, I. and Beversdorf, W.D. 1985b. Heterosis and combining ability estimates in spring-planted oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Can. J. of Genet. Cytol.* 27:472-478.

Kondra, Z.P. and Stefansson, B.R. 1965. Inheritance of erucic and eicosenoic acid content of rapeseed oil (*Brassica napus*). *Can. J. of Genet. Cytol.* 7:500-510.

Kondra, Z.P. and Stefansson, B.R. 1970. Inheritance of the major glucosinolates of rapeseed (*Brassica napus*) meal. *Can. J. Plant Sci.* 50:643-647.

Li, S., Qian, Y. Wu, Z. and Stefansson, B.R. 1988. Genetic male sterility in rapeseed (*Brassica napus* L.) conditioned by interaction of genes at two loci. *Can. J. Plant Sci.* 68:1115-1118.

Love, H.K., Rakow, G., Raney, J.P. and Downey, R.K. 1990a. Development of low glucosinolate mustard. *Can. J. Plant Sci.* 70:419-424.

Love, H.K., Rakow, G., Raney, J.P. and Downey, R.K. 1990b. Genetic control of 2-propenyl and 3--butenyl glucosinolate synthesis in mustard. *Can. J. Plant Sci.* 70:425-429.

Love, H.K., Rakow, G., Raney, J.P. and Downey, R.K. 1991. Breeding improvements toward canola quality *Brassica juncea*. In: McGregor, D.I. (ed.) *Proceedings of the Eighth International Rapeseed Congress, Saskatoon, Canada.* Pp. 164-169.

Pleins, S. and Friedt, W. 1989. Genetic control of linolenic acid concentration in seed oil of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Theoretical and Applied Genetics* 78:793-797.

Rimmer, S.R. and van den Berg, C.G.J. 1984. Resistance of oilseed *Brassica* spp. To blackleg caused by *Leptosphaeria maculans*. *Can. J. Plant Path.* 14:56-66.

Rao, M.S.S., Mendham, N.J. and Buzza, G.C. 1991. Effect of the apetalous flower character on radiation distribution in the crop canopy, yield and its components in oilseed rape (*Brassica napus*). *J. of Agric. Sci., Camb.* 117:189-196.

Sernyk, J.L. and Stefansson, B.R. 1983. Heterosis in summer rape (*Brassica napus* L.). *Can. J. Plant Sci.* 63:407-413.

Shiga, T. and Baba, S. 1971. Cytoplasmic male sterility in oilseed rapeseed plants (*Brassica napus* L.). *Jpn. J. Breed.* 21:16-17.

Slinkard, A.E. and Knott, D.R. 1995. Harvest of Gold: The history of crop breeding in Canada. University Extension Press. University of Saskatchewan. Pages 140-152.

Stefansson, B.R. 1983. The development of improved rapeseed cultivars. In: Kramer, J.K.G., Sauer, F.D. and Pigden, E.J. (eds) High and low erucic acid rapeseed oils: Production, Usage, Chemistry, and Toxicological Evaluation. Academic Press, New York, pp:144-159.

Stefansson, B.R., Hougen, F.W. and Downey, R.K. 1961. Note on the isolation of rapeseed plants with seed oil free from erucic acid. *Can. J. Plant Sci.* 41:218-219.

Thomas, P.M. and Kondra, Z.P. 1973. Maternal effects on the oleic, linoleic, and linolenic acid content of rapeseed oil. *Can. J. Plant Sci.* 53:221-225.

Thompson, K.F. 1972. Cytoplasmic male-sterility in oilseed rape. *Heredity* 29:253-257.

Thurling, N. 1991. Application of the ideotype concept in breeding for higher yield in the oilseed brassicas. *Field Crops Research* 26:201-219.